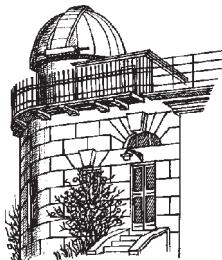


# **ODESSA ASTRONOMICAL PUBLICATIONS**

Volume 20, Part 2  
(2007)



Odessa  
«AstroPrint»

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий выпуск журнала "Odessa Astronomical Publications" (V.20, 2007) содержит статьи, представленные на Международной юбилейной научной конференции "Современные проблемы астрономии", посвященной 100-летней годовщине со дня рождения выдающегося ученого астронома Владимира Платоновича Цесевича (1907-1983). Конференция проведена в Одессе (Украина), в городе, где В.П.Цесевич жил в детстве и работал в 1944-1983 годах. Конференция организована Одесским национальным университетом имени И.И.Мечникова и проходила 12-18 августа 2007 года. Мемориальная сессия конференции была проведена 13 августа 2007 года и посвящалась жизни В.П.Цесевича, его научной, педагогической и общественной деятельности.

В организации и проведении конференции принимали участие Евро-азиатское Астрономическое Общество (Москва), Украинская Астрономическая Ассоциация (Киев), Одесское Астрономическое Общество, Научно-исследовательский институт "Астрономическая обсерватория" и кафедра астрономии Одесского национального университета имени И.И.Мечникова и Одесская радиоастрономическая обсерватория Радиоастрономического института Академии наук Украины (Харьков).

Научная программа конференции включила секции: 1. Мемориальная сессия. 2. Физически переменные звезды. 3. Взаимодействующие двойные звезды. 4. Химический состав и эволюция звезд и галактик. 5. Переменные радиоисточники. 6. Космология. 7. Околоземная астрономия, астрометрия и небесная механика. 8. Метеорная астрономия. 9. Телескопы, регистрация и обработка изображений и сигналов. 10. Астрономическое образование и популяризация астрономии.

В конференции приняли участие около 180 ученых из 15 стран Азии, Америки и Европы. В Мемориальной секции его учениками и сослуживцами было сделано 10 докладов. На других научных секциях представлено более 87 научных докладов (23 из них были пленарными). Общее количество представленных постеров составило свыше 40. В решении конференции было отмечено, что проведенная конференция была очень плодотворной.

По решению Научного оргкомитета публикация материалов конференции была разделена на две части. Первая часть (V.20, Part 1, 2007) содержит доклады, поданные к публикации на английском языке. Во второй части (V.20, Part 2, 2007) публикуются доклады, поданные на русском языке. Первая часть открывается Юбилейным докладом "Владимир Платонович Цесевич - астроном-романтик". Далее все доклады опубликованы в алфавитном порядке по фамилии первого из авторов доклада. Порядок публикаций во второй части следует тому же принципу. Содержание обеих частей дается по-английски.

В заключение, как главный редактор журнала, приношу глубокую благодарность всем участникам конференции "Современные проблемы астрономии" за их вклад в конференцию, посвященную памяти В.П.Цесевича.

В.Г.Каретников

## CONTENTS

Foreword	
V.G.Karetnikov .....	2
Contents .....	3
<b>THE ACCRETION MODES OF THE ASYNCHRONOUS POLAR BY CAM AT DEFINITE BEAT PHASES FOR THE LOW ACCRETION STATE</b>	
Ju.Babina, E.P.Pavlenko, M.Andreev .....	5
<b>DYNAMICAL EVOLUTION OF THE NEAR-PARABOLIC COMETS TO HALLEY-TYPE ORBITS</b>	
E.E.Biryukov .....	7
<b>EURO-ASIAN COLLABORATION FOR GAMMA-RAY BURST OPTICAL OBSERVATIONS</b>	
A.S.Bogdanov, S.S.Guziy, A.J.Castro-Tirado, A.de Ugarte Postigo, J.Gorosabel, M.Jelinek, V.V.Sokolov, T.A.Fatkhullin, I.M.Kheifets .....	12
<b>EVIDENCES OF SURFACE DIFFERENTIAL ROTATION IN THE RED DWARF PZ MON</b>	
N.I. Bondar', V.V. Prokof'eva .....	14
<b>OBSERVATIONS OF VARIABLE STARS WITH SMALL TELESCOPES</b>	
I.S.Bryukhanov .....	18
<b>ELECTRONIC TEXTBOOK FOR AMATEUR ASTRONOMERS AND STUDENTS "BINARY STARS AND THEIR EVOLUTION"</b>	
L.L.Chinarova .....	22
<b>PREDICTION OF MAIN PARAMETERS OF 24 SOLAR CYCLE</b>	
O.V.Chumak .....	26
<b>SELF-ORGANIZATION of MAGNETO-PLASMA STRUCTURES IN UPPER LAYERS OF THE SUN</b>	
O.V.Chumak .....	27
<b>SEARCH OF THE Na IN THE REGION OF THE SUBLIMATION OF THE NEAR-SUN DUST</b>	
A.B.Delone, M.I.Divlekeev, E.A.Suchanov, R.A.Gulyaev, G.V.Yakunina, G.A.Porfir'eva .....	28
<b>ELABORATION AND INVESTIGATION OF THE ADAPTING DEVICES FOR SOME TRACKS OF THE SATELLITE LASER-LOCATION STATIONS</b>	
Denishchik Yu. S., Mel'kov S.M. ....	32
<b>ABOUT THE SPACE DISTRIBUTION OF STARS IN THE SELECTED SKY FIELDS</b>	
A.V.Dragunova, M.P.Yasinskaya .....	34
<b>REVOLTING EFFECTS IN OWN ROTATION OF HIGH-ORBITAL SATELLITES</b>	
V.P.Epishev, I.I.Isak, Y.M.Motrunich, I.I.Motrunich, I.F.Naubauer, S.S.Pop, V.I.Kudak .....	38
<b>ELECTRO-PHOTOMETRY OF SATELLITES IN UZHGOROD BEGINS FROM ODESSA</b>	
V.P.Epishev, Y.M.Motrunich, I.I.Motrunich, I.F.Naubauer .....	42
<b>SOME RESULTS OF THE U CrB OBSERVATIONS in 1856-2007</b>	
V.D.Grigorenko, S.A.Gadon, S.E.Shurpakov, I.S.Bryukhanov.....	44
<b>THE HALF-YEAR MONITORING OF METEOROID INFLUX TO THE NEAR-EARTH SPACE BY TV-OBSERVATIONS</b>	
A.P.Kartashova, A.V.Bagrov, G.T.Bolgova, V.A.Leonov .....	46
<b>DETERMINATION OF AES ORBIT ELEMENTS USING MIXED DATA</b>	
S.Ja.Kolesnik, S.L.Strakhova .....	50
<b>REALIZATION OF THE COMBINED METHOD IN NIKOLAEV OBSERVATORY FOR OBSERVATION OF THE GEOSYNCHRONOUS SATELLITES</b>	
E.S.Kozyrev, E.S.Sibiryakova, A.V.Shulga .....	53
<b>OBSERVATION OF ASTEROID OCCULTATIONS WITH HELP OF THE METHOD OF TEMPORAL UNSQUEEZING CCD-IMAGES IN 2006</b>	
F.I.Kravtsov I.V.Lukyanyk .....	55
<b>EXTRASOLAR PLANETS AND POSSIBILITY OF THE LIFE APPEARANCE</b>	
I.Kuzenkov, B.Ivashin, I.S.Bryukhanov, M.Barinov .....	59

OPTIMIZATION OF THE WORKING REGIME OF THE ACTIVE MEDIUM IN TRANSMITTERS OF THE LASER-LOCATION STATIONS DURING THE AES OBSERVATIONS I.V.Lyubich .....	66
INTERSTELLAR METEOROIDS WITH ALMOST HYPERBOLIC ORBITS A.K.Markina, L.Ya.Skoblikova .....	70
THE USE OF MODELING FOR INTERPRETATION OF OBSERVED LIGHT CURVES OF SATELLITES S.Melikyants, L.Shakun, N.Koshkin, V.Dragomiretsky, S.Strakhova .....	72
DETERMINATION OF COORDINATES OF THE BASIC POINTS OF THE ILLUMINATED PART OF THE SPHERICAL PLANET'S VISIBLE DISC V.V.Mikhailchuk .....	76
ASTROMETRY AND PHOTOMETRY WITH PLATE SCANS FROM STERNBERG ASTRONOMICAL INSTITUTE'S PHOTOGRAPH COLLECTION (FIRST EXPERIENCES) A.V.Mironov, F.N.Nikolaev, A.S.Tuchin, A.I.Zakharov, K.F.Levkova .....	81
USE OF THE COLLECTIVE PHENOMENA IN ACTIVE MEDIA OF THE TRANSMITTERS IN LASER-LOCATION STATIONS V.V.Murga .....	84
DYNAMIC EVOLUTION OF THE EXOPLANET SYSTEMS, MOVING IN ORBITAL RESONANCES WITH THE ACCOUNT OF SECULAR PERTURBATION FROM N BODIES B.R.Mushailov, A.K.Chuyas .....	87
ABOUT INFLUENCE OF ORBITAL DYNAMIC RESONANCES FOR PECULIARITY OF STATISTICAL ARRANGEMENT OF ASTEROIDS AND COMETS B.R.Mushailov, V.S.Teplitskaja .....	90
ABOUT ADDENDA TO CALCULATION METHOD OF THE ORBITS EAS ON THEIR POSITION AND VELOCITIES N.G.Paltsev .....	93
ANALYSIS OF INACCURACY OF THE DIRECT MEASUREMENTS OF THE POSITIONS OF COSMIC OBJECTS N.G.Paltsev, S.Ja.Kolesnik .....	97
SOME STAGES OF THE DEVELOPMENT IN THE TECHNIQUE OF THE STELLAR RADIAL VELOCITY DETERMINATION V.E.Panchuk, T.A.Yakshina .....	101
INTERFEROMETRIC METHODS OF THE DOPPLER SHIFT DETERMINATION V.E.Panchuk, V.G.Klochkova, D.S.Nasonov .....	103
INVESTIGATIONS OF SURFACES OF ATMOSPHERELESS BODIES USING SCATTERED SOLAR LIGHT V.V.Prokofjeva-Mikhailovskaja, A.N.Rublevskiji .....	107
V.P.TSESEVICH AND RADIOASTRONOMY IN ODESSA (20 years of "URAN-4") M.I.Ryabov .....	110
CHEMICAL COMPOSITION OF 4 STARS IN THE HIADES E.P.Shereta .....	115
SOME PROBLEMS OF CREATION OF MODERN ASTRONOMICAL TELEVISION MEASURING SYSTEMS N.Z.Strygin, V.V.Prokof'eva, P.P.Sukhov, G.F.Karpenko .....	118
THE SPECTRAL AND PHOTOMETRICAL STUDY OF THE NOVA V1494 AQL = 1999 N2 in 2003–2006 yrs. S.S.Tkachenko, E.P.Pavlenko, V.P.Goranskij .....	131
THE BASIC FEATURES OF EINSTEIN EQUATIONS WITH COSMOLOGICAL TERM, WHICH LINEARLY DEPENDENTS FROM THE SPACE-TIME RIEMANN CURVATURE SCALAR S.I.Vil'chinsky, P.A.Nakaznoy .....	135
ASTRONOMY IN G.S.TITOV COSMONAUT CLUB FOR YOUNG PEOPLE E.I.Yagudina .....	140
THE ORIENTATION OF THE DYNAMICAL FRAMES RELATIVE ICRF BY USE OF OPTICAL AND RADAR OBSERVATIONS NEAR-EARTH ASTEROIDS (NEAs) E.I.Yagudina .....	144

# THE ACCRETION MODES OF THE ASYNCHRONOUS POLAR BY CAM AT DEFINITE BEAT PHASES FOR THE LOW ACCRETION STATE

## РЕЖИМЫ АККРЕЦИИ АССИНХРОННОГО ПОЛЯРА ВЪ САМ НА ОПРЕДЕЛЕННЫХ ФАЗАХ ПЕРИОДА БИЕНИЙ ДЛЯ НИЗКОГО АККРЕЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ

Ju. Babina<sup>1</sup>, E.P. Pavlenko<sup>1,3</sup>, M. Andreev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Crimean astrophysical observatory  
Nauchny, Ukraine *juliaradyga@mail.ru*

<sup>2</sup> Branch of the RAS Institute of Astronomy  
Terskol, Russia

<sup>3</sup> National Tavrida University  
Simferopol, Crimea, Ukraine

**ABSTRACT.** В работе представлены результаты фотометрических наблюдений асинхронного поляра BY Cam в низком аккреционном состоянии. На основании большого количества наблюдательного материала удалось показать, что вид кривых блеска зависит от фаз синодического цикла, то есть от ориентации аккреционных областей к красному карлику, а не изменяется хаотически от цикла к циклу. После группировки кривых блеска по фазам синодического периода, оказалось, что профили кривых блеска повторяются через полцикла периода биения.

**Key words:** Stars: binary: cataclysmic; stars: individual: BY Cam.

### 1. Введение

BY Cam относится к катализмическим переменным звездам и является одним из четырех известных асинхронных поляров. У этой системы вторичный компонент – маломассивная карликовая красная звезда, заполняющая свою полость Роша, вследствие чего происходит перенос вещества на первичный компонент – белый карлик с магнитным полем, которое управляет процессом аккреции. Вещество из аккреционной струи, попадая в область действия магнитного поля, начинает двигаться вдоль силовых линий и выпадает в область магнитных полюсов. В зависимости от

темперы аккреции, BY Cam наблюдается в низком и высоком состоянии яркости. У системы известны три периода:  $P_{rot} = 0.138428 \pm 0.000002$  сут,  $P_{orb} = 0.139759 \pm 0.000003$  сут,  $P_{beat} = 14.568 \pm 0.003$  сут. (Павленко, 2006).

### 2. Наблюдения.

В работе представлены результаты фотометрических ПЗС наблюдений поляра в 2004-2007 гг., выполненные в полосе R. Всего в обработку вошло 75 полных вращательных цикла. В течение этого периода BY Cam находился в низком аккреционном состоянии. Наблюдения проводились в Крымской Астрофизической Обсерватории на телескопе К – 380, на пике Терскол на Цейсе -600 и 2-м телескопе, в Симеизе на 1-м телескопе.

### 3. Результаты.

По ранее полученным результатам О-С основного горба на кривых блеска BY Cam (Pavlenko et al., 2007), кривые были отсортированы на четыре группы по фазам периода биения  $P_{beat}$  (синодического периода): 1) фазы 0.0-0.25; 2) фазы 0.26 – 0.5; 3) фазы 0.51 – 0.75; 4) фазы 0.76 – 1. После этого было обнаружено, что кривые блеска на каждом интервале ведут себя не хаотически, а определенным образом и характер их поведения через половину периода повторяется, что указывает на видимую симмет-

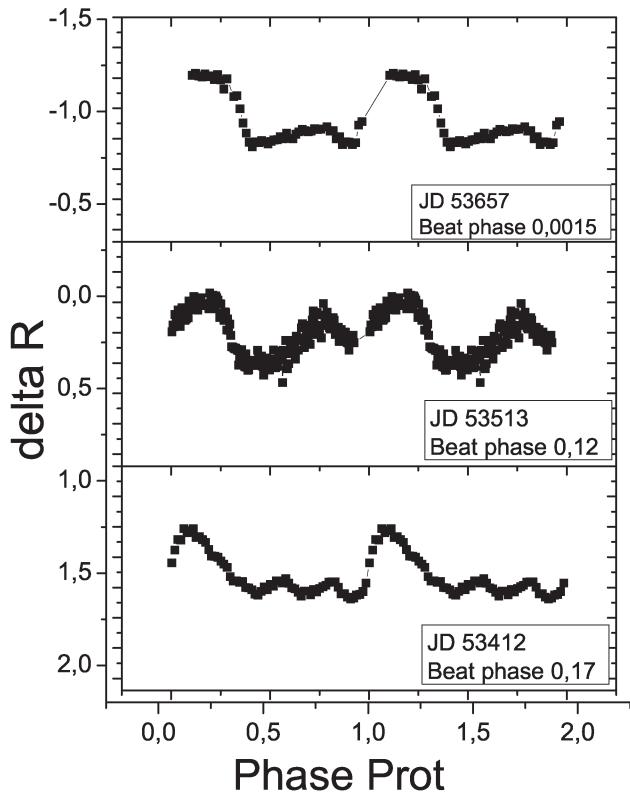


Рис. 1: Наиболее характерные профили кривых блеска для промежутка фаз синодического периода 0.0 – 0.25.

рию магнитного поля белого карлика по отношению к красному карлику и режимов аккреции.

На первом промежутке фаз периода биения с 0.0 – 0.25 наблюдается переход от двугорбой кривой блеска, где каждый горб длится по полпериода, и один из них всегда большей амплитуды, до двугорбой с равнозначными двумя горбами (равной амплитуды и продолжительности), а в конце этого промежутка фаз на фазе 0.17 наблюдается трехгорбый профиль кривой, где один горб длится полпериода и имеет амплитуду в два раза большую чем два остальных горба, и остальную половину периода занимают два горба одинаковой амплитуды и продолжительности (Рис. 1). Второй интервал фаз с 0.26 – 0.5 начинается после скачка О-С на полпериода в соответствии с диаграммой (Pavlenko et al., 2007). В начале этого промежутка фаз наблюдаем двугорбый профиль кривой блеска, где два горба одинаковой амплитуды и разной продолжительности – один горб 0.25, а второй 0.75 по фазе вращательного периода. Далее двугорбая кривая переходит в кривую, где выделяется один продолжительный горб на полпериода и остальную половину периода занимают один или два горба амплитудой в три раза меньшей, чем у основного

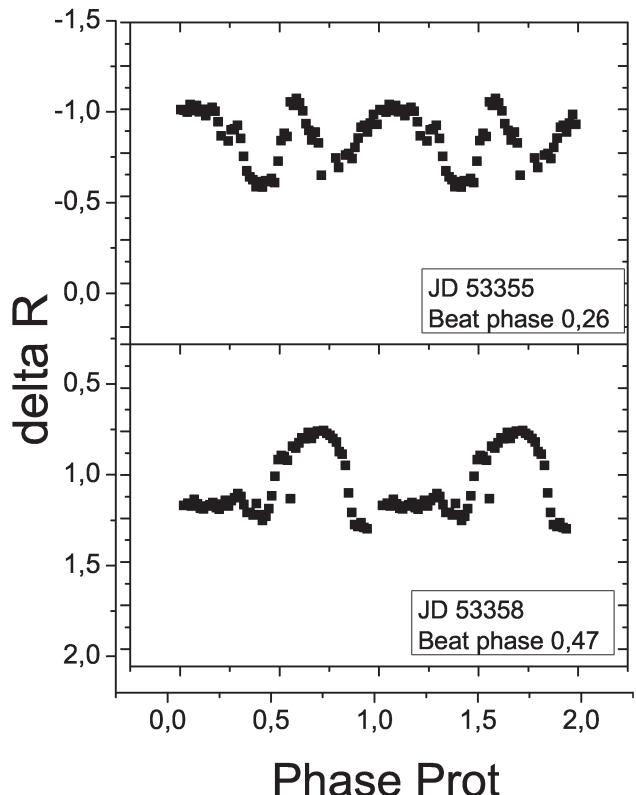


Рис. 2: Наиболее характерные профили кривых блеска для промежутка фаз синодического периода 0.26 – 0.5.

(Рис. 2). Кривые блеска на третьем и четвертом интервале фаз периода биения имеют тот же самый вид, что на первом и втором интервале соответственно. То есть, через половину синодического цикла ориентация магнитного поля белого карлика по отношению к красному карлику и характер аккреции на белый карлик повторяются. Помимо наиболее характерных профилей кривых блеска на третьем интервале фаз синодического цикла 0.51 – 0.75, как и на первом промежутке 0.0 – 0.25, наблюдается трехгорбый профиль кривых блеска на фазах 0.69, 0.692.

*Благодарности.* Эта работа была выполнена при частичной поддержке грантом ДФФД Ф 25.2/139.

## Литература

- Warner B.: 1995, *Cataclysmic variable stars*, Cambridge University Press.  
 Pavlenko E., Babina Ju., Andreev M.: 2007, in *Proc. of the 15th European white dwarf workshop, ASP Conf. Ser.*, **372**, 537.  
 Павленко Е.: 2006, *Астрофизика*, **49**, 121.

# DYNAMICAL EVOLUTION OF THE NEAR PARABOLIC COMETS TO HALLEY-TYPE ORBITS

## ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧТИ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ КОМЕТ НА ОРБИТЫ ГАЛЛЕЕВСКОГО ТИПА

E.E. Biryukov

Department of Computation and Celestial Mechanics, South-Ural State University  
pr. Lenina, 76, Chelyabinsk 454080 Russia, *caesare@susu.ac.ru*

**ABSTRACT.** The capture of comet from the near parabolic flux of the Oort cloud to Halley-type orbits ( $P < 200$  yr, perihelion distanses  $q < 1,5$  AU, and Tisserand parametr  $T < 2$ ) is investigatet. Two types of capture into Halley-type orbits are found. We show that probability of capture HTC from the near-parabolic flux has the strong dependence on Galactic perturbation. We also show the essential influence of secular perturbations on dynamical evolution of comets in planetary region.

**Key words:** Oort Cloud, Halley-type comets, Planetary pertubations

орбит к планетной области и переходу комет на короткопериодические орбиты. В 1999 году Емельяненко [5] получил, что захват комет на галлеевские орбиты из почти параболического потока проходит через продолжительную промежуточную стадию кентавров. В работах [6,7,8] оценивалась функция распределения наклона орбит комет галлеевского типа, захваченных из почти параболического потока. Однако, несмотря на обилие работ, посвященных исследованию комет галлеевского типа, до сих пор в научной литературе отсутствует описание процесса захвата комет галлеевского типа.

## 1. Введение

Исследование захвата комет из почти параболического потока на орбиты галлеевского типа занимает важное место в изучении этого класса комет, поскольку позволяет лучше понять природу комет и динамическую историю Солнечной системы. До сих пор исследование самого процесса захвата остается актуальным. Например, Казимирчак-Полонской [1,2] были рассмотрены тесные сближения почти параболических комет с планетами-гигантами и получены новые интересные результаты, касающиеся анализа возможного влияния тесных возмущений на орбиты комет. В своих работах Казимирчак-Полонская убедительно показала, что при исследовании долговременной эволюции малых тел следует учитывать реальные динамические особенности движения комет и планет. Штейнсон [3,4] был описан механизм малых почти случайных возмущений от планет-гигантов на орбиты почти параболических комет, что приводит к постепенному подтягиванию кометных

## 2. Модель

Для исследования было взято 50.000 объектов на почти параболических орbitах из внешнего облака Оорта, распределенных случайным образом. Большие полуоси распределены равномерно в пределах (10000, 30000 а.е.). Наклоны орбит равномерно по  $\cos(i)$  в пределах (-1,1), аргументы перигелия и восходящего узла равномерно распределены по  $i$  в пределах ( $0^\circ$ ,  $360^\circ$ ). Первоначальные перигелийные расстояния находились внутри планетной области, которая была разбита на 5 промежутков: (0, 4 а.е.), (4, 6 а.е.), (6, 10,5 а.е.), (10,5, 18 а.е.), (18, 31 а.е.). В каждой области по 10000 орбит с равномерным распределением перигелийных расстояний в пределах каждого промежутка. В начальный момент времени положение объектов на орбитах определялось случайным образом путем задания равномерного распределения расстояния от кометы до Солнца в пределах (50,500 а.е.). Прослеживалась динамическая эволюция этих объектов за время  $4,6 \cdot 10^9$  лет, что соответствует предполагаемому времени жизни Солнечной системы.

### 3. Результаты

В работе [9] было показано, что имеется два различных механизма или типа захвата комет из почти параболического потока с первоначальными перигелиями орбит, расположеннымами внутри планетной области (с  $q < 31$  а.е.), на короткопериодические орбиты.

#### 3.1. *a*-захват

Первый способ захвата комет на орбиты галлеевского типа, который можно назвать *a*-захват, заключается в том, что объекты из облака Оорта на первом этапе динамической эволюции захватываются на короткопериодические орбиты. Впоследствии происходит уменьшение перигелийных расстояний, и кометы попадают на галлеевские орбиты. Данному типу захвата подвержены кометы со значением перигелийного расстояния орбит  $q > 1,5$  а.е.

Было получено, что число оборотов комет вокруг Солнца до захвата их на короткопериодические орбиты сильно зависит от первоначального значения перигелийного расстояния орбит.

Для объектов из первой и пятой областей среднее число оборотов захвата почти параболических комет на короткопериодические орбиты различается на три порядка. Кометы из первой области первоначальных перигелийных расстояний переходят на короткопериодические орбиты в среднем через 650 оборотов вокруг Солнца, из пятой – через 165000 оборотов. Поскольку коэффициенты диффузии элементов орбит сильно зависят от перигелийного расстояния почти параболических комет [3,4], использование диффузионного процесса для описания захвата комет на короткопериодические орбиты является неплохим. Необходимо отметить, что под диффузионным механизмом или механизмом диффузии Штейнса следует понимать малые почти случайные возмущения от планет.

Кроме диффузионного механизма в захвате комет из почти параболического потока принимают участие другие механизмы (тесные сближения с планетами, возмущения от Галактики). В частности, в отсутствии тесных сближений с планетами, сильное влияние на почти параболические кометы оказывают возмущения от Галактики. В работах [6,10,11,12] было получено, что возмущения от Галактики способны играть значительную роль в эволюции комет на почти параболических орбитах. Например, один объект из пятой области перешел на короткопериодическую орбиту очень быстро – всего за 200 оборотов. При этом изменение перигелийного расстояния орбиты кометы  $q$  составило 14,63 а.е., что невозможно объяснить влиянием только диф-

фузионного механизма Штейнса. Такое быстрое и сильное изменение перигелийного расстояния вызвано возмущениями от Галактики. На рис.1 представлена эволюция элементов орбит  $a$  и  $q$  другой кометы на первых этапах динамической эволюции.

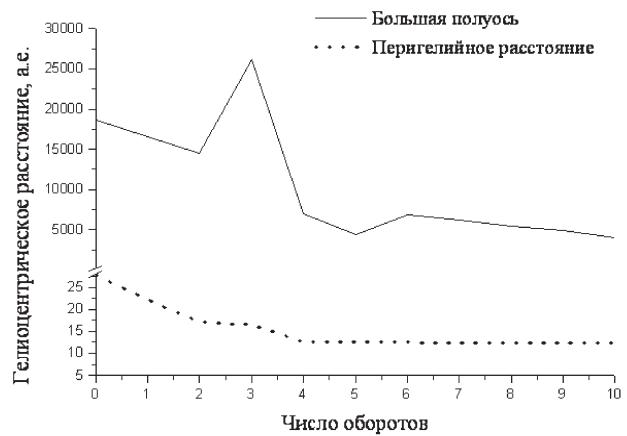


Рис. 1: Динамическая эволюция почти параболической кометы на первых оборотах вокруг Солнца.

На первом и втором оборотах, в результате диффузии большая полуось орбиты кометы сократилась с  $1,6 \cdot 10^4$  а.е. до  $10^4$  а.е. и произошло постепенное уменьшение перигелийного расстояния на  $\Delta q \approx 5$  а.е. под действием возмущений от Галактики. На последующих оборотах комета практически не испытывала возмущений со стороны планет-гигантов, и значение большой полуоси оставалось  $10^4$  а.е.. Для этого значения большой полуоси орбиты кометы галактические возмущения практически не вызывают изменения  $q$ . На 8 обороте в результате возмущений со стороны планет-гигантов комета перешла на орбиту со значением  $\sim 2,5 \cdot 10^4$  а.е.. Изменение перигелийного расстояния орбиты кометы пропорционально квадрату большой полуоси и на 9 обороте оно составило  $\Delta q \approx 5$ . На 10 обороте комета оказалась на орбите с перигелийным расстоянием  $\sim 11$  а.е., в результате возмущений от планет-гигантов большая полуось орбиты сократилась до  $a < 10^4$  а.е., последующая динамическая эволюция кометы проходила без ощутимого влияния возмущений от Галактики и перигелийное расстояние орбиты кометы почти не менялось.

Практически у всех комет в момент захвата на короткопериодические орбиты значения больших полуосей  $a > 29,5$  а.е., это свидетельствует о том, что происходило постепенное накапливание кометами случайных возмущений со стороны планет-гигантов и кометные орбиты постепенно подтягивались к планетной области. Только 6 комет были захвачены на короткопериодические орбиты со значением больших полуосей меньше 20 а.е. Эти

объекты захвачены на короткопериодические орбиты вследствие тесных сближений с планетами-гигантами [1,2], поскольку для этих комет изменение большой полуоси за один оборот составило более 15 а.е., что невозможно в случае диффузии. У двух комет с перигелием вблизи орбиты Урана произошла реверсия линии апсид, описанная в работе Казимирачак-Полонской [2]. Например, одна из комет до сближения двигалась по орбите с  $a = 300,67$  а.е.,  $q = 18,918$  а.е., после сближения с Ураном -  $= 17,14$  а.е.,  $q = 11,905$  а.е. Как было отмечено самой Казимирачак-Полонской, это очень редкое явление.

Таким образом, при а-захвате кометы из облака Оорта попадают в планетную область с помощью диффузационного механизма Штейнса [3,4]. Благодаря возмущениям от Галактики происходит уменьшение перигелийных расстояний орбит и кометы переходят во внутреннюю планетную область, где более сильные возмущения от планет. Имеют место и довольно редкие тесные сближения комет с планетами - гигантами.

Рассмотрим второй этап а-захвата почти параболических комет на галлеевские орбиты - трансформации короткопериодических комет в галлеевские, - на примере динамической эволюции одной кометы. На движение комет в планетной области важную роль играют вековые возмущения.

На рис. 2а представлена динамическая эволюция объекта, испытавшего а-захват. У этого объекта первоначальное значение перигелийного расстояния было равно 23,2 а.е. Этому объекту потребовалось совершить всего 233 оборота вокруг Солнца для захвата на короткопериодическую орбиту. Это вызвано тем, что в результате галактических возмущений у объекта произошло уменьшение перигелийного расстояния орбиты до 5,3 а.е.. Под действием возмущений от Юпитера объект очень быстро эволюционировал на короткопериодическую орбиту. В момент времени  $12,9 \cdot 10^6$  лет объект попал на орбиту резонанса 1:4 с Юпитером, на которой просуществовал  $10^5$  лет. В момент времени  $13,08 \cdot 10^6$  лет объект был захвачен на орбиту соизмеримости 2:3 ( $= 6,8$  а.е) с Юпитером на которой просуществовал 50000 лет. В момент времени  $13,08 \cdot 10^6$  лет и  $13,15 \cdot 10^6$  лет у кометы произошло резкое уменьшение наклона орбиты до  $15^\circ$ , после чего в момент времени  $13,18 \cdot 10^6$  лет комета перешла на обратную орбиту. На данном интервале времени имеет место вековой резонанс  $\nu_5$ . На интервале времени  $12,9 \cdot 10^6$  лет -  $13 \cdot 10^6$  комета движется по резонансной орбите соизмеримости среднего движения 1:4 с Юпитером. Судя по поведению кривой на диаграмме  $q - \omega$  (рис.2 б), на этом интервале времени имеют место вековые осцилляции. Не смотря на то, что вековые возмущения много слабее орбитальных резонансов, можно обнаружить довольно сильные вековые ос-

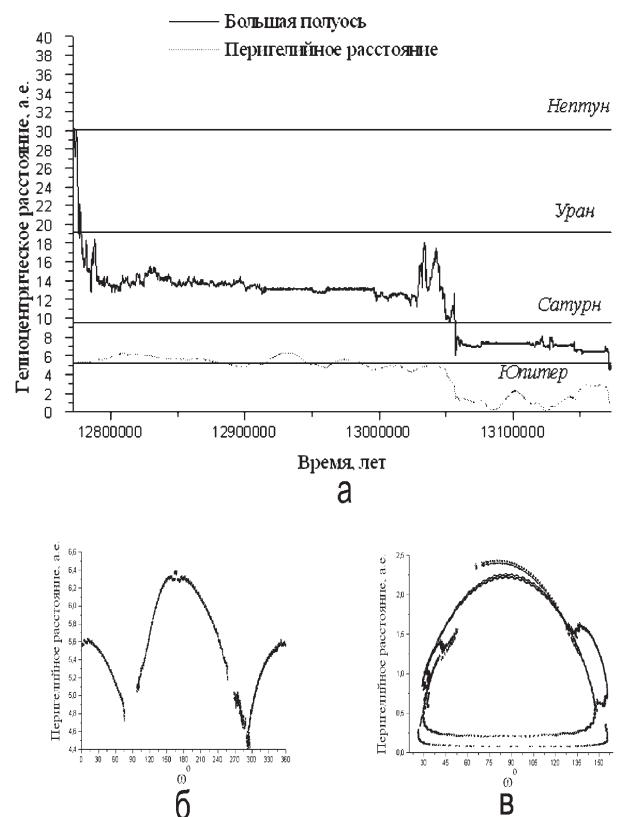


Рис. 2: Динамическая эволюция элементов орбиты кометы, испытавшей а-захват. а: эволюция  $a$  и  $q$ ; б: резонанс 1:4 с Юпитером на интервале времени  $12,9 \cdot 10^6$  лет -  $13,0 \cdot 10^6$  лет, диаграмма  $q - \omega$ ; в: резонанс 2:3 с Юпитером на интервале времени  $13,14 \cdot 10^6$  лет -  $13,19 \cdot 10^6$  лет, диаграмма  $q - \omega$

цилляции перигелийного расстояния орбиты кометы. Необходимо отметить, что комета выходила из зоны резонанса в момент времени  $12,949 \cdot 10^6$  лет и вернулась на резонансную орбиту в момент времени  $12,961 \cdot 10^6$  лет (рис.2), однако вековые осцилляции не сохранились на этом интервале времени.

На интервале времени  $13,14 \cdot 10^6$  лет -  $13,19 \cdot 10^6$  лет, комета двигалась вблизи орбитального резонанса 2:3 с Юпитером ( $a = 6,81$  а.е.). Движение сопровождается вековыми либрациями. Анализ рис. 2а и рис.2в показывает, что, несмотря на то, что комета выпадала из зоны орбитального резонанса с Юпитером, диаграмма  $q - \omega$  практически не исказилась, что привело к тому, что комета очень быстро опять вернулась на орбиту резонанса среднего движения.

Таким образом, захват на галлеевские орбиты состоит из двух стадий. На первой стадии динамической эволюции кометы захватываются на короткопериодические орбиты. Захват на короткопериодические орбиты осуществляется в результате планетных возмущений с помощью либо диффузационного

механизма Штейнса [3,4], либо механизма тесных сближений Казимирачак-Полонской [1,2]. Возмущения от Галактики переводят почти параболические кометы вглубь планетной области, где они попадают под влияние Юпитера.

После захвата на короткопериодические орбиты, кометы, в результате возмущений от планет - гигантов, постепенно подтягиваются к внутренней части планетной области и переходят на галлеевские орбиты. Причем для данной стадии динамической эволюции комет характерны сильные вековые возмущения. Среднее время трансформации короткопериодических орбит в галлеевские составляет  $\sim 10^6$  лет. Основное значение в захвате комет с короткопериодических орбит на орбиты галлеевского типа принадлежит Юпитеру. Захват на галлеевские орбиты происходит следующим образом:

1. Кометы захватываются на короткопериодические орбиты с перигелийным расстоянием за орбитой Юпитера. В результате вековых возмущений происходят осцилляции перигелийного расстояния орбит комет. Это приводит к тому, что орбита кометы может оказаться вблизи орбиты Юпитера, который переводит ее на орбиту с меньшим значением перигелийного расстояния и постепенно переводит на галлеевскую орбиту. На этом этапе вековые возмущения продолжают оказывать влияние на динамическую эволюцию комет. Захват происходит без тесных сближений комет с Юпитером.
2. Кометы захватываются из облака Оорта на короткопериодические орбиты с перигелием вблизи орбиты Юпитера. Кометы практически сразу оказываются под сильным влиянием Юпитера. Переход на галлеевские орбиты происходит либо в результате тесных сближений с Юпитером, либо, в результате механизма диффузии в сочетании с вековыми возмущениями.
3. Возможно диффузионное изменение перигелийного расстояния орбит короткопериодических комет. Однако скорость изменения  $q$  очень мала. Если исключить влияние вековых возмущений и тесных сближений с планетами, в результате диффузионных изменений перигелийных расстояний кометы окажутся на галлеевских орbitах не ранее чем через 5000 оборотов. В работе [9] было получено, что перейти на галлеевские орбиты могут только те кометы, у которых значение перигелийного расстояния в момент захвата на короткопериодические орбиты было  $q < 13$  а.е..

Таким образом, процесс перехода комет с короткопериодических орбит на галлеевские происходит очень медленно, через промежуточные динамические стадии движения комет на орбитах резонансов

с планетами - гигантами (вековые резонансы, резонансы среднего движения), и на орбитах, вековых либраций и осцилляций. Вековые возмущения играют важную роль в динамической эволюции короткопериодических орбит, в том числе и комет галлеевского типа [13]. Вековые возмущения способствуют сохранению комет на орбитах, с которых возможен захват на орбиты галлеевского типа. Благодаря тесным сближениям с планетами - гигантами кометы могут быстро переходить к области орбит галлеевского типа. Например, как следует из анализа рисунка 2а. комета достаточно долго двигалася на орбитах резонансов, пока в результате тесного сближения с Юпитером у него не произошло резкое уменьшение перигелийного расстояния орбиты с 5,2 а.е. до 2 а.е.

### 3.2 $q$ - захват

При  $q$ -захвате на первом этапе динамической эволюции кометы переходят на орбиты с малым перигелийным расстоянием ( $q < 1,5$  а.е.). Захват комет происходит очень быстро по причине сильного влияния возмущений от Галактики, способных переводить перигелии кометных орбит глубоко в планетную область. В результате чего кометы очень быстро оказываются на орбитах с малым значением перигелийного расстояния, где очень сильны возмущения от Юпитера.

На втором этапе динамической эволюции в результате возмущений от Юпитера орбиты комет трансформируются в галлеевские. На этом этапе действует классический механизм диффузии больших полуосей Штейнса [3,4]. Перигелийные расстояния орбит практически не меняются. Уменьшение больших полуосей орбит комет происходит очень быстро по причине сильных возмущений от Юпитера. По этой причине очень мало комет захватывается на галлеевские орбиты таким способом. Почти все кометы, оказавшиеся на орбитах с  $q < 1,5$  а.е. выбрасываются на гиперболические орбиты. Вековые возмущения для данного способа захвата не характерны. Они реализуются в том случае, если кометы движутся вблизи галлеевских орбит. Совместное действие возмущений от Галактики и Юпитера обеспечивает относительно быстрый захват комет на галлеевские орбиты с помощью этого способа. Среднее время захвата на галлеевские орбиты как с помощью а - захвата, так и с помощью  $q$  - захвата одного порядка. Однако среднее количество оборотов, необходимое для а - захвата на галлеевскую орбиту примерно в 25 раз больше, чем для  $q$  - захвата. Это объясняется тем, что кометы, попадающие на галлеевские орбиты с помощью  $q$  - захвата продолжительное время остаются на сильно эллиптических орбитах с боль-

шим периодом обращения вокруг Солнца. С другой стороны, короткопериодические кометы переходят на орбиты галлеевского типа в среднем за  $10^6$  лет, в то время как кометы, захваченные на орбиты с  $q < 1,5$  а.е., переходят на галлеевские орбиты за  $10^5$  лет, поскольку при а-захвате трансформация короткопериодических орбит в галлеевские сопровождается продолжительным движением на орбитах резонансов и вековыми либрациями и осцилляциями.

#### 4. Заключение

Таким образом, существует два способа захвата комет из почти параболического потока на орбиты галлеевского типа, которые можно назвать – и  $q-$ . Эти способы захвата отличаются не только скоростью захвата на орбиты галлеевского типа, но и разными динамическими механизмами, работающими при захвате: механизм диффузии, тесные сближения с планетами-гигантами, вековые либрации и резонансы, резонансы среднего движения. Мы показали, что вековые возмущения оказывают заметное влияние на динамическую эволюцию комет и способствуют переводу орбит короткопериодических комет с перигелиями во внешней планетной области в область малых перигелиев.

*Благодарности.* Выражаю благодарность В.В. Емельяненко за обсуждение и ценные рекомендации. Работа поддержана грантом РФФИ 06-02-16512.

#### Литература

- Казimirchak-Полонская Е.И.: 1978, *Астрономия и небесная механика*, **7**, 340.  
 Казimirchak-Полонская Е.И.: 1978, *Астрономия и небесная механика*, **7**, 384.  
 Штейнс К.А.: 1961, *АЖ*, **38**, 107.  
 Штейнс К.А.: 1964, *Уч. Зап. Латв. Гос. Унив.*, **68**, 39.  
 Emel'yanenko V.V.: 1999, in: *Evolution and Source Regions of Asteroids and Comets, Proc. IAU Coll. 173*, 339.  
 Levison H.F., Dones L., Duncan M.J.: 2001, *AJ*, **121**, 2253.  
 Levison H.F., Morbidelli A., Dones L., et al.: 2002, *Scince*, **296**, 2212.  
 Napier W.M., Wickramasinghe J.T., Wickramasinghe N.C.: 2004, *MNRAS*, **355**, 191.  
 Бирюков Е.Е.: 2007, *Астрон.В.*, **41**, 232.  
 Byl J.: 1983, *The Moon and Planets*, **29**, 121.  
 Byl J.: 1986, *Earth, Moon and Planets*, **36**, 262.  
 Duncan M., Quinn T., Tremaine, S.: 1987, *AJ*, **94**, 1330.  
 Bailey M.E. and Emel'yanenko V.V.: 1996, *MNRAS*, **278**, 1087.

# EURO-ASIAN COLLABORATION FOR GAMMA-RAY BURST OPTICAL OBSERVATIONS

## ЕВРО-АЗИАТСКОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО НАБЛЮДЕНИЮ ОПТИЧЕСКИХ ТРАНЗИЕНТОВ ГАММА-ВСПЛЕСКОВ

A.S. Bogdanov<sup>1</sup>, S.S. Guziy<sup>1</sup>, A.J. Castro-Tirado<sup>2</sup>, A. de Ugarte Postigo<sup>2</sup>,  
J. Gorosabel<sup>2</sup>, M. Jelinek<sup>2</sup>, V.V. Sokolov<sup>3</sup>, T.A. Fatkhullin<sup>3</sup>, I.M. Kheifets<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kalinenkov Astronomical Observatory, Nikolaev State University  
Nikolskaya 24, Nikolaev, 54030 Ukraine

<sup>2</sup> Istituto de Astrofisica de Andalucia (IAA-CSIC)  
PO Box 3004, 18080 Granada, Spain

<sup>3</sup> Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sci. (SAO-RAS)  
Nizhnij Arkhyz, Karachai-Cirkassian Republic, 369167 Russia

**ABSTRACT.** Gamma-ray burst (GRB) very interesting objects in Universe. In the study of gamma-ray burst is very important operative observations with many points in first day and other days after the burst. INTEGRAL, HETE-II and specially SWIFT era is going to leave a considerable number of detections that will allow to do important statistical analysis. We present information about Euro-Asian collaboration for GRB optical observations. To our group included researchers from: Spain, Ukraine, Russia, India, New Zealand and Czech Republic. The instruments which we using for observation have a diameter from 60cm to 6m. Optical and NIR observations are more important.

**Key words:** gamma rays: bursts - techniques: observations

### 1. Введение

Гамма-всплески вот уже сорок лет активно изучаются в современной астрофизике.

Космические гамма-всплески это нерегулярные кратковременные импульсы фотонов с энергией 10 кэВ - 10 ГэВ. Исследование спутником CGRO в 1991 году более 2000 событий (эксперимент BATSE) показало изотропное распределение всплесков на небесной сфере.

Продолжительности гамма-всплесков составляют времена от сотых долей секунды до сотен секунд (Paciesas et al., 1999). По длительности и средним спектральным характеристикам гамма-всплески делятся на два класса: короткие ( $T < 2c$ ), имеющие

жесткий спектр, и длинные ( $T > 2c$ ), с более мягким спектром. Всплесков второго класса насчитывается около 70%.

Некоторые авторы предполагают существование третьей (Meszaros et al., 2000), так называемой промежуточной группы.

Кривые блеска регистрируемые гаммателескопами имеют вид как однопиковой, так и многопиковой временной структуры разной продолжительности и интенсивности.

До сих пор природа вспышек не ясна. Что является центральным генератором вспышек и как далеко они могут быть обнаружены?

### 2. Космические миссии

В настоящее время, астрономы получают данные о всплесках со спутников: НЕТЕ-II, международной обсерватории INTEGRAL, гамма-обсерватории SWIFT. Количество зарегистрированных всплесков и год запуска проекта приведены в Таблице 1.

Гамма-обсерватория SWIFT является самым молодым проектом. Среди главных открытий SWIFT, это локализация коротких гамма-всплесков в галактиках различных морфологических типов и открытие вспышек рентгеновского излучения в ранних ореолах большинства гамма-всплесков.

Таблица 1. Космические миссии по исследованию гамма-всплесков

Название	Год запуска	Количество гамма-всплесков на 01.08.07
HETE-II	2000	84
INTEGRAL	2002	287
SWIFT	2004	269

### 3. Оптические послесвечения и особенности их наблюдения

Первое оптическое послесвечение было обнаружено для GRB 970228.

Сейчас известно, что у 40% гамма-всплесков (Frail et al., 2003) регистрируются послесвечения. Оптические транзиенты имеют типичный блеск для полосы R от  $\sim 18^m$  и слабее, и наблюдаются от нескольких минут, часов до нескольких месяцев после регистрации всплеска.

Плохо изучены темные или “призрачные”, гамма-всплески. Приблизительно у 60% событий не обнаруживается оптическое послесвечение, в то время когда оно наблюдается в рентгеновском или радио диапазонах (Reichart and Price, 2002; Fynbo et al., 2001; Berger et al., 2002; Lamb and Reichart, 2000).

Главной особенностью оптических послесвечений является их очень короткая продолжительность и быстрое падение блеска. Для построения моделей объясняющих природу всплесков, требуется продолжительный и плотный ряд наблюдений, а особенно, в первые минуты-часы после регистрации.

В рамках одной обсерватории обеспечить такие условия невозможно. Только совместная работа многих обсерваторий, с применением разных типов телескопов, для разных длин волн, может дать нужный результат. В помощь большим телескопам создаются малые роботизированные комплексы мгновенного реагирования, например проект BOOTES (Burst Observer and Optical Transient Exploring System).

С целью оперативных наблюдений оптических транзиентов гамма-всплесков была создана Евро-Азиатская группа, координацию работ которой осуществляет Институт астрофизики Андалусии (Испания). Сейчас в совместных наблюдениях принимают участие более 10 обсерваторий и задействовано около 20 телескопов, что позволяет обеспечить обнаружение оптического транзиента и получение практически непрерывного ряда наблюдений для построения кривой блеска в первые минуты, часы, дни и месяцы после вспышки.

#### 3.1 Некоторые результаты работы группы

На сегодняшний день Евро-Азиатская коопeração показала свою эффективность. Проведено большое количество совместных наблюдений различных вспышек (например: GRB 021004, 030329, 060218).

Для GRB 021004 наблюдения проводились в течение более чем 1 года. Было задействовано несколько телескопов из разных стран мира: 2.2m САНА (Испания), Mt.John (Новая Зеландия), 6m БТА (Россия) и др. Полученные данные позволили построить достаточно подробную кривую блеска объекта (de Ugarte Postigo et al., 2005).

Изучение GRB 030329 велось на протяжении от 0.01 до 250 дней в разных диапазонах спектра при участии более 12 телескопов. Данные наблюдений совместно с результатами других авторов позволили получить кривую блеска от рентгеновского до радио диапазона и выполнить построение модели для послесвечения (Guziy et al., 2008).

В результате поляризационных исследований гамма-всплеска GRB 060218 (Gorosabel et al., 2006) был получен плотный ряд наблюдений от 3 до 39 дней после всплеска. Наблюдения выполнялись при участии телескопов: 2.2m САНА, 2.5m NOT (Испания), AZT-8 (Украина).

### 4. Заключение

Будущие исследования гамма-всплесков будут идти по таким направлениям как, статистические исследования и изучение родительских галактик. Это требует расширения наблюдательной сети с привлечением новых обсерваторий, телескопов и совершенствование методов наблюдений и обработки полученных результатов.

*Благодарности.* Авторы благодарят государственный фонд фундаментальных исследований Украины за оказанную финансовую поддержку (грант Ф25.2/105).

### Литература

- Berger E., Kulkarni S.R., Bloom J.S. et al.: 2002, *ApJ*, **581**, 981.  
 de Ugarte Postigo A., Castro-Tirado A.J., Gorosabel J., et al.: 2005, *A&A*, **443**, 841.  
 Frail D.A., Yost S.A., Berger E. et al.: 2003, *ApJ*, **590**, 992.  
 Fynbo J.U., Jensen B.L., Gorosabel J. et al.: 2001, *A&A*, **369**, 373.  
 Gorosabel J., Larionov V., Castro-Tirado A.J. et al.: 2006, *A&A*, **459**, 33.  
 Guziy S.S., Gorosabel J., Castro-Tirado A.J. et al.: 2008, *A&A*, in preparation  
 Lamb D.Q., Reichart D.E.: 2000, *AIP Conf.Proc.*, **662**, 433.  
 Meszaros A., Bagoly Z., Horvath I., et al.: 2000, *ApJ*, **539**, 98.  
 Paciesas W.S., Meegan C.A., Pendleton G.N. et al.: 1999, *ApJ. Suppl.*, **122**, 465.  
 Reichart D.E., Price P.A.: 2002, *ApJ*, **565**, 174.

# EVIDENCES OF SURFACE DIFFERENTIAL ROTATION IN THE RED DWARF PZ MON

## СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ КРАСНОГО КАРЛИКА PZ MON

N.I. Bondar<sup>1</sup>, V.V. Prokof'eva

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”  
п. Научный, 98409, Ukraine, *bondar@crao.crimea.ua*

**ABSTRACT.** Photometric behavior of the active red dwarf PZ Mon (K2e) is studied using *UBVRI* observations obtained with 1.25 m telescope of the SRI “Crimean Astrophysical Observatory” in 1992–2004 and *V*-data from the ASAS catalogue obtained in 2000–2006. Frequency analysis of the full *V*-data and colour indices has shown the existence of close periods –  $2429^d$  and  $2500^d$ , respectively. Supposing that the star’s surface is covered by spots a long-term variability has been explained as changes of stellar activity during 6.5 years. After subtraction of slow periodicity some periods in the range of  $25^d$ – $56^d$  with amplitudes more than  $4\sigma$  were found. Period  $P = 34^d$  persisted at the whole interval of observations and at the short selected intervals and perhaps it is likely close to the rotation period of the star. Steady phase of this period indicates the existence of an active longitude where spots are generated. Assuming that some periods in the light curve and colour oscillations are produced by changes in latitude of spots we interpreted this as an influence of differential rotation of the star.

Прослежен характер переменности активного красного карлика PZ Mon (K2e), вызванный присутствием пятен на ее поверхности, процессами их образования и разрушения. Использованы *UBVRI*-наблюдениям 1992–2004 гг., выполненным на 125-см телескопе АЗТ-11 НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”(КраО), и по *V*-данным из каталога ASAS за 2000–2006 гг. Частотный анализ показал, что изменения блеска и цвета происходят с близкими значениями периодов –  $2429^d$  и  $2500^d$  соответственно. Сделано предположение, что долговременная переменность отражает изменения состояния активности звезды с периодом около 6.5 лет. После вычитания долговременных колебаний найдено несколько периодов в диапазоне  $25^d$  –  $56^d$  с амплитудой выше  $4\sigma$ . Период  $P = 34^d$ , который присутствует на всем интервале и в отдельные сезоны, по-видимому, близок к периоду вращения

звезды. Сохранение фазы этого периода указывает на наличие активной долготы образования пятен. Сделано предположение, что появление нескольких периодов колебаний блеска и показателей цвета вызвано изменением широты пятен вследствие дифференциального вращения звезды.

Изучение особенностей дифференциального вращения у звезд нижней части ГП дает возможность установить вклад дифференциального вращения, наряду с конвекцией и турбулентией, в процессы генерации магнитного поля и развития магнитной активности. Обнаружить дифференциальное вращение у звезд возможно по меняющейся картине распределения активных областей, полученной методом допплеровского картирования, а также по изменениям их периодов вращения, выявленным по результатам широкополосной фотометрии или спектрофотометрическим измерениям потока в линиях Н и К Ca II. Вследствие дифференциального вращения у звезд, как и у Солнца, средняя широта активных областей меняется, а следовательно, будет меняться значение наблюдаемого периода вращения. Обнаружить такие изменения можно по многолетним рядам наблюдений.

Фотометрическое поведение PZ Mon прослежено в полосах *UBVRI* с 1992 г. по 2004 г. Наблюдения выполнены на 1.25-м телескопе НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория” с помощью пятиканального фотометра-полариметра. Изменения блеска и цвета звезды в этот период составляли  $0^m.1$ – $0^m.2$ . Предполагая, что малоамплитудная переменность вызвана наличием пятен на поверхности звезды, Алексеев и Бондарь (2006) нашли, что это холодные пятна, температура которых около  $2700^\circ$  К. Пятна занимают от 17 до 30 % площади видимой поверхности, максимальный уровень запятненности наблюдался в 1992 г. и в 2000 г.

В настоящей работе представлены и обсуждаются

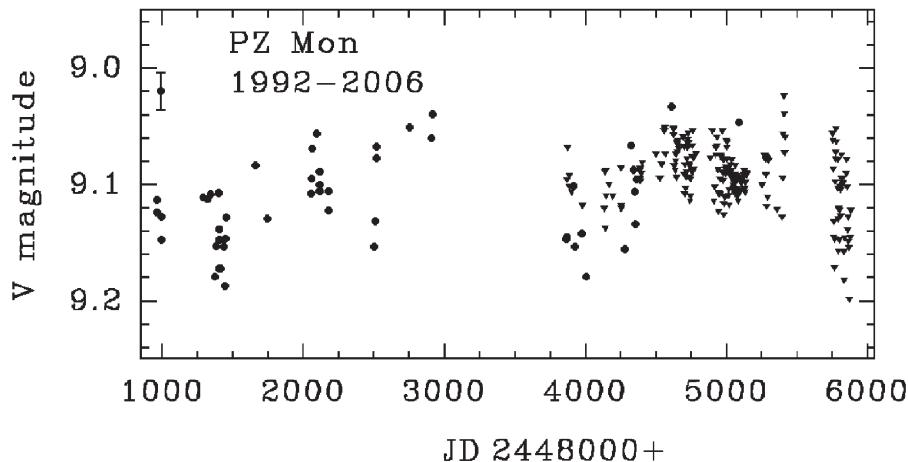


Рис. 1: Кривая блеска PZ Mon в полосе  $V$  в 1992–2006 гг. по данным наблюдений КРАО (черные кружки) и ASAS (черные треугольники).

результаты поиска периодов вращения у красного карлика PZ Mon. Период вращения у этой звезды не был определен ранее. Первая оценка, согласно которой  $P=14^d.2$ , получена по измерениям в 1992–2004 гг. в полосе  $U$  (Бондарь, Прокофьев 2005). Этот результат, естественно, нуждается в проверке по более плотным сезонным рядам, которые мы смогли получить для полосы  $V$ , дополнив наши наблюдения данными за 2000 – 2006 гг., размещенными в базе данных ASAS ([www.astrow.uw.edu.pl](http://www.astrow.uw.edu.pl)). Таким образом, здесь для поиска периода образован новый ряд в полосе  $V$ , содержащий 257 измерений на интервале в 4918 дней (рис. 1), в остальных полосах используются крымские наблюдения 1992 – 2004 гг., интервал наблюдений – 4128 дней.

Поиск периода вращения выполнен на всем интервале и на отдельных коротких интервалах интервалах в 1–3 года, содержащих достаточное число данных. Использовались методика и программы, описанные Бондарь и Прокофьевой (2006). На рис. 2. приведены результаты частотного анализа всех  $V$ -данных (верхняя кривая) и последовательного применения процедуры отбеливания за наиболее значимые частоты, соответствующие периодам  $2429^d$  и  $34^d.26$ .

Период  $34^d.26$  обнаружен на всем интервале наблюдений и на интервалах, относящихся к первым годам наблюдений в КРАО и данным ASAS в 2000–2006 гг. Колебания с этим периодом устойчивы, их фаза сохранялась все годы наблюдений, но амплитуда изменялась. На верхнем графике рис. 3 представлены три интервала наблюдений в полосе  $V$ , полученные в 2002–2004 гг. и в 2006 г. Точки показывают среднее значение блеска в даты наблюдений, для наглядности они соединены пунктирной линией. В 2003–2004 гг. значение амплитуды  $0^m.03$  сохранялось около 140 суток, затем, в течение 100 суток, ко-

Таблица 1: Фотометрические периоды PZ Mon, наблюдавшиеся в 1992–2006 гг. диапазоне  $25^d - 56^d$

Р	Даты (дни)	Интервал JD244...+ (дни)	Число данных	Тип данных	Ампли- туда
25.5	48962–53090	4128	187	B-V, U-B	$4\sigma$
28.5	48293–49453	160	177	U-полоса	$7\sigma$
34.2	52621–52770	149	42	V- полоса	$8\sigma$
	52885–53144	259	75	V- полоса	$8\sigma$
	52623–53144	521	116	V- полоса	$8\sigma$
	53250–53876	626	55	V- полоса	$8\sigma$
	52623–53876	1253	171	V- полоса	$6\sigma$
	51868–53411	1543	164	V- полоса	$4\sigma$
	48962–53880	4918	257	V- полоса	$5\sigma$
40.3	48962–53880	4918	257	V- полоса	$4\sigma$
56.6	48962–53090	4128	187	U-B	$6\sigma$

лебания ослабели, амплитуда уменьшилась настолько, что их регистрация стала невозможной. В 2006 г. амплитуда переменности блеска возросла до  $0^m.07$ . На трех нижних графиках рис. 3 показаны результаты поиска периодов по данным за 2002–2006 гг. с применением трех методов: Лафлера–Кинмана (верхний график), Юркевича (средний), Диминга (нижний); пик с наибольшим значением вероятности соответствует периоду  $34^d$ . Свертки данных с этим периодом приведена на рис. 4. Такие свертки были построены для всего ряда наблюдений и отдельных интервалов.

По результатам анализа показателей цвета за 1992–2004 гг. уверенно выявлены долговременные изменения с периодом около 2500 дней, что согласуется с найденным по кривой блеска периодом  $P = 2429^d$ . Этот период близок к характерному времени изменения площади запятненной поверхности, т.е. отражает изменения уровня активности звезды и, возможно, свидетельствует о цикле активности

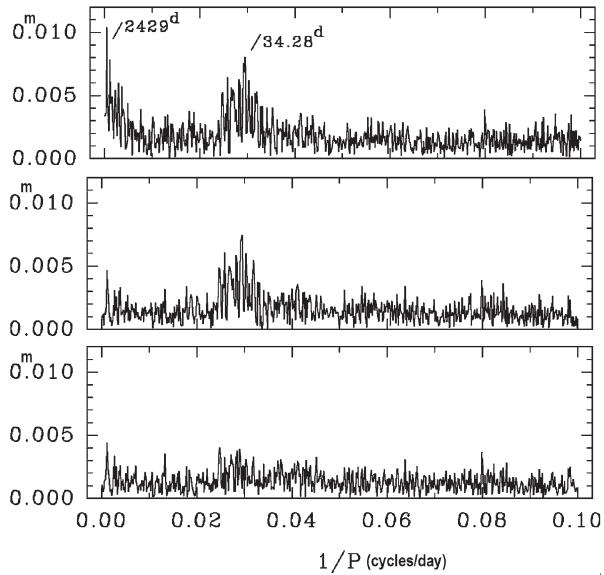


Рис. 2: Применение процедуры отбеливания для поиска значимых периодов. Найденные периоды указаны на верхнем графике.

длительностью 6.5–8 лет.

После вычитания периода долговременной переменности найдено несколько значений периодов в интервале 25–56 дней. Они внесены в таблицу 1, где в столбцах по порядку приведены: значения периодов, начальная и конечная даты интервала, на котором выполнен поиск периодичности, его длительность в днях, число данных, тип данных, отношение амплитуды периодического сигнала к ошибке ее определения.

Уверенное обнаружение периода  $34^d$  на избранных интервалах и по всему 14-летнему ряду наблюдений дает основание предположить, что это значение близко к периоду вращения звезды. Присутствие этого периода на всем интервале наблюдений, несмотря на существенные пробелы, означает сохранение фазы колебаний, а следовательно, и существование определенной активной долготы, где образуются пятна. Изменение размеров пятен или их разрушение происходит через 5–7 оборотов, что приводит к переменной амплитуде колебаний блеска.

Обнаружение нескольких периодов в интервале 25–56 суток мы рассмотрели как свидетельство появления пятен на разной широте и предположили, что смещения по широте в значительной мере вызваны эффектом дифференциального вращения звезды. Полученные результаты мы сравнили с опубликованными в статье Donahue et al. (1996). Авторы этой работы выполнили поиск периодов вращения для 100 F-G-K карликов и Солнца. Исходными данными были многолетние ряды наблюдений активных областей в линиях H и K Ca II, к кото-

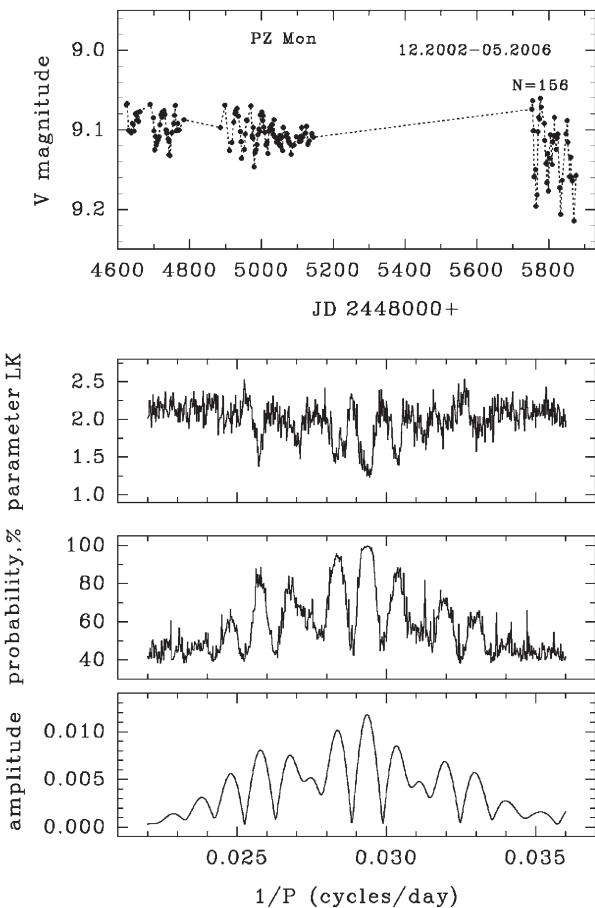


Рис. 3: Результаты частотного анализа, примененного к рядам наблюдений 2002–2006 гг.

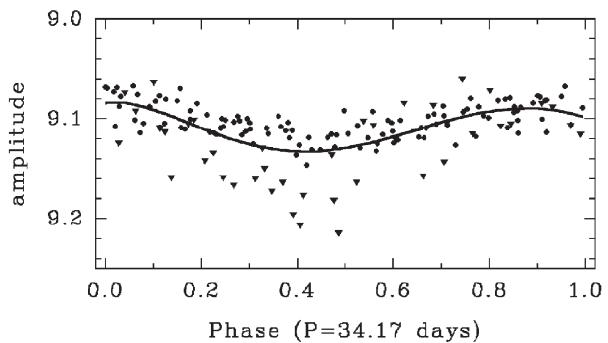


Рис. 4: Фазовая кривая блеска для  $P = 34^d$  построена по данным 2002–2006 гг. Сплошная линия – полином 5-й степени, данные за 2002–2004 гг. отмечены зачерненными кружками, за 2006 г. – треугольниками.

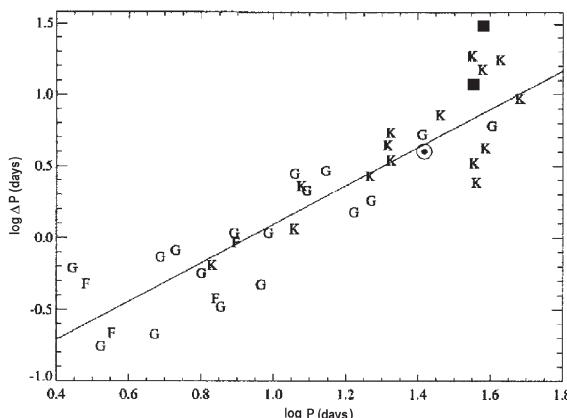


Рис. 5: Связь между наблюдаемыми периодами вращения и средним значением периода вращения, полученная Donahue R.A. et al. (1996) для F-G-K-карликов. Положение Солнца отмечено кружком с точкой, два варианта положения PZ Mon – зачерненными квадратиками.

рым был применен периодограммный анализ. Сначала, для проверки методики поиска, они определили по нескольким последовательным сезонам периоды вращения у Солнца, затем этот метод применили к анализу данных по звездам, предполагая, что разница значений наблюдаемых периодов вращения, как и на Солнце, обусловлена изменением широты активных областей вследствие дифференциального вращения.

Для 36 звезд с уверенно найденной вращательной модуляцией была рассмотрена связь между интервалом значений наблюдаемых периодов вращения, спектральным классом и средней величиной вращения. Результат представлен на рис. 5, где разность наблюдаемых периодов  $\Delta P = P_{max} - P_{min}$  сопоставлена со средним вращением  $\langle P \rangle$ . Полученная зависимость  $\Delta P \sim \langle P \rangle^{1.3}$  справедлива для звезд рассмотренных спектральных классов, включая Солнце. Наблюдаемые изменения периодов  $\Delta P$  у звезд могут быть такими же, как у Солнца (15 %), но у некоторых K-звезд составляют более 50 %. Для звезды PZ Mon мы получили, что  $\Delta P / \langle P \rangle = 0.87$ ,  $\lg \Delta P = 1.49$ ,  $\lg \langle P \rangle = 1.57$ . На рис. 5 ее положение отмечено зачерненным квадратиком.

Соответственно этим значениям звезда попадает в группу красных карликов где разброс относительно приведенной зависимости становится заметным. Если предположить, что период 56 дней является кратным 28-дневному значению периода и исключить его из рассмотрения, то максимальным будет период 40 дней (см. табл. 1), и тогда  $\Delta P / \langle P \rangle = 46\%$ ,  $\lg \Delta P = 1.17$ ,  $\lg \langle P \rangle = 1.51$ , что хорошо согласуется с зависимостью для исследованных звезд ГП.

Полученные нами результаты дают основание предположить наличие дифференциального вращения у звезды PZ Mon. Найденный ранее период 14 дней является гармоникой 28-дневного периода, а не периодом вращения. Наблюдаемый в течение 14 лет устойчивый период 34 дня можно считать близким к периоду осевого вращения звезды. Дальнейшее изучение этого вопроса требует длительных и плотных рядов наблюдений.

Авторы выражают глубокую благодарность Р.Е. Гершбергу за интерес к работе и полезные замечания к тексту и Б.А. Бурнашевой за помощь в подготовке текста к печати.

## Литература

- Alekseev I.Yu., Bondar' N.I.: 2006, *Astron. Astrophys. Transac.*, **25** (2–3), 247.  
 Бондарь Н.И., Прокофьева В.В.: 2005, *Труды ГАИШ*, **78**, 64.  
 Бондарь Н.И., Прокофьева В.В.: 2006, *Астрономический журнал*, **83**, 1.  
 Donahue R.A., Saar S.H., Baliunas S.L.: 1996, *Astrophys. J.*, **466**, 384.

OBSERVATIONS OF VARIABLE STARS WITH SMALL  
TELESCOPES

НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЁЗД МАЛЫМИ  
ИНСТРУМЕНТАМИ

ИЛИ

СИЛА ПРИМЕРА И ВОЗМОЖНОСТИ ЛЮБИТЕЛЯ  
АСТРОНОМИИ

I.S.Bryukhanov

Заочный астрономический клуб "Бетельгейзе" УО "РЦТТУ",  
220023, ул. Макаёнка-12, 316, 318 к., Минск, Белоруссия

*Памяти Николая Ефимовича Курочкина*

В 1996 исполнилось 400 лет со дня открытия в 1596 году Давидом Фабрициусом переменности Миры Кита. Эту дату можно считать моментом открытия европейского понятия "переменная звезда". 210 лет назад умер от переохлаждения во время наблюдений один из талантливейших первых наблюдателей переменных звезд поставивших на научную основу их систематические наблюдения Джон Гудрик занимавшийся в сущности любительскими наблюдениями совместно с Эдуардом Пиготтом. Оба наблюдателя за несколько лет систематических наблюдений открыли переменность  $\beta$  Lyr,  $\delta$  Cep,  $\eta$  Agl,  $\lambda$  Tau, R CrB. Дж.Гудрику принадлежит также впервые высказанная идея о затмениях как возможной причине переменности  $\beta$  Per.

С точки зрения сегодняшнего дня, первые наблюдатели переменных звезд вели простейшие визуальные наблюдения ярких объектов. Хотя сейчас астрономические обсерватории обладают совершенной техникой, простейшие наблюдения переменных звезд могут принести реальную пользу науке.

Принято считать, что яркие звезды уже достаточно изучены, и любителю астрономии со скромными инструментами остается их только наблюдать. Но и здесь, как ни удивительно, имеется простор для открытий. Это подтверждают интересные сообщения наблюдателей, в частности тех, кто занимается изучением переменных звезд. В 90-х годах любители астрономии открыли цефеиду СК Сам с амплитудой 7.0-7.8 величины! В 2007 автор статьи и наблюдатели группы "Бетельгейзе" начал наблюдения СК Сам для исследования её периода (рис. 1).

Вот некоторые примеры открытий переменных звёзд любителями астрономии ...

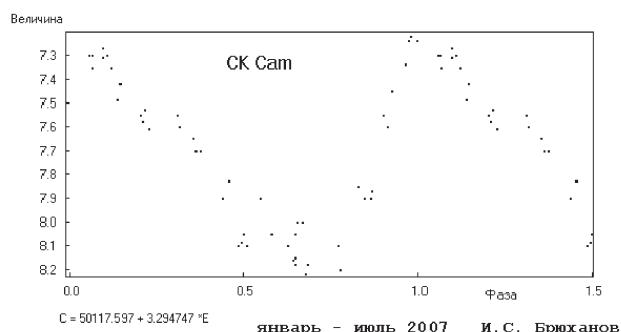


Рис. 1:

Английский любитель астрономии Джордж Олкок выдвинул гипотезу о том, что большинство вспышек новых звезд с максимальным блеском в пределах 5-8 величины проходит незамеченным. По его мнению, это связано, во-первых, с тем, что для невооруженного глаза новая звездочка 5 величины практически неприметна. Во-вторых, астрономы фотографируют небо на крупных телескопах, и в большинстве случаев поле зрения их не более 10x10 градусов или меньше; в связи с длительными экспозициями (30-90 мин.) для получения на фотографиях звезд до 17-18 величины они могут сфотографировать не более 8-12% видимого в звездную ночь неба.

25 марта 1991г., просматривая перед восходом

Солнца небо в бинокль 10x50, Олкок обнаружил Новую звезду в созвездии Геркулеса. Это было его пятое открытие новой взрывной звезды. Чуть позже о ней сообщил японский астроном-любитель Мацуо Сугано, найдя ее на узкоформатных негативах при проведении патрульной съемки неба.

Методика изучения неба, которую разработал Олкок, привлекает своей простотой. Чтобы сделать открытие, считает он, не нужно ничего, кроме бинокля, карты неба и... терпения. Последнее – самое важное в поисках новых звезд.

Первые результаты у Олкока появились после нескольких лет скрупулезного изучения созвездий. В итоге, проводя наблюдения с конца 50-х гг., он открыл 5 новых комет, 6 Новых взрывных звезд и вспышку повторной Новой RU Oph.

Японский любитель астрономии Мацуо Сугано, систематически фотографируя звездное небо с помощью узкоформатной камеры, первым нашел вспыхнувшую в июне 1993 г. Новую звезду в созвездии Орла, а в декабре 1993 г. – еще одну Новую в Кассиопее.

Визуальные наблюдения звезд наиболее оперативны. Но фотографирование звездного неба, если оно проводится систематически и с фиксацией моментов и участков съемок, несмотря на то, что это дорогое удовольствие, наиболее ценно: это уже документ. Один негатив таковым еще не является, а вот 30 и более негативов, на которых запечатлен один и тот же участок неба, при условии, что любитель записывал номер участка, дату и время экспозиции, представляет ценную научную информацию.

Так же огромную популярность с начала XXI века приобрели CCD-фотометрические наблюдения переменных звезд, так как их бесспорные преимущества как в оперативности так и в объективности и документальности наблюдений.

Примером может служить открытие в сентябре 1989 г. новой затменной переменной звезды SAO 23229 в созвездии Персея. Ее обнаружил американский любитель Ден Кейзер. Он фотографировал небо обычным узкоформатным аппаратом, получая негативы до 10 величины. Кейзер приобрел известность открытиями 24 новых переменных звезд, которые он находил на своих негативах. Визуальные и фотонаблюдения SAO 23229 и исследование её периода проводятся с 1992 г. в Минске.

В 1991 г. на своих негативах Ден Кейзер открыл очередную новую затменную переменную звезду OW Gem. Она расположена северо-западнее  $\gamma$  Gem: амплитуда изменения блеска 8.2-10.0 величины, период 3.4458 года, спектр F2. Затмение длится в течение недели, но отношение 7 дней к 3.4458 года – это 0.0056 периода. Поймать такое затмение равносильно открытию Новой звезды. К тому же область  $\gamma$  Gem и OW Gem ежемесячно пересекает Луна. 12 февраля 1995 года предсказывался минимум

OW Gem. Звезда оценивалась до и после затмения, но погода в Минске в первой половине февраля 95 г. была неважной, и только 9 февраля удалось оценить OW Gem, ослабленную на 1 величину...

В Минске также с марта 1985 г. (а с 1998 г. на 55 км южнее Минска в городке Марьина Горка) фотографируется небо с целью открытия различных типов новых переменных звезд. На этот "поп-диг" наставил меня в 80-х годах один из старейших советских астрономов ныне покойный Николай Ефимович Курочкин. Доклад ему посвящаю. Это один из примеров сотрудничества профессионалов с любителями астрономии.

Для фотографирования звездного неба был выбран фотоаппарат "Зенит" с объективом типа "Гелиос", лучший в 80-х годах. У "Гелиоса" площадь поля зрения  $23^\circ \times 32^\circ$ . Фотографирование проводится на экваториальной монтировке вручную.

На панхроматической фотопленке "Свема" 250 ед. ГОСТа с фильтром ЖЗ-1.4х и на несенсибилизированной фотопленке А-500 с фильтром УФ-1х можно получить даже в городских условиях негативы до 8,5-9,0 величины с короткими экспозициями 120-240 с. В мае 2007 г. объем Минской патрульной пленочной любительской фототеки (МППЛФ) достиг 17400 негативов. Это участки Млечного Пути от Змееносца и Щита до Малого Пса и Ориона – фотопрограмма "NOVA" – и фотопрограмма SPEZ (Spring, Polar, Equator, Zodiak) – фотографирование участков весеннего неба. Поскольку съемка проводится с короткими экспозициями (120-240 с) на экваториалах, то удается сделать много качественных фотографий, особенно в эпоху новолуния.

На негативах фототеки МППЛФ пока что было мало проведено исследований. Были предприняты попытки поиска Новых. Но такое весьма утомительное занятие не особенно привлекает – лучше проведение исследований уже открытых переменных звезд. Так, в среде профессиональных астрономов принято решение, что ранее существовавшее утверждение об открытии всех переменных ярче 10 величины ошибочно.

Из проведённых исследований и сделанных открытий на негативах МППЛФ и фотопластинках Одесской и Московской фототек приведу только 2 примера.

В Минске летом 1995 г. автор заметил ослабление блеска  $\delta$  (69) UMa в пределах 3.3-4.3 величины (продолжалось затмение около 4-х месяцев, кроме визуальных измерений явление запечатлено на 27 негативах программы SPEZ в фототеке МППЛФ) (рис. 3). 17 августа минские наблюдатели В.Аскирко, Д.Бабинович, Ю.Стригельский, Ю.Белецкий подтвердили ослабление блеска  $\delta$  (69) UMa. Задержки и отвратительная телекоммуникационная связь не дали своевременно сообщить о явлении в ГАИШ в Москву и в Одессу. 29 августа Ви-

талий Петрович Горанский на 0.7-метровом телескопе в Москве провел фотоэлектрические измерения блеска звезды, но она была уже в максимальном блеске. Позже В.П.Горанский подтвердил возможность затмений у  $\delta$  (69) UMa: в 20-х годах XX века японский астроном Накамура и в 1948 г. английский астроном Кемпбелл заподозрили в переменности эту звезду независимо друг от друга.

Одесский астроном Иван Леонидович Андronov срочно отправил сенсационное открытие белорусским любителям астрономии в электронный бюллетень VSNET и английский журнал "The Astronomer". В январе 1996 г. затмение звезды  $\delta$  (69) UMa летом 1995 г. подтвердил английский астроном Дж.Чемпион.

В 2003 г. в Одесской стеклотеке Иван С. Брюханов проводил измерения блеска заподозренной в переменности звезды GV Дракона. Привлекло внимание колебания блеска одной из звёзд расположенных на  $3^\circ$  восточнее. Иван Брюханов решил проверить по каталогам, что же это за переменная. Её не оказалось в широко распространённых каталогах.

Благодарю за помощь Николая Николаевича Са-муся. Он ответил: "Звезда есть в его каталоге точечных источников под названием IRAS 17583+5150, и в современной электронной версии этого каталога для нее дана вероятность переменности 68% (на самом деле это означает, что звезда действительно ЗАМЕТНО менялась в далеком инфракрасном диапазоне). Эта звезда также отождествляется с IRC +50 275 и с HD 164645 ... переменность этой звезды более чем правдоподобна и ожидаема, несмотря на отсутствие ее в каталогах переменных звезд".

Колебания блеска звезды IRC +50 275 очень за-вуалированы и сложны. По измерениям на фотопластинах Одесской фототеки удалось найти цикл 58-77 дней (рис. 2). На негативах Минской патрульной плёночной любительской фототеки (МППЛФ) в лучах V Александр Солонович подтвердил переменность и цикл колебания блеска звезды (рис. 4).

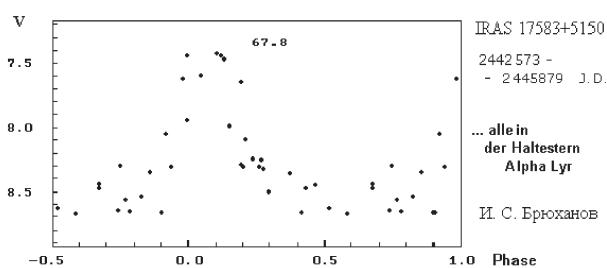


Рис. 2:

Теперь приведу отдельные примеры открытия переменности звезд средней яркости. Так в 1987 году K.P.Hertzog заметил, что  $\sigma$  Ori ( $V=3.73$ ) отсутствует в каталоге Птолемея, содержащем гораздо

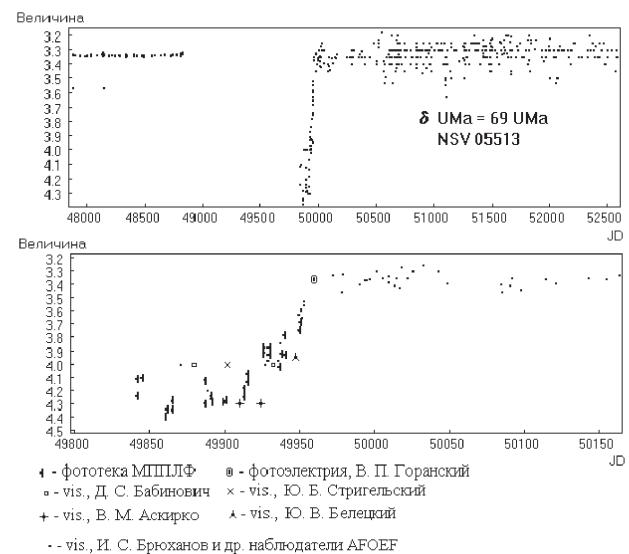


Рис. 3:

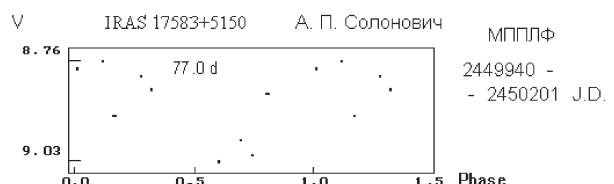


Рис. 4:

более слабые звезды. Ошибка? Но эта же звезда отсутствует и в независимом источнике – в старейших из сохранившихся записях китайских астрономов... А.В.Архипов в своей личной библиотеке обнаружил, что  $\sigma$  Ori также отсутствует в каталоге ас-Суфи (965 г.), в китайском звездном каталоге Хюанг-Ю (1052 г.) и даже в каталоге Н.Коперника (1473 г.)!.. Яркий фурор?!..

По данным А.В.Архипова в каталогах есть не менее 177 случаев прекращения и возобновления переменности звезд. Как ни парадоксально, яркие звезды явно "выпадают" из поля зрения наблюдателей.

Из статьи J.E.Gore "The Journal of the Liverpool Astronomical Society" (1887 г.) следует, что редкие глубокие затмения как будто наблюдались у таких "постоянных" звезд как  $\nu$  Cas,  $\xi$  Per, 65 Gem,  $\lambda$  Ser,  $\vartheta$  Ser (библиотека А.В.Архипова).

Для примера – графики визуальных наблюдений или отдельных их фрагментов приведены ниже до-клада (рис. 5-10).

Таким образом, имея бинокль, небольшой телескоп или фотоаппарат, наблюдатель, если он четко ставит задачи и цели по использованию возможностей своих инструментов и систематически их выполняет, может внести свой вклад в астро-

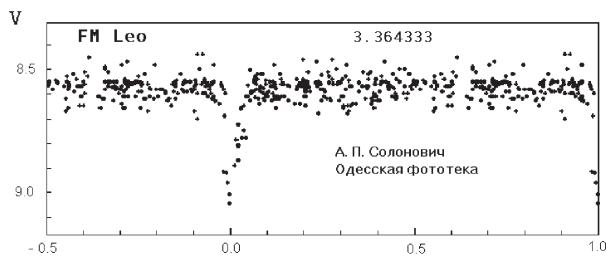


Рис. 5:

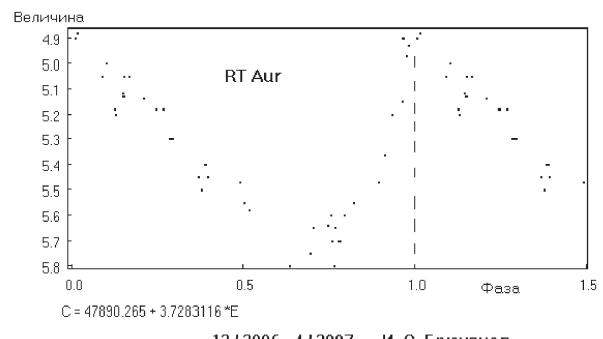


Рис. 7:

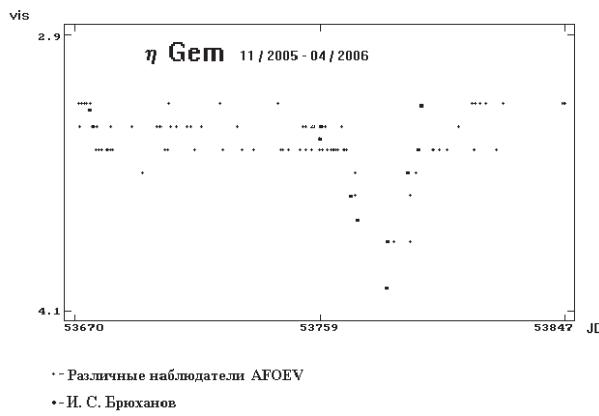


Рис. 6:

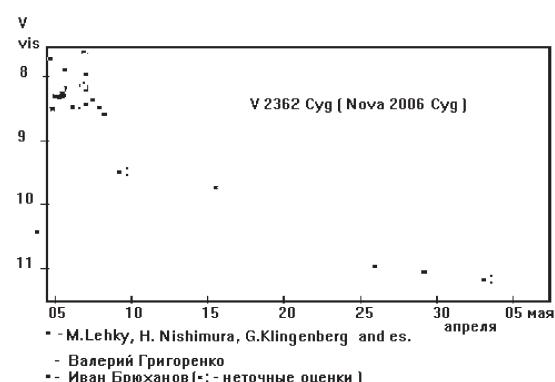


Рис. 8:

номию и даже сделать открытия. С небольшим инструментом можно успешно систематически наблюдать переменные звезды, и работа будет принята астрономами-профессионалами с большой признательностью.

### Литература

- Курочкин Н.Е.: 1981, *Астрономический календарь. Постоянная часть*, Изд. 7-е, М.: Наука, 422 с.  
 Цесевич В.П.: 1980, *Переменные звезды и их наблюдение*, М.: Наука.  
 Цесевич В.П.: 1984, *Что и как наблюдать на небе*, Изд. 6-е, М.: Наука.  
 Куликовский П.Г.: 1971, *Справочник любителя астрономии*, Изд. 4-е, М.: Наука.  
*Земля и Вселенная*, 6/1991, 79.  
*Земля и Вселенная*, 2/1991, 73.  
*Земля и Вселенная*, 3/1992, 72.

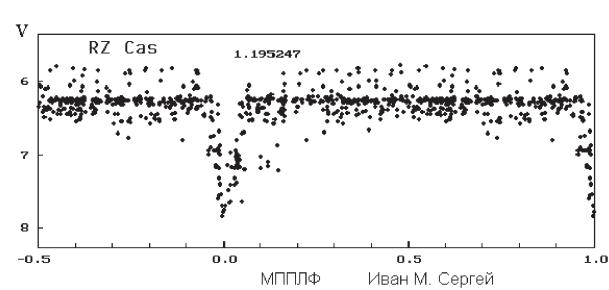


Рис. 9:

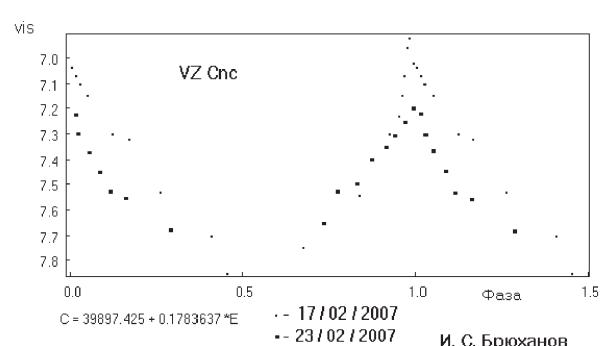


Рис. 10:

ELECTRONIC TEXTBOOK  
FOR AMATEUR ASTRONOMERS AND STUDENTS  
"BINARY STARS AND THEIR EVOLUTION"

ЭЛЕКТРОННОЕ МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ АСТРОНОМИИ И СТУДЕНТОВ  
"ДВОЙНЫЕ ЗВЕЗДЫ И ИХ ЭВОЛЮЦИЯ"

L.L. Chinarova

Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *chinarova@pochta.ru*

**ABSTRACT.** Electronic textbook for members and supervisors of the Youth Academy of Sciences; scholars and teachers; students of the first courses. Total volume of the printed version is 86pp. The textbook is devoted to 100-th Anniversary of Prof. V.P.Tsessevich (1907-1983). It contains the chapters: "Birth and Life of Stars"; "Main Types of Binary Stars and Their Characteristics"; "Complex Interactions in Close Binary Stars"; "Evolution of Binary Stars"; "Symbiotic Stars"; "Cataclysmic Variables"; "Literature". This textbook (in Russian) is freely accessible at the Internet site <http://chinarova.pochta.ru>.

Электронное учебное пособие для членов и руководителей Малой Академии Наук, школьников и учителей, студентов младших курсов общим объемом 86с., посвященное 100-летию с дня рождения В.П.Цесевича (1907-1983). Пособие содержит разделы: "Рождение и жизнь звезд"; "Основные типы двойных звезд их характеристики"; "Сложные взаимодействия в тесных двойных звездах"; "Эволюция двойной системы"; "Симбиотические звезды"; "Катализмические переменные"; "Литература". Пособие бесплатно доступно на Интернет-сайте <http://chinarova.pochta.ru>.

**Key words:** Stars: binary: (Evolution; Eclipsing; Symbiotic; Cataclysmic).

В настоящее время, когда занятия по астрономии в большинстве школ практически не проводятся, существует необходимость в создании научно-популярной литературы по астрономии, в том числе и более специализированной, чем учебник. Такая

литература, изложенная на доступном для старшеклассника уровне, способствует углублению знаний по астрономии и помогает лучше понять материал при дальнейшем изучении научной литературы в выбранном направлении. С этой целью было написано методическое пособие "Двойные звезды и их эволюция". Весь материал в данном пособии разделен на следующие разделы:

- Рождение и жизнь звезд.
- Основные типы двойных звезд и их характеристики.
- Сложные взаимодействия в тесных двойных звездах.
- Эволюция двойной системы.
- Симбиотические звезды.
- Катализмические переменные.
- Литература.

Первый раздел посвящен эволюции одиночной звезды и начинается с рассмотрения образования газо-пылевого облака, из которого формируется протозвезда, а заканчивается вспышкой сверхновой звезды и рассмотрением их классификации. Остальные разделы посвящены двойным звездам. Во втором и третьем разделе приводятся сведения об основных эффектах, наблюдаемых у двойных систем, объясняются научные термины, без которых нельзя разобраться при изучении эволюции тесных двойных звезд.

Наряду с часто встречающимися сведениями и рисунками о двойных звездах доступно и кратко рассматривается и материал, приводимый лишь для

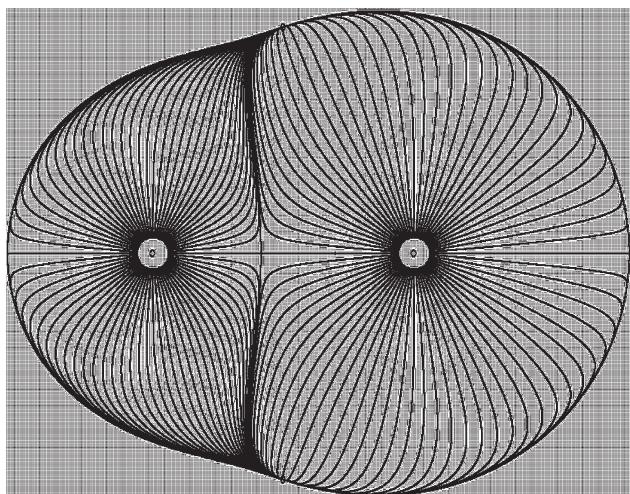


Рис. 1: Силовые линии в тесной двойной системе с относительными массами  ${}_1 = 0.7M$  (справа) и  ${}_2 = 0.3M$  (слева), начинающиеся вблизи звезд. Точки пересечения силовых линий на линии центров соответствуют внешним и внутренней точкам Лагранжа.

студентов, профессионально занимающихся астрономией. Для более качественного понимания эффектов и научных терминов, приведены подробные цветные рисунки, преимущественно, авторские (их общее количество в пособии 37). На рис. 1-3 приведены примеры таких схем.

Кроме описания классических затменных двойных систем и схемы их классификации, особое внимание уделено двум типам проэволюционировавших систем в разделах "Симбиотические звезды" и "Катализмические переменные". При их написании учтены результаты наблюдений многих авторов и по общепринятым положениям построены эволюционные схемы для звезд этих типов (рис. 4, 5). Такое углубленное изучение материала о эволюции тесных двойных систем на примере конкретных типов звезд, кроме расширения кругозора, будет стимулировать интерес и к более глубокому, самостоятельному изучению двойных звезд других типов. Изложение материала на примере конкретных физических моделей двойных звезд с рассмотрением достоверных научных результатов привлечет внимание не только любителей астрономии, но и полезно студентам младших курсов со специализацией по астрономии.

Приведенный список литературы, использованный при написании методического пособия "Двойные звезды и их эволюция", позволит при желании найти заинтересовавший материал и изучить его более подробно. Он приведен в конце статьи.

Данное методическое пособие предназначено, в основном, для любителей, которые уже увлечены астрономией и проводят свою самостоятельную ра-

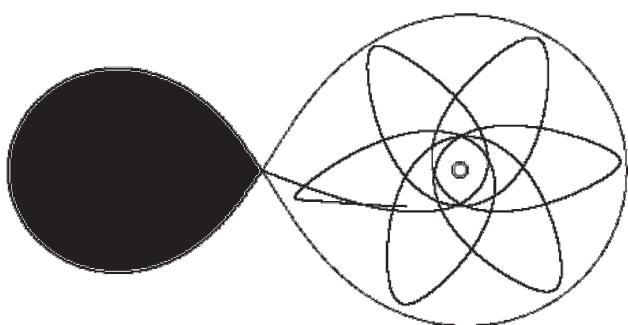


Рис. 2: Движение вещества в ограниченной задаче трех тел. Вещество истекает через окрестности внутренней точки Лагранжа вдоль линий центров и отклоняется силой Кориолиса в направлении вращения. В предположении отсутствия столкновений, в дальнейшем оно движется по прецессирующим, вытянутым орбитам.

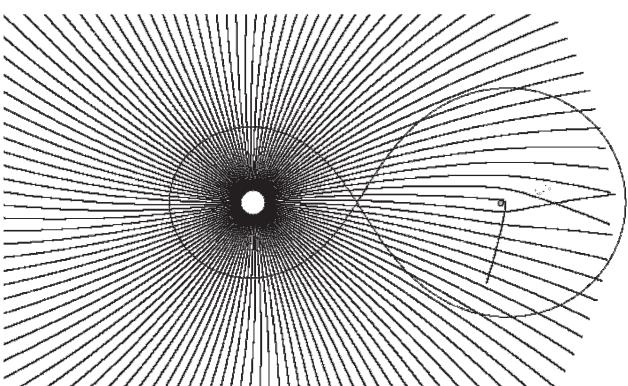


Рис. 3: Движение вещества в случае звездного ветра.

боту по данной теме, а также для членов Малой Академии Наук и астрономических кружков.

Для создания электронной версии брошюры, использовался текстовый процессор REditor ([rsoftware.net](http://rsoftware.net)), автор Р.В.Хайбуллин. С 02.02.2007 по 29.06.2007, она была закачана более 1200 раз с сайтов <http://freeware.ru> и <http://softdrom.ru>. Отдельные обзоры в кратком виде опубликовались в "Одесском Астрономическом Календаре", журналах "Наше Небо", "Вселенная. Пространство. Время"([vselennaya.kiev.ua](http://vselennaya.kiev.ua)) и "Світ фізики"([www.franko.lviv.ua/publish/phworld](http://www.franko.lviv.ua/publish/phworld)).

Данная брошюра разработана в рамках работы UAVSO - Украинской ассоциации наблюдателей переменных звезд (<http://uavso.pochta.ru>, <http://uavso.org.ua>) и УОЛА - Украинского общества любителей астрономии при УАА - Украинской астрономической ассоциации. Интернет-адрес брошюры <http://chinarova.pochta.ru>.

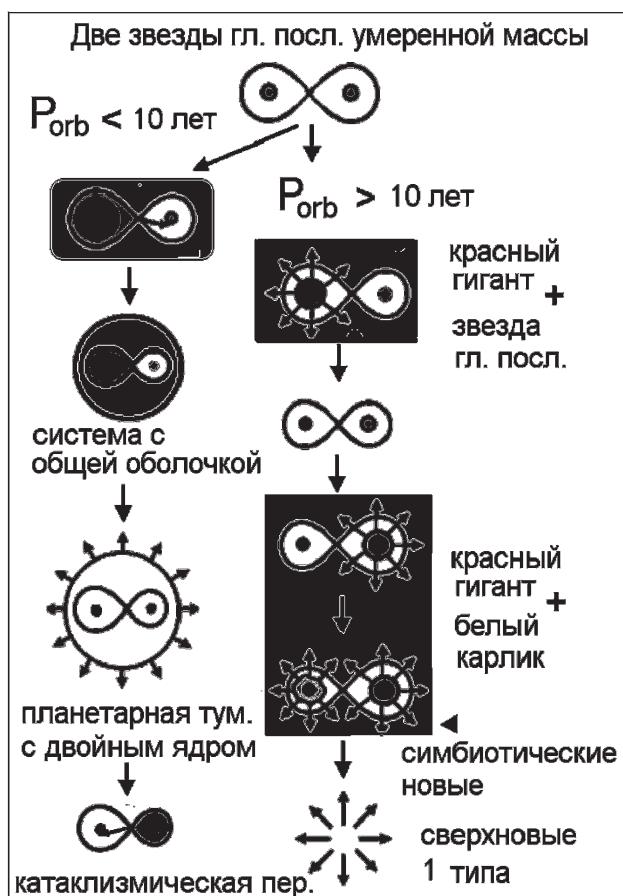


Рис. 4: Схема эволюции симбиотических звезд.

**Благодарности.** Автор благодарит И.Л.Андронова и Т.В.Мищенину за полезные замечания и поддержку данной работы.

### Литература

- Амназель П.Р. Небо в рентгеновских лучах.-М.: Наука,1984.-224с.
- Андронов И.Л. Поляры.- Природа, 1987, 5, с.26 - 35.
- Андронов И.Л. Строение и эволюция переменных звезд.-Одесса, ОИУУ, 1990, 84с.
- Асланов А.А., Колесов Д.Е., Липунова Н.А., Хрузина Т.С., Черепашук А.М. Каталог тесных двойных звезд на поздних стадиях эволюции.- М.: МГУ, 1989.- 240с.
- Бакулин П.И., Кононович Э.В., Мороз В.И. Курс общей астрономии. -М.: Наука, 1983 - 560 с.
- Боярчук А.А. Симбиотические звезды. "Астрономия. Т.22 (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР) М.: ВИНТИ, 1983, с. 83-111.

Герелс Т. (ред.) Протозвезды и планеты. Исследование образования звезд и происхождения Солнечной системы. М, Мир, 1982,

Гершберг Р.Е. Вспыхивающие звезды малых масс.- М.:Наука,1978.

Имшенник В.С., Надежин Д.К. Конечные стадии эволюции звезд и вспышки надновых. -Итоги науки и техники. Астрономия. т.21. М.: ВИНИТИ, 1982.

Каретников В.Г., Андронов И.Л. Определение характеристик спектрально- и визуально-двойных звезд. -Одесса: ОГУ, 1988, 48

Киппенхан Р. 100 миллиардов Солнц. Рождение, жизнь и смерть звезд.- М.: Мир. 1990.-294 с.

Липунов В.М. В мире двойных звезд.- М.: Наука, 1986.-208с.

Мальнев А.Г., Орлов В.В., Петрова А.В., Динамическая эволюция звездно-планетных систем. «Астрономический журнал», 2006, т.83, 5, с. 457-463

Мартынов Д.Я. Курс общей астрофизики.-М., Наука, 1988.-640с.

Масевич А.Г., Тутуков А.В. Эволюция звезд: Теория и наблюдения. - М., Наука, 1988 - 280 с.

Масевич А.Г., Тутуков А.В., Юнгельсон Л.Р. Гравитационное излучение и эволюция карликовых новых звезд.- Природа, 1981, 5, с.68-76.

Михайлишин В.И. Методы синтеза кривых блеска тесных двойных систем с переполнением внутренней полости Роша. «Астрономический журнал», 2002, т.79, 9, с.820-826.

Прингл Дж.Е., Уэйд Р.А. (ред.) Взаимодействующие двойные звезды. М. Наука, 1993, 191с.

Псковский Ю.П. Сверхновые звезды. - "Явления нестационарности и звездная эволюция", под ред. А.А.Боярчука и Ю.Н.Ефремова, М.: Наука, 1974.

Рубинов А.В., Петрова А.В., Орлов В.В. Динамическая эволюция кратных звезд. «Астрономический журнал», 2002, т.79, 11, с.1044-1056

Савохин Д.П., Старицин Е.И. О возможности образования массивных торов в системах двойных белых карликов. «Астрономический журнал», 2002, т.79, 6, с.534-541.

Тутуков А.В., Федорова А.В. Эволюция тесных двойных звезд с черными дырами под влиянием излучения гравитационных волн, магнитного и индуцированного звездного ветра донора. «Астрономический журнал», 2002, т.79, 9, с. 847-861

Холопов П.Н. Классификация переменных звезд в свете современных представлений об их эволюции. "Астрономия. Т.22 (Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР) М.: ВИНТИ, 1983, с. 112-134.

Хрузина Т.С. Синтез кривых блеска тесных двойных систем. Моделирование спиральных волн в эллиптическом диске вокруг белого карлика.

- «Астрономический журнал», 2005, т.82, 10, с.881-899.
- Хрузина Т.С., Черепашук А.М., Бисикало Д.В., Боярчук А.А., Кузнецов О.А. Интерпретация кривых блеска катализмической переменной OY Саг в модели безударного взаимодействия газовой струи и диска. «Астрономический журнал», 2003, т.80, 3, с. 239-257.
- Цесевич В.П. Затменные переменные звезды.- М.: Наука, 1971.- 350 с.
- Цесевич В.П. Переменные звезды и их наблюдение.- М.: Наука, 1980.- 176 с.
- Черепашук А.М. Двойные звезды и релятивистская астрофизика. Природа, 1987, 3, с 3-14.
- Чечеткин В.М., Устюгов С.Д., Горбунов А.А., Полежаев В.И. К нейтринному механизму взрыва сверхновых. «Письма в Астрономический журнал», М. Наука, 1997, т. 23, 1
- Шкловский И.С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть.-М.: Наука, 1984.- 384 с.
- Эванс Т.Л. Эволюция звезд и оптические методы их наблюдения. - "Будущее науки", Международный ежегодник. в.12, М.: Знание, 1979, 81-100.
- Юдин Б.Ф. Симбиотические звезды. - Земля и Вселенная. Наука, 1992, 4, с.10-17.
- Юнгельсон Л.Р., Масевич А.Г. Эволюция звезд в тесных двойных системах. - Итоги науки и техники. Астрономия. т.21. М. ВИНТИИ, 1982.
- Энциклопедия для детей. Т. 8. Астрономия. - 2-е изд. испр. / Глав. Ред. М.Аксенова; метод.ред. В.Володин, А. Элиович. - М.: «Аванта», 2004. - 688 с.: ил.
- Hellier C., 2001, Cataclysmic Variable Stars. How and why they vary, Springer Berlin, 210 pp.
- Warner, B., 1995, Cataclysmic Variable Stars, Cambridge Univ. Press, 720 pp.

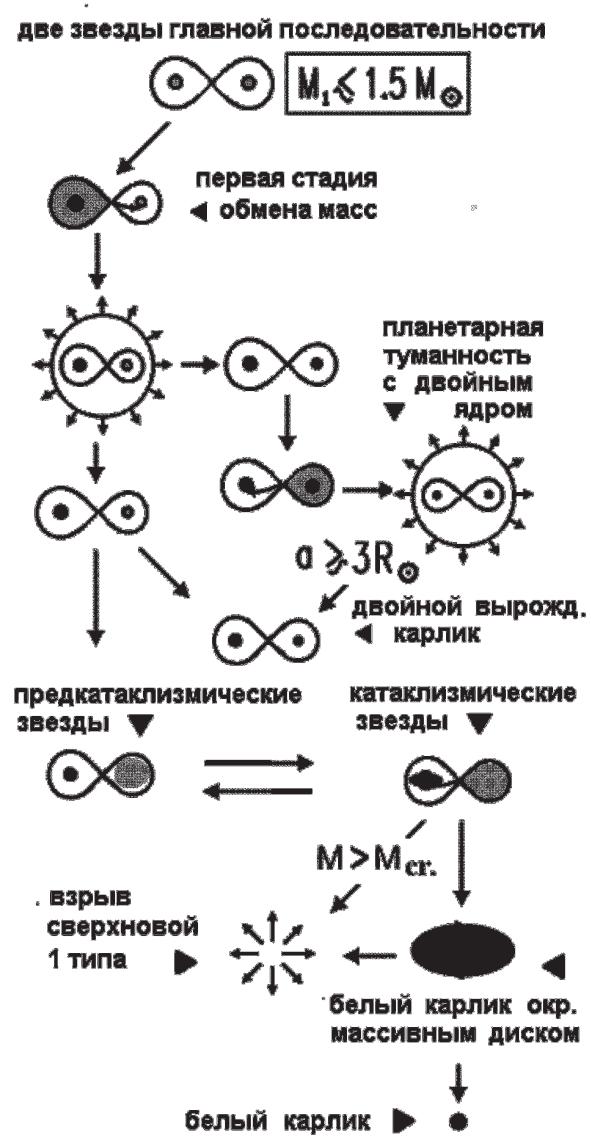


Рис. 5: Схема эволюции маломассивных звезд, в ходе которой образуются катализмические переменные.

# PREDICTION OF MAIN PARAMETERS OF 24 SOLAR CYCLE

## ПРОГНОЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ 24-ГО СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА

O.V. Chumak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shternberg Astronomical Institute of Moscow State University  
Universitetskiy prspekt 13, Moscow 119992 Russia, chumak@sai.msu.ru

**ABSTRACT.** It is shown that there are certain rules which connect a height of previous solar activity cycle with the entropy of the next one. For even and odd cycles these rules are asymmetrical. So if it is known height of the previous cycle one can make estimation for entropy of the next one according to one of these rules. It has been shown also, that entropy ( $ES$ ) of a cycle has good correlation with its height. On the other hand height of a cycle ( $W_{max}$ ) correlates with duration of its rise branch (Waldmeier's rule), and it allows to get the estimation of epoch of maximum ( $T_{max}$ ) of future cycle. Epignosis shows that the reliability of such forecasts is about 83%. Below we present the values of main parameters of future 24 cycle obtained according to these rules: Shannon's entropy  $ES = 5.0 \pm 0.2$ ; height of the cycle  $W_{max} = 95 \pm 20$  (in monthly Wolf numbers); duration of arise branch  $Ta = 4.5 \pm 0.5$  years; epoch of the cycle maximum  $T_{max} = 2012.25 \pm 0.5$  year.

**АБСТРАКТ.** Цикл солнечной активности характеризуется следующими четырьмя основными параметрами: 1) моментом начала цикла, который совпадает с моментом минимума предыдущего цикла  $T_{min}$ , 2) продолжительностью ветви роста  $Ta$  или эпохой максимума  $T_{max} = T_{min} + Ta$ , 3) высотой максимума  $W_{max}$  (в среднемесячных числах Вольфа), 4) продолжительностью ветви спада  $Td$  или продолжительностью цикла  $T = Ta + Td$ . Прогноз значений этих параметров будущих циклов представляет большой практический и теоретический интерес. Поскольку солнечная активность есть следствие нестационарных процессов в верхних слоях Солнца, ее прогнозы затруднены силу относительно короткой "памяти" у такого рода процессов. Вследствии этого наиболее успешными оказываются те методы, которые используют так называемые предикторы, - те или иные особенности предыдущего цикла, которые коррелируют со значимыми параметрами последующего. Известное правило Гневышева-Оля (корреляция между суммами за цикл чисел Вольфа

в комбинации четный - нечетный), является одним из таких методов. Однако, это правило не применимо для прогнозов четных циклов. Данный прогноз основан на подобном правиле, но это новое правило одинаково применимо для прогнозов, как нечетных, так и четных циклов. Оказалось, что существует определенное соотношение между высотой максимума предыдущего цикла и энтропией последующего. Для четных и нечетных циклов эти соотношения различны. Таким образом, зная высоту максимума текущего цикла, можно оценить энтропию будущего, воспользовавшись соответствующим соотношением. В свою очередь, энтропия цикла хорошо коррелирует с высотой его максимума, что дает возможность сделать оценку  $W_{max}$  будущего цикла. Продолжительность ветви роста связана с высотой максимума (правило Вальдмайера), что позволяет сделать оценку эпохи максимума  $T_{max}$ . Эпигнозы показали оправданность этого метода на уровне 86%. (Для сравнения: правило Гневышева-Оля дает достоверность аппроксимации по Пирсону на уровне 76%). Ниже приведены оценки основных параметров будущего 24 цикла, полученные по этому правилу: Энтропия Шеннона -  $ES = 5.0 \pm 0.2$ . Высота максимума -  $W_{max} = 95 \pm 20$ . Продолжительность ветви роста -  $Ta = 4.5 \pm 0.5$  лет. Эпоха максимума -  $T_{max} = 2012.25 \pm 0.5$  года. Таким образом, если существующие тенденции сохранятся, то будущий 24 цикл окажется вполне нормальным. Настороживает, однако, то, что пара 22 - 23 циклов была аномальной - для нее не сработало правило Гневышева-Оля. Так что возможны сюрпризы...

**Key words:** Solar Physics, Astrophysics, and Astronomy: Solar activity cycle

"Полная статья готовится к печати в журнале Астрономический Вестник"

"Full version of the paper is prepared to be published in Solar System Research"

# SELF-ORGANIZATION of MAGNETO-PLASMA STRUCTURES IN UPPER LAYERS OF THE SUN

## САМООРГАНИЗАЦИЯ МАГНИТОПЛАЗМЕННЫХ СТРУКТУР В ВЕРХНИХ СЛОЯХ СОЛНЦА

O.V. Chumak<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shternberg Astronomical Institute of Moscow State University  
Universitetskiy prspekt 13, Moscow 119992 Russia, chumak@sai.msu.ru

**ABSTRACT.** The dynamic model of arising and evolution of a solar active region (AR) is proposed. The model realizes diffuse aggregation process of magnetic flux tubes (MFT) in upper levels of the Sun convective zone. Equations of MFT motions subjecting to action of hydrodynamic, magnetic and random forces are discussed. Simulations of MFT diffuse aggregation process based on the equations of MFT motions have been realized. As the result we have received a number of MFT clusters of various sizes and complexity in dependence of initial conditions and values of the model parameters. These results have been compared with observational data. The model has five free parameters:  $h$  - typical size of an AR,  $N$  - number of MFT,  $a$  - typical radius of MFT,  $d$  - average magnitude of velocity vector of their random moving,  $k$  - ratio of magnitude of vector magnitude of toroidal MFT field to poloidal one. Values of poloidal field of all MFT were let to be equal and constant. Variation of these parameters results in arising of MFT clusters of various types, and, accordingly, to various values of fractal, informational and correlation dimensions of the resulting magnetic field. Parameters of the model have been selected in such a way that all three of the dimensions correspond to observed ones in real ARs. As an example, for AO 10488, which arisen and developed into complete configuration near central meridian, there was shown that good numerical correspondence among the mentioned scaling properties is observed under the next value of the free parameters of model:  $h \approx 150 Mm$ ,  $N$  from 50 to 300, for various time of evolution,  $a \approx 300 km$ ;  $d \approx 20 km/c$ ,  $k \approx 0.01$ . Variations of the free model parameters in physical reasonable limits allow getting all magnetic and morphological types of ARs. It is shown, that the simulation results correspond to observational data, confirm and define more exactly the base points of Parker's 'spaghetti' model.

**АБСТРАКТ.** Предложена динамическая модель возникновения и эволюции солнечной активной области (АО) как процесса диффузной агрегации

магнитопотоковых трубок (МПТ) в верхних слоях конвективной зоны Солнца. Обсуждаются уравнения движения МПТ под действием гидродинамических, магнитных и случайных сил. Проведено компьютерное моделирование процессов агрегации МПТ и сравнение полученных результатов с данными наблюдений. Модель имеет пять свободных параметра:  $N$  - число МПТ,  $h$  - характерный размер АО,  $a$  - радиус поперечного сечения МПТ,  $d$  - модуль средней скорости их хаотических перемещений,  $k$  - отношение модулей торOIDального и полоидального полей МПТ. Значения полоидального поля всех МПТ полагались равными и фиксированными. Варьирование этих параметров приводит к образованию кластеров МПТ разного вида и, соответственно, к разным значениям хауздорфовой, информационной и корреляционной размерностей результирующего модельного магнитного поля. Параметры модели подбирались таким образом, чтобы все три фрактальные размерности соответствовали их значениям, наблюдаемым в реальных АО. На примере АО 10488, показано, что хорошее количественное соответствие упомянутых скейлинговых показателей наблюдается при следующих параметрах модели:  $h \approx 150 Mm$ ,  $N$  от 50 до 300, в зависимости от времени эволюции;  $a \approx 300 km$ ,  $d \approx 20 km/sec$ ,  $k \approx 0.01$ . Вариация свободных параметров модели в физически допустимых пределах позволяет получить все известные магнитные и морфологические типы АО. Результаты моделирования не противоречат данным наблюдений, подтверждают и уточняют базовые положения паркеровской модели "спагетти".

**Key words:** Solar Physics, Astrophysics, and Astronomy: Solar active regions

Full version of the paper is prepared to be published in Astron. and Astroph. Trans.

# SEARCH OF THE Na IN THE REGION OF THE SUBLIMATION OF THE NEAR-SUN DUST

## ПОИСКИ На В ОБЛАСТИ СУБЛИМАЦИИ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЫЛИ

A.B. Delone<sup>1</sup>, M.I. Divekeev<sup>1</sup>, E.A. Suchanov<sup>2</sup>, R.A. Gulyaev<sup>3</sup>,  
G.V. Yakunina<sup>1</sup>, G.A. Porfir'eva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University  
University prospect, 13, Moscow 119992 Russia, *yakunina@sai.msu.ru*

<sup>2</sup> Physical Institute of the Russian Academy of Sciences  
Leninsky prospect, 55, Moscow Russia

<sup>3</sup> Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere, and Radio Wave Propagation,  
Russian Academy of Sciences  
Troitsk, Moscow Region, Russia

**ABSTRACT.** An evaluation of the Na number in the sublimation zone of the near-Sun interplanetary dust, based on a comparison with the intensity of the radiation of the Na in the Earth atmosphere, has been obtained. The abundance of the Na in the column along the line of sight is less than  $2 \times 10^8 \text{ atom cm}^{-2}$ . This result is compared with the values, determined on the base of the brightness of the zodiacal light, F-corona and by direct measurements of the dust density with space experiments.

**Key words:** Sun: zodiacal light: interplanetary dust.

### 1. Введение

Межпланетная пыль, образующаяся при распаде астероидов и метеороидов, двигается по кеплеровским орбитам вокруг Солнца, приближаясь к нему под действием эффекта Пойнтига-Робертсона. Ее присутствие в околосолнечном пространстве очевидно. Мы наблюдаем рассеянный ею солнечный свет в виде зодиакального света, а около самого Солнца - F-короны - фраунгоферовой составляющей свечения внешней короны Солнца. Эффект Пойнтига-Робертсона состоит в потере орбитального углового момента частицей, движущейся по орбите вокруг тела, являющейся источником электромагнитного излучения. Потеря импульса превращает круговую орбиту в скручивающуюся спираль. Пылинки, приближаясь к Солнцу, нагреваются и испаряются. При приближении к области сублимации наблюдается дополнительное ИК излучение на-

гретой, но еще не испаряющейся пыли.

Лами (Lamy, 1974) рассчитал для частиц англезита и обсидиана, составляющих каменных метеоритов, расстояние от Солнца, где происходит сублимация таких пылинок (сферических, диаметром в 1 микрон) и получил  $10 R_{\odot}$  и  $4 R_{\odot}$  соответственно. Ближе к Солнцу – "пустая" зона Лами. В области сублимации следует ожидать резонансное рассеяние солнечного света атомами и ионами различных элементов, в том числе атомами натрия.

Для обнаружения этого свечения П.В.Щеглов предложил использовать интерферометрический метод во время полных солнечных затмений; за счет скорости движения пылинок вокруг Солнца интерференционные кольца рассеянного в области сублимации света смешены относительно колец фона – атмосферы Земли во время солнечного затмения. Рассчет ожидаемой яркости линий Ca II 3933 Å был проведен Шестаковой (1990) и со второй попытки в 1998 г. Гуляевым были получены фрагменты колец линии K Ca II во время затмения в Гватемале на портативной установке, спроектированной и созданной Щегловым в ГАИШ (Гуляев, Щеглов, 1999).

Еще к затмению 2001 г. в ГАИШ готовили две установки для поисков свечения линий D1 и D2 натрия в области сублимации. Хотя ожидается, что линии Na будут много слабее, чем линия K Ca II, в этом случае имеется то преимущество, что натрий светится в земной атмосфере в двадцатикилометровом слое на высоте около 90 км над поверхностью Земли. Его свечение почти постоянно, не зависит от времени и места наблюдения и



Рис. 1: Общий вид установки

может служить эталоном сравнения для определения количества атомов в окрестностях Солнца. В 2001 г. эти установки возила в Африку группа студентов Одесского университета, но интерферограммы оказались неудовлетворительного качества.

## 2. Наблюдения

Экспедиция ГАИШ на затмении 29 марта 2006 г. базировалась в Баксане на территории лаборатории ГАИШ. Нами была предпринята попытка поиска свечения натрия в зоне сублимации околосолнечной межпланетной пыли. Проведены наблюдения с использованием интерферометрической установки с эталоном Фабри-Перо и интерференционным фильтром (ИФ) с полушириной 25 Å центрированным на  $\lambda$  5890 Å. Общий вид установки приведен на рис. 1, а принципиальная оптическая схема на рис. 2.

Камера с ИФ и интерферометром Фабри-Перо крепится на маленькой азимутальной установке без часового ведения. Этalon наклонен к оптической оси с тем, чтобы в поле зрения были более далекие и более часто покрывающие поле интерференционные кольца. Разделитель подобран так, чтобы с 3 по 15 кольцо не было наложения линий натрия  $\lambda$  5890 Å и  $\lambda$  5896 Å и гелия  $\lambda$  5876 Å, пропускаемых ИФ. Приемник излучения - фотопленка в камере фотоаппарата Смена, объектив которого заменен на объектив со светосилой 1,4. Затвор демонтирован, поэтому камера служит двум целям – фокусировки объектива и перемотки пленки. Поскольку объект исследования слабый и требуется большая экспозиция, то она задается просто снятием крышки с переднего среза установки, за которым крепится интерференционный фильтр-предмонохроматор. Фокусное расстояние камеры -50 мм, диаметр Солнца на изображении составляет 0,5 мм.

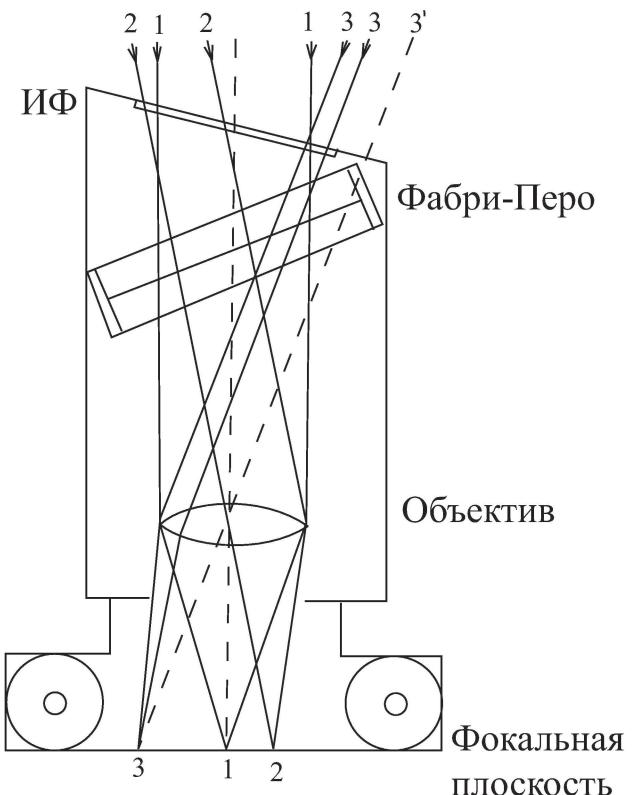


Рис. 2: Оптическая схема прибора

## 3. Результат наблюдения

Было сделано две экспозиции: 180 с через 5 с после второго контакта и 18 с в клице полной фазы. На рис. 3, приведено изображение, полученное с экспозицией 180 с. По всему полю видны интерференционные кольца линии натрия земной атмосферы, но отсутствуют кольца околосолнечного Na, которые должны бы быть смещеными в результате больших скоростей движения испаряющейся пыли в зоне сублимации. Если изображение Солнца расположить в центре кадра, блика не будет видно, но если есть связанный с бликом паразитная система колец, ее не удастся учесть при обработке негатива. Итак, натрия около Солнца мы не обнаружили.

Опираясь на знание о количестве атомов Na в земной атмосфере, равное  $5 \times 10^9$  атомов · см<sup>-2</sup>, можно оценить верхний предел числа атомов Na в зоне сублимации. Плотность на негативе, которую мы могли бы еще выявить по характеристической кривой использованной пленки (тип 38), соответствует освещенности в 12 раз слабее, чем для колец атмосферного Na, т. е. если бы содержание Na в земной атмосфере составляло  $4 \times 10^8$  атомов · см<sup>-2</sup>, то такое излучение от них можно было бы обнаружить.

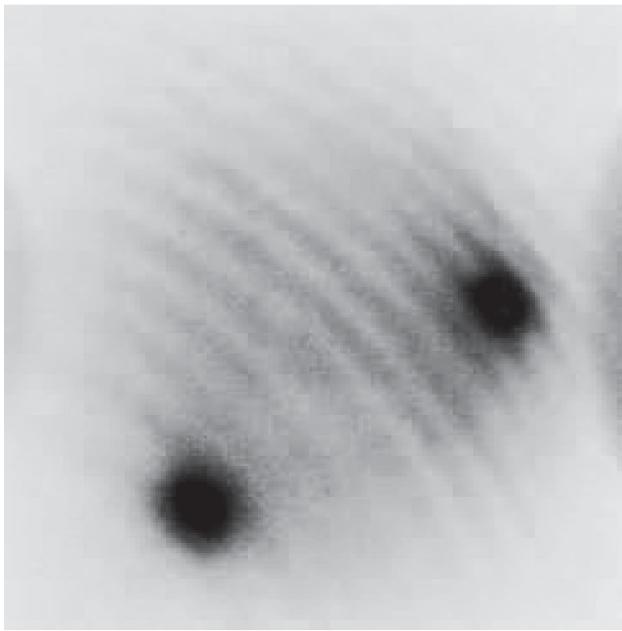


Рис. 3: Интерферограмма в линии Na, полученная во время затмения. Темное пятно слева внизу – это передержанная внутренняя корона, а справа вверху – блик от нее, возникающий из-за взаимных наклонов ИФ и эталона.

#### 4. Методика определения числа атомов натрия в области сублимации

Какому числу атомов в зоне сублимации соответствует это излучение? Поток излучения, регистрируемый наблюдателем, обратно пропорционален квадрату расстояния от источника. Слой атмосферного Na находится на расстоянии  $r_a \approx 90$  км, а область сублимации – на расстоянии  $r_s = 150$  млн. км от объектива прибора и  $10 R_\odot$  от Солнца. Следовательно  $(r_s/r_a)^2 \approx 2 \times 10^{12}$ . Механизм излучения Na – резонансное рассеяние. Время жизни на возбужденном уровне доли секунды. Околосолнечный Na возбуждается прямым излучением Солнца, а атмосферный Na во время затмения рассеянным светом из области вне полосы тени. Яркость неба при этом составляет  $10^{-4}$  от яркости неба при прямом освещении Солнцем, а она в  $10^6$  раз слабее, чем солнечная.

Тогда отношение потока излучения атомов Na в земной атмосфере ( $I_a$ ) к потоку излучения атомов Na в зоне сублимации ( $I_s$ ) можно записать в следующем виде:

$$I_a/I_s = (N_a/N_s) \times (r_s/r_a)^2 \times (10/215)^2 \times 10^{-4} \times 10^{-6},$$

где  $N_a$  и  $N_s$  соответственно количество атомов Na в земной атмосфере и около Солнца. При  $I_s = I_a$ , получаем  $N_s = 1/2N_a$ , т.е.  $2 \times 10^8$  атомов  $\cdot \text{см}^{-2}$  на луче зрения в области сублимации. Много это или мало?

#### 5. Оценка количества натрия около Солнца

В монографии Дивари "Зодиакальный свет" (2003) приводятся объемные плотности (d) пылевых частиц на расстояния 1 а. е. от Солнца по измерениям на КА Пионер-8 и 9 (Gieze, 1976) и Гелиос (Leinert, Pitz, 1989), по исследованиям F-короны (Hulst, 1947), микрократеров на Луне (следах ударов пылевых частиц) (Gieze, 1976) и яркости зодиакального света.

По расчетам Фесенкова (1947) и наблюдениям на Пионере-10 концентрация пыли вблизи Солнца обратно пропорциональна расстоянию до него, т.е. на  $10R_\odot$  ее должно быть в 20 раз больше, чем на 1 а.е. Содержание Na в пылинках, образующихся при дроблении каменных метеороидов, составляет 0,8 процента по весу. Вес атома натрия равен  $3.8 \times 10^{-23}$  г. Нами была сделана выборка по данным об объемной плотности пылевых частиц, приводимым в табл. 6.6 (Дивари, 2003). Опираясь на расчеты Лами (Lamy, 1974) мы полагаем, что наиболее вероятными являются частицы пыли размером в 1 мк, и вычислили средние величины объемной плотности для таких частиц. Затем было рассчитано число атомов (n) Na в  $\text{см}^3$ .

Таблица 1: Число атомов Na на луче зрения в области сублимации

Объемная плотность d, г $\text{см}^{-3}$	Число атомов на луче зрения $N_s, \text{см}^{-2}$	Ссылки
$5 \times 10^{-21}$	$3 \times 10^{13}$	Van de Hulst
$10^{-23}$	$6 \times 10^{10}$	Behr, Siedentopf (1953)
$5,1 \times 10^{-24}$	$3 \times 10^{10}$	Ingham (1961)
$3,3 \times 10^{-25}$	$2 \times 10^9$	Ingham (1961)
$6,6 \times 10^{-27}$	$7 \times 10^7$	Дивари (1967)
$3 \times 10^{-23}$	$3 \times 10^{11}$	Дивари (1967)
$1,3 \times 10^{-22}$	$10^{12}$	D'Hendecourt, Lamy (1980)
	$\leq 2 \times 10^8$	Авторы (2007)

где d-объемная плотность г  $\text{см}^{-3}$  на 1 а.е. от Солнца.  $N_s$ -число атомов натрия в зоне сублимации на луче зрения над  $\text{см}^2$ .

Для земной атмосферы мы имеем полное число атомов Na в столбе с основанием  $\text{см}^2$ . А все данные в таблице 6.6 (Дивари, 2003) – это объемные плотности, т.е. количество граммов пыли в  $\text{см}^3$ . Поэтому для сопоставления величин надо принять длину оптического пути в околосолнечном пространстве,

чтобы получить число атомов Na на луче зрения в зоне сублимации (на  $10R\odot$  от Солнца). Этот путь оценен как  $20R\odot$  по изофотам близкого зодиакального света полученным Макквином (Дивари 2003 стр. 51). Наблюдения F короны дают  $3 \times 10^{13}$  (Hulst, 1947) и  $6 \times 10^{10}$  (Behr, Siedentopf, 1953), счет частиц на КА  $3 \times 10^{10}$  и  $2 \times 10^9$  (Ingham, 1961), наблюдения яркости зодиакального света – от  $7 \times 10^7$  до  $3 \times 10^{11}$  (Дивари, 1967) микрократеры - $10^{12}$  (Gieze, 1976). Наша мажорирующая оценка –  $2 \times 10^8$  (см. Таблицу).

Казалось бы, что поскольку мы принимаем во внимание данные, относящиеся к частицам одного размера, разногласия в окончательных величинах  $N_{Na}$  не должны быть большими. Между тем разброс определенного по ним числа атомов очень велик.

## 6. Обсуждение результатов

Расчет объемной плотности исходя из яркости зодиакального света требует знания его структуры. Использование разных моделей приводит к максимальному различию результатов, полученных по яркости зодиакального света. Но и данные по прямым измерениям частиц на КА и концентрации пылевых частиц по данным о лунных микрократерах отличаются почти на три порядка.

Возможные причины такого разброса результатов рассмотрены Дивари (Дивари, 2003, стр. 57-65). Изменения яркости зодиакального света могут быть вызваны изменениями в атмосфере Земли, если наблюдения проводились не с помощью КА. Но и наблюдения со спутников D2A Tournesol и OSO-5, проведенным одновременно, привели к разным результатам, что как мы теперь понимаем, связано с неучетом спектральной чувствительности приемников радиации. Таким образом, основанное на данных OSO-5 представление, что метеорные потоки не влияют на наблюдаемую яркость зодиакального света, неверны.

Однако также есть связь яркости зодиакального света с солнечной активностью. В пяти случаях аномальной яркости зодиакального света было отмечено, что четырем из них предшествовали магнитные бури. Наблюдалось усиление яркости зодиакального света после вспышки и последовавшей за ней магнитной бурей. Обнаружена корреляция между яркостью зодиакального света и геомагнитной активностью, характеризующейся магнитным индексом  $K_p$ . Но есть и другие наблюдения, отрицающие рассматриваемые взаимосвязи. Так что требуется продолжение исследований переменности количества пыли в околосолнечном пространстве и возможных ее причинах.

Следует помнить, что нас интересует изменение

количества пыли а изменение яркости зодиакального света может быть вызвано другой причиной – ростом потоков электронов. Поэтому существенный вклад в рассмотрение этой проблемы вносит исследование темных колец в окрестностях Солнца (Debiprasad, 1995), наблюдаемых в инфракрасной (ИК) области спектра. Это свечение нагретой пыли при приближении к области сублимации. В  $\lambda 2,2$  мк на  $4R\odot$  большинство удачных выявлений ИК деталей получено только в минимуме солнечной активности. Явление переменно со временем. Природа переменности эмиссии на 2,2 мк говорит в пользу модели, предполагающей, что типичными являются частицы размером в 1 мк. Это указывает на разумность нашей выборки величин в таблице 6.6 (Дивари, 2003).

Во всяком случае, при такой неопределенности знания количества атомов Na на луче зрения на расстоянии  $10R\odot$  от Солнца, полученная нами оценка, весьма полезна. Отметим, что март 2006 г. приходится на фазу спада солнечной активности.

## Литература

- Behr A., Siedentopf H.: 1953, *Untersuchungen über Zodiakallicht und Gegenschein nach lichtelektrischen Messungen an Jungfrau und Zeitschrift für Astrophys.*, **32**, N 1, 19.  
 Gieser R.H., Grun E.: 1976, *Lect. Not. Phys.*, **48**, Interplanetary Dust and Zodiakal light, 135.  
 Gieser R.H., Siedentopf H.: 1962, *Zeitschr. fur. Astrophys.*, **54**, 200.  
 Гуляев Р.А., Щеглов П.В.: 1999, *Докл. Акад. Наук*, **366**, N 2, 199.  
 Debiprasad C.: 1995, *Solar Phys.*, **159**, 181.  
 Дивари Н.Б.: 1967, *АЖ*, **44**, N 6, 1309.  
 Дивари Б.Н.: 2003, *Зодиакальный свет*, Одесса, Астропринт.  
 D'Hendecourt, le Sergeant, L.B., Lamy Ph.: 1980, *Icarus*, **43**, 350.  
 Hulst H.C. van de.: 1947, *A. J.*, **105**, 471.  
 Lamy Ph.L.: 1974, *Astron. Astrophys.*, **33**, 191.  
 Ingham M.F.: 1961, *MN*, **122**, N 2, 157.  
 Leinert Ch., Pitz E.: 1989, *Astron. Astrophys.*, **210**, N 1-2, 399.  
 Фесенков В.Г.: 1947, *Метеорная материя в межпланетном пространстве*, М.-Л. Изд. АН ССР, 194 с.  
 Шестакова Л.И.: 1990, *Письма в АЖ*, **16**, N 6, 550.

# ELABORATION AND INVESTIGATION OF THE ADAPTING DEVICES FOR SOME TRACKS OF THE SATELLITE LASER-LOCATION STATIONS

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ УСТРОЙСТВ СОГЛАСОВАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ТРАКТОВ СПУТНИКОВЫХ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

Denishchik Yu. S., Mel'kov S.M.

Донбасский государственный технический университет,

Государственный межвузовский центр «Орион»

г. Алчевск, Украина

*stanislav.melkov@gmail.com*

**АННОТАЦИЯ.** Описан формирователь наносекундных импульсов, как устройство согласования приёмников лазерного излучения с субнаносекундным измерителем временных интервалов (ИВИ) в лазерных локационных станциях (ЛЛС).

Одной из основных целей лазерной локации является достижение прецизионной точности при определении дальности космического объекта (КО). Исходя из этого, приёмная аппаратура ЛЛС должна обладать высокой чувствительностью и достаточным быстродействием.

В работе предложен формирователь наносекундных импульсов для каналов "старт" и "стоп" ИВИ "Comtis". Последний оперирует сигналами, дли-

тельности фронтов которых не превышают единиц наносекунд. "Comtis" разработан Институтом электроники Латвийской академии наук специально для лазерной локации и входит в состав ЛЛС астрономических обсерваторий ВУЗов Украины. Формирователь наносекундных импульсов служит для обострения фронтов сигналов, поступающих от приёмников лазерного излучения. Конечная длительность фронта сигнала вносит неопределённость в моменте его регистрации. Таким образом, предельно обостряя фронты сигналов на всём приёмно-передающем тракте, мы сокращаем неопределённость. И, как следствие, повышаем точность измерений дальности КО.

Принципиальная схема формирователя показана на рисунке 1. Он состоит из

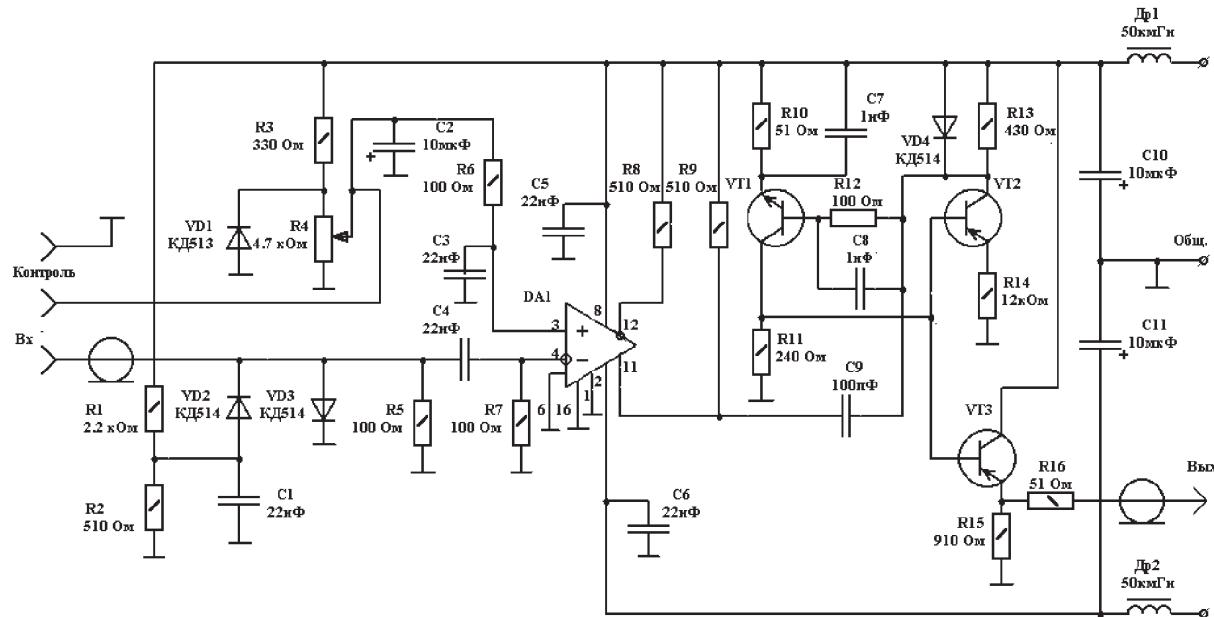


Рис 1: Принципиальная схема формирователя. DA1 - KP597CA1, VT1 - ГТ383Б-2, VT2 и VT3 - 2T658A-2

быстродействующего компаратора  $DA1$  с дополнительными входными элементами, ждущего мультивибратора на транзисторах  $VT1$  и  $VT2$ , а также эмиттерного повторителя на транзисторе  $VT3$ .

На инвертирующий вход 4 компаратора  $DA1$  через переходной конденсатор  $C4$  подаются импульсные сигналы от фотодатчика лазера или фотоприёмника, обычно фотоэлектронного умножителя (ФЭУ). Диоды  $VD2$  и  $VD3$  - защитные. Резисторы  $R5$  и  $R7$  служат для согласования  $DA1$  с кабелем. Порог срабатывания компаратора по напряжению устанавливается резистором  $R4$ . Диод  $VD1$  - источник опорного напряжения с высокой термостабильностью. На вход мультивибратора через переходной конденсатор  $C9$  поступает "ЭСЛ-единица" с выхода  $DA1$ . В результате дифференцирования цепью  $C9$ ,  $R13$  положительный пик сигнала запускает мультивибратор.

Диод  $VD4$  защищает транзистор  $VT2$  от отрицательного пика. Эмиттерный повторитель на  $VT3$  предусмотрен для согласования формирователя с кабелем.

Формирователь имеет следующие характеристики: длительность выходного импульса по полувысоте - 11 нс; длительность фронта выходного импульса - не более 1 нс; полярность выходного импульса - отрицательная при амплитуде 1,6 В на нагрузке 50 Ом; пределы установки порогового напряжения - 10...700 мВ; входное сопротивление 50 Ом; время восстановления до прихода следующего импульса - 10 нс.

Формирователь используется на ЛЛС Алчевской астрономической обсерватории, что позволило оптимально согласовать ИВИ "Comtis" с фотодатчиком лазера и ФЭУ.

# ABOUT THE SPACE DISTRIBUTION OF STARS IN THE SELECTED SKY FIELDS

## О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЗВЕЗД В ИЗБРАННЫХ УЧАСТКАХ НЕБА

A.V.Dragunova, M.P.Yasinskaya

Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *astro@paco.odessa.ua*

**ABSTRACT.** By the results of a photometry of stars in six Captain Areas, located near to a galactic plane, the densities of absorbing matter and space distribution of stars in these sky fields are determined. The comparison of maximal concentration of stars of various spectral classes to an arrangement of the interstellar dust clouds is carried out.

**Key words:** Stars, Galaxy, Interstellar absorption, Distribution of stars.

Межзвездное поглощение и пространственное распределение звезд исследовались в направлении площадок Каптейна КА-64, КА-65, КА-86, КА-87, КА-88, КА-98. Размер каждой площадки составляет 15,9 кв. градусов. В Таблице приведены экваториальные координаты центров площадок  $\alpha$  и  $\delta$  на эпоху 2000.0, галактические координаты  $l$  и  $b$ , а также указано количество звезд  $N$ , которые были использованы для исследования.

Межзвездное поглощение исследовалось методом избытка цвета. Нормальные показатели цвета звезд взяты из работы Fitzgerald (1970). Звездные величины  $V$  и показатели цвета ( $B-V$ ) звезд были получены ранее по фотографическим наблюдениям в Абастуманской астрофизической обсерватории (Ясинская и др., 2000). Спектральные классы и классы светимости звезд для площадки Каптейна КА-65 были получены Р. А. Бартая (Абастуманская астрофизическая обсерватория, частное сообщение), а также взяты из работ Heard J. (1956), Каталога (1991) и Wayne, Warren (1983). Для звезд остальных площадок эти данные также находились из работ Bertaud (1959), Bonneau (1967), Blair (1985), William (1970), Ворошилов и др. (1976), Heard (1956), Perraud (1959), Petit M. и др. (1962), Тихов (1951), Каталог (1991), Wayne H., Warren (1983).

Для определения величины межзвездного поглощения использовались звезды всех спектральных

классов. Случайная погрешность определения полного визуального поглощения для КА-64, КА-86, КА-88 составляет  $\pm 0^m.10$ , для КА-65 –  $\pm 0^m.09$ , для КА-87, КА-98 –  $\pm 0^m.11$ . Случайная погрешность определения расстояния для всех площадок составляет 110 пк на первый килопарсек. На расстоянии 2 кпк случайная погрешность увеличивается до 220 пк. Эффект селекции отсутствует. Определена плотность поглощающей материи  $\Delta A_V / \Delta r$  в исследуемых направлениях на килопарсек ( $\Delta r$  – интервал расстояния, для которого оценивали плотность). Эта часть работы представлена ранее (Yasinskaya M.P., 2004).

Для исследования пространственного распределения звезд разных спектральных классов оценена их пространственная плотность  $D(r)$  на разных расстояниях от Солнца. Для этого сначала были вычислены расстояния до каждой звезды. Пространственная плотность определялась делением количества звезд в данном интервале расстояния на соответствующий объем пространства. Для оценки достоверности полученных величин  $D(r)$  с учетом предельной звездной величины каталогов вычислены расстояния, до которых звезды охвачены полностью. Подробно результаты приведены в Научно-техническом отчете (2004).

Рассмотрим некоторые результаты и проследим взаимное расположение пылевых комплексов и звезд различных спектральных классов.

Площадка **КА-64**. В этом направлении наблюдаются несколько газово-пылевых облаков на расстояниях около 300 пк, 500–700 пк, 1100–1300 пк, 1700–2300 пк. В этих областях локализованы гиганты спектральных классов B8–A–F, карлики B3–B7–A9 (в первом облаке); B8–A–F-гиганты, B8–A9 и М-карлики – в области второго облака; B3–A9-гиганты, и небольшое количество В-карликов расположено в области третьего облака. С четвертым облаком "территориально" связаны В-гиганты, а также O9–B2-карлики. Все О-звезды – гиганты, суб-

Таблица 1: Экваториальные и галактические координаты исследуемых площадок Каптейна

Название площадки	$\alpha_{2000}$	$\delta_{2000}$	$l$	$b$	$n$
КА-64	$20^h 02.^m 0$	$+30^\circ 16'.1$	$67^\circ .1$	$+0^\circ .1$	475
КА-65	$21^h 02.^m 6$	$+30^\circ 32'.8$	$75^\circ .3$	$-10^\circ .8$	425
КА-86	$18^h 15.^m 0$	$+15^\circ 00'.0$	$42^\circ .6$	$+14^\circ .6$	396
КА-87	$19^h 15.^m 0$	$+15^\circ 11'.0$	$48^\circ .9$	$+2^\circ .0$	345
КА-88	$20^h 14.^m 0$	$+15^\circ 26'.0$	$56^\circ .5$	$-10^\circ .7$	440
КА-98	$06^h 52.^m 0$	$-0^\circ 15'.0$	$213^\circ .1$	$+0^\circ .3$	345

гиганты и звезды главной последовательности локализуются на расстояниях 2000–3800 пк. В околосолнечной области (до 300 пк) находится гиганты от поздних В-подклассов до поздних К, F-, G-, K-субгиганты и основное количество В-, A-, F-, G-, K-карликов.

Площадка **КА-65**. В этом направлении наблюдается медленное возрастание поглощения до 1000 пк. Затем плотность пыли резко возрастает, и достигает  $14^m$  на килопарсек. Далее 1200 пк пространство свободно от поглощающей материи. Каталог КА-65 не содержит звезд спектральных классов O–B2. С пылевым облаком, находящимся на расстоянии 500 пк, совпадает расположение B8–A9-гигантов (максимальная плотность), B8–A9-субгигантов, B8–A9-карликов, G0–G9-гигантов (немного) и K-гигантов (впрочем, последние распределены довольно равномерно от 100 до 1000 пк). В область максимального поглощения (1200–1500 пк) попадает только небольшое количество M-гигантов, большая часть которых локализована на расстояниях 500–1200 пк. Основное же количество звезд от B до K всех классов светимости расположено вблизи Солнца в области незначительного поглощения.

В направлении площадки **КА-86** отмечается только одно значительное облако с плотностью поглощения около  $17^m$  на килопарсек на расстоянии 500–700 пк. В этой области находится небольшое количество звезд B8–A9-гигантов и субгигантов, G-, K-, M-гиганты. Яркие гиганты F, G, K, M(II) расположены за пределами облака пыли на расстояниях 800–2200 пк, где поглощение по нашим данным отсутствует. И большая часть B-, A-, F-, G-, K-, M-гигантов, субгигантов и карликов расположена в области 100–500 пк.

Площадка **КА-87**. В области первого пылевого комплекса (100–500 пк) находятся A-, F-, G-, K-гиганты, F-, G-субгиганты, A-, F-, G-, K-карлики. Во втором облаке присутствуют только F- и немного K- ярких гигантов. Между облаками (600–1200 пк) расположены A субгиганты, небольшое количество A-, G- и K-гигантов, M-гиганты и яркие K-гиганты.

В направлении площадки **КА-88** луч зрения проходит под Местным спиральным рукавом. В области до 300 пк локализуются звезды главной последовательности A-, F-, G- спектральных классов, G-, K-субгиганты, K-гиганты, располагающиеся и далее, до 900 пк. В области пылевого облака (300–500 пк) находятся F-гиганты, небольшое количество A-звезд главной последовательности (ГП) и G-, K-гиганты.

В направлении площадки **КА-98** наблюдается три комплекса поглощающей материи. В первом (400–500 пк) расположены A-, G-, K-, M-гиганты, B-, F-, K-субгиганты и B-, A- звезды ГП. Во втором газо-пылевом комплексе (1700–2100 пк) локализуются B-гиганты и звезды ГП O8–B2. С третьим облаком (около 3000 пк) связано расположение звезд ГП O8–B2 и O8–B2-гигантов.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. Расположение сгущений звезд разных спектральных интервалов, в частности, звезд B2, не всегда совпадает с расположением облаков поглощающей материи. Из-за небольших расстояний полного охвата F-, G-, K-, M-карликов и низкой их светимости невозможно исследовать пространственное распределение этих звезд на далеких расстояниях. Плотность звезд-гигантов показывает 2–3 максимума, и самая большая плотность наблюдается вблизи Солнца.

Рисунки, демонстрирующие распределение плотности звезд в двух из рассмотренных направлений, прилагаются (Рис. 1, 2).

## Литература

- Bertaud C.: 1959, *Journal des Observateurs publie par L'Observateurs de Marseille*, **42**, N 4–5.  
 Blair D. Savage, Derk Massa, Marilyn Meade, Paul R. Wesselius.: 1985, *ApJ, Suppl. Ser.*, **59**, 397.  
 Bonneau M.: 1967, *Journal des Observateurs publie par L'Observateurs de Marseille*, **50**, 3.  
 Fitzgerald M.P.: 1970, *Astron. Astophys.*, **4**, 234.  
 Heard J.: 1956, *Publications of the David Dunlap Observatory University of Toronto*, **2**, N 4.

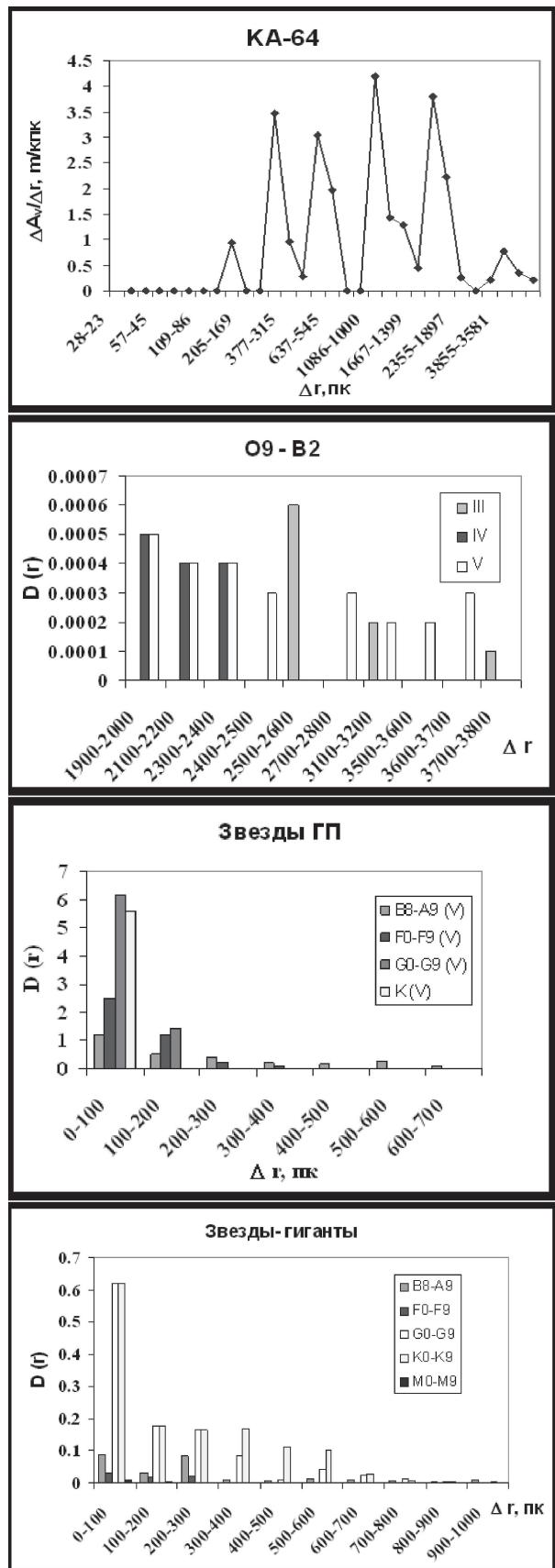


Рис. 1: а – распределение плотности поглощения в направлении КА-64; б, в, г – распределение плотности звезд в этом направлении.

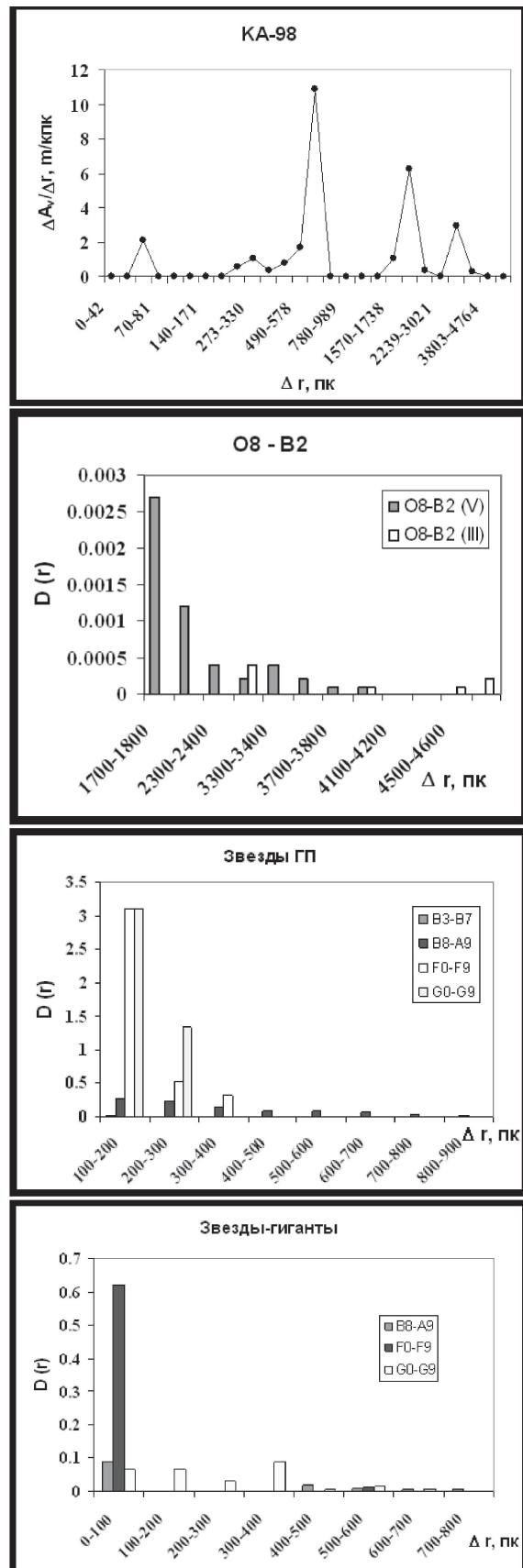


Рис. 2: а – распределение плотности поглощения в направлении КА-98; б, в, г – распределение плотности звезд в этом направлении.

- Perraud H.: 1959, *Journal des Observateurs publié par L'Observateurs de Marseille*, **42**, N 3.
- Petit M., Peyrun Y, Monvoisin G.: 1962, *Journal des Observateurs publié par L'Observateurs de Marseille*, **45**, N 12.
- Wayne H., Warren I.: 1983, *MK-classification extension catalogue of Morris-Kennedy*.
- William H.: 1970, *AJ*, **75**, 324.
- Yasinskaya M.P., Dragunova A.V.: 2004, *Odessa Astron. Publ.*, **17**, 113.
- Ворошилов В. И., Гусева Н.Г., Каландадзе М.Б. и др.: 1976, *Каталог B, V-величин и спектральных классов 18000 звезд*, К.: Наукова думка.
- Научно-технический отчет: 2004, 0101U001418,  
Инв. номер 0204U000475, УкрИНТЭИ.
- Тихов Г.А.: 1951, *Труды ГАО в Пулково*, серия II,  
LXVI.
- Каталог WBVR-величин ярких звезд северного  
неба.: 1991, *Труды ГАИШ*, LXIII.
- Ясинская М. П., Завершинева Л. А., Томак Л. Ф.  
и др.: 2000, *Odessa Astron. Publ.*, **13**, 4.

# REVOLTING EFFECTS IN OWN ROTATION OF HIGH-ORBITAL SATELLITES

## ВОЗМУЩАЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ В СОБСТВЕННОМ ВРАЩЕНИИ ВЫСОКООРБИТАЛЬНЫХ ИСЗ

V.P. Epishev, I.I. Isak, Y.M. Motrunich, I.I. Motrunich, I.F. Naubauer, S.S. Pop, V.I. Kudak

Laboratory of space researches, Uzhgorod National University,  
Dalekaja 2a st. Uzhgorod, 88000, Ukraine, *space@univ.uzhgorod.ua*

**ABSTRACT.** Character of own satellites rotation is analysed, depending on the height of their flight. Results of determination of size of indignations which have influence on a rotation of the probed objects are brought. On the basis of the got results the attempt of estimation of relative change of sun permanent on solar period is done.

**РЕЗЮМЕ.** Анализируется характер собственного вращения ИСЗ, в зависимости от высоты их полета. Приводятся результаты определения величины возмущений, оказывающих влияние на вращение исследуемых объектов. На основании полученных результатов делается попытка оценки относительного изменения солнечной постоянной на цикле солнечной активности.

В Лаборатории космических исследований (ЛКИ) УжНУ реализован нетрадиционный подход к определению величины возмущений со стороны физических полей околоземного космического пространства, которые влияют на вращение ИСЗ любой формы. Он основан на высокоточном определении периода собственного вращения и ориентации неуправляемых космических аппаратов (КА) по результатам комплексных (позиционных и фотометрических) их наблюдений (Епишев и др., 2004). О возможной эффективности этого метода упоминается еще Григоревским В.М. в 1969 году (Григоревский, 1969). Но отсутствие долгое время эффективной методики определения ориентации неуправляемых ИСЗ тормозило его развитие. Разработанные в ЛКИ методики и соответствующие программы обработки результатов наблюдений позволяют оценить направление основных осей неуправляемых КА с точностью до  $1^\circ$  и фиксировать изменение периода их собственного вращения с погрешностью 0.05–0.10 с. Отсюда появляется возможность определять величину возмущений на интервале 1–2 прохождений

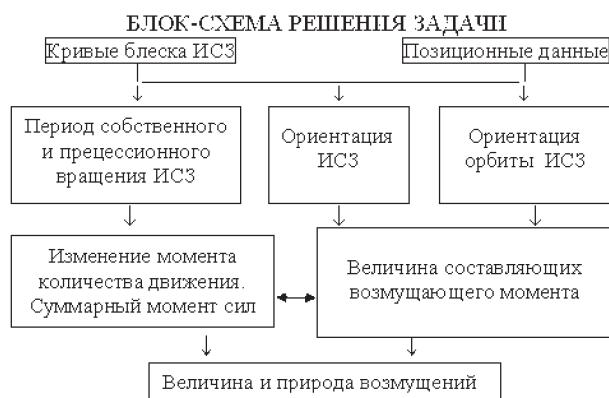


Рис. 1:

ИСЗ. В случае общепринятого метода оценки возмущений, основанного на контроле изменений в элементах орбиты спутника, нужны наблюдения на 2–3 порядка больших интервалах времени. Кроме того последний метод не позволяет определить кратковременные изменения величины возмущения в ту или иную сторону.

Поэтапную реализацию обсуждаемого метода можно представить в виде следующей блок-схемы:

Тщательное изучение поведения на орбите 4-х ИСЗ системы “Мидас” ( $H = 3350\text{--}3750$  км), 2-х – системы “Метеор-2” ( $H = 550\text{--}870$  км), “Гортензии” ( $H = 1479\text{--}1497$  км), “Пагеоса” ( $H = 4000\text{--}4500$  км), одного из геостационаров ( $\# 95099$ ) и некоторых ИСЗ системы “Космос” показывает, что период вращения ряда неуправляемых спутников не только увеличивается, но и периодически уменьшается. У высокоорбитальных КА явно прослеживается связь между их собственным вращением и солнечной активностью. Но она искажается такими факторами, как пребывание спутника в момент наблюдений в той или иной точке орбиты, прямое у спутника дви-

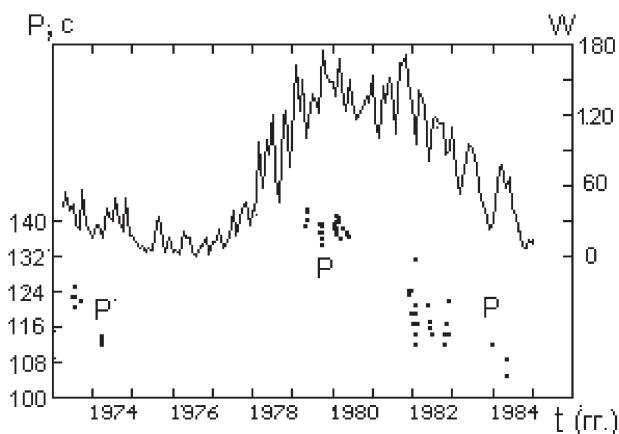


Рис. 2: Изменение периода собственного вращения (P) ИСЗ "Мидас-4" и чисел Вольфа (W) в 1973–1984 гг.

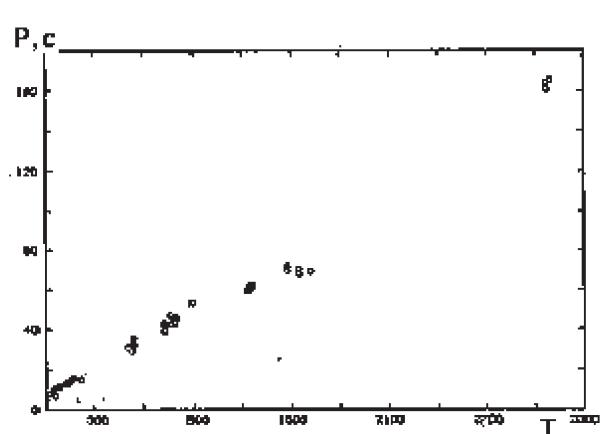


Рис. 4: Изменение периода собственного вращения ИСЗ "Метеор-2" (70047) в 1978–1986 гг.

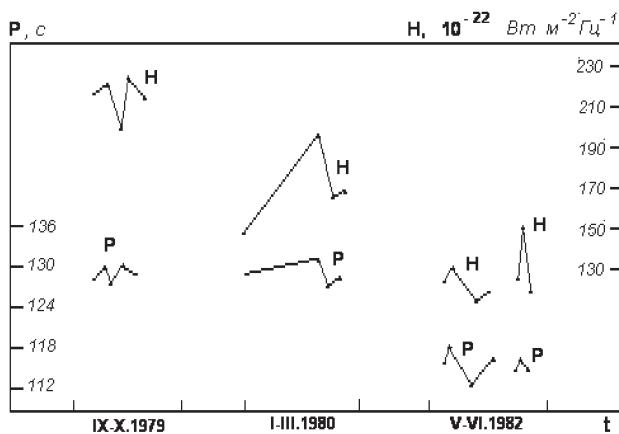


Рис. 3: Излучение Солнца на  $\lambda = 10.7$  см (H) и периоды собственного вращения ИСЗ "Мидас-4" (P) на моменты наблюдений

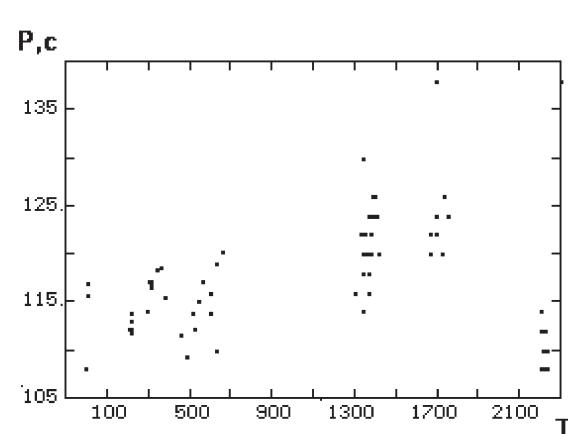


Рис. 5: Изменение периода собственного вращения ИСЗ "Мидас-7" (63030) в 1978–1984 гг.

жение по орбите или обратное, какая его ориентация во время наблюдений. Наиболее существенное влияние на данную зависимость оказывает форма объекта.

На рисунках 2–6 приведены данные об изменении периода собственного вращения некоторых исследуемых нами ИСЗ на длительных интервалах времени, которые подтверждают разнообразный его характер.

По мере возможности для ряда ИСЗ была проведена количественная оценка возмущений действующих на них в моменты наблюдений. Результаты представлены в таблице 1, где  $H$  – высота полета спутника; Матм., Мсолн., Мз.р. – граничные значения возмущающих моментов, соответственно, со стороны атмосферы, солнечного излучения, земной радиации;  $N_{\text{прох.}}$  – количество обработанных прохождений спутника;  $\Delta P_0$  – граничные значения пе-

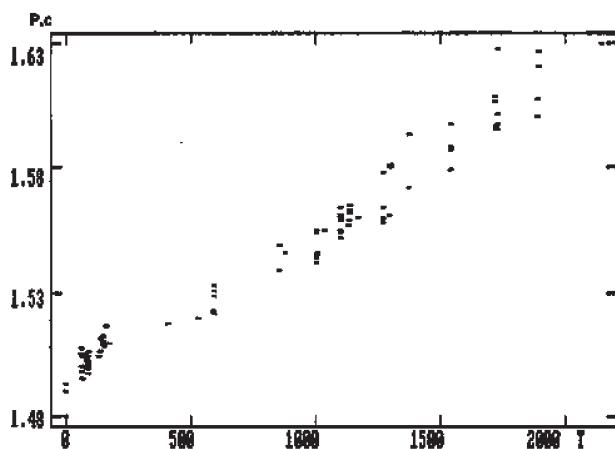


Рис. 6: Изменение периода собственного вращения ИСЗ "Аджисай" (86061) по наблюдениям в 1986–1992 гг.

Таблица 1:

Название ИСЗ	H, км	Матм., (н·м)·10 <sup>-4</sup>	Mсолн., (н·м)·10 <sup>-5</sup>	Mз.р., (н·м)·10 <sup>-5</sup>	Nпрох.	$\Delta P_o$ , сек
						$P_{min} - P_{max}$
1. "Метеор-2"(70019)	550 - 590	4.3 - 15.8	2.6 - 12.5	0.9 - 1.6	27	14.04 - 231.97
2. "Метеор-2"(70047)	860 - 890	0.3 - 10.6	3.5 - 14.3	0.9 - 1.3	42	20.87 - 131.16
3. "Мидас-3"(61018)	3350 - 3530	-	2.0 - 2.4	0.3	7	96.17 - 111.96
4. "Мидас-4"(61028)	3500 - 3750	-	1.7 - 2.5	0.2	80	104.67 - 140.96
5. "Мидас-6"(63014)	3600 - 3680	-	1.9 - 2.2	0.2	12	78.32 - 81.86
6. "Мидас-7"(63030)	3670 - 3720	-	1.9 - 2.2	0.2	113	104.60 - 130.67
7. "Аджисай"(86061)	1479 - 1497	-	0.72		72	1.490 - 1.637

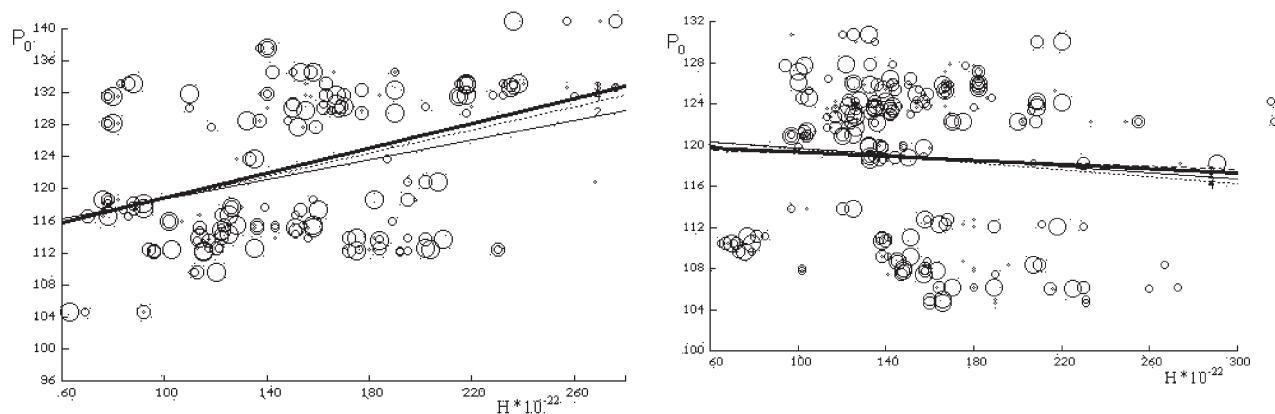


Рис. 7: Корреляционная зависимость между периодом собственного вращения ИСЗ "Мидас-4" и излучением Солнца на  $\lambda = 10,7$  см в ближайшие четверо суток относительно момента наблюдения спутника

периода собственного вращения спутника на всем интервале наблюдения.

Учет взаимодействия излучения со стороны Солнца и Земли с отдельными элементами конструкции объекта проводился через расчет соответствующих фазовых функций, обусловленных формой и ориентацией объекта, а также в некоторой степени характером отражения излучения от поверхности.

Для ИСЗ серии "Мидас" был проведен корреляционный анализ зависимости значения периода их собственного вращения от величины излучения Солнца на  $\lambda = 10,7$  см в ближайшие к моменту наблюдений четверо суток. Результаты анализа для ИСЗ "Мидас-4" и "Мидас-7" отображены на рис. 7, 8. Зависимость периода вращения от солнечного излучения в разные дни, на рисунках обозначена, соответственно, различными четырьмя обозначениями и линиями регрессии.

Полученные данные подтвердили довольно хорошую корреляционную зависимость между собственным вращением ИСЗ и изменением солнечного излучения для объектов "Мидас-3", "Мидас-4" (соответственно коэффициенты корреляции 0,60 и 0,45),

Рис. 8: Корреляционная зависимость между периодом собственного вращения ИСЗ "Мидас-7" и излучением Солнца на  $\lambda = 10,7$  см в ближайшие четверо суток относительно момента наблюдения спутника

и очень слабую для "Мидас-6" и "Мидас-7" (коэффициент – 0,14; 0,11), к тому же с противоположным наклоном линии регрессии. То есть, если увеличение потока солнечной радиации ощутимо тормозит вращение ИСЗ "Мидас-3" и "Мидас-4", то у "Мидас-6" и "Мидас-7" оно убыстряет. Довольно странный результат, который, на наш взгляд, можно объяснить разве что изменениями в поверхностных конструкциях этих пар спутников и направлением их орбитального движения. Так, "Мидас-3,4" по сравнению с вращением Земли имеет обратное движение по орбите, "Мидас-6,7" -- прямое.

Еще более четкая зависимость между солнечным излучением и собственным вращением космических объектов должна просматриваться в случае неуправляемых геостационарных спутников. Это подтверждается результатами первых успешных наблюдений их вращения. Например, результаты телевизионных фотометрических наблюдений за ГСС № 95099, полученных Суховым П.П. в Одесской обсерватории (таблица 2). Здесь  $W$  – числа Вольфа.

На основании приведенных ужгородских наблюдений ИСЗ "Мидас-4" и одесских – ГСС № 95099 мы рискнули оценить относительное изменение потока солнечного излучения (солнечной постоянной)

Таблица 2: Изменения периода собственного вращения ГСС № 95099 и излучения Солнца на  $\lambda = 10.7\text{cm}$

Nº	Дата	$P_0, \text{с}$	$W$	$F_{10.7} \cdot 10^{-22}$
1	28.07.04	32.87	51.0	118.5
2	16.08.04	32.61	40.9	110.1
3	14.09.04	32.22	27.7	103.1
4	03.10.04	31.95	48.4	105.7

на интервале 4,92 года 21 цикла солнечной активности и 0,18 года 23 цикла. Результаты представлены в таблице 3. Здесь  $\bar{M}_0$  – среднее значение возмущающего момента, действующего на ИСЗ со стороны солнечного излучения;  $\delta\bar{M}_0$  – его относительное изменение;  $\delta\bar{M}_0/\bar{M}_0$  – относительное процентное изменение суммарного солнечного излучения на указанном интервале рассматриваемого цикла.

Таблица 3:

Название ИСЗ	$\bar{M}_0 \cdot 10^{-5} \text{ н}\cdot\text{м}$	$\delta\bar{M}_0 \cdot 10^{-7}$	$\delta\bar{M}_0/\bar{M}_0, (\%)$	$\Delta T$ (г)	Nº цикла
Мидас-4	2.30	(1.80+0.21)	(0.78+0.09)	4.92	21
ГСС № 95099		(1.59+0.10)		0.18	23

Полученные результаты оценки относительного изменения суммарного потока солнечного излучения по точности одного порядка с данными его прямых измерений с космических аппаратов. Таким образом, ИСЗ “Мидас-3,4” можно использовать в качестве индикатора изменения потока солнечной радиации на границе земной атмосферы.

В случае анализа вращения двух одинаковых низкоорбитальных ИСЗ системы “Метеор-2”, которые находятся на разных высотах, получена оценка величины изменения возмущений со стороны атмосферы в зависимости от высоты полета спутника над поверхностью Земли. На перепаде высот от 550 км до 870 км величина таких возмущений отличается в 6–7 раз.

### Литература

- Епишев В.П., Исак И.И., Мотрунич И.И., Новак Э.И.: 2004, *Космічна наука і технологія*, **10**, №5/6, 152.  
 Григорьевский В.М.: 1969, *Бюлл. ст. оптич. наблюдений искусств. спутников Земли*, **54**, 9.

# ELECTRO-PHOTOMETRY OF SATELLITES IN UZHGOROD BEGINS FROM ODESSA

## ЭЛЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ИСЗ В УЖГОРОДЕ НАЧАЛАСЬ С ОДЕССЫ

V.P.Epishev, Y.M.Motrunich, I.I.Motrunich, I.F.Naubauer

Laboratory of space researches, Uzhgorod National University,  
Dalekaja 2a st. Uzhgorod, 88000, Ukraine, *space@univ.uzhgorod.ua*

**ABSTRACT.** The contribution of photometric observations of satellites in solutions of many scientifically applied tasks is considered. The role of Odessa's astrophysics is specially shwed in creation of this method in Laboratory of space researches of the Uzhgorod National University.

**Keywords:** electro-photometry of satellites, electrophotometer, orientation, rotation, indignations.

**РЕЗЮМЕ.** Рассмотрен вклад фотометрических наблюдений ИСЗ в решение многих научно - прикладных задач. Особо подчеркнута роль одесских астрофизиков в зарождении данного метода в Лаборатории космических исследований Ужгородского национального университета.

**Ключевые слова:** электрофотометрия спутников, электрофотометр, ориентация, вращение ИСЗ, возмущения.

В Украине Одесская астрономическая обсерватория (ОАО) была и остается ведущим коллективом в исследовании космических объектов изменяющих свой блеск. Именно здесь возникла идея – проводить фотометрические наблюдения ИСЗ с целью изучения их поведения на орбите – и здесь же ее, впервые на территории бывшего СССР, воплотили в жизнь. Приоритет одесских ученых в зарождении этого направления в современной астрофизике не оспаривается нигде в мире.

Значительный рост количества ИСЗ усложнил контроль за их движением и увеличил вероятность возникновения аварийных ситуаций на орbitах. Актуальной стала и проблема распознавания искусственных космических объектов. Решить эти проблемы, как показывал опыт, тоже можно было на основании использования методов фотометрии ИСЗ. И первыми в СССР, кто поддержал одесситов в новом направлении контроля ИСЗ, стали ужго-

родские наблюдатели. В середине 60-х годов в Ужгороде попробовали внедрить в жизнь фотографическую фотометрию ИСЗ, но вскоре поняли, что электрофотометрия, как метод, в данном случае не имеет альтернативы.

В это время в ОАО уже было разработано несколько типов специальных спутниковых электрофотометров. Поэтому руководитель лаборатории космических исследований (ЛКИ) Ужгородского госуниверситета М.В. Братийчук обратилась к директору ОАО В.П. Цесевичу с просьбой о помощи в изготовлении электрофотометра. Она была удовлетворена без всяких встречных условий. В результате совместных усилий ведущих специалистов ОАО В.М. Иванова, Ю.А. Медведева, Н.С. Комарова и аспиранта ЛКИ Мотрунича Я.М. был создан первый в УжГУ двухканальный спутниковый электрофотометр, работающий в режиме усиления постоянного тока (Братийчук и др., 1974).

Электрофотометрические наблюдения ИСЗ в УжГУ начались в 1971 году. Ужгородские астрофизики не подвели своих одесских учителей. Вскоре они вышли на передовые рубежи в области электрофотометрических наблюдений ИСЗ и их дальнейшей интерпретации. Изготовили еще один электрофотометр – колориметр (Братийчук и др., 1982). Первыми в СССР провели наземные поляризационные наблюдения космических аппаратов. И хотя по технике исполнения они были довольно простыми, их информативность относительно идентификации отдельных деталей на поверхности ИСЗ оказалась более эффективной, нежели за результатами интегральной электрофотометрии этих объектов. За 30 лет в каталог ЛКИ вошло более 2,5 тысяч кривых блеска до двухсот ИСЗ (Епішев и др., 2002). Разработанные в коллективе методики и соответствующие программы определения ориентации, периода собственного вращения, элементов орбиты ИСЗ позволили определить для более 50-ти объек-

тов динамические и поверхностные характеристики. Около 30-ти объектов полностью идентифицированы. Среди них ИСЗ американской системы "Тирос-N", "Феррет" двух поколений, французской система "Спот" и многие другие (Епишев и др., 2007). Результаты фотометрических наблюдений неуправляемых ИСЗ оказались довольно информативным источником о природе возмущений действующих на их вращение. На основе этих наблюдений, в симбиозе с результатами позиционных наблюдений, в ЛКИ разработан метод оценки влияния возмущений на собственное вращение ИСЗ, который позволяет получать их непосредственные значения на момент наблюдений, а не усредненные на интервале месяц и более, как это практиковалось до последнего времени (Епишев и др., 2004). Его использование не только повышает точность оценки величины возмущений, но и позволяет обнаружить кратковременные физические процессы, спровоцированные солнечной радиацией в атмосфере Земли. Полученные в ЛКИ экспериментальные результаты разрешают утверждать, что ИСЗ "Мидас 3,4", которые будут летать еще миллионы лет, могут служить индикаторами изменения солнечной активности в процессе мониторинга солнечной постоянной.

Таким образом, общение с профессором В.П. Цесевичем и его сотрудниками помогло ужгородцам заложить в ЛКИ фундамент целого научно-прикладного направления на многие годы вперед. Зародившиеся тогда научные контакты между двумя коллективами успешно продолжаются и в настоящее время.

## Литература

- Братийчук М.В., Мотрунич Я.М., Ласло Т.И., Игнатович С.И. и др.: 1974, *Астрометрия и астрофизика*, **21**, 109-116.  
Братийчук М.В., Епишев В.П., Ласло Т.И., Мотрунич Я.М., Найбауэр И.Ф., Шумаков Р.Г.: 1982, *Астрометрия и астрофизика*, **46**, 84-92.  
Епишев В.П., Ігнатович С.І., Ісаак І.І., Каблак Н.І., Клімік В.У., Мотрунич І.І., Мотрунич Я.М., Найбауэр І.Ф.: 2002, *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Фізика*, **12**, 14-26.  
Епишев В.П., Ісаак І.І., Мотрунич І.І., Найбауэр И.Ф., Новак Э.И.: 2007, *Космічна наука і технологія*, **13**, N 1, 54-59.  
Епишев В.П., Ісаак І.І., Мотрунич І.І., Новак Э.И.: 2004, **10**, N 5/6, 152-155.

# SOME RESULTS OF THE U CrB OBSERVATIONS in 1856-2007

## ИТОГИ НАБЛЮДЕНИЙ U CrB в 1856-2007 г.г.

V.D.Grigorenko, S.A.Gadon, S.E.Shurpakov, I.S.Bryukhanov

Amateur group of variable stars Observers "Betelgeuse",  
the Republic Center of Technical Creativity of Pupils,  
220023, Belarus, Minsk, Makaionak str., 12, *betelgeize\_astro@mail.ru*

**ABSTRACT.** Приводятся исторические результаты фотометрии затменной переменной звезды U CrB (тип EA / SD) за 1856 – 2007 г. г. Авторы предполагают что в системе U CrB происходит взаимообмен веществом между компонентами.

**Key words:** Star: classical eclipsing U CrB.

В статье приведён обзор любительских измерений блеска звезды U CrB наблюдателями группы "Бетельгейзе" с учётом исторических данных. Авторы статьи благодарят создателей сайта B.R.N.O. (<http://var.astro.cz/ocgate/index.php?lang=en>) за высококачественную работу по подборке эпох минимумов звёзд типа EA и литературы. Вся литература по историческим наблюдениям U CrB использованная в этой статье взята из источника сайта B.R.N.O.

В 2007 г. были проведены и учтены в работе 5 визуальных и фотоэлектрических контрольных совместных наблюдений минимумов U CrB, сделанные С. Э. Шурпаковым в г. Барань (Беларусь; обсерватория "TAURUS-1", код в MPC – A98), В. Д. Григоренко в г. Калуга (Россия), С. А. Гадоном в г. Волковыск (Беларусь) и Брюхановым И. С.

Учтены в работе итоги измерений в индивидуальных звёздных величинах блеска U CrB, выполненные И. С. Брюхановым на фотопластинках Одесской коллекции 1957 – 1988 г. г. в лучах V и B, Московской коллекции 1896 – 1996 г. г. в лучах B, на негативах Минской любительской фототеки 1985–2007 г.г. в лучах V и B. Графики представлены на рис. 1, 2, 3, 4.

Приведённый на сайте B.R.N.O. график О – С U CrB за период 1856 – 2005 г. г. (рис. 5) и обработанный авторами архив эпох минимумов U CrB за период 1856 – 2007 г. г. (рис. 6) говорит о том, что в системе U CrB происходит по предположению авторов взаимообмен веществом между компонентами.

Авторами статьи за звездой U CrB будут проведены контрольные наблюдения ещё в течение 2 лет для завершения анализа О - С.

Благодарим за помощь в работе Николая Н. Самуся, Сергея М. Андриевского, Валентина Г. Каретникова, Юрия Н. Бондаренко и Александра И. Пихуна.

### Литература

- Kholopov P.N., Samus N.N. et al.: 1985, *General Catalogue of variable stars, I-III*.  
 Казанасмас М.С., Завершинева Л.А., Томак Л.Ф.: 1981, *Атлас и каталог фотоэлектрических стандартов*.  
 Lafler J., Kinman T. D.: 1965, *Ap. J. Suppl.*, **11**, 216.  
 Hoffmeister C., Richter G., Wenzel W.: 1990, *Veränderliche Sterne, Sternwarte Sonneberg, Leipzig*.

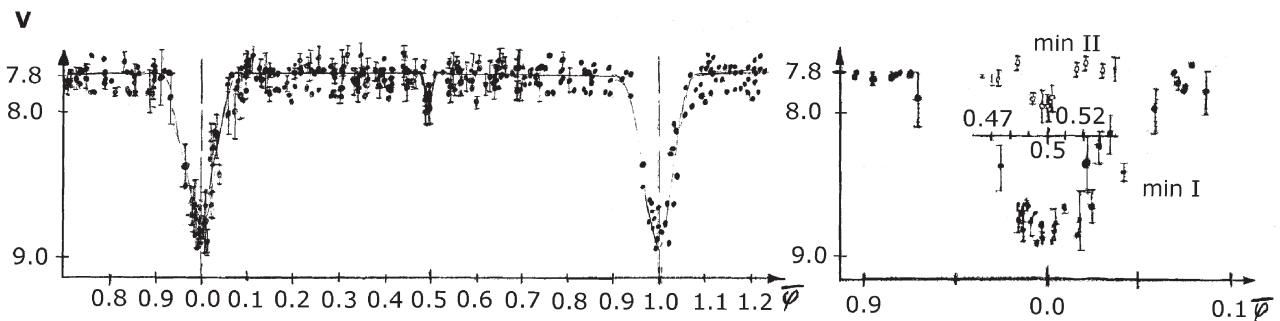


Рис. 1: Сканер-изображение рукописного варианта графика измерений блеска U CrB на фотопластинках Одесской коллекции 1957-1988 г.г.

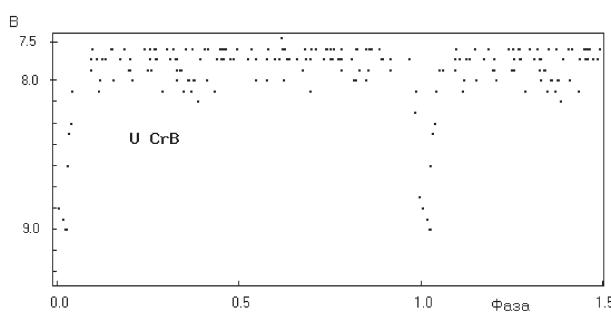


Рис. 2: График U CrB, Московская коллекция 1896-1996 г.г.

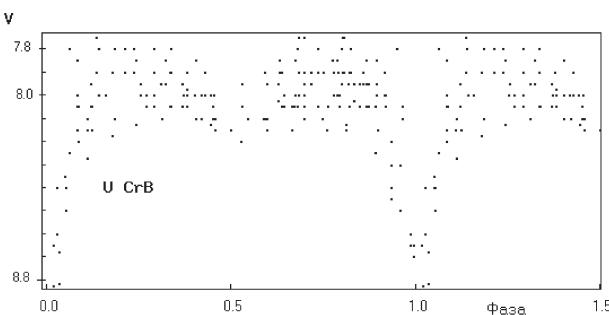


Рис. 3: График U CrB по измерениям на негативах Минской любительской фототеки в 1991-1995 г.г. в лучах V

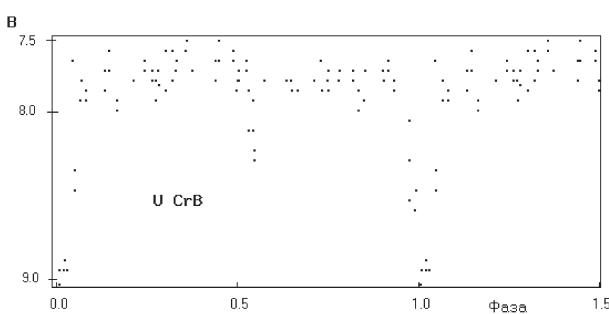


Рис. 4: График U CrB по измерениям на негативах Минской любительской фототеки в 1995-2000 г.г. в лучах B

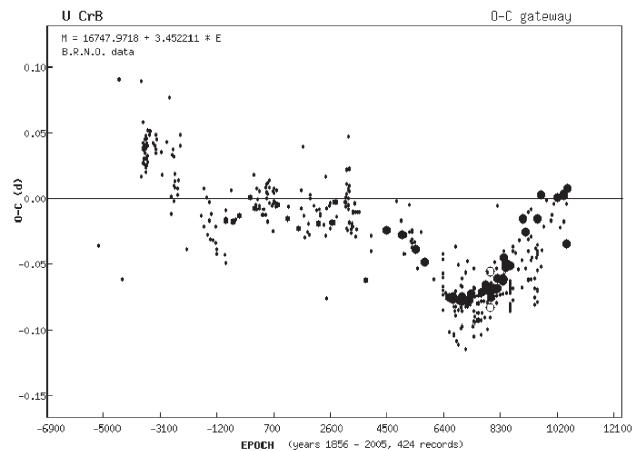


Рис. 5: График O - C U CrB за период 1856-2005 г.г. (B.R.N.O. Чехия)

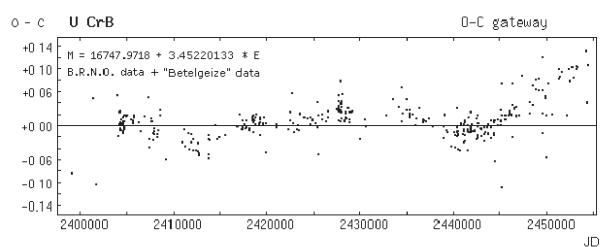


Рис. 6: График O - C U CrB за период 1856-2007 г.г. (исторический архив B.R.N.O. Чехия и полученные в группе "Бетельгейзе" моменты минимумов)

# THE HALF-YEAR MONITORING OF METEOROID INFLUX TO THE NEAR-EARTH SPACE BY TV-OBSERVATIONS

## МОНИТОРИНГ ПОЛУГОДОВОГО ПРИТОКА МЕТЕОРНОГО ВЕЩЕСТВА НА ЗЕМЛЮ ПО ДАННЫМ ОБЪЕКТИВНЫХ РЕГИСТРАЦИЙ МЕТЕОРОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫМ МЕТОДОМ

A.P. Kartashova, A.V. Bagrov, G.T. Bolgova, V.A. Leonov

Institute of Astronomy Russian Academy of Science  
48 Pyatnitskaya Str., Moscow 119017 Russian Federation  
*akartashova@inasan.ru*

**ABSTRACT.** The Astronomical Institute of Russian Academy of Science provides TV-meteor observations since 2000. We began them with hybrid camera for Space Control Survey, but now we use 6 simple wide-angle Patrol Camera (PatrolCa) for every-night monitoring of bright (up to 5m) meteors in zenith region nearly 2400 square degrees, and high-sensitive hybrid camera FAVOR with limiting magnitude for meteors about 9m...10m in field of view 400 square degrees. Our aim is correct estimation of meteoroid influx to the Near-Earth space. Results of half-year monitoring are presented in this paper, including distribution of meteors by time, by magnitude, by hour frequency etc. It is underlined, that earlier revealed depression of number of meteors with brightness 5m...6m due to the Poynting-Robertson drag is confirmed.

The work was supported by RFBR grants 06-02-08313 and 06-02-16365.

**Key words:** meteor, meteor stream, television observations, the meteoroids monitoring.

### Задачи мониторинга:

- Измерение притока метеорного вещества объективными методами регистрации
- Определение уровня метеорной опасности для космической деятельности (Bagrov et al., 2006)

Опасность представляют главным образом частицы миллиметрового и субмиллиметрового диапазона. Дающие метеоры яркостью от 0:5 звездной величины. Более мелкие частицы вызывают только эрозию поверхности космических аппаратов, но не

представляют опасности для их функционирования. На основании этого, аппаратура должна обеспечивать уверенную регистрацию метеоров до 5 звездной величины.

Для решения задач мониторинга необходимо постоянно получать объективные данные регистрации метеорных явлений. Более того, необходимо по возможности проводить непрерывные ряды наблюдений. Для этого мы осуществляем наблюдения во всё темное время суток включая наблюдения через разрывы в облаках.

Широкоугольные камеры охватывают наблюдениями не более 100 кв. км земной атмосферы. Следовательно, при среднем расстоянии частиц в потоках 1000 км, нам необходимо по возможности увеличивать площадь обозреваемой поверхности. Поэтому у нас в настоящее время ставятся патрульные наблюдения на Кавказе - КОСМОТЭН, Звенигороде, Рязани и Иркутске. Кроме того, нами проводятся сеансы базисных наблюдений, которые позволяют определять орбитальные параметры отдельных метеоров.

Выбор параметров наблюдательной техники проходил в несколько этапов. Первые наблюдения в 1999 году были осуществлены с помощью телевизионной камеры All-Sky. Ее проникающая сила (3 м по метеорам) оказалась недостаточной для решения поставленных задач. В 2000-2001 мы использовали гибридную телевизионную камеру для пробных наблюдений с полем зрения 48 градусов (Багров и др., 2003). На основе полученного опыта мы разработали и изготовили патрульную камеру ("Патруль-Ка"), которая была установлена на пункте наблюдения Архыз (Северный Кавказ). На основе каме-

ры "ПатрульКа" была изготовлена серия аналогичных камер для стационарных и мобильных наблюдений. Во всех камерах используется объективная регистрация на магнитную ленту. Проникающая сила по зарегистрированным записям 5,5m:6m по звездам и по метеорам -5m.

Предварительная обработка полученного материала является крайне трудоемкой. Она заключается в визуальном просмотре полученных видеозаписей, выявлению кадров с метеорами и координатной обработке полученных кадров. Из-за большой трудоемкости большая часть полученного материала еще не обрабатывалась, т.к. этот процесс требует полной автоматизации, которая в данный момент проходит стадию отладки и тестирования. В частности уже сейчас создано программное обеспечение для координатных измерений событий в поле широкоугольной камеры с точностью соответствующей угловому размеру 1 пикселя (Карташова, 2007). А также разработан программный продукт для получения орбитальных параметров метеоров полученных на патрульных и мобильных камерах.

Мониторинг метеорных событий, проводимый нами с 2002 года, дополняется эпизодическими наблюдениями метеоров на камере FAVOR (Багров и др., 2003; Bagrov & Maslennikova, 2005). Проникающая сила этой камеры составляет до 9-10m по метеорам в поле зрения 18x22 градуса при кадровой частоте 7,5 Гц.

За период с 31 июля по 31 декабря 2006 года было получено 3580 метеоров на 25045 кадрах. Число метеоров, которое было зафиксировано, за указанный период продемонстрировано на рисунке 1.

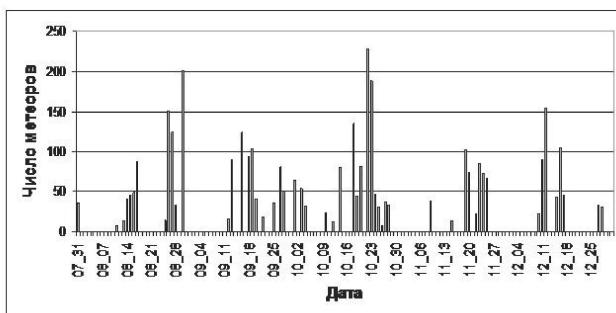


Рис. 1: Распределение количества зарегистрированных метеоров по датам в период с 31.07-31.12.06 г.

На рисунке 2 показана продолжительность наблюдений по датам в период с 31 июля по 31 декабря 2006 года.

Среднечасовое число метеоров по датам показано на рисунке 3.

Из этого большого массива наблюдений более

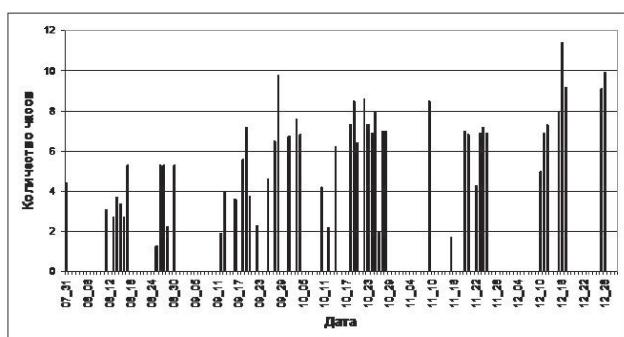


Рис. 2: Распределение продолжительности наблюдений по датам в период с 31 июля по 31 декабря 2006 года.

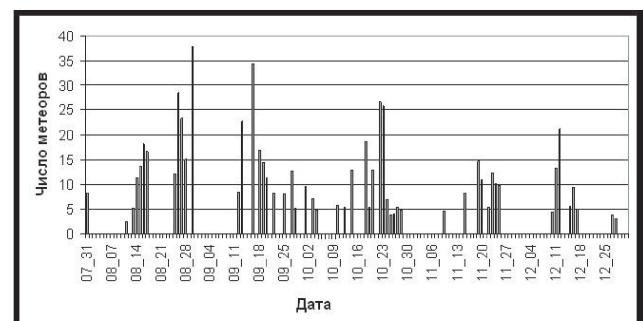


Рис. 3: Распределение количества метеоров зарегистрированных за час наблюдений.

полную обработку (измерены координаты и яркость) прошли метеоры, зафиксированные с 11 по 16 августа 2006 г. Мы получаем оценку максимальной яркости каждого метеора методом визуального сравнения видимых яркостей метеорного трека и окрестных звезд. Все наши оценки яркости не редуцировались к зениту, как это принято при визуальных наблюдениях. При том зенитном расстоянии, которое имела камера FAVOR во время наблюдений ( $40^{\circ}$ ) поправка к яркости заметно меньше точности оценок, и точности их огрубления. В результате за период наблюдений получаем распределение метеоров по звездным величинам продемонстрированное на рисунке 4.

Нами было проведено отождествление метеоров с известными ранее потоками. Отождествление проводилось по измерению расстояния от большого круга с метеорным треком до известного радианта. Условие для принадлежности к потоку – расстояние должно быть не более  $2^{\circ}$  и также учитывалась угловая скорость метеора (все метеоры одного потока имеют примерно одну скорость). Для "длинных" метеоров применялось дополнительное усло-

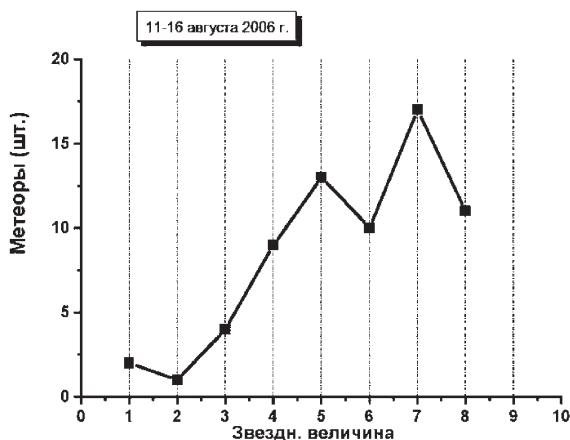


Рис. 4: Распределение метеоров по звездным величинам для всех метеоров в период с 11 по 16 августа 2006 г.

вие: элонгация метеора не должна быть меньше его длины.

Таким образом из числа прошедших обработку метеоров были выявлены объекты, принадлежащие к потоку Персеид. Для них получили следующее распределение по звездным величинам (рисунок 5).

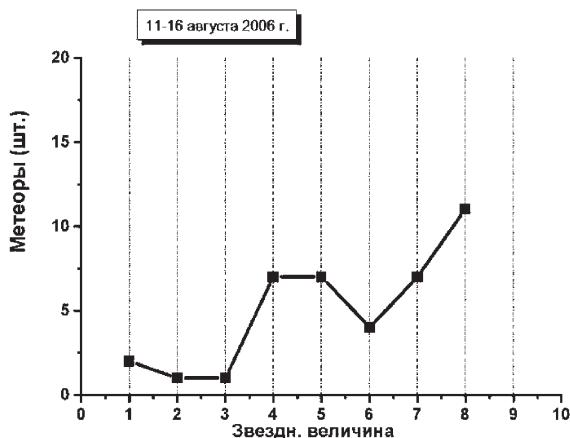


Рис. 5: Распределение метеоров по звездным величинам для потока Персеиды за период с 11 по 16 августа 2006 г.

На рисунке 5 приведено реально наблюдавшееся распределение, которое подтверждает ранее обнаруженный на массиве из полутора сотен метеорных регистраций в августе 2004 года "провал" в области 5-7 звездной величины (Bagrov & Maslennikova, 2005).

На рисунке 6 приведены данные о метеорах принадлежащих к известным ранее потокам.

Распределение по яркости метеоров в отдельных

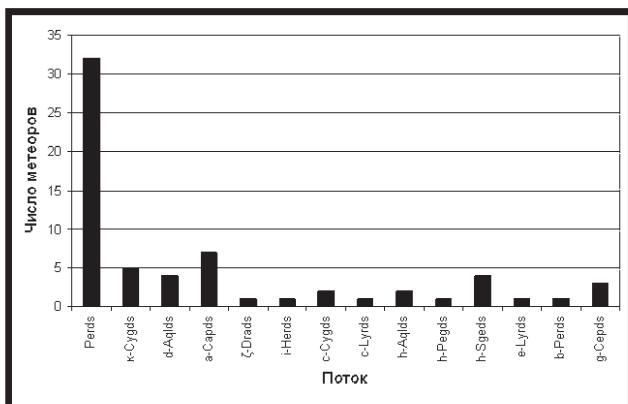


Рис. 6: Выявленные метеоры принадлежащие к потоку

потоках представлено в таблице 1:

Поток	Звездная величина								Всего
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Perds	2	1	1	7	7	4	7	3	32
k-Cygs			1		1	1	3	1	7
d-Aqlds							1	3	4
a-Capds				1	1	2	1	2	7
ξ-Draids								1	1
i-Herds					1				1
c-Cygs		1				1			2
c-Lyrs						1			1
h-Aqlds			1				1		2
h-Pegds								1	1
h-Sgeds					2	1	1		4
e-Lyrs							1		1
b-Perds						1			1
g-Cepds							2	1	3
Всего:	2	1	4	9	13	10	17	11	65

Эта таблица графически представлена на рисунке 7.

Из этих данных видно, что представительный результат должен содержать больше наблюдений. В принципе, за короткий период одной ночи даже мощной техникой мы его не получим, поэтому предполагается вести накопление данных в течение длительного периода времени.

Активные метеорные наблюдения уже привели к накоплению огромного массива регистраций метеорных событий. Все сохраняемые в банке данных материалы являются объективной регистрацией метеорных явлений. Наверное, впервые в регистрации метеорных явлений объем наблюдательного материала превысил возможности по его обработке и интерпретации. Поэтому основные усилия мы прилагаем к созданию комплекса программ для автоматической обработки этого материала. Полу-

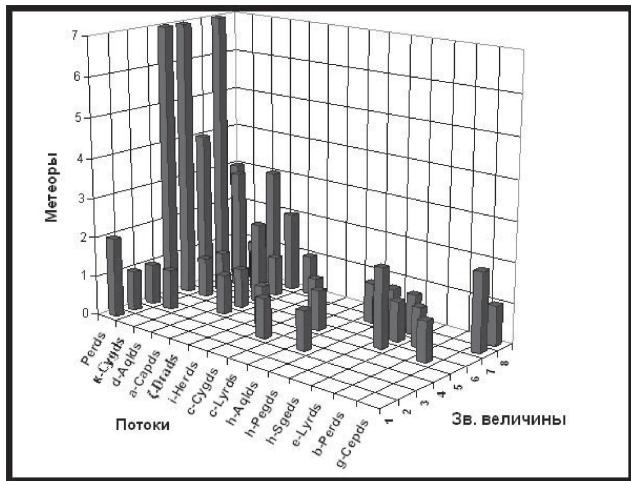


Рис. 7: Распределение метеоров по звездным величинам и по потокам.

ченный материал в 2006 году дополняет полученный ранее наблюдения 2004 года, которые уже позволили выявить "провал" в распределении звездных величин и дрейф метеорных орбит вызванный эффектом Пойтинга-Робертсона, поэтому полная обработка результатов мониторинга метеорных событий позволит вычислить приток метеорного вещества на Землю и установить этапы эволюции метеорных потоков за последние несколько сотен лет.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 06-02-16365.

## Литература

- Bagrov A.V., Kartashova A. P., Leonov V. A.: 2006, *Planetary Cosmogony of the Solar System: the origin of dangerous meteoroids*, Washington.  
 Багров А.В., Бескин Г.М., Бирюков А., Бондарь С.Ф., Золотухин И.Ю., Карпов С.В., Иванов Е.И., Позаненко А.С.: 2003, *Труды конф. "Околоземная Астрономия"*, Терскол, 8-13 сент. 2003, **2**, 101-106.  
 Масленникова Е.С.: 2003, [www.astronet.ru/db/msg/1198177/node1.html](http://www.astronet.ru/db/msg/1198177/node1.html).  
 Багров А.В., Болгова Г.Т., Леонов В.А.: 2003, *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl Ser.*, **4**, 265-268.  
 Карташова А.П.: 2007, *Труды конф. "Околоземная Астрономия"*, Терскол.  
 Bagrov A.V., Maslennikova E.S.: 2005, in IAU Symposium 229 *Asteroids, Comets, Meteors, Abstract book*, p.65.

# DETERMINATION OF AES ORBIT ELEMENTS USING MIXED DATA

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТЫ ИСЗ ПО СМЕШАННЫМ ДАННЫМ

S.Ja.Kolesnik, S.L.Strakhova

Odessa Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *astro@paco.odessa.ua*

**ABSTRACT.** An algorithm is worked out and a program is compiled for a determination of AES (artificial Earth satellite) orbit elements using both goniometrical and range-finder observations of different precision. The observations of one or several passages carried out from one or several stations can be used. A number of observational stations and a number of observations are not limited in principle.

When solving this task the AES ephemerides on the moments of observations are calculated for different sets of orbit elements. A parameter  $F$  is considered which is a function of orbit elements. The parameter presents a square-mean deviation of AES ephemeris position on the moments  $\{t_i\}$  from its observed one. The determination of real orbit elements comes to minimizing of parameter  $F$  by orbit elements using a method of deformed polyhedron.

When calculating the ephemeris the amendments for 2-d, 3-d, 4-th geopotential zone harmonics are considered.

**РЕЗЮМЕ.** Разработан алгоритм и составлена программа определения элементов орбиты ИСЗ с использованием как позиционных, так и дальномерных наблюдений различной точности. Могут быть использованы наблюдения одного или нескольких прохождений ИСЗ, выполненные как на одной станции, так и с разных станций. Число станций наблюдения и число наблюдений в принципе не ограничены.

В процессе решения поставленной задачи вычисляются эфемериды ИСЗ на моменты наблюдений  $\{t_i\}$  для различных наборов элементов орбиты. Введен в рассмотрение параметр  $F$ , который является функцией элементов орбиты и представляет собой среднеквадратичное отклонение эфемеридных положений ИСЗ в моменты  $\{t_i\}$  от их наблюдённых значений. Вычисление истинных элементов орбиты сводится к минимизации параметра  $F$  по элементам орбиты методом деформируемого многогранника.

При вычислении эфемерид ИСЗ учтены поправки за 2-ю, 3-ю и 4-ю зональные гармоники геопотенциала.

### 1. Вычисление функционала невязок

Для реализации указанных требований не могут быть применены классические методы, использующие малое количество высокоточных наблюдений (Дубошин, 1968; Эскобал, 1970). Нами определялись элементы оскулирующей орбиты ИСЗ на момент пересечения восходящего узла. Поскольку при малых значениях эксцентриситета аргумент перигея  $\omega$  становится неопределенным, в наших вычислениях применялся набор параметров

$$(a; e \cdot \cos \omega; e \cdot \sin \omega; \Omega; i; t_\Omega) \quad (1)$$

В методике реализована возможность вычислять эфемериды ИСЗ на моменты наблюдений  $\{t_i\}$  для любого набора элементов орбиты (1).

Пусть выбран некоторый набор (1). Для каждого угломерного наблюдения, соответствующего моменту  $t_i$ , может быть вычислен орт  $\vec{e}_i^H$  направления "наблюдатель-ИСЗ"; с другой стороны, по набору (1) вычисляется эфемеридный вектор  $\vec{\rho}_i^E$  "наблюдатель-ИСЗ". Назовём невязкой  $i$ -го угломерного наблюдения (тангенциальной невязкой)  $d_i^\tau$  расстояние от эфемеридного положения спутника до луча зрения "наблюдатель-ИСЗ", определяемого положением наблюдателя и ортом  $\vec{e}_i^H$ . Тогда

$$d_i^\tau = |\vec{\rho}_i^E \times \vec{e}_i^H|. \quad (2)$$

Аналогично, для дальномерного наблюдения, выполненного в момент  $t_j$ , известно топоцентрическое расстояние спутника  $\rho_j^H$  (наклонная дальность). Вычислим на момент  $t_j$  эфемеридное зна-

чение  $\rho_j^E$  и составим невязку дальномерного наблюдения  $d_j^\rho$  (радиальную невязку) по формуле

$$d_j^\rho = |\rho_j^E - \rho_j^H|. \quad (3)$$

Обе невязки ( $d_i^\tau$  и  $d_j^\rho$ ) имеют размерность длины.

Назовём функционалом невязок взвешенную сумму квадратов всех невязок:

$$F = \frac{1}{P} \left( \sum_i p_i (d_i^\tau)^2 + \sum_j p_j (d_j^\rho)^2 \right), \quad (4)$$

где  $P$  – сумма весов всех наблюдений.

## 2. Минимизация функционала невязок

Если выбранный набор (1) совпадает с истинными значениями элементов орбиты, то невязки  $d_i^\tau$ ,  $d_j^\rho$  принимают минимальные значения, близкие к ошибкам наблюдений, и функционал невязок  $F$  принимает также минимальное значение.

Итак, для определения истинных значений элементов орбиты необходимо минимизировать функционал  $F$  по всем шести элементам орбиты (1). Минимизация выполнялась методом деформируемого многогранника (метод Нелдера-Мида) (Химельблау, 1975). Для выбора начальных точек минимизации вычислялись элементы ближайшей круговой орбиты

$$(a; \Omega; i; t_\Omega). \quad (5)$$

## 3. Проблема выбора начальных точек

При вычислении элементов круговой орбиты применялся также метод Нелдера-Мида с четырьмя переменными (5). При некоторых наборах (5) имеет место сходимость к локальным минимумам, далёким от оптимальной круговой орбиты. Поэтому минимизация функции  $F(a; \Omega; i; t_\Omega)$  производилась многократно из различных начальных точек; в качестве элементов оптимальной круговой орбиты выбирался набор (5), соответствующий самому глубокому минимуму. Начальные точки выбирались в узлах трёхмерной сетки, содержащей:

5 значений радиуса орбиты:  $a = 6300 + 300 \cdot k_a$  (км), где  $k_a = 1, \dots, 5$ ;

18 значений долготы восходящего узла:  $\Omega = (k_\Omega - 1) \cdot 20^\circ$ , где  $k_\Omega = 1, \dots, 18$ ;

5 значений наклонения:  $i = k_i \cdot 30^\circ$ , где  $k_i = 1, \dots, 5$ .

Начальное значение времени прохождения восходящего узла  $t_\Omega$  грубо принималось равным времени первой наблюдённой точки  $t_1$  и уточнялось в процессе минимизации.

Как и при поиске круговой орбиты, при вычислении эллиптической орбиты проблема ложных локальных минимумов разрешалась путём увеличения числа начальных точек минимизации. Не меняя  $\Omega, i$ , которые достаточно уверенно определяются уже на круговой орбите, мы выбирали начальные значения  $a, e, \omega$  в узлах трёхмерной сетки:  $a = R - 400$  км,  $R, R + 400$  км, где  $R$  – радиус найденной круговой орбиты;  $e = 0.02, 0.05, 0.10$ ;  $\omega = (k_\omega - 1) \cdot 45^\circ$  ( $k_\omega = 1, \dots, 8$ ). Кроме того, производилась минимизация непосредственно от параметров круговой орбиты. Оптимальным набором элементов орбиты считался набор (1), для которого значение  $F$  – наименьшее.

## 4. Вычисление эфемерид, учёт зональных гармоник геопотенциала

Точность эфемерид, вычисляемых на моменты наблюдений по наборам элементов орбиты (1), должна соответствовать точности наблюдений, то есть ошибка на интервале времени порядка одних-двух суток не должна превышать нескольких метров. Поэтому при вычислении эфемерид учитывалась не только 2-я зональная гармоника геопотенциала, но также 3-я и 4-я зональные гармоники. Таким образом, потенциал гравитационного поля Земли рассматривался в виде

$$U = \frac{k^2}{r} \left( 1 + \frac{c_{2,0} a_0^2}{r^2} P_{2,0}(\sin \varphi) + \frac{c_{3,0} a_0^3}{r^3} P_{3,0}(\sin \varphi) + \frac{c_{4,0} a_0^4}{r^4} P_{4,0}(\sin \varphi) + \dots \right), \quad (6)$$

где  $k^2$  – постоянная поля тяготения Земли,  $a_0$  – средний экваториальный радиус Земли,  $r$  – расстояние ИСЗ до центра Земли,  $\varphi$  – геоцентрическая широта ИСЗ,  $P_{n,0}(\sin \varphi)$  – сферические функции (зональные гармоники). Уравнения движения ИСЗ во второй экваториальной системе координат имеют вид:

$$\ddot{x} = \frac{\partial U}{\partial x}; \ddot{y} = \frac{\partial U}{\partial y}; \ddot{z} = \frac{\partial U}{\partial z}. \quad (7)$$

Для учёта поправок за счёт 2-й, 3-й и 4-й зональных гармоник нами был выбран простейший вариант прямого решения системы (7) методом Рунге-Кutta 4-го порядка (Калиткин, 1978). Начальными условиями для системы (7), преобразованной в систему 6-и дифференциальных уравнений 1-го порядка, служат положение и скорость ИСЗ на момент прохождения восходящего узла орбиты, вычисленные по набору элементов орбиты (1).

Исследование численного решения показало, что при шаге порядка  $2^s$  ошибка даже на интервале порядка 1-2 суток не превышает нескольких метров,

что соответствует точности регистрации положения ИСЗ. В частности, вычисляя с помощью квадратичного интерполирования положение и скорость объекта в конце каждого витка при пересечении восходящего узла и определяя по этим данным новые элементы орбиты, мы простым вычитанием старых элементов из новых находим драконический период обращения  $T_\Omega$ , а также изменения элементов орбиты за виток:  $\delta a, \delta e, \delta \Omega, \delta \omega$ . Эти величины обнаружили хорошее совпадение с их теоретическими значениями из (Жонголович, 1960) (до четвёртой - пятой значащих цифр). Таким образом, изменения орбиты за целое число витков могут быть найдены теоретически по формулам из (Жонголович, 1960).

Заметим, что значения  $T_\Omega$ , вычисленные двумя способами, различаются на величину до  $0^s.05$ ; причина этого в том, что при выводе теоретического значения  $T_\Omega$  в (Жонголович, 1960) не учтены слагаемые, содержащие  $(c_{2,0})^2, c_{3,0}, c_{4,0}$ . Поэтому значения  $T_\Omega$  для 4-мерной сетки  $(a, e, \Omega, i)$  были табулированы и в дальнейшем определялись квадратичной интерполяцией.

Численный расчёт орбиты для каждого набора (1) занимает достаточно много машинного времени. Поэтому такой расчёт выполняется лишь для начальной точки минимизации, после чего определяются поправки

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}^{calk} - \vec{r}^{Kep} \quad (8)$$

по отношению к соответствующей кеплеровской орбите. Для остальных наборов орбита вычислялась приближённо прибавлением поправки (8) к новой кеплеровской орбите. Возникающие ошибки при этом достаточно малы, что позволяет определять оптимальную орбиту методом итераций. Процесс итераций заключается в том, что после окончания минимизации с предварительными значениями поправок и определения элементов орбиты, поправки (8) вычисляются с найденными элементами орбиты и минимизация повторяется.

## 5. Результаты расчётов, обсуждение

Определение элементов орбиты по реальным наблюдениям производилось только по угломерным данным. Во всех случаях метод демонстрировал хорошую сходимость к оптимальным элементам орбиты. Среднеквадратичная ошибка одной точки  $(F_{min})^{1/2}$  примерно соответствовала ошибке угломерных наблюдений. Например, для среднего расстояния до ИСЗ в 700-900 км ошибка в две угловые минуты соответствует линейной ошибке порядка 400-500 м, чему примерно и равнялось значение  $(F_{min})^{1/2}$  в оптимальной точке. Для более подробной проверки работоспособности данной методики производились модельные расчёты для орбит с эксцентриситетами от 0.001 до 0.1. При этом вычислялись эфемериды ИСЗ для некоторого набора (1) элементов орбиты, затем по этим данным восстанавливались элементы орбиты с помощью описанного алгоритма. Во всех случаях итеративный процесс достаточно быстро (за 2-3 итерации) сходился к исходным элементам орбиты.

Заметим, что точность определения элементов орбиты (и особенно большой полуоси) существенно повышается при использовании данных по двум и более прохождениям; точность повышается также при использовании данных, полученных с разных станций наблюдения.

## Литература

- Дубошин Г.Н.: 1968, *Небесная механика. Основные задачи и методы*, М., Наука.  
 Эскобал П.: 1970, *Методы определения орбит*, М., Мир.  
 Химмельбау Д.: 1975, *Прикладное линейное программирование*, М., Мир.  
 Калиткин Н.Н.: 1978, *Численные методы*, М., Наука.  
 Жонголович И.Д.: 1960, *Бюлл. Института Теор. Астрономии*, VII, N 10(93), 743.

# REALIZATION OF THE COMBINED METHOD IN NIKOLAEV OBSERVATORY FOR OBSERVATION OF THE GEOSYNCHRONOUS SATELLITES

## РЕАЛИЗАЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО МЕТОДА В НИИ НАО ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ГЕОСИНХРОННЫХ СПУТНИКОВ

E.S.Kozyrev, E.S.Sibiryakova, A.V.Shulga

НИИ "Николаевская астрономическая обсерватория"

### **Введение**

В настоящее время все более актуальной становится задача наблюдения малоразмерных геосинхронных спутников (МГС). На данный момент большинство телескопов, наблюдающих МГС в странах СНГ, не способны наблюдать МГС в режиме сопровождения, а это в десятки раз ограничивает эффективное время экспозиции. В НИИ "НАО" разработан комбинированный метод наблюдений (Kovalchuk et al., 2001), позволяющий на неподвижном телескопе сопровождать объекты на электронном уровне. Метод основывается на применении режима синхронного переноса заряда ПЗС камеры и поворотной платформы (ПП). ПП – простое в изготовлении механическое устройство, оснащенное двигателем и датчиком угла, предназначенное для поворота ПЗС камеры вокруг оптической оси телескопа по направлению движения объекта. Максимальное время экспозиции при использовании комбинированного метода равно времени прохождения объекта через поле зрения неподвижного телескопа.

### **Наблюдения МГС комбинированным методом**

Наблюдения МГС в НИИ НАО проводятся с 2004г. на телескопе "Скоростной Автоматический Комплекс"(САК) (Ковалчук и др., 2000). Объектив САК – D=300мм F=1500мм; ПЗС камера производства НИИ "НАО" матрица  $1040 \times 1096$ , 16мк; поле зрения  $40' \times 38'$ . Система управления ориентацией включает: двигатели переменного тока с релейной системой управления, по одному 12 битному датчику угла на ось. С 2007 г. начаты наблюдения

с применением ПП, что позволило увеличить время экспозиции наблюдаемых объектов в 10-50 раз. Для исследования увеличения проникающей способности САК, при применении комбинированного метода наблюдений, были получены изображением МГС 1989-098A в различных режимах: в обычном режиме с максимально эффективной экспозицией 4 сек. и в режиме синхронного переноса заряда с экспозициями 40 и 200 сек. Результаты полученных значений отношение сигнал/шум представлены в таблице.

Экспозиция (сек.)	Отношение сигнал/шум
4	5.5
40	31.6
200	66.8

Применение комбинированного метода и поворотной платформы позволили на телескопе САК наблюдать МГС массой до 195 кг (МГС 1967-066F DODGE).

При наблюдении комбинированным методом объект и опорные звезды наблюдаются в разных режимах работы ПЗС матрицы. В зависимости от поля зрения и проникающей способности телескопа возможно несколько вариантов записи кадров с опорными звездами позволяющих получать точечные изображения опорных звезд:

- кадры в обычном режиме с экспозицией порядка 0.5 сек.
- кадры в режиме синхронного переноса заряда (при этом камера разворачивается по направлению суточного движения звезд) с экспозицией 20-30 сек. При этом для точного приведения координат объекта и звезд, полученных в разных углах наклона матрицы, применяется

дополнительное оптическое устройство – коллиматор метка которого выполняет роль нуль-пункта.

При наблюдении в режиме сопровождения получают вытянутые изображения звезд на кадре с объектом. Чрезмерное растягивание звезд является фактором, ограничивающим время экспозиции.

### Выводы

Использование ПП и режима синхронного переноса заряда позволяют существенно увеличить проникающую способность при наблюдении МГС на неподвижном телескопе. Комбинированный метод наблюдения может использоваться для наблюдения спутников с любым типом орбиты, а также астероидов сближающихся с землей. Получаемый результат сопоставим с наблюдением в режиме сопровождения цели, однако его внедрение значительно дешевле по сравнению с оснащением телескопа системой гидрования, способной прецизионно работать в широком диапазоне скоростей.

### Литература

- Kovalchuk A., Shulga A., Martynov M.: 2001, in *Extension and connection of reference frames using ground based technique*, Nikolaev, p. 199.  
Ковальчук А.Н., Пинигин Г.И., Шульга А.В.: 2000, в *Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы*, М.: ИНАСАН, с. 361.

# OBSERVATION OF ASTEROID OCCULTATIONS WITH HELP OF THE METHOD OF TEMPORAL UNSQUEEZING CCD-IMAGES IN 2006

## НАБЛЮДЕНИЯ ПОКРЫТИЙ ЗВЁЗД АСТЕРОИДАМИ МЕТОДОМ ВРЕМЕННОЙ РАЗВЁРТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ В 2006 г.

F.I. Kravtsov I.V. Lukyanuk

Astronomical Observatory, Kyiv Shevchenko National University  
3 Observatorna str., Kyiv 04053 Ukraine, *iluk@observ.univ.kiev.ua*

**ABSTRACT.** Description of the method of temporal unsqueezing CCD-images is presented for observations of asteroids occultations. The method was applied for observations of 9 asteroid occultations with telescope AZT - 8 ( $D = 0.7m$ ,  $F = 2.8m$ ) and CCD ST - 8MXE in Lisnyky observational station in 2006 year. In really distance between the centers of asteroid and star and time of asteroid occultation only for occultation star TYC 0587-00209-1U by asteroid 76 Freia are obtained on November 4, 2006. For other the minimal distances between the centers of asteroids and stars are determinated. The method lets to observe the asteroid occultations with high time resolution. Distances between the centers of asteroids and stars are obtained with high accuracy.

**Key words:** Asteroid: occultation, size; asteroid: individual: 4 Vesta, 368 Heidea, 7 Iris, 612 Veronika, 2291 Kevo, 1390 Abastumani, 3902 Ostanina, 3902 Yoritomo, 76 Freia.

### 1. Введение

Явления покрытий звезд астероидами - это довольно редкие и ценные астрономические явления. Успешные наблюдения таких покрытий на сегодняшний день дают возможность точно определять размеры астероидов и, следовательно, альбедо их поверхностей. К настоящему времени во всем мире зарегистрировано всего около 400 подобных событий.

Конечно, главным «продуктом» астероидных покрытий считаются размеры астероидов. Здесь для достижения необходимой точности нужно времен-

ное разделение в сотые секунды. В наше время для этого проще использовать ПЗС-камеры, которые работают в телевизионном режиме, т.е. регистрируют 20 - 24 кадров в секунду. Понятно, что при этом не используется одно из главных преимуществ ПЗС-камер - накопление сигнала. Поэтому покрытия слабых звезд недоступны для регистрации в таком режиме.

Если использовать накопление сигнала, то можно регистрировать более слабые объекты. Однако при этом низкое временное разделение исключает регистрацию самого явления покрытия. В данной статье используется методика наблюдений астероидных покрытий с использованием временной развертки их изображений. Такой метод разрешает вместе с накоплением сигнала достичь удовлетворительного временного разделения.

### 2. Наблюдение и результаты

Наблюдение покрытий звезд астероидами проводились в первичном фокусе ( $D=70\text{cm}$ ,  $F=2800\text{cm}$ ) телескопа АЗТ-8, который расположен на наблюдательной станции НДЛ «Астрономическая обсерватория» кафедры астрономии и физики космоса физического факультета Киевского университета имени Тараса Шевченко в селе Лесники ( $30^{\circ}.5247$  восточной долготы,  $50^{\circ}.2979$  северной широты). Изображение небесных объектов регистрировались с помощью ПЗС-камеры ST-8 MXE. Камера была передана ЮНЕСКО Астрономической обсерватории Киевского национального университета имени Тараса Шевченко в 2005 г. как благотворительная помощь.

Рабочее поле (чип) камеры начисляет 1600 x 1200 px, линейные размеры - 18 x 13 мм, что при наблюдении в первичном фокусе соответствует угловым размерам 16' x 12'. Для привязки по времени используется GPS приемник.

В качестве методики наблюдений астероидных покрытий использовался метод временной развертки их изображений. Суть метода заключается в следующем. Во время наблюдения быстротекущего явления телескоп нужно перемещать с постоянной угловой скоростью относительно звезд. При этом все объекты в поле зрения, будут растягиваться по приемным элементам матрицы, отображаясь в виде полос (следов), длина которых определяется скоростью перемещения объекта по матрице и временем экспозиции. Ширина каждого следа определяется блеском объекта и угловой скоростью перемещения телескопа. Непосредственно перед покрытием звезда и астероид сливаются настолько, что будут отображаться единым следом, ширина которого определяется их суммарным блеском. Если явление покрытия состоится, то ширина такого следа уменьшится к размеру, обусловленному блеском астероида. При довольно слабых астероидах на следе может образовываться разрыв. Длина разрыва определяется продолжительностью покрытия. Выполнив точный фотометрический разрез вдоль следа, можно с достаточной точностью определить длину хорды астероида вдоль линии покрытия. При этом линейное разделение вдоль следа будет одновременно и разделением явления покрытия во времени.

Перемещение телескопа относительно звезд можно осуществить двумя способами: выключить часовой механизм телескопа или (при включенном часовом ведении) воспользоваться коррекционным движением по одной из осей телескопа. Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки. Преимущество первого способа заключается в том, что скорость сдвига объектов во время экспозиции постоянная. Недостатком является то, что данную скорость нельзя изменять, а она в некоторых случаях оказывается довольно большой. И, следовательно, если ошибка эфемериды по времени составляет минуту и больше, то вероятность того, что явление покрытия будет отображено на следе, небольшая. В таком случае необходимо уменьшать скорость смещения звезд по чипу. Вместо остановки телескопа можно использовать коррекционное движение по одной из его осей. При этом есть возможность уменьшить скорость сдвига объектов в поле зрения. Это преимущество данного метода. Его недостатком может оказаться неравномерность движения телескопа, обусловленная сугубо техническими причинами. Вследствие этого на следах звезд будут образовываться сужения и утолщения, которые приведут к затруднениям при обработке. При уменьшении скорости сдвига звезд по чипу умень-

Таблица 1: Обстоятельства возможных астероидных покрытий.

Date, 2006	Asteroid	Star
Mar., 20	4 Vesta	2 UCAC 40836920
May, 18	368 Heidea	2 UCAC 24872095
Jul., 24	7 Iris	TYC 1210-01269-1U
Aug., 6	612 Veronika	2 UCAC 35442825
Aug., 6	2291 Kevo	TYC 0473-05371-1U
Aug., 29	1390 Abastum.	TYC 2393-01361-1U
Sept., 14	3902 Ostanina	TYC 5173-02077-1U
Oct., 12	3902 Yoritomo	TYC 1712-01041-1U
Nov., 4	76 Freia	TYC 0587-00209-1U

шается также и временной масштаб следа и, следовательно, временное разрешение. При наблюдениях астероидных покрытий в 2006 году использовались оба метода. Дополнительно наблюдение поля звезд с астероидом до покрытия и после него дает возможность определять точные моменты средины покрытия и расстояние между центрами звезды и астероида. Моменты и другие параметры возможных покрытий вычислялись с помощью программы Д. Гаральда OCCULT Asteroidal Occultations v.3.6.0. В 2006 году погодные условия и расположения наблюдательной станции позволили пронаблюдать 9 возможных явлений покрытий звезд астероидами. Результат приведен в Табл. 1.

Снимки поля звезд с астероидом делались с короткими экспозициями с часовым ведением, т.е. в режиме накопления. В зависимости от яркости астероида и звезды, которая покрывается, продолжительность экспозиции выбиралась в пределах от 0.1 сек до 20 сек. При таких условиях получалось несколько десятков изображений нужного звездного поля, как до момента покрытия, так и после. Близ момента покрытия наблюдения проводились таким образом, чтобы ПЗЗ - камера регистрировала картину временной развертки явления покрытия звезды астероидом. Если звезда, которая покрывается, имела достаточную яркость для того, чтобы ее изображение было пригодным для точной фотометрии, то развертка изображения делалась путем остановки часового механизма телескопа на время до 90 сек. В противном случае, на временное движение телескопа накладывалось коррекционное движение по часовому углу со скоростью 2 секунды дуги за секунду времени, или коррекционное движение по склонению с той же скоростью на время до 8 минут. Начало такой процедуры выбиралось таким образом, чтобы момент возможного покрытия приходился на средину временного интервала наблюдения.

Первичные редукции проводились с использованием пакета ESO MIDAS. В дальнейшей обработке использовался собственный программный ком-

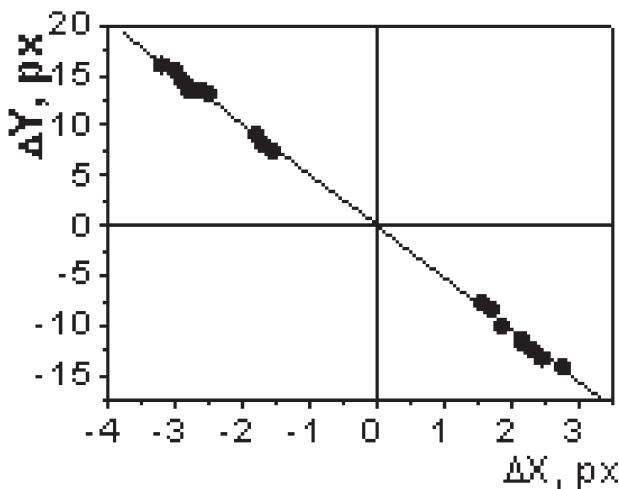


Рис. 1: Траектория движения астероида 76 Freia относительно звезды TYC 0587-00209-1U

плекс. Так как на всех звездных полях присутствуют изображения астероида и звезды, которая им покрывается, то измерение разности координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  астероида относительно звезды (между средневзвешенными центрами изображений) делались в пикселях. Точность измеренных  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , в зависимости от качества изображения, колебалась в пределах от 0.02 до 0.3 пх. На Рис. 1 приведена траектория движения астероида 76 Freia относительно звезды, которая покрывается. Аналогичные графики строились для всех объектов из Табл. 1.

Эти графики дали возможность методами аналитической геометрии получить наименьшее видимое расстояние  $\rho_{min}$ , на которое сблизились звезда и астероид, сначала в пикселях, а потом и в угловой мере, Табл. 2. Для этого, по звездным полям каждой ночи наблюдений вычислялся масштаб изображений. Масштаб практически не изменялся и составил  $0.655 \pm 0.002$  секунд дуги в одном пикселе.

Наблюдение астероида 368 Heidea были прекращены через ухудшения погодных условий, а явление покрытия астероида 1390 Abastumani состоя-

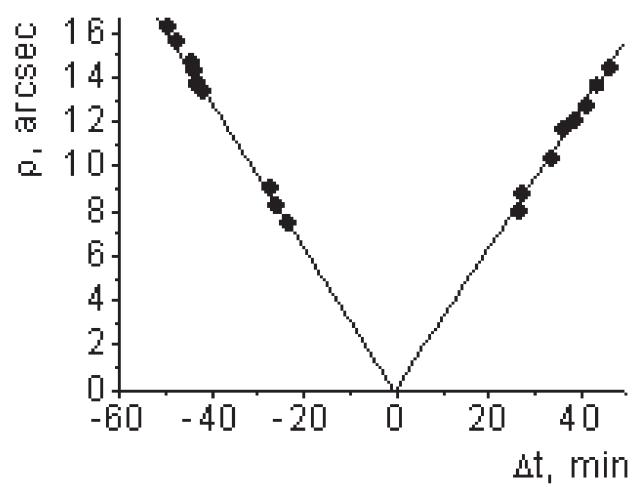


Рис. 2: График движения астероида 76 Freia относительно звезды TYC 0587-00209-1U

лось для нашего пункта в утренних сумерках, что не дало возможность его зафиксировать.

Для вычисления  $t_{min}$ , строились графики движения астероидов относительно звезд, которые покрывались, (на Рис. 2 приведен пример для астероида 76 Freia), в угловой мере. Для тех астероидов, для которых проводились наблюдения и после возможного явления покрытия, это просто точка пересечения графиков движения астероида до момента покрытия и после него. Для тех астероидов, для которых отсутствуют подобные наблюдения, поступили таким образом. Методом наименьших квадратов определялась видимая скорость движения астероида относительно звезды, а потом по известному расстоянию  $\rho_{min}$  вычислялось время  $t_{min}$ . Сравнивая эфемеридные значения диаметров астероидов с  $\rho_{min}$  из Табл. 2 получили, что 14 сентября и 4 ноября должны были наблюдаться явления покрытия звезд соответствующими астероидами. Действительно, 4 ноября, на следе комплекса звезда-астероид четко фиксируется явление покрытия (Рис.4), в то время как на следе 14 сентября несмотря на детальную фотометрию, явление покрытия не было выявлено. Неудача, очевидно, объясняется тем, что было неудачно подобранно время начала экспозиции, и, потому явление покрытия не было зафиксировано на кадре развертки изображения.

Как уже отмечалось недостатком использования метода с включённым коррекционным движением телескопа есть неравномерность его движения, обусловленная сугубо техническими причинами. Чтобы учесть влияние неравномерности движения телескопа полученный фотометрический разрез вдоль комплекса тел «астероид-звезда» делился на аналогичный фотометрический разрез вдоль следа соседней звезды (Рис.3 для астероида 76 Freia).

Чтобы получить продолжительность отдельных

Таблица 2: Минимальное видимое расстояние  $\rho_{min}$  в момент времени  $t_{min}$ .

Asteroid	$\rho_{min}, ''$	$t_{min}, UT$
4 Vesta	$0.25 \pm 0.04$	$20^h 46^m 01.^s0 \pm 1.^s2$
368 Heidea	$0.41 \pm 0.09$	$23\ 40\ 43 \pm 12$
7 Iris	$0.52 \pm 0.04$	$23\ 08\ 49.3 \pm 0.2$
612 Veronika	$0.43 \pm 0.02$	$19\ 39\ 05.6 \pm 0.9$
2291 Kevo	$0.33 \pm 0.02$	$21\ 21\ 26.3 \pm 1.4$
1390 Abastum.	$0.35 \pm 0.06$	$02\ 41\ 09.9 \pm 1.8$
3902 Ostanina	$0.001 \pm 0.008$	$21\ 42\ 21.24 \pm 0.04$
3902 Yoritomo	$0.28 \pm 0.02$	$18\ 27\ 35.0 \pm 0.2$
76 Freia	$0.02 \pm 0.01$	$16\ 27\ 56.9 \pm 0.2$

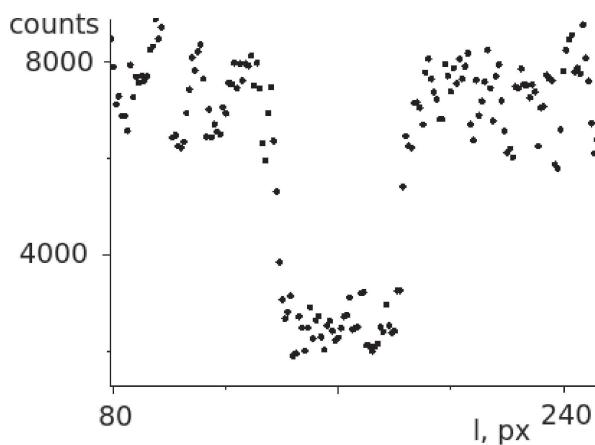


Рис. 3: Фотометрический разрез вдоль комплекса тел 76 Freia-TYC 0587-00209-1U

фаз покрытия в секундах времени, необходимо знать скорость движения звезд по чипу ПЗС-камеры. С этой целью, измерялись прямоугольные координаты начала следа и координаты середины явления покрытия на следе в пикселях. Имея моменты начала экспозиции и середины покрытия получаем среднюю скорость движения звезд по чипу, и, затем, соответствующие моменты обстоятельств покрытия. Для покрытия звезды TYC 0587-00209-1U астероидом 76 Freia 4 ноября 2006 года получаем:

$$\begin{aligned} t_1 &= 16^h 27^m 47.2^s \\ t_2 &= 16^h 27^m 48.5^s \\ t_3 &= 16^h 28^m 04.8^s \\ t_4 &= 16^h 28^m 05.7^s \end{aligned}$$

А сами продолжительности:

$$\begin{aligned} t_3 - t_1 &= t_4 - t_2 = 17.4^s \pm 0.3^s \\ t_2 - t_1 &= t_4 - t_3 = 1^s.14 \end{aligned}$$

Таким образом, учитывая скорость движения астероида в пространстве, как верхняя граница, диаметр звезды составил  $d_* = 0''.006 \pm 0''.002$ , а хорда -  $L_a = 0''.909 \pm 0''.003$ . Учитывая геоцентрическое расстояние астероида на момент покрытия и принимая, что он имеет сферически-симметричную форму, а также, учитывая минимальное расстояние между видимыми центрами звезды и астероида, вычисляем диаметр астероида  $d_a = 187$  км (ефемеридное значение 184 км). Точность определения диаметра астероида полностью определяется точностью определения  $\rho_{min}$ . Нужно отметить, что диаметр звезды может быть завышенным в несколько раз, так как светочувствительные элементы ПЗС-матрицы имеют конечные размеры, а скорость сканирования недостаточна, для получения приемлемого временного разрешения.

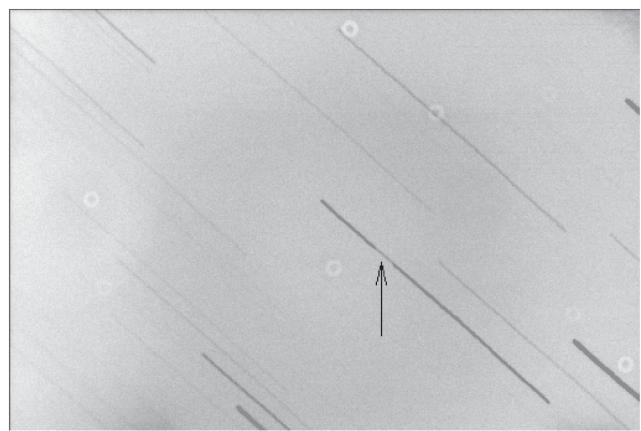


Рис. 4: Изображение комплекса тел 76 Freia-TYC 0587-00209-1U (стрелка указывает на зафиксированное явление покрытия)

## 2. Выводы.

Использование метода временной развертки изображений при наблюдении явлений покрытия звезд астероидами дает возможность определить размеры астероидов в течении нескольких часов с одного пункта наблюдения, что является недоступным при использовании телевизионных систем наблюдения. Обычно количество зафиксированных явлений в течении года небольшое, но, учитывая редкость фиксирования подобных явлений и того, что использовался стационарный телескоп предложенный метод является пригодным. Вследствие конечности размеров светочувствительных элементов ПЗС-камеры предложенным методом можно получать только верхнюю границу размера звезды, которая покрывается. Дополнительно возможно определение экваториальных координат астероида, которое даёт возможность уточнять элементы орбит астероидов.

# EXTRASOLAR PLANETS AND POSSIBILITY OF THE LIFE APPEARANCE

## ВНЕСОЛНЕЧНЫЕ ПЛАНЕТЫ И ВОЗМОЖНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЖИЗНИ НА НИХ

I.Kuzenkov<sup>1</sup>, B.Ivashin<sup>1</sup>, I.S.Bryukhanov<sup>2</sup>, M.Barinov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория и кафедра физической химии БГУ

<sup>2</sup>Лаборатория астрономии УО РЦТТУ

<sup>3</sup>ГАИШ, Лаборатория новых фотометрических методов

**АННОТАЦИЯ.** В данной статье приводится обзор открытых до ноября 2006 г. внесолнечных планетарных систем с точки зрения возникновения жизни на них. Авторы статьи при расчёте возможности возникновения жизни в планетарной системе рассматривают жизнь только бактериального уровня как наиболее приспособленную к неблагоприятным условиям обитания из всех известных ныне форм жизни.

С древних времён человечество пыталось обнаружить жизнь вне планеты Земля и вообще за пределами Солнечной системы.

В человеческом сознании зачастую больше обсуждаются внеземные цивилизации, "летающие тарелки" и прочее, чем какие-либо научные или оклоначальные проблемы.

В XX веке после разработок и пусков первых космических ракет эта тема стала достаточно актуальной. Было предпринято много попыток поиска планет у ближайших звёзд, в том числе и астрометрическим способом. Предполагалось даже, что у звезды "Летящая Бернарда" (одна из ближайших звёзд с наибольшим угловым движением на небе) есть планетарная система. Для исследования этой системы намечался грандиозный проект полета беспилотного зонда "Дедал" на трех ступенях с ядерными двигателями (который бы поглотил 4/5 ресурсов на нашей планете!)...

И вот в 90-х годах прошлого века спектральный анализ и уровень фотометрии блеска звёзд поднялся настолько значительно, что стало возможным проверить косвенными методами и в короткие сроки, есть планетарная система у звезды или нет, а также измерить в некотором приближении характеристики орбит возможных планет.

### **Настоящая научная революция!**

Первое подобное открытие было сделано в августе 1995 г. у звезды 51 Пегаса. Человечество вздрогнуло...!

С тех пор прошло более 10 лет, и настало время проанализировать информацию, полученную за эти годы, с точки зрения не только астрофизического и популяционного анализов, но и потенциальной возможности существования жизни на этих планетах.

К 30 октября 2006 г. уже было известно о 210 планетах в 180 планетарных системах (из них 21 – моногипернатарные). Кстати, Летящая Бернарда по измерениям на новом оборудовании оказалась одиночной звездой без каких-либо признаков планетарной системы...

Теперь перейдём от лирики к фактам.

С точки зрения гипотетических инопланетян (с таким же техническим уровнем аппаратуры и инструментов, как сейчас у нас на Земле) Солнечная система со стороны выглядит как одиночная звезда спектрального класса dG2V с двумя "юпитерами", которые врачаются вокруг Солнца на расстоянии 5,20 и 9,54 а. е. по далёким орбитам с периодами соответственно 4329 и 10752 дня, но практически с нулевыми эксцентриситетами соответственно 0,048 и 0,056, и имеют массы соответственно 1 и 0,3 массы Юпитера.

"Совершенно неперспективная" звезда! Пусть даже два небольших ее "юпитера" врачаются по почти круговым орбитам, но в области "кольца жизни" пустота, нет планет ... Так смотрится при первом приближении.

А вот в диапазоне радиояркости планета Земля превосходит Солнце и Юпитер. Со стороны они смотрятся в радиодиапазоне как тройная звезда, в которой два радиоисточника отождествляются без проблем, а третий, неотождествимый попада-

ет в "кольцо жизни"(!). Этот третий "радиоспутник" только что родился и виден с расстояния до 50 парсек.

В невообразимо краткие по космическим меркам сроки возрастание радиояркости Земли за последние 30–40 лет (из-за резкого роста количества мощных радио- и телестанций) и как бы "из ничего" представляется для инопланетян загадкой и, конечно же, одним из свидетельств развития у этой звезды цивилизации с мощным техногенным радиоисточником – это есть фактор космической астроинженерии; ни радиоизлучение жёлтого карлика спектрального класса dG2V, ни его блеск не претерпевали каких-либо катализмических (сильных) изменений.

Самое интересное – есть три вероятных аналога Солнечной системы (по предположению авторов, это звезды HD 70642, 47 UMa и HD 4208). Было бы хорошо периодически прослушивать их в радиодиапазоне!

### **Геологические ограничительные факторы возникновения жизни**

Многие читатели, возможно, слышали о так называемом "кольце жизни". Термин взят из околосcientific лексики. Это случай, когда на определённом расстоянии от какой-либо звезды универсальный растворитель в космосе – вода на поверхности околозвездной планеты может быть в жидком состоянии. При условии, конечно, что эта планета имеет твёрдую поверхность, относительно спокойную атмосферу и почти нулевой эксцентриситет орбиты.

Жизнь возникает только на планете с твёрдой поверхностью при стабильной температуре с минимальными сезонными колебаниями, при наличии достаточного количества растворителя, такого, как вода (аналогов-заменителей воды во Вселенной не существует), а также при наличии восстановительной атмосферы, но не окислительной, как ныне на Земле.

Но у вероятных "заселённых" планет атмосфера может быть окислительной, как на Земле. Свободный кислород содержится в ее атмосфере до 10–20%, т.е. окислительная атмосфера – это следствие и индикатор длительной биологической эволюции на планете.

На газовой планете, такой, как Юпитер и даже намного меньше, жизнь возникнуть не может, даже если планета находится в "кольце жизни", так как мощные течения в ее атмосфере или океане разнесут по всей планете возможные зарядки жизни, вполне вероятно уничтожив их. Предположительно с биологической точки зрения, идеальным местом для возникновения жизни является образование на

планете наподобие "болота", а также ее спокойная атмосфера.

Авторы предполагают, что если планета-гигант вращается в "кольце жизни" на орбите с почти нулевым эксцентриситетом, то жизнь может возникнуть на одном из землеподобных ее спутников, так как такие планеты образуют собственные "минипланетарные" спутниковые системы.

В данной статье стабильность оси вращения планеты и другие факторы не рассматриваются, т.к. на современном этапе развития наблюдательной техники определения этих параметров вненесолнечных планет невозможно. В то же время авторы признают, что, скорее всего, именно совокупность различных нюансов и факторов сыграла значительную роль в образовании благоприятных условий для возникновения жизни на Земле (например, при значительном атмосферном давлении уже небольшой ветер приобретает силу урагана, который может сыграть ту же роль, что и в случае с океанической планетой, без твёрдой поверхности, – разрушить очаги зарождения жизни).

### **Обзор астрономических факторов, ограничивающих возникновение жизни**

#### *Фактор 1. Переменные звёзды*

Жизнь не может возникнуть у переменных звёзд, там, где поток излучения непостоянен или взрывообразно меняется. Наиболее стабильными являются звёзды главной последовательности (см. диаграмму Герцшprungа–Рассела) спектрального класса F5–K5, т.е. оранжевые и жёлтые карлики и субкарлики), блеск которых почти не меняется (может быть, также и субгиганты, хотя это сомнительно).

Для примера, среднее значение солнечной постоянной колебается не более чем на 1,5% в течение столетних и тысячелетних периодов времени и на ±0,4% с короткими периодами – от нескольких лет до нескольких десятилетий.

Но большинство звёзд субгигантов, гигантов и сверхгигантов спектрального класса F–G–K претерпевают заметные колебания блеска разного рода.

Красные карлики спектрального класса K5–M8 также нестабильны в блеске – большинство из них, если не все (!), являются вспышечными звёздами типа UV Cet. Для гипотетической жизни, считаем, любая такая вспышка, хоть она почти аналогична солнечной (в первом приближении), будет смертельной. Если планета располагается в "кольце жизни", то для звезды спектрального класса K5–M8 она должна находиться на расстоянии около 0,5–0,7 а.е. и менее, т.е. близко к "родительской" звезде. На таком расстоянии возникший при вспышке поток рентгеновского и гамма-излучения буквально "сте-

рилизует "планету и уничтожит зачатки жизни на ней даже с идеальными, в теории, условиями.

Однако по предположению Михаила Баринова возникновение жизни в системах красных карликов всё-таки возможно: наличие магнитного поля у планеты может очень сильно задемпфировать эффект от такой вспышки. Один из примеров – планетарная система у звезды Gl 581 (<http://exoplanet.eu/star.php?st=Gl+581>). У этой звезды 3 планеты – "нептуна": Gl 581 b, Gl 581 c и Gl 581 d; их массы соответственно 0,0492, 0,0158 и 0,0243 массы Юпитера (или же 15,6, 5,02 и 7,73 массы Земли). Планета Gl 581 d может быть пригодна для жизни!

По предположениям Ивана Брюханова и Бориса Ивашина:

- у планеты Gl 581 d великоват эксцентриситет –  $0.2 \pm 0.1$ ;
- звезда Gl 581 – красный карлик, спектр M3 – с хорошей долей вероятности кандидат во вспышечные переменные.

Звёзды любых других спектральных классов – W–O–B–A–F5, даже если они находятся на главной последовательности и стабильны по яркости, а также гиганты и сверхгиганты любых спектральных классов, белые карлики и пульсары (остатки звёзд после катализмических процессов) непригодны для возникновения в их планетарных системах жизни. Срок "звёздной жизни" звёзд ранних спектральных классов (от рождения звезды из газопылевой туманности до "смерти" звезды в момент фазы Сверхновой) колеблется от 1 млн. до  $\sim 2$  млрд. лет – слишком мал для качественного развития жизни даже на бактериальном уровне.

## *Фактор 2. Кратные звёзды*

Ни одна из двойных и кратных звёзд, если вблизи них сохранилась планетарная система, не может быть пригодна для возникновения жизни. Ведь такая планета при определённой конфигурации с двумя (и более!) звёздами либо будет разрушена гравитационным воздействием звёзд, либо выброшена из этой системы или её орбита претерпит частые изменения. Планета в двойной системе звёзд испытывает попеременное гравитационное воздействие то одной, то другой звезды, что создает мощные приливы в разных частях планеты и может вызвать геологические катаклизмы на ней. Всё очень сильно зависит от массы вторичной звезды.

Редчайшее исключение могут составить только широкие пары звёзд, расстояние между которыми около 1000 а.е. и более.

Одна из таких очень спорных звёзд – HD 19994 (94 Cet или SAO 130355). Это двойная звезда ADS 2406AB, у которой угловое расстояние между

компонентами, видимое с расстояния 22,3 парсека, только 3'', т. е. между звёздами этой двойной системы приблизительно 60–70 а.е. Вокруг одной из компонент, температура которой около 6000 К, вращается планета на расстоянии всего 1,2 а.е. с периодом 454 дня, эксцентриситет орбиты планеты 0,2. Находящийся в этой звёздной системе красный карлик (блеск главного компонента 5<sup>m</sup>,07, а второго компонента 11<sup>m</sup>,5; с такой относительной звёздной величиной на расстоянии в 22,3 парсека может быть виден только оранжевый или красный карлик) будет периодически искажать орбиту планеты, а также внезапно облучать ее мощными потоками рентгеновских и гамма-лучей (см. Фактор 1. Переменные звёзды).

## *Фактор 3. Эксцентриситеты орбит, массы планет, роль во внесолнечной планетарной системе стабилизирующего Юпитера*

Суть нашего обзора планетарных систем и внесолнечных планет состоит в поиске объектов, почти похожих на Солнечную систему или внесолнечные планеты, на которых, по нашим предположениям, может возникнуть или уже возникла жизнь.

В разделе геологических факторов ограничений возникновения жизни предложена модель развития жизни в "минипланетарной спутниковой системе" около планеты-гиганта, находящейся в "кольце жизни".

Планеты в "минипланетарных" спутниковых системах около них, а также с эксцентриситетом орбиты 0,15 и более непригодны для возникновения жизни. В последнем случае при относительно большом эксцентрисите в моменты апоастра происходит падение температуры на планете ниже точки замерзания воды как универсального растворителя, а в моментыperiастра – перегревание ее атмосферы.

В планетарных системах планеты-гиганты играют роль своеобразных стабилизаторов и эксцентриситеты самых массивных планет во внесолнечной планетарной системе обязательно должны почти равняться нулю (не более 0,05–0,08). Авторы предполагают, что наличие в планетарной внесолнечной системе планет типа Юпитера и более массивных с разными характеристиками орбит и с разными эксцентриситетами практически вычищает планетарную систему от маломассивных тел – планет земного типа не может быть в такой системе, особенно если Юпитер находится в зоне "кольца жизни".

В Солнечной системе роль такого стабилизатора выполняет Юпитер; его масса составляет  $2/3$  массы Солнечной системы, эксцентриситет 0,048. "Вторят" ему Сатурн и другие планеты-гиганты – Уран и Нептун. Характеристики всех орбит планет Солнечной системы и прочих малых тел обязательно находятся

дятся в резонансном соотношении с характеристиками орбит планет-гигантов. По предположению авторов, если планета-гигант находится в зоне "кольца жизни" и у нее есть пригодные для жизни землеподобные спутники, то масса такой планеты-гиганта может быть не более 3 масс Юпитера. Планеты-гиганты, масса которых более 3-4 масс Юпитера, несомненно, имеют мощные магнитные поля и радиационные пояса, а гравитационное воздействие таких планет на их спутники вызывает мощные приливы и геологические катаклизмы, как в Солнечной системе Юпитер у своего спутника Ио. Это не способствует возникновению на планете условий, пригодных для зарождения жизни.

Даже когда планета-гигант находится за пределами "кольца жизни", но её эксцентриситет, например, 0,2, а масса – почти 3 массы Юпитера, как, например, у звезды HD 72659, то планет земного типа может не возникнуть в "кольце жизни" этой системы. Такая планета-гигант может сыграть роль "гравитационного веника буквально "вымести" из системы как зародыши планет – планетезимили, так и сформировавшиеся планеты. Если же среди планет с почти круговыми орбитами в планетарной системе имеются такие, у которых эксцентриситет весьма велик, то они нестабильны – планета с большим эксцентриситетом орбиты при определённой конфигурации может разбалансировать многопланетарную систему. Как "гравитационная праша", она выкинет за пределы одну или больше сформировавшихся и небольших по массе планет.

Поэтому залогом стабильной планетарной системы, годной для возникновения в ней жизни, являются почти равные нулю эксцентриситеты орбит планет.

Почти все планеты Солнечной системы движутся по орбитам с эксцентриситетами от 0,007 у Венеры до 0,093 у Марса (его масса равна 0,00034 массы Юпитера), только у Меркурия из-за близкого расстояния к Солнцу и у ныне переквалифицированного в малые планеты Плутона эксцентриситеты орбит равны соответственно 0,21 и 0,25 (их массы соответственно 0,00017 и 0,00002 массы Юпитера). У Земли эксцентриситет 0,017 и масса равна 0,0031 массы Юпитера.

По расчётом авторов, один из наиболее предлагаемых в мире аналогов Солнечной системы – звезда 55 Рака (многие ее характеристики аналогичны солнечным) не может быть пригодна для возникновения жизни на планетах земного типа ее системы, так как "кольцо жизни" в системе 55 Рака находится на расстоянии 0,8–1,2 а.е., как и в Солнечной системе. Но так как планеты 55 Сnc с и 55 Сnc d с соответствующими массами в 0,2 и 3,9 масс Юпитера врачаются на расстояниях соответственно 0,2 и 5,3 а.е., однако с эксцентриситетами соответственно 0,44 и 0,33, то это говорит о том,

что любой планетоид, находящийся между ними в предполагаемом "кольце жизни" будет испытывать очень частые сильные изменения орбиты и его эксцентриситет не сможет быть почти нулевым как у Земли, что необходимо для условий возникновения жизни.

### **Биологические и химические факторы развития жизни на внесолнечных планетах**

По рабочим гипотезам Ивана Кузенкова, старшего научного сотрудника кафедры физической химии БГУ, жизнь может возникать на планетах в 5 случаях.

1. Планеты, у которых есть атмосфера (восстановительная или окислительная); атмосферное давление 1–100 атмосфер; температура поверхности от -20° до +150°C; белково-углеродная жизнь. Для высоких температур, аналога земным – горячие подводные вулканические оазисы в Тихом океане.

2. Планеты, у которых есть мощная восстановительная атмосфера с присутствием аммиака; атмосферное давление 500–1000 атмосфер; температура поверхности от -40° до +150° С; возможна белково-углеродная жизнь, отличающаяся от земной тем, что количество и состав аминокислот в белках другой и R-остаток в белковой молекуле иной, чем в земных аналогах.

3. Планеты, у которых есть восстановительная атмосфера – свободный водород, метан, аммиак – и плотный толстый облачный покров; атмосферное давление не более 100 атмосфер; температура поверхности от -40° до ~150° С; может образоваться кремнийорганическая жизнь.

4. Очень горячая, экзотическая планета: атмосфера – это пары щелочных металлов, поверхность силикатная, озёра расплавленного алюминия; температура поверхности 700° – 1000° С; жизнь на основе кристаллов.

5. Очень горячая, экзотическая планета: температура твёрдой поверхности до 1000° С; атмосферы нет – сдуло; жизнь на полупроводниковых кристаллах.

К нашему огорчению, Иван Кузенков внезапно умер, и мы не можем восстановить его аргументы возникновения жизни во Вселенной. Он был приверженцем широкого распространения различных форм жизни во Вселенной.

Борис Ивашин и Иван Брюханов не согласны с 4-й и 5-й версиями возникновения жизни по рабочим гипотезам Ивана Кузенкова. Версии слишком экзотичны. Природа "любит" не экзотику, а универсальность.

2-я версия также экзотична – во Вселенной пока не найдено аминокислот, чем-то отличных от аминокислот на Земле.

Борис Ивашин и Иван Брюханов по рабочим гипотезам Ивана Кузенкова принимают во внимание только 1-ю и 3-ю версии возникновения жизни. Но они полагают, что значения атмосферного давления и температуры Иваном Кузенковым завышены, и предлагают в обоих случаях атмосферное давление не более 100 атмосфер, а температуру не выше 120° С в 1-м случае и не выше 374° С в 3-м случае, так как при более высокой температуре вода при любом давлении не бывает в жидкой фазе.

Борис Ивашин, младший научный сотрудник кафедры физической химии БГУ, проводит дальнейшую доработку 1-й и 3-й версий возникновения белково-углеродной и кремнийорганической жизни.

Иван Кузенков предполагает, что планета Венера тоже обитааема, на бактериальном уровне (бактерии питаются только серными соединениями; для них кислород – яд). Весь вопрос, почему там не обнаружена жизнь, только в том, что земных спускаемых аппаратов для исследования планеты было мало и в них не было нужного оборудования.

Борис Ивашин и Иван Брюханов не согласны с таким предположением, так как на поверхности Венеры нет растворителя и мощное атмосферное давление (около 100 атмосфер и температура 480°С) создаёт ураганные ветры даже при небольших ветрах в 5 метров в секунду, а также растворителя на поверхности нет – жизнь невозможна.

#### **Обзор некоторых возможных обитаемых планетарных систем или внесолнечных планет**

Снова оговоримся – обитаемые планетарные системы или внесолнечные планеты в этой статье – это пока только те планеты, на которых возможна жизнь бактериального уровня как наиболее живущая из всех известных ныне ее форм. Мы можем в настоящее время только предполагать о гипотетических землеподобных планетах или о землеподобных спутниках у самих планет-гигантов, находящихся в "кольце жизни".

Нижеперечисленные планетарные системы врашаются вокруг звёзд, не испытывающих переменности блеска.

Все 10 планетарных систем можно разделить на:

- внесолнечные планеты и планетарные системы, которые могут быть почти аналогичны Солнечной системе и где может быть в "кольце жизни" землеподобная планета;
- внесолнечные планеты и планетарные системы, где в "кольце жизни" вокруг звезды вращается планета-гигант, у которого может быть землеподобный спутник;
- планетарные системы у звёзд-гигантов и субгигантов, а также звёзды с массивными планетами.

#### **Планетарные системы, которые могут быть почти аналогичны Солнечной системе**

По предположению авторов, таких систем может быть пока только 4:

**47 UMa** (она же SAO 43557 и HD 95128, спектр G0V, масса звезды 1,03 массы Солнца, радиус 1,05 радиуса Солнца и температура 5900 К; одиночная звезда без признаков переменности). Планетарная система находится на расстоянии 13,3 парсека. Это один из наиболее предполагаемых аналогов Солнечной системы.

Экцентризитеты планет 47 UMa b (2,6 массы Юпитера) и 47 UMa c (1,3 массы Юпитера) соответственно 0,05 и 0,1; планеты врачаются на расстоянии соответственно 2,1 и 7,5 а.е. от звезды. Это почти повторяет характеристики орбит Юпитера и Сатурна в Солнечной системе за исключением того, что обе планеты расположены ближе к звезде.

Если же в планетарной системе есть землеподобная планета на расстоянии 1–1,45 а.е., то жизнь может возникнуть как на этой гипотетической землеподобной планете, так и на одном из вероятных спутников планеты 47 UMa b.

И всё же авторы предполагают, что на гипотетической землеподобной планете на расстоянии 1–1,45 а.е. будет слишком горячо для жизни, как на Венере, а на гипотетическом землеподобном спутнике планеты 47 UMa b – холодновато. К тому же, на расстоянии 1–1,45 а.е. от звезды и на расстоянии 1–1,1 а.е. от планеты 47 UMa b возможен астероидный пояс (резонансный пик 1:2 – 47 UMa b и 1:7 – 47 UMa c), возникший так же, как и в Солнечной системе, на расстоянии ~2,48 а.е. и от Солнца, и от Юпитера, где в зоне 2–3 а.е. в Солнечной системе есть астероидный пояс. Непосредственные радионаблюдения [1] опровергают наличие сильного магнитного поля у планеты этой системы.

**HD 4208** (TYC 6423-1832-1; спектр G5V, масса 0,93 массы Солнца, радиус 0,85 радиуса Солнца, температура 5570 К, расстояние 33,9 парсека). Планетарная система этой звезды – один из возможных аналогов Солнечной системы, но... только с одной планетой-гигантом. Экцентризитет орбиты планеты HD 4208 b (0,8 массы Юпитера) равен 0,05, и планета вращается практически по круговой орбите на расстоянии от звезды 1,67 а.е. Следовательно, любая гипотетическая землеподобная планета также будет вращаться с минимальным эксцентриситетом, и если её орбита будет находиться на расстоянии 0,8–1 а.е. от звезды, то условия для возникновения и развития жизни там могут быть благоприятные. Хотя, как и в случае с 47 UMa, на расстоянии 0,8–1 а.е. от звезды в планетарной системе может быть астероидный пояс (резонансный пик 1:2).

**HD 70642** (SAO 199126, GC 11411, TYC 7665-696-1, CD-39 4247; спектр G5 IV-V, масса практически равна массе Солнца, радиус 0,84 радиуса Солнца, температура 5533 К; находится на расстоянии 29 парсек, имеет одну планету-гигант). Эта планетарная система может быть наиболее предположительно обитаема. Планета HD 70642b (2 массы Юпитера) с эксцентриситетом орбиты равным  $0.1 \pm 0.06$  вращается на расстоянии от звезды 3,3 а.е. Гипотетическая землеподобная планета может находиться на расстоянии 0,8–1,2 а.е. от звезды и вращаться по орбите с минимальным эксцентриситетом. В этом случае условия для возникновения и развития там жизни могут быть очень благоприятные. Фактор "астероидного пояса" (резонансный пик 1:2), как в случаях с HD 4208 и 47 UMa, гипотетической землеподобной планете не угрожает, так как "кольцо жизни", в котором землеподобная планета может располагаться, попадает в резонансный пик 1:3. "Астероидный пояс" находится на расстоянии 2–2,5 а.е. от планеты-гиганта.

Интересной и спорной, с точки зрения авторов, является планетарная система у звезды **HD 114783** (TYC 4958-894-1, SAO 139218; оранжевый карлик: спектр K0, масса 0,92 массы Солнца, температура 5100 К). Звезда HD 114783 – планетарная система только с одной планетой-гигантом, находящейся на расстоянии 22 парсек. Эксцентриситет орбиты планеты HD 114783b (0,99 массы Юпитера) равен 0,1, планета вращается практически по круговой орбите на расстоянии от звезды 1,2 а.е. Конечно, на гипотетическом землеподобном спутнике у HD 114783b будет холдовато.

"Кольцо жизни" в этой системе располагается на расстоянии 0,6–0,8 а.е. и попадает в резонансный пик 1:2 по отношению к планете. Гипотетической землеподобной планете, располагающейся в "кольце жизни" в этой системе, так же, как и в случаях с HD 4208 и 47 UMa, угрожает фактор вероятного существования астероидного пояса в резонансном пике 1:2.

#### Планетарные системы, где в "кольце жизни" вокруг звезды вращается планета-гигант, у которой есть землеподобный спутник

**HD 69830** (SAO 154093 и HR 3259 Корьмы, оранжевый карлик K0V, масса 0,86 массы Солнца, радиус 0,9 радиуса Солнца, температура 5400 К). Очень заманчивой и интересной представляется планетарная система этой звезды. Ее планетарная система находится на расстоянии 12,6 парсека. Интересно, что звезда HD 69830 является одиночной и считается астрономическим фотометрическим стандартом.

В ее планетарной системе 3 планеты—"Нептуна": HD 69830b, HD 69830c и HD 69830d. Их массы соот-

ветственно 0,033, 0,038 и 0,058 массы Юпитера (10,2, 11,8 и 18,1 массы Земли). Эксцентриситеты не превышают 0,15, а последняя планета, HD 69830d, которая расположена на расстоянии 0,63 а.е. от звезды, вращается практически по круговой орбите в "кольце жизни".

О землеподобных планетах в данной системе не приходится говорить, так как планеты HD 69830b и HD 69830c находятся на расстояниях соответственно 0,08 и 0,19 а.е., к тому же плоскость орбиты планеты HD 69830b расположена под углом около  $100^\circ$  к плоскости "эклиптики" планет HD 69830c и HD 69830d.

Скорее всего, можно предположить, что только у планеты HD 69830d на одном из землеподобных спутников имеются прекрасные условия для возникновения жизни.

**HD 23079** (SAO 233208, GC 4401, TYC 8500-534-1, CD -53 594; спектр F8/G0 V, масса 1,1 массы Солнца, температура 5850 К; находится на расстоянии 34,8 парсека). У этой звезды в настоящее время обнаружена только одна планета-гигант, которая находится в "кольце жизни". Планета HD 23079b (2,6 массы Юпитера) с эксцентриситетом орбиты 0,1 вращается на расстоянии 1,65 а.е. от звезды. В этом случае весьма благоприятные условия для возникновения и развития жизни могут быть только на землеподобном спутнике планеты HD 23079b.

#### Планетарные системы у звёзд-гигантов и субгигантов и звёзд с массивными планетами

Особую группу представляют планетарные системы, где орбитальные характеристики во всех 4 спорных случаях отличные: очень небольшие эксцентриситеты и планеты вращаются практически по круговым орбитам. Но их центральное светило – звезда-гигант или субгигант, а также планетарные системы с массивными планетами. Рассмотрим некоторые примеры.

Все 3 звезды **HD 10697, HD 59686, HD 27442** – звезды-гиганты или субгиганты. В двух случаях – массивные планеты: HD 10697b – 6 масс Юпитера, HD 59686b – 5,3 массы Юпитера, либо массивная планета 5,7 массы Юпитера – у звезды солнечного типа **HD 28185** (спектр G5, масса 0,99 масс Солнца).

В "звездной жизни" стадия гиганта или субгиганта – это заключительная фаза эволюции маломассивных звезд, за которой следует стадия медленного сброса верхних слоёв звездной оболочки и превращение звезды в планетарную туманность, а на месте звезды образуется белый карлик. Планетарные системы у таких звёзд могут заканчивать своё существование.

По предположению авторов, массивные планеты, более 3–4 масс Юпитера, несомненно, имеют мощные магнитные поля и радиационные пояса, а гравитационное воздействие таких планет на их спутники вызывает мощные приливы и геологические катаклизмы – факторы, неблагоприятные для развития жизни.

Самое фантастическое предположение насчёт жизни на землеподобных спутниках-планетах у звёзд-гигантов и субгигантов можно сделать такое. У звезды **HD 27442** (красный гигант, спектр K2Ia, температура 4700 К, масса 1,2 массы Солнца, радиус 6,6 радиусов Солнца) с планетой массой 1,2 массы Юпитера (вращается на расстоянии 1,2 а.е. от звезды, орбита с эксцентриситетом 0,07) на ее гипотетическом землеподобном спутнике может существовать древнейшая миллионолетняя цивилизация, так как эта звезда, находясь в стадии гиганта, скорее всего прошла свой "жизненный путь". Если там 5–10 миллиардов лет назад зародилась жизнь, то времени для перехода от простейших бактерий до разумной расы существ было предостаточно. До звезды HD 27442 расстояние 18,1 парсека.

Итак, по предположению авторов, планетарные системы, в которых может возникнуть, или уже есть, или развивается жизнь, могут быть (перечислены в порядке уменьшения вероятности) только у звёзд HD 70642, HD 69830, HD 4208, 47 UMa, HD 23079, HD 27442 и HD 114783. Если судить строже, то такое явление возможно только на землеподобной планете у звезды HD 70642 и на землеподобном спутнике планеты HD 69830 D.

*Благодарности.* Авторы благодарят за консультации Николая Николаевича Самуся и Александра Константиновича Семенкова и помочь в работе Вячеслава Людвиговича Милковского и Людмилу Ивановну Брюханову.

### Литература

- Dulk G., Leblanc Y., Bastian T.: 1997, *BAAS*, **29**, N3.  
Horowitz N.H.: 1986, *To utopia and back: the search for life in the solar system*, New York: W.H.Freeman and Company.  
<http://www.obspm.fr/encycl/encycl.html>.  
Шарова И.Х.: 1981, *Проблемы теории эволюции*, М.: Знание.

# OPTIMIZATION OF THE WORKING REGIME OF THE ACTIVE MEDIUM IN TRANSMITTERS OF THE LASER-LOCATION STATIONS DURING THE AES OBSERVATIONS

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АКТИВНЫХ СРЕД ПЕРЕДАТЧИКОВ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ КО

I.V.Lyubich

Государственный межвузовский центр "Орион"  
г.Алчевск, Украина, *irina.liubich@gmail.com*

**АННОТАЦИЯ.** Обоснована необходимость использования импульсов несимметричной формы с целью обеспечения наиболее приемлемого режима работы импульсной лампы. Исследована энергетическая эффективность активного тела лазера при воздействии "двойных" импульсов накачки.

При построении и модернизации ЛС наибольшее внимание уделяется максимизации двух важнейших показателей - граничной дальности действия и точности измерения дальности. При этом увеличение частоты прохождения лазерных импульсов при значительном уменьшении энергии [NASA, SLR 2000] не позволяет достичь желаемого результата. Показатели качества ЛС в наибольшей степени зависят от импульсной мощности лазера и длительности его импульса.

Наиболее оптимальными являются импульсы высокой мощности и малой длительности. Для реализации такого режима работы лазера используют метод модуляции добротности, обычно с последующим сокращением длительности когерентного импульса.

Лазер остаётся одним из самых нагруженных элементов, к которому предъявляются требования высокой стабильности параметров выходного излучения. Оптимизация работы лазера является необходимым условием для продления срока службы всех узлов ОКГ и возможности получать при этом импульсы с необходимыми параметрами.

Улучшение эксплуатационных характеристик лазерных передатчиков возможно без конструктивных изменений излучателя, за счет управления параметрами импульсов накачки .

В настоящее время в лазерной технике для накачки твердотельных лазеров оптического диапазона используют следующие схемы включения ламп накачки: схема разряда конденсатора через корректирующую индуктивность и схема с формирующим двухполюсником (рисунок 1). Первая схема

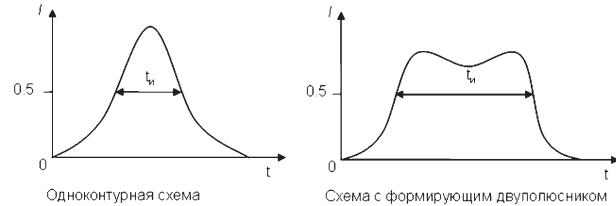


Рис. 1: Ток в импульсной лампе при питании от различных схем

дает вспышку колокольной, вторая - приблизительно трапецидальной формы.

Наибольшая возможная амплитуда вспышки определяется прочностью лампы. Необходимая длительность зависит от выбранного режима работы ОКГ. Для обеспечения "мягкого" режима работы лампы необходимо воздействовать импульсами вспышки с пологим передним фронтом, так как быстрое нарастание тока ускоряет распыление вольфрамовых электродов и вызывает появление в плазме сильных ударных волн, разрушающих кварцевый баллон лампы. Срок службы лампы при этом резко сокращается. Тогда как эффективность активной среды возрастает по мере сокращения длительности импульса накачки и увеличения энергии накачки.

В ряде работ рассматривалась возможность применения импульсов накачки несимметричной формы (Алексееви др., 1978; Мак и др., 1990). Использовался метод оценки эффективности лампы накачки по люминесценции активного материала. Однако выводы ограничивались рамками проведенных экспериментов. При переходе к импульсам накачки несимметричной формы не оценивалось изменение энергетической эффективности активной среды.

Представляет интерес определить влияние формы импульса накачки на энергетическую эффектив-

ность активной среды. Изменение КПД активной среды рассматривается посредством теоретической модели, приведенной в работе (Деницник и Любич, 2007) при воздействии "сложного" импульса накачки, который представлен в виде двух примыкающих друг к другу прямоугольных импульсов: подготовительного - с энергией  $E_1$  и длительностью  $t_1$  и основного - с энергией  $E_2$  и длительностью  $t_2$ . Инверсная населенность изменяется в пределах этих импульсов с учетом того, что мощность второго импульса обычно больше, чем первого (рисунок 2). В течение длительности подготовительного импульса, к моменту времени  $t_1$ , инверсная населенность достигает первого конечного значения, и в течение основного импульса к моменту времени  $t_2$  — второго конечного значения, в этот момент предполагается излучение моноимпульса.

Мощность, затрачиваемая на усиление люминесценции пропорциональна безразмерному отношению вероятностей перехода, вынужденного люминесценцией  $B_{32}$  и спонтанного перехода  $A_{32}$ , умноженного на относительную населенность метастабильного уровня активной среды  $N_3/N$ . Эта мощность может быть представлена следующим выражением:

$$P_{lum} = \frac{B_{32}\bar{u}}{\Delta\nu A_{32}} \frac{N_3}{N} \quad (1)$$

Выражение (1) позволяет представить потери на люминесценцию за время действия импульса накачки следующим образом:

$$W_{lum} = \int_0^{t=\tau_u/T_{32}} \frac{B_{32}\bar{u}}{\Delta\nu A_{32}} \frac{N_3}{N} dt / T_{32}, \quad (2)$$

где  $\bar{u}$  - средняя плотность люминесценции,  $T_{32}$  - время жизни частиц на метастабильном уровне.

Для повышения эффективности активной среды следует стремиться к сокращению потерь на люминесценцию и увеличению выходной энергии лазера. Эта энергия пропорциональна разности начальной и конечной населенности метастабильного уровня, деленной на пороговую населенность и может быть представлена выражением:

$$W_{out} = \frac{\Delta_0 - \Delta_k}{\Delta_p} \quad (3)$$

Функция, выражающая эффективность преобразования излучения накачки в излучение генерации имеет вид:

$$\varphi = \frac{W_{out}}{W_{lum}} \quad (4)$$

Запасенную средой энергию характеризует кратность превышения населенности метастабильного уровня над пороговой.

$$K = \frac{\Delta_0}{\Delta_p} \quad (5)$$

Потери на люминесценцию проявляют себя большей частью в виде непосредственно спонтанного излучения, обусловленного распадом инверсного состояния уровней рабочих переходов.

Потери энергии на люминесценцию и ее усиление принципиально неустранимы. В моноимпульсных ОКГ потери, связанные с усилением люминесценции, могут превышать потери, обусловленные только спонтанными переходами, более чем на порядок. Это объясняется значительными коэффициентами усиления, достижимыми в лазерах до излучения когерентного импульса. Усиленная люминесценция снижает начальное значение коэффициента усиления и одновременно параметр нелинейности. В целом наличие усиленной люминесценции снижает мощность генерируемого излучения.

Для сокращения потерь на люминесценцию выгодно сокращать время пребывания среды в возбужденном состоянии. Сокращение длительности возбуждающего среду импульса повышает инверсную заселенность среды наряду с уменьшением потерь на люминесценцию, что приводит к повышению КПД.

Несмотря на то, что доля потерь на люминесценцию и ее усиление (около 10%) относительно мала по сравнению с потерями на тепловыделение (около 70%), учет усиленной люминесценции весьма важен при оптимизации накачки моноимпульсных ОКГ. Главным здесь является то, что в потери на люминесценцию переходит часть энергии, которая могла бы излучаться лазером без промежуточных преобразований, т.е. та, которая запасается в среде после значительной доли тепловыделения. Поэтому даже минимальное уменьшение потерь на люминесценцию добавляет пропорциональную долю энергии к энергии излучения лазера, что существенно повышает его КПД.

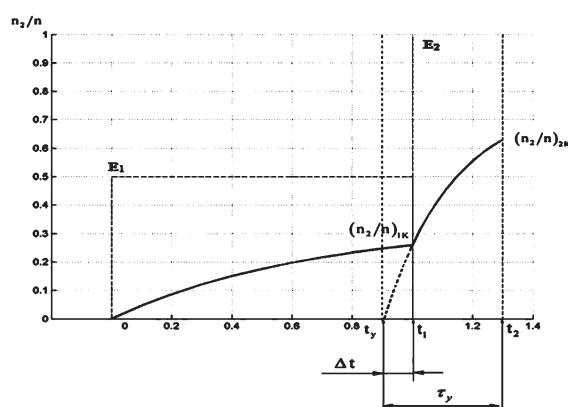


Рис. 2: График функции концентрации перенаселенности частиц для АИГ:Nd при двойном импульсе

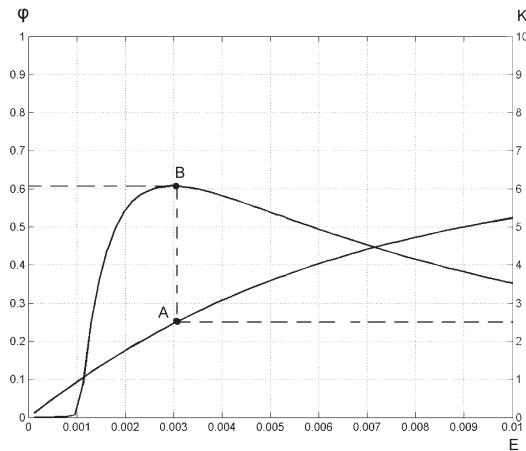


Рис. 3: Зависимость целевой функции  $\varphi$  и кратности перенаселенности  $K$  от приведенной энергии подготовительного импульса при "двойном" импульсе накачки

Теоретическая модель основывается на определении инверсии населенности метастабильного уровня, которая может быть использована только в пределах прямоугольного импульса накачки. Для использования входных импульсов формы, отличной от прямоугольной, необходимо использовать "условный" импульс, с длительностью  $\tau_y$ , необходимый для согласования концентраций перенаселенности активных частиц (рисунок 2). Длительность  $\Delta t$  для четырехуровневой активной среды рассчитывается по следующей формуле :

$$\Delta t = -\ln \left( 1 - \frac{N_3}{N} \frac{t_2/T_{32}}{E_2} \right) \quad (6)$$

Целевая функция  $\varphi$  непосредственно зависит от  $N_3/N$  и ее значения могут быть определены, если известно каким образом изменяется  $N_3/N$  во времени, не зависимо от того, под действие каких факторов это происходит. Для нахождения потерь на люминесценцию за время действия несимметричного импульса накачки поочередно интегрируют потери для "подготовительного" импульса в пределах от 0 до  $t_1$ , затем интегрируют потери для "условного" импульса в пределах от  $t_1$  до  $t_2$ . Результаты интегрирования суммируют. Проведен расчет для лазера на АИГ:Nd. В расчетах длительность первой части "двойного" импульса менялась в пределах от 20 до 200 мкс вместе с изменением его энергии, при этом мощность оставалась неизменной. Длительность второй части импульса накачки составила 50 мкс при энергии 0.001.

Из графиков видно (рисунок 3), что максимальное значение (0.6) целевая функция принимает при  $E_1 = 0.003$ , а максимальные значения кратности перенаселенности при 0.01 и более.

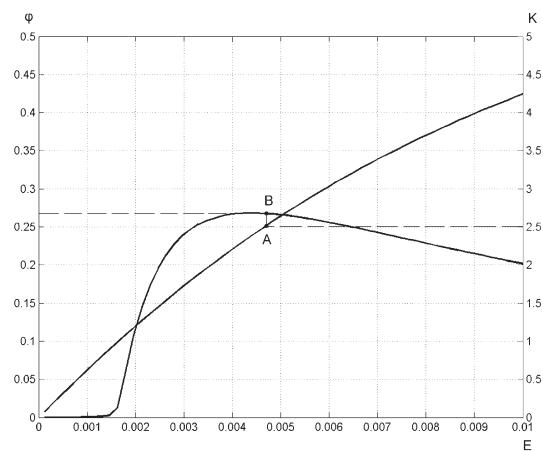


Рис. 4: Зависимость целевой функции  $\varphi$  и кратности перенаселенности  $K$  от приведенной энергии подготовительного импульса при прямоугольном импульсе накачки

Таким образом, при накачке активного элемента лазера двойным импульсом существует область оптимальных значений энергии и длительности подготовительного импульса, при неизменной его мощности, в которой эффективность преобразования энергии в активной среде и запасаемая средой энергия близки к максимальным значениям.

При увеличении энергии и длительности подготовительного импульса запасаемая средой энергия плавно увеличивается, вместе с уменьшением показателя эффективности преобразования энергии. При уменьшении длительности подготовительного импульса указанной области происходит одновременное резкое уменьшение как эффективности, так и запасаемой энергии.

Для сравнения приведены графики функции эффективности активной среды при накачке прямоугольными импульсами длительностью 175 мкс различной энергии (рисунок 4). На графиках функции (рисунок 3,4) в точках А кратность перенаселенности, характеризующая запасенную средой энергию составляет 2,5. Точка В является проекцией точки А на график функции  $\varphi$ . Сравнивая значения  $\varphi_B$  для "двойного" и прямоугольного импульсов накачки, можно отметить, что эффективность преобразования энергии в среде при "двойном" импульсе накачки возросла в 2.2 раза по сравнению с эффективностью при прямоугольном импульсе.

Как показано, способ питания импульсной лампы оказывает значительное влияние на уровень энергии, запасаемой в активном теле. Использование "двойного" импульса позволяет на 20% снизить затраты электрической энергии, необходимые для достижения тех же значений выходной энергии, что и при накачке прямоугольными импульсами

излучения. Кроме того, удается получить большие значения перенаселенности благодаря сокращению времени пребывания в возбужденном состоянии люминесцирующей среды

### **Литература**

- Алексеев В.Н., Бордачев Е.Г., Винницкий С.А. и др.: 1978, *Квантовая электроника*, **5**, N 10, 2291-2293.
- Мак А.А., Сомс Л.Н., Фромзель В.А.: 1990, *Лазеры на неодимовом стекле* Москва Наука 347 с
- Денищик Ю.С., Любич И.В.: 2007, *Сб. науч. тр. Донбасского гос. технич. ун-та Алчевск ДонГТУ*, **24**, 340 346.
- Методы расчета оптических квантовых генераторов/ Под ред. Б.И.Степанова, Минск, Наука и Техника, 1966, 1, 476 с.*

# INTERSTELLAR METEOROIDS WITH ALMOST HYPERBOLIC ORBITS

## МЕЖЗВЕЗДНЫЕ МЕТЕОРОИДЫ С ПОЧТИ ПАРАБОЛИЧЕСКИМИ ОРБИТАМИ

A. K. Markina, L. Ya. Skoblikova

Odessa Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *astro@paco.odessa.ua*

**ABSTRACT.** Opportunities for detecting interstellar meteoroids with implicit hyperbolic orbits are explored. It is indicated that the idea of their interstellar origin is based on the distribution of hyperbolic orbits of meteoric particles according to elongation of interstellar radiant from solar apex with a due account of conformity in conditions for their close approach to the Earth.

**Key words:** Meteoroids: hyperbolic orbit: excess.

В многочисленных, опубликованных в XX веке каталогах метеорных орбит, полученных методами фотографических, телевизионных и радиолокационных наблюдений, содержится более 5–10% гиперболических метеорных орбит, то есть, орбит метеоров, имеющих непериодическое движение. Дискуссия об этом явлении показала, что его причинами могут быть низкая точность измерения скоростей метеоров из-за систематических и случайных погрешностей наблюдений.

Возможно, это явление объяснить процессами, происходящими внутри Солнечной системы: дроблением ядер комет, миникомет, астероидов и гравитационными возмущениями, в результате чего эллиптическая метеорная орбита преобразовывается в гиперболическую внутри Солнечной системы. Была высказана также гипотеза о проникновение в атмосферу Земли частиц межзвездной пыли.

Последнюю гипотезу,— о межзвездной природе метеорных частиц, имеющих гиперболические орбиты с большими эксцентриситетами,— поддерживал С.К. Всехсвятский (Всехсвятский, 1978). Он считал, что "гиперболические" метеоры возникают в результате эруптивных процессов в нашей Галактике.

Проблеме гиперболических метеорных орбит посвящен ряд публикаций (Симакина, 1968; Stohl,

1970; Кащеев и др., 1982; Кащеев, Коломиец, 1984). Ожидаемые распределения элементов орбит межзвездных частиц в Солнечной системе исследовались в работах (Крамер, 1954; Zook, 1975; Белькович, Потапов, 1985). Актуальность данной проблемы не уменьшилась и в настоящее время, так как доказательство существования межзвездных метеорных частиц может изменить взгляды на происхождение и эволюцию метеорной материи.

В наших работах показано (Крамер, Маркина и Скобликова 1998), что реально существуют метеороиды, гелиоцентрическая скорость которых на 5–10 км/с и более превышает параболическую на гелиоцентрическом расстоянии  $r = 1$  а.е. (процесс  $Ex > 5-10 \text{ km/s}$ ) и, что они не могли образоваться в результате процессов, происходящих внутри Солнечной системы, а проникли в атмосферу Земли из межзвездного пространства. Их количество составляет около 10–20% от гиперболических метеорных орбит.

Предполагается, что и среди неявно выраженных гиперболических орбит метеорных частиц (процесс  $Ex < 2 \text{ km/s}$ ) есть истинные орбиты межзвездных метеороидов. Трудность состоит в их выделении из гиперболических орбит, определенных ошибочно и орбит метеорных частиц, получивших гиперболическую скорость внутри Солнечной системы.

С этой целью исследовались наблюдаемые распределения неявно выраженных гиперболических орбит спорадических метеорных частиц из каталогов McCrosky & Posen (1961), Betlem & de Liqnie (2007), Shiqeno (2007) и соответствующие нормированные распределения, вычисленные согласно полной вероятности столкновения межзвездной метеорной частицы с Землей, по их элементам и вычисленным параметрам, определяющим движение частицы в межзвездном пространстве, а также условия

сближения их с Землей (McCrosky & Posen 1961, Betlem & de Liqnie 2007, Shiqeno 2007, Крамер, Шестака и Маркина 1986).

В результате, в нормированных распределениях исследуемых метеорных орбит по перигелийному расстоянию  $q$ , наклонению орбиты  $i$ , эксцентриситету  $e$ , по угловым орбитальным элементам, а также по эллиптическим широте и долготе перигелия орбит, выявлены особенности, характерные для частиц межзвездного происхождения (Крамер, Маркина и Скобликова 1998, Белькович и Потапов 1985, Ткачук и Коломиец 1985, Кащеев и Коломиец 1984).

Учет статистического веса каждого наблюдения неявно выраженного «гиперболического» метеора уменьшает количество орбит с эксцентриситетом, приближающимся к единице. При этом максимум распределения исследуемых метеорных орбит приходится на эксцентриситет равный 1.00–1.02. Следует также отметить, что исследуемые метеоры и метеоры с явно выраженным гиперболическим орбитами ( $Ex > 10 \text{ км/с}$ ) показывают резко отличающиеся распределения от спорадических метеоров, находящихся на явно выраженных эллиптических орбитах, взятых из каталога (Betlem de Liqnie 2007).

В нормированном распределении исследуемых орбит по межзвездной скорости метеорных частиц максимум распределения сдвинут по отношению к наблюдаемому в сторону уменьшения их значений, то есть увеличению равномерности их распределения и, следовательно, достоверности полученных результатов. Это подтверждается распределением этих орбит по углу между асимптотой гиперболы и осью абсцисс – с учетом статистического веса каждого наблюдения оно имеет более равномерный ход.

Показано, что основанием для предположения о межзвездном происхождении метеорных частиц с неявно выраженным гиперболическим орбитами является их распределение по элонгации межзвездного радианта от апекса Солнца с учетом вероятности столкновения межзвездной метеорной частицы с Землей. Оно наиболее реально отражает точность определения этих орбит.

Исследование условий встречи метеорных частиц с Землей показало, что частицы с  $Ex > 5 \text{ км/с}$  и  $Ex > 10 \text{ км/с}$  значительно реже, чем исследуемые, пересекают плоскость эклиптики, то есть такое событие менее вероятно. Большинство исследуемых метеорных частиц, так же как и частицы с явно выраженным гиперболическим орбитами, встречаются с Землей в нисходящем узле до прохождения перигелия своей орбиты (Крамер и Смирнов 1999).

Частицы с орбитами обоих типов разделяются на две группы: первая группа представляет

собой метеорные частицы, встречающиеся с Землей вблизи нисходящего узла до прохождения перигелия своей орбиты с элонгацией межзвездного радианта от апекса Солнца, что является основанием для предположения, что эти метеороиды имеют межзвездное происхождение; вторая группа метеоров пересекает орбиту Земли в восходящем узле до прохождения перигелия своей орбиты и имеет элонгацию межзвездного радианта от апекса Солнца. Можно предположить, что эти метеороиды, имеющие гиперболические орбиты, образованы внутри Солнечной системы.

Таким образом, метеорные частицы проникают в атмосферу Земли из межзвездного пространства не только по явно выраженным гиперболическим орбитам, но и по почти параболическим ( $Ex < 2 \text{ км/с}$ ). Их наблюдается тем больше, чем выше точность наблюдений.

### Литература

- Белькович О.И., Потапов И.Н.: 1985, *Астрон. вестн.*, **19**, № 3, 206.  
 Всехсвятский С.К.: 1978, *Проблемы косм. физики*, № 13, 141.  
 Zook H.A.: 1975, *Planet. Space Sci.*, **23**, № 10, 1391.  
 Кащеев Б.Л., Ткачук А.А., Коломиец С.В.: 1982, *Проблемы косм. физики*, № 17, 3.  
 Кащеев Б.Л., Коломиец С.В.: 1984, М., *Метеорные исследования*, № 11, 81.  
 Крамер Е.Н.: 1954, *Труды Сталинабадской астроном. обсерватории*, № 20.  
 Крамер Е.Н., Маркина А.К., Скобликова Л.Я.: 1998, *Астрон. вестн.*, **32**, № 3, 277.  
 Крамер Е.Н., Шестака И.С., Маркина А.К.: 1986, Каталог МЦДБ. М., ВИНИТИ. 185 с.  
 Крамер Е.Н., Смирнов В.А.: 1999, *Астрон. Вестн.*, **33**, № 1, 85.  
 Симакина Е.Г.: 1968, *Астрон. вестн.*, № 3, 153.  
 Ткачук А.А., Коломиец С.В.: 1985 М., *Метеорные исследования*, № 10, 67.  
 Betlem H, de Liqnie M.: 2007, DMS. <ftp://ftp.strw.leidenuniv.nl/pub/betlem/orbits>  
 McCrosky R.E., Posen A.: 1961, *Smithsonian Contrib. Astrophys.*, **4**, N2, 15  
 Shiqeno Y.: 2007, MSSWG. <http://www.imo.net/files/data/msswg>  
 Stohl J.: 1970, *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia*, **21**, № 1, 10.

# THE USE OF MODELING FOR INTERPRETATION OF OBSERVED LIGHT CURVES OF SATELLITES

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕРПРЕТАЦИИ НАБЛЮДАЕМЫХ КРИВЫХ БЛЕСКА ИСЗ

Melikyants S., Shakun L., Koshkin N., Dragomiretsky V., Strakhova S.

Odessa Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *nikkoshkin@yahoo.com*

**ABSTRACT.** In this work the opportunity of interpretation of light curves of artificial satellite is investigated by using of theoretical light curves of its model. For this purpose the programming language Max Script and the applied program for computer's three-dimensional drawing for visualization of the generated model is used. The opportunities of the programming language and effectiveness of this application for optic-geometrical modeling of satellite are tested. This allows to generate satellite models, allows to set optical parameters of surfaces, to simulate adequately geometrical conditions of movement and supervision of the model. The theoretical integrated light curves of really supervised satellites were calculated, particularly of the cosmic apparatus Sich-1M. The comparison of supervised and theoretical light curves allows to make a conclusion about the mode of movement of satellite around its center of weight, and to make the remote sensing of the its state and behavior. The computing information on the model's light reflection in several color bands can be used, in addition, for interpretation of multi-color observations of satellites.

**АННОТАЦИЯ.** В данной работе рассматривается возможность интерпретации наблюдаемых кривых блеска ИСЗ сравнением с их теоретическими кривыми блеска. Для этой цели используется язык программирования Max Script и программа трёхмерной компьютерной графики, используемая для визуализации генерированной модели. Изучены возможности языка и применимость его для генерирования компьютерной модели ИСЗ, придания нужных оптических свойств поверхностям, адекватного моделирования геометрических условий наблюдения и движения модели. Получены теоретические интегральные кривые изменения блеска реально наблюдаемых ИСЗ, в частности КА «Сич-

1М». Сравнение наблюдаемых и теоретических кривых блеска позволяет сделать вывод о характере движения космического объекта относительно центра масс и осуществлять удаленный контроль его состояния и поведения. Расчетная информация об отражении света моделью в нескольких цветовых полосах может быть использована дополнительно при интерпретации колориметрических наблюдений ИСЗ.

Движение освещенного Солнцем спутника Земли относительно центра масс и по орбите определяет форму его кривой блеска, регистрируемую при фотометрических наблюдениях. Поэтому такие наблюдения можно использовать для независимого дистанционного анализа его движения, если известна его форма и оптические характеристики наружных покрытий. Наличие на кривой блеска периодичности или быстрого роста и спада блеска требует соответствующей интерпретации. Для этой цели было использовано оптико-геометрическое моделирование космических аппаратов и расчет отражения света их поверхностью. В рамках исследования нами создана программа на языке MAX Script, моделирующая движение космического аппарата, а также использована программа трёхмерной компьютерной графики 3DStudioMAX для визуализации процесса.

Компьютерная 3D-графика предназначена для имитации видеосъемки трёхмерных образов объектов, которые должны быть предварительно подготовлены в памяти компьютера. При использовании средств трёхмерной графики синтез изображения выполняется по алгоритму, включающему в общем случае следующие этапы:

- создание геометрической модели объекта,
- подготовка и размещение материалов покрытия

- объекта, задание их оптических свойств,
- создание освещения и позиционирование наблюдателя в данный момент времени,
  - имитация ориентации и движения объекта и наблюдателя относительно друг друга,
  - формирование изображений в последовательные промежутки времени.

Освещённость всех объектов, отбрасываемые ими тени и блики света рассчитываются визуализирующей программой автоматически. Программа позволяет рассмотреть созданный объект с любого направления. Для удобства построения алгоритмов формирования изображения поверхность объекта разбивается на треугольные грани, которые образуют сетку с треугольными ячейками. Каждые две смежные грани, лежащие в одной плоскости, образуют четырёхугольник или полигон. Разбиение производится автоматически или под управлением оператора. Важным параметром грани является ее нормаль. Ориентация нормали позволяет определить, будет данная грань видимой или нет. Программа рассчитывает интенсивность световых лучей, которые отражаются от каждой точки (микрографии) в направлении наблюдателя. В качестве иллюстрации приведем фрагмент кода программы – создание, позиционирование в пространстве и разбиение усечённого конуса на грани:

```
cone1=cone height:60 heightsegs:20 radius1:68 capsegs:1
radius2:50 capsegs:1 sides:100
cone1.pos=[0,0,60]
```

Поскольку такое разбиение искусственно, то необходимо принимать специальные меры, обеспечивающие сглаживание ребер между гранями. Сглаживание достигается за счёт того, что ориентация нормали в каждой точке плоской грани считается переменной и рассчитывается как промежуточная между исходной ориентацией нормалей к данной грани и к трём другим граням, окружающим данную грань. Изменяя ориентацию нормали в отдельных точках граней, программа добивается сглаживания ребер между гранями. Такой подход обеспечивает достаточно высокое качество сглаживания ребер граней. Графические платы, называемые аппаратными ускорителями 3D-графики, способны выполнять преобразования координат вершин треугольных граней при помощи специализированных микропроцессоров. Это позволяет добиваться очень высокой скорости отображения 3D-графики на экране дисплея.

Каждый объект, какую бы сложную форму он ни имел, заключается в габаритный контейнер. Габаритный контейнер представляет собой прямоугольный параллелепипед, описанный вокруг объекта. При последующих поворотах объекта вместе с ним поворачивается и его габаритный контейнер. Использование габаритных контейнеров помогает быстро определять, заслоняют ли объекты

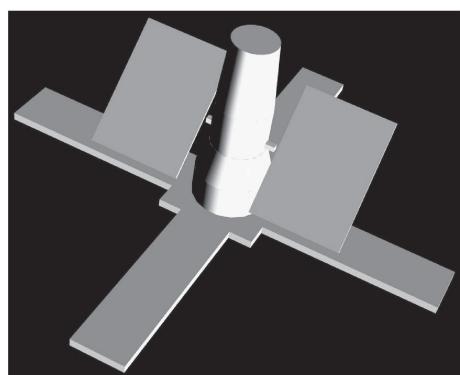


Рис. 1: Модель космического аппарата "Сич-1М"

друг друга при наблюдении с определенного направления, а также за геометрический центр объекта сложной формы принимается центр его габаритного контейнера.

В программе используются две основные системы координат – глобальная и локальная, а также два вида проекций: аксонометрические и перспективные. При параллельной проекции размеры объектов на изображении не зависят от их удаления от наблюдателя. Это удобно при моделировании очень удаленных объектов.

Имитация движения объекта по орбите достигается средствами анимации программы. Анимация представляет собой синтез достаточно большого числа изображений (кадров), на которых запечатлены последовательные стадии движения объекта. Программа автоматически строит с необходимой дискретностью все промежуточные кадры по заданным ключевым кадрам, в которых указаны положения объекта. Программа позволяет генерировать геометрические модели сложных тел, а также их освещение параллельными лучами света и наблюдение с разных направлений с большого расстояния, что соответствует реальному движению космических аппаратов и телескопа относительно друг друга. Поскольку, в результате фотометрических наблюдений удаленного космического аппарата регистрируется свет, отраженный в направлении наблюдателя всеми элементами его конструкции, то для модели также необходимо получить интегральную величину блеска. Это достигается специальным суммированием яркости всех пикселов изображения в каждом кадре, что позволяет получить расчётную интегральную кривую изменения блеска модели со временем.

В качестве тестовых испытаний возможностей программы для моделирования фотометрии космических аппаратов нами было проведено сравнение кривых блеска компьютерной модели (см. Рис. 1) с наблюдаемым изменением блеска КА «Сич-1М», который представляет собой конструкцию из двух

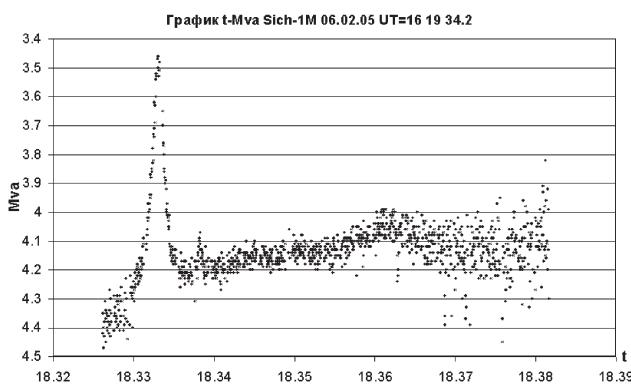


Рис. 2: Наблюдаемая кривая блеска КА Сич-1М. Одесса, 6.02.2005

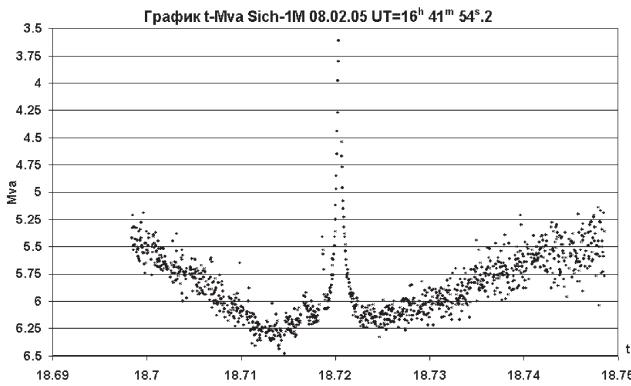


Рис. 3: Наблюдаемая кривая блеска КА Сич-1М. Одесса, 8.02.2005

цилиндров и двух конусов с солнечными панелями по бокам и крестообразной аппаратурной панелью в основании. Наблюдаемые кривые блеска представлены на рисунках 2 и 3. Наблюдения проводились в Одесской астрономической обсерватории 6 и 8 февраля 2005 года на телескопе КТ-50 с ПЗС камерой, работающей в ТВ-режиме (Бурлак и др., 2007).

Космический аппарат «Сич-1М» был выведен на орбиту в конце декабря 2004 года, при этом возникли проблемы с его ориентацией. Поэтому, как только позволили условия видимости, нами были получены фотометрические наблюдения КА, которые могут быть использованы для анализа ситуации с привлечением модельных кривых блеска.

Расчетные кривые блеска были получены при движении модели по реальной орбите, то есть, при тех же условиях освещения, что и наблюдаемые. На основе априорной информации о КА принята форма модели, а ее покрытию заданы свойства отражения подобные реальным. Продольная ось модели в полете ориентирована на центр Земли.

На рис. 4 и 5 представлены расчетные кривые изменения со временем интегрального блеска в видимом диапазоне длин волн.

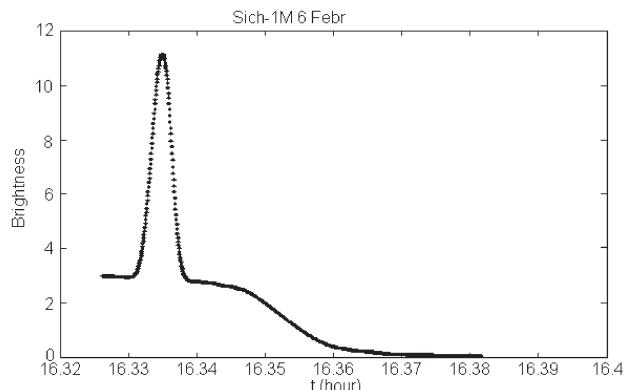


Рис. 4: Кривая блеска модели КА Сич-1М (прохождение 6.02.2005)

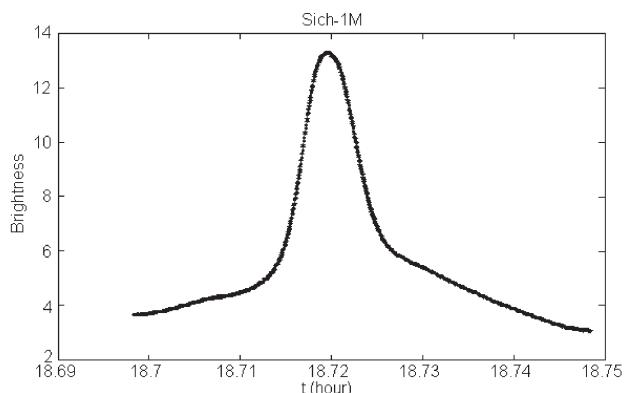


Рис. 5: Кривая блеска модели КА Сич-1М (8.02.2005)

Анализ расположения объекта на орбите относительно наблюдателя позволяет сделать вывод о том, что при прохождении КА 8 февраля 2005 года максимум на наблюдаемой кривой блеска обусловлен резким увеличением яркости (бликом) крестообразной панели в основании. Это подтверждается расчетом теоретической кривой блеска (Рис. 5). Однако, при моделировании прохождения объекта за 6 февраля при штатной ориентации, расчет дает плавное «диффузное» увеличение блеска, обусловленное разворотом панелей солнечных батарей, что не соответствует наблюдаемой кривой блеска. После анализа модельных кривых блеска, полученных при разных вариантах ориентации объекта, нами была принята его ориентация на двадцать семь градусов отличающаяся от штатной. В этом случае модель дает зеркальный блик от панелей солнечных батарей (Рис. 4) подобный тому, что зарегистрирован при наблюдениях 6 февраля. Это явилось подтверждением значительного отклонения продольной оси КА от вертикали и наличия проблем с его гравитационной стабилизацией возможно приводящих к колебательным движениям продольной оси.

В результате проделанной работы можно сделать

предварительный вывод о том, что программа генерирования моделей (MAX Script) вместе с программами компьютерной графики могут быть применены для построения адекватных моделей космических аппаратов. Их использование для моделирования изменяющихся геометрических условий наблюдения при расчете теоретических кривых блеска спутника позволяет анализировать характер его движения относительно центра масс.

### Литература

Бурлак Н., Драгомирецкий В., Кошкин Н., Рябов А., Шакун Л.: 2007, in: *Международная научная конференция "Наблюдение околоземных космических объектов", 23-25 января 2007, Звенигород, Россия*, <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000018/Od/index1.htm>

# DETERMINATION OF COORDINATES OF THE BASIC POINTS OF THE ILLUMINATED PART OF THE SPHERICAL PLANET'S VISIBLE DISC

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ОСНОВНЫХ ТОЧЕК ОСВЕЩЕННОЙ ЧАСТИ ВИДИМОГО ДИСКА СФЕРИЧЕСКОЙ ПЛАНЕТЫ

V.V. Mikhalkuk

Odessa National Maritime Academy  
Didrikhsona 8, Odessa 65029 Ukraine, *vmihalchuk@mail.ru*

**ABSTRACT.** The formulae for determination of planetocentric coordinates of the basic points of an illuminated part of the visible disc of a spherical planet in projection onto the plane of the sky are derived. The formulae are deduced from general expressions using an auxiliary coordinate system connected with equator of intensity, and realizing the transition from this system to planetocentric coordinates. The proposed formulae do not require attraction of auxiliary coordinate system and allow a immediate transition, in planetocentric coordinates, from the center of the geometric disc of the spherical planet to the given point of its visible disc under various conditions of illumination. The planetocentric coordinates of the basic points for visible discs of the Mercury, Venus and Mars on their physical ephemerides are calculated.

В работе получены формулы для определения планетоцентрических координат основных точек освещенной части видимого диска сферической планеты, в проекции на картинную плоскость. Формулы выведены из общих выражений, использующих вспомогательную систему координат, связанную с экватором интенсивности, и осуществляющих переход от этой системы к планетоцентрическим координатам. Предложенные формулы не требуют привлечения вспомогательной системы координат и позволяют осуществить непосредственный переход в планетоцентрических координатах от центра геометрического диска сферической планеты к данной точке ее видимого диска при различных условиях освещенности. Вычислены планетоцентрические координаты основных точек для видимых дисков Меркурия, Венеры и Марса по их физическим эфемеридам.

**Key words:** planets; phase; physical ephemerides; planetocentric coordinates; planetographic coordinates.

### 1. Введение

При физических наблюдениях поверхности планет Солнечной системы и их естественных спутников возникает задача определения планетографических координат деталей альбедо на изображениях их видимых дисков. Для планет земной группы, форму которых можно считать в первом приближении сферической, эта задача усложняется влиянием фазы, когда фазовый угол  $\Phi$  отличен от нуля. При этом фаза планеты рассматривается в ортографическом приближении.

Решению рассматриваемой задачи посвящены работы (Михальчук, 2004а; 2007а; 2007б), в которых предложены методы определения планетографических координат точек освещенной части видимого диска сферической планеты в системе RGS (Свешников, 2004) точек, совпадающих с их планетоцентрическими координатами (в системе, подобной RCS), но с направлением отсчета долготы, таким как в системе координат RGS. Эти координаты также применены в настоящей работе.

При наземных и околоземных наблюдениях планеты вращающаяся планетоцентрическая система координат наблюдается на ее видимом диске в ортографической проекции. Основной плоскостью этой системы является плоскость экватора планеты, а положение каждой точки поверхности планеты задается с помощью планетоцентрической широты  $b$  и долготы  $l$ .

Методы (Михальчук, 2004а; 2007а; 2007б) позволяют исключить влияние фазы планеты на результат определения планетоцентрических координат любой точки на освещенной части ее видимого диска, но решение поставленной задачи в этих методах является не прямым, а многоэтапным, с

привлечением вспомогательной системы координат, связанной с экватором интенсивности. Прямое решение задачи для отдельных точек было получено в работах: (Михальчук, 2001) – для центра освещенной части видимого диска планеты и (Mikhalkuk, 2004) – для полюса освещенности и видимого центра ортографического терминатора.

Для определения планетоцентрических координат деталей и для фотометрических измерений на освещенной части видимого диска планеты представляют интерес еще четыре точки: две на экваторе интенсивности (полюс фазы и зеркальная точка), и две – ортографические рога (северный и южный).

Таким образом, возникает необходимость в прямом решении поставленной задачи для указанных точек. Целью настоящей работы является получение формул, позволяющих непосредственно вычислить планетоцентрические координаты основных точек освещенной части видимого диска планеты.

## 2. Основные точки освещенной части видимого диска сферической планеты

Рассмотрим видимый диск сферической планеты, освещенной Солнцем под произвольным фазовым углом  $\Phi$  (рис.1). Пусть  $O$  – геометрический центр диска планеты (субтерральная точка),  $E$  – подсолнечная точка (полюс освещенности), точки  $A$  и  $B$  – ортографические рога диска. Основные точки диаметра интенсивности:

$C$  – центр освещенной части видимого диска планеты,  $L$  – полюс фазы,  $F$  – точка наименьшей освещенности диска,  $T$  – видимый центр ортографического терминатора,  $M$  – зеркальная точка. Необходимо найти планетоцентрические координаты точек  $E$ ,  $C$ ,  $L$ ,  $T$ ,  $M$ ,  $A$  и  $B$  по заданным планетоцентрическим координатам точки  $O$ .

Для определения положения любой точки освещенной части видимого диска сферической планеты на ее поверхности в методе (Михальчук 2004а) применялась невращающаяся вспомогательная сферическая система координат  $(\lambda, \varphi)$ , в которой за основную плоскость принята плоскость экватора интенсивности, а полюсами являются ортографические рога диска. Положение точки в ней определяется широтой  $\varphi$ , отсчитываемой от экватора интенсивности, и долготой  $\lambda$ , отсчитываемой от среднего меридиана к западу планеты.

Угол положения  $P$  оси вращения планеты и угол положения  $Q$  точки наименьшей освещенности ее видимого диска на геоцентрической небесной сфере (Абалакин, 1979) позволяют определить планетоцентрические координаты  $l$  и  $b$  данной точки по ее вспомогательным координатам  $\lambda$  и  $\varphi$ .

Планетоцентрические координаты точки  $O$  из-

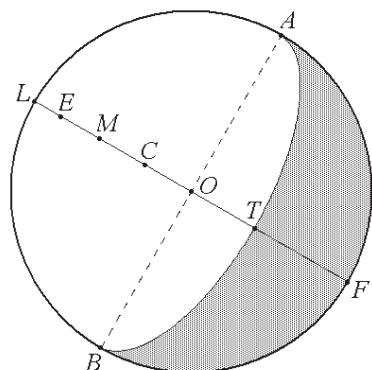


Рис. 1: Основные точки освещенной части видимого диска сферической планеты

вестны из физических эфемерид и равны  $(l_p, b_p)$ , причем  $b_p = D_{\oplus}$ , где  $D_{\oplus}$  – планетоцентрическое склонение Земли. Планетоцентрические координаты точки  $C$  равны  $(l_0, b_0)$  и определяются по формулам, полученным в работе (Михальчук, 2001). В работе (Mikhalkuk, 2004) были выведены формулы для вычисления планетоцентрических координат  $(l, b)$  точек  $E$  и  $T$ .

Возможность получения формул для определения планетоцентрических координат точек  $L$  и  $M$  на основе метода (Михальчук, 2004а) показана в работах (Михальчук, 2004б; 2005; Mikhalkuk, 2005). Остается получить формулы для определения планетоцентрических координат точек  $L$ ,  $M$ ,  $A$  и  $B$ .

Полюс фазы (точка  $L$ ) всегда расположен на ортографическом лимбе планеты. В зеркальной точке  $M$  угол падения солнечных лучей равен углу их отражения от поверхности планеты. Зеркальная точка имеет большое значение при фотометрических наблюдениях планет (Акимов, 1979), она часто используется при учете поправки за фазу для редукции к геометрическому центру видимого диска в позиционных наблюдениях планет (Сафонов, 1978; Свешников, 1978; Toulmonde, Chollet, 1994). Точки  $C$  и  $M$  всегда находятся на освещенной части видимого диска планеты.

В работе (Михальчук, 2004а), кроме вспомогательной долготы  $\lambda$ , рассматривается еще долгота  $\lambda_0$ , отсчитываемая от линии рогов  $AB$ , проходящей через субтерральную точку  $O$  (рис.1). Эти долготы связаны между собой соотношением  $\lambda_0 = \lambda + \gamma$ , где  $\gamma$  – фазовое смещение центра диска планеты.

Таблица 1: Физические эфемериды планет на 0<sup>h</sup> UT 8 января 2004 года

Планета	$r$	$P$	$D_{\oplus}$	$A_{\oplus} - A_{\odot}$	$D_{\odot}$	$k$	$\Phi$	$Q$	$l_p$
Меркурий	4''.08	7°.08	-7°.13	+105°.32	0°.00	0.369	105°.2	279°.03	261°.81
Венера	6.58	342.18	+1.29	-50.70	+1.88	0.817	50.68	73.55	352.94
Марс	3.99	327.12	-25.12	-41.84	-12.38	0.875	41.42	67.12	154.90

### 3. Планетоцентрические координаты некоторых основных точек освещенной части видимого диска сферической планеты

Пусть имеется изображение сферической планеты и из ее физических эфемерид известны величины  $\Phi$ ,  $D_{\oplus}$ ,  $P$ ,  $Q$  и  $l_p$ . Планетоцентрические координаты  $(l, b)$  любой точки освещенной части видимого диска планеты определяются по ее вспомогательным координатам  $(\lambda, \varphi)$  из общих формул (Михальчук, 2004а). Для точек, лежащих на экваторе интенсивности,  $\varphi = 0$ , что позволило в работе (Mikhailchuk, 2004) получить из этих формул более упрощенные выражения для нахождения планетоцентрических координат любой точки освещенной части экватора интенсивности. Применим их к рассматриваемым точкам  $L$  и  $M$ .

Полюс фазы имеет долготы  $\lambda = \pm 90^\circ - \gamma$  и  $\lambda_0 = \pm 90^\circ$ . Долготы зеркальной точки равны  $\lambda = \pm \frac{\Phi}{2} - \gamma$  и  $\lambda_0 = \pm \frac{\Phi}{2}$ . Выбор знака здесь осуществляется по правилу (Михальчук, 2004а): верхний знак используется при  $\sin(P - Q) > 0$ , а нижний знак – при  $\sin(P - Q) < 0$ . Это правило знаков распространяется и далее, на все последующие выражения. Тогда из формул для вычисления планетоцентрических координат точек экватора интенсивности (Mikhailchuk, 2004), учитывая правило знаков, получим для полюса фазы (точки  $L$ )

$$\sin b = -\cos D_{\oplus} \cos(P - Q), \quad (1)$$

$$\operatorname{tg}(l - l_p) = \frac{\sin(P - Q)}{\sin D_{\oplus} \cos(P - Q)} \quad (2)$$

и для зеркальной точки (точки  $M$ )

$$\sin b = \cos \frac{\Phi}{2} \sin D_{\oplus} - \sin \frac{\Phi}{2} \cos D_{\oplus} \cos(P - Q), \quad (3)$$

$$\operatorname{tg}(l - l_p) = \frac{\sin \frac{\Phi}{2} \sin(P - Q)}{\cos \frac{\Phi}{2} \cos D_{\oplus} + \sin \frac{\Phi}{2} \sin D_{\oplus} \cos(P - Q)}. \quad (4)$$

Для ортографических рогов (точек  $A$  и  $B$ ) значения долгот  $\lambda$  и  $\lambda_0$  не определены, а значения широты составляют  $\varphi = +90^\circ$  и  $\varphi = -90^\circ$  соответственно. Тогда из формул (Михальчук, 2004а) можно найти планетоцентрические координаты точки  $A$  северного ортографического рога

$$\sin b = \cos D_{\oplus} |\sin(P - Q)|, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg}(l - l_p) = \frac{\pm \cos(P - Q)}{-\sin D_{\oplus} |\sin(P - Q)|} \quad (6)$$

и точки  $B$  южного ортографического рога

$$\sin b = -\cos D_{\oplus} |\sin(P - Q)|, \quad (7)$$

$$\operatorname{tg}(l - l_p) = \frac{\mp \cos(P - Q)}{\sin D_{\oplus} |\sin(P - Q)|}. \quad (8)$$

Знаки числителя и знаменателя в формулах (2), (4), (6) и (8) совпадают со знаками  $\sin(l - l_p)$  и  $\cos(l - l_p)$  соответственно.

Формулы (1)-(8) не требуют привлечения вспомогательных координат и осуществляют непосредственный переход в планетоцентрических координатах от центра геометрического диска планеты к соответствующей точке ее видимого диска.

Планетоцентрические координаты полюса освещенности (точки  $E$ ):  $b = D_{\odot}$ ,  $l - l_p = A_{\oplus} - A_{\odot}$ , где  $D_{\odot}$  – планетоцентрическое склонение Солнца,  $A_{\oplus}$  и  $A_{\odot}$  – планетоцентрические прямые восходления Земли и Солнца соответственно в невращающейся планетоцентрической экваториальной системе координат PES (Свешников, 2004). Поэтому из формул (Mikhailchuk, 2004) получим

$$\sin D_{\odot} = \cos \Phi \sin D_{\oplus} - \sin \Phi \cos D_{\oplus} \cos(P - Q), \quad (9)$$

$$\operatorname{tg}(A_{\oplus} - A_{\odot}) = \frac{\sin \Phi \sin(P - Q)}{\cos \Phi \cos D_{\oplus} + \sin \Phi \sin D_{\oplus} \cos(P - Q)}, \quad (10)$$

где знаки числителя и знаменателя в формуле (10) совпадают со знаками  $\sin(A_{\oplus} - A_{\odot})$  и  $\cos(A_{\oplus} - A_{\odot})$  соответственно. Формулы (9) и (10) могут быть использованы в эфемеридной астрономии.

### 4. Вычисление координат основных точек освещенной части видимых дисков планет земной группы

Рассмотрим пример определения координат основных точек освещенной части видимых дисков планет земной группы Меркурия, Венеры и Марса по их физическим эфемеридам на 0<sup>h</sup> всемирного времени 8 января 2004 года (Глебова, 2003), приведенным в таблице 1. В этой же таблице даны видимые радиусы  $r$  и фазы  $k$  планет.

Схематические изображения видимых дисков планет на заданный момент времени, полученные с помощью одной из программ пакета (Mikhailchuk, 2001), представлены на рис. 2. Здесь же показаны проекции оси вращения каждой планеты и ее экватора на картинную плоскость. Для данного момента

Таблица 2: Планетоцентрические экваториальные координаты Земли и Солнца, вычисленные по формулам (9) и (10), а также координаты некоторых основных точек освещенной части поверхности планет, полученные в результате вычислений по формулам из работ (Михальчук, 2001; 2004)

Планета	$A_{\oplus} - A_{\odot}$	$D_{\odot}$	Точка $C$		Точка $E$		Точка $T$	
			$l_0$	$b_0$	$l$	$b$	$l$	$b$
Меркурий	+105°.32	0°.00	301°.24	-6°.75	7°.13	0°.00	277°.13	-7°.39
Венера	-50.70	+1.88	342.38	+1.52	302.24	+1.88	32.25	+0.13
Марс	-41.84	-12.38	147.17	-23.67	113.06	-12.38	208.54	-23.50

Таблица 3: Координаты некоторых основных точек освещенной части видимых дисков планет, полученные в результате вычислений по формулам (1)-(8)

Планета	Точка $L$		Точка $M$		Точка $A$		Точка $B$	
	$l$	$b$	$l$	$b$	$l$	$b$	$l$	$b$
Меркурий	352°.05	-1°.93	314°.76	-5°.87	277°.15	+82°.61	97°.15	-82°.61
Венера	262.91	+1.37	327.60	+1.75	126.21	+88.12	306.21	-88.12
Марс	69.18	+9.05	133.15	-19.97	177.46	+63.08	357.46	-63.08

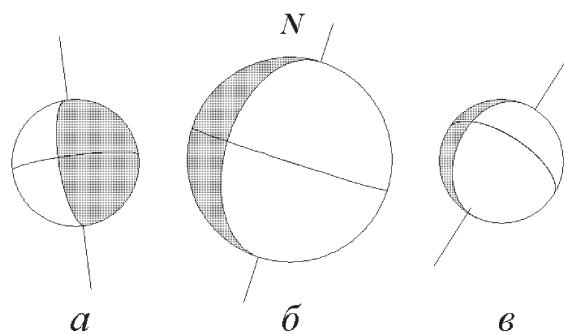


Рис. 2: Схематические изображения видимых дисков планет на 0<sup>h</sup> UT 8 января 2004 г: *a* – Меркурия, *б* – Венеры, *в* – Марса

времени определялись: величины  $A_{\oplus} - A_{\odot}$  и  $D_{\odot}$  по формулам (10) и (9) соответственно, а также планетоцентрические координаты ( $l_0, b_0$ ) центра освещенной части видимых дисков планет по формулам из (Михальчук, 2001) и координаты ( $l, b$ ) всех остальных точек по формулам из (Mikhailchuk, 2004) и формулам (1)-(8). Результаты вычислений приведены в таблицах 2 и 3.

Из таблиц 2 и 3 следует, что планетоцентрические координаты основных точек освещенной части видимых дисков Меркурия, Венеры и Марса, вычисленные по формулам, полученным в данной работе, полностью согласуются с их физическими

эфемеридами.

## 5. Заключение

Основные результаты, полученные в работе:

1. Получены формулы для определения планетоцентрических координат основных точек освещенной части видимого диска планеты.
2. Найдены выражения, связывающие планетоцентрические экваториальные координаты Солнца и Земли с углами, определяющими условия освещенности видимого диска планеты.

## Литература

- Абалакин В.К.: 1979 *Основы эфемеридной астрономии*. М.: Наука, 448с.  
 Акимов Л.А.: 1979, *АЖ*, **56**, №2, 412-418.  
 Глебова Н.И.: 2003, Ред. *Астрономический ежегодник на 2004 год*. СПб.: ИПА РАН, 728с.  
 Михальчук В.В.: 2001, *Астрон. вестник*, **35**, №1, 89-96.  
 Михальчук В.В.: 2004а, *Кинематика и физика небес. тел*, **20**, №1, 76-92.  
 Михальчук В.В.: 2004б, *Тезисы докладов на Всероссийской Астрономической Конференции ВАК-2004 "Горизонты Вселенной"*. М.: Труды ГАИШ, **75**, 234.  
 Михальчук В.В.: 2005, *Тезисы докладов Восьмого съезда Астрономического Общества и Международного симпозиума "Астрономия-2005: состояние и перспективы развития"*. М.: Труды

- ГАИШ, **78**, 13.
- Михальчук В.В.: 2007а, *Abstracts of the 7-th Gamow's Odessa Astronomical Summer School "Astronomy and beyond: Astrophysics, Radioastronomy, Cosmology and Astrobiology"*, Odessa (Ukraine), 25.
- Михальчук В.В.: 2007б, *Труды Всероссийской Астрономической Конференции BAK-2007. Изд-во Казанского гос. ун-та*, 49-51.
- Сафонов Ю.И.: 1978, АЖ, **55**, №1, 138-147.
- Свешников М.Л.: 1978, Бюл. ИТА, **14**, №5(158), 294-300.
- Свешников М.Л.: 2004, *Труды ИПА РАН*, **10**. Эфемеридная астрономия/Ред. А.М. Финкельштейн. СПб.: ИПА РАН, 349-375.
- Mikhachuk V.V.: 2001, *Odessa Astron. Publ.*, **14**, 261-264.
- Mikhachuk V.V.: 2004, *Odessa Astron. Publ.*, **17**, 54-57.
- Mikhachuk V.V.: 2005, *Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl. Ser.*, **5**, 557-560.
- Toulmonde M., Chollet F.: 1994, *Astron. and Astrophys.*, **287**, No 7, 1014-1020.

# ASTROMETRY AND PHOTOMETRY WITH PLATE SCANS FROM STERNBERG ASTRONOMICAL INSTITUTE'S PHOTOGRAPH COLLECTION (FIRST EXPERIENCES) АСТРОМЕТРИЯ И ФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД ПО СКАНАМ ПЛАСТИНОК ФОТОТЕКИ ГАИШ (ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ)

A.V. Mironov<sup>1</sup>, F.N. Nikolaev<sup>1</sup>, A.S. Tuchin<sup>1</sup>, A.I. Zakharov<sup>1</sup>, K.F. Levkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sternberg State Astronomical Institute, Moscow State Lomonosov University  
Leninskije gory, Moscow 119992 Russia, *almir@sai.msu.ru*

<sup>2</sup> Physical Department, Moscow State Lomonosov University  
Leninskije gory, Moscow 119992 Russia

**ABSTRACT.** A scanning of plates from Sternberg astronomical institute's photograph collection has began to create a library of digital images. A large number of new variable stars has already discovered using the scans. It is shown that it is possible to carry out an astrometry with an error about a half of a pixel and a photometry with an error about 0,15 mag.

В ГАИШ МГУ начато сканирование пластинок фототеки с целью составления библиотеки их цифровых образов. По полученным сканам уже открыто значительное количество новых переменных звезд. Показано, что по сканам пластинок можно проводить астрометрию с точностью до половины пикселя и фотометрию со стандартной ошибкой около  $0^m.15$ .

**Key words:** Astronomical photography: scanning, astrometry, photometry.

В различных обсерваториях мира хранится большое количество фотографических снимков неба, полученных на разных телескопах. Самой богатой коллекцией обладает Обсерватория Гарвардского колледжа (США); в ней содержится около 500 тысяч фотопластинок. ГАИШ МГУ обладает фототекой объемом около 60 тысяч негативов; из них около 22,3 тысяч получены на 40-сантиметровом астрографе, стоящем в настоящее время на Крымской станции ГАИШ.

На фотопластинках содержится огромное количество ценнейшей астрономической информации. Для облегчения доступа к этой информации во многих астрономических учреждениях мира проводятся работы по созданию цифровых образов фотопласти-

нок. С этой целью пластинки сканируются с помощью цифровых сканеров разных систем.

Большинство коммерческих сканеров мало пригодно для оцифровки астрономических фотопластинок. Их основными недостатками являются недостаточное разрешение, недостаточный размер поля и недостаточная производительность. К такому выводу пришли специалисты из Гарвардской обсерватории, которые провели сравнительное исследование нескольких типов коммерческих сканеров. Одними из лучших были признаны сканеры фирмы CREO, но и они имеют низкую производительность. Поэтому в Гарварде был разработан и создан специальный сканер (Mink, Doane, Simcoe et al., 2006).

Для сканирования пластинок фототеки ГАИШ были приобретены и установлены два сканера типа CREO EverSmart Supreme II. Эти приборы имеют разрешающую способность до 2540 dpi и позволяют сканировать пластинки формата А3. Сканирование производится путем синхронного перемещения осветителя и ПЗС-линейки с размером пикселя 10 мкм. На выходе организуется файл в формате tiff, разрядность отсчета для каждого пикселя – 16. Приборы позволяют получать сканы высокого качества. В недостаткам следует отнести недостаточную производительность: сканирование фотопластинки размером 24 x 30 см с наивысшим разрешением занимает около одного часа. Кроме того, необходимо отключать сложную систему обработки изображений, установленную по умолчанию и нет простой возможности модифицировать программное обеспечение.

В настоящее время данные, полученные в результате сканирования, сначала переводятся из формата

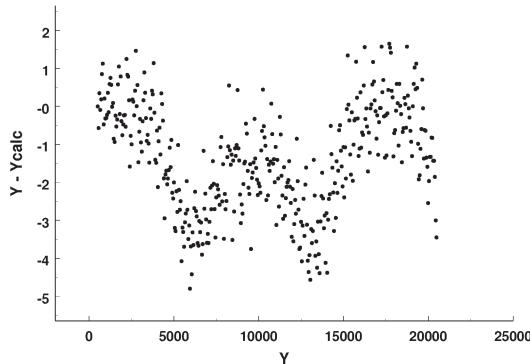


Рис. 1: Систематическая ошибка определения координат вдоль направления сканирования. Низкочастотная составляющая.

та tiff в формат fits, а затем этот файл обрабатывается с помощью программы SExtractor (Source-Extractor), созданной в Парижском институте астрофизики и Парижской обсерватории (Bertin and Arnouts 1996). Программа обнаруживает объекты в кадре, выдает их прямоугольные координаты и делает оценку звездной величины (с произвольным нуль-пунктом). Первым результатом явилось открытие и исследование значительного количества новых переменных звезд. Эти результаты опубликованы в нескольких статьях в электронном журнале "Переменные звезды" (Manannikov, Sokolovsky, Samus et al. 2006; Kolesnikova, Sokolovsky, Samus, 2007; Sokolovsky, 2006).

Нами было проведено исследование астрометрических и фотометрических свойств сканов. Для проверки астрометрических качеств мы использовали точную стеклянную палетку, на которой была нарезана прямоугольная сетка с равномерным шагом 0,5 мм. Анализ показал, что выданные программой SExtractor координаты линий сетки систематически отличаются равномерных, причем ошибки имеют периодический характер. Это показано на рис. 1, который относится к направлению вдоль сканирования. На рисунке 1 видно, что разности между измеренными положениями линий палетки и положениями линий равномерной сетки изменяются, показывая волнобразный ход. К сожалению нуль-пункты и фазы периодических зависимостей зависят от предыдущего положения каретки сканера и не повторяется от одного акта сканирования к другому. Аналогичные систематические ошибки были выявлены и на перпендикулярном направлении. Более подробное рассмотрение кривой на рис.1. показало, что, кроме волнобразных изменений с пространственным периодом около 8000 пикселов, су-

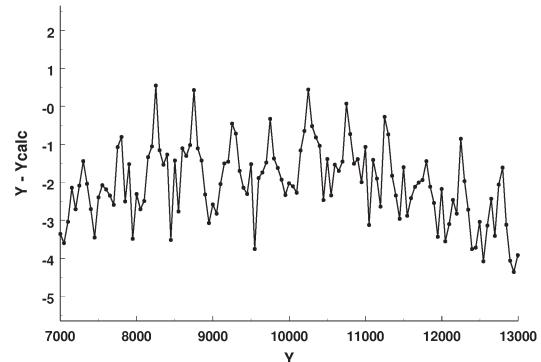


Рис. 2: Систематическая ошибка определения координат вдоль направления сканирования. Высокочастотная составляющая.

ществуют еще и вариации с более высокой частотой. Это показано на рис.2. Период высокочастотных вариаций около 500 пикселов. Высокочастотная составляющая присутствует только на направлении сканирования. Мы пришли к выводу, что эти ошибки связаны с неравномерностями движения каретки во время сканирования и аналогичны периодической ошибке винта классических микрометров. Если на пластинке имеется достаточно много опорных звезд с известными координатами, то по ним можно вначале определить систематические ошибки, а затем определить координаты исследуемых звезд. При этом среднеквадратичная ошибка определения координат не превышает 0,5 пикселя. На снимках 40-сантиметрового астрографа это соответствует 0,35 угловой секунды.

На пластинках 40-сантиметрового астрографа, отснятых с выдержкой в один час, на пределе зарегистрированы звезды 17,5 величины. Звезды, более яркие, чем 14 величина при такой экспозиции оказываются передержанными. Звезды 8 величины имеют диаметр около 1 мм, а 11 величины – примерно 0,5 мм. Тем не менее, опыт определения звездных величин, проводимых как методом глазометрических оценок, так и путем измерений на ирисовом фотометре, показал, что возможно адекватно оценивать величины звезд в интервале от 6-7 величины до самого предела пластиинки. При использовании программы Существенным для нас недостатком программы SExtractor мы столкнулись с тем, что она рассчитана на работу с небольшими по размеру изображениями звезд на пластиинках шмидтовских телескопов.

Изображения ярких звезд, имеющих большой линейный размер интерпретируются SExtractor'ом неправильно. Для всех ярких звезд программа вы-

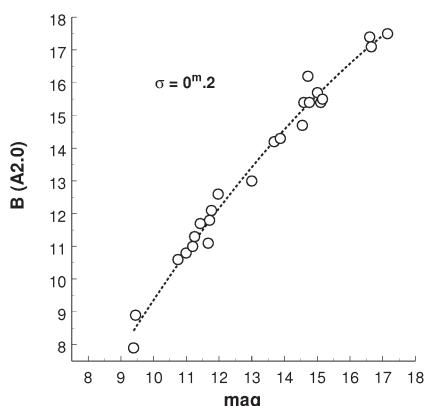


Рис. 3: Сравнение звездных величин, измеренных по одной из пластинок 40-сантиметрового астрографа с величинами  $B$  из каталога USNO-A2.

дает примерно одну и ту же звездную величину. Это ограничило применение звездных величин, выдаваемых программой SExtractor интервалом между  $14^m$  и  $16^m$ . Заметим, что работы по поиску и исследованию переменных звезд производятся именно в этом интервале.

Чтобы иметь возможность оценивать величины более ярких звезд была применена следующая методика. Распределение почернений в пикселях, создающих изображение звезды аппроксимировалось модельной функцией вида

$$D(R) = d + a \cdot \exp \{-b_1 R - b_2 R^2\}, \quad (1)$$

где  $R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$  – расстояние текущего пикселя от центра изображения звезды,  $D$  – почернение в пикселе;  $d$  – уровень фона;  $a$  – почернение в центре изображения звезды;  $b_1, b_2$  – параметры;  $x_0, y_0$  – координаты центра изображения звезды.

Из скана выделялась прямоугольная область, целиком содержащая изображение звезды, и по ним определялись параметры  $d, a, b_1, b_2, x_0$  и  $y_0$ . Для этого проводилось решение системы уравнений вида (1) нелинейным методом наименьших квадратов по алгоритму Marquardt-Levenberg [5]. Алгоритм реализован в графо-вычислительном пакете AXUM. После нахождения параметров вычислялась звездная величина как

$$\text{mag} = -2,5 \log \int_0^{R_{\max}} 2\pi R [D(r) - d] dR + \text{const.} \quad (2)$$

Для передержанных изображений использовались только пиксели, находящиеся в крыльях, вне передержанного ядра. На рис. 3 показано сравнение звездных величин, найденных по описанной методике с величинами  $B$  из каталога USNO-A2.

Из рисунка следует, что по сканам пластинок 40-сантиметрового астрографа можно производить фотометрию в полосе, близкой к  $B$  со среднеквадратичной ошибкой звездной величины около 0.15 mag.

Дальнейшее совершенствование методик должно привести к повышению астрометрической и фотометрической точности.

*Благодарности.* Авторы искренне благодарят Н.Н. Самуся и С.А. Антипина за постоянный интерес к работе и полезные замечания; К.В. Соколовского за консультации по использованию программы SExtractor; Л.А. Сат за получение сканов использованных нами фотопластинок.

## Литература

- Mink D., Doane A., Simcoe R., Los E., Grindlay J.: 2006, *VIRTUAL OBSERVATORY: plate content digitization, archive mining, and image sequence proceeding*. Proceedings of the International Workshop. Sofia. Bulgaria. April 27-30 2005. Edited by M.Tsvetkov, V.Golev, M.Murtagh, and R.Molina. Heron Press Science Series, pp.54-60.  
 Marquardt, D.W.: 1963, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, **2**, pp.431-441.  
 Bertin E., Arnouts S.: 1996, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, **117**, pp.393-404.  
 Manannikov A.L., Sokolovsky K.V., Samus N.N., Antipin S.V. : 2006, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **6**, N 34 (22.12.2006)  
 Kolesnikova D., Sokolovsky K.V., Samus N.N., Antipin S.V. : 2007, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **7**, N 3 (5.02.2007)  
 Sokolovsky K.V. : 2006, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **6**, N 18 (30.06.2006)

# USE OF THE COLLECTIVE PHENOMENA IN ACTIVE MEDIA OF THE TRANSMITTERS IN LASER-LOCATION STATIONS

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЯВЛЕНИЙ В АКТИВНЫХ СРЕДАХ ПЕРЕДАТЧИКОВ ЛАЗЕРНО-ЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЙ

V.V.Murga

Государственный межвузовский центр "Орион"  
Донбасский государственный технический университет  
г.Алчевск, Украина, *murga@dmmi.edu.ua*

Задача улучшения эксплуатационных характеристик лазеров сохраняет свою актуальность, обусловленную постоянным совершенствованием техники астрономических наблюдений и лазерной локации спутников. Для работающих станций улучшение характеристик передатчиков проводится путем оптимизации режимов работы, т.е. без существенных изменений оптической схемы.

В данной ситуации интерес представляет возможность использования коллективных эффектов, возникающих в активной среде при определенных режимах возбуждения. Наблюдение подобных эффектов проводилось в твердотельных импульсных лазерах с традиционной оптической накачкой и сопровождалось существенными изменениями характеристик генерируемого излучения. Полученные результаты интересны с точки зрения разработки оптимальных условий возбуждения активной среды лазеров и более эффективного использования действующих передатчиков, работающих в режиме модуляции добротности.

Как показали исследования, использование явлений, происходящих в активной среде при развитии генерируемого излучения, приводит к повышению энергетической эффективности передатчика. Наблюдается более симметричная форма гигантского импульса, уменьшается расходимость излучения, увеличивается выходная энергия, повышается повторяемость характеристик, что повышает стабильность параметров генерируемых импульсов.

Электрическая схема, которая используется для инициализации коллективных взаимодействий в активной среде лазеров, позволяет более точно дозировать энергию, подводимую к лампам накачки, что сказывается на повторяемости и стабильности энергетических характеристик генерируемого излучения.

Существующие способы стабилизации параметров лазерного излучения позволяют зафиксировать изменение выходной энергии в пределах 10% при изменении питающего напряжения на 10% от nominalного значения (Денищик&Мурга, 1986). Этот способ стабилизации параметров лазерного излучения успешно применяется для твердотельных лазеров с электрооптической модуляцией добротности. В данном случае предполагаются некоторые непропорциональные потери энергии, поскольку при данном способе стабилизации предполагается управление излучением по заданному уровню инверсии активной среды.

Изменение формы огибающей импульса излучения указанного типа лазера при традиционном способе возбуждения представлено на рис. 1, а), а на рис. 1, б) – в режиме со стабилизацией параметров.

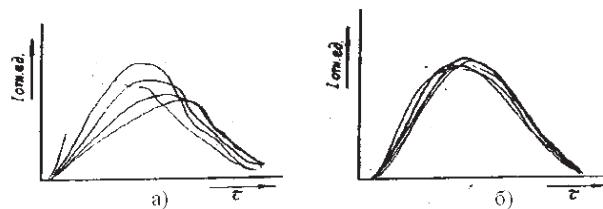


Рис. 1: Временные диаграммы для последовательности из пяти импульсов

Данный способ стабилизации параметров излучения возможен без дополнительных устройств, а лишь по тракту питания ламп накачки. Разработка такого режима со стабилизацией параметров производится для конкретного лазера с учетом типоразмера активного элемента, концентрации активных центров и режима генерации (Денищик и др., 1988; Колпаков и др., 1990).

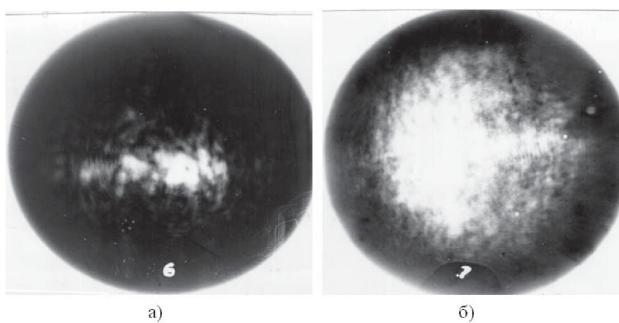


Рис. 2: Распределение интенсивности по торцу активного элемента при "гладкой" накачке (а) и при накачке "резонансной" последовательности коротких импульсов (б) при  $E_H \cong 580$  Дж

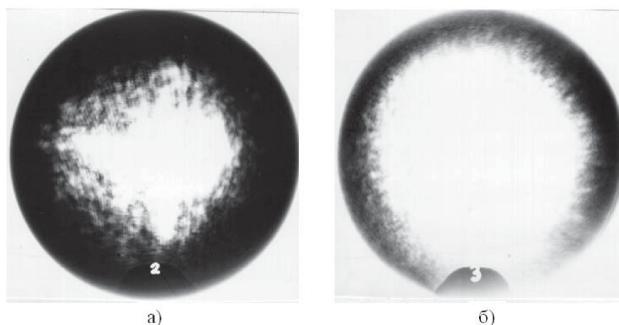


Рис. 3: Распределение интенсивности по торцу активного элемента при "гладкой" накачке (а) и при накачке "резонансной" последовательности коротких импульсов (б) при  $E_H \cong 720$  Дж

Помимо высокой повторяемости параметров генерируемого излучения использование коллективных взаимодействий позволяет увеличить энергетическую эффективность лазеров как в режиме модуляции добротности, так и в режиме свободной генерации. При этом не возникает непроизводительных потерь энергии. Более того, отмечено увеличение выходной энергии лазера в 1.3 раза по сравнению с традиционным способом возбуждения, при уменьшении разброса значений выходной энергии в 1.5 раза. Помимо указанных результатов отмечено более равномерное распределение интенсивности излучения по торцу активного элемента, (рис. 2,3) что приводит к уменьшению расходимости излучения в 1.4 раза (рис. 4).

Последнее замечание позволяет уменьшить потери энергии при локации удаленных объектов. Данный способ стабилизации параметров излучения возможен без дополнительных устройств, а лишь по тракту питания ламп накачки. Разработка такого режима со стабилизацией параметров производится для конкретного лазера с учетом типоразмера ак-

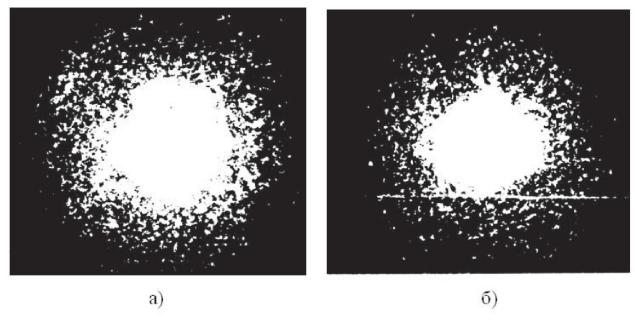


Рис. 4: Распределение поля излучения лазера в фокальной плоскости длиннофокусной линзы. Масштаб 100:1, а) "гладкая" накачка; б) "резонансная" накачка.

тивного элемента, концентрации активных центров и режима генерации (Мурга, 1993).

При согласовании периода следования коротких пичков в последовательности со скоростью распространения возмущения в кристалле возможно получение коррелированного состояния возбужденных активных центров. Данное явление проявляется в увеличении выходной энергии моноимпульса в 1.25 – 1.3 раза и уменьшения расходимости излучения в 1.5 раза. подобное изменение параметров выходного излучения характерно при кооперативных эффектах в твердотельных активных средах, в частности при сверхизлучении.

Применение данной разработки в передатчиках ЛС значитель но упрощает обработку сигнала. Используя радиолокационную формулу можно сделать оценки целесообразности использования полученных результатов для лазерных систем контроля дальности. Так требуемая для контроля цели мощность  $t$  может быть представлено выражением

$$P_t = \frac{4\pi P_r R^4 \Theta_t^2}{A_e \sigma S_t S_r},$$

где:  $P_r$  – минимальная мощность обнаруживаемого сигнала;  $R$  – дальность цели;  $A_e$  – площадь приемной антенны;  $S_t$  – коэффициент пропускания атмосферы или другой среды;  $S_r$  – коэффициент пропускания оптики локатора;  $\sigma$  – эквивалентная поверхность рассеивания цели.

Увеличение величины  $t$  в 1.5 раза и уменьшение расходимости  $\Theta_t$  в 1.7 раза позволяет увеличить дальность действия систем контроля в 1.5 раза или же уменьшить мощность передатчика в 4.3 раза при сохранении значений параметров дальности и мощности обнаруживаемого сигнала. Одним из параметров систем контроля является их помехозащищенность. Использование предложенного режима работы позволит при неизменной питающей энергии перейти от режима счета фотонов к режиму детектирования огибающих оптического

импульса, что значительно улучшает отношение сигнал/шум и позволяет улучшить контроль дальности лазерными локаторами, работающими в импульсном режиме.

Колпаков Н.Д., Денищик Ю.С., Мурга В.В.: 1990,  
Электронная техника, Сер. Лазерная техника и  
оптоэлектроника, 4(56), 63.

Мурга В.В.: 1993, в Тез. докл. междунар. конф.  
"Лазеры и современное приборостроение",  
С-Пб., с. 16.

### Литература

Денищик Ю.С., Мурга В.В.: 1986, Приборы и техника эксперимента, №6, 160.

Денищик Д.С., Мединский А.Г., Мурга В.В.: 1988,  
Оптимизация по КПД режима накачки  
активных элементов передатчиков лазерных  
спутниковых дальномеров. Анализ движения  
небесных тел и оценка точности их наблю-  
дений, Рига, с. 206.

DYNAMIC EVOLUTION OF THE EXOPLANET SYSTEMS,  
MOVING IN ORBITAL RESONANCES WITH THE ACCOUNT  
OF SECULAR PERTURBATION FROM  $N$  BODIES

ДИНАМИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ЭКЗОПЛАНЕТНЫХ  
СИСТЕМ, ДВИЖУЩИХСЯ В ОРБИТАЛЬНЫХ  
РЕЗОНАНСАХ С УЧЁТОМ ВЕКОВЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ  
ОТ  $N$  ТЕЛ

B.R.Mushailov, A.K.Chuyas

Sternberg Astronomical Institute

Universitetskiy prosp.13 Moscow 119992 Russia

**ABSTRACT.** Equations of exoplanet's motion connected with orbital Lindblad resonances with the account of secular terms caused by gravitational non-resonant perturbation are derived. Qualitative researches of orbital evolution modelling exoplanet systems are carried out. Possibility of captures in a resonance is considered at various initial configurations exoplanet systems.

**Key words:** exoplanet, orbital resonance, evolution, ancient indignation.

## 1. Введение

Среди известных экзопланетных систем, по крайней мере, 8 находятся в орбитальных резонансах, а 4 из них движутся в линдбладовских резонансах 2:1. Возможные ошибки интерпретационных моделей приводят к неоднозначным резонансным отождествлениям. Захват в резонанс оказывается менее эффективным, если отношение периодов велико. Для резонанса 2:1 различные модели предсказывают большую массу внешней планеты и более высокий эксцентризитет внутренней планеты.

## 2. Учёт вековых возмущений в экзопланетных системах

Рассмотрим влияние вековых возмущений от сторонних планет на орбитальную эволюцию резонансных экзопланетных систем. Предполагая, что взаимные углы наклонов, а также наклонения орбит

указанных планет невелики, ограничимся случаем плоского варианта задачи, когда движение всех рассматриваемых тел происходит в одной плоскости.

Если удержать в выражении для возмущающей функции члены порядка первых степеней эксцентризитетов, то для дополнительных слагаемых, обусловленных вековыми возмущениями от  $N$  тел, к исходному гамильтониану резонансной задачи трёх тел добавляются следующие слагаемые:

$$F^* - F = C_0 + \Delta x C_1, \quad (1)$$

где  $C_0$  и  $C_1$  представлены в явном виде в [1],

$$\Delta x = x_2 - x_{20}, \quad x_{20} = -\frac{\sqrt{\gamma}}{(1+E_0)},$$

величина  $x_2^2$  пропорциональна большой полуоси резонансной планеты,  $\gamma$  — интегральная постоянная,  $E_0$  — известная функция масс резонансных экзопланет.

Согласно [2], аддитивной заменой

$$x^* = \Delta x + \frac{C_1 \gamma^2}{8\tau_0},$$

где  $\tau_0$  — константа, интегрирование рассматриваемой задачи сводится к канонической системе с одной степенью свободы вида:

$$\frac{dx}{d\tau} = \frac{\partial F}{\partial y}, \quad \frac{dy}{d\tau} = \frac{\partial F}{\partial x} \quad (2)$$

с гамильтонианом

$$F = (x^2 + y^2)^2 + A(x^2 + y^2) + Bx, \quad (3)$$

причём в выражениях для долгот орбит резонансных экзопланет  $y_j$  ( $j = 1, 2$ ) появляются дополнительные вековые слагаемые вида

$$y_j = C_{2j}t, \quad C_{2j} = 2\sqrt{\gamma} \frac{d}{dy} \left[ \frac{\gamma(C_1)^2}{16\tau_0} - C_0 \right]. \quad (4)$$

Большие полуоси и эксцентриситеты орбит резонансных экзопланетных систем будут определяться выражениями

$$a_j = \gamma_j \left[ 1 + \frac{1}{2\beta_j} (x^2 + y^2) \right]^2 \left( 1 + \frac{C_1}{8\tau_0\beta_j} \right)^2, \quad (5)$$

$e_j = \{(xE_j^* + p_{0j} \cos S^*)^2 + (yE_j^* + p_{0j} \sin S^*)^2\}^{1/2}$ , где  $\beta_j$ ,  $\gamma_j$ ,  $E_j^*$  определены в [1],  $p_{0j} \sim \sqrt{u_0^2 + v_0^2}$ ,  $u_0$ ,  $v_0$  — первые интегралы,  $S^*$  отличается от случая «невозмущённой задачи» наличием аддитивного слагаемого  $C_1$ .

Из (5) устанавливаем, что вековые возмущения от сторонних планет приводят к росту большой полуоси орбиты одной экзопланеты, в то же время как большая полуось орбиты другой экзопланеты уменьшается по величине.

Из (5) также следует, что максимально возможные вариации эксцентриситетов  $|e_j^* - e_j|$ ,  $j = 1, 2$  в случае экзопланет с массами планет-гигантов Солнечной системы, не превосходят величин  $\Delta_1 = 3 \cdot 10^{-5}$ ,  $\Delta_2 = 5 \cdot 10^{-5}$  соответственно. Изменяются моменты наступления экстремальных значений эксцентриситетов таким образом, что сохраняется основной период вариации  $T = 1.1 \cdot 10^6$  лет.

### 3. Области существования либрационных экзопланетных систем

Из (5) удается определить области устойчивости орбитальных движений экзопланетных систем на диаграмме эксцентриситеты—большие полуоси  $e-a$ . На рис. 1 представлены области неустойчивостей. Экзопланеты могут длительное время существовать, если элементы  $e$ ,  $a$  их орбит располагаются вне заштрихованных областей.

Учитывая асимметрию «зон неустойчивостей», заключаем, что в резонансных зонах существование либрационных экзопланетных систем с большими значениями эксцентриситетов более вероятно при  $n < n_0(k)$ , чем при  $n > n_0(k)$ , где величина  $n_0(k)$  отвечает случаю точного резонанса,  $k$  — кратность резонанса. Экзопланетные системы в окрестностях средних движений, отвечающих точным резонансам, могут располагаться вне заштрихованных на рис. 1 областей, концентрируясь у границ этих зон.

Оценим вероятность «захвата в резонанс» (и «ухода из резонанса») экзопланетных систем. Определим вероятности переходов траекторий под действием возмущающих факторов, характеризуемых

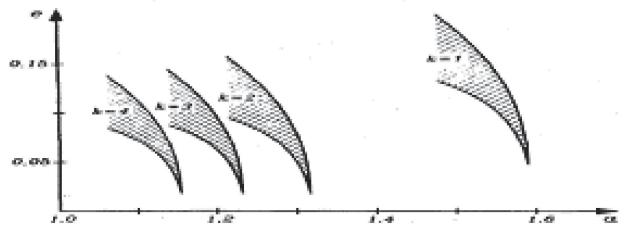


Рис. 1: Области неустойчивостей на диаграмме  $e-a$  в случае резонансов первого порядка для различных кратностей  $k = 1 \div 4$  и для экзопланет с массами планет-гигантов Солнечной системы

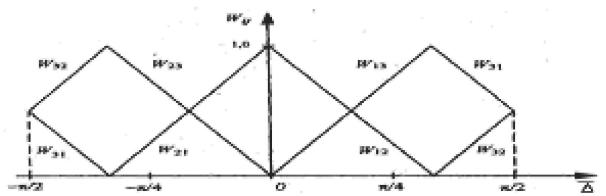


Рис. 2: Вероятности переходов  $W_{ij}$  фазовых траекторий из области  $i$  в зону  $j$  ( $i, j = 1 \div 3$ ,  $i \neq j$ ) в функции  $\bar{\Delta} = \arctg[\Delta(\psi_1, \psi_2)]$ ; 1 — внешняя, 2 — внутренняя, 3 — резонансная зоны фазовой плоскости

независимыми параметрами  $\delta = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n\}$ , из одних областей фазового пространства в другие.

Вероятность перехода траектории из области  $i$  в область  $j$  ( $i, j = 1 \div 3$ ,  $i \neq j$ ) исследуемой фазовой плоскости определяется выражением

$$W_{ij} = \frac{(-1)^j \frac{2}{4-j} \Delta + (j-3)\frac{\pi}{2}}{(-1)^i \frac{\pi}{2} - \Delta}, \quad (6)$$

в котором  $\Delta = \arcsin \varepsilon_1 + \psi_1 \varepsilon_2$ ,

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\psi_2}{1 - \text{sign}(1 - \psi_2) \varepsilon_3} \right\}^{1/4}, \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{\sqrt{3}} (1 - 4\varepsilon_3^2)^{1/2}.$$

Независимые параметры  $\psi_1$  и  $\psi_2$  связаны с коэффициентами гамильтониана (3) соотношениями ви-

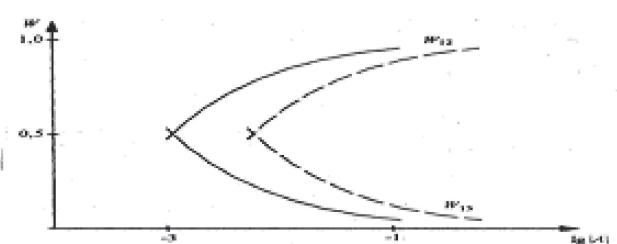


Рис. 3: Зависимости вероятностей  $W_{1,2}$  и  $W_{1,3}$  от интеграла  $\lg |A|$  при кратности резонанса  $k = 1$  (сплошная линия) и  $k = 2$

да

$$\psi_1 = -\frac{A}{B} \frac{\partial B}{\partial A}, \quad \psi_2 = -\frac{27}{4} \frac{B^2}{A^3}, \quad (7)$$

в которых коэффициент  $B$  зависит от кратности резонанса, а интеграл  $A$  — функция состояния системы — может зависеть от различных возмущающих факторов. Например, с увеличением  $m_i$  (масс возмущающих тел) пропорционально растет и величина  $A$ .

Из (7) следует, что при однотипном изменении  $B$  и  $A$  уход фазовой траектории из «резонансной зоны» более вероятен во «внешнюю», чем во «внутреннюю зону», непосредственно охватывающую устойчивую стационарную точку:  $W_{31} > \frac{1}{2}$ ,  $W_{32} < \frac{1}{2}$  (рис. 2)

Вероятности захвата экзопланет в «резонанс» ( $W_{1,3}$ ) и во «внутреннюю зону» ( $W_{1,2}$ ) в зависимости от величины интеграла  $A$  представлены на рис. 3 Из приведенных зависимостей следует что наиболее вероятен захват экзопланеты в резонанс (чем во «внутреннюю» или «внешнюю» зоны).

#### 4. Заключение

Орбитальные резонансные эффекты приводят к устойчивости орбит экзопланетных систем, имеющих либрационный тип движения. В резонансных зонах либрационные орбиты оказываются близкими к устойчивому стационарному решению, что обеспечивает их «выживание». Несмотря на вековые возмущения от сторонних экзопланет рассматриваемые в рамках задачи 3-х тел модельные экзопланеты могут быть захвачены сторонними экзопланетами в орбитальный резонанс и длительное время существовать, обладая орбитальной устойчивостью.

#### Литература

- Мушайлов Б.Р.: 1995, *Астрон. вестн.*, **29**, N1, 47–57.  
 Герасимов И.А., Мушайлов Б.Р.: 1995, *Астрон. вестн* **29** N1 58–66

# ABOUT INFLUENCE OF ORBITAL DYNAMIC RESONANCES FOR PECULIARITY OF STATISTICAL ARRANGEMENT OF ASTEROIDS AND COMETS

## О ВЛИЯНИИ ОРБИТАЛЬНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЗОНАНСОВ НА ОСОБЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АСТЕРОИДОВ И КОМЕТ

B.R. Mushailov, V.S. Teplitskaja

Sternberg Astronomical Institute  
Universitetskij prosp.13.Moscow 119992 Russia

**ABSTRACT.** Some regularities in organization of comet's and asteroid's orbital characteristics were described. These objects dispose from 5 to 125 a.u. from Sun. It was established that more than half of them move according to resonance orbits, which were predicted earlier.

**Key words:** transneptunian objects, centaurs, scattered-disk objects; orbital resonance.

### 1. Введение

В рамках исследования орбитальной эволюции малых тел Солнечной системы были рассмотрены различные варианты решения задачи трех тел при наличии некоторых специальных условий [1-4]. На основе результатов этих работ в [5] были предсказаны резонансные зоны, связанные с гипотетическими большими планетами, где на космогонических интервалах времени могут располагаться малые тела. В [6] также было предсказано существование резонансных объектов между орбитами больших планет, а в [7] были предвычислены области существования либрационных занептуновых объектов и исследована эволюция их орбитальных элементов.

В настоящей работе по данным [8] (по состоянию на октябрь 2006) было исследовано распределение орбитальных параметров (больших полуосей, эксцентриситетов и оскулирующих наклонов орбит) астероидов и комет, значение больших полуосей которых располагается в пределах от 5 до 125 а.е.

### 2. Закономерности орбитальных распределений

Для объектов пояса Койпера в распределениях по

большим полуосям их орбит наблюдаются два явно выраженных максимума (Рис.1), причем значения больших полуосей, отвечающих наблюдаемым максимумам распределений (39-40, 43-44) в пределах точности вычислений совпадают с предсказанными в [6,7] значениями (38.87-40.788, 43.317-44.018). Около 63 процента наблюдаемых объектов пояса Койпера имеют большие полуоси, совпадающие с предсказанными в [6,7] значениями резонансных орбит.

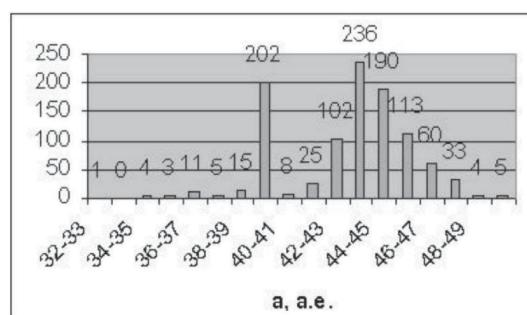


Рис. 1: Распределение объектов пояса Койпера по больших полуосям с шагом  $\Delta a = 1$  (а.е.) (по состоянию на октябрь 2006 года).

При вариации "шага" построения гистограммы наличие двух максимумов в распределении по больших полуосям сохраняется, при этом максимумы коррелируют с наиболее значимым орбитальным резонансом (с наибольшей амплитудой эффекта) первого порядка 2:1 (с учетом вековых возмущений от Урана и Сатурна [10]) и 3:2 с Нептуном.

Как показывает распределение объектов пояса Койпера по эксцентриситетам их орбит (Рис.2) большинство объектов пояса Койпера близки к круговым, что согласуется с результатами работ [5-7]. Аналогичные результаты имеют место и для рас-

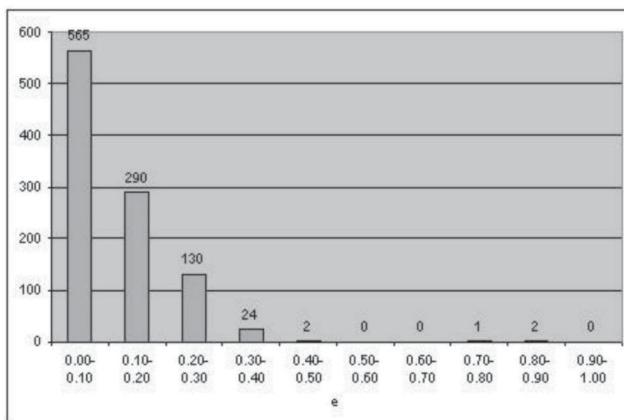


Рис. 2: Распределение объектов пояса Койпера по эксцентриситетам –  $\Delta e = 0.1$  (по состоянию на октябрь 2006 года).

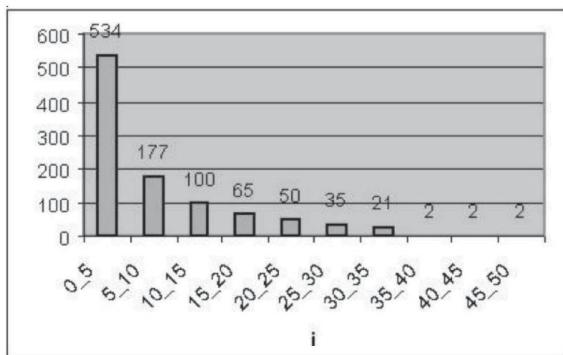


Рис. 3: Распределение объектов пояса Койпера по оскуллирующим наклонам орбит –  $\Delta i = 5^\circ$  (по состоянию на октябрь 2006 года).

пределения объектов пояса Койпера по оскуллирующим наклонам их орбит (Рис.3).

Из объектов, не входящих в пояс Койпера, более 50 процентов попадают в предвычисленные в [5,6] интервалы. Для этих тел (кентавров и объектов "рассыпающегося пояса") также наблюдаются два явно выраженных максимума в распределении по большими полуосям орбит (Рис.4), отвечающих резонансам 4:1, 5:2 с Сатурном и 3:1, 5:2 с Нептуном.

Увеличение статистических данных (числа обнаруженных объектов) не изменяет выявленных тенденций, а лишь позволяет получить более детализированное распределение на малых интервалах.

Эксцентриситеты кентавров и объектов "рассыпающегося пояса" преимущественно располагаются в интервале от 0.1 до 0.7 (Рис. 5), а оскуллирующие углы наклонов (к плоскости эклиптики) их орбит в основном не превышают  $30^\circ$  (Рис.6).

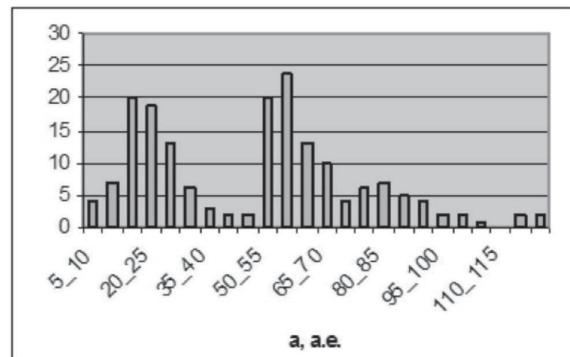


Рис. 4: Распределение кентавров и объектов "рассыпающегося пояса" по большим полуосям –  $\Delta a = 5(\text{a.e.})$  (по состоянию на октябрь 2006 года).

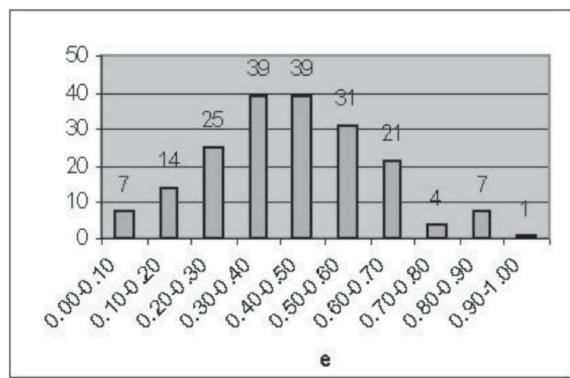


Рис. 5: Распределение кентавров и объектов "рассыпающегося пояса" по эксцентриситетам –  $\Delta e = 0.1$  (по состоянию на октябрь 2006 года).

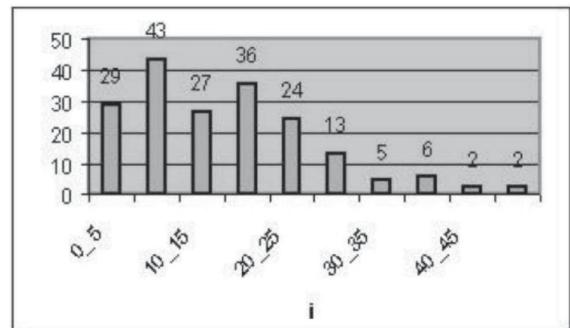


Рис. 6: Распределение кентавров и объектов "рассыпающегося пояса" по оскуллирующим наклонам орбит –  $\Delta i = 5^\circ$  (по состоянию на октябрь 2006 года).

### 3. Заключение

В распределениях по большим полуосям объектов пояса Койпера и "нерегулярных тел" – кентавров и объектов "рассыпающегося пояса" явно прослеживаются два максимума, коррелирующие с

Таблица 1: Сводная таблица резонансных зон из работ [5-7,9].

"1"	"2"	"3"	"4"	"5"
7	5:2	17.174-17.926	6	
7	3:1	19.815-21.265	4	
7	4:1	23.627-24.585	7	
7	4:2	26.184-26.700	2	
9	4:3	36.227-37.402	1 13	
9	3:2	38.870-40.788	1 203	
9	5:3	41.840-42.694	67	
9	7:4	43.317-44.018	186	
10	1:2	47.177-49.960	1 24	
9	2:1	45.636-50.166	142	
9	5:2	54.589-55.582	15 2	
10	2:3	57.179-57.365	4	
9	3:1	61.015-64.199	13 2	
10	3:2	98.260-98.622	1	

"1" – номер планеты, при этом 7,9 – Сатурн и Нептун, соответственно, а 10 – гипотетическая десятая планета,  
 "2" – соизмеримость,  
 "3" – большая полуось (а.е.),  
 "4" – количество объектов среди кентавров и объектов "рассыпающегося пояса",  
 "5" – количество объектов среди объектов пояса Койпера.

## Литература

- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: 1994, *Вестник Московского университета, Серия 3, Т. 28*, N 1, 100.
- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: <http://www.astronet.ru/db/msg/1220766>.
- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: 2001, *Вестник Московского Университета, Серия 3*, N 1, 51.
- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: 1990, *Астрон. ж.*, **67**, Вып. 4, 875.
- Мушаилов Б.Р.: 2004, *Труды ГАИШ, LXX*, 251.
- Мушаилов Б.Р., Жуйко С.В.: 2001, *Околоземная астрономия XXI века*, с. 180.
- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: 1999, *Вестник Московского университета, Серия 3, N 1*, 53.
- <http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/TNOs.html>,  
<http://www.cfa.harvard.edu/iau/lists/Centaurs.html>.
- Герасимов И.А., Мушаилов Б.Р.: 2000, М.: Космосинформ, с. 17.
- Мушаилов Б.Р.: 1995, *Астрон. вестник*, **29**, N 4, 375.

орбитальными резонансными зонами. Большинство объектов пояса Койпера движется по орбитам, близким к круговым. Наблюдается устойчивость орбитальных распределений исследуемых объектов независимо от численности популяции рассматриваемых объектов. Большее число обнаруживаемых объектов (кентавров, объектов пояса Койпера) движутся по резонансным орбитам и были предсказаны ранее.

# ABOUT ADDENDA TO CALCULATION METHOD OF THE ORBITS EAS ON THEIR POSITION AND VELOCITIES О ДОПОЛНЕНИИ К МЕТОДУ ВЫЧИСЛЕНИЯ ОРБИТ ИСЗ ПО ПОЛОЖЕНИЮ И СКОРОСТИ

Paltsev N.G.

Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *astro@aco.odessa.ua*

**ABSTRACT.** On base of the analysis of the motion EAS and algorithm of the calculation of their orbits and ephemerides motion EAS in space is presented by amount two main motions: motion EAS in planes of the orbit and motion to planes of the orbit. Such presentation of the motion EAS most corresponds to the classical calculation method of their orbits on position and velocities. Whereas, measured velocity EAS garbled indignations of the node, slopping and average anomaly, to method once-is worked addition, allowing take into account the influence of these indignations on motion EAS and, hereunder, more correct to calculate the elements of their orbits. Cite an instance calculation of the orbits certain-torah EAS and comparisons result calculations, confirming a finding made by author.

**Key words:** Earth's artificial satellite (EAS), ephemerides calculation, orbits calculation.

Как известно из небесной механики, невозмущенное движение ИСЗ происходит в ньютоновском поле тяготения шарообразной Земли по эллиптической орбите, лежащей в плоскости, проходящей через центр Земли (Дубошин, 1971). Невозмущенные орбиты являются плоскими и характеризуются системой элементов  $a, e, i, \Omega, \omega$  и  $M_0$ . Первые пять из них – константы, характеризующие размеры, формы и ориентации плоскостей орбит в пространстве, величины  $M_0$  – характеризуют положения каждого ИСЗ на орбите в моменты  $t_0$ , т.е. меняются со временем. Невозмущенное движение ИСЗ является финитным.

В действительности, из-за действия разного рода сил, движение ИСЗ является возмущенным и инфинитным. Орбиты возмущенного движения ИСЗ характеризуются такой же системой элементов  $a, e, i, \Omega$  и  $\omega$ , которые в отличие от невозмущенного движения не являются константами, а изменяются со временем (Дубошин, 1971). Из этого следует, что

возмущения элементов  $a, e, M_0, \omega$  не меняют явно положения плоскости орбиты и не выводят движения ИСЗ из нее, тогда как возмущения элементов  $i$  и, в особенности,  $\Omega$  приводят к тому, что траектории движения ИСЗ в пространстве перестают быть плоскими кривыми.

В связи с этим возмущенное движение каждого ИСЗ можно рассматривать как сумму (свертку) нескольких видов движений (см. рис. 1), из которых наиболее очевидны:

- движение ИСЗ, происходящее в плоскости орбиты (плоское орбитальное движение);
- движение плоскости орбиты (вращательное и колебательное).

Из представляемого таким образом возмущенного движения ИСЗ следует, что:

– плоскость орбиты ИСЗ является мгновенной и в каждый момент времени она содержит только лишь одно положение ИСЗ и вектор его орбитальной скорости  $\vec{V}_0$ ;

– скорость движения ИСЗ в околоземном пространстве  $\vec{V}_a$  равна сумме скорости его плоского орбитального движения  $\vec{V}_0$  и скорости движения плоскости орбиты  $\vec{V}_\Omega$ , вызываемого возмущениями узла  $\dot{\Omega}$  и наклона  $i$  орбиты;

– орбитальное движение ИСЗ не зависит от движения плоскости орбиты, которое является функцией параметров орбитального движения ИСЗ и действующих на ИСЗ возмущающих сил, которые только лишь искажают плоское движение ИСЗ.

Из рис. 1 также видно, что плоские мгновенные орбиты ИСЗ заметно отличаются от орбиты того же ИСЗ, вычисляемой по его наблюдаемым положениям с помощью классических методов. Так как движение ИСЗ не является плоским, то проведение плоскости через центр Земли и точки наблюдаемой траектории движения ИСЗ невозможно. Поэтому плоскость определяемой оскулирующей орбиты не будет совпадать ни с одной из плоскостей мгновенных орбит, а элементы оскулирующей орбиты  $a, e$ ,

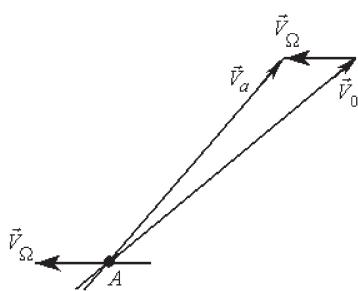


Рис. 1:

$\omega$  и  $M_0$ ,  $i$  и  $\Omega$ , не будут совпадать с элементами реальных мгновенных орбит  $a_k$ ,  $e_k$ ,  $\omega_k$  и  $M_{0k}$ ,  $i_k$  и  $\Omega_k$ , соответствующих моментам  $t_k$ .

Проведенное автором исследование классических методов вычисления орбит ИСЗ показало, что они очень чувствительны к неточности исходных данных (в том числе и к изменениям условий наблюдения). Так, например, эти методы не могут быть полезными при использовании данных, имеющих точность 2  $\div$  3 минуты дуги. Следовательно, с помощью классических методов получение точных элементов орбит невозможно, а значит, эти методы не могут удовлетворять постоянно растущим требованиям задач контроля космического пространства к повышению точности и надежности вычислений орбит ИСЗ. Это говорит о необходимости создания нового надежного алгоритма определения орбит ИСЗ, позволяющего вычислять более точные элементы, которые, в свою очередь, дают возможность вычислять более точные положения ИСЗ.

Представлению о движении ИСЗ в движущейся плоскости наиболее соответствует метод вычисления орбит ИСЗ по положению и скорости в момент времени  $t$  (Дубощин, 1971). Этот метод весьма надежен, хотя и требует точных исходных данных. Кроме того, он позволяет вычислять орбиту ИСЗ на короткой дуге и делать точную привязку элементов орбиты к эпохе, что делает его очень привлекательным для вычисления орбит ИСЗ.

Рассмотрим подробнее особенности метода вычисления орбиты ИСЗ по положению и скорости представляя движение ИСЗ в виде суммы нескольких движений. Исходными данными для этого метода являются геоцентрические координаты ИСЗ  $x$   $y$   $z$  и компоненты вектора его геоцентрической скорости  $\dot{x}$ ,  $\dot{y}$ ,  $\dot{z}$  в некоторый момент времени  $t$ .

Вычисление орбиты начинается с определения геоцентрического расстояния ИСЗ  $r$ , его геоцентрической скорости  $V$  и интеграла энергии  $h$ :

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \\ V &= \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}, \\ h &= V^2 - 2GE/r, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $GE = 398600.4418^3/c^2$  – геоцентрическая постоянная тяготения.

Знак интеграла энергии  $h$  определяет такие виды орбит:

- а)  $h = 0$  – параболическая орбита;
- б)  $h > 0$  – гиперболическая орбита;
- в)  $h < 0$  – эллиптическая орбита.

Эллиптические орбиты характерны для планет и их спутников, астероидов и искусственных спутников Земли. В этом случае большую полуось орбиты можно вычислить как

$$a = -\frac{GE}{h} \quad \text{или} \quad a = -\frac{r}{2 - (V/V)^2},$$

где  $V = \mu r^{-2}$  – скорость движения ИСЗ на круговой орбите радиуса  $r$ , а  $\mu = \sqrt{GE}$ .

Так как процедура вычисления элементов орбиты в классическом методе хорошо известна, то приводить ее не будем, а рассмотрим исходные данные.

Средствами локации обычно определяются топоцентрические расстояния  $r_t$  и координаты ИСЗ  $x_t$ ,  $y_t$ ,  $z_t$ , а также компоненты вектора его топоцентрической скорости  $\dot{x}_t$ ,  $\dot{y}_t$ ,  $\dot{z}_t$ . Следовательно, геоцентрические координаты ИСЗ  $x$ ,  $y$ ,  $z$  и компоненты вектора его геоцентрической скорости  $\vec{V}_a(\dot{x}_a, \dot{y}_a, \dot{z}_a)$ , могут быть вычислены как:

$$\begin{aligned} x &= x_t + X, \quad y = y_t + Y, \quad z = z_t + Z, \\ \dot{x}_a &= \dot{x}_t + \dot{X}, \quad \dot{y}_a = \dot{y}_t + \dot{Y}, \quad \dot{z}_a = \dot{z}_t + \dot{Z}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ,  $\dot{X} = -\omega_\oplus Y$ ,  $\dot{Y} = \omega_\oplus X$ ,  $Z = 0$  – геоцентрические координаты и компоненты геоцентрической скорости наблюдателя;  $\omega_\oplus = 7.2921151467 \cdot 10^{-5}$  рад/с – угловая скорость вращения Земли.

Согласно такому представлению движения ИСЗ, его геоцентрическая скорость  $\vec{V}_a(\dot{x}_a, \dot{y}_a, \dot{z}_a)$ , определяемая формулой (2), будет содержать компоненты скорости движения плоскости орбиты  $\vec{V}_\Omega(V_{\Omega x}, V_{\Omega y}, V_{\Omega z})$ , обусловленные возмущениями восходящего узла и наклона орбиты. Движение плоскости орбиты – переносное движение, оно является функцией элементов  $a$ ,  $e$ ,  $i$  плоской орбиты и только лишь нарушает плоское движение ИСЗ, не оказывая на его движение в плоскости орбиты никакого влияния. Таким образом, при расчете орбит ИСЗ интеграл энергии  $h$ , определяемый формулой (1), должен вычисляться не по скорости его движения в пространстве  $\vec{V}_a = \vec{V}_0 + \vec{V}_\Omega$ , а по скорости его орбитального движения  $\vec{V}_0$ , с учетом возмущений перигея  $\dot{\omega}$  и средней аномалии  $M_0$ .

В связи с этим к известному классическому методу определения орбит по положению и скорости предлагается дополнение, позволяющее при вычислении орбиты ИСЗ учитывать возмущения средней аномалии, узлов и наклона орбиты и, тем самым,

вычислять орбитальные элементы этих объектов, оставаясь в рамках задачи одного притягивающего центра, что более корректно.

Рассмотрим итерационный вариант алгоритма такого дополнения, в котором осуществляется учет влияния возмущений  $\dot{\Omega}$  и  $\dot{M}_0$  на орбиту ИСЗ.

Как было показано выше, скорость движения ИСЗ в околосолнечном пространстве  $\vec{V}_a$  равна сумме скорости его движения в плоскости орбиты  $\vec{V}_0$  и скорости движения плоскости орбиты  $\vec{V}_\Omega$ , вызываемого возмущениями узла  $\dot{\Omega}$  и наклона орбиты  $i$ . Следовательно, вектор орбитальной скорости ИСЗ  $\vec{V}_0$  и его компоненты  $\dot{x}_0, \dot{y}_0, \dot{z}_0$  можно найти как

$$\dot{x}_0 = \dot{x}_a - V_{\Omega x}, \quad \dot{y}_0 = \dot{y}_a - V_{\Omega y}, \quad \dot{z}_0 = \dot{z}_a - V_{\Omega z}. \quad (3)$$

Здесь  $V_{\Omega x}, V_{\Omega y}, V_{\Omega z}$  – компоненты геоцентрической скорости вращательного движения плоскости орбиты;  $V_\Omega = r \cdot \dot{\Omega}$ ,  $V_i = r \cdot \sin u$ ,  $\dot{\Omega}$  – угловая скорость движения узлов (угловая скорость вращения плоскости орбиты вокруг оси  $OZ$ ),  $i$  – угловая скорость изменения наклона плоскости орбиты к экватору,  $p_x = x/r$ ,  $p_y = y/r$ ,  $p_z = z/r$  – направляющие косинусы геоцентрического радиус-вектора  $\vec{r}$  и вектора радиальной скорости  $V_r$ ,  $r_x = \sin \Omega \cdot \sin i$ ,  $r_y = -\cos \Omega \cdot \sin i$ ,  $r_z = \cos i$  – направляющие косинусы нормали орбиты,  $u$  – аргумент широты.

Следует отметить, что орбитальная геоцентрическая скорость ИСЗ  $\vec{V}_0$ , в свою очередь, также представляет собой сумму скоростей: – скорости кеплеровского движения  $\vec{V}_k$ ; – скорости  $\vec{V}_M$ , обусловленной возмущением средней аномалии  $\dot{M}_0$  и совпадающей, при  $\dot{M}_0 > 0$ , с направлением тангенциальной составляющей скорости  $\vec{V}_\tau$ ; – скорости  $\vec{V}_\omega$ , обусловленной возмущением перигея  $\omega$  и направленной по геоцентрическому радиус-вектору  $\vec{r}$ , т.е.

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_k + \vec{V}_M + \vec{V}_\omega.$$

Для вычисления кеплеровских элементов, необходимо вычислить скорость кеплеровского движения  $\vec{V}_k(\dot{x}_k, \dot{y}_k, \dot{z}_k)$ . Так как  $\vec{V}_k = \vec{V}_0 - \vec{V}_M - \vec{V}_\omega$ , то компоненты скорости  $\vec{V}_k$  будут равны:

$$\begin{aligned} \dot{x}_k &= \dot{x}_0 - V_{Mx} - V_{\omega x}, \\ \dot{y}_k &= \dot{y}_0 - V_{My} - V_{\omega y}, \\ \dot{z}_k &= \dot{z}_0 - V_{Mz} - V_{\omega z}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{где } V_M = r \cdot \dot{M}_0 \cdot \frac{(1 + e \cos \vartheta)^2}{(1 - e^2)^{3/2}}, \quad V_\omega = r \cdot \dot{\omega}$$

– указанные выше скорости,

$$V_{Mx} = V_M \cdot q_x, \quad V_{My} = V_M \cdot q_y, \quad V_{Mz} = V_M \cdot q_z, \\ V_{\omega x} = V_\omega \cdot q_x, \quad V_{\omega y} = V_\omega \cdot q_y,$$

$V_\omega z = V_\omega \cdot q_z$ , – компоненты скорости  $\vec{V}_\omega$ ;

$$q_x = -\cos \Omega \cdot \sin u - \sin \Omega \cdot \cos u \cdot \cos i,$$

$$q_y = -\sin \Omega \cdot \sin u + \cos \Omega \cdot \cos u \cdot \cos i,$$

$$q_z = \cos u \cdot \sin i - \text{направляющие косинусы тангенциальной скорости } \vec{V}_\tau.$$

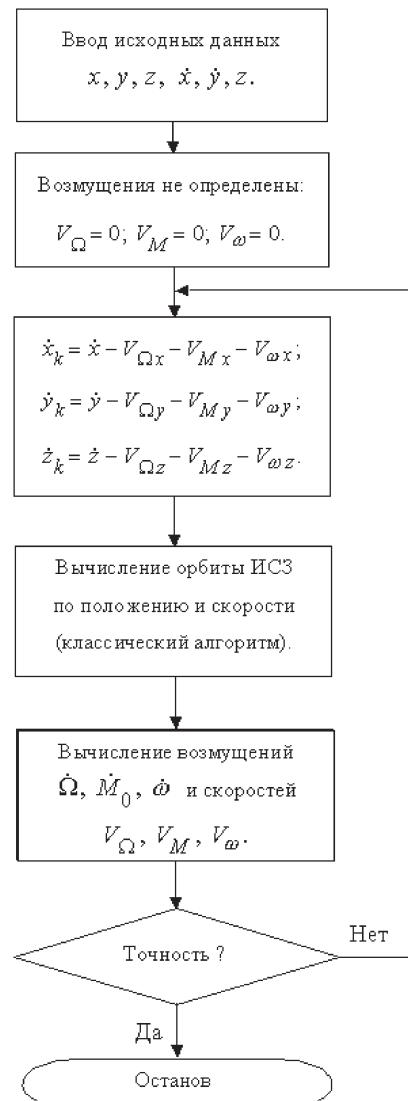


Рис. 2: Блок-схема алгоритма дополнения

Так как скорости  $V_\Omega, V_M$  и  $V_\omega$  изначально неизвестны, то, используя имеющиеся данные, сначала вычисляем классическую орбиту ИСЗ, положив значения этих скоростей равными нулю. Затем, для найденной орбиты вычислим значения  $V_\Omega, V_M, V_\omega$ , а также их компоненты, и подставим в формулы (3) и (4). Далее, положив в (1)  $\dot{x} = \dot{x}_k$ ,  $\dot{y} = \dot{y}_k$ ,  $\dot{z} = \dot{z}_k$ , методом последовательных приближений повторяем вычисление орбиты ИСЗ до достижения сходимости с заданной точностью, см. Рис. 2.

Рассмотрим несколько примеров вычисления орбит по положению и скорости ИСЗ с использованием классического метода и дополнения, алгоритм которого приведен выше. Для простоты будем считать, что  $\dot{\Omega}, \dot{\omega}$  и  $\dot{M}_0$  – вековые возмущения узла и средней аномалии первого порядка, обусловленные влиянием второй зональной гармоники геопотенци-

Таблица 1: ИСЗ Сич-1 (04052А), 04-09-1996, 00:42:32.5 ДМВ (данные КБЮ)

Исходные данные	Элементы орбиты		
	классические	с учетом $\dot{\Omega}$	с учетом $\dot{\Omega}$ и $\dot{M}_0$
$x = -7047.79234, \text{ км}$	$a = 7034.33940$	$a = 7034.65653$	$a = 7043.54501$
$y = 100.18402, \text{ км}$	$e = 0.00314687933$	$e = 0.00311812511$	$e = 0.00251714664$
$z = 0.0, \text{ км}$	$i = 82.5411525501$	$i = 82.5312551571$	$i = 82.5312989258$
$\dot{x} = 0.011609414, \text{ км/с}$	$\Omega = 179.1855981753$	$\Omega = 179.1855997087$	$\Omega = 179.1855981753$
$\dot{y} = -0.461447792, \text{ км/с}$	$\omega = 129.9227518892$	$\omega = 129.2855377035$	$\omega = 106.3819795361$
$\dot{z} = 7.4488794, \text{ км/с}$	$T_{\oplus} = 97.8576333880$	$T_{\oplus} = 97.8642509769$	$T_{\oplus} = 98.0497907040$

Таблица 2: Океан-О (09039А), 30-10-2001, 01:10:49.056 ДМВ (данные КБЮ)

Исходные данные	Элементы орбиты		
	классические	с учетом $\dot{\Omega}$	с учетом $\dot{\Omega}$ и $\dot{M}_0$
$x = 6740.44940, \text{ км}$	$a = 7041.44616$	$a = 7041.74284$	$a = 7050.56145$
$y = -2027.71557, \text{ км}$	$e = 0.00129611522$	$e = 0.00121286593$	$e = 0.00201589718$
$z = 0.0, \text{ км}$	$i = 97.9305870148$	$i = 97.9392894605$	$i = 97.9392514279$
$\dot{x} = -0.30811025, \text{ км/с}$	$\Omega = 343.2572445903$	$\Omega = 343.2572445909$	$\Omega = 343.2572445909$
$\dot{y} = -.99175217, \text{ км/с}$	$\omega = 73.4882399730$	$\omega = 70.2057613367$	$\omega = 34.5187461728$
$\dot{z} = 7.45460555, \text{ км/с}$	$T_{\oplus} = 98.0059684438$	$T_{\oplus} = 98.0121624043$	$T_{\oplus} = 98.1963359517$

Таблица 3: ИСЗ GENESIS-1 (06029А), 12-07-2006, 18:08:03.25 ДМВ (данные НЦУИКС)

Исходные данные	Элементы орбиты		
	классические	с учетом $\dot{\Omega}$	с учетом $\dot{\Omega}$ и $\dot{M}_0$
$x = -2490.6810, \text{ км}$	$a = 6914.80158$	$a = 6918.33962$	$a = 6917.37380$
$y = 2176.9990, \text{ км}$	$e = 0.00195615472$	$e = 0.00145418166$	$e = 0.00167979820$
$z = 6087.3710, \text{ км}$	$i = 64.4986676983$	$i = 64.4970553985$	$i = 64.4970546085$
$\dot{x} = -6.506470, \text{ км/с}$	$\Omega = 20.2207730894$	$\Omega = 20.2283766101$	$\Omega = 20.2283803364$
$\dot{y} = -3.067563, \text{ км/с}$	$\omega = 293.1667326745$	$\omega = 296.6552155314$	$\omega = 305.4900692108$
$\dot{z} = -1.562200, \text{ км/с}$	$T_{\oplus} = 95.3738498582$	$T_{\oplus} = 95.4470579160$	$T_{\oplus} = 95.4270717679$

ала  $J_2 = 1082.636 \cdot 10^{-6}$ . Как известно, для низкоорбитальных ИСЗ эти возмущения являются наибольшими, – они могут достигать нескольких градусов в сутки. Для вычисления этих возмущений использовались формулы, приводимые в (Дубошин, 1971):

$$\dot{\Omega} = -1.5 \cdot J_2 n \cdot \left( \frac{r_0}{a} \right)^2 \cdot \frac{\cos i}{(1 - e^2)^{1/2}}, \quad (5)$$

$$\dot{M}_0 = 0.75 \cdot J_2 n \cdot \left( \frac{r_0}{a} \right)^2 \cdot \frac{3 \cos^2 i - 1}{(1 - e^2)^{3/2}}, \quad (6)$$

$$\dot{\omega} = 0.75 \cdot J_2 n \cdot \left( \frac{r_0}{a} \right)^2 \cdot \frac{4 - 5 \cos^2 i}{(1 - e^2)^2}, \quad (7)$$

где  $n$  – среднее движение спутника.

Величины  $V_p$  и  $V_i$ , характеризующие влияние возмущений перигея и наклона орбиты, ввиду их малости не учитывались.

Результаты вычислений приведены в таблицах 1 – 3, где:  $a$  – большая полуось орбиты, км;  $e$  – эксцентриситет;  $i$  – наклон орбиты к экватору, гр.;  $\Omega$  – прямое восхождение восходящего узла, гр.;  $\omega$  – аргумент перигея, гр.;  $T_{\oplus}$  – звездный период, мин.

Из таблиц 1 и 2 видно, что для ИСЗ Сич-1 ( $i \approx 82.5^\circ$ ) и Океан-О ( $i \approx 98^\circ$ ), движения узлов, вызываемые второй зональной гармоникой геопотенциала  $J_2$ , приводят к увеличению больших полуосей

орбит этих ИСЗ примерно на 300 м, а суммарные возмущения узла  $\dot{\Omega}$  и средней аномалии  $\dot{M}_0$  – примерно на 9.1 км. Соответствующие этому изменения их периодов, составляют примерно 0.4 и 11.5 с.

Для ИСЗ GENESIS-1 ( $i \approx 64.5^\circ$ ), таблица 3, возмущение узла  $\dot{\Omega}$ , вызываемое влиянием второй зональной гармоники геопотенциала  $J_2$ , увеличивает большую полуось орбиты этого ИСЗ примерно на 3.5 км, а суммарное возмущение  $\dot{\Omega}$  и  $\dot{M}_0$  – почти на 2.6 км. Соответствующие этому изменения периода его обращения равны примерно 4.5 и 3.2 с.

Изложенный алгоритм позволяет наглядно оценить влияние каждого из возмущений  $\dot{\Omega}$ ,  $\dot{\omega}$  и  $\dot{M}_0$  на орбиту ИСЗ. Из приведенных примеров видно, что при учете возмущений  $\dot{\Omega}$  и  $\dot{M}_0$  уменьшается модуль наклона плоскости орбиты к экватору.

Данное дополнение также может применяться и при вычислении орбитальных элементов для естественных небесных тел, возмущения  $\dot{\Omega}$ ,  $\dot{\omega}$  и  $\dot{M}_0$  для которых можно вычислить.

## Литература

Справочное руководство по небесной механике и астродинамике /Под ред. Г.Н.Дубошина, М.: Наука, 1971, 584 с.

# ANALYSIS OF INACCURACY OF THE DIRECT MEASUREMENTS OF THE POSITIONS OF COSMIC OBJECTS АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПОЛОЖЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Paltsev N.G., Kolesnik S.Ya.

Astronomical Observatory, Odessa National University  
T.G.Shevchenko Park, Odessa 65014 Ukraine, *astro@paco.odessa.ua*

**ABSTRACT.** On base of the analysis to coordinate information, got at observations of the positions of the stars on cinema-theodolite KT-50, cross bar-beam which is not allowed, is designed algorithm and is organized a study of the instrument. The Certain values, characterizing coordinate system KT-50: – a zero-points of the scales of the azimuth and heights, of the collimation, slopping to horizontal axis, slopping to vertical axis and its azimuth. The Designed algorithm of the calculation of the adjustments counting out the azimuth and heights as of processing the frames CCD-observations.

**Key words:** system coordinate, collimation, the zero-points of the scales.

При оптических наблюдениях координаты космических объектов получают путем регистрации их видимых положений на небесной сфере в некоторые фиксированные моменты времени. В зависимости от способов получения различают прямые и косвенные измерения положений космических объектов. При прямых измерениях данные получают непосредственно с лимбов угломерных инструментов или датчиков углов, а при косвенных – путем обработки фото-, теле- или ПЗС- изображений КО на фоне звезд. При прямых измерениях положений КО с использованием оптических методов, как правило, имеют место следующие виды ошибок (Подобед, 1962):

- 1) инструментальные ошибки;
- 2) ошибки наведения и гидирования;
- 3) ошибки, связанные с регистрацией данных наблюдений (аппаратурные ошибки).

Инструментальные ошибки обусловлены наличием неустранимых технических факторов, присущих данному инструменту. Такими факторами являются коллимация, наклоны горизонтальной и вертикальной осей, люфты и т.п. К инструментальным ошибкам также можно отнести погрешности

положений начальных штрихов (нуль-пунктов) шкал соответствующих угломерных устройств. К аппаратурным ошибкам следует относить ошибки ввода, преобразования и отображения координатно-временной информации, а также сбои.

## Нуль-пункты шкал азимута и высоты

Положения начальных штрихов шкал азимута  $A_0$  и высоты  $H_0$  определяются из массивов невязок  $\Delta A = (O-C)_A = A_o - A_c$  и  $\Delta h = (O-C)_h = h_o - h_c$  как

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (A_o - A_c), \quad H_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (h_o - h_c), \quad (1)$$

где  $A_o, h_o$  – наблюденные значения азимута и высоты звезды;  $A_c, h_c$  – значения азимута и высоты той же звезды, полученные переводом ее каталогного положения на момент наблюдения с учетом прецессии, нутации, годичной и суточной aberrаций и т.п.;  $n$  – число элементов массивов  $A_o, h_o, A_c, h_c$ .

Считая  $A_c, h_c$  точными, отклонения невязок  $\delta A$ ,  $\delta h$  от вычисленных нуль-пунктов  $A_0$  и  $H_0$  можно найти как  $\delta A = \Delta A - A_0$ ,  $\delta h = \Delta h - H_0$ .

## Наклон платформы инструмента (высота)

В сферическом треугольнике  $A_cB\Omega$  (Рис. 1):  $A_cB = \delta h$  – поправка высоты;  $i'$  – наклон платформы;  $\Omega$  – азимут узла;  $A_i$  – азимут наклона.

Обозначив дугу  $B\Omega = u$ , запишем равенства

$$\sin u \cdot \cos i' = \cos \delta h \cdot \sin(A_c - \Omega), \quad (2)$$

$$\sin u \cdot \sin i' = \sin \delta h,$$

преобразуя которые, получим выражение

$$\tan \delta h = \sin A_c \cdot \cos \Omega \cdot \tan i' - \cos A_c \cdot \sin \Omega \cdot \tan i', \quad (3)$$

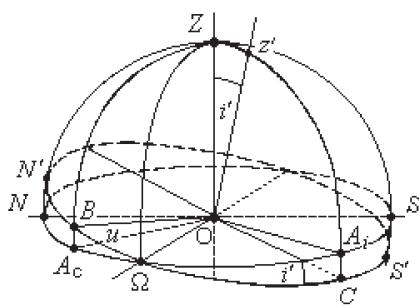


Рис. 1:

описывающее наклон и ориентацию платформы. Обозначая  $X = \cos \Omega \cdot \operatorname{tg} i'$ ,  $Y = -\sin \Omega \cdot \operatorname{tg} i'$ , получим систему уравнений

$$X \cdot \sin A_{cj} + Y \cdot \cos A_{cj} = \operatorname{tg} h_j, \quad j = 1, \dots, n. \quad (4)$$

позволяющих найти положение узла  $\Omega$  и наклона платформы  $i'$ ,

$$\Omega = \operatorname{arctg} \left( \frac{X}{-Y} \right), \quad i' = \operatorname{arctg} \left( \sqrt{X^2 + Y^2} \right), \quad (5)$$

а также поправки высоты за наклон платформы

$$\delta h_j = \operatorname{arctg} [\operatorname{tg} i' \cdot \sin(A_{cj} - \Omega)]. \quad (6)$$

#### Наклон платформы инструмента (азимут)

В сферическом треугольнике  $AZz'$  (Рис. 2):  $R\Omega L$  – плоскость истинного горизонта;  $i'$  – угол наклона платформы инструмента, (дуга  $Zz'$ );  $i^*$  – угол наклона горизонтальной оси инструмента, вызываемый наклоном его платформы (дуга  $Zp$ , лежащая в плоскости  $RZL$ );  $A_i = \Omega - 90^\circ$  – истинный азимут нормали наклоненной платформы;  $A'$  – искаженное значение азимута объекта.

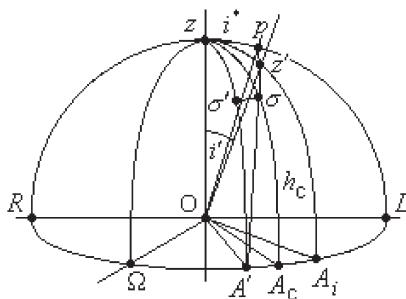


Рис. 2:

Наклон платформы инструмента также влияет и на точность отсчетов азимута наблюдаемого объекта.

та. Из сферического треугольника  $AZz'$  следует:

$$\cos(A'z') = \sin i' \cdot \cos(A' - A_i), \quad (7)$$

$$\sin i^* = \sin i' \cdot \frac{\sin(A' - A_i)}{\sin(A'z)},$$

Поправка азимута за наклон платформы инструмента будет равна

$$\delta A_{i^*} = A' - A_c = i^* \operatorname{tg} h_c. \quad (8)$$

## Коллимация

Коллимация вызывается неперпендикулярностью визирной линии  $O\sigma$  и горизонтальной оси инструмента  $ROL$ . В этом случае угол между визирной линией и горизонтальной осью инструмента равен  $90^\circ + c$ , где  $c$  – коллимация.

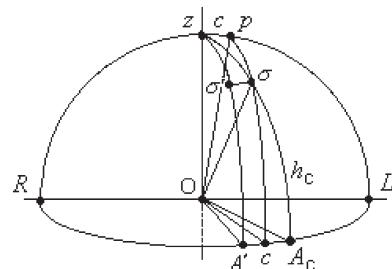


Рис. 3:

Коллимация влияет на точность измерения азимута наблюдаемого объекта, искажая отсчеты, не изменяя при этом отсчеты зенитных расстояний (высот). В астрометрии ошибка азимута, вызываемая коллимацией (Рис. 3), определяется как

$$\delta A_c = A' - A_c = \frac{c}{\cos h_c},$$

где  $A'$  – искаженное значение азимута объекта  $\sigma$ ;  
 $A_c, h_c$  – точные азимут и высота объекта.

#### **Наклон горизонтальной оси**

В астрометрии ошибка отсчетов азимута, обусловленная наклоном горизонтальной оси инструмента (Рис. 5) определяется формулой:

$$\delta A_{i_2} = A' - A_c = i_2 \cdot \operatorname{tg} h_c.$$

Из приведенных формул видно, что погрешности отсчетов азимута, вызываемые коллимацией и наклоном горизонтальной оси, зависят от высоты наблюдаемых объектов над горизонтом  $h_c$ . Для азимутальных инструментов, не допускающих перекладку, знаки ошибок азимута  $\Delta A_c$  и  $\Delta A_{iz}$  меняются не

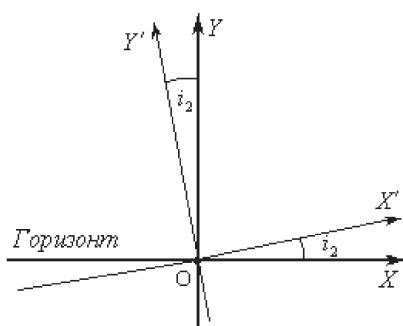


Рис. 4: Схематичное представление наклона горизонтальной оси инструмента:  $OX$  – линия истинного горизонта;  $OX'$  – наклоненная горизонтальная ось инструмента;  $OY'$  – визирная линия;  $i_2$  – угол наклона горизонтальной оси инструмента.

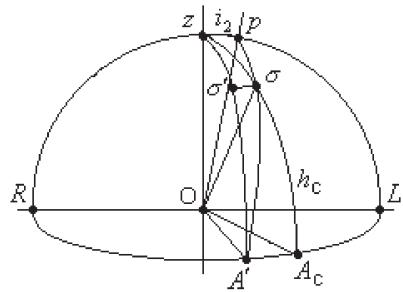


Рис. 5:

будут. Таким образом, общая ошибка по азимуту  $\Delta A = A_o - A_c$  будет равна

$$\Delta A = A_{02} + \delta A_c + \delta A_{i_2} + \delta A_{i^*}. \quad (9)$$

После того, как наклон платформы  $i$  и соответствующие ему поправки  $\delta A_{i^*}$  определены, нуль-пункт  $A_{02}$ , коллимацию  $c$  и наклон горизонтальной оси инструмента  $i_2$  можно найти из уравнений вида

$$A_{02} + \delta A_c + \delta A_{i_2} = \Delta A - \delta A_{i^*}, \quad (10)$$

которые, с учетом приведенных выше формул, будут иметь вид

$$c + A_{02} \cdot \cos h_c + i_2 \cdot \sin h_c = \Delta A \cdot \cos h_c - i^* \cdot \sin h_c. \quad (11)$$

Решив эту систему уравнений методом наименьших квадратов, найдем величины  $c$ ,  $A_{02}$ ,  $i_2$ , позволяющие вычислить поправки азимута  $\delta A$ . После этого уточненные координаты визирной линии инструмента можно найти как

$$A_c = A_o - \Delta A, \quad h_c = h_o - \Delta h.$$

### Результаты исследования наблюдательного инструмента КТ-50

С помощью приведенного алгоритма было проведено исследование координатной системы наблюдательного инструмента кинотеодолита КТ-50, перекладка которого не допускается. Обработке и анализу были подвергнуты данные более 300 позиционных наблюдений звезд, полученные на этом инструменте посредством прямых измерений. Невязки  $\Delta A = (O - C)_A$  и  $\Delta h = (O - C)_h$  этих наблюдений приведены на Рис. 6.

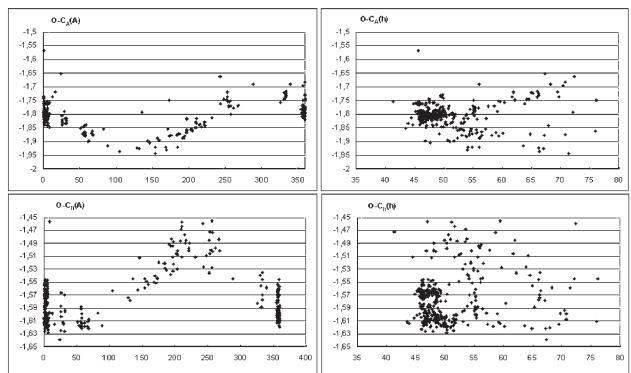


Рис. 6: Характер невязок позиционных наблюдений звезд, полученных на КТ - 50.

В результате проведенных вычислений были определены следующие величины, характеризующие координатную систему наблюдательного инструмента кинотеодолита КТ-50:

- нуль-пункты шкал азимута и высоты  $A_0$  и  $H_0$ :  
 $A_0 = -1.8058 \pm 0.0025$  град.;  
 $H_0 = -1.5745 \pm 0.0022$  град.;
- нуль-пункт шкалы азимута:  
 $A_{02} = -1.8864 \pm 0.0437$  град.;
- коллимация:  $c = 0.0072 \pm 0.0027$  град.;
- наклон горизонтальной оси:  
 $i_2 = -0.0405 \pm 0.0064$  град.;
- наклон платформы и положение узла, град.:  
 $i' = 0.0568 \pm 0.0078$ ;  $\Omega = 163.8433 \pm 0.3962$ ;
- азимут наклона вертикальной оси инструмента:  
 $A_i = 253.8433 \pm 0.3962$  град.

Найденные величины позволяют вычислять поправки азимута  $\Delta A$  и высоты  $\Delta h$  с точностью  $\pm 0.0017 \div 0.0022$  град. для азимута  $A$  и  $\pm 0.0015 \div 0.0017$  град. для высоты  $h$ .

После учета поправок, компенсирующих инструментальные ошибки, невязки  $\Delta A = (O - C)_A$  и  $\Delta h = (O - C)_h$  наблюдений этих же звезд имеют вид (см. Рис. 7).

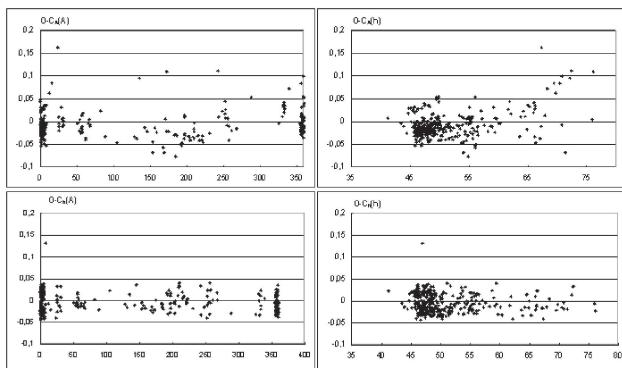


Рис. 7: Невязки позиционных наблюдений звезд, после исправления инструментальных ошибок.

### Учет ошибок гидирования

Все рассмотренные выше вычисления поправок азимута и высоты касались уточнения положения оптической оси инструмента (оптического центра). Однако, как известно из практики, из-за ошибок наведения и гидирования наблюдаемое положение КО практически никогда не совпадает с положением оптического центра, см. Рис. 7.

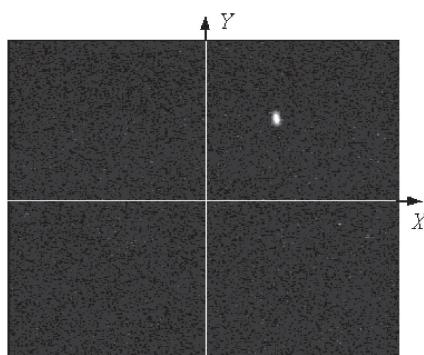


Рис. 8: Одно из положений ИСЗ относительно креста нитей (центра кадра).

Положение ИСЗ в поле зрения инструмента характеризуется его координатами относительно оптического центра поля, которые могут быть определены при обработке фотографических, телевизионных или ПЗС-наблюдений КО.

Авторами разработана процедура вычисления поправок для учета смещения наблюдаемого КО относительно центра кадра, применяемую для обработки ПЗС-наблюдений ИСЗ, получаемых на инструментах с азимутальной монтировкой при малых угловых размерах поля (что ограничивает попадание звезды в кадр).

В данной процедуре предполагается, что оси кадра  $OX$  и  $OY$  совпадают с направлением осей горизонтальной системы координат, т.е. ось  $OX$  – по

возрастанию азимута, а ось  $OY$  – по возрастанию высоты. Предполагается также, что растровых искажений нет. При наличии растровых искажений необходимо применять коррекцию растра.

Пусть  $x, y$  – координаты КО в пикселях в прямоугольной системе координат, связанной с центром кадра, оси  $OX$  и  $OY$  которой направлены по возрастанию азимута и высоты, Рис. 8.

Зная угловые размеры кадра по высоте (ось  $Y$ )  $ph$  и по азимуту (ось  $X$ )  $pA$  и размеры кадра в пикселях  $Rh$  и  $RA$ , определим коэффициенты  $M_h = ph/Rh$  и  $M_A = pA/RA$  для перехода от пикселов к угловой мере. Угловые смещения КО в поле кадра будут равны:  $\delta\eta = y \cdot M_h$  по оси  $y$  и  $\delta\zeta = x \cdot M_A$  по оси  $x$ .

Поправка высоты всегда равна поправке поля кадра  $\delta h = \delta\eta$ , следовательно,

$$h_k = h_a + \delta h = h_a + y \cdot M_h,$$

где  $h_a$  – угол места (высота) центра кадра.

Поправка азимута, зависящая от высоты, находится из соотношений, получаемых из сферического треугольника, вершинами которого являются точка зенита, центр кадра и наблюдаемый КО (Рис. 8):

$$\cos \delta\eta \cdot \cos \delta\zeta = \sin h_a \cdot \sin h_k + \cos h_a \cdot \cos h_k \cdot \cos \delta A, \quad (12)$$

$$\delta A = \arccos \left( \frac{\cos \delta\eta \cdot \cos \delta\zeta - \sin h_a \cdot \sin h_k}{\cos h_a \cdot \cos h_k} \right).$$

При достаточно больших полях, когда в кадр попадают легко отождествляемые звезды, для определения координат наблюдаемого объекта могут быть использованы косвенные методы, например, метод Тернера. В этом случае требования к ориентации осей кадра будут менее жесткими.

### Литература

- Подобед В.В.: 1962, *Фундаментальная астрометрия. Определение координат звезд*, М.: Физматгиз, 340 с.  
 Подобед В.В., Несторов В.В.: 1982, *Общая астрометрия*, М.: Наука, 576 с.  
 Блажко С.Н.: 1979, *Курс практической астрономии*, М.: Наука, 432 с.

# SOME STAGES OF THE DEVELOPMENT IN THE TECHNIQUE OF THE STELLAR RADIAL VELOCITY DETERMINATION

## ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ ЗВЕЗД

V.E.Panchuk<sup>1,2</sup>, T.A.Yakshina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН

<sup>2</sup>Ставропольский государственный университет

Вся история измерений лучевых скоростей звезд укладывается почти в одно столетие. Визуальные измерения положений спектральных линий были начаты одновременно с измерениями их интенсивностей. Однако попытки визуальных измерений смещений линий в спектрах ярких звезд оказались неудачными. Прогресс обозначился лишь тогда, когда в девяностых годах XIX в. мокрый коллоидный способ фотографических наблюдений был окончательно заменен сухими фотопластинками. Фотографическая спектрофотометрия делала первые шаги, и техника перевода фотографических почернений в интенсивности еще не обеспечивала хорошей точности. Но главным обстоятельством, стимулирующим первоочередные измерения точных положений (а не интенсивностей) спектральных линий, являлось то, что к началу измерений положений и оценки интенсивностей линий в звездных спектрах уже был известен принцип Доплера-Физо (принцип Х.Доплера был сформулирован в 1842г., в применении к свету был сформулирован в 1848г. И.Физо в лекции, которая была напечатана лишь в 1870г.), тогда как астрофизические соотношения, определяющие интенсивности линий, были получены в начале XX века.

Первое десятилетие развития техники фотографической спектроскопии звезд характеризуется попытками совершенствования спектрографов в части стабилизации их механических конструкций и совершенствования техники измерения положений изображений линий на фотопластинках. Одним из первых применил фотографию для измерения лучевых скоростей А.А.Белопольский, который, еще работая в Москве, приобрел опыт по научной фотографии. Фотографические наблюдения спектров звезд А.А.Белопольский начал в Пулково уже в 1890 г. Лучевые скорости, которые он определил, были тогда самыми точными в мире (описка  $\pm 2.6$  км/сек). Потсдамские определения 1889-

1891 гг., выполненные Фогелем и Шайннером, имели большие систематические ошибки. Дальнейшее увеличение точности определения лучевых скоростей состоялось только в 1895-1896 гг., после существенных улучшений в конструкции спектрографов и, особенно, изменений в конструкции крепления спектрографа к телескопу.

Следующий этап увеличения точности измерения лучевых скоростей связан с созданием спектрографов, расположенных в неподвижном фокусе телескопа. Телескоп с фокусом кудэ (*coudé*) появился впервые в Парижской обсерватории в 1882г., но для спектроскопических измерений лучевых скоростей начал использоваться с 1911г., когда в неподвижном фокусе было достигнуто спектральное разрешение около 70000 [1].

Вследствие больших потерь света на оптике фокуса кудэ, призменные спектрографы, подвешиваемые в фокусе Кассегрена, продолжали оставаться основным средством массовых фотографических измерений лучевых скоростей вплоть до начала 60-х годов. Среди наиболее продуктивных следует отметить трехпризменный спектрограф 1.8м телескопа DAO [2], и спектрограф 1м телескопа Симеизской обсерватории. Ошибки определения лучевых скоростей на щелевом призменном спектрографе DAO составляли в среднем 5 км/сек.

Необходимость массовых определений лучевых скоростей звезд заставила астрономов вновь обратиться к методу спектроскопии с предобъективной призмой (первые попытки использования бесщелевых спектров для измерений лучевых скоростей, предпринятые на рубеже XIX и XX вв., были связаны с поисками растворов для светофильтров, формирующих в спектре звезды абсорбционную полосу). В середине века был предложен метод разворачивающейся предобъективной призмы [3], который, характеризуясь пониженной точностью (7 км/сек

по нескольким пластинкам), являлся наиболее массовым и применялся вплоть до конца фотографической эры (начало 90-х годов).

Внедрение дифракционных решеток с профилированным штрихом существенно повлияло на точность измерений лучевых скоростей. Во-первых, дифракционные спектрографы оказались более экономичными по потерям света, во-вторых – менее чувствительными к изменениям температуры, чем призменные. Существенным обстоятельством является также более удобная форма дисперсионной кривой. Ошибки определения лучевых скоростей на щелевых дифракционных спектрографах с фотографической регистрацией (по данным публикаций в *Astrophysical Journal*) составляли в среднем 2 км/сек. Для дифракционного спектрографа бм телескопа с фотографической регистрацией характерная точность определения лучевой скорости составляла 1км/сек.

Развитие фотоэлектрических методов регистрации излучения не преминуло сказаться на технике измерения лучевых скоростей. Вначале была сформулирована идея корреляционного метода [4], затем метод был опробован в фокусе кудэ 0.9м телескопа [5]. Фотоэлектрические корреляционные спектрометры характеризуются точностью 300 м/сек. Наиболее эффективным оказался спектрометр CORAVEL [6], использовавшийся преимущественно на 1м телескопе. В нашей стране аналогичный прибор был изготовлен в Московском университете [7].

Уже при первых измерениях лучевых скоростей возникла проблема рассогласования каналов спектра звезды и спектра калибровочного источника. Первая попытка использования теллурического спектра в качестве реперного предпринята в работе [8], при этом для наиболее яркой звезды с узкими линиями была достигнута точность 50м/сек. Затем реперные линии в спектре звезды формировались путем установки перед спектрографом абсорбционной ячейки, заполненной парами HF [9], или I2 [10]. В итоге многолетних экспериментов была достигнута точность 3-5 м/сек.

Внедрение цифровых линеек и матриц принципиально изменило ситуацию в области измерения лучевых скоростей. Точность увеличилась как за счет резкого увеличения квантовой эффективности приемников излучения, так и из-за возможностей цифровой обработки сигнала. На 1.5м телескопе с применением корреляционных методов сравнения сигнала с модельными спектрами были выполнены массовые определения лучевых скоростей с точностями лучше 1 км/сек [11].

Параллельно развивались методы интерферометрического определения лучевых скоростей. Пионером здесь можно считать К.Серковского [12], который в задаче измерения лучевых скоростей реали-

зовал преимущество интерференционного прибора перед дифракционным, известное со времен классической работы Жакино [13]. Следующим принципиальным шагом является идея переноса измерений из некогерентной области в область когерентных излучений [14]. К сожалению, метод П.Конна, позволяющий достичь точности, ограниченной шумами приемника (доли 1 м/сек для телескопа диаметром 1м), игнорируется большинством спектроскопистов. Причиной такого отношения является как сложность экспериментальной установки, так и наличие нескольких эффективно работающих оптоволоконных спектрографов.

Первые оптоволоконные сочетания телескопа и спектрографа сделаны около 20 лет назад [15]. Наиболее эффективной оказалась система ELODIE [16], авторы которой затем создали спектрограф HARPS, обеспечивающий точность измерений 1 м/сек.

Этапы развития спектроскопической аппаратуры бм телескопа БТА отмечены в [17], а проблема создания оптоволоконного спектрографа для телескопа большого диаметра рассмотрена в [18].

### Литература

1. Adams W.S.: 1911, *Astrophys. J.*, **33**, 64.
2. Plaskett J.S.: 1922, *Publ. Dominion Astrophys. Observatory Victoria, B.C.*, **1**, 81.
3. Fehrenbach Ch.: 1947, *Ann. Astrophys.*, **10**, 257.
4. Fellgett P.B.: 1953, *Optica Acta*, **2**, 9.
5. Griffin R.F.: 1967, *Ap. J.*, **148**, 465.
6. Baranne A., Mayor M., Poncet J.-L.: 1979, *Vistas in Astron.*, **23**, 279.
7. Токовинин А.А.: 1987, *Астрон. ж.*, **64**, 196.
8. Griffin R. and Griffin R.: 1973, *MNRAS*, **162**, 243.
9. Campbell B., Walker G.A.H.: 1979, *PASP*, **91**, 540.
10. Cochran W.D., Hatzes A.P.: 1988, *Proc. SPIE*, **1318**, 148.
11. Latham D.W.: 1985, in "Stellar Radial Velocities". *IAU Coll.*, No. 88, 21.
12. Serkowski K.: 1976, *Icarus*, **27**, 13.
13. Jacquinot P.: 1954, *JOSA*, **44**, 761.
14. Connes P.: 1985, *Astrophys. and Space Sci.*, **110**, 211.
15. Ramsey L.W., Huenemoerder D.P.: 1986, *Proc. SPIE*, **627**, 282.
16. Baranne A., Queloz D. et al.: 1996, *AASS*, **119**, 373.
17. Панчук В.Е., Ключкова В.Г.: 2006, в сб. *Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук. 40 лет. Нижний Архыз.*, с. 32.
18. Панчук В.Е., Ключкова В.Г., Юшкин М.В.: 2007, в сб. *Методы спектроскопии в современной астрофизике*, Под ред. Л.Машонкиной и М.Сачкова, Москва.

# INTERFEROMETRIC METHODS OF THE DOPPLER SHIFT DETERMINATION

## ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДОПЛЕРОВСКИХ СМЕЩЕНИЙ

V.E.Panchuk<sup>1</sup>, V.G.Klochkova<sup>1</sup>, D.S.Nasonov<sup>2</sup><sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН<sup>2</sup>Московский государственный университет

Одной из характерных особенностей современной практической астрофизики является тенденция расширения круга объектов, к которым применяются новые методы и эксперименты. Например, вначале метод моделей атмосфер применялся к отдельным звездам, а затем стал массовым. То же можно сказать и о методах спектрополяриметрических измерений поверхностных магнитных полей. Не составляет исключение и техника высокоточного измерения доплеровских смещений спектральных линий: если ранее исследовались самые яркие звезды неба, то теперь — большинство звезд, видных невооруженным глазом. Существует два направления, где необходимы высокоточные и многократные определения лучевых скоростей большого числа звезд: а) исследование спектра звездных пульсаций, для изучения внутреннего строения звезд — астеросейсмология; б) поиск и исследование внесолнечных планетных систем, для накопления статистики параметров планетных систем. В этих задачах применяется классический способ получения точности порядка 10 м/сек — наблюдения на дифракционных спектрографах с  $R = \lambda/\delta\lambda = 10^5$ , сопровождаемые специальными методами калибровки.

Приведем некоторые оценки возможностей классического метода. Пусть типичная ширина спектральной линии  $s \sim 0.1 \text{ \AA}$ , и требуется измерить смещение линии  $\varepsilon$ , составляющее от  $10^{-4}$  до  $10^{-6}$  этой величины. При этом предъявляются высокие требования к позиционной стабильности спектрографа, которую следует контролировать в течение длительного времени (месяцы и годы). Если ширина аппаратной функции спектрографа  $p$  много меньше ширины линии  $s$ , т.е.  $p \ll s$ , то сдвиг на величину  $\varepsilon$  приведет к изменению амплитуды сигнала  $\varepsilon/2s$ , т.е. около  $10^{-6}$  (т.к. на практике при разработке спектрографа и проведении наблюдений ограничиваются соотношением  $p = s/3$ ). Это означает высокие требования не только к  $R$ , но и к отношению сигнал/шум S/N. Например, на спектрометре

с  $p = 0.03 \text{ \AA}$ ,  $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ , для обеспечения точности измерения в 1 м/сек по одной линии шириной  $s = 0.1 \text{ \AA}$ , (когда сдвиг составляет 1/2000 долю ширины аппаратной функции, а соответствующее изменение амплитуды составит  $1.6 \times 10^{-4}$ ), требуется собрать  $4 \times 10^7$  фотонов, что эквивалентно наблюдениям самых ярких звезд на 4-метровом телескопе. Использование большого числа линий позволяет выиграть в проницающей способности метода около 3-х звездных величин. После ввода в эксплуатацию спектрографа HARPS на 3.6 м телескопе ESO были получены близкие оценки.

Итак, в задачах, требующих точности  $\sigma(V_R) = 1 \text{ м/сек}$ , возможности дифракционных спектрографов достигли предела по следующим причинам: а) на 4-метровых инструментах доступны звезды  $m_V < 6$ ; б) трудно ожидать, что в ближайшее время появятся обзорные телескопы с  $D > 4 \text{ м}$ ; в) на больших телескопах трудно обеспечить высокое разрешение,  $R > 10^5$ , полностью сохраняя свободный спектральный интервал  $\Delta\lambda$  и минимизируя потери света; г) однообъектный режим наблюдений (при двумерном формате эшелле спектра), является неэкономичным в обзорных задачах.

Обратимся к истории, напомнив вначале о двух хрестоматийных публикациях. Любая система, разделяющая длины волн  $\lambda$  на величину  $\delta\lambda$ , может быть охарактеризована произведением спектрального разрешения  $R = \lambda/\delta\lambda$  на пропускание  $L = A\omega$ . Здесь  $A$  — площадь зрачка системы, заполняемая под телесным углом  $\omega$ . Жакино [1] показал, что произведение  $RL$  является инвариантом для данного типа спектральных инструментов, и что при одинаковой площади, интерферометры по величине  $RL$  превосходят призменные и дифракционные спектрометры приблизительно на два порядка. Способность интерферометра пропускать большое количество энергии при высоком спектральном разрешении получила название «выигрыш Жакино».

При равной чувствительности приемников, скажем

нирующий спектрометр уступает в  $N^{1/2}$  раз (по производительности), спектрографу, имеющему  $N$  каналов. Фелжет [2] предложил метод мультиплексирования одноканального приемника. Суть метода состоит в использовании взаимно ортогонально модулированных компонент спектра. Технически это достигается путем интерференции. В интерферометре информация обо всем спектральном диапазоне получается за любой (в т.ч. и единичный), интервал сканирования. Фелжет рассмотрел два случая, «А» и «Б». А) Сканирующий дифракционный спектрометр ( $G$ ) с одноканальным приемником, ФЭУ, шум которого пропорционален сигналу. Если  $M$  — число элементов, а  $T$  — время сканирования всего спектра, то отношение сигнал/шум ( $S/N$ ) <sub>$G$</sub>   $\sim (T/M)^{1/2}$ . Б) Сканирующий интерферометр ( $I$ ) с приемником, шум которого случаен и не зависит от уровня сигнала, тогда ( $S/N$ ) <sub>$I$</sub>   $\sim T^{1/2}$ . Таким образом, у интерференционного прибора преимущество перед сканирующим дифракционным спектрометром в  $M^{1/2}$ . В эпоху одноканальных фотоэлектрических приемников излучения выигрыш Фелжета проявлялся в ИК-диапазоне, где шум приемника не зависит от уровня сигнала, и на больших потоках, где этим шумом можно было пре-небречь.

За счет выигрышей Жакино и Фелжета и проявились достоинства метода Фурье-спектроскопии в инфракрасном диапазоне. Однако возможности метода серьезно ограничивались состоянием вычислительной техники 60-х годов.

Появление и совершенствование твердотельных линейных и матричных приемников, шумы которых (т.н. шумы считывания), не зависят от уровня сигнала, сделали, казалось, выигрыши Фелжета — достоянием истории спектроскопии. Время регистрации спектра снизилось пропорционально числу каналов, и многоканальные дифракционные спектрографы видимого диапазона уравнялись (по крайней мере, в теоретических оценках), с фурье-спектрометрами ИК-диапазона. А вот выигрыши Жакино, определямый соотношением телесных углов щелевых и интерференционных приборов, сохраняется и при смене приемников излучения. Почему же тогда большинство астрофизиков предпочитают дифракционные спектрографы интерференционным? Дело в том, что успехи технологии производства дифракционных решеток больших размеров, работающих в порядках  $m = 50 - 100$ , позволяют строить спектрографы с диаметром коллимированного пучка до 200 мм. Характерный размер пластин интерферометра Фабри-Перо (ИФП) составляет 50 мм, т.е. площадь зрачка системы ( $A$ ) в 16 раз меньше, чем у дифракционного спектрографа, и преимущество ИФП частично теряется. Если учесть, что перестраиваемый ИФП регистрирует весь спектр за число экспозиций, равное факто-

ру добротности интерферометра  $\Delta\lambda/\delta\lambda$ , то в этом режиме преимущество ИФП теряется практически полностью.

В работе [3] было, в частности, показано, что замена измерений смещений на измерения интенсивностей в выбранных каналах, — позволяет обойти основные инструментальные ошибки дифракционной спектроскопии в задаче измерения доплеровских смещений. Метод основан на использовании перестраиваемого ИФП на внешней установке (относительно эшелле-спектрографа с матрицей ПЗС), причем ИФП работает в центральном пятне, реализуя преимущество в светосиле. Работа [3] является одним из примеров того, как сочетания приборов различных классов (гибридные схемы) позволяют устранить влияние принципиальных недостатков спектрального прибора из низшего класса (в данном случае — недостатков эшелле-спектрографа). Скрещивая дисперсию ИФП с дисперсией эшелле-спектрографа, мы от задачи контроля габаритного спектрографа переходим к задаче контроля небольшого по размерам ИФП. В целом, проблемы учета инструментальных ошибок, накопившиеся в приборах данного класса, — ослаблены или устраниются, если в качестве основного взять спектральный прибор из высшего класса. Немаловажным достоинством гибридных схем является достижение рекордных значений одного из параметров ( $R$ , или  $L$ , или  $N$ ), за счет некоторых потерь по другим параметрам.

Перечислим технические решения, демонстрирующие, по нашему мнению, преимущества и недостатки интерференционных и гибридных схем.

Северный [4] показал, что применение эталона Фабри-Перо для изучения фраунгоферовых линий эффективно даже при наличии спектрографа умеренной разрешающей силы. В бесщелевом спектрографе Линника [5] часть коллимированного пучка проходит через сложную стеклянную пластинку, которая формирует интерференционные реперы (полосы Тальбота), расположенные над изображением спектра звезды. Таким образом часть света звезды используется для формирования репера доплеровских измерений. К сожалению, спектрограф был исключен из списка спектральной аппаратуры БТА первого поколения.

В поляризационном интерферометре Серковского [6] создается искусственная поляризация, плоскость которой быстро вращается с длиной волны. Происходит интерференция обычного и необыкновенного лучей. Для каждого угла положения поляроида измеряются интенсивности в каналах. Длина волны определяется по углам плоскости поляризации (чем обеспечивается равномерная калибровка по длинам волн), и не зависит от положения звезды на щели (из-за высокой широкощельности прибора). Потери света на поляризационной оптике

составляли 20%, за 4 минуты накопления сигнала на 2-метровом телескопе обеспечивалась точность 1 км/сек для звезды  $m_V = 10$ .

Эшелле-спектрометр с ИФП на внешней установке использовался на 1.5-м телескопе LPL [7]. Сканирование спектра осуществлялось наклоном ИФП, контроль интерферометра проводился Не-Не лазером.

Интерферометр Фабри-Перо был использован в баллонном УФ-эксперименте [8], сканирование по длинам волн осуществлялось оптикой телескопа, спектр регистрировался на фотопленку. Эта же группа исследователей в наземном эксперименте на 0.9 м телескопе RGO применила интерферометр в коллимированном пучке спектрографа, ИФП был наклонен к оси пучка так, что направление его дисперсии перпендикулярно направлению дисперсии эшелле [9]. Свободный спектральный интервал составил  $FSR = 0.3 \text{ \AA}$ , спектральное разрешение  $R = 500000$ .

Следующим прогрессивным шагом явилась идея использования интерферометра постоянного сдвига для измерения лучевых скоростей [10]. Метод был реализован при наблюдениях спектра фотосфера Солнца, причем для измерения 4-х интегральных параметров (центр тяжести, ширина, асимметрия, площадь), использовались два интерферометра с различными разностями хода [11]. При доплеровском картографировании поверхности Солнца была достигнута точность измерения лучевой скорости 3 м/сек.

Внедрение многоэлементных приемников возродило интерес к некоторым классическим решениям. Например, пространственный гетеродинный спектрометр (SHS) отличается от SISAM применением многоэлементного приемника [12]. Для работы в FUV-диапазоне были выдержаны высокие требования к точности поверхностей и конструкции. Конструкция гетеродинного голограммического спектрометра (HHS) также не содержит подвижных элементов [13]. Дифракционная решетка находится внутри интерферометра, различные длины волн комбинируются в диапазоне углов, образуя на выходе интерферометра системы полос с резко изменяющимся периодом. Поэтому как SHS, так и HHS эффективны в узком спектральном интервале. Итак, сочетание классических интерференционных схем с многоэлементными приемниками позволяет обойти проблему точного перемещения оптических элементов.

Чтобы для каждой длины волны интерференция происходила под одним и тем же углом, следует применить интерферометр белого света. Так приходим к идее EDI — внешнего постдисперсера (спектрографа низкого разрешения), размещенного после интерферометра Майкельсона с фиксированной разностью хода  $d$  [14]. Эта схема служит для выделения интерференционной картины внутри каж-

дой спектральной линии в широком диапазоне длин волн. ИФП на внешней установке был использован с эшелле-спектрографом и матрицей ПЗС [15]. Такую схему отличает «неудобная» функция полос вдоль щели, что не позволяет использовать преимущества фурье-анализа или обработку экспозиций, полученных со сдвигом фаз. Однако, как и в схеме EDI, доплеровский сдвиг полос в [15] приблизительно одинаков для широкого диапазона длин волн. Вместо интерферометра Майкельсона перед постдисперсером низкого разрешения можно установить фурье-спектрометр [16].

Рассмотрим качественное поведение ошибки измерения лучевой скорости  $\sigma(V_R)$  в разных схемах. Если сравнивать дифракционный спектрограф среднего разрешения и эшелле-спектрограф высокого разрешения, то последний предпочтительнее, т.к. характер зависимости ошибки от сигнала, накапленного в полосе, различен для случая, когда линия недооценена ( $p > s$ ), или переоценена ( $p < s$ ), см., например, [17]. Ошибка измерения по одной линии пропорциональна  $(p/s)^{3/2}$  и обратно пропорциональна квадратному корню из потока в полосе  $F_i^{1/2}$ . Однако требование переоценки узких линий приводит к величине  $R = 10^5$ , которую на больших телескопах трудно обеспечить без существенных потерь света на входе спектрографа. При измерении сдвига интерференционных полос, ошибка скорости  $\sigma(V_R)$  пропорциональна величине постоянного сдвига  $d$ , контрасту интерференционной полосы  $\gamma_i$  и обратно пропорциональна квадратному корню из потока  $F_i^{1/2}$ . Таким образом, фактор переоценки линии, решающий при выборе эшелле-спектрографа, в гибридной схеме не фигурирует. Величину постоянного сдвига можно оптимизировать из условия максимального контраста интерференционной полосы для гауссовой формы линии, но контраст полос будет снижаться, когда соседние полосы начинают перекрываться при понижении спектрального разрешения постдисперсера. Итак, вместо фактора переоценки линий для классического дифракционного спектрографа, в гибридной схеме появляется условие неперекрытия соседних интерференционных полос. Поэтому в гибридной схеме спектральное разрешение постдисперсера можно понизить. Если интерферометр скрещивается с эшелле-спектрографом [15], то относительно низкое пропускание спектрографа компенсируется только высокой широкополосностью интерферометра, а потери на поверхностях спектрографа сохраняются. Если интерферометр скрещивается с обычным дифракционным спектрографом среднего разрешения [14], работающим в низком порядке дифракции, то дополнительный выигрыш в светосиле обеспечивается за счет меньших потерь на поверхностях спектрографа. Соотношение пропусканий дифракцион-

ного спектрографа среднего разрешения и эшелле-спектрографа высокого разрешения различается от нескольких раз до одного порядка. Так как ошибка измерения обратно пропорциональна квадратному корню из потока в полосе, то переход к постдисперсеру среднего разрешения обеспечит выигрыш в пропускании, при заданной  $\sigma(V_R)$ , на одну-две звездные величины. Аппаратная функция постдисперсера заведомо шире контура линии, поэтому контраст интерференционных полос снижается за счет вклада крыльев линии и соседних участков континуума [18]. Ошибка измерения скорости должна возрастать в  $(p/s)^{1/2}$  раз за счет снижения контраста полос, но на такой же коэффициент ошибка должна снижаться за счет увеличения числа линий, если при понижении разрешения постдисперсера (т.е. увеличении  $p$ ), пропорционально увеличивается одновременно регистрируемый диапазон длин волн (т.е. увеличивается число линий, каждая из которых формирует свои интерференционные полосы). Таким образом, в первом приближении общая доплеровская ошибка не зависит (или слабо зависит) от спектрального разрешения постдисперсера. Независимость доплеровской чувствительности в схеме EDI от спектрального разрешения постдисперсера, в сочетании с высоким пропусканием систем среднего разрешения по сравнению с пропусканием эшелле-систем, позволяет выиграть в эффективности метода более одного порядка. Точный ответ на вопрос об оптимальном разрешении постдисперсера мы надеемся получить путем численного моделирования.

Положение интерференционных полос в схеме EDI определяется не только лучевой скоростью, но и стабильностью входной апертуры, поэтому необходимым условием является оптоволоконное сочетание интерферометра с телескопом. Это обстоятельство может оказаться полезным, если в поле зрения телескопа есть несколько объектов, лучевую скорость которых можно измерить одновременно и с высокой точностью. Оптимальным (по соотношению «диаметр поля — диаметр телескопа»), для такой задачи является проект LAMOST. Возможность применения интерферометров в оптоволоконных спектрографах этого проекта отмечена в [19]. Добавим, что вариант питания одного из оптических волокон многообъектного интерферометра от небольшого вспомогательного телескопа открывает возможность калибровки интерферометра по яркой звезде или по участку лунной поверхности.

## Литература

1. Jacquinot P.: 1954, *JOSA*, **44**, 761.
2. Fellgett P.: 1958, *Journ. Phys.*, **19**, 237.
3. Панчук В.Е., Алиев А.Н.: 2004, *Препринт CAO*, No. 204.
4. Северный А.Б.: 1951, *Изв. КрАО*, **7**, 59.
5. Линник В.П.: 1961, в: *сб. Новая техника в астрономии*, **1**, 176.
6. Serkowski K.: 1972, *PASP*, **84**, 649.
7. Serkowski K. et al.: 1979, *ApJ*, **228**, 630.
8. Bates B. et al.: 1978, *Appl. Opt.*, **17**, No. 13, 2119.
9. Bates B. et al.: 1978, in: *Proc. 4th Trieste Coll.*, 420.
10. Горский С.М., Лебедев В.П.: 1977, *Изв. КрАО*, **57**, 228.
11. Дидковский Л.В., Кожеватов И.Е., Степанян Н.Н.: 1986, *Изв. КрАО*, **74**, 142.
12. Harlander J. et al.: 1992, *ApJ*, **396**, 730.
13. Frandsen S.S. et al.: 1993, *A&A*, **279**, 310.
14. Erskine D., Ge J.: 2000, *ASP Conf. Ser.*, **195**, 501.
15. Панчук В.Е.: 2000, *Препринт CAO*, No. 144.
16. Mosser B. et al.: 2003, *PASP*, **115**, 990.
17. Gustafsson B.: 1992, in: *ESO Workshop on “High Resolution Spectroscopy with the VLT”, Garching, 11-13 Feb. 1992*, p. 17.
18. Erskine D.: 2003, *PASP*, **115**, 255.
19. Panchuk V., Klochkova V., Zhao G.: 2001, in: *Proc. of The 5th Sino-German Workshop on Astrophysics, Urumqi, China, Sept. 1999. Eds. G., J.-J. Wang, Zhao and H.-M. Qiu*, p. 177.

# INVESTIGATIONS OF SURFACES OF ATMOSPHERELESS BODIES USING SCATTERED SOLAR LIGHT

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ БЕЗАТМОСФЕРНЫХ ТЕЛ ПО РАССЕЯННОМУ ИМИ СОЛНЕЧНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

V.V.Prokofjeva Mikhailovskaja, A.N.Rublevskiji

Scientific research institute Crimean Astrophysical Observatory  
Nauchny, Crimea 98409, Ukraine, *prok@crao.crimea.ua*

**ABSTRACT.** Sunlight scattered by surfaces of atmosphere less bodies carry information about details of these surfaces. Burns and Tedesco in 1979 published formula for estimations of dimensions of details located on surfaces of asteroids. Authors of this paper show that using of frequency methods for analysing of light curves or curves of colour index allows receiving of optimal information. Experiments confirm this statement. Estimations of dimensions of details located on the surface of the asteroid 1620 Geographos are in good agreements with facts receiving with radar observations. Analysis of synthetic colour indexes B-V and V-R of the asteroid 4 Vesta show estimations of dimensions of colour spots on its surface in the interval 660-9 km. Conclusion are made that investigations of high frequency modulations of light curves or curves of colour indexes of asteroids allow us to receive information about dimensions of details on its surfaces. Key words: asteroids, colour spots, frequency analysis.

**АННОТАЦИЯ.** Рассеянное поверхностями безатмосферных тел солнечное излучение несет информацию о деталях этих поверхностей. Burns and Tedesco в 1979г. опубликовали формулу, по которой можно оценить размеры деталей на поверхности астероида. Авторы настоящей работы показывают, что применение метода частотного анализа кривых блеска или показателей цвета астероидов позволяет получить нужную информацию. Опыт работы подтверждает это. Оценки размеров деталей поверхности астероида 1620 Географ хорошо согласуются с данными радиолокации. Анализ синтетических показателей цвета B-V и V-R астероида 4 Веста дал оценки размеров цветовых пятен на его поверхности в интервале от 660 км до 9 км. Сделан вывод, что исследования высокочастотной модуляции кривых блеска и цвета

астероидов позволяют получать информацию о размерах деталей на их поверхностях.

Круг интересов В.П. Цесевича был необыкновенно широк. Его интересовали также и проблемы исследования тел солнечной системы. Эти вопросы он неоднократно обсуждал с сотрудниками Института теоретической астрономии. В книге "Что и как наблюдать на небе" он рассматривает задачу исследования физических свойств астероидов (Цесевич, 1979. стр. 158) и отмечает, что наиболее интересными астероидами, дающими при вращении амплитуды блеска более одной звездной величины, являются два небольших астероида 1620 Географ и 433 Эрос. Цесевич приводит также диаметры наиболее ярких астероидов Цереры, Паллады, Весты. Наше направление коснулось двух из указанных Цесевичем астероидов: Весты и Географа.

Поверхности малых тел Солнечной системы определяются как шероховатые или сильно шероховатые. Солнечный свет практически падает на их поверхность параллельным пучком. Плоский фронт волны разбивается этими поверхностями на множество мелких участков, каждый из которых имеет свое направление в пространстве. Исследование рассеянного солнечного излучения несет информацию о свойствах поверхностей этих тел.

Поглощение и рассеяние света поверхностями безатмосферных тел могут обнаруживать сильную зависимость от длины волны. Результатом является изменение спектрального состава диффузно отраженного света, что воспринимается как окраска рассеивающей поверхности или ее деталей. Современные исследования показали, что изменение окраски связано с возрастом рассеивающих свет безатмосферных поверхностей (Ivezic и др., 2002; Jedicke и др., 2004). Поэтому исследования показателей цвета

рассеянного света дает ключ к оценке их возраста.

Мы предполагаем, что наличие деталей на кривых блеска и цвета обусловлено разным количеством отраженного и рассеянного света деталями поверхности в разных направлениях. Если работает закон когерентного обратного рассеяния света, что очень вероятно, то в некоторые моменты времени при вращении астероида деталь его поверхности может увеличивать свою яркость в направлении наблюдателя. Это увеличение может достигать 2-х раз (Кузьмин, Романов, 1996). Если таких деталей на астероиде много, то при его вращении количество света, направленного в сторону земного наблюдателя, становится переменным во времени. Модуляция эта невелика по величине и составляет порядка нескольких сотых звездной величины. Однако современные средства наблюдений вполне уверенно регистрируют такие величины. Отметим, что проводить исследования такой модуляции можно только по наблюдениям, полученным практическими при одних условиях освещения исследуемого тела Солнцем. Для астероидов можно использовать наблюдения, полученные подряд в течение нескольких соседних по времени ночей.

Определение длительности кратковременного увеличения или уменьшения блеска астероида может быть использовано для оценки размера детали на поверхности астероида по формуле, приведенной в книге "Астероиды I" (Burns and Tedesco, 1979):

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot \Delta t}{Prot} , \quad (1)$$

где L - размер детали поверхности, D - диаметр астероида,  $\Delta t$  - длительность регистрации детали на кривой блеска, Prot - период вращения астероида. Для оценок размеров деталей на поверхностях астероидов 1620 Географ, 21 Лютация и 4 Веста были использованы широко развитые методы частотного анализа. (Карачкина и др. 1998; Прокофьева и др. 2005; Бусарев и др. 2007). По данным фотометрии астероида 1620 Географ (размер 4x1.5 км), полученным в первичном и вторичном максимумах блеска во время его сближения с Землей в 1994 г., были сделаны оценки размеров неоднородностей его поверхности. Они показали наличие крупной детали размером 1-1.2 км на одной стороне астероида и более мелких, размером до 150-100 м. на другой. Оценки размеров хорошо согласуются с данными радиолокации и размере кратеров.

Частотный анализ эквивалентной ширины гидросиликатной полосы, расположенной на длине волны 440 нм в спектрах астероида 21 Лютация, позволил оценить размеры гидросиликатных пятен на его поверхности. Преимущественные размеры пятен составили 30-40 км, что позволило сделать вывод об их сравнительно молодом возрасте.

Анализ показателей цвета B-V и V-R, получен-

ных при наблюдениях астероида 4 Веста в 2002 г., позволил сделать 19 и 20 оценок размеров цветовых пятен на его поверхности вплоть до размера 9 км. Явно проявился в коротковолновой области спектра известный кратер, расположенный в южном полушарии астероида на широте  $45^{\circ}$ , который был обнаружен при наблюдениях астероида с помощью космического телескопа им. Хаббла.

С использованием методов частотного анализа с последовательным отбеливанием данных за найденные периоды, были полученные оценки размеров деталей на поверхностях трех астероидов, которые хорошо согласуются с размерами известных деталей.

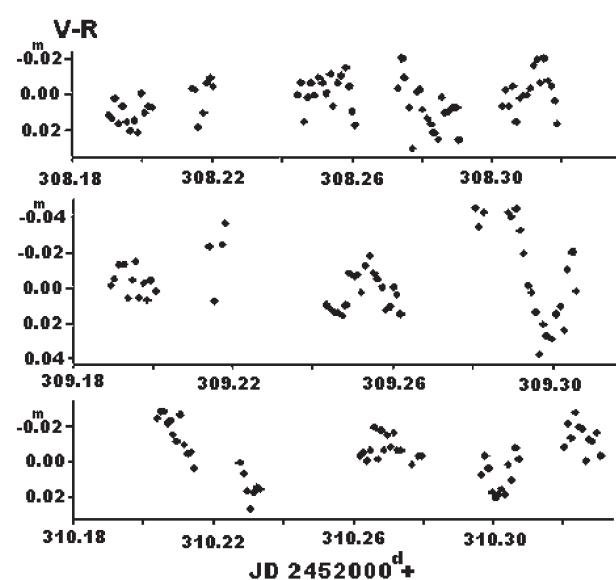


Рис. 1: Значения усредненных данных показателя цвета V-R астероида 4 Веста, полученных после вычитания периода вращения астероида, в зависимости от времени, выраженного в долях JD, для трех ночей наблюдений 2002 года (сверху вниз): 2 февраля (JD 2452308<sup>d</sup>), 3 февраля (JD 2452309<sup>d</sup>) и 4 февраля (JD 2452310<sup>d</sup>).

Для доказательства правомочности использования методов частотного анализа вместо предложенной в 1979 г. формулы (1) для определения размеров деталей на поверхностях астероидов мы приводим ниже результаты анализа двумя указанными методами колориметрических данных, полученных при спектрофотометрических наблюдениях астероида 4 Веста. Анализ проведен как по формуле (1), так и частотным методом с последовательным отбеливанием данных. На кривых (см. рис.1) приведены данные, полученные по усредненным значениям показателя цвета V-R, из которых вычен период вращения астероида. В моменты отсутствия данных колориметрии астероида наблюдались звездные стан-

Таблица 1: Сравнение данных о размерах деталей на поверхности астероида 4 Веста, зарегистрированных в длинноволновой области спектра по показателям цвета V-R и полученных двумя разными методами. В первом столбце приведен номер в порядке возрастания размера, во втором - данные, полученные по формуле (1), в третьем - данные, полученные с помощью частотного анализа наблюдений.

NN По порядку	Размер деталей, в километрах По форм. (1)	По частот. анализу
1	225	240
2	85	85
3	70	71
4	62	57
5	54	53
6	39	39
7	31	34
8	23	24
9	20	21

дарты. Время между соседними точками составляет 1.5 мин. Поскольку точность каждой точки на графике рис. 1 составляет  $0.^m005$ , можно уверенно считать, что график демонстрирует реальные изменения показателя цвета V-R со временем. Амплитуда их в среднем составляет  $0.^m04$ , и только в конце ночи 3 февраля изменения показателя цвета достигают почти  $0.^m08$ . Полагая, что длительность видимости детали  $\Delta t$  в формуле 1 определяется примерно на половине максимального изменения показателя цвета, мы оценили размеры некоторых деталей по графикам на рис.1.

Оценки размеров деталей сделаны, в основном, для деталей среднего размера, поскольку они проявились на кривых показателя цвета наиболее четко. Точность оценок длительности видимости детали невелика и составляет 10-15%.

Результаты оценок размеров деталей, сделанных по графикам рис.1, приведены в столбце 2 таблицы 1. Для сравнения в столбце 3 приведены результаты, полученные с помощью частотного анализа этих же данных (Прокофьева-Михайловская и др., 2007). Сравнение данных столбцов 2 и 3 показывает, что пределах ошибок порядка 10% результаты, полученные двумя методами, совпадают. Т.е., рассмотрение кривых изменения показателя цвета V-R и применение к ним формулы (1) позволило нам оценить размеры девяти деталей на поверхности астероида 4 Веста, которые по размерам оказались близки данным, найденным ранее с применением частотного анализа.

Процедура сравнения двух методов показала, что применение частотного анализа с последовательным вычитанием найденных периодов дает значительно более увереные результаты и большее число

найденных размеров (20 размеров), чем использование формулы (1), которая при рассмотрении данных наблюдений позволила обнаружить только 9 различных размеров.

Итак, спектрально-частотный метод исследований кривых блеска и показателей цвета астероидов позволяет наземными средствами получать информацию о размерах деталей на их поверхностях. Использование методов частотного анализа с последовательным отбеливанием данных за обнаруженные периоды обеспечило обнаружение деталей на поверхностях астероида 4 Веста пояса вплоть до 9 км. Для обнаружения пятен на поверхностях астероидов необходимо использовать плотные ряды наблюдений, когда условия освещения астероида Солнцем изменяется незначительно. Не более  $0.5^\circ$ . Многократное перекрытие одних и тех же фаз периода вращения астероида нежелательно, так как при следующем повороте астероида вокруг оси условия видимости пятна могут измениться. Точность анализируемых данных должна быть высокой, что должно обеспечить регистрацию периодичностей с малыми амплитудами. Перед началом поиска периодов, связанный с пятнами, необходимо удалить период вращения астероида. Периоды считаются значимыми, когда точность определения амплитуды колебания превосходит  $3\sigma$ .

## Литература

- Бусарев В.В., Прокофьева-Михайловская В.В., Бочкин В.В.: 2007, *Успехи физ. наук*, **177**, N 6, 663.  
 Каракина Л.Г., Прокофьева В.В., Таращук В.П.: 1998. *Астрон. вестн.*, **32**, N 4, 327.  
 Кузьмин В.Л., Романов В.П.: 1996, *Успехи физических наук*, **166**, N 3, 247.  
 Прокофьева В.В., Бочкин В.В., Бусарев В.В.: 2005, *Астрон. вестн.*, **39**, N 5, 457.  
 Прокофьева-Михайловская В.В., Рублевский А.Н., Бочкин В.В.: 2007, *Астрон. вестн.*, (в печати).  
 Цесевич В.П.: 1979, *Что и как наблюдать на небе*, Москва Наука 302 с  
 Jedicke R., Nesvorný D., Whiteley R. et al.: 2004, *Nature*, **429**, No 6989, 275.  
 Ivezić Z., Lupton F.H., Juric M. et al.: 2002, *Astron. J.*, **124**, 2943.

# V.P.TSESSEVICH AND RADIOASTRONOMY IN ODESSA (20 years of "URAN-4")

## В.П.ЦЕСЕВИЧ И ОДЕССКАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ (20 лет со дня начала работы РТ "УРАН-4")

M.I.Ryabov

Одесская обсерватория Радиоастрономического института НАН Украины

Первые радиоастрономические опыты были сделаны в Одессе в 1957 году в рамках Международного геофизического года МГГ 1957. Организатором и руководителем этих работ был В.П.Цесевич. По его инициативе в Одесской астрономической обсерватории была создана группа радиолокации, состоящая из инженеров-электронщиков и астрономов – выпускников Одесского университета. Уже к осени 1957 года прибыли два армейских радиолокатора П-3 и П-4 – один с одной антенной Уде-Яги, другой с двумя антennами того же типа. В конце 1957 года на радиолокаторе П-3 начались наблюдения метеоров, вскоре подключился к ним и локатор П-4. Для отсева различных помех работники группы разработали методику, хорошо проявившую себя в работе, а также провели модернизацию приборов.

Наблюденный материал был обработан и составил солидный каталог радионаблюдений метеоров. Работа была признана достойной и направлена на Государственную премию СССР, однако не прошла в финальном туре конкурса. Слабое развитие методик получения из радиолокационных наблюдений физических характеристик метеоров привело к тому, что сильно развитые методики одесских фотографических наблюдений метеоров взяли верх, и радиолокация метеоров постепенно сошла на нет. В 1960 году радиолокация метеоров в Одессе прекратилась. Можно сказать, что к действительно радиоастрономическим исследованиям в Одессе были еще не готовы: во-первых, не было подготовленных специалистов по радиоастрономии, во-вторых, не было необходимых материальных условий для создания в Одессе достойного радиотелескопа.

Только в 1987 году они начались с первыми записями радиоисточников, проведенными на радиотелескопе "УРАН-4". Ввод в эксплуатацию радиотелескопа "УРАН-4" стал событием не только "одесского" масштаба, а скорее даже "общесоюзного". В то время в Советском Союзе весьма успешно развивалась радиоастрономия. Мощные "радиоастрономические школы" работали в Москве, Санкт-Петербурге (тогда Ленинграде), Нижнем Новгороде (тогда Горьким), Иркутске. На Украине было два радиоастрономических центра в Харькове

и Крыму. Можно сказать, что Крым стал в какой-то мере родоначальником всей отечественной радиоастрономии поскольку здесь в 50 х годах прошлого века появились 18 разнообразных радиотелескопов на Крымской станции Физического института АН СССР (ФИАН). Руководил этими работами член-корреспондент АН СССР В.В.Виткевич. Однако в последующем радиоастрономы из Крымской станции ФИАН перебрались в Пущино под Москвой, где сейчас работает Пущинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра ФИАН. На "смену" радиотелескопам ФИАН в Голубом заливе был введен в строй уникальный радиотелескоп РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории (КрАО). Так что не удивительно, что сейчас улица имени В.В.Виткевича есть и в Кацивели, и в Пущино.

В те же 50-е годы радиоастрономия начала развиваться в Харьковском институте радиофизики и электроники. Возглавлял Харьковскую радиоастрономическую школу академик АН Украины С.Я.Брауде. Основные усилия харьковских радиоастрономов были направлены на исследования в дециметровом диапазоне, и в этой области они стали безусловными лидерами, хотя в этом диапазоне работали радиоастрономы из Горького. В остальных "радиоастрономических центрах" развивались исследования от миллиметровых до метровых волн. Декаметровый диапазон в то время считался не слишком интересным из-за сильного влияния ионосферы.

Одной из главных проблем в радиоастрономии было получение максимально возможного углового разрешения. На более коротких длинах волн эта задача решалась стремительными темпами – создавались радиointерферометры, затем системы апертурного синтеза. Окончательной победой радиоастрономического диапазона над оптическим стала реализация идеи радиointерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ системы), которая была предложена отечественными астрономами, и впервые ее межконтинентальный вариант был реализован на базе Хайстек (США) – Крым (СССР). В эксперименте были задействованы 40-метровый радио-

мы апертурного синтеза. Окончательной победой радиоастрономического диапазона над оптическим стала реализация идеи радиоинтерферометра со сверхдлинной базой (РСДБ системы), которая была предложена отечественными астрономами, и впервые ее межконтинентальный вариант был реализован на базе Хайстек (США) – Крым (СССР). В эксперименте были задействованы 40-метровый радиотелескоп Национальной радиоастрономической обсерватории США в Грин Бэнке и 22-х метровый радиотелескоп КрАО. Автор этих строк был на ознакомительной практике на РТ-22 в КрАО как раз в этот самый исторический момент. Удалось реализовать разрешение в 0,0004 угловой секунды! Это был настоящий триумф радиоастрономии.

Харьковским радиоастрономам приходилось решать многие вопросы декаметровой радиоастрономии практически самостоятельно. После целого ряда радиотелескопов и их модернизаций в 1972 году появилась гигантская Т-образная антенна радиотелескопа "УТР-2" (размерами 1860 метров в направлении север-юг и 900 метров в направлении запад-восток и состоящая из 2040 облучателей), способная решать множество задач: от составления каталога радиоисточников, исследований пульсаров, радиолиний в галактических объектах до радиоизлучения Солнца. С вводом в строй радиотелескопа "УТР-2" резко возрос интерес к декаметровой радиоастрономии. Однако даже "УТР-2" обладал угловым разрешением 30x30 угловых минут, и его явно не хватало, чтобы превзойти за другими, более высокими частотами.

В 1973 году родилась идея создать радиоинтерферометр "УРАН". Само название означает аббревиатуру "Украинский Радиотелескоп Академии Наук". В 30 километрах от Харькова началось сооружение радиотелескопа "УРАН-1", призванного работать в паре с "УТР-2". Радиоинтерферометр "УТР-2" – "УРАН-1" вступил в эксплуатацию уже в 1975 году. Появлению идеи строительства радиотелескопа "УРАН-4" в Одессе сопутствовал ряд обстоятельств. В 1969 году, будучи студентом, автор этих строк посетил радиотелескоп РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории и договорился с заведующим отделом радиоастрономии И.Г.Моисеевым о прохождении практики на нем. Следует сказать, что Крымская астрофизическая обсерватория АН СССР была в то время одной из самых больших в стране, радиотелескоп РТ-22 вступил в строй совсем недавно, в 1966 году, и работать на нем была большая честь и удача.

Владимир Платонович Цесевич отнесся к возможности прохождения мою практики по радиоастрономии весьма благожелательно, и на следующий год я прошел ознакомительную, а затем и дипломную практику на РТ-22. Моя дипломная работа была посвящена исследованию активности Солнца



Рис. 1: Одесский радиотелескоп "УРАН-4"

ца в миллиметровом диапазоне. В дальнейшем была более чем 10-ти летняя работа на этом радиотелескопе, учеба в заочной аспирантуре КрАО по радиоастрономии и защита кандидатской диссертации в 1983 году по теме: "Структура, эволюция и спектральные особенности источников S-компоненты на Солнце в миллиметровом диапазоне".

После окончания университета в 1971 году я начал работать в отделе космических исследований Одесской астрономической обсерватории у В.М.Григоревского, который не мешал моему увлечению радиоастрономией. Уже в 1972 году я принял участие в VII Всесоюзной конференции по радиоастрономии "Пути развития и последние достижения в области радиоастрономических исследований", которая проходила в Горьком. Конференция была посвящена 25-летию советской радиоастрономии. Проводил эту конференцию Национальный Совет АН СССР по комплексной проблеме "Радиоастрономия", возглавляемый академиком В.А.Котельниковым. В последующем его возглавил академик Н.С.Кардашев, который при встрече всегда интересовался: "Как там радиоастрономия в Одессе?"

Это был один из самых деятельных научных советов в АН СССР. В различных его секциях участвовали и одесситы. В секции солнечной радиоастрономии и галактических и внегалактических радиоисточников работал М.И.Рябов, в секции антенн и приемной аппаратуры – В.В.Галанин. К тому же времени относится бурное развитие в Одесской обсерватории астроприборостроения, и Владимиру Платоновичу Цесевичу удалось заинтересовать АН Украины в возможности производства телескопов в Одессе, для чего и был создан Одесский отдел астроприборостроения при Главной астрономической обсерватории АН Украины. В 1974 году Владимир Платонович вызвал меня и сообщил, что академик АН Украины С.Я.Брауде подыскивает места для

построения В.Н.Ивановым, имевшим большой опыт сооружения РТ-22 КрАО.

К моменту нашего прибытия в Киев уже вышло постановление Бюро Президиума АН Украины о начале работ по сооружению системы "УРАН" на базе радиотелескопов "УТР-2" и "УРАН-1" и сооружении радиотелескопов "УРАН-2" в Полтаве (Полтавская Гравиметрическая обсерватория), "УРАН-3" на Шацких Озерах в Волынской области (Львовский физико-механический институт) и "УРАН-4" в с.Маяки Одесской области (Одесский отдел ГАО АН Украины). При вводе в эксплуатацию всей системы "УРАН" угловое разрешение должно было достичь рекордного мирового уровня в одну угловую секунду! Следует заметить, что далеко не все радиоастрономы верили, что это удастся сделать. Разработкой всей стратегии развития системы "УРАН" руководили академик АН Украины С.Я.Брауде и член-корреспондент АН Украины А.В.Мень. Возможность реализации такого крупного проекта, прежде всего, стала возможной благодаря мощной организующей силе Семена Яковлевича Брауде, способного не только преодолевать, а буквально сметать все препятствия, встающие на пути. Сооружение системы "УРАН" всемерно поддерживалось и Президентом АН Украины академиком Б.Е.Патоном.

Изготовление аппаратуры и системы управления радиотелескопами осуществляло конструкторское Бюро и опытное производство отделения радиоастрономии Харьковского института радиофизики и электроники АН Украины. В 1985 году на базе этого отделения был создан Радиоастрономический институт АН Украины (РИАН), директором которого стал академик АН Украины Л.Н.Литвиненко.

Руководство работами по измерению характеристик антенны и подготовкой аппаратурного комплекса осуществляли сотрудники РИАН С.Л.Рашковский, Н.К.Шарыкин, Г.А.Инютин. Часть оборудования разрабатывалась и изготавливалась конструкторским бюро и опытным производством ГАО АН Украины. В начале осуществления программы "УРАН" заместителем директора ГАО по научной работе был Я С Яцкiv в последующем академик АН Украины и директор ГАО. На всех этапах строительства и ввода в эксплуатацию радиотелескопа "УРАН-4" с его стороны и со стороны его заместителя по общим вопросам Р.Р.Кондратюка оказывалась оперативная поддержка в решении всех вопросов.

Однако при практически одновременном старте программы, сооружение радиотелескопа "УРАН-4" продвигалось более быстрыми темпами по весьма важной причине – Владимир Платонович Цесевич способствовал использованию всего "потенциала" астрономической обсерватории и кафедры астрономии Одесского университета. Сооружение ра-

диотелескопа "УРАН-4" стало поистине "всенояднойстройкой". Работа проводилась последовательно в рамках двух научных тем: "Сооружение радиотелескопа "УРАН-4" и экспериментальные наблюдения на нем" и "Наблюдение на радиотелескопе "УРАН-4" мощных космических радиоисточников в автономном режиме и испытание интерферометрической системы". Первая тема выполнялась Одесским отделом ГАО АН Украины, вторая – Одесской лабораторией Радиоастрономического института АН Украины. Соисполнителем темы была Астрономическая обсерватория Одесского университета. Научными руководителями были: член-корреспондент АН Украины В.П.Цесевич и кандидат физико-математических наук М.И.Рябов. Ответственным исполнителем был назначен ведущий инженер В.В.Галанин. В числе исполнителей в разные годы были: Я.В.Писаренко, А.Ф.Тарасов, С.К.Панишко, А.Д.Редько, В.И.Панин, И.М.Кваша, Н.Г.Серокурова, Т.С.Харченко. Активное участие во всех организационных работах принимал заведующий отделом астроприборостроения Одесской обсерватории кандидат физико-математических наук В.Н.Иванов, а в измерениях – старший научный сотрудник отдела А.Ф.Переверзенцев. В работах по монтажу антennы радиотелескопа непосредственное участие принимали также сотрудники Одесской обсерватории В.Г.Деревягин, А.И.Мовчан, А.А.Подлубный.

В самом начале пути никто не мог предполагать, что весь период строительства и ввода в эксплуатацию радиотелескопа займет более 10 лет! За весь этот период в работах над его сооружением участвовал практически весь "мужской состав" обсерватории и студенты-астрономы различных курсов. Большая популярность Владимира Платоновича Цесевича у руководства города и области способствовала тому, что радиотелескоп "УРАН-4" был введен в эксплуатацию первым. Благодаря "обаянию" Владимира Платоновича заведующий промышленным отделом Одесского обкома КПСС Анатолий Семенович Бердников своими личными распоряжениями обязывал директоров предприятий и начальников различных баз производить необходимые работы и выделять довольно дефицитный в то время металл, кабель и строительные материалы. В последующем у меня сложились весьма дружеские отношения с Анатолием Семеновичем, и он помогал нам всегда и на всех его последующих должностях. Так, первое совещание по проекту "УРАН" произошло в Одессе, и А.С.Бердников, будучи директором базы отдыха "Стройгидравлика", выделил замечательный "генеральский особняк" на территории базы по Французскому (тогда Пролетарскому) бульвару для участников совещания. Многолетние дружеские отношения связывали нас и с начальником производ-

ственного отдела одесского завода "Строммашни" М.Ф.Маливановым. Именно на этом заводе были изготовлены все металлические конструкции радиотелескопа.

Пока велись работы по сооружению радиотелескопа "УРАН-4", научные работы проводились на радиотелескопах других обсерваторий и институтов. Кроме радиотелескопа РТ-22 КрАО, многолетние наблюдения с участием сотрудников нашей группы велись на одном из самых крупных в Европе (на метровых волнах) радиотелескопе ДКР-1000 Пущинской радиоастрономической станции (теперь обсерватории) Астрокосмического центра ФИАН. Руководителем этого центра является академик РАН Н.С.Кардашев, а директором обсерватории – доктор физико-математических наук Р.Д.Дагкесаманский. С 1984 по 1992 годы на этом радиотелескопе был получен материал по переменности излучения 70 внегалактических радиоисточников на частоте 102 МГц. В этих наблюдениях участвовали наши сотрудники Я.В.Писаренко, Н.Г.Серокурова, С.К.Панишко, Т.И.Кабанова и другие. По данным этих наблюдений и мониторинга потоков источников на радиотелескопе в Културе (Австралия) М.И.Рябовым совместно с Н.Г.Бочкиревым (Москва) были выявлены зоны повышенной турбулентности плазмы, связанные со структурой Местной межзвездной среды – сверхболочки, образованной вспышкой сверхновой в скоплении звезд Скорпиона-Центавра. В последующем Я.В.Писаренко защитил кандидатскую диссертацию по определению зоны ускорения солнечного ветра по данным о мерцаниях внегалактических радиоисточников на метровых волнах (научный руководитель доктор физико-математических наук Н.А.Лотова). К сожалению, уже после защиты Я.В.Писаренко трагически погиб под Москвой.

С момента ввода в эксплуатацию радиотелескоп "УРАН-4" представлял собой антеннную решетку, состоящую из 128 турникетных вибраторов. Геометрические размеры антennы составили 232.5x22.5 метра, ориентирование в направлении запад-восток. На каждой опоре располагалась пара вибраторов, так что в итоге реализованы две пространственно совмещенные антенные решетки. Радиотелескоп работал в двух режимах: интерферометрических наблюдений в составе всей системы "УРАН" и в режиме мониторинга потоков мощных радиоисточников: остатков сверхновых Кассиопея-А, Телец-А и радиогалактик Дева-А и Лебедь-А. Мониторинг этих источников, начатый в 1987 году, проводится по настоящее время.

С созданием Одесской обсерватории Радиоастрономического института ее заведующим был назначен кандидат физико-математических наук О.А.Литвиненко, который осуществляет руководство работой по обеспечению работы радиотеле-

скопа в интерферометрическом режиме и исследованиями состояния ионосферы на базе данных о кратковременных мерцаниях радиоисточников. Некоторое время Одесская лаборатория "УРАН-4" была в составе Киевского отделения РИАН (зав.отделением кандидат физико-математических наук В.Л.Кульчицкий), и это способствовало развитию ионосферных исследований с учетом влияния солнечной активности.

Начиная с 1998 года, радиотелескоп "УРАН-4" работает полностью в автоматическом режиме с записью данных в ЭВМ (О.А.Литвиненко, Р.О.Кравец, В.Б.Кожухарь, В.Деревягин). Это позволило резко увеличить объем получаемого наблюдательного материала. По данным мониторинга потоков радиоисточников были получены данные о вековом уменьшении потока Кассиопея-А (М.И.Рябов, Н.Г.Серокурова, Е.А.Исаева), изучены вариации потоков, связанные с изменением состояния ионосферы в течение цикла солнечной активности и его отдельных активных периодов (М.И.Рябов, С.К.Панишко, Е.А.Исаева). По результатам наблюдений радиоисточников в периоды, когда вблизи них проходила Луна, выявлены эффекты лунной приливной волны в ионосфере, которые проявлялись и в те периоды, когда шла обратная приливная волна (М.И.Рябов). Все эти работы докладывались на многочисленных общесоюзных, международных и украинских конференциях.

Начиная с 1974 года на кафедре астрономии ведется спецкурс по радиоастрономии (М.И.Рябов), и за все это время защищено около 40 дипломных работ по радиоастрономии. Из числа дипломников-радиоастрономов три выпускника успешно защищили кандидатские диссертации по радиоастрономии. Это А.Е.Вольвач, работающий ныне заместителем директора по научной работе КрАО, А.В.Коваленко – руководитель отдела радиоинтерферометрических исследований в Пущинской обсерватории АКЦ ФИАН и Р.А.Сыч, работающий старшим научным сотрудником на солнечном радиотелескопе под Иркутском, принадлежащем Сибирскому отделению РАН (СИБИЗМИР). Показательно, что А.Е.Вольвач и А.В.Коваленко руководят, прежде всего, радиоинтерферометрическими исследованиями на сверхдлинных базах в своих обсерваториях.

В 1985 году в Одессе прошла Республикаанская, а по сути Всесоюзная конференция: "Радиоастрономические исследования солнечной системы". Весьма плодотворным было участие одесситов с докладами в различных крупных Всесоюзных и Международных конференциях молодых европейских радиоастрономов (КМЕРА) в Пущино (1979 год), в Италии (Болонья – 1980 год) и в Великобритании (Кембридж – 1982 год). На юбилейных Гамовских конференциях 1994, 1999 и 2004 годов,

проводимых в Одессе, участвовало немало известных радиоастрономов (Н.С.Кардашев, В.А.Разин, Р.Д.Дагкесаманский, В.М.Малофеев, И.Ф.Малов и др.). Начиная с 2005 года радиоастрономия стала также постоянной темой Одесских летних астрономических школ: "Астрономия на стыке наук: астрофизика, космология, радиоастрономия, астробиология", проводимых на базе отдыха Одесского национального университета в Черноморке.

Таким образом, время показало, что радиоастрономия стала неотъемлемой частью развития астрономии в Одессе. Сам же Владимир Платонович Цесевич никогда радиоастрономией не занимался и научных работ в этой области у него практически не было. Однако у него был основной "принцип Цесевича" – развивать самые различные научные направления – и этот принцип полностью оправдался. Поэтому в Одессе появилось немало самых различных новых научных направлений, в том числе и радиоастрономия.

# CHEMICAL COMPOSITION OF 4 STARS IN THE HIADES ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЧЕТЫРЕХ ЗВЕЗД СКОПЛЕНИЯ ГИАДЫ

Shereta E.P.

Отделение Астрономии Одесского Национального Университета,  
Одесса, Украина

**АБСТРАКТ.** Определены параметры атмосфер (Teff, log g, [Fe/H], Vt) 4 звезд скопления Гиады. Спектры получены на спектрографе ELODIE на 1.93 м телескопе в обсерватории Верхнего Прованса (Франция). Получены избытки 0.1 dex для всех исследуемых элементов.

**Key words:** Stars: fundamental parameters.

## 1. Основные положения анализа звездных спектров

Анализ спектра звезды методом моделей атмосфер сводится к сравнению наблюдаемых фотометрических и спектральных характеристик с соответствующими теоретическими характеристиками, вычисленными на основе моделей атмосфер. В результате определяются: 1) эффективная температура и ускорение силы тяжести в атмосфере; 2) скорость микротурбулентности; 3) содержание элементов, линии которых присутствуют в спектре.

Основными параметрами, задающими модель атмосферы, являются эффективная температура Teff и ускорение силы тяжести в атмосфере g. Для исследования химического состава конкретной звезды необходимо иметь сетку моделей, рассчитанную для некоторого набора значений Teff и g.

Использованные нами модели атмосфер основываются на следующих традиционных предположениях (Соболев, 1985): – атмосфера представляет собой плоско-параллельную среду; – в ней осуществляется условие гидростатического равновесия; – атмосфера отвечает условию лучистого равновесия; – имеет место локальное термодинамическое равновесие (ЛТР).

## 2. Наблюдательный материал и обработка спектров

Спектры для исследуемых звезд получены на 1.93 м телескопе Обсерватории Верхнего Прован-

са (Франция), оснащенном эшелле спектрометром ELODIE. Спектральные разрешение 40 000, диапазон длин волн 4400–6800 Å. Измерение эквивалентных ширин линий велось в диапазоне длин волн 5100–6800 Å. Первичная обработка спектров (экстракция изображений, учет космических частиц, деление на плоское поле и т. д.) была выполнена непосредственно в процессе наблюдений.

Для обработки спектров использовалась программа DECH 20 Галазудина (Галазудинов, 1992), с помощью которой производилось проведение непрерывного спектра, измерение глубин и эквивалентных ширин спектральных линий. Эквивалентные ширины линий измерены методом подгонки профиля Гаусса.

## 3. Определение параметров атмосфер

### 3.1. Эффективная температура

Эффективная температура определялась методом, в основе которого лежит различная реакция той или иной линии химического элемента с различающимися потенциалами возбуждения нижнего уровня, на температуру. Отношения таких линий также чувствительны к температуре.

Степень чувствительности разная для разных линий. Для определения Teff и lg g мы использовали калибровки интенсивностей, полученные Ковтиухом В.В. (Kovtyuh et al., 2003). Внутренняя точность данного метода около 10 К. Диаграмма "содержание элемента – потенциал возбуждения нижнего уровня  $\chi$ " построенная по линиям нейтрального железа дает возможность определить правильно ли вычислена эффективная температура. Такие диаграммы "содержание элемента – потенциал возбуждения нижнего уровня  $\chi$ " рассчитаны по линиям нейтрального железа для четырех исследуемых звезд. Отсутствие зависимости говорит о правильности выбора эффективной температуры.

Таблица 1: Основные характеристики исследуемых звезд.

HD	V	E(B-V)	$\pi''$	Teff	lg g	Vt	[Fe/H]	Mv	Mb	lg $L/L_\odot$
18632	8,3	0,6	0,04266	5104	4,5	0,8	0	5,92	6,18	-0,6
25825	7,82	0,59	0,02141	5928	4,4	2	-0,04	4,36	4,41	0,12
19902	8,15	0,72	0,02373	5591	4,5	1,4	0,01	4,8	4,91	-0,07

Таблица 2: Сравнение полученных нами данных с результатами других авторов (Diane et al., 2003).

HD	наши данные			Diane et al., 2003		
	Teff	lg g	[Fe/H]	Teff	lg g	[Fe/H]
26756	5646	4,5	0,02	5650	4,5	0,06
18632	5104	4,5	0	5000	4,6	0,18
25825	5928	4,4	-0,04	6100	4,5	0,15
19902	5591	4,5	0,01	5600	4,5	0,09

### 3.2. Ускорение свободного падения

В данной работе ускорение силы тяжести  $g$  определялось опираясь на данные о параллаксе звезды, данные о параллаксе  $\pi''$ , звездной величине V в визуальных лучах взяты из сети SIMBAD, болометрическая поправка BC из статьи Флауэра (Flower, 1996).

### 3.3. Определение микротурбулентной скорости

Микротурбулентная скорость  $V_t$  определена из условия независимости содержания нейтрального железа, определенного по конкретной линии от эквивалентной ширины этой линии. В качестве металличности [Fe/H] мы использовали содержание определенное по линиям нейтрального железа.

Полученные значения эффективной температуры, ускорения свободного падения и металличности для двух звезд HD026756, HD025825 хорошо согласуются с данными, опубликованными в статье Польсона, Снедена и Кохрана (Diane et al., 2003). Для других же звезд HD018632, HD019902 наблюдаются различия в определении температуры, что влечет различия в металличности.

На рис. 1 указано местоположение исследуемых звезд на основании определенных нами значений светимостей  $lg L/L_\odot$  и  $lg$  Teff (квадраты), и определения этих параметров, полученные в работе (треугольники). В табл. 1 указаны основные параметры исследуемых звезд.

В табл. 2 приведены полученные нами данные и данные из работы (Diane et al., 2003). На наш взгляд, различие в эффективной температуре Teff обусловлено использованием различных методов определения Teff.

## 4. Определение химического состава

Определение химического состава выполнено в предположении условия ЛТР. Были использованы модели атмосфер Куруца (Kurucz, 1993). Выбор модели осуществлялся стандартной интерполяцией моделей по Teff и lg g. При этом модель по металличности принималась равной солнечной в первом приближении.

Определение содержания элементов Fe, C, Na, Mg, Al, Si, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Y, Zr, Ru, Ba, La выполнено по измеренным эквивалентным ширинам линий с использованием солнечных сил осцилляторов (Kovtyuh & Andrievsky, 1999), по программе Куруца WIDTH9, осуществляющей модельный расчет эквивалентной ширины.

В табл. 3 приведены отношения содержания химического элемента к содержанию железа:

$$\lg(A/Fe) = \lg(A/H) - \lg(H/Fe).$$

Большинство рассматриваемых элементов показы-

Таблица 3: Отношение содержания химического элемента к содержанию железа.

хим. эл-т	HD18632 [A/Fe]	HD19902 [A/Fe]	HD26756 [A/Fe]	HD25825 [A/Fe]
C	-	0,05	-0,05	0,25
Na	0,2	0,03	0,11	0,04
Mg	0,07	0,17	-0,1	-
Al	0,1	0,09	0,39	0,07
Si	0,07	0,09	0,13	0,14
S	-	-	0,28	-
Ca	0,12	0,06	0,02	-0,01
Sc	0,09	0,11	0,02	0,06
Ti	0,16	0,08	0,14	-
V	0,2	0,11	0,15	0,15
Cr	0,14	0,1	0,21	0,2
Mn	0,25	0,21	0,14	0,2
Co	0,28	0,11	0,04	0,36
Ni	0,12	0,08	0,01	0,05
Cu	0,03	0,07	0,02	-
Sr	0,21	-	-	-
Y	0,04	0,34	0,25	-0,08
Zr	-	-	-0,05	-
Ru		0,21	0,08	
Ba	0,37	0,27	0,12	0,02
La	-	-	-	0,21

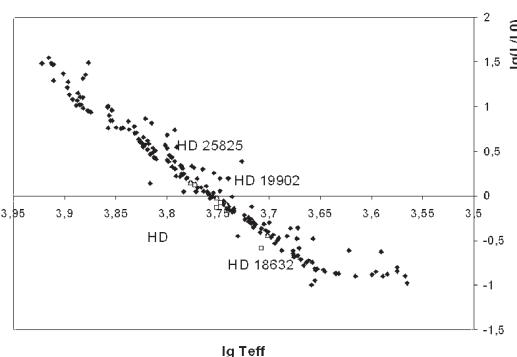


Рис. 1: Диаграмма Гершпрунга-Рассела

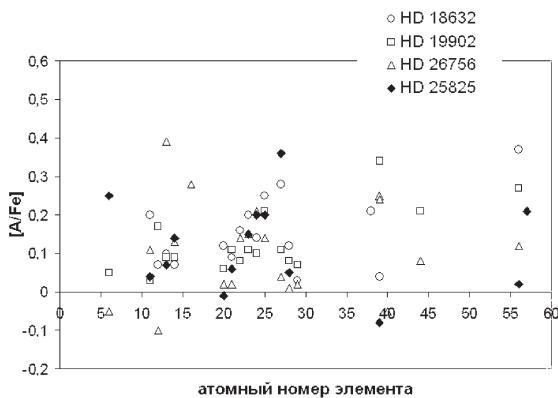


Рис. 2: Сравнение содержания элементов исследуемых звезд

вает небольшой избыток, что соответствует данному возрасту скопления и ранее полученным данным.

В среднем точность определения содержания железа порядка 0,1 dex. Полученные нами содержания железа по линиям нейтрального и ионизованного железа совпадают в пределах точности определения этих содержаний. Поскольку определения были выполнены с использованием ускорения силы тяжести, опираясь на параллаксы, полученное совпадение содержаний по линиям Fe I и Fe II являются косвенным подтверждением выполнения условия локального термодинамического равновесия и возможности использования для определения ускорения силы тяжести метода ионизационного равновесия. На рис. 2 показано сравнительное содержание химических элементов в атмосферах звезд.

### Ошибки определения

В данной работе посчитана погрешность в качестве примера для одной из звезд HD 25825. По-

скольку звезды имеют сходные параметры их ошибки определения химического состава не будут значительно отличаться. Ошибка рассчитывалась по формуле:

$$Total = ((\Delta \lg Teff)^2 + (\Delta \lg g)^2 + (\Delta Vt)^2)^{1/2}$$

В табл. 4 приведена ошибка для каждого из химических элементов.

Таблица 4: Погрешности определения содержания химических элементов.

хим. эл-т	$\Delta \text{Teff}$	$\Delta \lg g$	$\Delta Vt$	Total
Fe	-0,005	-0,005	-0,01	0,005
Fe	0	0,085	-0,06	0,104
C	$6,9 \cdot 10^{-18}$	0,04	0,05	0,064
Na	0,01	0,03	-0,05	0,063
Al	-0,005	0,04	-0,02	0,042
Si	0,005	0,05	-0,02	0,055
Ca	-0,045	0,035	-0,13	0,122
Sc	0,015	0,04	-0,05	0,064
V	0	0,035	-0,02	0,04
Cr	0,06	0,035	-0,02	0,108
Mn	0,005	0,04	-0,08	0,092
Co	0,245	0,275	0,21	0,44
Ni	-0,01	0,035	-0,06	0,067
Zr	-0,005	0,04	-0,01	0,041
Ba	$3,5 \cdot 10^{-18}$	0,045	-0,3	0,303
La	$6,9 \cdot 10^{-18}$	0,04	0,13	0,136

*Acknowledgements.* This work is based on spectra collected with the 1.93-m telescope of the OHP (France) and the ESO Telescopes at the Paranal Observatory under programme ID266.D-5655.

### Литература

- Соболев В.В.: 1985, *Курс теоретической астрофизики* (3-е изд.), М.: Наука, 504 с.  
 Diane B. Paulson, Chr. Sneden & William D. Cochran: 2003, *AJ*, **6**.  
 Kovtyuh V.V., Soubiran C., Belic S.L., Gorlova N.I.: 2003, *A&A*, **411**, 559-564.  
 Flower P.J.: 1996, *AJ*, **469**.  
 Галазудинов Г.А.: 1992, *Препринт Спец. Астрофиз. Обсерватория*, N 92, с. 52.  
 Kurucz R.L.: 1993, *Atlas 9 stellar atmosphere programs and 2 km/s grid*. – Cambridge: Smithsonian Astrophys. Observ., CD-ROM N 13.  
 Kovtyuh V.V., Andrievsky S.M.: 1999, *A&A*, **351**, 597.

# SOME PROBLEMS OF CREATION OF MODERN ASTRONOMICAL TELEVISION MEASURING SYSTEMS

## ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕЛЕВИЗИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Strygin N.Z.<sup>2</sup>, Prokof'eva V.V.<sup>1</sup>, Sukhov P.P.<sup>2</sup>, Karpenko G.F.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ Крымская Астрофизическая обсерватория

<sup>2</sup>НИИ «Астрономическая обсерватория» ОНУ им. И.Мечникова

### **Введение**

Автоматизация наблюдений в телевизионной астрономии синтезирует развитие и достижения оптико-электронного приборостроения, телевизионной и вычислительной техники, электроники, видеоинформатики.

Возникшие новые технологии автоматизированного анализа изображений изменили содержание некоторых понятий, операций обработки, методов измерений числовых характеристик выделенных космических объектов (КО), в том числе и искусственных спутников Земли (ИСЗ) (Стрыгин и др., 2005), породили новые задачи и требуют методологического обоснования.

Рассмотрим некоторые проблемы создания интерактивных АТВИС для наблюдения ИСЗ на примере чёрно-белой полутоновой ТВИС с цифровой обработкой изображений (ЦОИз).

Создание эффективных прикладных (специализированных) ТВИС требует “оптимального согласования отдельных звеньев и всей системы в целом с изучаемыми объектами и преследуемыми в эксперименте целями” (Гуревич, 1970), а также разработки оптимальных методов извлечения требуемой информации путём цифровой обработки получаемых телевизионных изображений (ТВИз).

Фундаментальный характер астрономии как науки, т.е. отсутствие непосредственной связи её с производством и малый объём возможного спроса, не позволяет организовать разработку и промышленный выпуск АТВИС (Прокофьева и др., 2007).

Проблема решается инициативной разработкой АТВИС или доработкой серийных ТВИС в АТВИС силами и средствами обсерваторий. «Штучный» характер изделия и слабые информационная, конструкторская, технологическая и т.д. базы не позволяют рассчитывать на их достаточные точностные, функциональные, эксплуатационные и технико-экономические показатели (Горелик, 1980; Грязин, 1988).

В настоящей статье продолжается рассмотрение проблем разработки АТВИС, начатое в статьях (Стрыгин и др., 2005; Прокофьева и др., 2007).

### **Астрономические телевизионно-измерительные системы (АТВИС)**

АТВИС относится к классу информационно-измерительных систем (ИИС); последний совместно с классами вычислительных, передачи информации (СПИ), контроля и управления, хранения и поиска информации систем образует научно-техническое направление «информационные системы» (ИС) (Цапенко, 1985).

По назначению и выполняемым функциям АТВИС близка к радиоинформационным системам извлечения информации – пассивным радиолокационным станциям оптического диапазона (Березин, Вейцель, 1977).

В то же время, уже в 80-е годы XX века основным инструментом в экспериментальных исследованиях физических систем становятся измерительно-вычислительные комплексы (и системы) с развитыми средствами диалога

(Пытьев, Чуличков, 1983; Пытьев, 1989; Задков, Пономарёв, 1988; Виноградов, 1986; Цапенко, 1985). При этом изменились принципы проектирования приборов и задачи технологии (Пытьев, Чуличков, 1983). Если до применения ЭВМ задачей приборостроения было создание приборов, обеспечивающего наименьшее искажение результатов измерения (например, для астрономии – телескопов с высокой разрешающей способностью), то при использовании ЭВМ и математических методов редукции одной из важнейших задач приборостроения стало уменьшение уровня случайных шумов (Пытьев, Чуличков, 1983).

Общие объекты исследования, принципы построения, стимулы развития, и т.д. всех классов ИС позволяют рассчитывать на появление аналогий и взаимное проникновение новых терминов, понятий, алгоритмов, технических решений, требований на разработку систем и т.д. между разными классами ИС.

## Особенности методологии разработки АТВИС

Однако до сих пор нет методологии создания АТВИС (Прокофьева и др., 2007), поскольку она является сложной системной проблемой. А её необходимо иметь для создания конкретной АТВИС.

В качестве первоочередных задач создания такой методологии можно отметить:

а) Уточнение терминологии, например:

1. Точечным объектом в телевидении считают объект, площадь изображения которого сопоставима с площадью пикселя. «Точечный» размер определяет способ выделения объекта из изображения. В астрономии «точечные» объекты имеют площадь изображения в десятки-сотни пикселов; последние в ЦОИз называют компактными малоразмерными выпуклыми односвязными.

2. В телевидении фоном называют объекты, находящиеся на заднем плане относительно объекта наблюдения; взаимодействие световых потоков объекта и фона – неаддитивное; в астрономии фон может находиться и на переднем плане (Баканас, 2003), а взаимодействие световых потоков объекта и фона может быть также аддитивным и мультипликативным.

3. Зафиксировав объект в 99 кадрах из 100 или 99 объектов из 100 в одном кадре, в обоих случаях используем термин “вероятность обнаружения равна 0,99”, хотя он в каждом случае имеет свой физический смысл и основан на разных вероятностных моделях: вероятность по множеству и вероятность по времени, соответственно.

б) Обоснованное использование сочетания понятий и методов как непрерывной, так и дискретной математики при измерениях на изображениях, например:

1. В задачах анализа изображений предложено несколько метрик для определения расстояния между точками (Прэтт, 1982):

- евклидово расстояние -  $d_E = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$ ,  
 - абсолютное расстояние -  $d_A = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$ ,  
 - максимальное расстояние -  $d_M = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|)$ , но не определено, как измерить расстояние между объектами конечных размеров. Видимо, в АТВИС при квадратной форме пикселя следует измерять расстояния евклидовой метрикой и между виртуальными точками – центроидами оптического излучения КО.

2. Выделение объектов при обработке производится за счет связности пикселов его изображения по некоторому признаку. Для пикселов квадратной формы предложено 2 способа учета связности: 4-х связность и 8-ми связность. Учитывая специфику изображений КО, видимо, в ТВ астрономии достаточно использовать 4-х связность, т.е. связность по соседству сторон пикселов; аналогично следует подходить к связности при пикселях другой формы, например, 6-ти угольной.

3. Существует произвол в определении площадей объектов на цифровых изображениях. На конференции ICASSP'89 Ian T. Young (Young, 1989) показал, что площадь треугольника (половины 16-пиксельного квадрата) может составлять 10, 8 или 4.5 пикселя в зависимости от способа измерения или вычисления:

10 пикселов - при вычислении площади по количеству покрытых пикселов раstra,

8 пикселов - при вычислении площади треугольника по известной формуле,

4.5 пикселя – при измерении расстояний между пикселями (точками конечных размеров) и вычислении площади треугольника по формуле.

в) Формирование классов (моделей) изображений (Из) с учётом как типов наблюдаемых объектов и их композиций, так и условий наблюдения: типов мешающих фонов, помех и искажений внешней средой и изображающими системами.

Задача это сложная. Поэтому подробно рассмотрим ее в следующем разделе

### Особенности цифровой обработки изображений (ЦОИз) в АТВИС

В ЦОИз, как разделе видеинформатики, до сих пор не создана классификация моделей; это обусловлено как неоднозначностью целей и критериев классификации, так и непрерывно увеличивающимся (в связи с развитием науки, техники и производства) множеством сюжетов (объектов изображения), областей приложения и условий наблюдения.

ЦОИз имеет 3 направления: машинную графику (точнее – синтез Из), собственно обработку и анализ Из (Павлидис, 1986).

Машинная графика занимается воспроизведением изображений в тех случаях, когда исходной является информация неизобразительного характера, например, аналитические выражения, алгоритмы, графические примитивы.

Под собственно обработкой Из понимается применение к нему системы преобразований, приводящих его к виду, удобному для представления, хранения, передачи и анализа, или улучшающему его качество. Собственно обработка изображений занимается решением таких задач, в которых и входные, и выходные данные являются изображениями, например, устранение шумов и искажений в системах формирования изображений, реставрация (восстановление) изображений, «смазанных» движением наблюдаемого объекта или движением телевизионного датчика.

Под анализом Из понимается применение к нему системы преобразований, обеспечивающей извлечение из него полезной информации, например, о свойствах изображаемого объекта, о наличии искомого объекта, о динамике изменений наблюдаемого сюжета (Гуревич, 1986). Задачей анализа изображений является получение некоторого описания входного изображения, по которому его можно было бы отнести к некоторому определённому классу Из (Павлидис, 1986; Гуревич, 1986).

При решении задач ОИз «возникает ряд общих вопросов:

1. Как описать или охарактеризовать изображения?
2. Какие математические операции желательно применять при ОИз?
3. Как реализовать (аппаратурно) эти математические операции?
4. Каким образом оценивать качество изображений?» (Хуанг и др., 1973).

При создании АТВИС возникают дополнительно следующие вопросы: как описать естественные фоны, шумы, искажения изображений КО и ИСЗ за счёт турбулентности атмосферы и проницающей способности её в момент регистрации ТВ кадра, а также фоны, шумы и искажения изображений, добавляемые самой изображающей системой.

На рис. 1 приведены основные модели двумерных полей излучения. На рис. 2, 3, 4 приведены структурные схемы изображающих систем, соответственно, в вещательном ТВ, в телевизионной астрономии, в оптико-электронных системах исследования природных ресурсов Земли (ОЭС ИПРЗ).

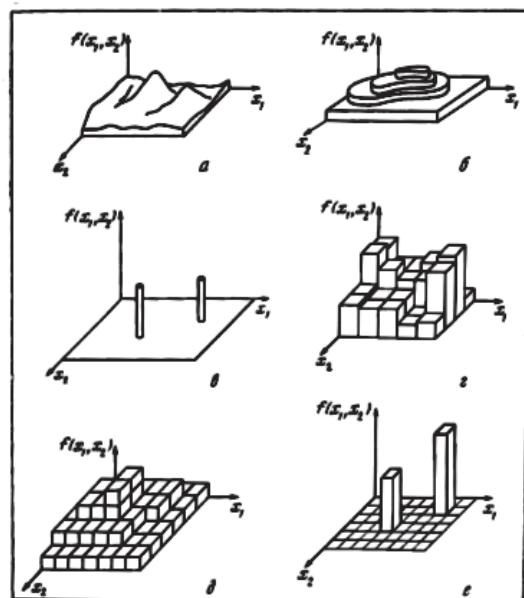


Рис. 1: Основные модели двумерных полей излучений (Здор, Широков, 1973):

*a* – непрерывно–непрерывное; *b* – непрерывно–дискретное; *c* – непрерывно–импульсное; *d* – дискретно–непрерывное; *e* – дискретно–импульсное.

(нет модели квантованной (дискретной) импульсной функции яркости изображения).

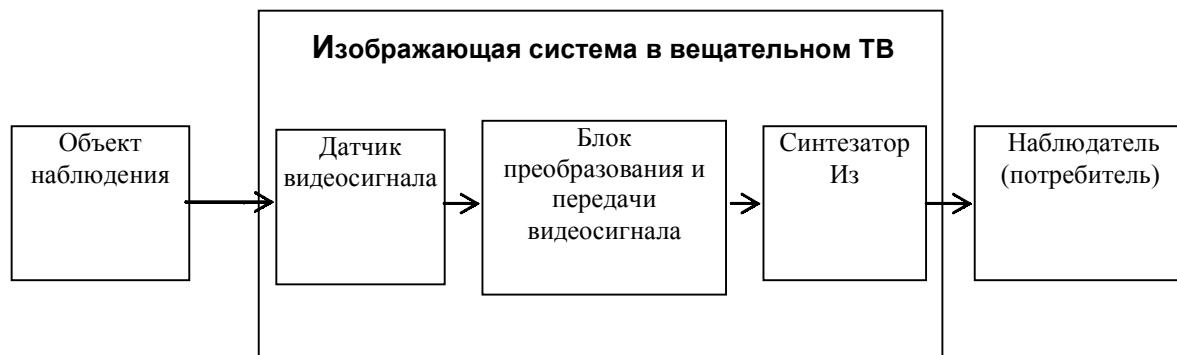


Рис. 2: Изображающая система в вещательном ТВ.

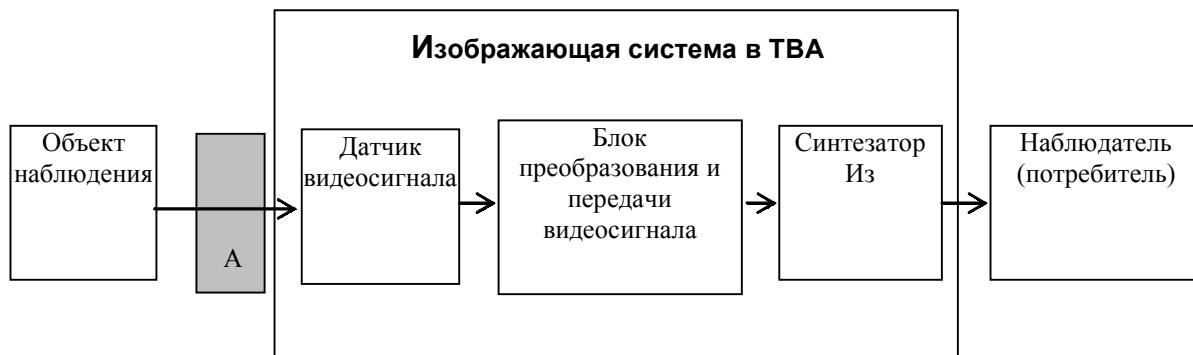
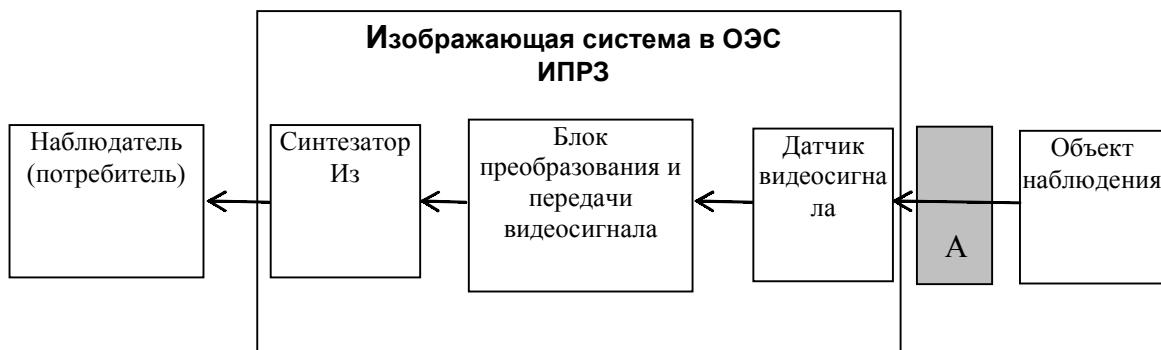


Рис. 3: Изображающая система в телевизионной астрономии.

Рис. 4: Изображающая система в ОЭС ИПРЗ  
(буквой А обозначена разделяющая среда – атмосфера)

Их сравнение показывает, что сложность задач анализа Из в двух последних схемах (естественные условия наблюдения через случайно изменяющуюся неустойчивую среду – атмосферу) существенно выше, чем в первой (стационарные условия наблюдения), причём, во второй схеме значительно выше, чем в третьей (за счёт недоступности объектов наблюдения для непосредственного измерения).

Рассмотрим специфику задачи наблюдения ИСЗ в ТВ астрономии:

1. естественные физическая среда, внешний мир, условия освещения;

2. краткосрочность и невоспроизводимость условий наблюдения;

3. недоступность КО и ИСЗ для непосредственных измерений, в результате чего приходится пользоваться оценками их характеристик, а процесс наблюдения за ИСЗ сводится к регистрации реализаций многомерных случайных процессов;

4. двойственный характер изображений КО: они могут быть фоновыми помехами в виде световых пятен, затрудняющими выделение ИСЗ из изображения, и могут быть сопутствующими объектами, выделение и

определение числовых характеристик которых необходимы для определения последних у ИСЗ;

5. фоновое свечение ночного неба может происходить за счёт рассеянного излучения как КО (находящихся на заднем плане), так и облачных покровов и неоднородностей атмосферы, находящихся на переднем плане.

Потоки излучения от КО, проходя через земную атмосферу, искажаются за счёт случайных процессов рассеяния, поглощения, дифракции, рефракции, турбулентности и т. д. Это не позволяет полностью автоматизировать процессы обработки и анализа изображений, поэтому АТВИС будут и далее системами *полуавтоматическими*.

Площадь отражающей поверхности ИСЗ, его блеск, воспринимаемые наблюдателем на Земле в приборной системе координат, являются случайными функциями времени. ИСЗ воспринимается АТВИС в каждом телевизионном кадре как световой импульс, заданный в компактной односвязной области плоскости кадра площадью от нескольких пикселей до нескольких сотен пикселей.

Звёздное небо воспринимается как световое двумерное импульсное параметрическое поле (ДИПП), наблюдаемое на фоне естественных двумерных случайных динамических полей (или совместно с ними) и в присутствии естественных пространственно распределённых шумов и помех. При этом, изображение звёзд из-за атмосферной турбулентности имеют размер в несколько раз больше теоретического и размытую форму. Уровень естественных шумов в обычных условиях достаточно мал.

Поскольку от типа фона и характера взаимодействия световых потоков КО и фона зависит способ выделения КО на изображении, необходимо разработать классификацию фонов с позиций ЦОИз и определить для известных алгоритмов выделения объектов область применимости их на классах фонов и предельное качество выделения. Последнее обусловлено тем, что числовые характеристики (модель) КО, наблюданного на сложном фоне, выделенного, например, методом пороговой обработки, будут зависеть от выбранного порога  $\Delta$ .

В процессе наблюдения за ИСЗ измеряют их и КО фотометрические и координатные характеристики. Поскольку условия текущего наблюдения (опыта) не воспроизводимы и существуют в ограниченном интервале времени,

возникает проблема достоверности и надёжности результатов измерений АТВИС, как сложной технической системы.

По аналогии с системами передачи информации (СПИ) (Смирнов, 1979; Красильников, 1976; Красильников, 1986; Зубов, Глориозов, 1989) для АТВИС необходимо наполнить своим содержанием понятия «качество изображения», «качество измерения на изображении», «качество АТВИС». Качество АТВИС будет определяться качеством измерения на изображениях и качеством интересующих потребителя показателей (функциональных, эксплуатационных, технико-экономических) системы.

Качество измерения на изображениях принято определять среднеквадратичной ошибкой измерения (некоторой величины, например сигнала или яркости (Красильников, 1976)). Такой критерий качества пригоден для ТВИС, измеряющих одну величину. В АТВИС измеряются три величины: линейные расстояния между КО, площади КО, величины сигналов пикселов изображения КО.

Возникают методологические трудности с обоснованием интегрального критерия качества измерений на изображении и выбора метрик для каждой измеряемой величины, а также методов их измерения.

Качество изображений в вещательном телевидении определяется на основании статистики субъективных визуальных оценок группой потребителей заметности искажений на изображении (Кривошеев, 1989, ч. II).

В связи с отсутствием единого интегрального критерия качества ТВ изображения, однозначно связанного с субъективным восприятием изображения пользователем, качество изображений оценивают совокупностью частных критериев, представляющих собой параметры ТВ изображения. Существует тесная связь между параметрами ТВ изображения и его зрительным восприятием (что и используется при визуальной оценке ТВ изображения по испытательным таблицам (Хесин, 1969)).

Оценка качества изображения в АТВИС должна производиться с позиций её функционального назначения – выделения информации, т.е. должна быть объективной и может охватывать не всё поле изображения, а только его рабочий фрагмент, содержащий локальные окрестности выделяемых КО.

Критерием качества изображения, очевидно, должна служить суммарная сложность алгоритмов ЦОИз (вычислительная или временная) (Юдин Д.Б., Юдин А.Д., 1985), использованных для выделения и определения числовых характеристик (моделей) ИСЗ и опорных звёзд с заданной достоверностью и надёжностью (Прокофьева и др., 2007).

Наиболее масштабное применение ЦОИз находит сегодня в системах технического зрения (СТЗ), выпускаемых промышленностью для систем визуального технологического контроля и робототехники.

По сравнению с АТВИС СТЗ работают в более лёгких условиях: искусственные и стабильные среда, внешний мир, освещение и т.д. Но даже и в этих условиях «*в большинстве случаев задачи ОИз не могут быть полностью формализованы, поэтому методы и алгоритмы их решения носят эвристический характер*» (Путятин, Аверин, 1990).

В развитии СТЗ существует два направления.

Первое ориентируется на создание универсальных исследовательских комплексов (УИК) ОИз в различных технологических ситуациях. Такие комплексы снабжаются набором видеодатчиков, интерфейсами ввода/вывода, мощными компьютерами, развитой системой специального программного обеспечения. Назначение таких систем – исследование и испытание алгоритмов ОИз для различных технологических ситуаций, а также, автоматизированное проектирование архитектур и схемотехники специальных устройств, реализующих полученные алгоритмы.

Второе направление ориентируется на создание специализированных СТЗ для конкретных приложений. Исходными данными могут служить результаты предварительного моделирования системы на УИК, либо априорные сведения о характере (особенностях) входных изображений и эвристические соображения об алгоритмах их обработки (Путятин, Аверин, 1990). Как правило, специализированные СТЗ работают в *реальном*, задаваемом ТВ датчиком масштабе времени.

Опыт разработки СТЗ для роботов показывает, что алгоритмы ЦОИз (например, выделения объектов) эффективны только на тех классах изображений, для которых они разрабатывались (Путятин, Аверин, 1990).

Специализированные системы анализа Из (к

которым относится АТВИС), рассчитаны на обработку только своих специфических классов изображений (Розенфельд, Дейвис, 1979), выделяемых из возможного множества их определённой совокупностью предположений об их структуре. «*Эти предположения, зачастую не формулируемые в явном виде, могут рассматриваться как (возможно, неформальные) модели классов изображений*» (Розенфельд, Дейвис, 1979).

г) Оптимизация технологии цифровой обработки изображений в АТВИС

Оптимизация цифровой обработки изображений зарегистрированных космических объектов в АТВИС предлагается осуществлять в следующей последовательности решений функционально связанных задач:

- 1) регистрация Из;
- 2) улучшение Из;
- 3) реставрация (восстановление) Из;
- 4) выделение (сегментация) изображений КО и ИСЗ;
- 5) измерение их количественных характеристик  $B_i, S_i, (x_0, y_0)_i$ , где  $i = 1, \dots, k$ ,  $k$  – число выделенных КО,  $B_i$  – суммарная яркость площади  $S_i$   $i$ -го КО,  $(x_0, y_0)_i$  – координаты центроида оптического излучения площади  $S_i$ ;
- 6) выбор опорных звёзд;
- 7) представление и описание фрагментов ЗН, содержащих опорные звёзды и ИСЗ;
- 8) отождествление опорных звёзд на последовательности ТВ изображений звёздам каталога;
- 9) определение небесных координат ИСЗ;
- 10) вычисление элементов орбиты.

Первая и последняя задачи не имеют непосредственного отношения к обработке изображений.

Может возникнуть также задача эффективного кодирования изображений с целью их передачи или хранения.

Решаемые АТВИС задачи относятся и к собственно обработке Из (улучшение, реставрация Из), и к анализу Из (выделение КО и ИСЗ из изображений, измерение их количественных характеристик, представление и описание фрагментов ЗН, содержащих ИСЗ, отождествление опорных звёзд на последовательности ТВ Из по звёздам каталога).

Технологическая схема ЦОИз в АТВИС при наблюдениях ИСЗ приведена на рис. 5.

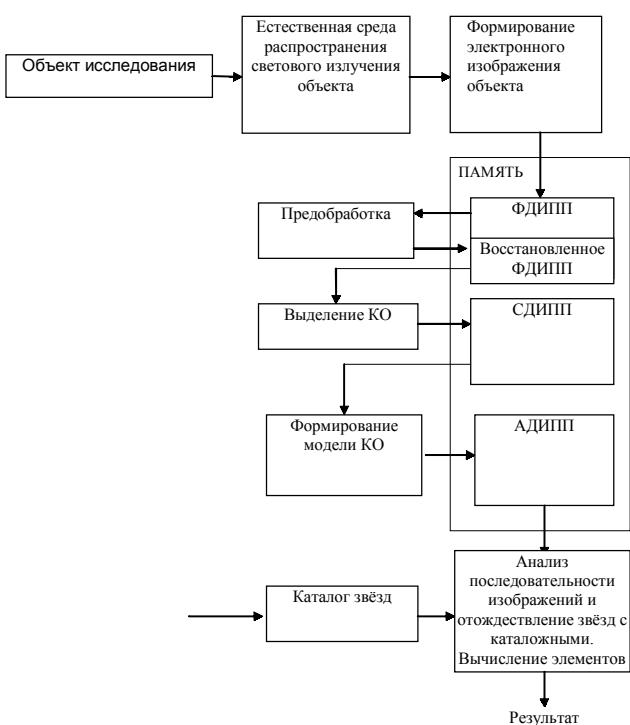


Рис. 5: Технологическая схема ЦОИз в АТВИС при наблюдениях ИСЗ.

*Улучшение изображения* – такая обработка его, чтобы результат оказался более приемлемым для конкретного применения (Гонсалес, Вудс, 2005). При улучшении Из не делается попытка приблизить воспроизведенное Из к некоторому идеализированному оригиналу (такая задача решается при реставрации Из) (Прэтт, 1982). В ряде случаевискажённое Из субъективно воспринимается лучше, чем неискажённый оригинал (например, при подчёркивании границ (контуров)) (Прэтт, 1982).

Общей теории улучшения изображений не существует (Гонсалес, Вудс, 2005; Прэтт, 1982). Одна из причин – нет общепринятого стандарта качества Из, который мог бы служить критерием при создании систем улучшения Из (Прэтт, 1982).

Большинство методов улучшения изображений являются эвристическими и проблемно-ориентированными (Гонсалес, Вудс, 2005; Алексеев и др., 1988), и успех приложения метода к конкретному Из зависит от субъективного суждения пользователя (при визуальной интерпретации Из) (Гонсалес, Вудс, 2005; Алексеев и др., 1988), или от значения количественного критерия конечного результата (при машинном восприятии), например, в системе распознавания – повышения надёжности распознавания (Гонсалес, Вудс, 2005).

Улучшение изображений достигается посредством их обработки с помощью операторов (Алексеев и др., 1988). Исходя из свойств последних, существующие методы можно разделить на классы по:

- 1) размеру области, покрываемой оператором (локальный и глобальный);
- 2) чувствительности оператора к контексту (позиционно-инвариантный – с фиксированными параметрами – и адаптивный, в котором параметры изменяются в соответствии с локальными характеристиками изображений);
- 3) цели обработки (устранение шума и улучшение признаков, представляющих интерес для потребителя; на практике часто используются комбинированные операторы, одновременно, устраняющие шум и улучшающие признаки);
- 4) типу привлечённых методов (а – пространственное сглаживание; б – преобразование градаций яркости; в – улучшение контуров; г – фильтрация в частотной области).

Чёткого различия между улучшением Из и реставрацией Из нет; в 70-е годы ряд авторов даже рассматривал улучшение Из как проблему реставрации Из (Алексеев и др., 1988).

### Восстановление (реставрация) изображений

Восстановление изображений – это научное направление по разработке методов и средств компенсации искажений, вносимых в изображения в процессе их формирования различными системами (Василенко, Тараторин, 1986).

Восстановление изображений имеет конечной целью повышение качества (т.е. и улучшение) изображений в некотором заранее предопределённом смысле (Гонсалес, Вудс, 2005); отсюда следует, что «улучшение изображений» является родовым понятием по отношению к понятию «восстановление изображений», хотя и высказывалось противоположное мнение, например, в (Алексеев и др., 1988).

При восстановлении, используя априорную информацию о явлениях и процессах, которые вызвали ухудшение изображения, пытаются воссоздать исходное изображение из искажённого. Методы восстановления основаны на моделировании процессов искажения, оценки параметров искажения, и применении обратных процедур и оценок для воссоздания исходного изображения (Гонсалес, Вудс, 2005; Бейтс, Мак-Доннел, 1989).

Этот подход обычно включает разработку критериев качества восстановления, которые дают возможность объективно оценить полученный результат (Гонсалес, Вудс, 2005).

В АТВИС разработка таких критериев качества затруднена, т.к. искажаются несколько параметров (числовых характеристик) исходной функции изображения  $f(x, y)$  – распределение интенсивности  $f(x, y)$  по её области задания, форма и площадь области задания, – и действительные значения параметров неизвестны и недоступны.

При формировании Из происходит свертка сигнала Из с импульсным откликом изображающей системы. В результате этого Из изменяется. Восстановление Из связано с устранением недостатков его, вызванных ненулевой шириной импульсного отклика изображающей системы. Конечная ширина импульсного отклика приводит к неизбежному снижению разрешающей способности (Хант, 1980). Задача восстановления не имеет единственного решения и усложняется присутствием шумов. Кроме того, изображающая система, формирующая (и одновременно ухудшающая) Из в АТВИС, имеет не постоянные, а изменяющиеся случайным образом параметры. (Хант, 1980).

Восстановление изображений – это одновременно и наука, и искусство, считают Р. Бейтс и М. МакДоннел (Бейтс, МакДоннел, 1989).

Наиболее изучены и широко используются для приближённого описания многих типов искажений линейные пространственно (трансляционно) – инвариантные модели с аддитивным шумом.

Модель процесса искажения/восстановления изображений приведена на рис. 6 (Гонсалес, Вудс, 2005).

$$(1) \quad g(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(\alpha, \beta) h(x - \alpha, y - \beta) d\alpha d\beta + n(x, y),$$

(Гонсалес, Вудс, 2005)

где:  $f(\alpha, \beta)$  – входное (исходное), а  $g(x, y)$  – выходное (искажённое) Из изображающей системы;  $n(x, y)$  – пространственный некоррелированный шум, описываемый независящими от точки пространства случайными величинами; считается, что шум не коррелирует с функцией изображения  $f(x, y)$ ;

$h(x - \alpha, y - \beta) = H[\delta(x - \alpha, y - \beta)]$  (Гонсалес, Вудс, 2005) – импульсный отклик (аппаратная

функция, функция рассеяния точки (ФРТ)) всей изображающей системы – ядро искажающего оператора  $H$  (Гонсалес, Вудс, 2005); т.о., функция  $h(x, \alpha, y, \beta)$  представляет собой отклик оператора  $H$  на  $\delta$ -функцию, локализованную в точке  $(x, y)$ ;  $\delta(x - \alpha, y - \beta) – \delta$ -функция Дирака.

Структура искажающего оператора бывает достаточно сложной. Можно считать, что в общем случае оператор  $H$  эквивалентен нескольким последовательным операторам, каждый из которых соответствует различным стадиям формирования Из изображающей системой (см. рис. 3):

$$H = H_{\text{сч}} H_p H_{\text{кв}} H_d H_{\text{п}} H_{\text{пр}} H_{\text{ос}} H_{\text{атм}},$$

(Василенко, Тараторин, 1986),

где

$H_{\text{атм}}$  – оператор искажения атмосферой,

$H_{\text{ос}}$  – оператор искажения оптической системой,

$H_{\text{пр}}$  – оператор искажения преобразователем свет–сигнал,

$H_{\text{п}}$  – оператор искажения предварительным усилителем,

$H_d$  – оператор искажения при дискретизации Из,

$H_{\text{кв}}$  – оператор искажения при квантовании Из,

$H_p$  – оператор искажения при регистрации оцифрованного сигнала Из,

$H_{\text{сч}}$  – оператор искажения при считывании оцифрованного сигнала Из.

При этом операторы могут быть линейными ( $H_{\text{ос}}$ ), нелинейными ( $H_{\text{пр}}, H_{\text{п}}$ ), случайными ( $H_{\text{сч}}, H_p, H_{\text{кв}}, H_d$ ), нелинейными случайными и зависящими от времени ( $H_{\text{атм}}$ ).

Уравнение (1) представлено в пространственной области; обычно свёртка обозначается (Гонсалес, Вудс, 2005):

$$(2) \quad g(x, y) = h(x, y) \otimes f(x, y) + n(x, y)$$

что, при переходе в частотную область, даст, согласно теореме о свёртке:

$$(3) \quad G(u, v) = H(u, v)F(u, v) + N(u, v),$$

где  $G(u, v)$ ,  $H(u, v)$ ,  $F(u, v)$ ,  $N(u, v)$  – Фурье–образы соответствующих функций формулы (2).

Простейшим способом восстановления Из является инверсная фильтрация, которая предполагает получение оценки  $\hat{F}(u, v)$  Фурье–преобразования исходной функции изображения  $f(x, y)$  делением Фурье–преобразования

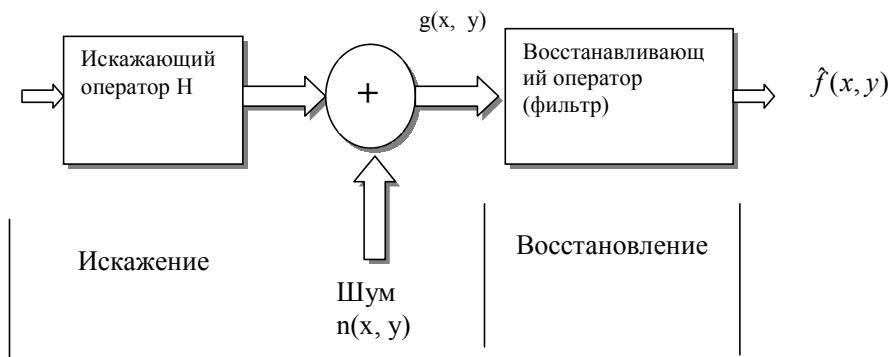


Рис. 6:

искажённой функции изображения  $G(u, v)$  на частотное представление искажающего оператора  $H(u, v)$ :

$$(4) \hat{F}(u, v) = G(u, v)H(u, v)^{-1} = F(u, v) + N(u, v)H(u, v)^{-1}$$

Из (4) видно, что даже при известном операторе  $H(u, v)$  невозможно точно восстановить исходную функцию Из (обратное Фурье-преобразование функции  $F(u, v)$ ), поскольку функция  $N(u, v)$  является Фурье-преобразованием случайной величины и неизвестна. Кроме того, если оператор  $H(u, v)$  принимает нулевые (или близкие к нулевым) значения в некоторых интервалах частот  $u, v$  пространства  $U \times V$ ,  $(u, v) \in U \times V$ , то вклад второго слагаемого в правой части формулы (4) может стать доминирующим. Возможным способом устранения отмеченной сингулярности является применение полосовых фильтров с  $H(u, v)^{-1} = 0$  в этих интервалах, срезающих спектральные компоненты в опасных интервалах частот (Сондхи, 1973; Гонсалес, Вудс, 2005).

Обычно оператор  $H(u, v)$  к моменту наблюдения неизвестен. Аппаратурные операторы искажений  $H_{\text{сн}}, H_p, H_{\text{кв}}, H_d, H_{\text{пн}}, H_{\text{пр}}, H_{\text{oc}}$  могут быть предварительно измерены при тестировании аппаратуры. Оператор  $H_{\text{атм}}$  может быть представлен моделью (Hufnagel, Stanley, 1964), но необходимо оперативно определять её параметр:

$H_{\text{атм}}(u, v) = \exp(-k(u^2 + v^2)^{5/6})$ , (Гонсалес, Вудс, 2005)  
где константа  $k$  описывает турбулентные свойства атмосферы.

Трансляционно-неинвариантные модели можно свести к набору трансляционно-инвариантных моделей, справедливых для соответствующих фрагментов, на которые разбивается область Из.

Линейные методы имеют практическим пределом расстояние разрешения  $x_0 \sim R/2$ , где  $R$  – рэлеевское расстояние (Фриден, 1979).

Нелинейные и трансляционно-неинвариантные методы являются более общими (и обычно более точными), например, нелинейные методы позволяют уменьшить предельное расстояние разрешения  $x_0$  до  $R/4$  (Фриден, 1979), но их использование часто приводит к непреодолимым или очень трудно решаемым численными методами проблемам (Гонсалес, Вудс, 2005).

«Пригодной для практических целей общей теории нелинейной обработки не существует, как не существует общей классификации нелинейных интегральных уравнений (Краснов, 1975); когда такие операции встречаются в конкретных приложениях, каждую из них приходится рассматривать в отдельности» (Хуанг, 1979).

«В то же время, главной областью применения нелинейных методов является реставрация таких импульсных объектов, как звёзды, линейчатые спектры, и т.п.» (Фриден, 1979).

Нелинейные методы реализуются, как правило, итеративными алгоритмами. Необходима разработка алгоритмов, обеспечивающих получение решения в замкнутой форме (Фриден, 1979).

### Сегментация (выделение) изображений КО и ИСЗ

Сегментация заключается в автоматическом разбиении Из на содержательно интерпретируемые области; её важным частным случаем является задача выделения (обнаружения) объектов, различных как по своим яркостным и геометрическим свойствам, так и по физической интерпретации (Денисов, Низовкин, 1985).

Автоматическое выделение (сегментация) некоторых объектов из изображений (если эти изображения не являются *тривиальными*), принадлежит к числу самых трудных и сложных задач ОИз (Гонсалес, Вудс, 2005).

В идеальном случае разработка методов сегментации для некоторой модели (класса) изображений должна опираться на специальные знания о сюжете и на знания аппаратуры и технологических процессов изображающей системы (Розенфельд, Дейвис, 1979).

Разработанный для определённой модели (класса) изображений метод сегментации обладает, тем не менее, некоторой универсальностью, то есть, применимостью и к некоторому множеству классов изображений. Однако, применимость какого-либо из стандартных методов сегментации к некоторому новому классу изображений не всегда очевидна – она определяется соотношением модели этого класса и моделей, лежащих в основе стандартных методов сегментации (Розенфельд, Дейвис, 1979).

*«Как правило, алгоритмы сегментации изображений основываются на одном из двух базовых свойств сигнала яркости: разрывности и однородности.*

*В первом случае подход состоит в разбиении Из на основании резких изменений сигнала – перепадов яркости на Из. Во втором случае используется разбиение Из на области, однородные в смысле предварительно выбранных критериев»* (Гонсалес, Вудс, 2005; Денисов, Низовкин, 1985).

В задаче сегментации можно выделить *содержательный, формальный, алгоритмический и вычислительный аспекты* (Денисов, Низовкин, 1985).

*Содержательный аспект* предполагает правильное понимание задачи сегментации, которое (несмотря на приведенные выше лаконичное определение) допускает в ряде случаев неоднозначное толкование.

*Формальный аспект* затрагивает математическую формулировку задачи и, естественно, должен предопределять подходы и методы её решения.

*Алгоритмический аспект* отражает конкретное воплощение теоретического метода в последовательность алгоритмических процедур, обеспечивающих достижение конечного результата.

*Вычислительный аспект* рассматривает специфические особенности реализации алгоритмов: выбор структур данных для представления исходных, промежуточных и окончательных результатов вычислений, требований к объёму памяти вычислительных средств, возможности распаралеливания вычислений и т.п. (Денисов, Низовкин, 1985).

### Алгоритм выделения изображений КО и ИСЗ в поле звезд, разработанный в ОАО

Ввиду сложных условий выделения КО простейшие одношаговые алгоритмы работают недостаточно эффективно. Для АТВИС необходима разработка многошаговых адаптивных алгоритмов, учитывающих пространственную корреляцию сигналов пикселей ТВ кадра и их межкадровую (временную) корреляцию. Такой алгоритм разрабатывается в ОАО. Результаты некоторых предварительных сравнительных испытаний его с простейшими алгоритмами выделения (локальным порогом и градиентным методом) приведены ниже.

*Результаты сравнительных испытаний алгоритма ОАО выделения КО с простейшими алгоритмами*



Рис. 7: Исходное изображение  
Здесь рамкой выделен фрагмент ЗН, содержащий 5 ИСЗ (обозначены цифрами 1–5 на рис. 9).



Рис. 8: Фрагмент рис. 7.

Ниже приведены распечатки модельных файлов (АДИПП), исходного фрагмента на рис. 7, соответствующие разным СДИПП.

Рис. 9 (а):

\*\*\* Опорных звёзд: 3  
 \*\*\* Спутников: 5  
 \*\*\* спутник: №1: x = 492, y = 472, площадь: 2, яркость: 750  
 \*\*\* спутник: №2: x = 497, y = 477, площадь: 3, яркость: 592  
 \*\*\* спутник: №3: x = 509, y = 463, площадь: 3, яркость: 655  
 \*\*\* спутник: №4: x = 493, y = 456, площадь: 4, яркость: 884  
 \*\*\* спутник: №5: x = 489, y = 444, площадь: 6, яркость: 835  
 Оп. звезда №1: x = 583, y = 427, площадь: 10, яркость: 2540  
 Оп. звезда №2: x = 517, y = 486, площадь: 44, яркость: 10797  
 Оп. звезда №3: x = 478, y = 566, площадь: 20, яркость: 5080

Рис. 9 (б):

\*\*\* Опорных звёзд: 3  
 \*\*\* Спутников: 5  
 \*\*\* спутник: №1: x = 493, y = 476, площадь: 6, яркость: 905  
 \*\*\* спутник: №2: x = 499, y = 474, площадь: 7, яркость: 735  
 \*\*\* спутник: №3: x = 510, y = 465, площадь: 8, яркость: 916  
 \*\*\* спутник: №4: x = 502, y = 457, площадь: 5, яркость: 568  
 \*\*\* спутник: №5: x = 496, y = 445, площадь: 4, яркость: 798  
 Оп. звезда №1: x = 579, y = 426, площадь: 52, яркость: 6971

Оп. звезда №2: x = 517, y = 486, площадь: 63, яркость: 10710  
 Оп. звезда №3: x = 477, y = 565, площадь: 48, яркость: 8786

Рис. 9 (в):

\*\*\* Опорных звёзд: 3  
 \*\*\* Спутников: 5  
 \*\*\* спутник: №1: x = 497, y = 474, площадь: 6, яркость: 918  
 \*\*\* спутник: №2: x = 502, y = 471, площадь: 6, яркость: 967  
 \*\*\* спутник: №3: x = 508, y = 465, площадь: 7, яркость: 1033  
 \*\*\* спутник: №4: x = 502, y = 458, площадь: 6, яркость: 918  
 \*\*\* спутник: №5: x = 496, y = 446, площадь: 6, яркость: 869  
 Оп. звезда №1: x = 581, y = 427, площадь: 13, яркость: 3048  
 Оп. звезда №2: x = 517, y = 486, площадь: 44, яркость: 10790  
 Оп. звезда №3: x = 478, y = 566, площадь: 21, яркость: 5080

#### Отождествление опорных звёзд на последовательности ТВ изображений по звёздам каталога

Отождествление звёзд некоторого фрагмента ЗН по звёздам каталога – рутинная задача астрономических наблюдений.

Автоматизация её производилась многими исследователями, но предлагавшиеся алгоритмы были недостаточно эффективными ввиду неполного учёта условий задачи:

а) поисковых признаков, в т.ч. меток и их смысла;

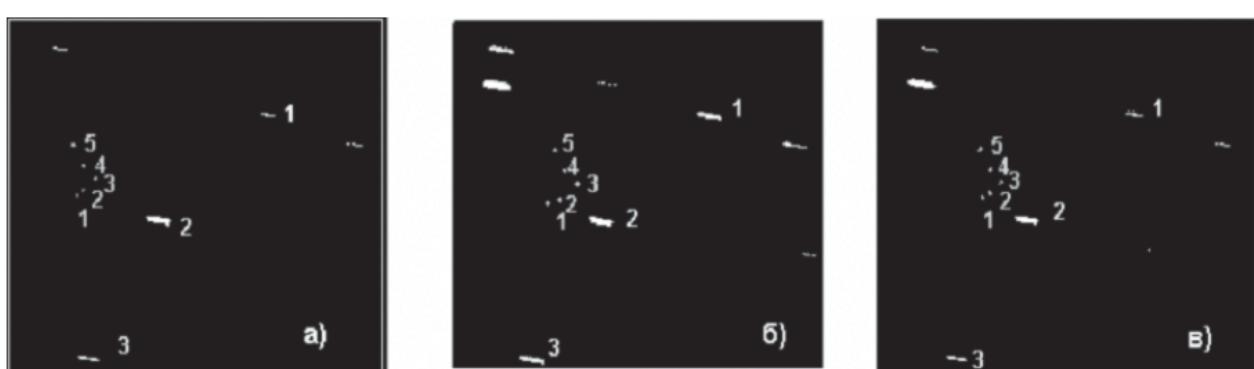


Рис. 9: Фрагмент на рис. 7

Здесь: а) Градиентная сегментация (апертура 5×5); б) сегментация адаптивным локальным порогом (апертура 63×63); в) алгоритм ОАО. Результаты приведены для исходного фрагмента на рис. 7.

- б) наличия функциональных связей между метками;
- в) одношаговости алгоритмов отождествления (применимых только для фотоснимков фрагментов ЗН);
- г) избыточности описания.

Задача отождествления звёзд на последовательности ТВ изображений по звёздам каталога может быть сведена к последовательности задач определения изоморфизма подграфа (Рейнгольд и др., 1980) графа с помеченными вершинами и рёбрами, причём метки являются случайными величинами с разными законами распределения для вершинных и рёберных меток, и последние являются евклидовыми метриками.

В ОАО разрабатывается алгоритм, свободный от указанных недостатков, работающий на последовательности ТВ изображений как при неподвижном, так и подвижном телескопе. Проведены его сравнительные испытания с алгоритмом (Valdes et al., 1995) – модернизированным алгоритмом E. J. Groth (Groth, 1986).

#### **Сравнительное испытание алгоритмов F. G. Valdes et al. и ОАО отождествления звёзд с каталогом:**

Звёзды на снимке рис. 7 алгоритмом (Valdes et al., 1995) отождествить не удалось (по видимому, из-за большой дисперсии положений звёзд и большой чувствительности алгоритма к изменению масштаба Из). Алгоритм ОАО отождествил все 8 автоматически выбранных им опорных звёзд и определил небесные координаты всех 5 ИСЗ, присутствующих во фрагменте рис. 8.

Ниже приведена распечатка файла результата отождествления звёзд рис. 7.

Координаты спутников:

Спутник №1:

RA: 01<sup>h</sup>43<sup>m</sup>55<sup>s</sup>.100

DE: -06°54'41.40"

Спутник №2:

RA: 01<sup>h</sup>43<sup>m</sup>44<sup>s</sup>.277

DE: -06°57'41.84"

Спутник №3:

RA: 01<sup>h</sup>43<sup>m</sup>33<sup>s</sup>.642

DE: -06°59'17.17"

Спутник №4:

RA: 01<sup>h</sup>43<sup>m</sup>41<sup>s</sup>.806

DE: -07°01'18.56"

Спутник №5:

RA: 01<sup>h</sup>43<sup>m</sup>33<sup>s</sup>.642

DE: -06°59'17.17"

#### **Заключение**

Поскольку по вышеприведенным причинам разработка специализированных информационно-вычислительных комплексов (ИВК) для обработки изображений ЗН вряд ли возможна в ближайшее время, рядовым обсерваториям придётся ориентироваться на использование ИВК общего назначения и разрабатывать специализированные программные комплексы. Следует, очевидно, при подготовке астрономов ориентировать их на автоматизированные технологии наблюдения и цифровую обработку изображений ЗН, что является **насущной необходимостью** в наступившую эпоху информатизации общества.

#### **Литература**

- Алексеев А.Б., Пяткин В.П., Дементьев В.Н. и др. Автоматизированная обработка изображений природных комплексов Сибири.–Новосибирск, «Наука», 1988.–224 с.
- Баканас В.В. // Сб. «Околоземная астрономия. 2003» Труды конф., Т–2. Терскол, 8–13 сент. 2003 г. Изд. Ин-т Астрономии РАН. С-П: 2003, с. 276–283.
- Бейтс Р., Мак-Доннел М. Восстановление и реконструкция изображений.–М.:«Мир», 1989.–336 с.
- Березин Л.В., Вейцель В.А. Теория и проектирование радиосистем. Под ред. В.Н. Типугина.–М.: «Сов. Радио», 1977.–448 с.
- Василенко Г.И., Тараторин А.М. Восстановление изображений.–М.: Радио и Связь, 1986.–304 с.
- Виноградов В.И. Информационно–вычислительные системы: распределённые модульные системы автоматизации.– 2–е изд.–М.: Энергоатомиздат, 1986.– 336 с.
- Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений.–М.:Техносфера, 2005.–1073 с.
- Горелик С.Л. и др. //Телевизионные измерительные системы. М: «Связь», 1980. 168 с.
- Грязин Г.Н. // Оптико-электронные системы для обзора пространства: системы телевидения. Л.: Машиностроение, Л.О., 1988, 224 с.
- Гуревич С.Б. //Теория и расчёт невещательных систем телевидения. Л: «Энергия» ЛО, 1970. 236с.
- Гуревич И.Б. Анализ изображений как математическая задача, в кн. (Павлидис, 1986).
- Денисов Д.А., Низовкин В.А. Сегментация изображений на ЭВМ, «Зарубежная радиоэлектроника», №10, 1985, с. 5–30.
- Задков В.Н., Пономарёв Ю.В. Компьютер в эксперименте: Архитектура и программные средства систем автоматизации.–М.: Наука, Гл. Ред. Физ–Мат. лит., 1988.– 376 с.
- Здор С.Е., Широков В.Б. Оптический поиск и распознавание.–М.: Наука,1973.–240 с.

- Зубов Ю.Б., Глориозов Г.П. // Передача изображений. – 2-е изд.–М.: Радио и Связь, 1989.– 336 с.
- Красильников Н.Н.// Статистическая теория передачи изображений. М. Связь, 1976. 184 с.
- Красильников Н.Н. // Теория передачи и восприятия изображений. Теория передачи изображений и её приложения.–М.: Радио и Связь, 1986.– 248 с.
- Краснов М.Л. Интегральные уравнения. Введение в теорию. – Гл. ред. Физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1975. – 304 с.
- Кривошеев М.И. // Основы телевизионных измерений.3-е изд. М Радио и Связь,. 1989. 608 с.
- Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений.–М.: Радио и Связь, 1986.–400 с.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Стрыйгин Н.З., Сухов П.П., Карпенко Г.Ф. Некоторые современные проблемы создания астрономических телевизионно-измерительных систем (АТВИС) для наблюдений за ИСЗ. Известия КрАО. Т. 103, №3, 2007, с. 238.
- Прэтт У. // Цифровая обработка изображений. М. Мир. 1982. Кн.2. 480 с.
- Путятин Е.П., Аверин С.И. // Обработка изображений в робототехнике. М., Машиностроение, 1990. 320 с.
- Пытьев Ю.П., Чуличков А.И. Прибор+ЭВМ = Новые возможности.–М.: «Знание», 1983.–64 с.– (сер. «Математика, кибернетика», №3).
- Пытьев Ю.П. Математические методы интерпретации эксперимента.– М.: Вышш. Шк, 1989.– 351 с.
- Рейнгольд Э., Нивергельт Ю., Део Н. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика.–М.:«Мир», 1980.–498 с.
- Розенфельд А., Дейвис Л.С. Сегментация и модели изображений, ТИИЭР, т. 67, №5, май 1979, с. 71–81.
- Смирнов А.Я. //Математические модели передачи изображений. М. Связь, 1979. 96 с.
- Сондхи. Реставрация изображения: устранение пространственно-инвариантных искажений, «Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин». Под ред. Г.Эндрюса и Л.Инло, М.: «Мир», 1973, сс. 137-152.
- Стрыгин Н.З., Сухов П.П., Карпенко Г.Ф. О корректности задач телевизионных измерений при наблюдениях ИСЗ, «Околоземная астрономия– 2005», РАН ИНАСАН, Казань, 2005, с. 301–305.
- Фриден Б., Улучшение и реставрация изображений, сб. «Обработка изображений и цифровая фильтрация».– М.: «Мир», 1979.–320 с.
- Хант Б. Р.. Цифровая обработка изображений, сб. «Применение цифровой обработки сигналов». Под ред. Э. Оппентейма.–М.: «Мир», 1980.–552 с.
- Хесин А. Я. // Автоматический анализ качества телевизионного изображения. Рига. Зинатне. 1969. –164 с.
- Хуанг, Шрейбер, Третьяк. Обработка изображений, «Обработка изображений при помощи цифровых вычислительных машин». Под ред. Г.Эндрюса и Л.Инло, М.: «Мир», 1973, сс. 17–47.
- Хуанг Т. Введение /сб.: «Обработка изображений и цифровая фильтрация». Под ред. Т. Хуанга.–М.: «Мир», 1979.–320 с.
- Цапенко М.П. // Измерительные информационные системы. Структуры и алгоритмы, системотехническое проектирование. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат. 1985. 440 с.
- Юдин Д.Б., Юдин А.Д. // Число и мысль. Вып. 8 (Математики измеряют сложность). М., Знание, 1985. 192 с.
- Groth E.J. A Pattern Matching Algorithm for Two-Dimensional Coordinate Lists, “The Astronomical Journal”, v. 91, № 5, May, 1986, p.p. 1244–1248.
- Hufnagel R.E. and Stanley N.R. “Modulation Transfer Function Associated with Image Transmission through Turbulent Media”, Journ. Opt. Soc. Amer.; Vol. 54, pp. 52-61, Jan. 1964.
- Valdes F.G., L. Campusano E., Velasquez J.D., Stetson P.B., FOCAS Automatic Catalog Matching Algorithms, “Publications of the Astronomical Society of the Pacific”, v. 107, Nov., 1995, p.p. 1119–1128.
- Young Ian T. Modern Digital Image Analysis, “ICASSP'89: Int. Conf. Acoust., Speech and Signal Process., Glasgow, 23–26 May, 1989”, New-York (N. Y.), 1989, v. 3, pp. 1696–1702.

THE SPECTRAL AND PHOTOMETRICAL STUDY OF THE  
 NOVA V1494 AQL = 1999 N2 in 2003 – 2006 yrs  
 СПЕКТРАЛЬНОЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ  
 ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ V1494 AQL = 1999 N2  
 В 2003 – 2006 гг

S.S. Tkachenko<sup>1</sup>, E.P. Pavlenko<sup>1,2</sup>, V.P. Goranski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Tavrida National University, Simferopol', Ukraine *wishmaster84@list.ru*

<sup>2</sup> Crimean astrophysical observatory, Nauchny, Ukraine *guslik2000@mail.ru*

<sup>3</sup> Sternberg astronomical institute, Moscow, Russia

**АННОТАЦИЯ.** Новая V1494 Aquilae 1999 №2 – одна из ярких новых ушедшего столетия, в максимуме она была звездой 6-й звездной величины. Мы исследовали эту Новую спектроскопически и фотометрически в Крымской астрофизической обсерватории с 2003 по 2007 годы. Спектры были получены 2.07.03 и 7.09.05 на 2.6-м телескопе ЗТШ, а длинные ряды фотометрических измерений были выполнены в полосах BVR на 38-см телескопе К-380 и 2.6-м телескопе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории. Спектроскопические наблюдения 2005 г показали наличие эмиссионных линий Бальмеровской серии, Fe II, N IV, O I, [OI], O II, O V, N II, характерные для оболочек новых. Некоторые профили эмиссионных линий имеют сложную структуру. Профиль  $H_{\alpha}$  по данным 2005 г имеет шесть компонент, которые соответствуют лучевым скоростям от 200 до 1100 км/сек. Спектр Новой отражает крайне неоднородную структуру оболочки, которая в общих чертах является собой структуру типа "экваториальный тор - полярные кольца/шапки".

**Key words:** Stars: binary: cataclysmic;

## 1. Введение

Новая V1494 Aql (Nova Aquilae 1999 №2) была открыта A.Pereira в декабре 1999 года (1.785 UT). Звездная величина на момент открытия была  $m_v \sim 6.0^m$  (Pereira et al. 1999). Ранние спектры, полученные Fujii (1999) и Ayani (1999), показывали профиль Р Cygni в линиях Бальмеровской серии водорода, голубое смещение составляло 1020 и 1200 км/сек соответственно. V1494 Aql была

классифицирована как быстрая новая. Первые короткопериодические модуляции были замечены Retter et al. (2000), он нашел изменения блеска в  $0.03^m$  с периодом 0.0627 дней. Retter, проанализировав свои данные, полученные в период с июня по август (всего 31 ночь), уточнил орбитальный период, оказавшийся равным 0.13467(2) дня. Короткопериодические колебания, в свою очередь, увеличились от  $0.03^m$  в июне до  $0.07^m$  в августе (исследования проводились в полосе R). Barsukova & Goranskii (2003), базируясь на наблюдениях, полученных в полосе V в период с июня по сентябрь 2002, получили орбитальный период, равный 0.1346141(5) дней. Они отметили, что световая кривая ведет себя не совсем обычно и имеет поведение, не свойственное обычным катаклизмическим переменным с горячим пятном на аккреционном диске. Pavlenko, Dudka, & Baklanov (2003) провели наблюдения в нескольких фильтрах и выяснили, что блеск в затмении падает глубже в длинноволновых полосах (в полосе I глубже, чем в полосе V) Pavlenko et al. (2003). Также был проведен спектральный мониторинг (Iijima & Esenoglu, 2003) в период декабрь 1999 - сентябрь 2000. Первые спектры показывали яркие эмиссионные линии H I и FeII, в то время как HeI была видна как линия поглощения. Лучевые скорости, вычисленные по линиям поглощения (HeI, N II), быстро возрастили, в то время как по линии FeII они оставались постоянными. Следующие спектры были получены в фазе перехода. Они содержали большое количество линий H I, He I, He II, N II, N III, Si II, [N II], [O I], [O III], [Fe II], [Fe VI], [Ca V] и т.д., в то время как линия FeII исчезла совсем. Звезда в это время уже показывала квазипериоди-

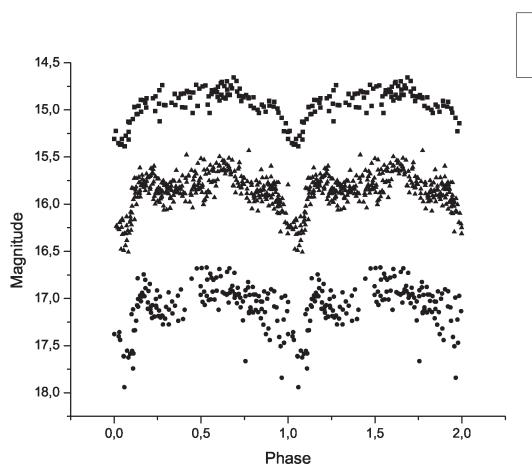


Рис. 1: Зависимость индивидуальных оценок блеска BVR от фазы орбитального периода для 2004 г.

ческие колебания яркости. Эмиссионные линии Не II и [Ca V] исчезали в максимуме блеска, в то время как линии N II и N III усиливались. В это же время крылья эмиссионной линии H I (-2900 км/с и +2830 км/с) указывали на присутствие высокоскоростных джетов. Таким образом существовали большие потери массы системы.

## 2. Фотометрия

Фотометрические наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории в основном на телескопе К-380. Наблюдения выполнялись в инструментальных фотометрических полосах B,V,R системы Джонсона - Моргана. Использовалась ПЗС матрица SBIG ST7. В разные годы наблюдения в течение нескольких ночей были получены на ЗТШ с помощью ПЗС матрицы FLI 1001E в полосах VR системы Джонсона - Моргана.

В то время как спектры дают информацию об оболочке, фотометрия позволяет исследовать двойную систему, находящуюся внутри нее. Из одновременных наблюдений в нескольких спектральных полосах нами были получены затменные кривые блеска, причем, амплитуда затмения растет с уменьшением длины волны. Внезатменный блеск имеет несколько горбов, очертания которых изменяются от ночи к ночи. Фотометрическое поведение Новой подтверждает недавнее предположение (Hachisu et al., 2004) о спиральной структуре аккреционного диска вокруг белого карлика этой двойной системы.

По данным, полученным в 2004 году, был проанализирован и уточнен орбитальный период с точностью до 7 знака. Он равен  $P=0,1346408(6)$  сут. и совпадает с полученным в работе Barsukova & Goranskii

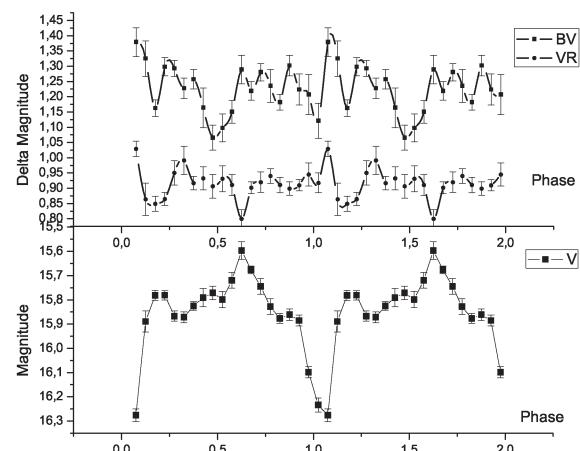


Рис. 2: Зависимости усредненных оценок показателей цвета B-V, V-R и блеска в фильтре V от орбитального периода для 2004 г.

(2003) ( $P=0.1346141(5)$ ) до 4 знака.

На Рис. 1. приведена свертка данных по всем ночам, в разных фильтрах, с периодом  $P = 0,1346408$  суток. На кривой очевидно наличие двух горбов с разной амплитудой. Первый горб ( $\varphi = 0.18$ ), который идет сразу после минимума ( $\varphi = 0,07$ ) имеет амплитуду  $0^m.47$  (V). Второй горб ( $\varphi = 0,625$ ) с более высокой  $0^m.57$  (V) амплитудой, следует сразу после вторичного минимума ( $\varphi = 0,375$ ). Амплитуда колебаний существенно превосходит ошибки наблюдений, поэтому эти колебания реальны. Ошибка составляет  $0^m.02$ . На графиках также видно, что амплитуда колебаний блеска уменьшается с длинной волны. Далее было проведено усреднение данных блеска V и показателей цвета B-V, V-R с шагом 0.05 по фазе периода, это было сделано потому, что наблюдения в фильтрах не были одновременными. Полученные кривые приведены на Рис. 2.

На графике B-V выделяются три детали. Первая - минимум на фазе  $\varphi = 0.18$ , который соответствует первому горбу на кривой блеска. Вторая - минимум на фазе  $\varphi = 0.48$ , который соответствует медленному росту блеска перед вторым горбом. И, наконец, третья - максимум на фазе  $\varphi = 1.07$ , который соответствует полному затмению белого карлика. Для показателя цвета V-R картина повторяется, но второй минимум сдвинут и имеет фазу  $\varphi = 0.62$ .

## 3. Спектроскопия

Спектральные наблюдения проводились на телескопе ЗТШ в 2005 году. В Таблице 1. приведены отождествленные линии спектра. По составу он мало изменился по сравнению с данными, по-

лученными Kamath et al (2005) в 1999 году

величина если учесть что с момента вспышки прошло почти шесть лет.

Таблица 1: Отождествленные линии.

Линия	$\lambda$
FeI	5623.64
FeII	5797.81
C II	5909.38
FeII	5909.38
FeII	6238.375
OI	6261.55
[OI]	6300.31
NII	6328.6
NII	6347.1
[OI]	6363.82
FeI	6464.67
FeI	6494.52
$H_{\alpha}$	6562.817
[NII]	6583.36
FeI	6824.82
OI	7254.47
FeII	7287.36
OII	7330.7
FeI	7351.56
OI	7771.96
FeI	5623.64
FeII	5797.81

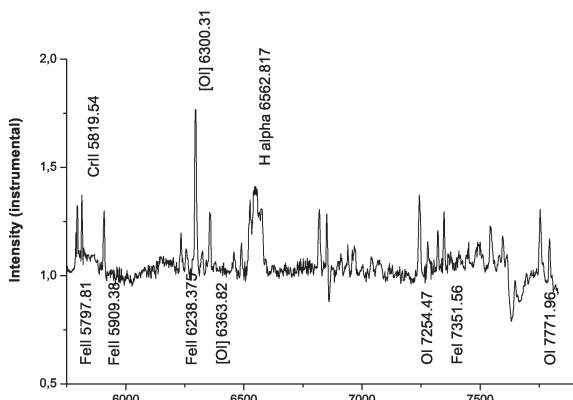


Рис 3: Спектр оболочки

На Рис. 3. приведен спектр оболочки. Следует отметить наличие сложного профиля  $H_{\alpha}$  - он имеет шесть компонент, которые соответствуют лучевым скоростям от 200 до 1100 км/сек. Спектр, полученный нами в 2005 г, также как и спектры, полученные разными авторами ранее, отражают крайне неоднородную структуру оболочки, которая в общих чертах является собой структуру типа "экваториальный тор - полярные кольца/шапки". Судя по профилю 2005 года, скорость разлета оболочки составляет  $\pm 1200$  км/с, а это довольно большая

#### 4. О-С

Для всех наблюдений нами были вычислены морни в Табл. 2. Для них были рассчитаны величины О-С с использованием эфемериды

$$C = 52458,323 + 0,1346138E$$

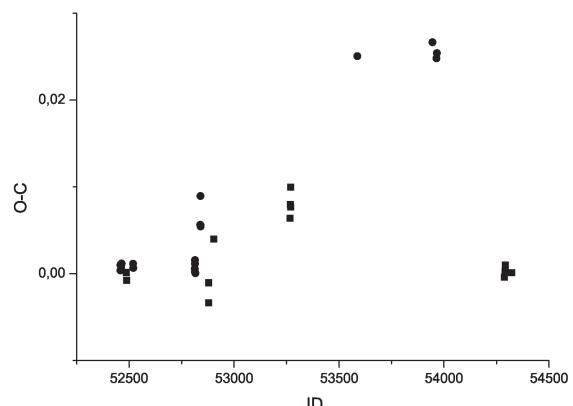


Рис. 4: Зависимость О-С от времени. О-С выражено в сутках, время - в сокращенной Юлианской дате (из Юлианской даты вычтено 24 00000).

Таблица 2: Моменты минимумов(сутки)

Моменты минимумов	Моменты минимумов
52458,3240	52458,4580
52462,4967	52464,5164
52486,4574	52488,3411
52519,3042	52520,2460
52812,7617	52813,4344
52813,7050	52813,8392
52815,8573	52838,4780
52839,4236	52840,3624
52840,4971	52879,3916
52879,3939	52903,3602
53267,3583	53268,3022
53269,3811	53270,3211
53586,4117	53944,4860
53964,4070	53966,4268
54287,3202	54290,4170
54292,3020	54292,4363
54292,4370	54322,4550

Точность определения периода составляет  $\pm 0,0005$  суток. Полученные величины О-С приведены на Рис. 4, где кроме представленных данных

добавлены также данные из литературы (Pavlenko et al., 2003, Tkachenko et al., 2008). Из Рис. 4 видно, что орбитальный период системы показывает изменения на интервале 2000 - 2007 гг. и связано это скорее всего с той же активностью что наблюдается и в спектре оболочки. В полученной зависимости следует отметить две детали. Первая - от момента времени  $\approx 52500$  до  $\approx 54000$  О-С изменяется параболически, указывая на увеличение орбитального периода. Вторая - от момента  $\approx 54000$  до  $\approx 54500$  О-С линейно падают до первоначального значения.

## 5. Аккреционный диск

Вид кривой блеска V 1494 Aql (Рис. 2) отличается от кривых, которые дают затменно-переменные звезды, наличием горбов разной амплитуды. Рассмотрим по порядку наблюдаемые эффекты. В основном минимуме мы имеем затменный блеск V, который В СРЕДНЕМ составляет  $16^m.27$ . Эта величина может меняться от сезона к сезону. Средние показатели цвета при этом равны  $B-V = 1.37^m$ ,  $V-R = 1.03^m$ . Это соответствует преимущественному излучению красного карлика и тех частей аккреционного диска, которые не охвачены затмением. После окончания затмения мы видим, что разность  $B-V$  растет, а  $V-R$  падает, это означает, что в область зрения начинает попадать очень горячая часть тесной двойной системы, а именно аккреционный диск и собственно белый карлик. Присутствие диска дает большой вклад в коротковолновую область спектра. Различие в амплитуде горбов говорит о том, что на диске должно быть яркое образование которое попадает в картинную плоскость после вторичного затмения. Яркое образование, возможно является горячим пятном, образующимся в зоне встречи вещества, истекающего из вторичного компонента, с самим диском.

## 6. Обсуждение

Наше определение скорости разлета оболочки относится к наиболее позднему моменту после взрыва Новой (2005 г.). Принимая во внимание более ранние оценки скоростей оболочки, полученные разными авторами, например,  $\pm 1700$  км/сек для 2000 г. (Iijima & Esenoglu, 2003),  $\pm 2000$  км/сек. для 2004 г (Kamath et al., 2005), мы видим, что на протяжении нескольких лет скорость сброшенной оболочки увеличивалась, а, по крайней мере, на 6-й год после взрыва, она начала уменьшаться, оставаясь достаточно высокой. Это сопровождалось изменениями орбитального периода, что может быть вызвано существенной потерей системой

вещества. Вполне возможно, что характер потери вещества происходил также в виде высокоскоростных джетов, как предполагали Дрейк и др. (2003), Реттер и др. (2006), ведь было показано, что эта Новая, по крайней мере, в первые годы после взрыва, проходила стадию сверхмягкого рентгеновского источника - "SSS".

**Благодарности.** Авторы благодарят Институт Астрономии РАН за предоставленную Терскольской обсерваторией Венско-Одесской ПЗС камеры (University of Vienna, Austria). Эта работа также была выполнена при частичной поддержке грантом ДФФД Ф 25.2/139.

## Литература

- Ayani K.: 1999, in *IAU Circ.* 7324.
- Retter A.: 2004, *ApJ.*, **125**, 142.
- Barsukova E.A., Goranskii V.P.: 2003, *Astron. Lett.*, **29**, 195.
- Drake J., Wagner M., Starrfield S. et al.: *Ap. J.*, **584**, 448.
- Fujii M.: 1999, in *IAU Circ.* 7324.
- Hachisu I., Kato M., Kato T.: 2004, *ApJ*, **606** 139.
- Iijima T. & Esenoglu H.H.: 2003, *A&A*, **404**, 997.
- Kamath G.C., Anupama G.C., Ashok N.M. et al.: 2005, *ApJ.*, in press astro-ph/0506630 v1.
- Kiss L.L., Thomson J.R.: 2000, *A&A*, in press astro-ph/0001519v1.
- Pavlenko E.P., Dudka O.I., Baklanov A.V.: 2003, *Astrophysics*, **46**, 191.
- Pereira A.: 1999, in *IAU Circ.* 7323.
- Retter A., Cook L., Novak R. et al.: 2000, in *IAU Circ.* 7537.
- Retter A.: 2004, *Ap. J.*, **615**, L125.
- Tkachenko S., Pavlenko E., Goranskij V., Andreev M.: 2008, *Astrofizika*, in press.

# THE BASIC FEATURES OF EINSTEIN EQUATIONS WITH COSMOLOGICAL TERM, WHICH LINEARLY DEPENDENTS FROM THE SPACE-TIME RIEMANN CURVATURE SCALAR

## ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА УРАВНЕНИЙ ЭЙНШТЕЙНА С КОСМОЛОГИЧЕСКИМ ЧЛЕНОМ, ЛИНЕЙНО ЗАВИСЯЩИМ ОТ СКАЛЯРА РИМАНОВОЙ КРИВИЗНЫ ПРОСТРАНСТВА-ВРЕМЕНИ

S.I.Vil'chinsky<sup>1</sup>, P.A.Nakaznoy<sup>2</sup>

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

<sup>1</sup>*sivil@univ.kiev.ua*, <sup>2</sup>*nak@univ.kiev.ua*

**ABSTRACT.** The model of variable cosmological term, which linearly dependents from the space-time Riemann curvature scalar is proposed. The basic features of such model: Friedmann equations, their solutions, its asymptotic forms, energy integrals for each kind of matter, newton limit is considered. Especially we have tried to describe observation data of galaxies rotation curves without recourse of dark matter. The positive and negative aspects of this method of attack is reviewed.

**АННОТАЦИЯ.** Рассматриваются основные свойства уравнений Эйнштейна с переменным космологическим членом, который предполагается линейно зависимым от скаляра римановой кривизны. Анализируются положительные и отрицательные свойства такого подхода для дальнейших попыток моделирования темной материи и темной энергии.

**Key words:** variable cosmological term, dark energy, dark matter, rotation curves.

### 1. Введение

Фундаментальным вопросом современной теоретической физики является интерпретация данных последних наблюдений, указывающих на преобладание во Вселенной вещества неизвестной природы, которое разделяют на темную энергию и темную материю ([1]-[5]) (Таблица №1). Здесь применены стандартные обозначения:  $\Omega_i = \frac{\rho_i}{\rho_c}$  — безразмерная плотность,  $\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = (0.6 \pm 0.1) \times 10^{-29} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

Таблица 1: Современный состав Вселенной, полученный из данных наблюдений в рамках стандартной космологической модели ( $\Lambda CDM$ )

типа материи	безразмерная плотность $\Omega$
темная энергия	$\Omega_{\Lambda 0} = 0.7 \pm 0.1$
темная материя	$\Omega_{D0} = 0.3 \pm 0.1$
барионная материя	$\Omega_{B0} = 0.04 \pm 0.02$
излучение	$\Omega_{R0} = 0.8 \cdot 10^{-5} \alpha, 1 < \alpha < 30$

— современное значение критической плотности,  $H_0 = 72 \pm 10 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпс}}$  — современное значение постоянной Хаббла. Для полной плотности материи во Вселенной получено [3]

$$\Omega = 1.02 \pm 0.02.$$

Темную энергию обычно связывают с космологическим  $\Lambda$ -членом в уравнениях Эйнштейна, представляющим собой вклад тензора энергии-импульса вакуума в их правую часть:

$$R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R = \varkappa T_{ik} + \Lambda g_{ik}, \quad \Lambda g_{ik} = \varkappa T_{ik}^{vac}. \quad (1)$$

Так как удовлетворительного вычисления  $\Lambda$ -члена в рамках квантовой теории поля не существует ([6]-[9]) его существование, как правило, ограничивается феноменологическим учетом в уравнениях Эйнштейна и  $\Lambda CDM$  космологической постоянной со значением  $\Omega_{\Lambda 0}$  ([10], [11]). Важным исключением служат модели с переменным в пространстве-времени  $\Lambda$ -членом [12]. На его динамическую природу имеется несколько указаний. Теория инфляции

предсказывает для него громадные значения на инфляционной стадии [13]. Кроме того фазовые переходы вакуума при спонтанном нарушении симметрии также дают большой вклад в значение  $\Lambda$ -члена ([6], [13]).

Поэтому логичным будет допустить изменение космологического члена во времени, а именно его уменьшение в процессе эволюции Вселенной ([14], [15]). Таким образом плотность энергии вакуума при расширении Вселенной также будет уменьшаться, как и плотности энергии других сортов материи ([16], [17]).

визны Вселенной служит скаляр римановой кривизны  $R = g^{ik}R_{ik}$ , где  $R_{ik}$  — тензор Риччи. Поэтому в простейшем случае переменный космологический член будет линейно зависеть от  $R$  [18]:

$$\Lambda = \Lambda_0 - kR, \quad (2)$$

где  $\Lambda_0$  и  $k$  — параметры модели.

Необходимо подчеркнуть, что параметр  $\Lambda_0$  может включать в себя геометрическую космологическую постоянную Эйнштейна, а слагаемое, пропорциональное кривизне можно интерпретировать как отклик вакуума на свое искривление. В таком подходе параметр  $k$  обретает смысл "упругости" пространства-времени<sup>1</sup>.

Зависимость (2) была впервые рассмотрена в работе [18] и является обобщением модели  $\Lambda = -kR$ , предложенной П.И.Фоминым [15] в рамках теории квантового рождения Вселенной ([14]-[15], [20]-[23]).

В данной работе рассматриваются положительные и отрицательные аспекты применения модели (2) для описания темной энергии и материи.

## 2. Проблема темной энергии

Уравнения Эйнштейна (1) для модели (2) принимают следующий вид:

$$R_{ik} - \alpha g_{ik}R = \varkappa T_{ik} + \Lambda_0 g_{ik}, \quad (3)$$

где  $\alpha = \frac{1}{2} - k$ .

Заметим, что из уравнения (3) и тождество  $\nabla^k(R_{ik} - \frac{1}{2}g_{ik}R) = \nabla^k(\varkappa T_{ik} - kRg_{ik}) = 0$ . Таким образом для модели (2) имеет место "сохранение" лишь полного тензора энергии-импульса:  $\tilde{T}_{ik} = T_{ik} + T_{ik}^{vac}$ , где  $\varkappa T_{ik}^{vac} = (\Lambda_0 - kR)g_{ik} \equiv (\varkappa\lambda_0 - kR)g_{ik}$ . Тензор энергии-импульса отдельно взятой материи не сохраняется:

$$\nabla^k T_{ik} = -\beta \nabla_i T, \quad (4)$$

<sup>1</sup>Идеологию упругости пространства-времени в контексте проблемы космологического члена впервые предложил Сахаров [19].

где  $\beta = \frac{k}{1-4k}$ .

Из (3) следует выражение для  $\Lambda$ -члена

$$\Lambda = \Lambda_0 + \frac{k}{1-4k} (\varkappa T + 4\Lambda_0),$$

подстановка которого в уравнения Фридмана для плоской Вселенной ([16], [17])

$$\begin{cases} \dot{a}^2 = \frac{1}{3}\varkappa c^2(\varepsilon + \lambda)a^2 \\ \ddot{a} = -\frac{1}{6}\varkappa c^2(\varepsilon + 3p - 2\lambda)a \end{cases}$$

фактора

$$\begin{cases} \dot{a}^2 = \frac{\varkappa c^2}{1-4k} \left( \left( \frac{1}{3} - k \right) \varepsilon - kp + \frac{\lambda_0}{3} \right) a^2 \\ \ddot{a} = -\frac{\varkappa c^2}{1-4k} \left( \left( \frac{1}{6} - k \right) \varepsilon + \left( \frac{1}{2} - k \right) p - \frac{\lambda_0}{3} \right) a, \end{cases} \quad (5)$$

где  $a(t)$  — масштабный фактор в метрике Фридмана-Робертсона-Уолкера,  $\varepsilon$  и  $p$  — соответственно плотность энергии и давление материи,  $\lambda = \frac{\Lambda}{\varkappa}$ ,  $\lambda_0 = \frac{\Lambda_0}{\varkappa}$ .

Из (5) следует соотношение, указывающее на несохранение энергии данного сорта вещества:

$$\varepsilon a^\sigma = \varepsilon_0 a_0^\sigma, \quad \sigma = \frac{3(1-4k)(1+\nu)}{1-3k(1+\nu)}, \quad (6)$$

где  $\nu = \frac{p}{\varepsilon}$  — параметр уравнения состояния вещества,  $a_0 = \frac{c}{H_0} \sim 10^{28}$  см — хаббловский радиус,  $\varepsilon_0$  — современное значение плотности энергии.

С помощью (6) можно найти интеграл системы (5)

$$\tau = \int_0^x \frac{dy}{\sqrt{\frac{1-3k}{1-4k}(\Omega_{D0} + \Omega_{B0}) y^{-\frac{1-6k}{1-3k}} + \frac{\Omega_{R0}}{y^2} + \frac{\Omega_0}{1-4k}y^2}}, \quad (7)$$

где  $x = \frac{a}{a_0}$ ,  $\tau = tH_0$ ,  $\Omega_0 = \frac{\Lambda_0}{\varkappa\rho_c c^2}$ .

Для предельных значений  $x$  из (7) получим соответственно параболический и деситтеровский режимы расширения [16]:

$$\begin{cases} x \ll 1 \Rightarrow x(\tau) = (\Omega_{R0})^{\frac{1}{4}} \sqrt{2\tau} \\ x \gg 1 \Rightarrow x = x_0 e^{\eta\tau}, \quad \eta = \sqrt{\frac{\Omega_0}{1-4k}}. \end{cases}$$

Для безразмерной плотности  $\Lambda$ -члена найдем:

$$\Omega_\Lambda \equiv \frac{\Lambda}{\varkappa\rho_c c^2} = \frac{\Omega_0}{1-4k} + \frac{k}{1-4k} (\Omega_{D0} + \Omega_{B0}) x^{-\frac{3(1-4k)}{1-3k}}.$$

### 3. Проблема темной материи

Впервые гипотеза о существовании темной материи была выдвинута для интерпретации наблюдений кривых вращений галактик [24]. Проблема здесь, как известно, заключается в том, что для объектов, расположенных в пределах гало, скорость вращения не спадает с расстоянием до центра галактики  $r$  согласно ньютоновской механике как

$$v^2 \sim \frac{GM}{r},$$

где  $M$  — масса галактики, а остается постоянной или возрастает по закону  $v \sim \sqrt{r}$  ([25], [26]). В частности для спиральных галактик установлен феноменологический закон Талли-Фишера [27]

$$v_* \propto M^{1/4}, \quad (8)$$

определяющий соотношение между полной массой (светимостью) галактики и максимальной скоростью ее вращения.

Согласно гипотезе о существовании темной материи, вокруг каждой галактики имеется так называемое гало из холодной темной материи с радиусом, превышающим на порядок видимый размер галактики. Масса сферически симметричного сегмента темной материи возрастает по линейному закону и, таким образом, скорость вращения в поле галактики не зависит от расстояния до ее центра.

Другим способом разрешения проблемы интерпретации кривых вращений галактик является модификация ньютоновской механики, прежде всего второго закона Ньютона и общей теории относительности ([28] – [30]).

Модель переменного космологического члена также приводит к модификации уравнений Эйнштейна (3) и, как следствие, второго закона Ньютона.

Исследуем ньютоновское приближение уравнений (3). Прежде всего заметим, что из (4) в ньютоновском приближении получается соотношение, несогласующееся с уравнением непрерывности [31]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla}(\rho \vec{v}) = -\beta \frac{\partial \rho}{\partial t}. \quad (9)$$

В ньютоновском приближении, как известно, [32]

$$R_0{}^0 = \frac{1}{c^2} \Delta \varphi, \quad T_0{}^0 = T = \varepsilon = \rho c^2,$$

где  $\varphi$  — гравитационный потенциал. Отсюда, используя (3), получим уравнение для гравитационного потенциала (уравнение Пуассона):

$$\Delta \varphi = 4\pi G \frac{1-6k}{1-4k} \rho - \frac{c^2 \Lambda_0}{1-4k}. \quad (10)$$

Слагаемое, пропорциональное  $\Lambda_0$ , очевидно, несущественно в ньютоновском приближении. Однако

из (10) следует, что при  $k \neq 0$  происходит перенормировка гравитационной постоянной. Эта общая черта моделей с плотностью энергии вакуума пропорциональной плотности материи [33].

Найдем уравнение движения частицы в поле  $\varphi$ . Уравнение (4) для тензора энергии-импульса идеальной жидкости [32]  $T_{ik} = (\varepsilon + p) u_i u_k - pg_{ik}$ , приобретает вид

$$\nabla^k [(\varepsilon + p) u_i u_k - pg_{ik}] = -\beta \partial_i (\varepsilon - 3p).$$

Спроектируем полученное уравнение на ортогональные 4-вектора  $u^i$  и  $g^{il} - u^i u^l$ :

$$\begin{cases} \nabla_i (\varepsilon u^i) + p \nabla_i u^i = -\beta u^i \partial_i (\varepsilon - 3p) \\ (\varepsilon + p) u^k \nabla_k u^i = (g^{ik} - u^i u^k) \nabla_k [p - \beta(\varepsilon - 3p)]. \end{cases}$$

В ньютоновском приближении из первого уравнения опять вытекает нарушение уравнения непрерывности (9), а со второго — искомая модификация второго закона Ньютона:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} \approx -\vec{\nabla} \varphi + \beta c^2 \frac{\vec{\nabla} \rho}{\rho}. \quad (11)$$

Таким образом эффективное ускорение частицы в гравитационном поле будет содержать дополнительное слагаемое, которое можно интерпретировать как силу, действующую в сторону градиента плотности вещества. Даже с учетом априорной ма-  
лости параметра  $k$ , коэффициент пропорциональности  $k c^2$  при логарифмической производной от плотности материи опровергает рассмотренную теорию, так как она не содержит в себе как предельный случай второй закон Ньютона, а, следовательно, не согласовывается с классической механикой<sup>2</sup>.

Интересно заметить, что аномальное ускорение, являющееся недостатком при описании макроскопического мира, позволяет удовлетворительным образом описать наблюдаемые кривые вращения галактик без привлечения гипотезы о темной материи.

Поверхностная яркость спиральных галактик приближенно описывается эмпирическим экспоненциальным законом [34]

$$i(r) = i_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right), \quad (12)$$

где  $i_0$  и  $r_0$  — параметры галактики. Считая светимость и массу пропорциональными для объектов, расположенных за видимыми границами галактики, т.е  $r \gg r_0$  с (11) и (12) найдем:

$$\frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r} + \frac{\beta c^2}{r_0}. \quad (13)$$

<sup>2</sup>На этот недостаток модели (2) и его связь с интерпретацией кривых вращения галактик впервые указал Ю.В.Штанов (частное сообщение)

Начиная с расстояния  $r_* = \sqrt{\frac{GMr_0}{\beta c^2}}$  постоянное слагаемое в формуле (13) начинает доминировать над спадающим ньютоновским потенциалом. Расстоянию  $r_*$  отвечает скорость вращения  $v_* = \left(\frac{\beta c^2 GM}{r_0}\right)^{1/4}$ , что согласовывается с законом Талли-Фишера (8). При  $r > r_*$  из (13) вытекает увеличение скорости  $v$  по закону

$$v(r) \approx v_* \sqrt{\frac{r}{r_*}}.$$

В завершение рассмотрим произвольную функциональную зависимость космологического члена от скаляра римановой кривизны:

$$\Lambda = f(R) g_{ik}. \quad (14)$$

После расчетов, аналогичных вышеизложенным, можно убедиться в том, что дополнительное ускорение частицы в поле гравитационного потенциала  $\varphi$  будет иметь следующий вид:

$$\vec{a} = \frac{1}{\kappa} \frac{\vec{\nabla} f(R)}{\rho} = c^2 \frac{\vec{\nabla} F(\rho)}{\rho}, \quad (15)$$

где  $F(\rho)$  имеет размерность плотности. В последнем равенстве учтена связь между скаляром римановой кривизны  $R$  и сверткой тензора энергии-импульса вещества  $T$ , следующая из уравнений Эйнштейна.

Для согласования модели (14) со вторым законом Ньютона и данными наблюдений вращений галактик  $F(\rho)$ , очевидно, должна удовлетворять, как минимум, двум условиям. Дополнительное ускорение (15) должно быть одного порядка с гравитационным  $-\nabla\varphi$  для небольших астрофизических плотностей вещества  $\rho$  и обращаться в ноль для больших значений  $\rho$ :

$$\begin{cases} c^2 \frac{\nabla F(\rho)}{\rho} \sim \frac{GM}{r^2}, & \rho \sim \rho_c \\ c^2 \frac{\nabla F(\rho)}{\rho} \ll \frac{GM}{r^2}, & \rho \gg \rho_c. \end{cases}$$

#### 4. Выводы

Предложенная модель линейно зависимого от скаляра римановой кривизны пространства-времени космологического члена позволяет удовлетворительно описать резкое уменьшение плотности энергии вакуума на начальных стадиях эволюции Вселенной и кривые вращения галактик. Хотя при этом остается много концептуальных и технических вопросов, таких как детальное фиттингование параметров модели из данных наблюдений, описание

флуктуаций анизотропии реликтового излучения и гравитационного линзирования, возможное физическое проявление несохранения энергии и нарушения уравнения непрерывности, главным ее недостатком, безусловно, является аномалия во втором законе Ньютона, описывающим эффективное ускорение частицы в гравитационном поле с учетом взаимодействия с физическим вакуумом.

Однако изучение данной модели позволяет утверждать, что отказ от нее не должен сопровождаться отказом от всего направления. Действительно, выглядела бы излишне самоуверенной надежда на то, что первая рассмотренная простейшая модель позволит разрешить фундаментальный вопрос современной физики. В дальнейшем необходимо рассмотреть более сложные модели и провести более детальное сопоставление с результатами современных наблюдений. Лишь после этого можно будет делать выводы об адекватности концепции переменного космологического члена к описанию Вселенной.

*Благодарности.* Авторы благодарны Ю.В.Штанову за предоставленные расчеты, которые были использованы в этой работе.

#### Литература

- [1] Riess A.G. et al.: 1998, *Astron. J.*, **116**, 1009.
- [2] Perlmutter S. et al.: 1999, *Astrophys. J.*, **517**, 565.
- [3] Spergel D.N. et al.: astro-ph/0603449.
- [4] Page L. et al.: astro-ph/0603450.
- [5] Чернин А.Д.: 2001, *УФН*, **171**, N 11, 1153.
- [6] Weinberg C.S.: 1989, *Rev. Mod. Phys.*, **61**, 1-23.
- [7] Peebles P.J., Ratra B.: astro-ph/0207347.
- [8] Birrell N.D., Davies P.C.W.: 1982, *Quantum Fields in Curved Space* Cambridge University Press.
- [9] Shapiro I.L., Sola J.: gr-qc/0611055.
- [10] Maroto A.L., Ramirez J.: astro-ph/0409280.
- [11] Lesgourgues J.: astro-ph/0409426.
- [12] Dymnikova I. *Variable Cosmological Constant – Geometry and Physics*, arXiv: gr-qc/0010016.
- [13] Линде А.Д.: 1990, *Физика элементарных частиц и инфляционная космология*, Москва: Наука.
- [14] Фомин П.И.: 1973, *препринт ИТФ АН УССР, Киеv, имф-73-137р.*
- [15] Фомин П.И.: 1975, *ДАН УССР №9*, 831-835.
- [16] Weinberg S.: 1972, *Gravitation and Cosmology* (J.Wiley and Sons, Inc.).

- [17] Зельдович Я.Б., Новиков И.Д.: 1975, *Строение и эволюция Вселенной*, Москва, Наука.
- [18] Fomin P.I., Nakaznoy P.A., Vilchinskyi S.I.: gr-qc/0509042.
- [19] Сахаров А.Д.: 1967, *ДАН СССР*, **177**, 70.
- [20] Fomin P.I.: 1988, *Proc. 4-th seminar on quantum gravity, Singapore: World Scientific*, p.813.
- [21] Фомин П.И.: 1990, *Проблемы физической кинетики и физики твёрдого тела*, Киев, Наукова думка, с.387.
- [22] Фомин П.И.: 1986, *Проблемы теоретической физики*, Киев, Наукова думка, с.285.
- [23] Фомин П.И., Штанов Ю.В., Барабаш О.В.: 2000, *Доповіди НАН України*, **10**, 80.
- [24] Einasto J.: astro-ph/0401341.
- [25] Sahni V.: astro-ph/0403324.
- [26] Roy D.P.:physics/0007025.
- [27] Tully R.B., Fisher J.R.: 1977, *A&A*, **54**, 661.
- [28] Moffat J.F.: gr-qc/9411006, 0202012, 0506021, astro-ph/0412195.
- [29] Milgrom M.: 1983, *Astroph. J.*, **270**, 365, 371, 384.
- [30] Bekenstein J.D.: astro-ph/0701848.
- [31] Lightman A.P. et al.: 1975, *Problem Book in Relativity and Gravitation*, Princeton University Press.
- [32] Ландау Л.Д., Лившиц Е.М.: 1988, *Теория поля*, Москва, Наука.
- [33] Зельдович Я.Б.: 1981, *УФН*, **133**, №3, 479-503.
- [34] King I.R.: 1994, *An Introduction to Classical Stellar Dynamics*, Berkeley: University of California.

# ASTRONOMY IN G.S.TITOV COSMONAUT CLUB FOR YOUNG PEOPLE

## АСТРОНОМИЯ В ЮНОШЕСКОМ КЛУБЕ КОСМОНАВТИКИ ИМ. Г.С.ТИТОВА (ЮКК)

E.I. Yagudina

Institute of Applied Astronomy RAS,  
10 Nab. Kutuzova, St. Petersburg, 191182, Russia, *eiya@ipa.nw.ru*

**ABSTRACT.** The club of cosmonaut for young people (pupils of 7–11 classes of Russian state school) was created 45 years ago in St. Petersburg. In the paper brief story of the club and special programme of astronomy are presented. The main principles of work and organization of the club are shown. The peculiarity this organization and special courses of instruction during three years studying in club are described.

**Key words:** Club cosmonaut due to G.S. Titov for young pupils, special courses of general astronomy.

### 1. Введение

Юношеский клуб космонавтики им. Г.С.Титова (ЮКК) при Санкт-Петербургском Дворце творчества юных был организован 45 лет назад. Пережив времена перестройки клуб, сохранился и сейчас пытается выжить при известном в России демографическом спаде. Программа занятий в клубе ориентирована на развитие у учащихся 8–11 классов естественно-научного мировоззрения и знакомство с современными дисциплинами: космонавтикой, навигацией, астрономией и информатикой. Учеба в клубе продолжается 3 года, в течение которых на занятиях читаются курсы и ведутся практические занятия по указанным дисциплинам. Астрономия в клубе преподается 2 года: первый год занятия по общей астрономии проводятся для всех членов клуба 1 раз в неделю по 2 часа, а во второй – учащиеся выбирают либо дальнейшее изучение астрономии, либо навигацию, либо космонавтику. Информатика ведется все 3 года. Автор ведет занятия по общей астрономии (4 группы по 15 человек, 2 часа занятие в неделю в каждой группе). В курс входит практические занятия по изучению звездного неба, ознакомительные экскурсии в Пулковскую обсерваторию, в обсерваторию Ст.-Петербургского

университета, в Радиоастрономическую обсерваторию ИПА АН РАН, Светлое. Программа делится на 2 семестра. После каждого семестра проводятся зачеты. В конце первого года обучения выдается тема реферата по любой из 3 специализаций, а в первом семестре второго года обучения происходит защита реферата. Учащиеся 1 и 2 годов обучения представляют презентации с помощью компьютерных технологий на выбранные темы. Клуб – это не астрономический или космический кружок, а целая система обучения и воспитания, включающая общественно-полезную работу в клубе, свободный доступ к библиотеке клуба, ведение различных мероприятий, как-то: спортивные соревнования между группами клуба по различным видам спорта, проведение тематических викторин по знанию истории космонавтики и астрономии. В клубе регулярно выпускается журнал "Пифагор". Есть летние и зимние лагеря, где проводятся обучающие игры и конференции. Ежегодно проводится конференции с аспирантами вузов и старшими ребятами клуба, где выступают участники клуба и бывшие выпускники клуба. Всего в год проводятся 3 конференции: 13 декабря конференция старшеклассников "Человек и космос," в марте каждого года лучшие доклады ребят представляются на Всероссийскую открытую конференцию "Будущее сильной России – в высоких технологиях", в апреле принимают участие в Межвузовской конференции "Информационные технологии в области науки и техники", где представляют свои доклады по различным проблемам (в том числе по астрономии) наряду со студентами и аспирантами вузов, причем учитывается не только содержание доклада, но и качество компьютерной формы представления. В основном, занятия проводятся бывшими членами клуба, а ныне студентами и аспирантами Военно-технического и Государственного Санкт-Петербургского Университетов. Отмечаются

особенности методики преподавания и содержание программы по курсу общей астрономии.

## **2. Краткая история Юношеского клуба космонавтики (ЮКК) им Г.С.Титова**

ЮКК им Г.С. Титова при Санкт-Петербургском Дворце творчества юных (бывшем Дворце пионеров) был организован 45 лет назад в 1961 году сразу после полетов Гагарина и Титова группой энтузиастов школьников-старшеклассников и преподавателей Дворца пионеров. Отметим несколько основных этапов в жизни клуба и проследим за динамикой его реорганизации.

### **1961–1965 гг.**

В момент образования клуб представлял собой небольшой коллектив энтузиастов подростков 15–16 лет, желающих получить как можно больше знаний о космонавтике и преподавателей: Евгения Ивановна Орлова и Георгий Николаевич Мамаев. Основными занятиями были: лекции по космонавтике, космической технике, самолетовождению и астрономии. Астрономия занимала незначительное место в занятиях клуба. Практические занятия — изучение азбуки Морзе, бальные танцы в залах Аничкова дворца для тренировки вестибулярного аппарата, туризм, занятия на специальном тренажере для тренировки вестибулярного аппарата и скорости реакции, изучение навигационных приборов (натуральная кабина "МИГ 15" в помещении клуба), изучение переносной радиостанции и работа с ней, физподготовка в залах Дворца, альпинизм, батутная акробатика, прыжки с парашютом. Принимали участие преподаватели Академии Гражданской авиации, преподаватели Института физической культуры им. Лесгафта. В этот период появляются атрибуты клуба: клубная форма, знамя, традиции. В эти годы клуб посетили летчик Покрышкин, космонавты Титов, Попович, Комаров, маршал авиации Новиков. Кроме целевых занятий проводились различные социальные мероприятия: "Огоньки", КВН (победа над всеми ленинградскими клубами), летний лагерь на озере Красавица (под Ленинградом). С 1963 года клуб носит имя Г.С. Титова.

### **1966–1986 гг.**

Во главе клуба становится Ирина Александровна Борисова, и до сих пор на ней держатся все лучшие традиции клуба. В это время происходит переориентация направлений в клубе с военно-прикладных на общетеоретические дисциплины. Произошло изменение в науке: появляется информатика, космические полеты стали нормальным явлением. Появились новые преподаватели — выпускники клуба и студенты высших учебных заведений. Меняется и общественная жизнь клуба: появился опыт, появилось настоящее самоуправление в клубе: Со-

вет клуба из старших школьников с представителями младших групп для передачи опыта и сохранения преемственности, кураторская традиция — в младших группах назначаются кураторы из старших для помощи проведения различных клубных и общественных мероприятий. Клуб организует городскую игру "Космос" для школьников города 5–7 классов. В 1969 появляется летний лагерь "Зеркальный", где отдыхают и учатся ребята (занятия по истории космонавтики), проводят викторины, и продолжают занятия акробатикой на батуте, туристические походы (пешком и на байдарках). Астрономия тоже частично представлена — изучение звездного неба и наблюдения в телескоп (понятно, что в период белых ночей трудно организовывать какие-либо серьезные астрономические программы). Свершены поездки на Байконур, Плесецк. В 1986 году, в год 25-летия клуба, клуб переезжает из главного здания Дворца в Сервизный корпус, который был реконструирован к 50-летию Дворца (в прежних помещениях Дворца размещается Музей). Это новый этап для клуба — большие помещения, новые возможности, новый этап.

### **1986 — наши дни.**

Трудный этап в жизни клуба: перестройка, детей мало, средств на развитие нет. Однако, остаются энтузиасты, выпускники клуба пытаются помочь материально. В 1987 году в клубе установлен космический корабль "Восток" — подарок Научно-технического объединения Академии наук, который устанавливали сами клубовцы. Выпускники клуба и сами клубовцы создали трудовой отряд клуба (ТОК) под руководством преподавателей и выпускников клуба, ставших уже различными специалистами. В этот период закрепляется системы профессионально-ориентированного обучения с сохранением общественно-полезной, социальной работы и традиций. Идет развитие информационных технологий и это тоже учитывается при работе клуба. 1989 — первый компьютер в клубе — "Правец-16", на который средства выделил Ленинградский комитет федерации космонавтики. Дальнейшее развитие клуба связано с внедрением современных информационных технологий. При этом не изменяется основной курс на изучение космической техники, истории космонавтики, астрономии, но появляется новый курс — Навигационные спутниковые системы и обязательное владение офисно-информационными технологиями: компьютерные издательские технологии, компьютерные музыкальные технологии, интернет-технологии. Информационные технологии помогают быстро готовить и представлять доклады, искать нужную информацию, прекрасно оформлять рефераты и представлять их на конференциях. В настоящее время в клубе-30 последних Pentium, а с осени передается клубу 16 мультимедийных портативных

компьютеров. Уже проводятся видео-конференции (с Симферопольским клубом внешкольного образования.) **1990 г.** — первый выпуск журнала "Пифагор", который выпускается 4 раза в год клубовцами 2 и 3 годами обучения с привлечением младших. Работа над Пифагором, как и остальные практические задания: билеты на конференции, и вечера, оформление стендов и т. д. засчитывается как практическая работа при сдаче зачета по информатике. **2001 г.** — в день рождения клуба создан Попечительский Совет фонда "Апрель 12" из бывших клубовцев, ставших значительными персонами в жизни России. По статистике до 2002 года **96** бывших выпускников клуба работают в космонавтике: в Центре управления полетами в Звездном городке, Плесецке, Байконуре. Из клубовцев: Екатерина Иванова — дублер Савицкой; сейчас готовится к полету Андрей Борисенко, тоже выпускник клуба; **22** выпускника окончили Военно-космическую академию им. Можайского; **68** — летчики гражданской авиации; **32** стали астрономами. Из выпускников — **48** кандидатов наук по техническим и математико-физическим наукам, **3** доктора наук. В **1993 г.** появляется 3-ий год обучения: усиленное изучение различных пакетов прикладных компьютерных программ и создание моделей на основе этого компьютерного обеспечения. Выдается сертификат о владении офисными компьютерными технологиями. Начинают проводиться практические занятия по **GPS** навигации и с 2007 — изучение системы **ГЛОНАСС** и практическая навигация. Те немногие, что прошли курс астрофизики, выполняют работы в Пулковской Обсерватории. Делается попытка сотрудничать по астрофизике с Санкт-Петербургским Университетом. В клуб можно приходить не только в дни занятий, но и в любые другие дни. На стенах — оперативная информация отражает все космические новости в стране и мире, есть шахматы, шашки, настольный теннис, библиотека, телевизор, альбомы по истории клуба. **15 октября** — праздник рождения клуба. В этот день собираются выпускники клуба различных лет, проводится и торжественные встречи и неофициальные мероприятия в клубе.

### **3. Организация занятий Юношеского клуба космонавтики**

Основная педагогическая цель может быть описана следующим образом:

- Активная жизненная позиция;
- Умение организовывать дела в условиях неопределенности и ограниченных ресурсов;
- Профессиональная ориентация;
- Нацеленность на успех.

Занятия в клубе рассчитаны на 3 года. Как пра-

вило, набираются учащиеся 8–10 классов. Но практически, можно было приходить в клуб и ребятам 10–11 классов. Последние 3 года стали набирать ребят с 7 класса (демографический спад). И конечно, приходится формировать группы по собеседованию. Итак, в клубе в настоящее время 3-летняя система обучения (хотя некоторые ребята могут стать выпускниками клуба после 1–2 лет обучения).

**1 год обучения.** Обычно на 1-ом году обучения около 80–100 ребят, но сейчас бывают годы, когда на 1-ом году обучения 60–80 ребят. (60 — предельно возможное количество, формальное для проведения занятий — требование администрации Дворца). Всего 4 группы, номера групп 8,7,6,5 по 15–20 человек. Обязательные курсы для всех ребят по следующим дисциплинам:

астрономии — 72 часов по 36 часов в полугодие, зачетное занятие после каждого полугодия;

История космонавтики 72 часа

Навигация 72 часа

Офисные технологии 72 часа.

Как и в астрономии, после каждого полугодия проводится зачетное занятие. Зачет по офисным технологиям происходит в виде различных заданий по приготовлению пригласительных билетов на конференции и мероприятия клуба, участие в редактировании "Пифагора", приготовлении презентации по той или иной дисциплине.

**2 год обучения.** В лучшие годы было 45–60 человек, сейчас — 35–40. Это год выбора направления дальнейшего обучения. На втором году обучения уже 3 группы: номера 4,3, 2.

Обязательные курсы:

2 группа — астрофизика — 144 часа.

3 — навигационная — основы спутниковой навигации — 144 часа

4 — космическая группа — основы космической техники — 144 часа

Для всех групп — информационные технологии — 72 часа.

Есть факультативы:

Спецподготовка 72 часа

Журнал "Пифагор" 72 часа

Подготовка реферата 108 часов.

Также после 1 и 2-го полугодий проводятся зачетные занятия по всем курсам.

**3 год обучения.** Обычно на третьем году обучения 20–40 ребят. Сейчас — 15–20.

1 группа — основы дизайна — 216 часов, flash-технологии 216 часов,

основы клиент-серверных систем — 72 часа.

Есть факультативы:

Спецподготовка 72 часа

Журнал Пифагор 72 часа

Подготовка реферата 108 часов

Зачетные занятия: 1 полугодие — открытое зачетное занятие

2 — сертификация по технологиям: творческая работа, публичная защита реферата.

Занятия астрономией проводятся в астрономическом классе, оборудованном специальным "неподвижным звездным небом." Дело в том, что когда-то существовал примитивный планетарий, но был разобран. Затем было сконструировано звездное небо: в центре — Полярная (находимся на Северном полюсе), нанесены основные созвездия и планеты, причем сохранен правильный масштаб звезд, расстояний и звездных величин. Специальная техника свечения при включении 4–5 минут. Движения звездного неба изучают по компьютерной программе "Открытая астрономия" с проектированием на экран. Как уже упоминалось, начиная с 1 года обучения учащимся предлагаются небольшие темы для самостоятельных представлений на занятиях по любой из 3 дисциплин. Обычно это делается после 1 полугодия, когда уже устоялось количество ребят. По астрономии могут быть представлены темы, связанные с нашей программой, но подробно не освещенные в лекциях. Можно привести несколько примеров таких заданий.

1. Аристарх Самосский и его "Гелиоцентрическая система"
2. Теорема о высоте полюса мира над горизонтом.
3. Как ориентироваться по Луне?
4. Звездное и среднее время.
5. Период Сароса.
6. Проблема "вечного календаря".
7. . . .
20. Почему исключили Плутон из сообщества 9 планет?

Эти первые презентации на 3–5 минут заставляют более подробно и тщательно изучить проблему, с которой уже немного знакомы. Кроме того, они ищут новую литературу, применяют знания, полученные на информатике, учатся хоть как-то выражать свои мысли. И кроме того, так как это остается в базе данных клуба, может быть использовано даже преподавателем при демонстрации материала на занятиях.

**Темы рефератов по астрономии.** За время существования клуба в архиве клуба накопилось огромное количество различных рефератов, но только в последние годы, когда при представлении стали применять компьютерные технологии, эти рефераты и представления их могут служить неким примером для вновь пришедших ребят. Темы переходят из прошлых лет, но добавляются и новые. В частности, последнее время, большой популярностью пользуется проблема АСЗ и, конкретно, астероида Апофиса.

1. Врежется ли в Землю Апофис в 2029 году?
2. История и настоящее Плутона.
3. Антропный принцип в космологии.
4. Экзопланеты.

5. Теория струн.

6. . . .

В частности, 4 и 1 рефераты делались под кураторством автора данной статьи, а ребята докладывали их на Межвузовской конференции. После каждой темы проводим решение задач по астрономии. Темы демонстрируются видео или компьютерным показом.

Теперь практические занятия.

В клубе есть телескопы "Мицар" и школьный телескоп. К сожалению, сентябрь–декабрь облачные и дождливые в Петербурге. Кроме того, в центре города, где находится клуб, большая засветка. Поэтому приходится с ребятами (обычно в конце февраля–начале марта, когда устанавливается погода) ездить в Пулковскую обсерваторию на 26-дюймовый рефрактор. Это сложное обстоятельство и технически, и принципиально, так как в любую ясную ночь там ведутся плановые научные наблюдения.

В Главном здании Университета на Васильевском острове устанавливается 30-см телескоп для студенческой практики. Ведем переговоры с администрацией о возможности пользоваться этим телескопом для клубовцев.

Индивидуальные занятия при подготовке рефера-та.

Во второй году обучения (астрофизика) выпускница клуба — Алешкина Екатерина Юрьевна, сотрудник Пулковской обсерватории, проводит лекционные занятия по астрофизике и практические занятия в Пулковской обсерватории.

Уже третий год организуется поездка в Светлое, Радиоастрономическую обсерваторию ИПА АН РАН. Обычно в начале года учащиеся 2 года обучения (астрофизика) и все ребята 3-его года обучения принимают участие в этой поездке. Это сложная поездка, 5 часов в дороге. Заведующий телескопом и дирекция ИПА помогают в осуществлении этой экскурсии и подробно знакомят ребят с инструментом (32-х метровый радиотелескоп) и программами на телескопе).

Новые практические занятия с 2007 года.

1. Программа Южной обсерватории — поиски и отождествление объектов.

2. ГЛОНАСС — новая часть в программе по общей астрономии и навигации. Знакомство с системой спутников и в общих чертах, с определением предварительной орбиты по наблюдениям.

3. Изучения звездного неба на крыше Дворца, соблюдая все условия техники безопасности.

4. Викторины и небольшие занятия 1 раз в месяц за компьютером.

5. Решение задач по общей астрономии.

Нужно особо отметить, что учеба в клубе (кроме различного рода поездок и лагерей) бесплатная!

# THE ORIENTATION OF THE DYNAMICAL FRAMES RELATIVE ICRF BY USE OF OPTICAL AND RADAR OBSERVATIONS NEAR-EARTH ASTEROIDS (NEAs) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТНОСИТЕЛЬНО ICRF ПО ОПТИЧЕСКИМ И РАДАРНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ (АСЗ)

E.I. Yagudina

Institute of Applied Astronomy RAS,  
10 Nab. Kutuzova, St. Petersburg, 191182, Russia, *eiya@ipa.nw.ru*

**ABSTRACT.** ICRF (practical realization of ICRS) is now adopted as the fundamental celestial frame in astronomy. It is based on the positions of the extragalactic radio sources obtained by VLBI observations. Zero-point of right ascensions of ICRF was chosen in a such way that the right ascension of 3C273B quasar was taken from FK5 at the same epoch. The Hipparcos catalogue is the primary realization of the ICRF at optical wavelengths. The rigid model rotation of FK5 with respect to ICRF was adopted for connecting Hipparcos and FK5, the origin of ICRF axes is located at barycentre of the solar system. The dynamical systems (the DE ephemerides, JPL USA; EPM, Russia) are related to ICRF and at present this relation is at sub-milliarcsecond level. To provide the continuity of changing the reference systems, the main plane of the ICRF was chosen in such a way, that its orientation in space is within the range of errors characteristic of the ground observations, coincides with position of "dynamical" equator FK5 catalogue at J2000.0. At present new VLBI observations will give new sources for extending the ICRF as well as future space astrometry missions (DIVA, FAME, SIM etc.) for extention of ICRF over million stars. In spite of the fact that ICRF is a quasi-inertial system there are a great number of problems associated with the use of the ICRF, the main of them being the connection of ICRF to dynamical systems. The parameters of this connection are known with insufficient accuracy and further work is necessary on the problem of mutual orientation of these systems at the new level of accuracy using different new observations of different solar system objects. For this purpose radar and

optical observations of the asteroids (mainly Near Earth Asteroids-NEAs) have been used. The combined solution gave us six parameter orientations which are in good agreement with another authors.

**Key words:** ICRF system, dynamical frame, Hipparcos system, optical FK5 system, radar and optical observations, Near-Earth Asteroids (NEAs), system orientation parameters, position of equinox.

## 1. Введение

XXIII Генеральная Ассамблея Международного Астрономического Союза приняла решение считать основной системой отсчета в астрономии систему ICRF (практическая реализация ICRS-International Celestial Reference System) с 1 января 1998 г. Система была определена на основе РСДБ наблюдений 610 точечных внегалактических радиоисточников. Для обеспечения непрерывности в процессе смены систем отчета выбор основной плоскости ICRF в новой системе был сделан так, чтобы ее ориентация в пространстве совпадала с положением "динамического" экватора каталога FK5 на эпоху J2000.0. Нуль-пункт прямых восхождений в новой системе таков, что прямое восхождение квазара 3C278B было заимствовано из FK5 на ту же эпоху. Оптическая составляющая новой опорной системы реализована на основе каталога Hipparcos, подобно тому, как прежняя система координат реализовывалась каталогом FK5. Начало осей ICRF помещено в барицентр Солнечной системы. Связь оптической и радио систем получена с помощью РСДБ наблю-

дений радиозвезд на уровне формальной точности 1 mas для каждой оси. Эфемериды JPL (динамическая система) привязаны к ICRF уже с 1995 г. Считается, что в настоящее время эта ориентация выполнена на уровне точности десятых долей mas. В настоящее время продолжаются наблюдения РСДБ с привлечением новых источников и уже построены новые каталоги в ICRF. В ближайшем будущем будет происходить распространение системы ICRF на миллионы звезд с помощью новых космических астрометрических миссий.

Однако при использовании новой системы, проблема взаимной ориентации динамической и других систем еще остается актуальной и сейчас: необходимо продолжать работу по взаимной ориентации систем на уровне точности, соответствующей настоящему моменту. В уже классической работе Folkner et al. (1994 г.) для привязки DE200/LE200 к ICRF были использованы 14-летние РСДБ измерения и LLR измерения (с 1969 г.) и получены параметры ориентации с точностью около 3 mas. В статье (Standish et al., 1995) связь динамической системы DE403/LE403 и ICRF определена по величине в несколько mas. Для этого были использованы РСДБ наблюдения космических зондов по отношению к источникам из радио каталога и скомбинированы с планетоцентрическими наблюдениями зондов. Точность определения параметров ориентации около 1 mas. Такие РСДБ наблюдения космических аппаратов очень точные, но редки и выполняются на небольших интервалах времени. Необходимо же определять эти параметры с каждой новой реализацией ICRF и новой эфемеридой. Недавно в работах Батракова и Чернетенко были получены параметры ориентации DE403 и DE405 на основе наземных наблюдений малых планет и 48 малых планет, выполненных с помощью программы Hipparcos. Мы предлагаем для этой цели использовать наблюдения АСЗ, поскольку существуют современные оптические и радарные наблюдения АСЗ в нескольких появлениях. Наши результаты предварительные, но уже показывают, что наблюдения могут быть использованы для этой цели. Для определения ориентации ICRF к динамическим системам DE200 и DE403 используются оптические и радарные наблюдения 30 АСЗ и 4 астероидов из основного пояса. Результаты сравниваются с параметрами ориентации, полученными другими авторами.

## 2. Проблема ориентации ICRF по отношению к динамическим системам

В настоящее время современные оптические наблюдения внешних планет и их спутников уже отнесены к системе ICRF самими наблюдателями (пу-

тем трансформации наблюдений от системы своего каталога в Hipparcos). Тоже относится к наблюдениям астероидов и АСЗ. "Старые" наблюдения АСЗ в нашем случае были отнесены к ICRF следующим образом. Известно, что каталог Hipparcos отнесен к системе ICRF и считается реализацией этой системы в оптическом диапазоне. Для установления связи каталогов FK5 и Hipparcos Mignard и Froeschle (Mignard and Froeschle, 2000) сравнили положения 1233 тщательно отобранных единичных звезд, общих для FK5 и Hipparcos. Три угла ориентации между FK5 и Hipparcos на эпоху J2000.0 имеют следующие значения (в mas):

$$\epsilon_x = -19.9 \pm 2.3, \epsilon_y = -9.1 \pm 2.3, \epsilon_z = 22.9 \pm 2.3.$$

Переход координат от FK5 к Hipparcos (т. е. к ICRF):

$$\begin{aligned} \alpha_{ICRF} \cos \delta &= \alpha_{FK5} \cos \delta + \epsilon_x \cos \alpha \sin \delta + \epsilon_y \sin \alpha \sin \delta \\ &\quad - \epsilon_z \cos \delta, \\ \delta_{ICRF} &= \delta_{FK5} - \epsilon_x \sin \alpha + \epsilon_y \cos \alpha \end{aligned} \quad (1)$$

Таким образом, при использовании этой схемы (1) наблюдения из FK5 могут быть переведены в систему Hipparcos и тем самым в систему ICRF. Динамические системы отсчета представляются эфемеридами планет, Луны и малыми телами Солнечной системы. Связь между динамической системой и ICRF может быть получена с помощью наблюдений планет и астероидов, сделанными относительно источников, заданных в ICRF или уже отнесенными к этой системе каким-либо другим путем. В статьях (Батраков и др., 1998; Батраков и Чернетенко, 2001; Чернетенко, 2007) было показано, как на основе оптических наблюдений избранных малых планет и малых планет, наблюденных в рамках программы Hipparcos, были получены параметры ориентации DE403 по отношению к ICRF. Алгоритм определения этих параметров приведен в упомянутых статьях, где сами углы ориентации связаны с параметрами ориентации, использовавшимися прежде при нахождении параметров ориентации динамических систем и каталогов звезд. Используя обозначения принятые в работах Батракова и Чернетенко, запишем в общем виде ориентацию каталогной системы (ICRF) относительно динамической углами поворота  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$  вокруг осей x,y,z динамической системы координат:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha &= \operatorname{tg}\delta \cos \alpha \epsilon_x + \operatorname{tg}\delta \sin \alpha \epsilon_y - \epsilon_z, \\ \Delta\delta &= -\sin \alpha \epsilon_x + \cos \alpha \epsilon_y. \end{aligned}$$

При определении параметров ориентации звездных каталогов относительно динамических систем обычно использовались поправки к нуль-пункту каталога  $\Delta A, \Delta D$ , поправка долготы Солнца,  $\Delta L$  и наклона эклиптики к экватору,  $\Delta\epsilon$ :

$$\Delta\alpha = -\Delta A + \Delta L \cos \epsilon (1 + \operatorname{tg}\epsilon \operatorname{tg}\delta \sin \alpha) - \Delta\epsilon \operatorname{tg}\delta \cos \alpha,$$

$$\Delta\delta = -\Delta D + \Delta L \sin \epsilon \cos \alpha + \Delta \epsilon \sin \alpha.$$

Связь между углами поворота систем и поправками нуль-пунктов определяется следующим образом:

$$\epsilon_x = -\Delta\epsilon, \epsilon_y = \Delta L \sin \epsilon, \epsilon_z = \Delta A - \Delta L \cos \epsilon, \quad (2),$$

где  $\Delta D$  характеризует постоянную ошибку системы склонений каталога, не связанную с углами поворота. Для скоростей изменения этих углов ( $\omega_x, \omega_y, \omega_{z\text{,}}$  имеем:

$$\omega_x = -\Delta\dot{\epsilon}, \omega_x = \Delta\dot{L} \sin \epsilon, \omega_z = \Delta\dot{A} - \Delta\dot{L} \cos \epsilon.$$

### 3. Описание наблюдательного материала и редукции

В статье (Yagudina, 2002) было показано, как на основе обработки 16600 оптических и 345 радарных наблюдений 34 астероидов (30–AC3 и 4 астероида главного пояса) были получены параметры ориентации каталога FK5 относительно динамической системы DE403. В настоящей работе, пользуясь уравнением (1) (секция 2), переводим цитируемые в статье наблюдения в Hipparcos и, соответственно, в ICRF. Интервал, на котором представлены оптические наблюдения AC3, более 90 лет, радарные наблюдения стали проводится с 1968 года. Все оптические наблюдения были взяты из MPC каталога (система FK5), а радарные наблюдения (запаздывание и допплер) из базы данных "Small astrometric radar observations", JPL. Точность оптических наблюдений меняется от 1" до 0.5" и менее для наблюдений после 1965 года. Точность допплеровских наблюдений изменяется от 30.0 Hz до 0.1 Hz, и от 140 до 0.1μs для запаздывания. Точность радарных наблюдений растет и увеличивается количество радарных наблюдений, имеющих 2–3 появлениями. Все вычисления были сделаны в рамках системы ЭРА–Эфемеридные Расчеты в Астрономии. Орбиты астероидов были подсчитаны численным интегрированием релятивистских уравнений движения с учетом возмущений от всех больших планет и Луны, а также шварцшильдовых членов от Солнца. Наряду с параметрами орбиты вычислялись и параметры ориентации динамических систем DE по отношению к ICRF по модели, описанной в разделе 2.

### 4. Результаты

В работах (Батраков и Чернетенко 2001; Чернетенко, 2007) наблюдения 48 малых планет спутником Hipparcos были дополнены рядом Николаевских наблюдений 15 Избранных малых планет, переведенных на систему ICRF. Наши результаты (вместе

**Таблица 1. Параметры ориентации ICRF относительно динамической системы DE200/LE200**

Парам. ориент. mas, и mas/y	Батраков и др., 1998 12 м. пл.	Ягудина, 2002, 30 АС3 и 4 м.пл.	Батраков и Чернетенко, 2001, 12м.пл. +Hip.
Эпоха	19910702.0	2001.8	1991.25
$\epsilon_x$	$19.3 \pm 17.3$	$19.1 \pm 12.2$	$2.5 \pm 1.3$
$\epsilon_y$	$-18.8 \pm 17.9$	$-23.0 \pm 15.8$	$-12.7 \pm 2.2$
$\epsilon_z$	$41.8 \pm 26.0$	$36.9 \pm 10.9$	$1.4 \pm 3.3$
$\omega_x$	$1.3 \pm 0.5$	$0.2 \pm 0.1$	$0.4 \pm 0.3$
$\omega_y$	$-0.4 \pm 0.6$	$0.4 \pm 0.3$	$-0.7 \pm 0.3$
$\omega_z$	$1.6 \pm 1.0$	$-0.2 \pm 0.2$	$-0.9 \pm 0.6$

**Таблица 2 Параметры ориентации ICRF относительно динамической системы DE403/LE403**

Параметры ориентации mas,mas/y	Чернетенко, 2007 15 м. планет + 48 м. пл. НПР.	Настоящая работа, 2007 30 АС3
$\epsilon_x$	$-0.1 \pm 0.9$	$-0.3 \pm 1.9$
$\epsilon_y$	$3.0 \pm 1.1$	$4.8 \pm 1.5$
$\epsilon_z$	$-5.2 \pm 1.6$	$-8.2 \pm 1.9$
$\omega_x$	$0.15 \pm 0.08$	$0.2 \pm 0.1$
$\omega_y$	$0.66 \pm 0.10$	$0.9 \pm 0.20$
$\omega_z$	$-0.40 \pm 0.17$	$-0.5 \pm 0.2$

с результатами Батракова и Чернетенко) приведены в таблицах 1 и 2. Из таблиц видно, что наши результаты уступают результатам Батракова и Чернетенко, поскольку у приведенных авторов в обработку включены очень точные наблюдения спутника Hipparcos. Кроме того, нами использовались оптические наблюдения AC3 с 1910 года, когда точность их была невысока. В таблице 2 приведены результаты определения параметров ориентации ICRF по отношению к DE403. Здесь уже взяты наблюдения AC3 начиная с 1950, когда точность их стала менее 0.5". Параметры ориентации по результатам наблюдений малых планет спутником Hipparcos гораздо лучше результатов, полученным только по наземным наблюдениям, но наземные наблюдения дают возможность вычислять скорости изменения углов, чего нельзя сказать о наблюдениях спутника.

## 5. Заключение

- Предварительные результаты обработки радарных и оптических наблюдений 30 АСЗ и 4 астероидов главного пояса по привязке системы ICRF к динамическим системам DE200 и DE403 показывают вполне разумные значения параметров ориентации. В дальнейшем необходимо переводить оптические наблюдения (при точности не хуже 0.4") в систему ICRF и включать их в совместную обработку с современными ПЗС и радарными наблюдениями АСЗ.
- В ближайшее время привлечение новых наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, (как ПЗС так и радарных после 2000 г.) и исключение старых оптических наблюдений до 1968 г. (с ошибкой более 0.4") позволит уточнить параметры ориентации DE405/LE405 по отношению к ICRF.

## Литература

- Folkner W.M et al.: 1994, *Astron. Astroph.*, **287**, 279.  
Standish E.M.: 1990, *Astron. Astroph.*, **233**, 252.  
Батраков Ю.В., Горель Г.К., Гудкова Л.А., Чернетенко Ю.А.: 1998, *Труды ИПА РАН*, **3**, 69.  
Батраков Ю.В., Чернетенко Ю.А.: 2001, *Труды ИПА РАН*, **6**, 148.  
Чернетенко Ю.А.: 2007, *Тезисы Второй Всероссийской конференции КВНО-2007*, **287**, 277.  
Mignard F. and Froeschle M.: 1997, in *Proc. ESA Symp. "Hipparcos-Venice 97"*, **ESA SP402**, 57.  
Krasinsky G.A. and Vasiliev M.V.: 1996, in *Proc. IAU Colloq.*, **165**, 239.  
Yagudina E.I.: 2002, in *Proc. of Asteroids, Comets, Meteors, Technical University, Berlin*, 385.

*Наукове видання*

**Вісті Одеської астрономічної обсерваторії**  
том 20 частина 2 (2007)

*Російською мовою*

Технічний редактор М. І. Кошкін

---

Підписано до друку 04.02.08. Формат 60x84/8.  
Ум. друк. арк. 17.21. Друк офсетний. Папір офсетний. Тираж 300 прим. Зам. .

**Видавництво «АстроПринт»**  
65026, м. Одеса, вул. Преображенська, 24.  
Тел.: +38 (048) 726-96-82, 726-98-82, 37-14-25.