

ISSN 1991-346X

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Л А Р Ы

---

---

## ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА  
СЕРИЯСЫ**



**СЕРИЯ**

**ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ**



**PHYSICO-MATHEMATICAL  
SERIES**

**5 (303)**

**ҚЫРКҮЙЕК – ҚАЗАН 2015 ж.  
СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ 2015 г.  
SEPTEMBER – OCTOBER 2015**

1963 ЖЫЛДЫҢ ҚАҢТАР АЙЫНАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С ЯНВАРЯ 1963 ГОДА  
PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ  
ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД  
PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА  
АЛМАТЫ, НАН РК  
ALMATY, NAS RK

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі,

**Мұтанов Г. М.**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Әшімов А.А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байғұнчеков Ж.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Жұмаділдаев А.С.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Мұқашев Б.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Өтелбаев М.О.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Тәкібаев Н.Ж.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Харин С.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Жантаев Ж.Ш.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Косов В.Н.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мұсабаев Т.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Ойнаров Р.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Рамазанов Т.С.** (бас редактордың орынбасары); физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Темірбеков Н.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Өмірбаев У.У.**

Р е д а к ц и я к ең е с і:

Украинаның ҰҒА академигі **И.Н. Вишневский** (Украина); Украинаның ҰҒА академигі **А.М. Ковалев** (Украина); Беларусь Республикасының ҰҒА академигі **А.А. Михалевич** (Беларусь); Әзірбайжан ҰҒА академигі **А. Пашаев** (Әзірбайжан); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **И. Тигиняну** (Молдова); мед. ғ. докторы, проф. **Иозеф Банас** (Польша)

Главный редактор

академик НАН РК

**Г. М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.А. Ашимов**; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК **Ж.Ж. Байгунчеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **А.С. Джумадильдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Б.Н. Мукашев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **М.О. Отелбаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Н.Ж. Такибаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **С.Н. Харин**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.Ш. Жантаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **В.Н. Косов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.А. Мусабаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Р. Ойнаров**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Т.С. Рамазанов** (заместитель главного редактора); доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.М. Темирбеков**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **У.У. Умирбаев**

Редакционный совет:

академик НАН Украины **И.Н. Вишневский** (Украина); академик НАН Украины **А.М. Ковалев** (Украина); академик НАН Республики Беларусь **А.А. Михалевич** (Беларусь); академик НАН Азербайджанской Республики **А. Пашаев** (Азербайджан); академик НАН Республики Молдова **И. Тигиняну** (Молдова); д. мед. н., проф. **Иозеф Банас** (Польша)

«Известия НАН РК. Серия физико-математическая». ISSN 1991-346X

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5543-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300 экземпляров.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

**G. M. Mutanov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**A.A. Ashimov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **Zh.Zh. Baigunchekov**, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; **A.S. Dzhumadildayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **T.S. Kalmenov**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **B.N. Mukhashev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.O. Otelbayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **N.Zh. Takibayev**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **S.N. Kharin**, dr. phys-math. sc., prof., academician of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.Sh. Zhantayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **V.N. Kosov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.A. Mussabayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **R. Oinarov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **T.S. Ramazanov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **N.M. Temirbekov**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **U.U. Umirbayev**, dr. phys-math. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**I.N. Vishnievski**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.M. Kovalev**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **A.A. Mikhalevich**, NAS Belarus academician (Belarus); **A. Pashayev**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **I. Tighineanu**, NAS Moldova academician (Moldova); **Joseph Banas**, prof. (Poland).

**News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physical-mathematical series.**  
**ISSN 1991-346X**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 5543-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz) / [physics-mathematics.kz](http://physics-mathematics.kz)

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 73 – 81

**MODEL OF DISTRIBUTION OF CIRCUMSOLAR DUST ACCORDING  
THE RADIAL-VELOCITY OBSERVATIONS DURING SOLAR ECLIPSES****L. Shestakova, B. Demchenko**

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: shest1952@mail.ru

**Key words:** Solar system, F-corona, circumsolar dust, sungrazers, zodiacal cloud.

**Abstract.** The results of modeling the distribution of dust in the circumsolar region based the radial-velocity observations in F-corona up to distances of 11 solar radii during total solar eclipses 29.03.2006 and 01.08.2008 are presented. Comparison of the results showed that the dust over the years changes the composition, dynamically is heterogeneous, varies the position of the boundaries of a dust-free zone, and the average size of the particles. The orbital motion of dust 29.03.2006 oriented in the direction opposite to the movement of the planets and has a great inclination to the ecliptic plane. The 2006 results show about genetic link the observed orbital motion of the dust with the parent comet Kreutz group, discovered near the sun near the date of the eclipse. The parameters of the dust distribution near the region of sublimation are obtained. In 2006 there was observed a "black" comet dust with a low albedo ( $A = 0.05$ ) with a high value of the power index in the law of distribution of dust concentration with distance ( $\nu = 2.2 > 1$ ). The average radius of the particles is about 0.8-0.9 microns and dust-free zone radius is 9.1-9.2 solar radii. In 2008, there was observed a classic zodiacal dust concentrated toward the ecliptic plane with classical parameters:  $A = 0.1-0.2$ ,  $\nu \approx 1$ , the mean particle radius 0.9-1.2 microns, dust-free zone radius 7.0-7.6 solar radii.

УДК 523.62

**МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОКОЛОСОЛНЕЧНОЙ ПЫЛИ  
ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ  
ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНЫХ ЗАТМЕНИЙ****Л. И. Шестакова, Б. И. Демченко**

Астрофизический институт им. В. Г. Фесенкова, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** Солнечная система, F-корона, околосолнечная пыль, сангрейзеры, зодиакальное облако.

**Аннотация.** Представлены результаты моделирования распределения пыли в околосолнечной области по наблюдениям лучевых скоростей в F-короне до расстояний 11 солнечных радиусов во время полных солнечных затмений 29.03.2006 и 01.08.2008. Сравнение результатов показало, что пыль в разные годы меняет состав, динамически неоднородна, меняется положение границы беспылевой зоны и средние размеры частиц. Орбитальное движение пыли 29.03.2006 ориентировано в сторону, противоположную движению планет и обладает большим наклоном к плоскости эклиптики. Результаты 2006 года свидетельствуют о генетической связи наблюдаемого орбитального движения пыли с родительскими кометами группы Крейца, обнаруженными около Солнца вблизи даты затмения. Определены параметры распределения пыли вблизи области сублимации. В 2006 году наблюдалась "черная" кометная пыль с низким альбедо ( $A = 0.05$ ) с высоким значением показателя степени в законе распределения концентрации пыли с расстоянием ( $\nu = 2.2 > 1$ ). Средний радиус частиц составляет около 0.8-0.9 мкм и радиус беспылевой зоны равен 9.1-9.2 солнечных радиусов. В 2008 году наблюдалась зодиакальная пыль, концентрирующаяся к плоскости эклиптики с классическими параметрами:  $A = 0.1-0.2$ ,  $\nu \approx 1$ , средние радиусы частиц 0.9-1.2 мкм, радиус беспылевой зоны 7.0-7.6 солнечных радиусов.

Задача наблюдения поля лучевых скоростей пыли во внешней короне солнца была поставлена и реализована впервые во время полного солнечного затмения 31 июля 1981 года [1, 2].

После большого перерыва, успешные наблюдения поля лучевых скоростей пыли в F-короне проведены нами снова в Казахстане при отличных погодных условиях вблизи п. Мугалжар Актюбинской области во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года [3, 4]. Наблюдения удалось повторить с небольшим перерывом, благодаря тому, что полоса затмения 1 августа 2008 года проходила также близко к нашему региону. Наблюдения проведены в России вблизи г. Барнаул практически с одной и той же аппаратурой [5]. Заново подобраны только интерференционные фильтры и светоприемник – CCD камера Arogee Alta-10. Различие оптической схемы 2008 года от схемы 2006 года состояло только в замене интерференционного фильтра. В 2006 году использовался интерференционный фильтр полушириной  $10 \text{ \AA}$  настроенный на область линии  $\text{MgI } \lambda 5172 \text{ \AA}$ , а в 2008 году - фильтр полушириной  $20 \text{ \AA}$  с максимумом пропускания на  $\lambda 5202 \text{ \AA}$ .

Во время полной фазы затмения 29.03.2006 получено 2 снимка с экспозициями 130 секунд и 20 секунд (рисунок 1). На первом кадре содержится информация о лучевых скоростях пыли в F-короне. На втором кадре, полученном в конце полной фазы, зарегистрированы эмиссионные кольца и едва различимы слабые линии поглощения. В дальнейшем выяснилось, что эмиссионные кольца образованы рассеянным в атмосфере светом зеленой корональной линии  $\lambda 5303 \text{ \AA}$  в связи с выходом из-за диска Луны ярких внутренних участков короны.

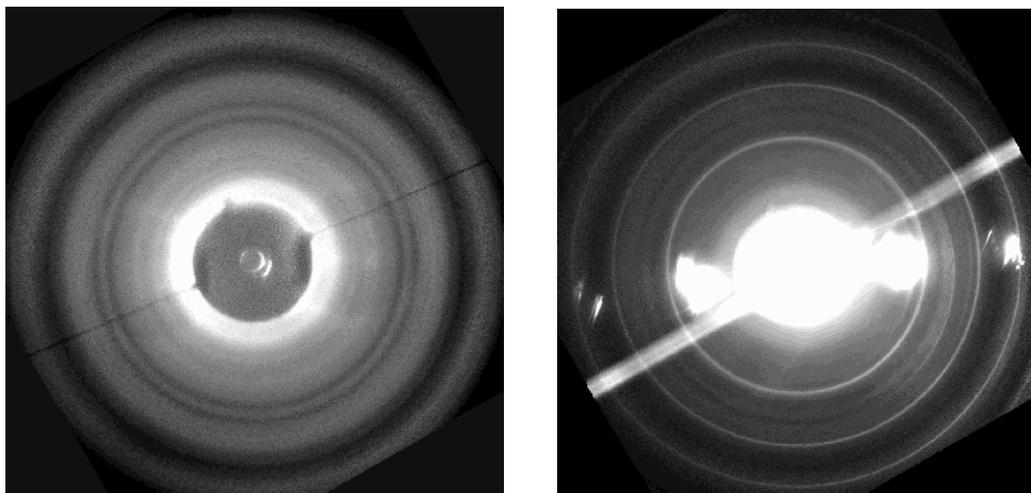


Рисунок 1 – Интерферограммы F-короны 29.03.2006 с экспозициями 130 и 20 секунд. Темная нить поперек поля зрения - суточная параллель. Горизонталь - направление плоскости эклиптики. Запад справа, север вверху. На 1-м снимке видны только кольца линий поглощения, на 2-м видны эмиссионные кольца

Спектральные линии имеют вид концентрических колец, радиусы которых однозначно определяют длину волны. Опорными спектрами служили снимки дневного неба, сделанные до и после полной фазы затмения. Такие снимки содержат те же линии спектра с нулевым доплеровским смещением. Для получения точных значений доплеровских смещений, а по ним и лучевых скоростей пыли в выбранных участках поля зрения, использован метод корреляций «затменных» спектров со спектрами сравнения дневного неба.

**Модель распределения околосолнечной пыли.** Для построения модели распределения пыли вблизи области сублимации около Солнца использованы усредненные данные для выбранных направлений в пределах  $\pm 30^\circ$  с разбиением на участки вдоль элонгации (радиуса). Для каждого интервала радиусов в промежутке между центром интерференционной картины и краем поля зрения (рисунок 1) получено среднее значение лучевой скорости в заданном угловом секторе. За основное направление выбраны:  $P = 15^\circ - 195^\circ$  для результатов затмения 2006 года и направление  $P = 90^\circ - 270^\circ$ , т.е. плоскость эклиптики для результатов затмения 2008 года. Указанные направления соответствуют главной плоскости орбит пыли в проекции на картинную плоскость и показывают максимальные величины скоростей.

Для этих выделенных направлений, где скорости максимальны, на рисунке 2 приведены результаты наблюдений лучевых скоростей пыли в F-короне 29.03.2006 и 01.08.2008 в зависимости от элонгации, выраженной в солнечных радиусах ( $r_{\text{sol}}$ ). Величины скоростей получены усреднением в пределах  $\pm 30^\circ$  вблизи основного направления. Кроме того, радиальные направления, расположенные вдоль одного диаметра усреднены между собой:  $V_{\text{obs}} = [V(P=15^\circ) - V(P=195^\circ)]/2$  для 2006 года, и  $V_{\text{obs}} = [V(P=270^\circ) - V(P=90^\circ)]/2$  для 2008 года, т.е. Усреднение проведено со сменой знака для направления, где скорости отрицательны.



Рисунок 2 – Усредненные по секторам в пределах  $\pm 30^\circ$  разности лучевых скоростей пыли в F-короне для позиционных углов, в направлении которых наблюдаемые скорости максимальны:  $V(P=15^\circ) - V(P=195^\circ)$  для затмения 29.03.2006 и  $V(P=270^\circ) - V(P=90^\circ)$  для затмения 01.08.2008

При таком сложении компенсируется влияние радиальной составляющей орбитальной скорости, остается только проекция тангенциальной составляющей на луч зрения. Для построения модели околосолнечного пылевого облака используем результаты, представленные на рисунке 2. Удивительно, что средние части кривых рисунка 2 в диапазоне элонгаций 4-9 солнечных радиусов, полученные в разные годы, оказались довольно близки по наклону и величинам.

Из теории известно, что наблюдаемая интегральная по лучу зрения скорость должна убывать с расстоянием (элонгацией) от Солнца согласно закону Кеплера  $\sim r^{-1/2}$ , что не соответствует результатам наших наблюдений. На рисунке 2 наблюдаемые скорости возрастают с элонгацией. Как будет показано далее, такое поведение наблюдаемой скорости возможно в случае, если луч зрения пересекает пустую беспылевую зону.

Для расчетов наблюдаемой лучевой скорости примем следующие предположения:

- За пределами беспылевой зоны пыль движется вокруг солнца по орбитам, близким к прямым круговым кеплеровским орбитам. Предположение основано на том, что у частиц в свободном дрейфе в солнечной системе под действием торможений, то есть за счет действия эффекта Пойнтинга-Робертсона уменьшается большая полуось и эксцентриситет и орбиты приближаются к круговым.

- Концентрация пыли в зависимости от гелиоцентрического расстояния меняется по степенному закону [6]:

$$n(R) = n_0(R/R_0)^{-\nu}, \quad (1)$$

где  $n_0$  – концентрация пыли на расстоянии земной орбиты  $R_0$ ,  $R$  – расстояние от Солнца.

- Этот закон справедлив для частиц всех размеров, то есть средний радиус частиц не зависит от расстояния  $R$ .

- В расчетах будем использовать механизм дифракционного рассеяния, то есть предположение о том, что параметр рассеяния  $x = 2\pi a/\lambda \geq 5$ , или радиус пылевых частиц  $a \geq 0.4 \mu\text{м}$ .

Рисунок 3 иллюстрирует геометрию рассеяния к западу от Солнца. Прицельное расстояние:  $r = R_0 \sin \varepsilon / r_{\text{sol}}$  – соответствует элонгации в единицах радиуса солнца.

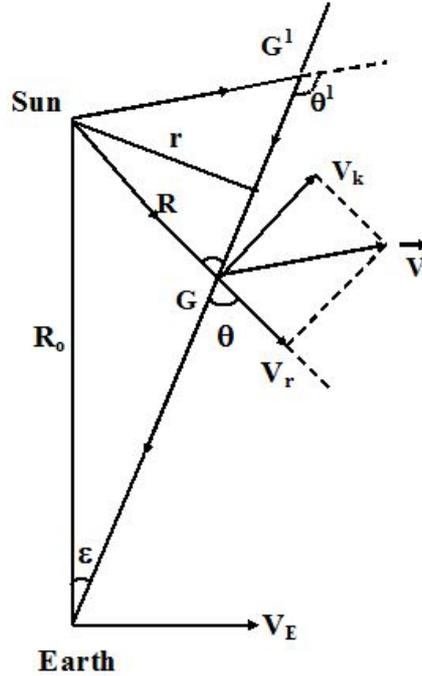


Рисунок 3 – Геометрия рассеяния. EarthGG¹ – луч зрения. G – частица на луче зрения на расстоянии R от Солнца,  $\theta$  – угол рассеяния, r – прицельное расстояние или элонгация (нормаль к лучу зрения),  $\varepsilon$  – элонгация в угловой мере, V – скорость частицы, V<sub>r</sub> – радиальная компонента скорости, V<sub>k</sub> ⊥ R – тангенциальная составляющая скорости, V<sub>E</sub> – орбитальная скорость Земли

В рассеянном солнечном свете наблюдаемая доплеровская скорость частицы складывается из трех компонент:

- Проекция скорости V на направление Солнце – частица, то есть радиальная скорость частицы V<sub>r</sub> по отношению к Солнцу.
- Проекция скорости на направление частица – Земля, то есть на луч зрения.
- Проекция скорости земли V<sub>E</sub> на луч зрения.

В результате, наблюдаемая к западу от Солнца вдоль луча зрения скорость частицы, имеет вид:

$$V_{\text{obs}} = V_r - V_r \cos \theta + V_k \sin \theta - V_e \sin \varepsilon. \quad (2)$$

К востоку от Солнца знаки 3-го и 4-го членов этого выражения (2) должны быть заменены на противоположные. Это обстоятельство дает нам возможность усреднить наблюдательный материал двумя способами, чтобы выделить отдельно влияние радиальной (V<sub>r</sub>) и тангенциальной (V<sub>k</sub>) компонент скорости. Тангенциальную скорость V<sub>k</sub> мы будем считать кеплеровской круговой скоростью.

Наблюдаемая яркость F-короны является суммой рассеянного солнечного излучения на всех частицах пыли, находящихся на луче зрения и может быть представлена. Мы будем использовать его в виде [6]:

$$B(\varepsilon) = k_0 \sin^{-\nu-1}(\varepsilon) \int_{\varepsilon}^{\pi} \sin^{\nu}(\theta) \sigma(\theta) d\theta \quad (3)$$

где  $k_0 = F_0 R_0 n_0$ ,  $[F_0] = \text{эрг см}^{-2} \text{с}^{-1} \text{Å}^{-1}$  – солнечная постоянная для данной длины волны  $\lambda$ ,  $[\sigma(\theta)] = \text{см}^2 \text{стер}^{-1}$  – средняя функция рассеяния, зависящая от размеров и материала частиц. Согласно [7] функция дифракционного рассеяния имеет вид:

$$\sigma(\theta) = a^2 \frac{J_1^2(x\theta)}{\theta^2} \quad (4)$$

где  $x = 2\pi a/\lambda \geq 5$  - параметр рассеяния,  $a$  - радиус частицы,  $\theta$  - угол рассеяния,  $J_1$  - функция Бесселя 1-го порядка действительного аргумента. Этот механизм эффективен при малых углах рассеяния и для достаточно крупных частиц F-короны должен преобладать над изотропным рассеянием, чем мы и воспользовались.

Аналогично яркости, наблюдаемые лучевые скорости в F-короне являются средними, взвешенными по монохроматическим яркостям от всех движущихся частиц, лежащих на луче зрения [8]:

$$V(\varepsilon) = \frac{\int V_{obs} dB_\lambda}{\int dB_\lambda}. \quad (5)$$

Если наблюдаемые скорости  $V_{obs}$  усреднить для западного и восточного направлений с учетом смены знака для восточного направления в выражении (2), то члены  $V_r$  и  $V_r \cos \theta$  уничтожаются в предположении симметрии восток-запад. В этом случае выделяется тангенциальная компонента скорости, а для кругового движения это будет проекция орбитальной скорости на луч зрения. Для анализа выберем измерения лучевых скоростей, усредненные по позиционному углу в пределах  $\pm 30^\circ$  вблизи плоскости эклиптики или иной плоскости концентрации орбит пыли (рисунок 2). Из геометрии рассеяния (рисунок 3) следует:  $r = R \sin \theta = R_0 \sin \varepsilon$ .

Поскольку круговая орбитальная скорость на расстоянии  $R$  равна  $V_k = V_E(R_0/R)^{1/2}$ , то проекция ее на луч зрения к западу от Солнца равна:

$$V_{obs} = \mu V_E \sin^{3/2} \theta \sin^{-1/2} \varepsilon - V_E \sin \varepsilon, \quad (6)$$

где  $V_E$  - круговая скорость частицы на расстоянии земной орбиты,  $\mu = (1-\beta)^{1/2}$ ,  $\beta$  - отношение силы светового давления на частицу в силе тяготения. После интегрирования по лучу зрения согласно (5) получим:

$$V(\varepsilon) = \mu V_E \sin^{-1/2}(\varepsilon) \frac{\int_{\varepsilon}^{\pi} \sin^{v+3/2}(\theta) \sigma(\theta) d\theta}{\int_{\varepsilon}^{\pi} \sin^v(\theta) \sigma(\theta) d\theta} - V_E \sin(\varepsilon) \quad (7)$$

После сравнения интеграла скорости (7) с наблюдениями можно получить оценки некоторых параметров околосолнечного пылевого облака. Из (7) видно, что наблюдаемая интегральная скорость должна изменяться в зависимости от элонгации так же, как и  $V_{obs}$ , то есть  $\sim \sin^{-1/2} \varepsilon$  в соответствии с кеплеровским законом.

Преобразуем интеграл (7) в соответствии с предположением о существовании беспылевой зоны внутри  $R < r_0$ . Предположим, что наши наблюдения получены внутри области элонгаций  $r < r_0$ . В этом случае, каждый интеграл в (3) и (7) разбивается на 2 интеграла: один в пределах от  $\varepsilon$  до  $\theta_0 = \arcsin(R_0 \sin(\varepsilon/r_0))$ , другой от  $\pi - \theta_0$  до  $\pi$ .

Результаты модельных расчетов в сравнении с наблюдениями представлены на рисунках 4 и 5. Расчеты проведены в 2-х вариантах.

В 1-м варианте использована локальная или одночастичная функция рассеяния  $\sigma(\theta)$ , которая зависит от угла  $\theta$ , как от основного аргумента, и еще от двух параметров, входящих в теорию:

$$\sigma(\theta) = \sigma(\theta; a, A) = a^2 \left[ \frac{A}{4} + \left( \frac{J_1(x \cdot \sin(\theta))}{\sin(\theta)} \right)^2 \right], \quad (8)$$

В итоге задача сводится к поиску 5-ти параметров:  $a$  - размер частицы,  $r_0$  - радиус беспылевой зоны,  $v$  - показатель степени в формуле (1),  $\beta$  - отношение светового давления к силе тяготения частицы и  $A$  - Альбеда.

Для определения этих параметров используем набор измерений  $V_{obs,i}$  согласно рисунку 2. Для этого из теории рассчитаем скорости  $V_{calc,i}$  для тех же элонгаций. В качестве критерия согласованности теории с наблюдениями возьмем минимум среднеквадратичного отклонения  $dV$  в смысле "О-С" (Observation - Calculation):

$$dV(a, R_0, \nu, \beta, A) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{obs,i} - V_{calc,i})^2}{N}} = \min \quad (9)$$

Оптимальными параметрами, соответствующими наблюдениям, будем считать такие, которые удовлетворяют критерию (9).

Во 2-м варианте использована интегральная функция рассеяния, которая получена суммарным действием частиц, радиусы которых распределены по степенному закону:  $n(a, \gamma) = n_0 \cdot (a/a_0)^{-\gamma}$ , где  $\gamma$  – показатель степени. В этом случае интегральная функция рассеяния  $\sigma(\theta)$  зависит от угла  $\theta$  как от основного аргумента, и еще от четырех параметров, входящих в теорию:

$$\sigma(\theta) = \sigma(\theta; a_1, A, a_2, \gamma) = \frac{\int_{a_1}^{a_2} S(\theta; a, A) \cdot n(a, \gamma) \cdot da}{\int_{a_1}^{a_2} n(a, \gamma) \cdot da}, \quad (10)$$

где  $S(\theta; a, A)$  – локальная функция рассеяния одной частицы, совпадающая с (8). Здесь  $a_1$  и  $a_2$  – минимальный и максимальный радиусы частиц.

Совпадение модели с наблюдениями в 1-м варианте для затмения 29.03.2006 оказалось очень хорошим (рисунок 4). При минимальном значении  $dV = 1.633$  км/сек, радиус беспылевой зоны  $r_0 = 9.20 r_{sol}$ , радиус частиц  $a = 0.91$  мкм, показатель закона изменения концентрации частиц с расстоянием (1)  $\nu = 2.2$ , действие светового давления  $\beta = 0.7$  и альбеда частиц  $a=0.05$ .

Наилучшее согласие с наблюдениями в случае применения интегральной функции рассеяния получено при  $dV = 2.045$ . Параметры модели:  $a_1 = 0.61$  мкм,  $r_0 = 9.1 r_{sol}$ ,  $\nu = 2.2$ ,  $\beta = 0.74$ ,  $a=0.05$ ,  $\gamma = 5.2$ . Результаты расчетов практически не зависят от верхнего предела радиусов частиц. В расчетах во всех случаях принято:  $a_2 = 10$  мкм. Оценка ошибки, полученная при моделировании, не превосходит ошибки наблюдений, что может служить дополнительным свидетельством реалистичности модели, несмотря на грубую аппроксимацию орбит круговым кеплеровским движением.



Рисунок 4 – Модель распределения околосолнечной пыли в сравнении с наблюдениями Vobs для 29.03.2006. Vcalc – расчет с локальной функцией рассеяния, Vcalc\_int – расчет с интегральной функцией рассеяния

Чтобы можно было сравнивать расчеты с локальной и интегральной функцией рассеяния, мы рассчитали эффективное (средневзвешенное) значение размера частицы  $a_s$  с тем же весом  $n(a, \gamma)$  и в тех же пределах усреднения:

$$a_s = a_s(a_1, a_2, \gamma) = \frac{\int_{a_1}^{a_2} a \cdot n(a, \gamma) \cdot da}{\int_{a_1}^{a_2} n(a, \gamma) \cdot da} \quad (11)$$

В наших расчетах получено:  $a_s = 0.79$  мкм, что несколько меньше величины  $a = 0.91$  мкм, полученной в расчетах с локальной функцией рассеяния.

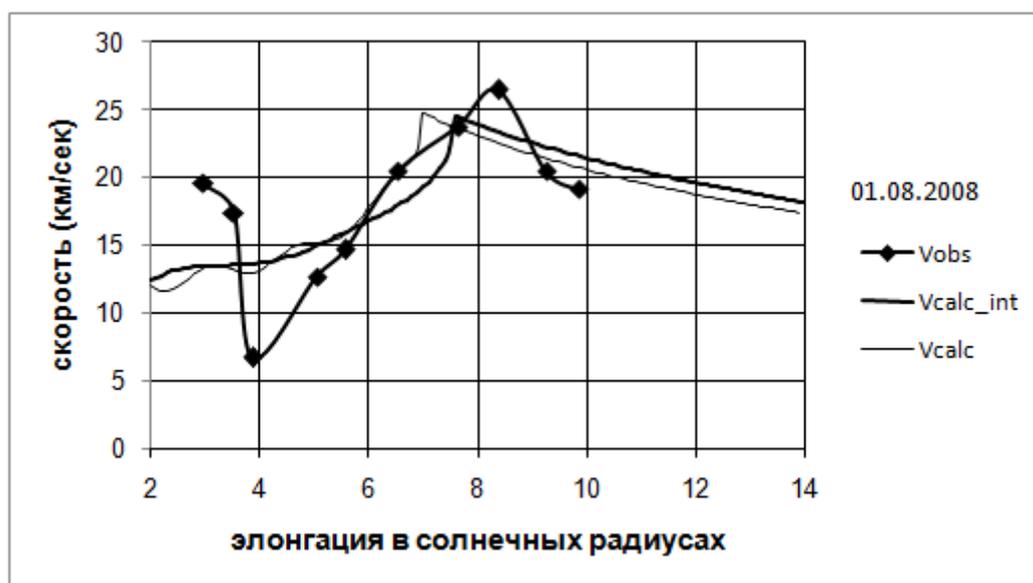


Рисунок 5 – Модель распределения околосолнечной пыли в сравнении с наблюдениями Vobs для 01.08.2008. vcalc – расчет с локальной функцией рассеяния, Vcalc\_int – расчет с интегральной функцией рассеяния

Сравнение модели с наблюдениями для затмения 01.08.2008 (рисунок 5) показало другие величины модельных параметров. При минимальном значении  $dV = 3.507$  км/сек, радиус беспылевой зоны  $r_0 = 7.00 r_{sol}$ , радиус частиц  $a = 1.15$  мкм, показатель закона изменения концентрации частиц с расстоянием (1)  $\nu = 1.0$ , действие светового давления  $\beta = 0.01$  и альbedo частиц  $A=0.20$ .

Наилучшее согласие с наблюдениями в случае применения интегральной функции рассеяния получено при  $dV = 3.637$ . Параметры модели:  $a_1 = 0.57$  мкм,  $r_0 = 7.6 r_{sol}$ ,  $\nu = 1.08$ ,  $\beta = 0.02$ ,  $A=0.10$ ,  $\gamma = 4.0$ . Среднее значение радиуса частиц  $a_s = 0.85$  мкм, что также меньше величины  $a = 1.15$  мкм, полученной в расчетах с локальной функцией рассеяния. Критерий согласованности модели с наблюдениями  $dV = (3.5 - 3.6)$  км/сек, полученный при моделировании результатов наблюдений 2008 года значительно превышен в сравнении с 2006. Точность наблюдений в 2008 году действительно была несколько хуже, чем в 2006 году.

Дело в том, что небо во время затмения 2008 года было примерно в 2 раза ярче, чем в 2006 году, когда были идеальные погодные условия. Это означает, что контраст линий F-короны был значительно ниже.

Кроме того, на малых элонгациях в 2008 году наблюдался сильный перепад скоростей, который можно объяснить наличием внутренней зоны сублимации тугоплавких частиц. Повышение величины критерия согласованности  $dV$  может иметь именно такое простое объяснение, поскольку в модель не вводилось наличие 2-й зоны сублимации. Тем не менее, результаты моделирования, относящиеся к внешней зоне сублимации, вполне реалистичны и полученные параметры соответствуют параметрам зодиакального пылевого облака [9, 10].

**Результаты моделирования и выводы.** Итак, оказалось, что, несмотря на различия в направлениях движения пылевых облаков около Солнца, удается выделить основной тип орбитального движения, в который вовлечена основная масса пыли в заданный момент времени, соответствующий времени наблюдения солнечного затмения. В этом случае пространственное распределение пыли вблизи области сублимации поддается моделированию. Наилучшее согласие с наблюдениями поля лучевых скоростей пыли для затмений разных лет представлено в таблице. Результаты, полученные в 1981 году, представлены в таблице 4 по данным [2]. Величины  $\beta$ ,  $A$  и  $\gamma$ , указанные в скобках, заданы предположительно, а не получены из модели.

Параметры распределения пыли вблизи зоны сублимации

dV(km/s)	$r_0(r_{sol})$	$a_1(mkm)$	$a(mkm)$	$a_s(mkm)$	$v$	$\beta$	$V$	$\gamma$
31.07.1981, Vcalc								
≈ 10	6.5-7.0	0.2	0.4-0.5	–	1.1	(0-0.5)	(0.25)	(4.0)
29.03.2006, Vcalc								
1.633	9.2	–	0.91	–	2.2	0.7	0.05	–
29.03.2006, Vcalc_int								
2.045	9.1	0.61	–	0.79	2.2	0.74	0.05	5.2
01.08.2008, Vcalc								
3.507	7.0	–	1.15	–	1.0	0.01	0.20	–
01.08.2008, Vcalc_int								
3.637	7.6	0.57	–	0.85	1.08	0.02	0.10	4.0

Результаты наших ранних наблюдений 1981 и 1991 гг. Показали, что пылевые частицы в околосолнечной зоне почти на 2 порядка меньше частиц Зодиакального облака. Кроме классической компоненты пылевого населения Солнечной системы, обнаружено, что около Солнца существуют пылевые частицы обратного движения, о чем свидетельствует раздвоение некоторых участков спектральных линий (колец). Источником такой пыли могут быть кометы обратного движения.

Более рафинированные наблюдения 2006 и 2008 гг. Показали, что в 2006 году мы наблюдали определенно кометную пыль. Об этом говорят не только данные о близком по времени прохождении комет группы Крейца, но и сами полученные параметры модели. В 2006 году наблюдалась "черная" кометная пыль с низким альбедо ( $A = 0.05$ ) с высокой степенью концентрации вблизи беспылевой зоны ( $v = 2.2$ ), сильным световым давлением ( $\beta = 0.70-0.74$ ) и более "крутым" распределением по размерам ( $\gamma = 5.2 > 4.0$ ), чем это принято при рассмотрении астероидной пыли [9, 10]. Радиус беспылевой зоны совпал с положением наблюдаемого [11] инфракрасного избытка вблизи  $r = 9 r_{sol}$ . Этот результат не противоречит известным данным о температурах плавления легкоплавких железосодержащих оливинов (1200 К) и пироксенов (1300 К), что соответствует в чернотельном приближении расстояниям (9-11)  $r_{sol}$ . Средние радиусы частиц ( $a = 0.8 - 0.9$  мкм) имеют слишком большие величины светового давления, что возможно для "легких" кометных частиц, включающих органические соединения.

Результаты 2008 года свидетельствуют об астероидном происхождении наблюдаемой пыли, для которой получены стандартные значения параметров, близкие к классическим значениям для более крупных частиц зодиакального облака:  $v$  близко к 1,  $\beta$  близко к 0, альбедо  $A = 0.1-0.2$  в соответствии с моделью зодиакального облака, полученного из инфракрасных наблюдений [10].

*Работа выполнена при поддержке гранта № 0075/ГФ4 Комитета науки МОН РК.*

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Shcheglov P.V., Shestakova L.I., Ajmanov A.K.. Results of interferometric observations of the F-corona radial velocity field between 3 and 7 solar radii // *Astron. & Astrophys.* 1987. V. 173. P. 383-388.
- [2] Shestakova L.I.. Interpretation of F-corona radial velocity observations // *Astron. & Astrophys.* 1987. V. 175. P. 289-291.
- [3] Shestakova L.I., Rspaev F.K., Minasyants G.S. и др. The observation of total solar eclipse on march 29, 2006 in Kazakhstan // *Odessa Astron. Publications.* 2007. V.20. P.203-204.
- [4] Шестакова Л.И., Демченко Б.И., Рспаев Ф.К., Chalabaev A. Интерферометрические наблюдения поля лучевых скоростей пыли в F-короне 29.03.2006 // *Известия НАН РК. Серия физ-мат.* 2011. № 4. С. 73-82.
- [5] Шестакова Л.И., Демченко Б.И., Рспаев Ф.К. и др. Наблюдения лучевых скоростей пыли в F-короне во время полного солнечного затмения 1.08.2008 // *Известия НАН РК. Серия физ-мат.* 2009. № 4. С. 97-104.
- [6] Leinert C. Zodiacal light – a measure of the interplanetary environment // *Sp.Sc.Rev.* 1975. V. 18. P. 281-339.
- [7] Van de Hulst H.C. Zodiacal light in the solar corona // *Astrophys. J.* 1947. V. 107. P. 471-497.
- [8] Hicks T.R., May B.H., Reay N.K. An investigation of the motion of zodiacal dust particles // *MNRAS.* 1974. V. 166. P. 439-448.
- [9] Ishimoto H. Modeling the number density distribution of interplanetary dust on the ecliptic plane within 5AU of the Sun // *Astron. Astrophys.* 2000. V. 362. P. 1158-1173.
- [10] Kelsall T., Weiland J.L., Franz B.A. et al. The COBE diffuse infrared background experiment search for the cosmic infrared background. II. Model of the interplanetary dust cloud // *Astrophys. J.* 1998. V. 508. P. 44-73.
- [11] MacQueen R.M. Infrared observation of the outer solar corona // *Astrophys. J.* 1968. V.154. P. 1059-1076.

## REFERENCES

- [1] Shcheglov P.V., Shestakova L.I., Ajmanov A.K.. *Astron. & Astrophys.* 1987. V. 173. P. 383-388.
- [2] Shestakova L.I. *Astron. & Astrophys.* 1987. V. 175. P. 289-291.
- [3] Shestakova L.I., Rspaev F.K., Minasyants G.S. и др. *Odessa Astron. Publications.* 2007. V.20. P.203-204.
- [4] Shestakova L.I., Demchenko B.I., Rspaev F.K., Chalabaev A. *Izvestiya NAN RK. Serija fiz.-mat.* 2011. № 4. P. 73-82. (in Russian).
- [5] Shestakova L.I., Demchenko B.I., Rspaev F.K. et al. *Izvestiya NAN RK. Serija fiz.-mat.* 2009. № 4. P. 97-104. (in Russian).
- [6] Leinert C. *Sp.Sc.Rev.* 1975. V. 18. P. 281-339.
- [7] Van de Hulst H.C. *Astrophys. J.* 1947. V. 107. P. 471-497.
- [8] Hicks T.R., May B.H., Reay N.K. *MNRAS.* 1974. V. 166. P. 439-448.
- [9] Ishimoto H. *Astron. Astrophys.* 2000. V. 362. P. 1158-1173.
- [10] Kelsall T., Weiland J.L., Franz B.A. et al. *Astrophys. J.* 1998. V. 508. P. 44-73.
- [11] MacQueen R.M. *Astrophys. J.* 1968. V.154. P. 1059-1076.

## КҮН ТҰТЫЛУ КЕЗІНДЕГІ СӘУЛЕ ЖЫЛДАМДЫҒЫНЫҢ БАҚЫЛАУЛАРЫ БОЙЫНША КҮН МАҢЫНДАҒЫ ТОЗАҢНЫҢ ТАРАЛУ ҮЛГІСІ

Л. И. Шестакова, Б. И. Демченко

«В. Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** Күн жүйесі, F-тәжі, күн маңындағы тозаң, сангрейзерлер, зодиак бұлты.

**Аннотация.** 29.03.2006 және 01.08.2008 толық күн тұтылуы кезінде 11 күн радиусы қашықтығына дейін F-тәжі сәуле жылдамдығының бақылаулары бойынша күн маңындағы аймақта тозаңның таралу үлгісінің нәтижелері ұсынылды. Нәтижелерді салыстыру тозаңның әр жылдары құрамын өзгертіп отыратынын және динамикалық біртекті еместігін, тозаңсыз аймақтың шегарасының орналасуы және бөлшектердің орташа көлемі өзгеретінін көрсетті. 29.03.2006 тозаңның орбиталық қозғалысы планеталардың қарама-қарсы бағытына бағытталған және эклиптика жазықтығына үлкен көлбеу болып келеді. 2006 жылдың нәтижелері тұтылу күніне жақын Күн маңында табылған Крейц тобының аналық кометаларымен орбиталық қозғалысы бақыланып отырған тозаңның генетикалық байланысы жөнінде қуәландырады. Сублимация аймағына жақын тозаңның таралу параметрлері анықталды. 2006 жылы қашықтықпен ( $v = 2.2 > 1$ ) тозаң концентрациясы таралу заңында көрсеткіштің үлкен мәнімен ( $A = 0.05$ ) төмен альбедомен "қара" комета тозаңы бақыланды. Бөлшектердің орташа радиусы 0.8-0.9 мкм маңында құрайды және шаңсыз аймақ радиусы 9.1-9.2 күн радиустарына тең. 2008 жылы эклиптика жазықтығына концентрацияланған классикалық параметрлермен зодиак тозаңы бақыланды:  $A = 0.1-0.2$ ,  $v \approx 1$ , бөлшектердің орташа радиусы 0.9-1.2 мкм, шаңсыз аймақ радиусы 7.0-7.6 күн радиустары.

Поступила 15.15.2015 г.

---

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.physics-mathematics.kz>

Редактор *М. С. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 25.09.2015.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
11,0 п.л. Тираж 300. Заказ 5.