

<http://road.issn.org/issn/2518-1726>

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 (309)

**ҚЫРКҮЙЕК – ҚАЗАН 2016 ж.
СЕНТЯБРЬ – ОКТЯБРЬ 2016 г.
SEPTEMBER – OCTOBER 2016**

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

ҚР ҰҒА ХАБАРЛАРЫ. ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА СЕРИЯСЫ

Бас редакторы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҰҒА академигі **Ғ.М. Мұтанов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев У.У. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жүсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазақстан)
Сұраған Д. PhD докторы (Қазақстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қырғыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзірбайжан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

ИЗВЕСТИЯ НАН РК. СЕРИЯ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ

Главный редактор
д.ф.-м.н., проф. академик НАН РК **Г.М. Мутанов**

Редакционная коллегия:

Джумадильдаев А.С. проф., академик (Казахстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Казахстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умирбаев У.У. проф. чл.-корр. (Казахстан)
Жусупов М.А. проф. (Казахстан)
Джумабаев Д.С. проф. (Казахстан)
Асанова А.Т. проф. (Казахстан)
Бошкаев К.А. доктор PhD (Казахстан)
Сураган Д. доктор PhD (Казахстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Кыргызстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Беларусь)
Пашаев А. проф., академик (Азербайджан)
Такибаев Н.Ж. проф., академик (Казахстан), зам. гл. ред.
Тигиняну И. проф., академик (Молдова)

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

<http://road.issn.org/issn/2518-1726>

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

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

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

**NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN. SERIES OF PHYSICS AND MATHEMATICS**

E d i t o r i n c h i e f

doctor of physics and mathematics, professor, academician of NAS RK **G.M. Mutanov**

E d i t o r i a l b o a r d:

Dzhumadildayev A.S. prof., academician (Kazakhstan)
Kalmenov T.Sh. prof., academician (Kazakhstan)
Zhantayev Zh.Sh. prof., corr. member. (Kazakhstan)
Umirbayev U.U. prof. corr. member. (Kazakhstan)
Zhusupov M.A. prof. (Kazakhstan)
Dzhumabayev D.S. prof. (Kazakhstan)
Asanova A.T. prof. (Kazakhstan)
Boshkayev K.A. PhD (Kazakhstan)
Suragan D. PhD (Kazakhstan)
Quevedo Hernando prof. (Mexico),
Dzhunushaliyev V.D. prof. (Kyrgyzstan)
Vishnevskiy I.N. prof., academician (Ukraine)
Kovalev A.M. prof., academician (Ukraine)
Mikhalevich A.A. prof., academician (Belarus)
Pashayev A. prof., academician (Azerbaijan)
Takibayev N.Zh. prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief.
Tiginyanu I. prof., academician (Moldova)

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

<http://road.issn.org/issn/2518-1726>

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 / physics-mathematics.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

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 309 (2016), 73 – 80

UDC 524.5

L.I. Shestakova, B.I. Demchenko

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

shest1952@mail.ru**ORBITAL EVOLUTION OF SILICATE DUST PARTICLES DURING
SUBLIMATION NEAR A-TYPE STARS**

Abstract. The results of orbital evolution modeling of the dust particles in the process of evaporation in the disk of A-type star β -Pictoris, are presented. Temperature calculations for dust particles, based on the solution of the heat balance equation "absorption=emission" were made for a set of radii from 0.01 to 100 microns, and for different distances from the star. The optical properties were calculated by the Mie theory for homogeneous spherical particles according to the refractive indexes of basalt material. We were considered the effect of radiation pressure as well as Poynting-Robertson drag on the dust dynamics.

It was found that particles with radii of less than 2 microns, coming off from the larger parent bodies moving in circular orbits outside sublimation zone, just fly away from the star under the action of light pressure. Particles larger sizes at first are moving in a spiral inward toward the star under the action of the Poynting-Робертсон drag, and on reaching the sublimation zone, they evaporate till a radius of 1-2 microns and are moving on highly elliptical orbits, from which they will eventually fly away from the star. Complete evaporation is possible only for particles coming off from the parent bodies inside the zone sublimation.

It was found that the active region of sublimation of small particles with size <0.1 microns starts at a distance of 50 - 60 solar radii. Larger particles in the range of radii 0.1-1.0 microns evaporate inside the region of sublimation if they come off from the parent bodies at a distance of 20 to 50 radius of the star. The border of sublimation zone for particles with radii more than 2 microns stabilize at approximately 20 tar radii.

Keywords: β -Pictoris, debris disk, circumstellar disk, dust grains, orbital evolution, dust sublimation

УДК 524.5

Л.И. Шестакова, Б.И. Демченко

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

**ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СИЛИКАТНЫХ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ
В ПРОЦЕССЕ СУБЛИМАЦИИ ОКОЛО ЗВЕЗД КЛАССА А**

Аннотация. Представлены результаты моделирования орбитальной эволюции пылевых частиц в процессе испарения в диске звезды класса А β -Pictoris. Расчеты температуры пылевых частиц, основанные на решении уравнения теплового баланса «поглощение-излучение» выполнены для набора радиусов от 0.01 до 100 мкм и различных расстояний до звезды. Оптические свойства рассчитаны по теории Ми для однородных сферических частиц в соответствии с индексами рефракции земного материала - базальта. Учитывалось влияние давления радиации, а также эффектов торможения Пойнтинга-Робертсона на динамику пыли.

Получено, что частицы с радиусами меньше 2 мкм, срывающиеся с более крупных родительских тел, движущихся по круговым орбитам, за пределами зоны сублимации, сразу улетают прочь от звезды под действием светового давления. Частицы большего размера сначала движутся по спирали внутрь по направлению к звезде под действием эффекта Пойнтинга-Робертсона, а по достижении зоны сублимации

они испаряются до радиуса 1-2 мкм и выходят на сильно вытянутые эллиптические орбиты, с которых, в конечном счете, улетают прочь от звезды. Полное испарение возможно только для частиц, отрывающихся от родительских тел внутри зоны сублимации.

Было установлено, что активная область сублимации мелких частиц с размером $<0,1$ мкм начинается на расстоянии 50 - 60 солнечных радиусов. Более крупные частицы в интервале радиусов 0.1-1.0 мкм испаряются внутри области сублимации, если они отрываются от родительских тел на расстоянии от 20 до 50 радиусов звезды. Граница зоны сублимации частиц радиусами более 2 мкм стабилизируется на расстоянии около 20 радиусов звезды.

Ключевые слова: β -Pictoris, осколочный диск, околозвездный диск, пылевые частицы, орбитальная эволюция, сублимация пыли

Введение. Осколочные диски около ближайших звезд главной последовательности: Веги, Фомальгаута и β Pictoris обнаружены в результате первых наблюдений в инфракрасном диапазоне с помощью миссии IRAS [1,2]. Избытки инфракрасного излучения были обнаружены на длинах волн 12, 25 и 100 мкм, что свидетельствуют о наличии пылевых дисков, окружающих эти звезды.

Осколочные диски в результате коллизионного взаимодействия постоянно воспроизводят пыль, которая затем эволюционирует в составе диска в зависимости от размеров частиц с различным финалом: либо пылевые частицы испаряются в области сублимации, либо покидают систему родительской звезды и пополняют межзвездную среду.

Оказалось, что среди звезд с пылевыми дисками около 50% - молодые звезды класса А, которые могли сохранить первоначальный диск, благодаря короткому времени жизни (в среднем около 850 миллионов лет) в сравнении со звездами более поздних классов [3]. Кроме того А-звезды обычно ярче звезд других классов, диски около которых недоступны для наблюдений.

Расчеты орбитальной эволюции пылевых частиц для звезд класса А проведены с параметрами, типичными для звезды класса AV5 - β Pictoris (HR 2020). Для расчетов выбран силикатный материал – базальт, как наиболее соответствующий наблюдениям границы области сублимации для околозвездной пыли [4,5].

Звезда β Pictoris является прототипом звезд класса А с переменной околозвездной компонентой. Протопланетный диск около β Pictoris имеет сходные черты с Солнечной системой [6]: химический состав пыли около β Pictoris подобен материалам частиц в Солнечной системе и испарившийся и ионизованный газ планетезималей, наблюдаемый вблизи звезды, имеет обычное солнечное химическое обилие.

Различия в процессах, происходящих в пылевых дисках около Солнца и звезды класса А (β Pictoris) определяются различиями в возрасте и классе звезды. Среди существенных различий можно отметить роль радиационного давления, действующего на пыль, которая проявляется у β Pictoris сильнее, чем в нашей Солнечной системе. Появляется возможность лавинообразного потока коллизионных осколков субмикронных размеров и их фрагментов наружу сквозь диск, что подтверждается и нашими расчетами орбитальной эволюции пылевых частиц.

Исходные данные. Используются следующие параметры звезды: $T_s=8052\text{K}$ – эффективная температура фотосферы звезды; $r_s=1.8r_\odot$ - радиус звезды в единицах радиуса Солнца; $M_s = 1.75M_\odot$ - масса звезды в единицах солнечной массы.

Параметры материала - базальта описываются таблицей комплексных индексов рефракции $m(\lambda)=n(\lambda)+ik(\lambda)$, согласно [7,8] с добавлением экстраполированных величин со стороны ультрафиолета. Расчеты проведены для интервала длин волн λ от $\lambda_1=0.0075$ мкм до $\lambda_2=50$ мкм. Для пылевых частиц базальта принято среднее значение плотности $\delta=2.5$ г/см³ и молекулярный вес материала $M_g=67.0$. Распределение энергии в спектре звезды описывается функцией Планка с $T_s=8052\text{K}$.

Расчеты орбитальной эволюции частиц и всех сопутствующих параметров проведены для интервала радиусов частиц (s) от 0.01мкм до 100мкм.

Расчеты теплового баланса и светового давления. Основное уравнение теплового баланса согласно [8] выглядит следующим образом:

$$E_{abs} = \pi s^2 (\Omega / \pi) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_s) d\lambda = E_{rad} = 4\pi s^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_g) d\lambda, \quad (1)$$

где s — радиус пылевой частицы; λ_1 и λ_2 — пределы интегрирования; r — расстояние от звезды; $\Omega = 2\pi(1 - \sqrt{1 - r_s^2 / r^2})$ - телесный угол диска звезды, видимый с расстояния r , где r_s — радиус звезды. Если $r > 10r_s$, то выражение для Ω можно упростить: $\Omega = \pi(r_s^2 / r^2)$. $Q_{abs}(\lambda, s, m)$ — фактор эффективности поглощения, рассчитывается по теории Ми [9,10], $m(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$ — комплексный индекс рефракции материала частиц. $B(\lambda, T_s)$ — функция излучения Планка для звезды с эффективной температурой T_s . $B(\lambda, T_g)$ — функция Планка для пылевой частицы, нагретой до температуры T_g .

Фактор $Q_{abs}(\lambda, s, m)$ входит как в левую, так и в правую части равенства (1). Это означает, что эффективность поглощения падающего излучения на длине волны λ такая же, что и эффективность излучения на этой же длине волны. Температура пылевой частицы T_g находится из условия (1), которое можно рассматривать как нелинейное уравнение относительно T_g . Результаты решения этого уравнения представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что температура реальных частиц сильно отличается от температуры абсолютно черного тела и заметно зависит как от размера частиц, так и от расстояния до звезды. Температуры частиц разных размеров заметно отличаются, даже если они находятся на одинаковом расстоянии от звезды. Максимальную температуру имеют частицы с радиусами около 0.03-0.1 мкм. Физическая природа этого явления заключается в общности свойств рассеяния, а именно, дифракцией света на малых частицах, которая сильно зависит от отношения размера частиц к длине волны. Эффективность процесса тяготеет к длинам волн, близких к максимуму излучения звезды. Из рисунка 1 видно также, что для частиц малых размеров ($s < 1$ мкм) реальные температуры выше температуры черного тела и только для крупных частиц они практически совпадают.

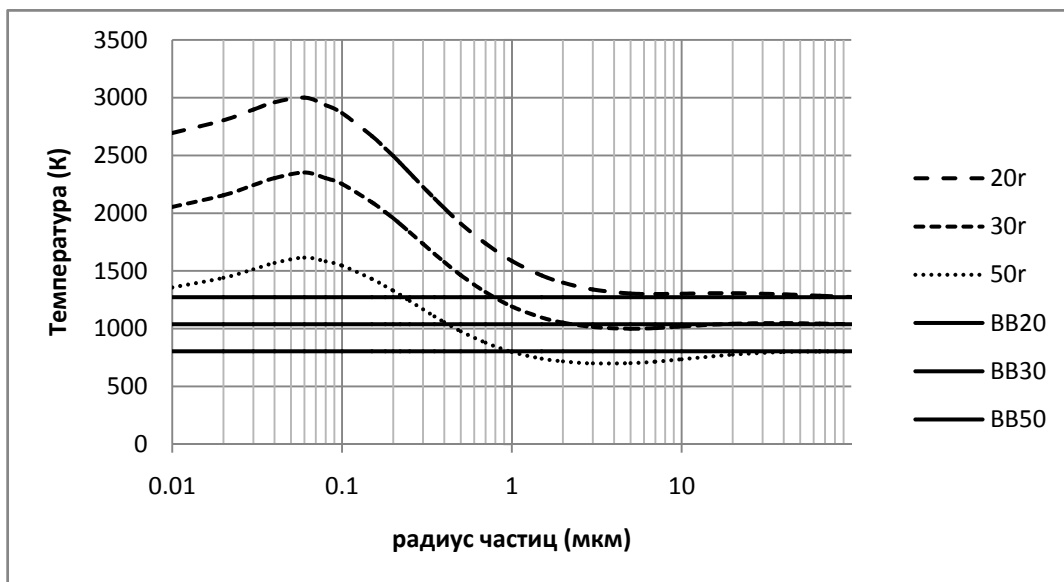


Рисунок 1 – Температура пыли на расстояниях $20r_s$, $30r_s$ и $50r_s$ от звезды в зависимости от радиуса частиц s . Горизонтальные линии соответствуют температурам черного тела на тех же расстояниях

Можно сделать вывод, что на расстояниях, меньших 20 радиусов звезды, температура нагрева частиц превышает температуру плавления силикатов, которая близка к 1300К, поэтому на расстояниях $r < 20r_s$ пыль в виде облака твердых частиц существовать не может. Сила радиационного давления F_{pre} вычисляется, согласно [11], по формуле:

$$F_{pre} = \frac{\pi s^2}{c} \frac{r_s^2}{r^2} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) B(\lambda, T_s) d\lambda, \quad (2)$$

где c – скорость света, $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ – фактор эффективности светового давления, рассчитанный по теории Ми, $B(\lambda, T_s)$ – функция Планка для звезды с эффективной температурой T_s .

Важными параметрами для оценки поведения пылевых частиц в окрестности звезды являются: среднее значение эффективного фактора светового давления $Q_{pr}(s, m)$ и отношение силы светового давления к силе гравитации $\beta(s, m)$.

В качестве спектральной плотности излучения звезды берется функция Планка при температуре $T_s = 8052\text{K}$. Расчетные формулы имеют вид:

$$Q_{pr}(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) \cdot B(\lambda, T) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) \cdot d\lambda}, \quad \beta(s, m) = \frac{F_{pre}(s, m)}{F_{grav}} = \frac{3 \cdot Q_{pr}(s, m) \cdot L}{16\pi \cdot c \cdot \mu \cdot \delta \cdot s}, \quad (3)$$

где $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ – эффективный спектральный фактор давления, рассчитанный по теории Ми, $L = 8.7L_{\odot}$ – полная светимость звезды β -Pictoris, $\mu = 2.322 \cdot 10^{20} \text{ м}^3/\text{с}^2$ – гравитационный параметр звезды (т.е. произведение гравитационной постоянной на массу), $\delta = 2.5\text{г}/\text{см}^3$ – плотность базальта.

Результаты расчетов отношения силы давления к силе притяжения $\beta(s, m)$ для частиц базальта представлены на рисунке 2.

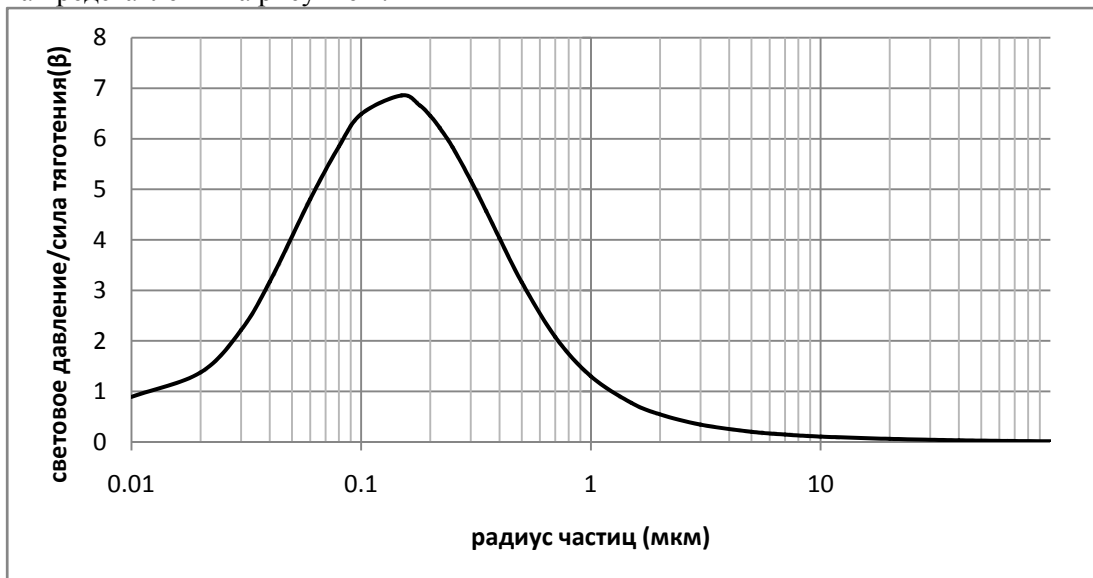


Рисунок 2 – Зависимость отношения силы светового давления к силе притяжения ($\beta = F_{pre}/F_{grav}$) от радиуса частицы

Максимальное значение β , согласно рисунку 2, достигается вблизи радиусов частиц 0.1-0.2 мкм.

Из результатов вычислений отношения силы светового давления к силе тяжести, представленных на рисунке 2, можно сделать вывод, что частицы с радиусами от 0.01 мкм до 1 мкм покидают систему звезды β Pictoris, если они отрываются от родительского тела за пределами зоны сублимации. Действительно, чем больше значение β , тем меньше у частицы шансов остаться в околозвездном пространстве. Если $\beta > 1$, то такие частицы безусловно покидают пределы системы, так как на любых расстояниях сила радиационного отталкивания превышает силу гравитационного притяжения. Но и частицы со значениями β от 0.5 до 1.0 также с большой вероятностью способны улететь в бесконечность в процессе испарения при выходе их на высокоэллиптические орбиты.

Таким образом, радиационное давление звезды приводит к сильному разделению пылевой составляющей в околозвездном пространстве на несколько фракций в зависимости от размеров пылинок.

Расчеты орбитальной эволюции пылевых частиц. Расчет орбитальной эволюции пылевых частиц основан на численном интегрировании системы дифференциальных уравнений:

$$\dot{r} = r\dot{\phi}^2 - \frac{\mu}{r^2} \cdot (1 - \beta) \quad (4)$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{1}{r^2} \cdot \left[2r \cdot \dot{r}\dot{\phi} + \alpha \cdot \dot{\phi} \cdot \left(1 + \frac{r_{sun}^2}{2r^2} \right) \right] \quad (5)$$

$$\dot{s} = \frac{0.0408}{\delta} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{M_g}{T}} \quad (6)$$

Для вычисления давления насыщенных паров P служит формула [12,13]: $\lg(P)=10.915 - 24928.3/T$, где P выражено в торах ($1\text{тор} = 1\text{мм.рт.ст.}$). В уравнении (6) давление P выражено в торах, а плотность δ выражено в г/см^3 , \dot{S} в см/сек . Приняты следующие обозначения:

$\dot{r} = dr/dt$ - скорость изменения r со временем; $\ddot{r} = d^2r/dt^2$ - ускорение; ϕ - полярный угол (угол поворота вектора \vec{r}); $\dot{\phi} = d\phi/dt$ - угловая скорость изменения ϕ со временем; $\ddot{\phi} = d^2\phi/dt^2$ - угловое ускорение; $\dot{s} = ds/dt$ - скорость изменения радиуса частицы s со временем; M_g - молекулярный вес материала частицы; $\alpha = \beta \cdot \mu/c$.

Совокупность 3-х уравнений эквивалентна системе из пяти дифференциальных уравнений 1-го порядка относительно искомым функций времени: r , \dot{r} , ϕ , $\dot{\phi}$, s . Для решения этой системы применяется метод Рунге-Кутты 4-го порядка точности с постоянным шагом.

Орбитальная эволюция частиц рассчитана для ряда начальных радиусов частиц s_0 от 0.01 мкм до 100 мкм и различных стартовых расстояний r_0 вблизи зоны сублимации. Предполагается, что частица срывается с родительского тела, двигающегося по круговой орбите.

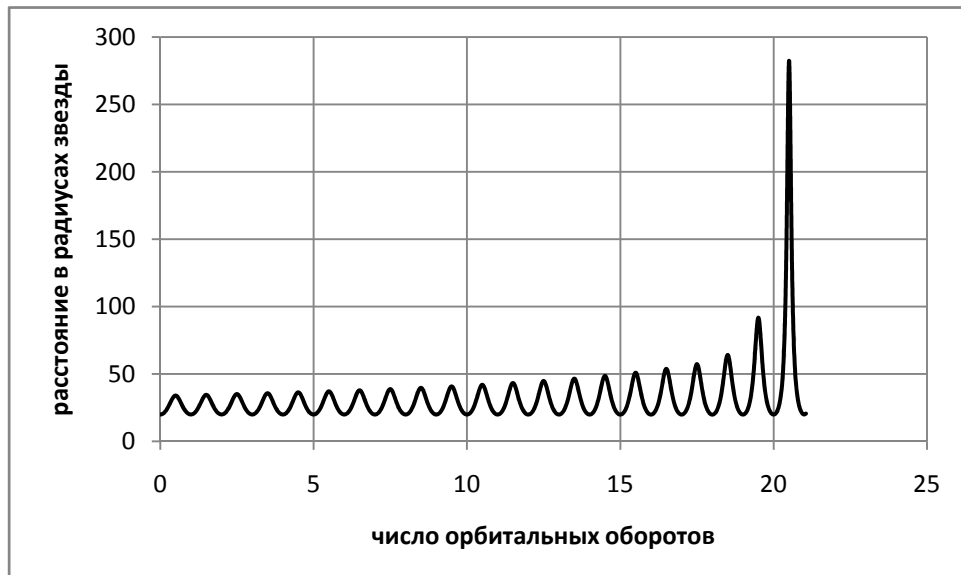


Рисунок 3 – Орбитальная эволюция частицы базальта с начальным радиусом $s_0 = 5$ мкм. Стартовое расстояние $20r_s$

Как видно из рисунков 3 и 4 орбитальная эволюция частицы с начальным радиусом $s_0 = 5.0$ мкм зависит от стартового расстояния вблизи зоны сублимации. Частица, стартующая с расстояния $20r_s$, испаряется после 21 орбитального оборота. При этом она на последнем обороте

успеваает вылететь на высокоэллиптическую орбиту почти до $300 r_s$. Такая же частица, стартующая с расстояния $22r_s$, покидает звездную систему после 101-го орбитального оборота (рис.4).

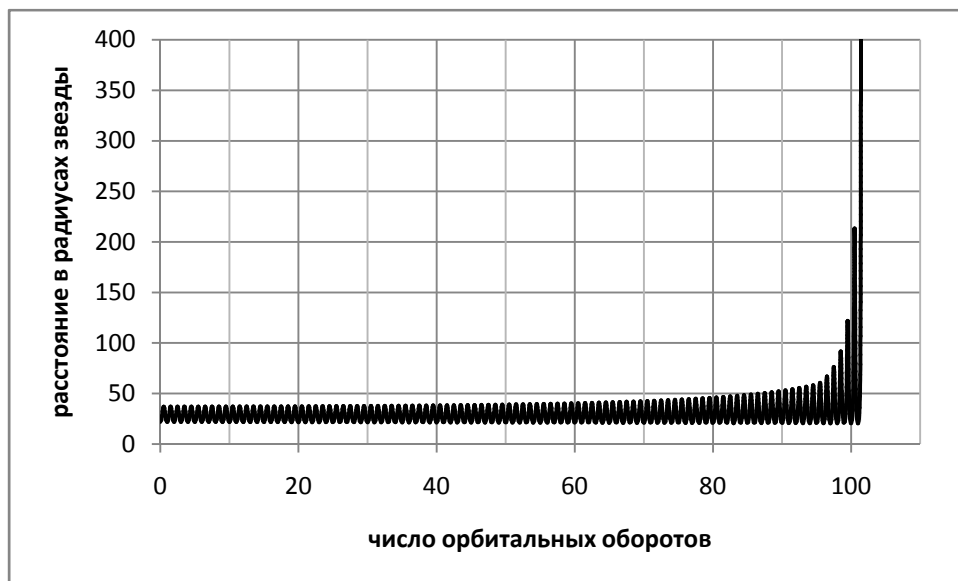


Рисунок 4 – Орбитальная эволюция частицы базальта с начальным радиусом $s_0 = 5$ мкм. Стартовое расстояние $22r_s$

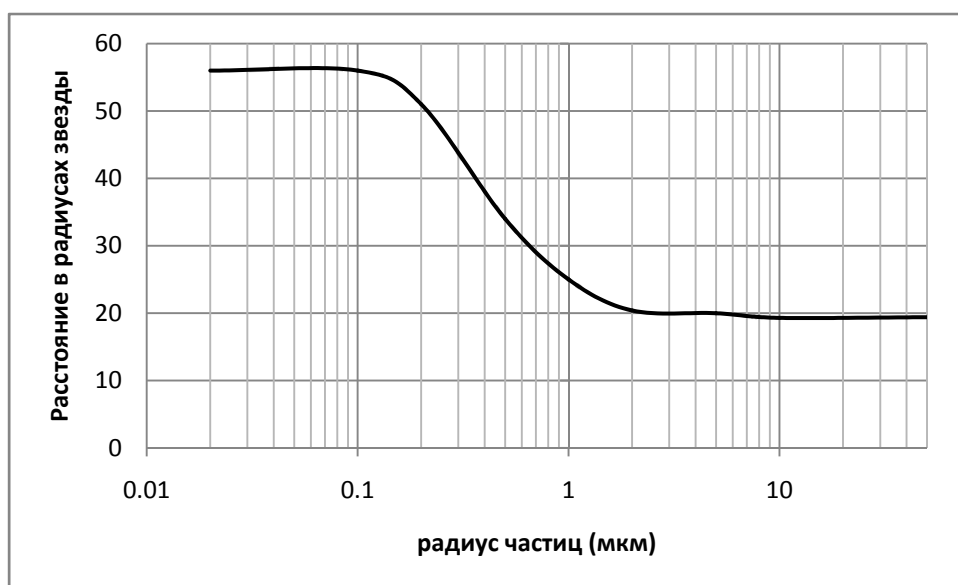


Рисунок 5 – Расстояние сублимации в зависимости от радиуса частиц

Из рисунка 5 видно, что частицы разных размеров испаряются на различных расстояниях от звезды, из-за различия температур частиц, которые сильно зависят от их размеров (рис.1). Дальше всех от звезды при попадании в область сублимации испаряются мелкие частицы, это происходит на расстоянии $56-57r_s$. Граница зоны сублимации более крупных частиц радиусами $s > 2$ мкм стабилизируется на расстоянии около 20 радиусов звезды.

Обсуждение результатов и выводы. Температурный режим пыли отличается от режима абсолютно черного тела и сильно зависит от размера частиц (рис.1). Максимальную температуру имеют частицы с радиусами около 0.03-0.1 мкм. Частицы этих размеров испаряются, если они срываются от родительских тел внутри области до 56-57 радиусов звезды (рис.5). Вне этой области они изгоняются световым давлением (рис.2).

Действие светового давления приводит к тому, что силикатные частицы радиусами от 0.01 мкм до 1-2 мкм покидают систему звезды β Pictoris, если они отрываются от родительских тел вне области сублимации (рис.2).

Частицы более крупных размеров сначала «заспиральваются» внутрь по направлению к звезде под действием эффекта торможения Пойнтинга-Робертсона, а по достижении зоны сублимации, испаряются до радиусов 1-2 мкм, а затем выходят на высокоэллиптические орбиты, с которых они в конечном итоге улетают прочь от звезды. Полное испарение возможно только для частиц, отрывающихся от родительских тел внутри зоны сублимации.

В результате решения уравнения теплового баланса выяснено (рис.1), что на расстояниях до 20 радиусов звезды, космическая пыль в виде облака твердых частиц существовать не может, так как температура нагрева за счет излучения превышает температуру плавления силикатов (рис.1). Этот же вывод можно сделать из расчетов орбитальной эволюции частиц (рис.5).

Для малых частиц радиусами менее 0.1 мкм граница зоны сублимации стабилизируется на расстоянии 56-57 радиусов звезды, а для крупных частиц радиусами более 2 мкм сублимация происходит на расстоянии около 20 радиусов. На расстояниях между 20 и 57 радиусов звезды испаряются частицы промежуточных размеров,

Важно отметить 2 главных вывода:

□ Полное испарение возможно только для частиц, отрывающихся от родительских тел внутри зоны сублимации.

□ Практически все частицы, оторвавшиеся от родительских тел вне зоны сублимации уносятся прочь от звезды и становятся источником коллизионных взаимодействий для более внешних слоев звездного диска.

Работа выполнена по программе целевого финансирования 0073/ПЦФ-14 «Астрофизические исследования звездных и планетных систем» Комитета науки МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Smith B.A. and Terrile R.J. A circumstellar disk around Beta Pictoris // *Science*. 1984. V.226. P.1421-1424.
- [2] Aumann H.H. et al. Discovery of a shell around Alpha Lyrae // *Astrophys.J. Letters*. 1984. V.278. P.L23-27.
- [3] Trilling et al. Debris Disks around Sun-like Stars // *Ap.J.* 2008. V.674. P.1086.
- [4] Шестакова Л.И., Демченко Б.И. Орбитальная эволюция пылевых частиц в области сублимации около звезды солнечного типа // *Известия НАН РК. Серия физ.-мат.* 2013. № 5. С.77-87.
- [5] Shestakova L.I., Demchenko B.I. Results of Observations of the dust distribution in the F-corona of the Sun // *Solar System Research*. 2015. V.50. P.143 – 160.
- [6] Artymowicz P. BETA PICTORIS: An Early Solar System? // *Annu.Rev.Earth Planet Sci.* 1997.V.25. P.175-219.
- [7] Pollack J.B., Toon O.B. and Khare B.N. Optical properties of some terrestrial rocks and glasses // *Icarus* 1973. V.19. P.372-389.
- [8] Lamy P.L. Optical properties of silicates in the far ultraviolet. // *Icarus*. 1978. V.34. P.68-75.
- [9] Boren C.F, Hafmen D.R. Absorption and Scattering of Light by Small Particles, 1983, John Wiley & Sons, Inc., 664p.
- [10] Matsumura M., Seki M. Polarization Efficiency and Phase Function Calculated on the Basis of the Mie Theory. // Faculty of Science, Tohoku University, SENDAI, JAPAN. Eighth Series. 1985.V.6. No.1. P. 11-48.
- [11] Shestakova L.I., Tambovtseva L.V. Dynamics of dust grains near the Sun. // *Astron. and Astrophys. Transactions*. 1995. V.8. P.59-81.
- [12] Lamy, P.L. The Dynamics of Circum-solar Dust Grains // *Astron. Astrophys.* 1974a. V.33. P. 191-194.
- [13] Lamy, P.L. Interaction of interplanetary dust grains with the solar radiation field // *Astron. Astrophys.* 1974b. V.35. P. 197-207.

REFERENCES

- [1] Smith B.A. and Terrile R.J. *Science*. **1984**. V.226. P.1421-1424.
- [2] Aumann H.H. et al. *Astrophys.J. Letters*. **1984**. V.278. P.L23-27.
- [3] Trilling et al. *Ap.J.* **2008**. V.674. P.1086.
- [4] Shestakova L.I., Demchenko B.I. *Izvestija NAN RK. Serija fiz.mat.* **2013**. № 5. С.77-87 (in russ).
- [5] Shestakova L.I., Demchenko B.I. *Solar System Research*, **2016**, 50, №2, 143-160.

- [6] Artymowicz P. *Annu.Rev.Earth Planet Sci.* **1997**.V.25. P.175-219.
[7] Pollack J.B., Toon O.B. and Khare B.N. *Icarus.* **1973.** V.19. P.372-389.
[8] Lamy P.L. *Icarus.* 1978. V.34. P.68-75.
[9] Boren C.F, Hafmen D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles,* **1983,** John Wiley & Sons, Inc., 664P.
[10] Matsumura M., Seki M. Faculty of Science, Tohoku University, SENDAL, JAPAN. Eighth Series. **1985.** V.6. No.1. P. 11-48.
[11] Shestakova L.I., Tambovtseva L.V. *Astron. and Astrophys. Transactions.* **1995.** V.8. P.59-81.
[12] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.* 1974a. V.33. P. 191-194.
[13] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.* 1974b. V.35. P. 197-207.

Л.И. Шестакова, Б.И. Демченко

В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты, Алматы, Қазақстан

А ТОБЫ ЖҰЛДЫЗДАРЫ МАҢЫНДАҒЫ СУБЛИМАЦИЯ ПРОЦЕССИНДЕ СИЛИКАТТЫ ТОЗАҢ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ОРБИТАЛЫҚ ДАМУЫ

Түйін сөздер: β -Pictoris, сынық диск, жұлдыз маңындағы диск, тозаң бөлшектері, орбиталық даму, тозаң сублимациясы

Аннотация. А β -Pictoris тобы жұлдыздары дискісінде булану процессінде тозаң бөлшектерінің орбиталық эволюциясының үлгілендіру нәтижелері ұсынылды. Тозаң бөлшектері температураларының есептері 0.1 ден 10 мкм дейін радиустер жиынтығы және жұлдыздарға дейінгі әртүрлі қашықтықтар үшін орындалған «жүту-сәулелену» жылу балансы теңдеулерінің шешіміне негізделген. Базальт жер материалының рефракциясының индекстерімен сәйкес біртекті сфералық бөлшектер үшін Ми теориясы бойынша оптикалық қасиеттері есептелді. Біз тозаң бөлшектері динамикасына радиация қысымының, сонымен қатар Пойнтинг-Робертсон тежегіштігі тиімділігі әсері есепке алынды.

Сублимация аймағы шегіндегі айналма орбиталар бойынша аса ірі аталық денелер жасырылатын 2 мкм аз радиустары бар бөлшектер алынды, жарық қысымы әсерінен жұлдыздардан алыс бірден ұшады. Үлкен көлемдегі бөлшектер алдымен Пойнтинг-Робертсон эффект әсерімен жұлдыздарға қарай бағытта ішкі шиыршық бойынша қозғалады, ал сублимация аймағы жетістігі бойынша 1-2 мкм радиусқа дейін олар буланып кетеді және ақыры соңында жұлдыздардан әрі ұшып кететін күшті созылыққы эллиптикалық орбиталарға шығады. Толық булану тек сублимация аймағы ішінде аталық денелерден бөлінген бөлшектерде ғана мүмкін.

$<0,1$ көлемдегі ұсақ бөлшектердің сублимациясы белсенді 50-60 күн күн радиустары қашықтығында басталатыны белгіленді. Аса ірі бөлшектер 0.1-1.0 мкм радиустер интервалында егер олар жұлдыздардың 20 ден 50 дейін радиустар қашықтығында аталық денелерден ажырайтын болса сублимация аймағы ішінде буланып кетеді. 2 мкм-ден аз емес радиусты бөлшектердің сублимация аймақтары шекарасы жұлдыздардың шамамен 20 радиусында тұрақтандырылады.

МАЗМҰНЫ

Жұлдыздардың және тұмандықтардың зерттеулері

<i>Серебрянский А.В., Гайнуллина Е.Р., Халикова А.В.</i> , ТУС3215-906-1 айнымалы жұлдыз: бүгілген жаркылдың талдауы және жіктеуі.....	5
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К., Отебай А.Б.</i> , V725 Тау объектісінің спектрлік және фотометрлік бақылауларының нәтижелері.....	12
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К.</i> , M1-65 планеталық тұмандықтың айнымалылығы.....	22
<i>Павлова Л.А.</i> , Жұлдыз маңындағы құрылымдардың қалыптасуына магниттік өрістердің әсері.....	29
<i>Кокумбаева Р.И., Хруслов А.В., Кусакин А.В.</i> , GSC 3601-01531 және GSC 3601-01504 екі жаңа айнымалы жұлдыздар	35

Аспан механикасының және жұлдыздар жүйесінің мәселелері

<i>Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Буркова Н.А., Ткаченко А.С.</i> , Астрофизикалық энергия кезінде радиациялық ${}^2\text{H}^3\text{He}$ басып алу	41
<i>Зулыхаров А.Т., Коньсбаев Т.К., Чечин Л.М.</i> , Қараңғы материя есебімен ғаламдар релаксацияларының уақытын бағалау.....	50

Күннің және күн жүйесі денелерінің физикасы

<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> , А тобы жұлдыздары дискілерінде атомдар мен иондар динамикасына бүгілген жарық қысымының әсері.....	55
<i>Демченко Б.И., Шестакова Л.И.</i> , Күн маңындағы сублимация процессінде оливин тозақ бөлшектерінің орбиталық дамуы	64
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> , А тобы жұлдыздары маңындағы сублимация процессінде силикатты тозақ бөлшектерінің орбиталық дамуы.....	73
<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> Күннің минимум белсенді кезіндегі иондық энергиямен Fe/O қатынасының өзгеруі. I. күнде дақтар жоқ болғанда Fe және O иондарының энергетикалық спектрлері.....	81
<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> Күн белсенділігі минимумында иондар қуатымен Fe/O мәнінің өзгеруі. II. Циклдің минимумында ғарыш сәулелерінің аномалды компоненттерінің ролі.....	86
<i>Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонова Г.А.</i> , Сатурндағы аммиактың жұтылуы – 2009 жылы күн мен түннің теңелуі кезеңінде ендік вариациялар асимметриясы	91
<i>Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г.</i> , Сатурнның солтүстік жартышары - 2015 жылы метан және аммиактың жұтылуы	97
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> 2016 жылдың көріну маусымында юпитер дискісі бойынша метанның-аммиактың жұтылуын зерттеу I. Экватор аймағы	104
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> жылдың көріну маусымында юпитер дискісі бойынша метанның-аммиактың жұтылуын зерттеу. II. Ендік вариациялар	110
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> 2016 жылдың көріну маусымында Юпитерде метан-аммиак жұтылуын зерттеу III. Үлкен Қызыл Дақ (ҮҚД).....	118
<i>Демченко Б.И., Воропаев В.А., Комаров А.А., Молотов И.Е., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.</i> , Көптеген геотұрақты серіктердің кейбір сипаттамалары.....	124
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А.</i> , Көру шегі аз CCD-матрицада ГТС бақылауларының астрономиялық өңдеулерінің әртүрлі әдістерінің салыстырмалы талдауы.....	129
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.</i> , Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясы бекетінде геотұрақты серіктерді бақылау жағдайы.....	135
<i>Шомищева С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н., Отебай А.Б.</i> , Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясының 1-метрлік телескобында фотометрлік жүйесін стандарттау.....	140
<i>Терещенко В.М.</i> , SSP-5A фотоэлектрлік фотометрі жұмысының сипаттамасы және ерекшеліктері.....	146
<i>Терещенко В.М., Шамро А.В.</i> , Абсолютті өлшемдер үшін спектрограф. Оптика-механикалық блоктың сызбасы және құрылымы.....	155

Теориялық зерттеулер

<i>Қалдыбекова Б.Қ., Решетова Г.В.</i> Арнайы ішектен жасалған тордың сандық нәтижелері.....	160
<i>Бакирова Э.А., Қадырбаева Ж.М.</i> Жүктелген дифференциалдық теңдеулер үшін сызықты көпнүктелі шеттік есептің шешімділігі туралы.....	168
<i>Бесбаев Г.А., Көпжасарова А.А., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш.</i> Гурса операторының Крейн кеңістігіндегі жалқылығы туралы.....	176
<i>Жұмәлі А.С., Решетова Г.В.</i> Жерасты ерітінділеудің микроскопиялық динамикасын сандық моделдеу.....	188
<i>Бақтыбаев Қ., Дәлелханқызы А., Қиқымова І., Мырзагулов А.</i> Әсерлесуші бозондар моделін уран ядросының деформацияланған изотоптарына қолдану.....	195
<i>Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Абылкасымова Э. А., Шалданбаев А.Ш.</i> Толқын теңдеуінің шартарапты волтерлі есептерінің Крейннің кеңістігіндегі спектралдік таралымдары.....	203
<i>Шоманбаева М.Т., Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш.</i> Толқындық теңдеуінің шартарапты шекаралық есебінің спектрлік қасиеттері.....	213
Қазақстанның астрономиялық ғылым 75 жыл.	224

СОДЕРЖАНИЕ

Исследование звезд и туманностей

<i>Серебрянский А.В., Гайнуллина Е.Р., Халикова А.В.</i> , Переменная звезда TYC3215-906-1: анализ кривой блеска классификация.....	5
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К., Отебай А.Б.</i> , Результаты спектральных и фотометрических наблюдений объекта V725 Тау.....	12
<i>Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К.</i> , Переменность планетарной туманности M1-65	22
<i>Павлова Л.А.</i> , Влияние магнитных полей на формирование околосветных структур	29
<i>Кокумбаева Р.И., Хруслов А.В., Кусакин А.В.</i> , Две новые переменные звезды GSC 3601-01531 и GSC 3601-01504... ..	35

Проблемы небесной механики и динамики звездных систем

<i>Дубовиченко С.Б., Джазаиров-Кахраманов А.В., Буркова Н.А., Ткаченко А.С.</i> , Радиационный $^2\text{H}^3\text{He}$ захват при астрофизических энергиях	41
<i>Зулыхаров А.Т., Коньсбаев Т.К., Чечин Л.М.</i> , Оценка времени релаксации галактик с учетом темной материи.....	50

Физика Солнца и тел солнечной системы

<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> , Действие светового давления на динамику атомов и ионов в осколочных дисках звезд класса А.....	55
<i>Демченко Б.И., Шестакова Л.И.</i> , Орбитальная эволюция пылевых частиц оливина в процессе сублимации около Солнца	64
<i>Шестакова Л.И., Демченко Б.И.</i> , Орбитальная эволюция силикатных пылевых частиц в процессе сублимации около звезд класса А	73
<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> Изменение отношения Fe/O с энергией ионов в минимуме солнечной активности. I. Энергетические спектры ионов Fe и O при отсутствии пятен на Солнце.....	81
<i>Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М.</i> Изменение отношения Fe/O с энергией ионов в минимуме солнечной активности. II. Роль аномальной компоненты космических лучей в минимуме цикла.....	86
<i>Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонова Г.А.</i> , Аммиачное поглощение на Сатурне - асимметрия широтных вариаций в период равноденствия 2009 года.....	91
<i>Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г.</i> , Северное полушарие Сатурна - поглощение метана и аммиака в 2015 году	97
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года I. экваториальная область.....	104
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> , Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года II. Широтные вариации.....	110
<i>Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г.</i> Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. III. Большое Красное Пятно (БКП)	118
<i>Демченко Б.И., Воропаев В.А., Комаров А.А., Молотов И.Е., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.</i> , Некоторые характеристики множества геостационарных спутников.....	124
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А.</i> , Сравнительный анализ различных методов астрометрической обработки наблюдений ГСС на CCD-матрице с малым полем зрения.....	129
<i>Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А.</i> , Условия наблюдений геостационарных спутников на пункте Тянь-Шанская Астрономическая Обсерватория.....	135
<i>Шомищева С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н., Отебай А.Б.</i> , Стандартизация фотометрической системы 1-метрового телескопа Тянь-Шанской Астрономической Обсерватории.....	140
<i>Тереценок В.М.</i> , Характеристики и особенности работы фотоэлектрического фотометра SSP-5A	146
<i>Тереценок В.М., Шамро А.В.</i> , Спектрограф для абсолютных измерений. Схема и конструкция оптико-механического блока.....	152

Теоретические исследования

<i>Калдыбекова Б. К., Решетова Г. В.</i> Численные результаты специальной сетки из струн.....	160
<i>Бакирова Э.А., Кадирбаева Ж.М.</i> О разрешимости линейной многоточечной краевой задачи для нагруженных дифференциальных уравнений.....	168
<i>Бесбаев Г.А., Көпжасарова А.А., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш.</i> О самосорядженности оператора Гурса в пространстве Крейна.....	176
<i>Жумали А.С., Решетова Г.В.</i> Численное моделирование микроскопической динамики подземного выщелачивания.....	188
<i>Бактыбаев К., Далелханкызы А., Кикымова I., Мырзабаев А.</i> Применение модели взаимодействующих бозонов в деформированных изотопах ядра урана.....	195
<i>Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Абылкасымова Э. А., Шалданбаев А.Ш.</i> Спектральные разложения решения вольтерровых нелокальных краевых задач волнового уравнения.....	203
<i>Шомамбаева М.Т., Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш.</i> Спектральные свойства нелокальной краевой задачи волнового уравнения	213
75 лет казахстанской астрономической науке.....	224

CONTENTS

Investigation of stars and nebulae

<i>Serebryanskiy A.V., Gaynullina E.R., Khalikova A.V.</i> Variable star TYC3215-906-1: light curve analyses and classification	5
<i>Kondratyeva L., Rspaev F., Aimuratov Ye., Otebay A.</i> Results of the spectral and photometric observations of the object V725 Tau	12
<i>Kondratyeva L., Rspaev F., Aimuratov Ye.</i> , Variability of the planetary nebula M1-65.....	22
<i>Pavlova L.A.</i> , The influents magnetic field on the forming circumstellar structure.....	29
<i>Kokumbaeva R.I., Khruslov A.V., Kusakin A.V.</i> , GSC 3601-01531 and GSC 3601-01504, two new variable stars.....	35

Problems of celestial mechanics and dynamics of stellar systems

<i>Dubovichenko S.B., Dzhazairov-Kakhramanov A.V., Burkova N.A., Tkachenko A.S.</i> , Radiative $^2\text{H}^3\text{He}$ capture at astrophysical energies	41
<i>Zulpykharov A. T., Konysbayev T.K., Chechin L.M.</i> The relaxation time estimation for galaxies with account of Dark matter.....	50

Physics of sun and bodies of the Solar system

<i>Shestakova L.I., Demchenko B.I.</i> , The action of radiation pressure on the dynamics of atoms and ions in debris disks of A-type stars.....	55
<i>Demchenko B.I., Shestakova L.I.</i> , Orbital evolution of olivine dust grain during sublimation process near the Sun.....	64
<i>Shestakova L.I., Demchenko B.I.</i> , Orbital evolution of silicate dust particles during sublimation near A-type stars.....	73
<i>Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M.</i> Variations of Fe/O Ratio with Ion's Energies in the Solar Activity Minimum. I. Energy Spectra of Fe and O Ions on the Spotless Sun	81
<i>Minasyants G.S., Minasyants T.M., Tomozov V.M.</i> Variations of Fe/O Ratio with Ion's Energies in the Solar Activity Minimum. II. Role of anomalous component of the cosmic rays in a cycle minimum.....	86
<i>Tejfe V.G.I., Karimov A.M., Kharitonova G.A.</i> The ammonia absorption in Saturn – an asymmetry of latitudinal variations at the 2009 equinox.....	91
<i>Karimov A.M., Lysenko P.G., Tejfe V.G.I., Kharitonova G.A.</i> , Northern hemisphere of SATURN – the methane and ammonia absorption in 2015.....	97
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> , The study of molecular absorption over Jovian disk in season of 2016 visibility. I. Equatorial area.....	104
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The study of molecular absorption on Jupiter in visibility season of 2016. II. Latitudinal variations.....	110
<i>Vdovichenko V.D., Kirienko G.A., Lysenko P.G.</i> The study of molecular absorption on Jupiter in visibility season of 2016. III. Great Red Spot (GRS).....	118
<i>Demchenko B. I., Komarov A. A., Molotov I. E., Serebryansky A. V., Usoltseva L. I., Voropaev V.A.</i> Some features of geostationary satellites assemblage.....	124
<i>Demchenko B. I., Komarov A. A., Nifontova M.V., Usoltseva L. I.</i> , Comparative analysis of several methods of astrometric processing of the GSS observations using CCD-cameras with narrow field of view.....	129
<i>Demchenko B. I., Komarov A. A., Krugov M.A., Reva I.V., Serebryansky A. V., Usoltseva L. I.</i> , Condition of observations of geostationary satellites at Tien Shan astronomical observatory.....	135
<i>Shomshenkova S. A., Reva I.V., Kondratyeva L.N., Otebay A.B.</i> , Standardization of the photometric system of the 1-meter telescope of Tien-Shan Astronomical Observatory.....	140
<i>Tereschenko V. M.</i> , The characteristics and peculiarities of the photoelectrical photometer SSP-5A operation.....	146
<i>Tereschenko V. M., Shamro A. V.</i> , Spectrograph for absolute measurements. Scheme and construction of the optic-mechanic block.....	152

Theoretical studies

<i>Kaldybekova B.K., Reshetova G. V.</i> Numerical results of special grid of strings.....	160
<i>Bakirova E.A., Kadirbayeva Zh.M.</i> On a solvability of linear multipoint boundary value problem for the loaded differential equations.....	168
<i>Besbayev G. A., Kopzhasarova A.A., Saprygina M.B., Shaldanbayev A.Sh.</i> On self-conjugation of the operator of goursat in crane space	176
<i>Zhumali A.S., Reshetova G.V.</i> Numerical modelling of microscopic dynamics of in-situ leaching.....	188
<i>Baktybaev K., Dalelkhankyzy A., Kyqymova I., Myrzabaev A.</i> Applying the model of interacting bosons in a deformed nucleus of uranium isotopes.....	195
<i>Kopzhasarova A.A., Besbayev G. A., Abylkassymova E.A., Shaldanbayev A.SH.</i> Spectral resolutions of solution of voltaire nonlocal boundary value problems of a wave equation.....	203
<i>Shomanbayeva M. T., Kopzhasarova A.A., Besbayev G. A., Shaldanbayev A.Sh.</i> Spectral properties of a nonlocal boundary value problem of a wave equation.....	213
75 years of Kazakhstan's astronomical science	224

**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). 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 сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

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

<http://road.issn.org/issn/2518-1726>

Редактор *М. С. Ахметова, Д.С. Аленов, Т.А. Апендиев*
Верстка на компьютере *А.М. Кульгинбаевой*

Подписано в печать 25.09.2016.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
14 п.л. Тираж 300. Заказ 5.