

<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 ЖЫЛДЫН 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 ҮҒА ХАБАРЛАРЫ. ФИЗИКА-МАТЕМАТИКА СЕРИЯСЫ

Бас редакторы
ф.-м.ғ.д., проф., ҚР ҮҒА академигі **F.M. Мұтанов**

Редакция алқасы:

Жұмаділдаев А.С. проф., академик (Қазақстан)
Кальменов Т.Ш. проф., академик (Қазақстан)
Жантаев Ж.Ш. проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)
Өмірбаев Ү.Ү. проф. корр.-мүшесі (Қазақстан)
Жұсіпов М.А. проф. (Қазақстан)
Жұмабаев Д.С. проф. (Қазақстан)
Асанова А.Т. проф. (Қазақстан)
Бошкаев К.А. PhD докторы (Қазакстан)
Сұраған Ә. PhD докторы (Қазакстан)
Quevedo Hernando проф. (Мексика),
Джунушалиев В.Д. проф. (Қыргыстан)
Вишневский И.Н. проф., академик (Украина)
Ковалев А.М. проф., академик (Украина)
Михалевич А.А. проф., академик (Белорус)
Пашаев А. проф., академик (Әзіrbайжан)
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

© 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)
Vishnevskyi 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), 64 – 72

UDC 523.62

B.I. Demchenko, L.I. Shestakova

Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan
shest1952@mail.ru

ORBITAL EVOLUTION OF OLIVINE DUST GRAIN DURING SUBLIMATION PROCESS NEAR THE SUN

Abstract. The results of modeling of orbital evolution of dust particles in the near-solar region for synthetic olivine particles ($MgFeSiO_4$) during the evaporation process are presented. Calculations of the temperature of the dust particles are made for a set of radii from 0.1 to 10 microns, and at different distances from the Sun. Calculations are based on the solution of the heat balance equation, "absorption = radiation", taking into account losses to evaporation. Optical properties are calculated from Mie theory for homogeneous spherical particles in accordance with the refractive index of synthetic olivine.

We have considered the effect of the pressure of radiation, solar wind and the braking effects of the Poynting-Robertson on the dynamics of dust particles. It was found that the active area of sublimation begins at a distance of 30 solar radii. According to our calculations, the particles with radius in the range of 0.04 to 0.6 microns are leaving the solar system under the action of light pressure after the separation from the parent body, if at the time of separation will not appear in the zone sublimation. Smaller particles closer together with the Sun and evaporate. Larger particles drift to the sublimation zone, where they overlook the high elliptic orbits and then completely evaporated.

A surprising aspect was the behavior of large particles torn away from their parent bodies within the area of sublimation. After reaching the highly elliptical orbits, they can leave the solar system, after sublimation till characteristic radius of 0.4 mkm.

Keywords: Solar system, circumsolar dust, orbital evolution, dust sublimation.

УДК 523.62

Б.И. Демченко, Л.И. Шестакова

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

ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ ОЛИВИНА В ПРОЦЕССЕ СУБЛИМАЦИИ ОКОЛО СОЛНЦА

Аннотация. Представлены результаты моделирования орбитальной эволюции пылевых частиц в околосолнечной области для синтетических частиц оливина ($MgFeSiO_4$) в процессе испарения. Расчеты температуры пылевых частиц выполнены для набора радиусов от 0.1 до 10 мкм и различных расстояний от Солнца. Расчеты основаны на решении уравнения теплового баланса «поглощение-излучение» с учетом потерь на испарение. Оптические свойства рассчитаны по теории Ми для однородных сферических частиц в соответствии с индексами рефракции синтетического оливина.

Мы рассмотрели влияние давления радиации, солнечного ветра и эффектов торможения Пойнтинга-Робертсона на динамику пылевых частиц. Было установлено, что область активной сублимации начинается на расстоянии 30 солнечных радиусов. Согласно нашим расчетам, частицы радиусами в интервале от 0.04 до 0.6 мкм покидают Солнечную систему под действием светового давления после отрыва от родительского тела, если в момент отрыва не окажутся в зоне сублимации. Более мелкие частицы сближаются с Солнцем и

испаряются. Более крупные частицы дрейфуют к зоне сублимации, где они выходят на высокоэллиптические орбиты и затем полностью испаряются.

Неожиданным оказалось поведение крупных частиц, оторвавшихся от родительских тел внутри зоны сублимации. После выхода на высокоэллиптические орбиты они могут покинуть Солнечную систему, испарившись до характерного радиуса 0.4 мкм.

Ключевые слова: Солнечная система, околосолнечная пыль, орбитальная эволюция, сублимация пыли.

Введение. Область сублимации пыли около Солнца практически недоступна для наблюдений из-за близости яркого солнечного диска. Наземные наблюдения этой области, так называемой пылевой или F-короны, крайне редки, поскольку они становятся возможными только во время полных солнечных затмений, когда фон неба значительно ослаблен. В то же время эта область интересна тем, что там происходят многие процессы, связанные с взаимодействием и обменом веществом между солнечной короной и окружающим зодиакальным пылевым облаком.

С помощью недавних космических экспериментов COBE/DIRBE в инфракрасном диапазоне спектра была исследована структура межпланетного пылевого облака и получена его модель [1,2]. Эти наблюдения были ориентированы на исследования слабого фона неба на больших расстояниях от Солнца. При этом околосолнечная область по-прежнему остается за пределами экспериментальных исследований.

Тем не менее, теоретические исследования возможного поведения пылевых частиц различного химического состава вполне доступны. С появлением новых данных об индексах рефракции различных материалов в большом интервале длин волн появилась возможность рассчитать по теории Ми эмиссионные спектры этих материалов для различных температур (T) и размеров частиц (s). Были рассчитаны распределения температуры пылевых частиц с использованием реального спектра Солнца [3], проведены первые численные расчеты орбит частиц в области сублимации [4-7], а также рассчитаны температуры и световое давление в зависимости от размеров частиц и их расстояний для некоторых звезд [8]. Все подобные работы указывают на наличие области, где медленное засpirаливание круговых орбит частиц по направлению к Солнцу под действием торможений (дрейф по закону Пойнтинга-Робертсона) прекращается и, с началом активного испарения, частицы выходят на высокоэллиптические орбиты прежде, чем полностью испаряться, либо происходит вылет частиц за пределы Солнечной системы. Наблюдения лучевых скоростей пыли в F-короне [9] показали, что граница беспылевой зоны, где пыль полностью испаряется, находится в пределах расстояний (7-11) солнечных радиусов. Эти результаты позволяют с помощью теоретических расчетов орбитальной эволюции частиц выделить группу материалов, которые ближе всего соответствуют результатам наблюдений.

В данной работе для расчетов орбитальной эволюции пылевых частиц нами выбран силикатный материал – оливин, который считается основным компонентом минералогического состава околосолнечной пыли. Мы выбрали смешанный состав из магнезиальных и железосодержащих оливинов в равной пропорции, который можно описать синтетической формулой $MgFeSiO_4$. Использованы данные комплексных индексов рефракции согласно [10].

Расчеты орбитальной эволюции проведены с учетом испарения пылевых частиц. Темп сублимации (испарения) зависит от температуры нагрева пылевых частиц (гранул) в космическом пространстве в зависимости от радиусов пылинок, материала, из которого они состоят, и расстояния до Солнца. Все практически важные параметры, характеризующие взаимодействие сферических пылевых частиц с излучением, рассчитываются по теории Ми [11,12]. Учитывалось влияние радиационного давления на пылевые частицы, давление солнечного ветра, а также эффектов торможения Пойнтинга-Робертсона на динамику пыли. Предполагается, что пылевые гранулы нагреты изотермично, сублимируют изотропно, реактивная сила отсутствует, пылинки

имеют форму шара и однородны по составу. Проанализирован диапазон радиусов частиц синтетического оливина (s) от 0.01мкм до 100мкм.

Исходные данные. Использованы таблицы по распределению энергии в солнечном спектре для интервала длин волн λ от $\lambda_1 = 0.0075$ мкм до $\lambda_2 = 50$ мкм, согласно [13], которые переведены в единую систему единиц дж/(сек \cdot м 2 \cdot мкм \cdot ср). В этих же пределах взяты таблицы комплексных индексов рефракции выбранных материалов: $m(\lambda) = n(\lambda) + ik(\lambda)$, с добавлением экстраполированных величин со стороны ультрафиолета [14,15].

Параметры n , k - это входные параметры теории Ми, они зависят от длины волны λ и типа вещества. Из теории Ми мы находим практически важные параметры, характеризующие взаимодействие пылевых частиц с излучением: эффективные факторы поглощения - Q_{abs} и светового давления - Q_{pre} , которые определяются для всего диапазона размеров частиц от 0.01мкм до 100мкм.

Типичные параметры солнечного ветра взяты по двухжидкостной модели, полученной по результатам многолетних наблюдений [16] в интервале расстояний от 2 до 270 солнечных радиусов с учетом радиальной и тангенциальной составляющих скорости солнечного ветра. Область коротации солнечного ветра находится внутри 10 солнечных радиусов. Все расчетные программы написаны на языке 'C' в среде TURBO-C++, отлаживались под управлением операционной системы WINDOWS-XP.

Таблица1 – Параметры материалов

| material | δ , г/см 3 | μ | H, эрг/г | P_m , дин/см 2 |
|----------|----------------------|-------|----------|---------------------|
| olivine | 3.3 | 169.1 | 3.21e10 | 6.72e14 |
| pyroxene | 3.3 | 60.1 | 9.60e10 | 3.12e11 |
| obsidian | 2.37 | 67.0 | 7.12e10 | 1.07e14 |

Вещественные параметры оливина взяты из таблицы 1, согласно [17], где δ - плотность вещества в г/см 3 , μ - молекулярный вес, H - удельная энергия испарения, P_m - давление насыщенных паров для предельно больших температур Т.

Уравнение испарения частицы и расчеты теплового баланса. Скорость уменьшения радиуса частицы или темп испарения ds/dt в см/сек выражается согласно [4,5] в преобразованном виде:

$$ds/dt = -C_1/\delta \cdot P \cdot (\mu/T)^{1/2}, \quad (1)$$

где $lg(P) = C_2 - C_3/T$, δ - плотность в-ва, Р - давление насыщенных паров в торах (1тор=1мм.рт.ст., 1тор=133.322па \approx 133па = 133н/м 2 = 1330дин/см 2), μ - молекулярный вес, Т - температура в К.

Константы, введенные в уравнение темпа испарения:

$$C_1 = 133/2 \cdot [m_H/(3k)]^{1/2} = 0.421062 [\text{кг}/(\text{м}\cdot\text{сек}) \cdot K^{1/2}],$$

$$C_2 = 0.4342945 \cdot H_L/(kT_0) = C_3/T_0,$$

$$C_3 = 0.4342945 \cdot H_L/k = C_2 \cdot T_0,$$

где T_0 - температура, при которой давление равно 133па = 1тор, $H_L = H \cdot \mu m_H$ - энергия испарения одной молекулы, H - удельная (латентная) теплота парообразования, μm_H - масса молекулы, k - постоянная Больцмана.

Величина C_1 не зависит от свойств вещества, то есть это универсальная константа, C_3 зависит только от H_L , C_2 и C_3 - зависит от H_L и от T_0 .

Уравнение теплового баланса частицы с учетом испарения имеет следующий вид:

$$E_{abs} = E_{rad} + E_{subl} \quad (2)$$

$$\text{где: } E_{rad} = 4\pi s^2 \cdot \pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda, \quad E_{abs} = \pi s^2 \Omega \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_s(\lambda) d\lambda,$$

$\Omega = 2\pi(1 - \sqrt{1 - r_s / r^2})$ - телесный угол Солнца из точки наблюдения, T - температура нагрева частицы. После некоторых преобразований получим:

$$E_{subl} = \frac{4\pi s^2 \cdot ds/dt \cdot \delta}{\mu m_H} H_L = 4\pi s^2 \frac{H_L}{m_H} C_1 P \frac{1}{\sqrt{\mu T}},$$

где C_1 и P определены выше.

Сокращая πs^2 в выражениях для E_{rad} и E_{abs} , получим из (2) рабочую формулу для уравнения теплового баланса:

$$2\left(1 - \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r^2}}\right) \cdot \pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_s(\lambda) d\lambda = 4\pi \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda + \frac{4C_1}{m_H} \frac{H_L P}{\sqrt{\mu T}}, \quad (3)$$

которая отличается от приведенной в [18] наличием 2-го слагаемого в правой части уравнения. Расчеты температуры показали, что учет этого фактора становится несущественным для расстояний, превышающих $10r_{\text{sun}}$.

Введем следующие обозначения:

$$Q_a(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) F_s(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F_s(\lambda) d\lambda}; \quad Q_r(s, m, T) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{abs}(\lambda, s, m) B(\lambda, T) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} B(\lambda, T) d\lambda} \quad (4)$$

где $Q_a(s, m)$ - средний эффективный фактор поглощения, $Q_r(s, m, T)$ - средний эффективный фактор излучения. Последний зависит не только от s и m , но и от температуры нагрева T , а в конечном счете - от расстояния до Солнца r . Для абсолютно черного тела эти факторы постоянны и равны 1.

Полагая пределы интегрирования равными $(0, \infty)$, преобразуем знаменатели в вышеприведенных формулах:

$$4\pi r_s^2 \cdot \pi \int_0^{\infty} F_s(\lambda) d\lambda = L_s = \text{полное излучение Солнца в ваттах}, \quad L_s = 3.850 \cdot 10^{26} \text{ дж/сек.}$$

$$\pi \int_0^{\infty} B(\lambda, T) d\lambda = \sigma T^4 \quad (\text{по закону Стефана-Больцмана, } \sigma = 5.67032 \cdot 10^{-8} \text{ дж/(сек}\cdot\text{м}^2\cdot\text{К}^4)).$$

При больших расстояниях r : $1 - \sqrt{1 - \frac{r_s^2}{r^2}} = \frac{r_s^2}{2r^2}$. Тогда уравнение теплового баланса (3) можно записать в более упрощенном виде:

$$\frac{L_s}{16\pi r^2} \cdot Q_a = \sigma T^4 \cdot Q_r + \frac{C_1}{m_H} \frac{H_L P}{\sqrt{\mu T}} = \sigma T^4 \cdot Q_r + Z(T) \cdot H_L, \quad (5)$$

где $Z(T) = \frac{C_1 P}{m_H \sqrt{\mu T}} = \frac{133 P}{\sqrt{12 k T \mu m_H}}$ - количество молекул, испарившихся за 1 секунду с 1 м^2

поверхности. Полученное уравнение использовано для определения температуры частицы на данном расстоянии от Солнца.

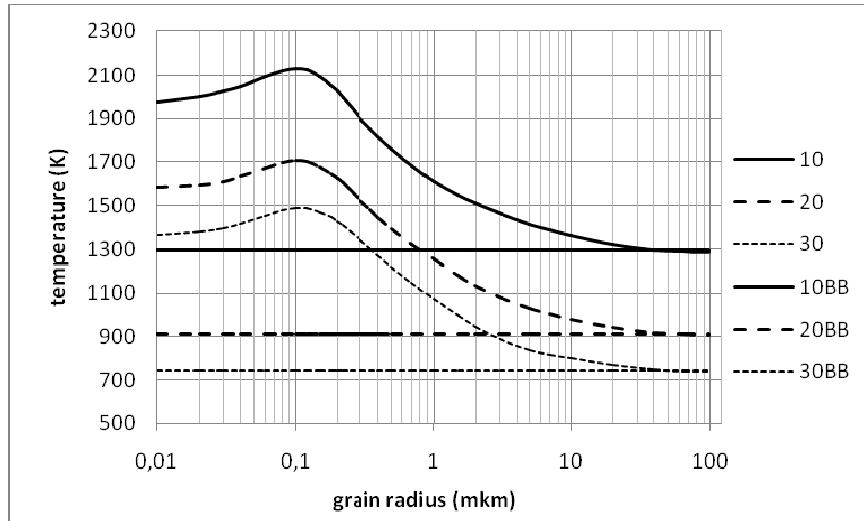


Рисунок 1 – Температуры частиц синтетического оливина на расстоянии 10, 20 и 30 солнечных радиусов.
Горизонтальные линии – соответствующие чернотельные температуры (10BB, 20BB и 30BB) для тех же расстояний

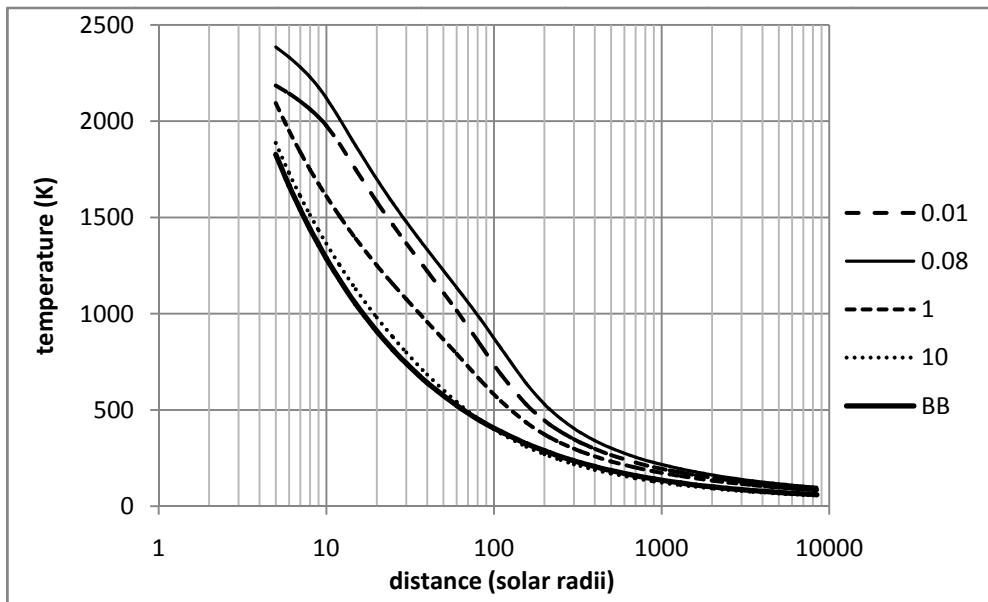


Рисунок 2 – Температура частиц радиусами 0. 01, 0.08, 1 и 10 мкм в зависимости от расстояния до Солнца.
Жирная линия – абсолютно черное тело (BB)

Расчеты светового давления. Расчет среднего фактора радиационного давления $Q_{pr} = \langle Q_{pre} \rangle$ и отношения силы давления к силе тяготения $\beta = F_{pre}/F_{grav}$ проведен для частиц синтетического оливина в зависимости от их радиуса s . Эти параметры не зависят от расстояния до Солнца.

Расчетные формулы имеют вид:

$$Q_{pr}(s, m) = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q_{pre}(\lambda, s, m) \cdot F(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} F(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad \beta(s, m) = \frac{F_{pre}}{F_{grav}} = \frac{3 \cdot Q_{pr}(s, m) \cdot L_{sun}}{16\pi \cdot c \cdot \mu_{sun} \cdot \delta \cdot s}, \quad (6)$$

где $Q_{pre}(\lambda, s, m)$ - эффективный спектральный фактор давления, рассчитанный по теории Ми, $m=n+ik$ - комплексный индекс рефракции для данного вещества, $F(\lambda)$ - излучение Солнца в зависимости от длины волны в единицах дж/(сек·м²·мкм·ср), L_{sun} - полная светимость Солнца, $\mu_{sun}=$

$\mu = G \cdot M = 1.32712 \cdot 10^{20} \text{ м}^3/\text{с}^2$ - гравитационный параметр Солнца, равный произведению гравитационной постоянной G на массу M), c - скорость света.

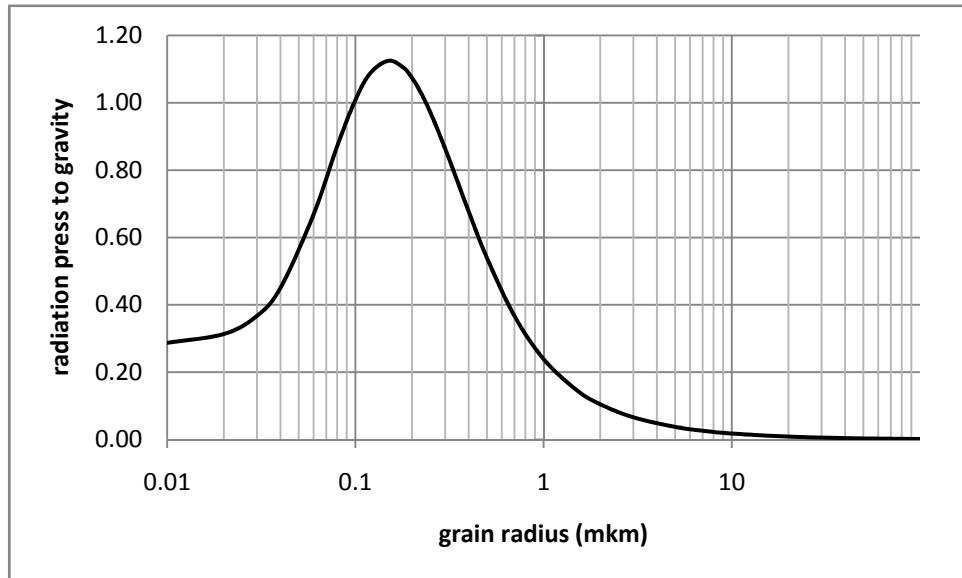


Рисунок 3 – Отношение давления солнечной радиации к силе тяготения β для частиц синтетического оливина

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

$$\ddot{r} = r\dot{\phi}^2 - \frac{\mu}{r^2} \cdot \left(1 - \beta - \beta' \cdot \frac{V_{wr} - \dot{r}}{U}\right) \quad (7)$$

$$\ddot{\phi} = -\frac{1}{r^2} \cdot \left[2r \cdot \dot{r}\dot{\phi} + \alpha \cdot \dot{\phi} \cdot \left(1 + \frac{r_{sun}^2}{2r^2}\right) + \alpha' \cdot \left(\dot{\phi} - \frac{V_{w\tau}}{r}\right) \right] \quad (8)$$

$$\dot{s} = \frac{0.0408}{\delta} \cdot P \cdot \sqrt{\frac{M_g}{T}} \quad (9)$$

Для вычисления давления насыщенных паров P служит формула [4,5]:
 $\lg(P) = 10.915 - 24928.3/T$, где P выражено в торах (1тор = 1мм.рт.ст.). В уравнении (9) давление P выражено в торах, а плотность δ выражено в г/см³, \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}); $\dot{\phi} = d\varphi/dt$ - угловая скорость изменения φ со временем; $\ddot{\phi} = d^2\varphi/dt^2$ - угловое ускорение; \dot{M} - потеря массы Солнца; $\dot{s} = ds/dt$ - скорость изменения радиуса частицы s со временем; M_g - молекулярный вес материала частицы; $\alpha = \beta \cdot \mu/c$; $\alpha' = \beta' \cdot \mu/U = 3\dot{M}/(16\pi \cdot s \cdot \delta) \cdot U/V_{wr}$; V_{wr} - радиальная и $V_{w\tau}$ - тангенциальная составляющая скорости солнечного ветра; $U = \sqrt{V_{wr}^2 + V_{w\tau}^2}$ - модуль скорости звездного ветра; $\beta' = \frac{3\dot{M} \cdot U^2}{16\pi \cdot \mu \cdot s \cdot \delta \cdot V_{wr}}$ - аналог β , отношение силы давления солнечного ветра к силе гравитации.

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

Результаты расчетов орбитальной эволюции. 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. Расчет проводился с использованием реального распределения энергии в солнечном спектре согласно [13].

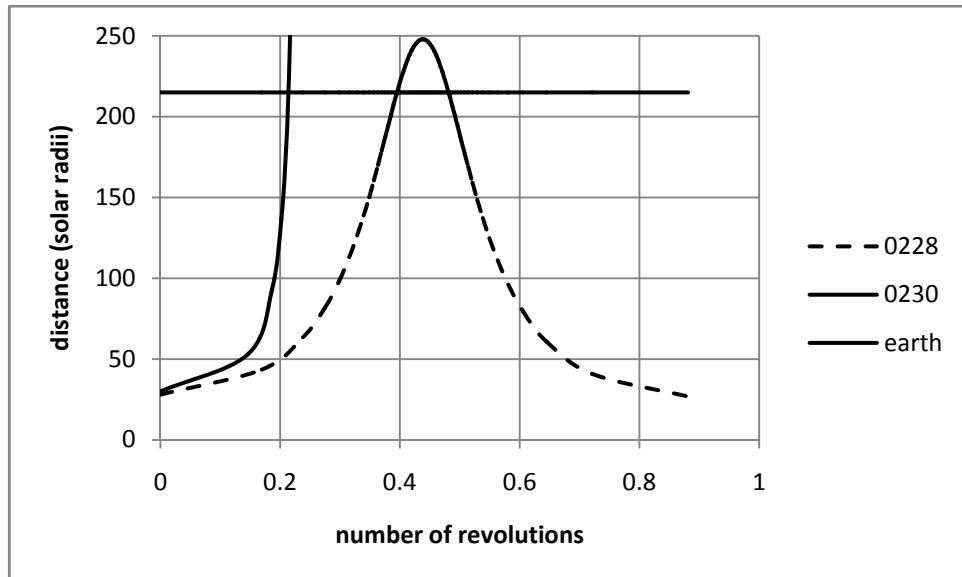


Рисунок 4 – Орбитальная эволюция частицы синтетического оливина с начальным радиусом $s_0 = 0.2$ мкм.
Стартовые расстояния $28r_{\text{sun}}$ и $30r_{\text{sun}}$. Горизонтальная линия – расстояние земной орбиты

Как видно из рисунка 4 орбитальная эволюция частицы с начальным радиусом $s_0 = 0.2$ мкм зависит от стартового расстояния вблизи зоны сублимации. Частица, стартующая с расстояния $28r_{\text{sun}}$, испаряется, не сделав и одного орбитального оборота. При этом она успевает вылететь на высокоэллиптическую орбиту за пределы орбиты Земли. Такая же частица, стартующая с расстояния $30r_{\text{sun}}$, улетает, покидая Солнечную систему.

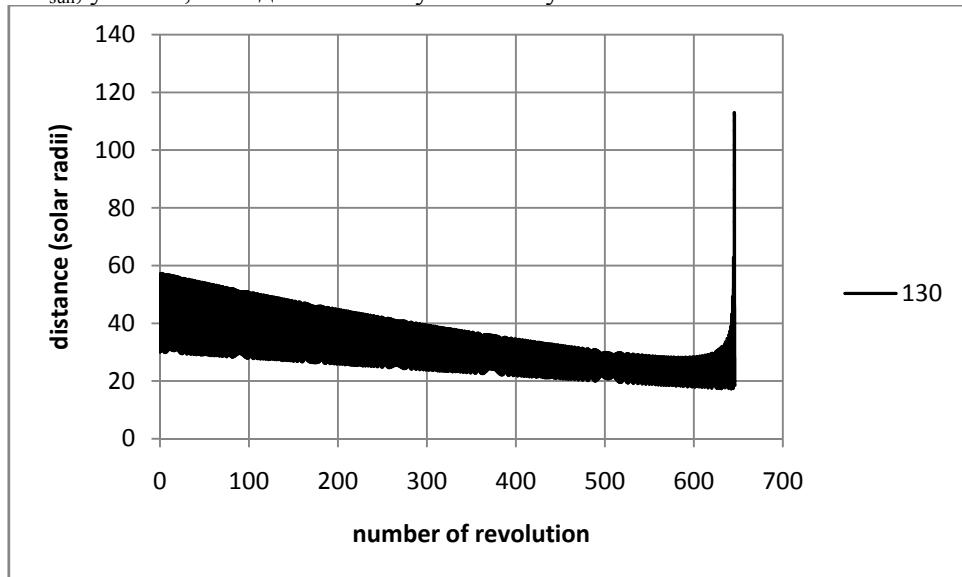


Рисунок 5 – Орбитальная эволюция частицы синтетического оливина с начальным радиусом $s_0 = 1$ мкм.
Стартовое расстояние $30r_{\text{sun}}$, финальное – $18r_{\text{sun}}$

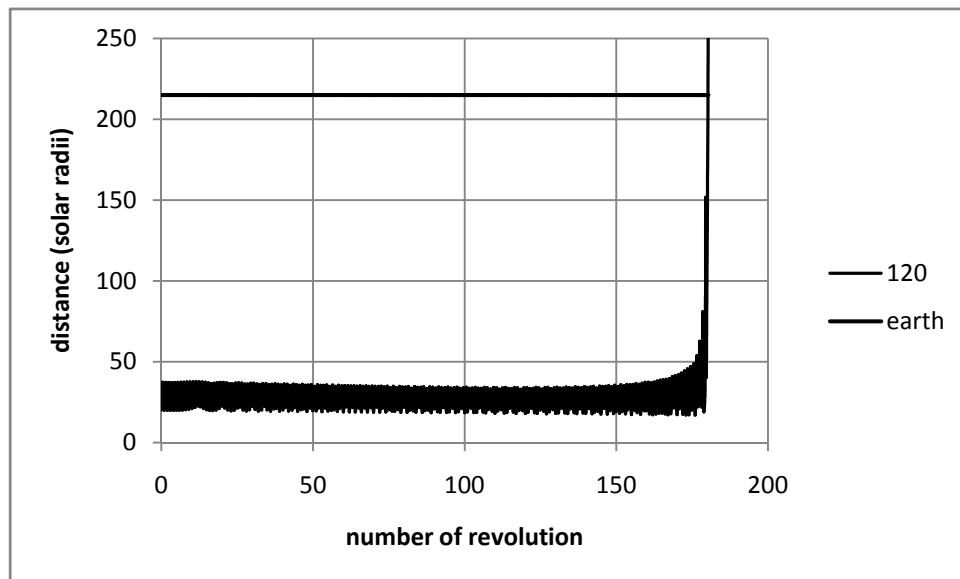


Рисунок 6 – Орбитальная эволюция частицы синтетического оливина с начальным радиусом $s_0 = 1$ мкм.
Стартовое расстояние $20r_{\text{sun}}$

Из рисунка 5 видно, что частица радиусом 1 мкм, стартующая с расстояния $30r_{\text{sun}}$, успевает сделать более 600 оборотов и после вылета на высокоэллиптическую орбиту до расстояний, близких к $120r_{\text{sun}}$, возвращается в перигелий (около $18r_{\text{sun}}$), где полностью испаряется. Такая же частица, стартующая с круговой орбиты внутри зоны сублимации на расстоянии $20r_{\text{sun}}$ (рис.6), выбрасывается за пределы орбиты Земли ($215r_{\text{sun}}$).

Обсуждение результатов и выводы. После выполнения расчетов орбитальной эволюции частиц с различными начальными радиусами и различными расстояниями от Солнца, получено, что область активной сублимации начинается на расстоянии 30 солнечных радиусов. Согласно нашим расчетам, после отрыва от родительского тела, движущегося по круговой орбите, частицы радиусами в интервале от 0.04 до 0.6 мкм покидают Солнечную систему под действием светового давления, если в момент отрыва не окажутся в зоне сублимации. Частицы меньших размеров сближаются с Солнцем и испаряются. Частицы больших размеров постепенно дрейфуют в зону сублимации, где сначала выходят на высокоэллиптические орбиты, затем полностью испаряются. Неожиданным оказалось поведение крупных частиц, оторвавшихся от родительских тел внутри зоны сублимации, после выхода на высокоэллиптические орбиты они могут покинуть Солнечную систему, испарившись до характерного радиуса 0.4 мкм.

Сравнение с наблюдениями [9] показывает, что нижний предел распределения частиц по размерам совпадает с расчетной величиной $s = 0.6$ мкм. Частицы синтетического оливина, размеры которых меньше этого предела не могут существовать в Солнечной системе, они изгоняются световым давлением. В то же время, радиус зоны сублимации $18r_{\text{sun}} - 30r_{\text{sun}}$ получается слишком завышенным по сравнению с данными наблюдений, согласно которым он не превышает $7-11r_{\text{sun}}$.

Работа выполнена по проекту грантового финансирования № 0069/ГФ4 Комитета науки МОН РК.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Reach W. T., Franz B. A., Weiland J. L. The Three-Dimensional Structure of the Zodiacal Dust Bands // Icarus 1997. V.127. P.461-484.
- [2] Kelsall T. 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.
- [3] Roser S. and Staude H.J. The Zodiacal light from 1500 Å to 60 micron // Astron. Astrophys. 1978. V.67. P. 381-394.
- [4] Lamy P.L. The Dynamics of Circum-solar Dust Grains // Astron. Astrophys. 1974a. V.33. P. 191-194.
- [5] Lamy P.L. Interaction of interplanetary dust grains with the solar radiation field // Astron. Astrophys. 1974b. V.35. P. 197-207.
- [6] Mikai T., Yamamoto T., Hasegawa A., Fujiwara A., and Koike C. On the circumsolar grain materials // Publications of the Astronomical Society of Japan 1974. V.26 P. 445-458.
- [7] Mikai T. and Yamamoto T. A Model of the Circumsolar Dust Cloud // Publications of the Astronomical Society of Japan 1979. V.31. P.585-596.
- [8] Lamy P.L., Perrin J.-M. Circumstellar grains: radiation pressure and temperature distribution // Astron.Astrophys. 1997. V.327. P.1147-1154.

- [9] 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.
- [10] Dorschner J., Begemann B., Henning Th., Jager C., Mutschke H. Steps toward interstellar silicate mineralogy II. Study of Mg-Fe-silicate glasses of variable composition // Astron. Astrophys. 1995. V.300. P.503-520.
- [11] Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами // М., МИР, 1986. 664с.
- [12] Masafumi M., Munezo S. Polarization Efficiency and Phase Function, Calculated on the Basis of the Mie Theory // The Science Reports of the Tohoku University, Eighth Series. 1985. V.6. №.1. P.11-48.
- [13] Макарова Е.А., Харитонов А.В., Казачевская Т.В. Поток солнечного излучения. М., “Наука”, 1991. 401 с.
- [14] Lamy P.L. Optical properties of silicates in the far ultraviolet // Icarus 1978. V.34. P.68-75.
- [15] 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.
- [16] Веселовский И.С. Солнечный ветер и гелиосферное магнитное поле. Модель космоса. Научно-информ. издание // Ред. Панасюк М.И., Новикова Л.С. Т. 1. Физические условия в космическом пространстве. М.: КДУ, 2007. С. 314–359.
- [17] Kobayashi H., Kimura H., Watanabe S., Yamamoto T., Müller S. Sublimation temperature of circumstellar dust particles and its importance for dust ring formation // Earth, Planets, Space. 2011. V.20. P.1-9.
- [18] Шестакова Л.И., Демченко Б.И. Орбитальная эволюция пылевых частиц в области сублимации около звезды солнечного типа // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. 2013. № 5. С.77-87.

REFERENCES

- [1] Reach W. T., Franz B. A., Weiland J. L. *Icarus*, **1997**, 127, 461-484.
- [2] Kelsall T. et al. *Astrophys. J.*, **1998**, 508, 44-73.
- [3] Roser, S. and Staude, H.J. *Astron. Astrophys.*, **1978**, 67, 381-394.
- [4] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.*, **1974a**, 33, 191-194.
- [5] Lamy, P.L. *Astron. Astrophys.*, **1974b**, 35, 197-207.
- [6] Mikai.T., Yamamoto,T., Hasegawa, A., Fujiwara,A., and Koike,C. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **1974**, 26, 445-458.
- [7] Mikai, T. and Yamamoto, T. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, **1979**, 31, 585-596.
- [8] Lamy,P.L.,Perrin,J.-M. *Astron.Astrophys.*, **1997**, 327, 1147-1154.
- [9] Shestakova L.I., Demchenko B.I. *Solar System Research*, **2016**, 50, №2, 143-160.
- [10] Dorschner J., Begemann B., Henning Th., Jager C., Mutschke H. *Astron. Astrophys.* **1995**. V.300. P.503-520.
- [11] Boren C.F. Hafmen D.R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*, **1983**, John Wiley & Sons, Inc., 664.
- [12] Matsumura M., Seki M. *Polarization Efficiency and Phase Function Calculated on the Basis of the Mie Theory*. Faculty of Science, Tohoku University, SENDAL, JAPAN. Eighth Series, **1985**, 6, 11-48.
- [13] Makarova E.A., Kharitonov A.V. *Kazachevskaja T.V. Potok solnechnogo izlucheniya*. **1991**, Moskow, Nauka, 401 (in Russ.).
- [14] Lamy P.L. *Icarus*, **1978**, 34, 68-75.
- [15] Pollack J.B., Toon O.B. and Khare B.N. *Icarus*, **1973**, 19, 372-389.
- [16] Veselovskij I.S. Eds. Panasjuk M.I., Novikova L.S. *Fizicheskie uslovija v kosmicheskem prostranstve*. Moskow: KDU, **2007**, 1, 314–359 (in Russ.).
- [17] Kobayashi H., Kimura H., Watanabe S., Yamamoto T., Müller S. *Earth, Planets, Space*. **2011**. V.20. P.1-9.
- [18] Shestakova L.I., Demchenko B.I. *Izvestija NAN RK. Serija fiz.-mat.* **2013**. № 5. P.77-87. (In Russian).

Б.И. Демченко, Л.И. Шестакова

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

КҮН МАҢЫНДА СУБЛИМАЦИЯ ПРОЦЕСІНДЕ ОЛИВИН ТОЗАҢ БӨЛШЕКТЕРІНІҢ ОРБИТАЛЫҚ ДАМУЫ

Аннотация. Булану процесінде оливина ($MgFeSiO_4$) синтетикалық бөлшектері үшін күн маңындағы аймакта тозаң бөлшектерінің орбиталық эволюциясының үлгілендіру нәтижелері ұсынылды. Тозаң бөлшектері температураларының есептері 0.1 ден 10 мкм дейін радиустер жиынтығы және Күннен әртүрлі қашықтықтар үшін орындалды. Есептер булануда жоғалту есебінен «жұту-сәулелену» жылу баланысы тендеулерінің шешіміне негізделген. Синтетикалық оливин рефракциясының индекстерімен сыйкес біртекті сфералық бөлшектер үшін Ми теориясы бойынша оптикалық қасиеттері есептелді.

Біз тозаң бөлшектері динамикасына радиация қысымының, күн желінің және Пойнтинг-Робертсон тәжегіштігі тиімділігі әсерін карастырдық. Белсенді сублимация аймағы 30 күн радиустері құшықтығында басталатыны белгіленді. Біздің есептерге сыйкес, егер аталық денеден ажырау сәтінде олар сублимация аймағында болатын болса, аталық денеден ажыраганнан кейін жарық қысымы әсерінен 0.04 ден 0.6 мкм дейін интервалда бөлшектер радиустармен Күн жүйесінен кетеді. Айтарлықтай ұсақ бөлшектер Күнге жақындайды және буланып кетеді. Айтарлықтай ірі бөлшектер олар жоғары эллиптикалық орбиталарға кіретін және сосын толығымен буланып кететін сублимация аймағына ауытқиды.

Сублимация аймағы ішінде аталық денеден бөлінген ірі бөлшектер жүрісі күтпеген жағдай болып табылды. Олар жоғары эллиптикалық орбиталарға кіргеннен кейін 0.4 мкм сипатты радиусқа дейін буланып Күн жүйесінен кетуі мүмкін.

Түйін сөздер: күн жүйесі, күн маңындағы тозаң, орбиталық даму, тозаң сублимациясы.

МАЗМУНЫ**Жұлдыздардың және тұмандықтардың зерттеулері**

| | |
|---|----|
| Серебрянский А.В., Гайнуллина Е.Р., Халикова А.В., TYC3215-906-1 айнымалы жұлдызы: бүгілген жарқылдың талдауы және жіктеуі..... | 5 |
| Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К., Отебай А.Б., V725 Tau объектісінің спектрлік және фотометрлік бақылаударының нәтижелері..... | 12 |
| Кондратьева Л.Н., Рспаев Ф.К., Аймуратов Е.К., M1-65 планеталық тұмандықтың айнымалылығы..... | 22 |
| Павлова Л.А., Жұлдыз маңындағы құрылымдардың қалыптасуына магниттік өрістердің әсері..... | 29 |
| Кокумбаева Р.И., Хруслов А.В., Кусакин А.В., GSC 3601-01531 және GSC 3601-01504 екі жаңа айнымалы жұлдыздар | 35 |

Аспан механикасының және жұлдыздар жүйесінің мәселелері

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

Құннің және күн жүйесінің физикасы

| | |
|---|----|
| Шестакова Л.И., Демченко Б.И., А тобы жұлдыздары дискілерінде атомдар мен иондар динамикасына бүгілген жарық қысымының әсері..... | 55 |
| Демченко Б.И., Шестакова Л.И., Күн маңындағы сублимация процесінде оливин тозаң бөлшектерінің орбиталық дамуы | 64 |

| | |
|---|----|
| Шестакова Л.И., Демченко Б.И., А тобы жұлдыздары маңындағы сублимация процесінде силикатты тозаң бөлшектерінің орбиталық дамуы..... | 73 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Құннің минимум белсенді кезіндегі иондық энергиямен Fe/O қатынасының өзгеруі. I. күнде дақтар жоқ болғанда Fe және о иондарының энергетикалық спектрлері..... | 81 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Күн белсенділігі минимумында иондар қуатымен Fe/O мәнінің өзгеруі. II. Циклдің минимумындағы сәулелерінің аномалды компоненттерінің ролі..... | 86 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонова Г.А., Сатурндағы аммиактың жұтылуы – 2009 жылы күн мен түннің тенелік кезеңінде ендік вариациялар асимметриясы | 91 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г., Сатурнның солтүстік жартышары - 2015 жылы метан және аммиактың жұтылуы | 97 |
|--|----|

| | |
|---|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. 2016 жылдың көріну маусымында юпитер дискісі бойынша метанның-аммиактың жұтылуын зерттеу I. Экватор аймағы | 104 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. жылдың көріну маусымында юпитер дискісі бойынша метанның-аммиактың жұтылуын зерттеу. II. Ендік вариациялар | 110 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. 2016 жылдың көріну маусымында Юпитерде метан-аммиак жұтылуын зерттеу III. Үлкен Қызыл Дақ (УКД)..... | 118 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Демченко Б.И., Воронаев В.А., Комаров А.А., Молотов И.Е., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Көптеген геотұрақты серіктердің кейбір сипаттамалары..... | 124 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Демченко Б.И., Комаров А.А., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А., Көрү шегі аз CCD-матрицада ГТС бақылаударының астрометриялық өндөулерінің әртүрлі әдістерінің салыстырмалы талдауы..... | 129 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясы бекетінде геотұрақты серіктерді бақылау жағдайы..... | 135 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Шомшекова С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н., Отебай А.Б., Тянь-Шань Астрономиялық Обсерваториясының 1-метрлік телескопында фотометрлік жүйесін стандарттау..... | 140 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Терещенко В.М., SSP-5A фотоэлектрлік фотометрі жұмысының сипаттамасы және ерекшеліктері..... | 146 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Терещенко В.М., Шамро А.В., Абсолютті өлшемдер үшін спектрограф. Оптика-механикалық блоктың сызбасы және құрылымы..... | 155 |
|--|-----|

Теориялық зерттеулер

| | |
|---|-----|
| Қалдыбыкова Б.Қ., Решетова Г.В. Арнайы ішектен жасалған тордың сандық нәтижелері..... | 160 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Бакирова Э.А., Қадырбаева Ж.М. Жүктелген дифференциалдық тендеулер үшін сызықты көпнүктелі шеттік есептің шешілімділігі туралы..... | 168 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Бесбаев Г.А., Көпжасарова А.А., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш. Гурса операторының Крейн кеңістігіндегі жалқылығы туралы..... | 176 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Жұмәлі А.С., Решетова Г.В. Жерасты ерітінділеудің микроскопиялық динамикасын сандық моделдеу..... | 188 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Бақтыбаев К., Дағелханқызы А., Қиқымова І., Мырзагұлов А. Әсерлесуші базондар моделін уран ядросының деформацияланған изотоптарына қолдану..... | 195 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Абылқасымова Э. А., Шалданбаев А.Ш. Толқын тендеуінің шартаралты волтерлі есептерінің Крейннің кеңістігіндегі спектрләндік таралымдары..... | 203 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Шоманбаева М.Т., Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш. Толқындық тендеуінің шартаралты шекаралық есебінің спектрлік касиеттері..... | 213 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Қазақстаниның астрономиялық ғылым 75 жыл..... | 224 |
|---|-----|

СОДЕРЖАНИЕ

Исследование звезд и туманностей

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

Проблемы небесной механики и динамики звездных систем

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

Физика Солнца и тел солнечной системы

| | |
|---|----|
| Шестакова Л.И., Демченко Б.И., Действие светового давления на динамику атомов и ионов в осколочных дисках звезд класса А..... | 55 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Демченко Б.И., Шестакова Л.И., Орбитальная эволюция пылевых частиц оливина в процессе сублимации около Солнца | 64 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Шестакова Л.И., Демченко Б.И., Орбитальная эволюция силикатных пылевых частиц в процессе сублимации около звезд класса А | 73 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Изменение отношения Fe/O с энергией ионов в минимуме солнечной активности. I. Энергетические спектры ионов Fe и O при отсутствии пятен на Солнце..... | 81 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Минасянц Г.С., Минасянц Т.М., Томозов В.М. Изменение отношения Fe/O с энергией ионов в минимуме солнечной активности. II. Роль аномальной компоненты космических лучей в минимуме цикла..... | 86 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Тейфель В.Г., Каримов А.М., Харитонова Г.А., Аммиачное поглощение на Сатурне - асимметрия широтных вариаций в период равноденствия 2009 года..... | 91 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Каримов А.М., Лысенко П.Г., Тейфель В.Г., Северное полушарие Сатурна - поглощение метана и аммиака в 2015 году | 97 |
|--|----|

| | |
|--|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения по диску Юпитера в сезон видимости 2016 года I. Экваториальная область..... | 104 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г., Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года II. Широтные вариации..... | 110 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Вдовиченко В.Д., Кириенко Г.А., Лысенко П.Г. Исследование молекулярного поглощения на Юпитере в сезон видимости 2016 года. III. Большое Красное Пятно (БКП) | 118 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Демченко Б.И., Воропаев В.А., Комаров А.А., Молотов И.Е., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Некоторые характеристики множества геостационарных спутников..... | 124 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Демченко Б.И., Комаров А.А., Нифонтова М.В., Усольцева Л.А., Сравнительный анализ различных методов астрометрической обработки наблюдений ГСС на CCD-матрице с малым полем зрения..... | 129 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Демченко Б.И., Комаров А.А., Кругов М.А., Рева И.В., Серебрянский А.В., Усольцева Л.А., Условия наблюдений геостационарных спутников на пункте Тянь-Шанской Астрономической Обсерватории..... | 135 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Шомшекова С.А., Рева И.В., Кондратьева Л.Н., Отебай А.Б., Стандартизация фотометрической системы 1-метрового телескопа Тянь-Шанской Астрономической Обсерватории..... | 140 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Терещенко В.М., Характеристики и особенности работы фотоэлектрического фотометра SSP-5A | 146 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Терещенко В.М., Шамро А.В., Спектрограф для абсолютных измерений. Схема и конструкция оптико-механического блока..... | 152 |
|---|-----|

Теоретические исследования

| | |
|--|-----|
| Калдыбекова Б.К., Решетова Г.В. Численные результаты специальной сетки из струн..... | 160 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Бакирова Э.А., Кадирбаева Ж.М. О разрешимости линейной многоточечной краевой задачи для нагруженных дифференциальных уравнений..... | 168 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Бесбаев Г.А., Көпжасарова А.А., Сапрыгина М.Б., Шалданбаев А.Ш. О самосороженности оператора Гурса в пространстве Крейна..... | 176 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Жумали А.С., Решетова Г.В. Численное моделирование микроскопической динамики подземного выщелачивания..... | 188 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Бактыбаев К., Далелханкызы А., Кикымова И., Мырзабаев А. Применение модели взаимодействующих бозонов в деформированных изотопах ядра урана..... | 195 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Абылқасымова Э. А., Шалданбаев А.Ш. Спектральные разложения решений вольттерровых нелокальных краевых задач волнового уравнения..... | 203 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Шоманбаева М.Т., Көпжасарова А.А., Бесбаев Г.А., Шалданбаев А.Ш. 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> , Northerh 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 essemblage..... | 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 narow 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>Shomshekova 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., Dalelkhanqzy 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.