

12–14 АПРЕЛЯ 2023
МОСКВА

XX КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

«ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
И ПРИКЛАДНЫЕ
КОСМИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ»

НОЦ
НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР ИКИ РАН

ИКИ

ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

МЕХАНИКА, УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА

МОСКВА
2023

XX КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

”Фундаментальные и прикладные космические исследования”

ИКИ РАН, Москва, 12–14 апреля 2023 г.

Сборник тезисов докладов

Под ред. А.М. Садовского

Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования» (<http://kmu.cosmos.ru>), посвященная Дню космонавтики, традиционно проходит в начале апреля. В юбилейной XX конференции 2023 года, как это уже стало стандартом в последние годы, можно было участвовать как очно, так и онлайн.

Тем не менее оргкомитет пытается сохранить одну из основных целей конференции — дать возможность студентам, аспирантам и молодым ученым отточить навыки публичного выступления перед большой аудиторией, а также принять участие в обсуждении научных результатов (как получить комментарии к своей работе, так и задать вопросы другим докладчикам).

В этом году на Конференцию поступило более 120 заявок со всех концов страны, а также из Беларуси и Казахстана, что показывает актуальность космических исследований и растущий интерес к космосу. Следует отметить, что конференция остается самым крупным научным мероприятием по космическим исследованиям среди молодежи.

В этом году Конференция в основном проводилась Советом молодых ученых и специалистов ИКИ РАН и следует отметить, что Конференция прошла практически идеально.

В конференции принимают участие студенты, аспиранты и молодые ученые (до 35 лет), чья деятельность связана с космосом и космическими исследованиями. «Сборник тезисов Конференции молодых ученых» содержит тезисы, присланные участниками Конференции.

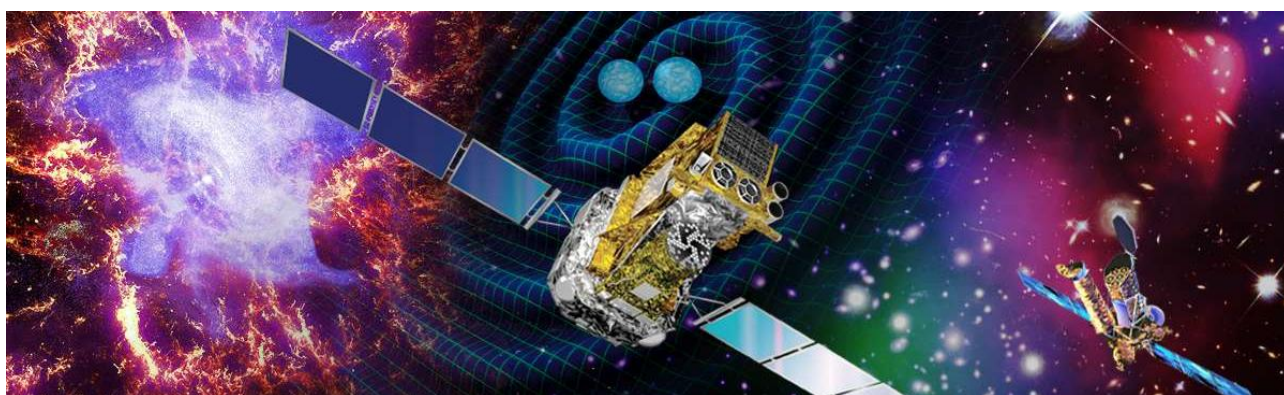
Компьютерная вёрстка: Сапунова О.В.

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук

Оглавление

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ	4
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ	27
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ	52
КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ	81
ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	114
ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ	144

АСТРОФИЗИКА И РАДИОАСТРОНОМИЯ



ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТОВ ОКРУЖЕНИЯ НА СТАНДАРТИЗАЦИЮ СН Ia И КОСМОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Балута.А.Ю.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ

В нашей работе мы изучаем влияние 2 поправок на космологический анализ на примере выборки Pantheon, состоящей из 1047 СН Ia. Поправки связаны с окружением сверхновой – это поправки за звездную массу и морфологический тип родительской галактики. Для 330 СН из выборки морфологические типы родительских галактик были определены в работе Pruzhinskaia M.V. et al, 2020. Все морфологические типы были разделены на 2 класса: старое окружение без звездообразования (passive/PA: E-S0/a) и более молодое окружение с активным звездообразованием (star-forming/SF: Sa-Sd, Ir).

В процессе работы мы воспроизвели полный фит диаграммы Хаббла для всей выборки сверхновых Pantheon путем минимизации разницы наблюдаемых и теоретических модулей расстояния СН, а также сделали это отдельно для двух популяций сверхновых в зависимости от морфологии родительской галактики. Таким образом, мы получили значения параметров из уравнения стандартизации и смогли построить взаимные попарные корреляции между этими параметрами в пределах 1σ . При этом для двух популяций мы наблюдаем явные несовпадения в значениях M_B в зависимости от параметров, соответствующих цвету и растяжению кривой блеска СН.

Учёт поправки за массу родительской галактики, как мы убедились, недостаточен для полноценной стандартизации СН нашей выборки. Мы представляем поправку за морфологию родительской галактики в форме добавочного элемента (morphology step) к СН в пассивном, старом окружении. В итоге, в рамках нашей работы мы провели сравнительный анализ влияния введения двух поправок по отдельности и вместе на улучшение космологического анализа выборки СН Pantheon.

МНОГОВОЛНОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 211023A И ОБНАРУЖЕНИЕ СВЕРХНОВОЙ, АССОЦИИРОВАННОЙ С НИМ

Белкин С.О.^{1,2}, Позаненко А.С.^{1,2}, Минаев П.Ю.¹,
Вольнова А.А.¹, Панков Н.С.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Из всех зарегистрированных на сегодняшний день космических гамма-всплесков (GRB), которых насчитывается более 10000, лишь для 26 из них было получено надежное спектроскопическое и фотометрическое подтверждение связи источника гамма-всплеска со сверхновыми (SNe). Данная выборка составляет менее 1% всех зарегистрированных GRBs. В связи с этим, обнаружение и исследование каждого подобного события все еще вносит существенный вклад в общую выборку случаев GRB-SN.

Представляются наблюдения GRB 211023A ($z=0.39$), обнаружение SN, связанной с данным событием, а также ее феноменологическое моделирование. Результаты были получены после обработки собственных наблюдений в оптическом диапазоне на инструментах сети IKI GRB-FuN, состоящей из телескопов метрового класса с диаметрами главного зеркала в диапазоне 0,7-2,6 м. В построенной многоцветной кривой блеска была обнаружена SN, ассоциированная с GRB 211023A. Для нее можно определить такие параметры, как абсолютная звездная величина в фильтре V ($M_V = -19.6 \pm 0.3$ м) и время от начала всплеска до максимума SN в системе отсчета источника ($t-T_0 = 10.9 \pm 1.2$). Также была подтверждена связь SN с GRB 211023A в результате спектроскопических наблюдений, проводимых на двойном бинокулярном телескопе LBT 8.4 м, схожей с SN 2006aj за аналогичную фазу. Обсуждается дальнейшее моделирование параметров SN.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ IGR J21343+4738 ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИЙ NUSTAR, SWIFT И СРГ

Горбан А.С.^{1,2}, Мольков С.В.¹, Лутовинов А.А.¹,
Семена А.Н.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

В работе представлены результаты исследования рентгеновского пульсара IGR J21343+4738 по данным NuSTAR, Swift и СРГ в широком диапазоне энергий 0.3-79 кэВ. Среди полученных результатов, показаны оценки верхнего и нижнего предела на магнитное поле нейтронной звезды в двойной системы $B < 2.5 * 10^{11}$ Гс и $B > 3.4 * 10^{12}$ Гс, соответственно. Согласно спектральному и временному анализу, источник IGR J21343+4738 проявляет свойства квази-постоянного рентгеновского пульсара: период пульсаций источника 322.71 ± 0.04 с и светимость $L_x = 3.25 * 10^{35}$ эрг с⁻¹. Также в работе представлен анализ долговременной переменности IGR J21343+4738 в рентгене, который подтверждает возможный орбитальный период системы ~ 34.3 дня, ранее обнаруженный в оптике.

ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПАРАМЕТРЫ РАСПАДАЮЩЕЙСЯ ТЕМНОЙ МАТЕРИИ ИЗ СТЕРИЛЬНЫХ НЕЙТРИНО ПО ДАНЫМ ТЕЛЕСКОПА ART-XC НА БОРТУ ОБСЕРВАТОРИИ SRG

Захаров Е.И.^{1,2,3}, Баринов В.В.^{3,4}, Буренин Р.А.^{1,2},
Горбунов Д.С.^{3,5}, Кривонос Р.А.^{1,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Институт ядерных исследований РАН*

⁴ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

⁵ *НИУ Московский физико-технический институт*

Одной из главных задач современной физики является установление природы холодной темной материи. Согласно последним наблюдениям её вклад в плотность энергии во Вселенной составляет около 25%. И одним из кандидатов на роль частицы холодной темной материи является стерильное нейтрино массой $m_s > 1$ кэВ.

Стерильное нейтрино – новые гипотетические частицы, расширяющие Стандартную Модель (СМ) физики элементарных частиц. Они представляют из себя фермионы, которые не несут заряда относительно калибровочной группы СМ. Эти фермионы называют нейтрино, поскольку они смешиваются с нейтрино СМ, что даёт последним массу (механизм seesaw) и обеспечивают существование нейтринных осцилляций. Существует процесс при котором стерильное нейтрино переходит в активное нейтрино СМ и фотон с энергией $E_\gamma = m_s/2$. Следы существования такого процесса можно зафиксировать с помощью космических рентгеновских обсерваторий.

В данной работе использовались данные 4 полных обзоров неба, проводившихся с 12 декабря 2019 по 19 декабря 2021 года, с помощью рентгеновского телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту космической обсерватории "Спектр-РГ". Поиск осуществлялся на энергиях рентгеновского излучения от 6 до 20 кэВ, что соответствует массе стерильного нейтрино от 12 до 40 кэВ. Для поиска сигнала применялась новая методика, заключающаяся в изучении разности сигналов из области с высокой концентрацией темной материи (область I) и области с низкой концентрацией (область II). Эта методика позволяет избавиться от многих систематических эффектов. В качестве области I был взят конус с половиной угла раствора в 60 градусов и направлением на центр Галактики. В качестве второй области – всё остальное небо. Из обеих областей были вырезаны все яркие источники (радиус вырезания 1 градус) и Галактическая плоскость (галактическая широта $|b| < 1$ градуса).

Получившиеся ограничения являются первыми ограничениями основанными на рентгеновских наблюдениях всего неба. Было показано отсутствие каких-либо значимых рентгеновских линий в исследуемом диапазоне энергий. Ограничения также хорошо согласуются с результатами других обсерваторий (NuSTAR, INTEGRAL и Suzaku) и исключают новую область параметров стерильного нейтрино.

НУКЛЕОСИНТЕЗ В МОДЕЛИ ОБДИРАНИЯ. ВЛИЯНИЕ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ И УРАВНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ НА ПРОЦЕСС

Игнатовский А. Ю.^{1,2}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт теоретической и экспериментальной физики имени А.И. Алиханова национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Последние стадии эволюции системы нейтронных звёзд (НЗ), особенно после наблюдений результатов r-процесса в такой системе [1], являются основным сценарием для нуклеосинтеза тяжёлых элементов. В общепринятой модели результатом взаимодействия двух НЗ является слияние [2-4] с образованием одной массивной НЗ или чёрной дыры (ЧД) и одновременным выбросом части вещества в виде джетов в межзвёздную среду.

Если массы взаимодействующих НЗ значительно отличаются, то может реализоваться сценарий обдираания [5,6], в котором при сближении компонент системы НЗ меньшей массы первой заполняет полость Роша и начинает перетекать на более массивный компонент. По достижении нижнего предела масс НЗ [7] маломассивный компонент взрывается с образованием гамма-всплеска, полностью разлетаясь в межзвёздную среду. Эта модель интересна тем, что количество выбрасываемого вещества равно нижнему пределу масс НЗ $\sim 0.1M_{\odot}$, что на порядки превышает выброс вещества за счёт джетов при слиянии НЗ.

В работе приведены результаты расчётов нуклеосинтеза тяжёлых элементов в сценарии взрыва маломассивной НЗ в сценарии обдираания. Исследовалось влияние различных уравнений состояния вещества НЗ – BSk22 и BSk25 [8] на динамику разлёта оболочки маломассивной НЗ. Показано, что характер распространения ударной волны и распространённость тяжёлых элементов при развитии нуклеосинтеза во внутренних слоях внешней коры отличаются для разных уравнений состояния.

Литература:

1. Abbot B.P. et al. Gravitational Waves and Gamma-Rays from a Binary Neutron Star Merger: GW170817 and GRB 170817A // *Astroph. J. Lett.* 2017. V. 848 L. 13.

2. Korobkin O., Rosswog S., Arcones A., Winteler C. On the astrophysical robustness of the neutron star merger r-process // *MNRAS* 2012. V. 426 P. 1940.

3. Rosswog S., Korobkin O., Arcones A., Thielemann F.-K., Piran T. The long-term evolution of neutron star merger remnants – I. The impact of r-process nucleosynthesis // *MNRAS* 2014. V.439 P. 744.

4. Martin D., Perego A., Arcones A., Thielemann F.-K., Korobkin O., Rosswog S. Neutrino-driven Winds in the Aftermath of a Neutron Star Merger: Nucleosynthesis and Electromagnetic Transients // *The Astrophysical Journal* 2015. V. 813.

5. Clark J. P. A., Eardley D. M. Evolution of close neutron star binaries // *The Astrophysical Journal* 1977. V. 215 P. 311.

6. Blinnikov S. I., Nadyozhin D. K., N. I. Kramarev, Yudin A. V. Neutron Star Mergers and Gamma-Ray Bursts: Stripping Model // *Astronomy Reports* 2021. V. 65 P. 385.

7. Haensel P., Potekhin A. Yu., Yakovlev D. G. *Neutron Stars 1: Equation of State and Structure* // Springer, New York, 2007.

8. Pearson J. M., Chamel N., Potekhin A. Y., Fantina A. F., Ducoin C., Dutta A. K., Goriely S. Unified equations of state for cold non-accreting neutron stars with Brussels-Montreal functionals. I. Role of symmetry energy // *MNRAS* 2019. V. 481 P. 2994.

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБЛИЖЕНИЯ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НЕЙТРИНО В СВЕРХНОВОЙ С КОЛЛАПСОМ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ

Коптяева Е.А.

Ярославский государственный университет им П.Г Демидова

В работе рассмотрены два однопараметрических приближения для углового распределения нейтрино в сверхновой с коллапсом центральной части. На основе данных по одномерному моделированию взрыва сверхновой, полученных кодом PROMETHEUS-VERTEX, найдены параметры рассмотренных аналитических приближений, как функции расстояния от центра сверхновой и времени после начала взрыва. Показано, что линейное приближение лучше описывает распределение нейтрино по углам в районе формирования протонейронной звезды, в то время как приближение в виде функции Гаусса лучше работает за пределами этой области. Получено, что за границей формирования протонейтронной звезды поведение каждого из параметров, как функции радиальной координаты, может быть описано с помощью двух характерных радиусов, которые и задают граничную область формирования протонейтронной звезды.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗА В СКОПЛЕНИЯХ ГАЛАКТИК ПО ДАННЫМ РЕНТГЕНОВСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Круглов А.А.¹, Лыскова Н.С.^{1,2}, Хабибуллин И.И.^{1,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Астрокосмический центр Физического института П.Н. Лебедева*

³ *Max Planck Institute for Astrophysics*

Скопления галактик занимают особое место в современной астрофизике и космологии. Число скоплений и их свойства непосредственно зависят от свойств темной материи и темной энергии, что позволяет использовать скопления как мощный инструмент наблюдательной космологии. Наблюдения горячего газа, заполняющего гравитационную яму скопления, открывают возможность изучения различных газодинамических и плазменных эффектов и влияния сверхмассивных черных дыр на нагрев и охлаждение газа. Одной из основных характеристик горячего газа, заполняющего объем скоплений и групп галактик, определяющей свойства и физические процессы в этих объектах, является температура. Температура газа обычно измеряется путем аппроксимации наблюдаемого рентгеновского спектра, в котором может содержаться несколько компонентов с разной металличностью и температурой. В подавляющем большинстве случаев статистические ошибки в наблюдаемом спектре слишком велики, чтобы обнаружить присутствие нескольких эмиссионных компонент. Поэтому, как правило, для спектров скоплений галактик применяются одно-температурные модели в расчёте на то, что полученное значение температуры будет репрезентативным средним значением. Используя численные космологические симуляции, планируется выявить типичное распределение меры эмиссии и разработать алгоритм для учета этого распределения при оценке средней температуры скопления. Разработанный подход будет применен к выборке реальных скоплений галактик.

ЧТО МОЖНО УЗНАТЬ О ГАЗОПЫЛЕВЫХ ТОРАХ АЯГ ПО ИХ РЕНТГЕНОВСКИМ СПЕКТРАМ?

Мелаззини Ф.

Институт космических исследований РАН

Мы разработали код Монте-Карло для расчета рентгеновских спектров активных ядер галактик (АЯГ) на основе модели комковатого газопылевого тора. С помощью этого кода мы исследуем, какие ограничения на физические свойства и ориентацию тора можно получить из рентгеновских спектров АЯГ. Параметрами модели являются: средняя поверхностная плотность тора ($\langle N_H \rangle$), лучевая плотность (N_H), обилие железа, A_{Fe} , среднее количество облаков газа на луче зрения ($\langle N \rangle$) и угол наблюдения ($alpha$). В докладе будут представлены результаты первой части работы, в которой рассматривается комптоновский-тонкий случай ($\langle N_H \rangle, N_H < 10^{24} \text{ cm}^{-2}$). Показано, что в этом режиме с помощью рентгеновской спектроскопии можно определить $\langle N_H \rangle, N_H$ и A_{Fe} , но невозможно поставить строгие ограничения на комковатость и ориентацию тора.

ОГРАНИЧЕНИЕ НА КОЛИЧЕСТВО ПЕРВИЧНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР ИЗ-ЗА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПЫЛЬЮ

Мелихов А.Н.¹, Михеева Е.В.²

¹ *Физический институт им. П.Н. Лебедева*

² *Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева*

В работе ищутся ограничения на долю первичных черных дыр (ПЧД) в темной материи для разных распределений ПЧД с массами $10^{15} - 10^{18}$ г, при этом фотоны, излученные этими ПЧД вследствие эффекта Хокинга, взаимодействуют с межзвездной пылью. Рассматривается модель, в которой пылинки равномерно распределены в Галактике, а ПЧД — повторяют профиль распределения темной материи в Галактике. В качестве профиля плотности распределения темной материи в Галактике был выбран профиль Наварро-Френка-Уайта.

Фотон, излученный ПЧД, поглощается пылинкой и приводит в тепловое движение частицы пылинки. Пылинка поглощает фотоны с энергиями на всех длинах волн, нагревается и начинает излучать в непрерывном спектре, который может быть аппроксимирован планковским спектром абсолютного черного тела. Равновесная температура пыли T_d для графитовой и силикатной составляющих определяется из условия теплового баланса. Излучение от других источников при расчете скорости нагрева пыли не учитывается. В качестве модели межзвездной пыли была выбрана модель MRN, согласно которой частицы межзвездной пыли имеют сферическую форму и состоят из смеси силикатных и графитовых частиц примерно в равной массовой пропорции. Размеры частиц $0.005 < a < 0.25$ мкм, а их распределение по размеру имеет степенной характер, $n(a) \sim a^{-3.5}$.

Предполагается, что фотоны от ПЧД распространяются свободно, поэтому взаимодействием с материей можно пренебречь. Скорость нагрева и скорость охлаждения пылинок рассчитывается отдельно для графитовой и силикатной компонент пыли. Ограничение на долю ПЧД, составляющих темную материю, рассчитывается из предположения, что скорость нагрева пыли должна быть меньше скорости ее охлаждения. В данной работе рассматриваются две функции масс для ПЧД: монохроматическая функция масс (δ -функция) и логнормальное распределение.

Полученные ограничения сравниваются с ограничениями полученных в предыдущих работах по внегалактическому и галактическому фоне. Для монохроматической функции масс полученные ограничения для двух распределений ПЧД оказались слабее ограничений, полученных в работах [1-4]. Для логнормального распределения для значений параметра $\sigma = 0.01$, $\sigma = 0.5$ и $\sigma = 1$ ограничения оказались слабее, чем в работах [2,4,5]. Для значения параметра $\sigma = 2$ ограничения схожи с ограничениями, полученными в работе [2], но менее строгие, чем в работах [4,5].

Список литературы:

1. New cosmological constraints on primordial black holes / Carr B. J., Kohri K., Sendouda Y., and Yokoyama J. // *Phys. Rev. D.* — 2010. — Vol. 81. — P. 104019.
2. Laha R. Primordial Black Holes as a Dark Matter Candidate Are Severely Constrained by the Galactic Center 511 keV γ -Ray Line // *Phys. Rev. Lett.* — 2019. — Vol. 123. — P. 251101.
3. Laha R. et al. INTEGRAL constraints on primordial black holes and particle dark matter // *Phys. Rev. D.* — 2019. — Vol. 101. — P. 123514.

4. Boudaud M., Cirelli M. Voyager 1 e^\pm Further Constrain Primordial Black Holes as Dark Matter // Phys. Rev. Lett. — 2019. — Vol. 122. — P. 041104.
5. Carr B., Kühnel F. Primordial black holes as dark matter candidates // SciPost Phys. Lect. Notes. — 2022. — Vol. 48. — P. 1.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕГМЕНТИРОВАННОГО ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ

Мкртчян А.А.¹, Позаненко А.С.^{1,2}, Минаев П.Ю.²

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

При детектировании в гамма-диапазоне сцинтилляционными детекторами возникает проблема «мёртвого» времени. Под этим термином понимают характерное время, в течение которого прибор не способен зарегистрировать вновь поступивший квант излучения. Влияние эффектов мёртвого времени существенно в случае, если поток гамма-излучения приближается к обратной величине мёртвого времени детектора. Влияние эффектов мёртвого времени препятствует измерению истинного потока и энергетического спектра мощных источников гама-излучения. Такие проблемы возникают при регистрации, например, гамма-вспышек земного происхождения и мощных космических гамма-всплесков.

Влияние мёртвого времени можно уменьшить путем сегментирования детектора, то есть сборки детектора из отдельных элементов (сегментов) меньшего размера, при том, что общий объем (и масса) всех отдельных сегментированных элементов сцинтиллятора остается таким же, как и при использовании цельного куска сцинтиллятора.

С другой стороны, сегментированные детекторы гамма-излучения используются для измерения поляризации гамма-излучения с помощью комптоновского рассеяния.

В институте космических исследований разрабатывается сегментированный гамма-спектрометр (СГС) в составе полезной нагрузки малого космического аппарата Чибис-АИ, задачами которого являются регистрация гамма-вспышек земного происхождения и космических гамма-всплесков. Основным элементом детектора являются набор брусков германата висмута (BGO), каждый из которых сопряжен с кремниевым фотоумножителем.

В работе рассмотрено моделирование матрицы отклика сегментированного детектора гамма-излучения в диапазоне от 50 кэВ до 10 МэВ с помощью программного пакета Geant4. При этом учтены процессы взаимодействия излучения с веществом в этом спектральном диапазоне.

Исследована возможность регистрации линейной поляризации таким детектором, а также оптимальные параметры сегментированного детектора для наиболее эффективной регистрации линейной поляризации гамма-излучения.

ВЕЙВЛЕТ-ОСНОВАННЫЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ЧИСТОЙ ОБЛАСТИ ДЕТЕКТОРА В ЗАДАЧЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ФОНА ПО ДАННЫМ NUSTAR

Мухин А.А.^{1,2}, Кривонос Р.А.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Несфокусированная засветка, регистрируемая космической рентгеновской обсерваторией NuSTAR может быть источником полезной информации о космическом рентгеновском фоне (КРФ). В данной работе мы представляем автоматизированный метод для очистки наблюдений NuSTAR от любого сфокусированного рентгеновского потока, при этом сохраняя максимальную площадь области детектора, необходимой для анализа КРФ.

Основная идея метода – вейвлет декомпозиция изображения, которая позволяет в автоматическом режиме детектировать структуры произвольной формы и пространственного масштаба.

Основной обобщенный вейвлет декомпозиции также откалиброван и модернизирован для обработки наблюдений NuSTAR: использована специальная процедура вычисления порогов для детектирования структур различного масштаба, представлен итерационный алгоритм выбора очищаемой области для сохранения максимальной площади детектора.

На основе представленного метода разработан код для Python, который находится в открытом доступе и может быть использован для решения задачи разделения сфокусированной и несфокусированной компонент сигнала. Продукты работы алгоритма адаптированы для внедрения в стандартный набор инструментов для обработки данных NuSTAR (NuSTAR Data Analysis Software).

НЕРАВНОВЕСНАЯ ИОНИЗАЦИЯ ПЛАЗМЫ НА УДАРНЫХ ВОЛНАХ

Нежин А.Н.^{1,2}, Чуразов Е.М.^{2,4}, Хабибуллин И.И.^{2,3,4},
Лыскова Н.С.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

³ Университет Людвига и Максимилиана

⁴ Институт Астрофизики общества им. Макса Планка

Исследование излучения для межзвездной и межгалактической среды является основным инструментом изучения характеристик данных объектов. В частности, спектр излучения, возникающий при прохождении ударных волн в типичной столкновительной плазме, может предоставить ценную информацию о процессе, породившем это возмущение. Однако такие исследования осложняются несколькими факторами.

Во-первых, из-за низкой плотности астрофизической плазмы возможные для наблюдений последствия какого-либо события отстают от самого события на миллионы лет, что связано с большими характерными временами взаимодействия между компонентами среды. Во-вторых, за фронтом ударной волны доли ионов в плазме часто значительно отличаются от равновесных значений, которые можно было бы ожидать при текущей температуре электронов. В-третьих, дополнительными осложняющими анализ факторами могут выступать неравномерный нагрев электронов и ионов на ударной волне, а также возникновение неоднородностей плотности в окружающей среде.

Таким образом, в данной работе уделяется внимание разработке численных методов моделирования истории процессов неравновесной ионизации плазмы, являющейся критически важной для расчета спектров рентгеновского излучения в скоплениях галактик и вспышках сверхновых на ударных волнах. При этом, так как основные допущения относятся к атомным процессам, а не к космологическим, реализуемая задача может быть применена к широкому кругу астрофизических проблем.

Работа разделена на три части: теоретическую, сравнительную и практическую.

В первой части работы обсуждается теория моделируемых процессов, которая включает в себя:

- форму уравнения баланса после фронта ударной волны;
- вопросы ударного скачка параметров компонент астрофизической плазмы [2,5] с металлами, соответствующими приближению малой примеси;
- постударную эволюцию температур, основанную на кулоновских соударениях [1,3].

Вторая часть посвящена рассмотрению как классических численных методов, так и, например, метода «собственных векторов – собственных значений» [4]. А также обсуждается целесообразность применения тех или иных вариантов решения задачи в зависимости от её постановки.

В третьей части представлены результаты применения построенной модели.

Литература:

[1] Коган В.И. О скорости выравнивания температур заряженных частиц в плазме // Физика плазмы и проблемы управляемых термоядерных реакций. Т. 1. М., АН СССР, 1958. С. 130-137.

[2] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М., Физматлит, 2001. 736с.

[3] Huba J. NRL: Plasma Formulary. Washington. 2004. 70с.

[4] Hughes J. P., Helfand D. J. Self-consistent models for the X-ray emission from supernova remnants: an application to Kepler's remnant // Ap. J. 1985. V. 291. Pp. 544-560.

[5] Vink J. et al. On the electron-ion temperature ratio established by collisionless shocks // A.&A. 2015. V. 579. P. A13.

ХРОМАТИЧЕСКОЕ ПОСЛЕСВЕЧЕНИЕ ГАММА-ВСПЛЕСКА GRB 200829A

Панков Н.С.^{1,2}, Позаненко А.С.^{1,2}, Минаев П.Ю.^{2,3},
Белкин С.О.^{1,2}, Вольнова А.А.²

¹ НИУ Высшая школа экономики

² Институт космических исследований РАН

³ Физический институт имени П. Н. Лебедева

Мы представляем результаты анализа многоволновых наблюдений длинного космического гамма-всплеска GRB 200829A. Красное смещение всплеска $z \approx 1.29 \pm 0.04$ определено фотометрическим методом на стадии раннего послесвечения. В гамма-диапазоне событие является одним из самых ярких (в изотропном эквиваленте) $E_{iso} \gtrsim 10^{54}$ эрг. Многоволновая кривая блеска послесвечения GRB 200829A характеризуется хроматизмом на поздней стадии и наличием неоднородности на раннем этапе, плавно переходящей в степенное падение потока. Неоднородность можно интерпретировать, как плато или квазисинхронную неоднородность (вспышку). Мы предполагаем, что наличие неоднородности в совокупности с хроматизмом не противоречат теории структурированного джета.

БЕЛЫЕ КАРЛИКИ В ПРИБЛИЖЕНИИ ОДНОРОДНОГО ШАРА С УЧЕТОВ ЭФФЕКТОВ ОТО

Патраман Е.А.^{1,2}, Бисноватый-Коган Г.С.^{1,2,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

³ *Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ*

Вычислена предельная масса холодных белых карликов в однородном приближении плотности на основе решения уравнений для равновесия звезды, найденные с использованием энергетического метода. Построены модели белых карликов в приближении однородной плотности с учетом температурных поправок и малых поправок на ОТО. Решения получены в виде конечных аналитических формул и отличаются от точных моделей не более чем на $\sim 20\%$.

ПЕРЕМЕННОСТЬ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КВАЗАРОВ SDSS В ХОДЕ ОБЗОРА ВСЕГО НЕБА СРГ/ЕРОЗИТА

Прохоренко С.А.^{1,2}, Сазонов С.Ю.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Среди галактик нашей Вселенной можно выделить галактики с активным ядром (активные ядра галактик, АЯГ), то есть имеющие особую область в центре, где происходят процессы с выделением большого количества энергии. Квazarы — самые светимые АЯГ. Излучение квазаров в рентгене существенно переменнo на временных масштабах от нескольких часов до сотен лет. Эта переменность имеет стохастическую природу и связана с процессами, происходящими во внутренней части аккреционного диска или горячей короне. В текущей работе изучалась рентгеновская (в полосе 0.3-2.2 кэВ) переменность квазаров на масштабе от дня до двух лет в системе наблюдателя. Выводы делались на основе данных телескопа eРОЗИТА на борту обсерватории СРГ и каталога спектроскопически отобранных квазаров первого типа SDSS DR14Q. Телескоп СРГ/eРОЗИТА произвел четыре прохода по всему небу с интервалом в полгода, что позволило получить оценки 4х потоков для каждого квазара. Была взята выборка со среднеарифметическим потоком по 4м проходам выше 2×10^{-13} эрг/см²/с, т.е. с достаточно малыми ошибками в измерении потоков. Также такая выборка достаточно полна, так как настолько яркий в рентгене квазар должен быть выше порога детектирования SDSS. Для каждого квазара выборки известно красное смещение и почти для всех есть оценки массы черной дыры и болометрической светимости на основе данных из оптических спектров. Выборка состоит из 2496 квазаров, по каждому из которых есть информация по переменности в примерно одинаковом диапазоне частот в системе покоя квазара. Такая беспрецедентно большая выборка позволяет более подробно, чем в предыдущих работах по этой теме, исследовать зависимость переменности квазара от массы черной дыры и темпа аккреции на красных смещениях от 0.1 до 3. Дополнительно были использованы данные LOFAR DR2 для оценки потока квазаров выборки в радиодиапазоне 120–168 МГц. В качестве характеристики переменности использовалась величина normalized excess variance (σ_{rms}^2). Были исследованы зависимости среднего по подвыборке σ_{rms}^2 от красного смещения, массы сверхмассивной черной дыры, рентгеновской светимости, эддингтоновского отношения и радиогромкости.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗДЫ HD 110432

Рыспаева Е.Б.¹, Холтыгин А.Ф.²

¹ Крымская астрофизическая обсерватория РАН

² Санкт-Петербургский государственный университет

Звезда HD 110432 относится к загадочному подклассу звезд аналогов γ Cas и предположительно является двойной системой, состоящей из Be-звезды и вырожденного компонента — белого карлика, либо нейтронной звезды. В работе проанализированы архивные рентгеновские наблюдения HD 110432, выполненные на орбитальных обсерваториях «XMM-Newton» и «Chandra» в 2002, 2003, 2007, 2009, 2019 годах. Извлечены кривые блеска и спектры звезды. Исследование кривых блеска показало периодичность рентгеновского излучения у звезды и коротких квази-вспышек — небольшого быстрого увеличения скорости счета, не приводящего к существенным изменениям характеристик рентгеновских спектров. Последние были аппроксимированы тепловыми моделями, описывающими излучения горячего газа, в котором атомы ионизируются электронным ударом, и тепловыми моделями с добавлением степенной компоненты, описывающей возможное нетепловое рентгеновское излучение звезды. Температура излучающей плазмы $kT \sim 10 - 50$ кэВ, если считать рентгеновское излучение HD 110432 полностью тепловым. Эта температура уменьшается до $kT < 10$ кэВ при добавлении степенного компонента со спектральным индексом $\Gamma < 2.5$ и вкладом в полный модельный спектр $\sim 0.6-0.9$. Предположено, что рентгеновское излучение HD 110432 представляет собой сумму теплового и нетеплового компонентов. Возможное нетепловое излучение формируется либо в процессе аккреции на компактный компонент, либо в результате обратного комптоновского рассеяния излучения звезды на релятивистских электронах. Сравнение рентгеновских спектров звезды разных лет указывает на отсутствие у HD 110432 эпох усиления и ослабления рентгеновского излучения, характерных для некоторых звезд-аналогов γ Cas. В то же время в 2009 году зафиксировано экстремально сильное рентгеновское излучение звезды на энергиях 2-15 кэВ. Увеличение интенсивности жесткого компонента рентгеновского излучения HD 110432 может быть связано с эпизодом перезапыления силовых линий локального магнитного поля звезды и магнитного поля декреционного диска.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ПУЛЬСАРОВ SWIFT J1808.4-1754 И eRASSU J050810.4-660653 ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЙ

Салганик А.

*Санкт-Петербургский государственный университет
Институт космических исследований РАН*

Рентгеновские пульсары в двойных системах с Ве оптическим компаньоном обладают сверхмощными магнитными полями, что в совокупности с большим диапазоном темпов аккреции и компактностью таких объектов делает их уникальными лабораториями для исследований экстремальных состояний вещества, недостижимых в земных условиях. Ключом к пониманию физических процессов происходящих в таких системах являются исследования в рентгеновском диапазоне, которые проводятся на основании данных космических обсерваторий.

В данном докладе приводятся результаты исследований пульсаров Swift J1808.4-1754 и eRASSU J050810.4-660653 на основании данных обсерваторий NuSTAR, Swift и Спектр-РГ, а также оптических и инфракрасных наблюдений.

РЕНТГЕНОВСКИЕ ВСПЫШКИ ОТ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ, ПИТАЕМЫХ ВЕТРОМ ГОЛУБЫХ И КРАСНЫХ СВЕРХГИГАНТОВ

Сатыбалдиев М.Н.^{1,2}, Мереминский И.А.²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

В некоторых массивных рентгеновских двойных системах наблюдается аккреция из плотного звездного ветра оптического компаньона. Наблюдаемые проявления таких систем зависят от параметров ветра и компактного объекта, а также от геометрии системы. Изучение разнообразия таких систем важно для понимания процессов, происходящих в при аккреции в НМХВ.

IGR J16195-4945 и 3A 1954+319 являются представителями систем с ветровой аккрецией. IGR J16195-4945 относится к классу быстрых рентгеновских транзиентов со звездами-сверхгигантами (Supergiant Fast X-ray Transients - SFXT). Известно, что звездой-донором в этой системе является голубой сверхгигант типа ON9.7Iab. 3A 1954+319 же относится к редкому классу систем с красными сверхгигантами. Параметры нейтронных звезд в этих системах до сих пор неизвестны.

Кривые блеска обоих этих источников демонстрируют характерные вспышки на масштабах 100-10000 с. Это может указывать на то, что в них протекает оседающая аккреция. В докладе будет проведено сравнение наблюдаемых параметров вспышек, определенных из наблюдений телескопов ART-XC и NuSTAR, с теоретическими предсказаниями, а также сравнение их между собой.

РАСЧЕТ ПЕРВОНАЧАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОРБИТ ДЛЯ УСТАНОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ С РАДИОТЕЛЕСКОПАМИ

Ткачук М.О.

Московский Авиационный Институт

В данной работе рассматривается космическая программа «Радиоастрон» и предлагаются идеи по модернизации и совершенствованию проекта.

Проектом руководят Астрокосмический центр Физического института имени Лебедева Российской академии наук и Научно-производственное объединение имени Лавочкина по контракту с Государственной космической корпорацией "РОСКОСМОС" в сотрудничестве с организациями-партнерами в России и других странах.

Принцип устройства - использовать космический телескоп для радиоастрономических наблюдений с использованием методов интерферометрии с очень длинной базовой линией в сочетании с наземными сетями, расположенными в странах-партнерах. Целями данного проекта являются: изучение фундаментальной астрометрии и высокоточной системы координат, межзвездной и межпланетной среды, а также высокоточные измерения гравитационного поля Земли.

Идея настоящей работы заключается в выявлении возможности получения лучших результатов не только за счет совершенствования возможностей аппарата, но и за счет использования нескольких новых на других аналогичных орбитах.

Предлагается и рассматривается несколько возможных вариантов, суть которых состоит в установке наблюдения за космическим пространством на базе ряда КА в этом же диапазоне (первоначальные параметры: период обращения вокруг Земли - 8,5 суток, большая полуось - 189 000 км, наклонение - 51,6 градусов):

1. изменение значения перицентра орбиты «Спектра-Р» на 180 градусов, что удваивает базу и соответственно увеличивает разрешение

2. использовать аппарат, у орбиты которого аргумент перицентра будет отличаться на 90 градусов, при этом будет одинаковое разрешение по двум осям изображения, это также даст более высокий уровень научных результатов.

В ходе исследования было определено место расположения спутников на позициях вычисленных орбит, а также смоделирован и воспроизведен общий вид проекта в программах-симуляторах космического пространства. Таким образом, данный случай можно назвать уникальным, так как имеет смысл повторного проведения космической миссии.

ЯРКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ КВАЗАР PG1634+706 ПО ДАННЫМ ОБСЕРВАТОРИИ СРГ

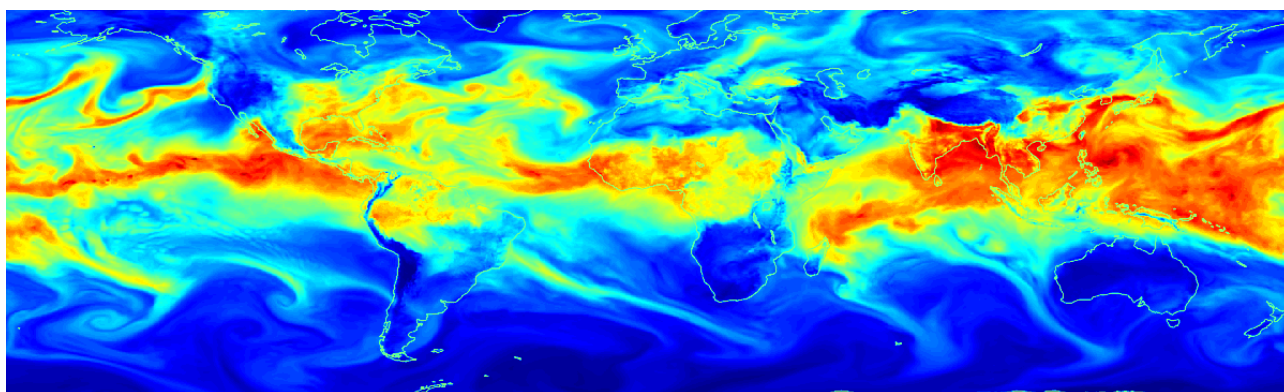
Усков Г.С.¹, Сазонов С.Ю.¹, Гильфанов М.Р.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт астрофизики им. Макса Планка*

Во время калибровочной фазы обсерватории СРГ в 2019 году телескопами eROSITA и ART-XC им. Павлинского были проведены продолжительные одновременные наблюдения квазара PG1634+706 ($z=1.33$) - одного из самых мощных (светимость порядка $1e46$ эрг/с в диапазоне 2-10 кэВ) во Вселенной на $z<2$. Проведены спектральный и временной анализ полученных данных, а также сравнение результатов с архивными наблюдениями других обсерваторий. Уникальные данные СРГ позволили впервые обнаружить с высокой значимостью в спектре источника линию FeKa, вероятно связанную с отраженной компонентой излучения. Также с большой достоверностью в спектре регистрируется мягкий избыток, природа которого, предположительно, связана с аккреционным диском.

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ



ПРОБЛЕМА ПОДХОДА TRANSFER LEARNING В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ОБЛАЧНЫХ И СНЕЖНЫХ ПОКРОВОВ ПО ДАННЫМ СО СПУТНИКА ДЗЗ ЭЛЕКТРО L1

Беляков Н.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

В данной работе предлагается решение задачи детекции облачности со снимков ДЗЗ с геостационарного спутника ELECTRO L1 в 10 спектральных каналах. Основным подходом при выделении областей с облачным покровом является transfer learning для нейронной сети, являющейся модификацией модели UNET для выделения маски облачности со снимка ДЗЗ в 4 каналах. В качестве данных для обучения используется датасет со спутника ДЗЗ Landsat-8, предоставляющий снимки Земли в разрешении 30 на 30 м в 4 спектральных каналах: R,G,B и ближний инфракрасный (NIR). Модель осуществляет попиксельную классификацию облачности на обучающей выборке с Landsat-8. Проблема применения обученной модели для разметки облачности для снимков с ELECTRO L1 заключается в разном разрешении снимков, ракурсе съемки спутников, спектральных диапазонах съемочной аппаратуры, неточности в разметке облачности в обучающей выборке.

В работе осуществляется предобработка данных с ELECTRO L1 под формат, схожий с снимками с Landsat-8. Рассматриваются способы устранения проблем в разметке данных с ELECTRO L1: некорректная разметка облачности на границах патчей, ложное детектирование облачности в теневых зонах, ошибочная разметка снега как облаков, аномалии на границе контура Земли. Создается разметка облачности, тем самым достигается цель получения собственного датасета для данных с ELECTRO L1.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ В ПОЙМЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ

Берденгалиева А.Н.

Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН

В работе приводятся результаты геоинформационного анализа выгоревших площадей за 2001-2020 гг. в пойменных ландшафтах Нижней Волги. В работе использовались данные MCD14ML (FIRMS), MCD64A1, FireCCI51 и GABAM за 2001-2020 гг., первые три из которых основаны на данных MODIS, последний – на данных Landsat. Каждый из продуктов имеет как пропуски, так ложные определения и артефакты. Тем не менее, совместный анализ всех данных позволяет получить достаточно достоверную оценку горимости.

В последние два десятилетия существенно интенсифицировались ландшафтные пожары. Лесным пожарам посвящено достаточно много исследований, в то время как анализу горимости нелесных земель уделяется намного меньше внимания. Пойменные ландшафты засушливой зоны, к которым относится и Волго-Ахтубинская пойма с дельтой Волги практически не охвачены исследованиями пожарного режима.

Целью исследования является анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги по данным различных информационных продуктов детектирования природных пожаров, а также установление закономерностей и факторов горимости.

В результате работы определено, что всего за период исследований общая площадь гарей составила от 2,9 млн га до 4,8 млн по оценкам разных продуктов. Среднегодовое значение горимости составляет 9,2% территории исследования. Максимальная горимость отмечена в 2019 г. (15,4%), а минимальная – в 2016 г. (2,8%). Эти годы характеризуются наименьшей и наибольшей продолжительностью периодов максимальных расходов половодья соответственно. Влияние гидрологической ситуации на горимость пойменных ландшафтов подтверждается корреляционным анализом. Установлена значимая корреляционная связь горимости с уровнем половодья и его длительностью. Чем выше максимальная отметка заливания поймы и дольше вода держится на пойме, тем ниже горимость. Особенно сильно это проявляется в дельте Волги, где из-за сокращения расходов половодья и падения уровня Каспия усиливается обсыхание пойменных ландшафтов. Это ведет к интенсификации пожаров. Кроме гидрологической ситуации на горимость оказывает влияние погода. При этом основной климатический фактор – атмосферное увлажнение. Чем больше выпадает осадков, тем меньше горимость. Температура воздуха не влияет на величину выгоревшей площади, поскольку на протяжении всего теплого периода температуры остаются достаточно высокими. Тенденции гидрологических изменений направлены на снижение водности половодья, что будет приводить к обсыханию поймы на фоне продолжающегося падения уровня Каспия. При существующей системе противопожарной профилактики следует ожидать дальнейшего роста горимости ландшафтов.

Работа выполнена по темам НИР ФНЦ агроэкологии РАН № 122020100311-3.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ATL08 СПУТНИКОВОГО ЛИДАРА ATLAS/ICESAT-2 ДЛЯ ОЦЕНКИ СОМКНУТОСТИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА

Богодухов М.А., Барталев С.А., Жарко В.О.

Институт космических исследований РАН

Мониторинг состояния лесов на больших территориях возможен при использовании данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса. Для решения ряда научных и практических задач, в частности связанных с оценкой бюджета углерода лесов России, необходимо получение различных характеристиках леса, таких как параметры вертикальной и горизонтальной структуры лесного покрова. Источником своевременной и достоверной информации такого типа на больших территориях могут служить спутниковые лидарные данные.

Стандартный продукт ATL08 данных ATLAS/ICESat-2 предоставляет информацию о распределении высоты лесного покрова на участках земной поверхности 100×14 м, причем при обработке возможно получение более детальной информации, – 20×14 м (Neuenschwander et al., 2022). Проведенные эксперименты с оценками высоты леса в других работах показывают достаточный уровень достоверности данных (Барталев и др., 2022).

Спутниковые лидарные данные также могут использоваться для оценки сомкнутости лесного покрова как доли излучения, отраженного объектами выше заданного порогового значения, к общей энергии отраженного излучения. Для оценки горизонтальной структуры лесного покрова в рамках данной работы была использована особенность спутникового лидара ATLAS/ICESat-2, которая заключается в технологии подсчета отдельных отраженных фотонов при оценке высоты растительности. Сомкнутость лесных насаждений определяется как отношение числа отраженных фотонов от растительности выше определенной высоты к общему числу отраженных фотонов в пределах участка земной поверхности.

Был проведен сравнительный анализ полученной характеристики с различными продуктами: сравнение с данными пространственного распределения сомкнутости Tree Cover 2010 (Hansen et al, 2013) и сравнение с данными беспилотных летательных аппаратов на территориях Мурманской и Волгоградской областей. Изучена потенциальная возможность совместного использования оценок высоты и сомкнутости при моделировании запаса стволовой древесины.

По результатам проведенных экспериментов оценка сомкнутости при использовании данных продукта ATL08 спутникового лидара ATLAS/ICESat-2 не показала достаточного уровня достоверности. Это может быть связано с недостаточным количеством детектируемых отраженных фотонов в пределах рассматриваемого участка земной поверхности.

Исследование выполнено в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Обработка данных ДЗЗ проводилась с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019), развиваемого и поддерживаемого в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8).

Список литературы:

- [1] Neuenschwander, A., K. Pitts, B. Jolley, J. Robbins, J. Markel, S. Popescu, R. Nelson, 25 D. Harding, D. Pederson, B. Klotz, and R. Sheridan (2022). Ice, Cloud, and Land 26 Elevation Satellite (ICESat-2) Project Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for 27 Land - Vegetation Along-Track Products (ATL08), Version 6. ICESat-2 Project, DOI: 28 10.5067/8ANPSL1NN7YS.
- [2] С.А. Барталев, М.А. Богодухов, В.О. Жарко, В.М. Сидоренков. Исследование возможностей использования данных ICESat-2 для оценки высоты лесов России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. №4. С. 195–206. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-4-195-206.
- [3] Hansen M., Potapov P., Moore R., Hancher M., Turubanova S., Tyukavina A., Thau D., Stehman S., Goetz S., Loveland T., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. Townshend J. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. Vol. 342. Iss. 6160, pp. 850–853.
- [4] Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗНОСЕЗОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ОЗИМЫХ КУЛЬТУР В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

Бойматов Ю.Ш.¹, Плотников Д.Е.²

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Раунее детектирование посевов озимых культур текущего сезона вегетации и оперативная оценка их состояния на больших территориях является актуальной задачей (Трошко и др., 2022), наиболее эффективно решаемой с помощью средств дистанционного зондирования Земли. Данные дистанционного зондирования информативны для определения продуктивности сельскохозяйственных культур и оценки потенциального урожая, выявления повреждений растений из-за неблагоприятных факторов, таких как засухи, заморозки, заболевания и действия вредителей. Для решения этих задач используется анализ спутниковых изображений, полученных в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра.

В ИКИ РАН был ранее разработан и используется автоматический метод картографирования озимых культур России на основе экспансии обучающей выборки, который использует данные о фенологии культур текущего сезона вегетации (Плотников и др., 2017). Вместе с тем, использование многолетней накопленной информации об особенностях развития культур в предыдущие сезоны может улучшить результаты распознавания озимых.

Целью настоящей работы являлось создание непараметрического ансамблевого классификатора, использующего для обучения карты озимых культур и ежедневные композитные изображения вегетационного индекса NDVI (Plotnikov et al, 2022) Европейской части России, полученные в весенне-летние периоды вегетации с 2015 по 2020 годы. Оценка эффективности картографирования озимых культур производилось для сезонов 2021 и 2022 годов, в рамках которых было произведено сравнение с тестовой выборкой. Для оценки использовались метрики точности Overall accuracy и F-score. В работе использовались методы представления и геопространственного преобразования данных в формат, пригодный для ансамблевого классификатора, работающего на языках Python/C++, а также методы распределенных вычислений на GPU с использованием технологий CUDA.

В работе также проведен обзор используемых инструментов, особенностей использования задействованного программного обеспечения, а так же преимущества, недостатки и проблемы использования других существующих алгоритмов.

Исследование выполнено в рамках темы Мониторинг (госрегистрация № 122042500031-8).

Литература:

[1] Трошко К.А., Денисов П.В., Дунаева Е.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А. Особенности развития озимых сельскохозяйственных культур на юге европейской части России весной 2022 г. по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 261-267. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-2-261-267.

[2] Плотников Д.Е., Баргалева С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А. Оценка точности выявления посевов озимых культур в весенне-летний период вегетации по данным прибора MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 4. С. 132-145. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-4-132-145.

[3] Plotnikov D.E., Loupian E.A., Kolbudaev P.A., Proshin A.A., Matveev A.M. Daily surface reflectance reconstruction using LOWESS on the example of various satellite systems // IEEE Xplore. VIII International Conference on Information Technology and Nanotechnology. (ITNT). 2022. DOI: 10.1109/ITNT55410.2022.9848630.

УТОЧНЕНИЕ ПРИВЯЗКИ ДАННЫХ ПРИБОРА МСУ-МР ПРИ ПОМОЩИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИИ АППАРАТА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ПРИВЯЗКИ

Волкова Е.Е., Матвеев А.М., Мазуров А.А.,
Бурцев М.А.

Институт космических исследований РАН

Прибор МСУ-МР – шестиканальное устройство низкого пространственного разрешения, установленное на космических аппаратах (КА) серии «Метеор-М», – снимает поверхность Земли в спектральном диапазоне от 0,5 до 12,5 мкм, что позволяет осуществлять мониторинг природных и антропогенных явлений для решения большого круга задач. Однако недостаточная точность определения параметров для строгой или общей моделей привязки, вызванная нестабильностью ориентации аппарата, является препятствием для обеспечения автоматической субпиксельной географической привязки данных прибора МСУ-МР.

В отсутствие достаточных исходных данных для получения субпиксельной точности привязки снимков с помощью модели, устранить дефекты привязки можно с использованием опорных, хорошо привязанных, данных. В данной работе в качестве опоры выбраны композитные изображения приборов MODIS и VIIRS. Для реализации геопривязки применяется программный пакет AROSICS (Scheffler et al., 2017), в основе которого лежит фазовая корреляция, с помощью которого и вычисляются контрольные точки для последующего восстановления параметров ориентации аппарата.

В докладе приводится описание программного решения: особенности реализации и результаты привязки для снимков, в том числе ночных, прибора МСУ-МР КА «Метеор-М» №2-2, а также рассматриваются перспективы использования полученных данных для решения других задач дистанционного зондирования Земли, в частности, мониторинга пожаров.

Работа выполнена с использованием возможностей Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг»).

АПРОБИРОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ SENTINEL-2 ДЛЯ ЕЖЕГОДНОЙ ОЦЕНКИ ЗАПАСА СТВОЛОВОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Ворушилов И.И.¹, Барталев С.А.^{1,2}, Егоров В.А.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН*

Данная работа представляет собой дальнейшее развитие исследования, направленного на ежегодную оценку запаса стволовой древесины на территории России. Цель данной работы – опробовать ежегодно оценить запас стволовой древесины на данных Sentinel-2, тем самым получив оценку запаса в более высоком разрешении. А также опробовать алгоритмы построения и радиометрической нормализации зимних снежных композитных изображений на основе данных Sentinel-2. То есть алгоритмы предобработки данных.

Работа выполнена в рамках темы «Мониторинг» (госрегистрация № 122042500031-8) с использованием возможностей УНУ ВЕГА-Science (Loupian et al., 2022), входящей в Центр коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019)

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО БЛОКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ РАДАРНОЙ АЛЬТИМЕТРИИ НА ПРИМЕРЕ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ ВОДЫ РЕКИ АМУР

Врублевский М.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Мониторинг уровня воды в водоемах – важная задача в изучении природных процессов. Регулярное получение и накопление информации об уровне воды позволяет как осуществлять мониторинг стихийных бедствий, таких как наводнения, оценивать их риски и последствия, так и судить о запасах пресной воды в засушливых регионах.

Получение данных об уровне воды в водоемах традиционно осуществляется наземными измерениями (гидропостами и выездными исследовательскими станциями), которые в силу экономических причин не могут осуществляться регулярно на всех водоемах. Решить проблему регулярного получения данных об уровне воды позволяет использование радарной альтиметрии.

История спутниковой альтиметрии длится около полувека и включает в себя использование таких спутников, как ERS-1/2, TOPEX/Poseidon, GFO-1, Jason-1/2, Envisat и др. С 2016 г реализуется миссия Sentinel-3, альтиметрия которой предназначена для изучения топографии морей и внутренних вод с высоким пространственным разрешением 300 м [1]. Данные миссии предоставляются в свободном доступе сервисом scihub.copernicus [2].

На основе вышеизложенного можно сформулировать следующую задачу: необходимо разработать программный модуль, реализующий обработку данных радарной альтиметрии миссии Sentinel-3 для создания системы мониторинга уровня воды в водоемах.

В результате решения поставленной задачи была получена система, включающая в себя:

- 1) программный блок обработки данных альтиметрии Sentinel-3;
- 2) База данных для хранения информации об уровне воды в водоемах и предоставления ее пользователю;
- 3) программный блок, реализующий автоматизированное создание сети виртуальных гидропостов;
- 4) программный блок, осуществляющий вычисление уровня воды на каждом из гидропостов с возможностью анализа временного ряда данных.

В качестве демонстрационного примера работоспособности системы полученные программные блоки реализованы применительно к реке Амур. На реке Амур создана сеть виртуальных гидропостов, для каждого из которых а) вычисляется уровень воды, б) доступен временной ряд данных об уровне воды.

Полученные данные хорошо согласуются с данными зарубежных сервисов, таких как Dahiti [3] и Hydroweb [4], основанных на обработке данных альтиметрии.

Работа реализованной системы для мониторинга уровня воды реки Амур показала, что разработанная система выполняет свои функции в соответствии с целями и, следовательно, может быть применена для мониторинга уровня воды всех интересующих водоемов РФ.

Источники и литература:

- [1] sentinels.copernicus - URL:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-3>
- [2] scihub.copernicus - URL: <https://scihub.copernicus.eu/>
- [3] Database for Hydrological Time Series of Inland Waters (DAHITI) -
URL: <https://dahiti.dgfi.tum.de/en/>
- [4] Hydroweb - URL: <https://hydroweb.theia-land.fr/>

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ БРИЗОВОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Головко А.Г.

ФГБОУ ВО РГГМУ

Аннотация. По спутниковым снимкам «EOSDIS Worldview (NASA)» за конкретные даты изучена и проанализирована бризовая циркуляция на Ладожском озере. Проведен кластерный анализ, а также описание синоптической ситуации. Выявлены особенности формирования бризовой циркуляции на Ладожском озере. Ключевые слова. Бриз, спутниковые данные, синоптическая ситуация.

Бриз — ветер, имеющий суточную периодичность, который дует по берегам морей и больших озер и на некоторых больших реках. Дневной (морской) бриз дует с моря на нагретое побережье, ночной (береговой) — с охлажденного побережья на море. Незадолго до полудня происходит смена берегового бриза на морской, морского на береговой — вечером. Слой воздуха, который охвачен бризом, может сильно отличаться по толщине (до нескольких сот метров). Выше данного слоя наблюдается перенос воздуха в обратном направлении (антибриз), образующий вместе с бризом замкнутую циркуляцию.

Бризы проникают от береговой линии вглубь суши на десятки километров. Они особенно развиты летом, в период антициклонической погоды, которая не нарушается прохождением фронтов и сменой воздушных масс. Их можно считать примером местной циркуляции воздуха, накладывающихся на общую циркуляцию. Бризы также необходимо учитывать в численном прогнозе погоды.

Смена бриза имеет существенное значение для суточного хода погоды, особенно в тропических широтах. В России они наблюдаются на Белом, Балтийском, Черном, Азовском, Каспийском и Дальневосточных морях, а также на Ладожском и Онежском озёрах. На снимках из космоса будет виден только береговой/ночной бриз, однако морской бриз может быть виден за счет смещения границы облаков вглубь суши.

Ладожское озеро расположено на северо-западе Европейской части России, в Ленинградской области и республики Карелия. Оно является самым большим и пресноводным озером в Европе. Площадь составляет 17,9 тыс. км² (с островами 18,3 тыс. км²), длина 219 км, средняя ширина 84 км, объём воды $838 \pm 2,4$ км³, глубина до 230 м (в сев. части, к западу от о. Валаам).

Были рассмотрены случаи бризовой циркуляции за период с 2011 по 2020 гг. В данной работе выделены 2 случая бризовой циркуляции на Ладожском озере, для которых был проведен детальный анализ поля облачности и синоптических условий их образования и развития.

При помощи кластерного анализа на спутниковых снимках получилось следующее соответствие: для 02.06.2018 г. оранжевый + бордовый цвет соответствуют волокнистой текстуре (бризы на юге Ладожского озера), а 03.06.2018 г. светло-фиолетовый — волокнистой текстуре (бризы на юге Ладожского озера).

2 июня 2018 года над регионом исследования южнее Финского залива располагается центр циклона, который смещается на северо-восток, и к моменту обнаружения на спутниковом снимке бризовой циркуляции данный циклон подойдёт с юга Финского залива.

Анализируя кольцевую карту погоды за 2 июня 2018 года можно сделать вывод о том, что в зоне между Ладожским озером и Финским заливом наблюдается линия неустойчивости. Она проходит к югу Онежского озера, по центральной части Ладожского озера и по оси Финского залива. Линия неустойчивости частично связана с бризами, так как она проходит вблизи них.

Можно предположить, что существует центр на южной части ложбины окклюдированного циклона, об этом свидетельствуют направления ветра в районе Архангельска (северный ветер тыловой части циклона) и Чешской губы (восточный ветер).

3 июня 2018 года над Ладожским озером наблюдается отдельный центр циклона. В его центральной части, который расположен над севером Ладоги, температура поверхности восточного побережья намного холоднее западного. Южный поток дает температуру более холодную, чем западный перенос. $+17,4^{\circ}\text{C}$ в тылу и $+8,0^{\circ}\text{C}$ в передней части циклона. Данная ситуация нестандартная. За счет таких температур проведены нетривиальные фронтальные поверхности.

По данным приложения «VentuSky» 2 июня 2018 года на юго-западе от Ладожского озера 5 см над землей температура $+27^{\circ}\text{C}$, а в центральной части Ладожского озера $+5^{\circ}\text{C}$, 2 м над землей $+25^{\circ}\text{C}$ и $+10^{\circ}\text{C}$ соответственно. 3 июня 2018 года вблизи Финского залива на высоте 5 см над землей $+28^{\circ}\text{C}$ и $+4^{\circ}\text{C}$ в центральной части Ладожского озера, на 2 м над землей $+26^{\circ}\text{C}$ и $+10^{\circ}\text{C}$ соответственно. Можно говорить, что наблюдаются мощные контрасты температур. 4 июня 2018 г. и 5 июня 2018 г. такие сильные контрасты температур уже не наблюдаются. Новый циклон над севером Ладоги образовался в результате таких мощных разниц температур у поверхности суши и воды.

По данным спутникового снимка определено, что бриз дует с водной поверхности на побережье. Соответственно, это дневной (морской) бриз, что подтверждается высокими контрастами температур и неординарной синоптической ситуацией в рассматриваемые дни.

Вероятно, линия неустойчивости и центр циклона, которые располагались вблизи или над самим Ладожским озером, являются типичными синоптическими ситуациями для формирования бризов. Но необходим дополнительный анализ.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЧАГОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ НА ВОСТОКЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

Дорошенко В.В.

ФНЦ агроэкологии РАН

В работе описаны результаты картографирования для анализа пространственного размещения открытых песков на востоке Ставропольского края за период с 1990 по 2022 гг.

В докладе представлены: составленные по результатам дешифрирования материалов ДЗЗ (Landsat) схемы пространственного распределения открытых песков; анализ скорости роста площадей опустыненных территорий; материалы экспедиционных выездов в районы, наиболее пострадавшие от пыльных и песчаных бурь, значительно участвовавших с 2017 г.

Литература:

1. Дорошенко В. В. Геоинформационный анализ динамики площадей очагов опустынивания в восточной части Ставропольского края // Природные системы и ресурсы. 2022. Т. 12, № 2. С. 59-66. DOI 10.15688/nsr.jvolsu.2022.2.8. EDN JIKTEI.

2. Дорошенко В. В. Геоинформационный анализ развития процессов опустынивания в Ставропольском крае // Научно-агрономический журнал. 2022. № 3(118). С. 31-36. DOI 10.34736/FNC.2022.118.3.004.31-36. EDN UXZDWO.

3. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Оценка площади опустынивания на юге европейской части России в 2021 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 4. С. 291-297. DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-291-297.

4. Шинкаренко С. С., Барталев С. А. Последствия пыльных бурь на юге европейской части России в сентябре-октябре 2020 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 17. №7. С. 270-275.

5. Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319-327. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327. EDN ZBPBWU.

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОТОИНТЕРПРЕТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ВОЛОНТЁРАМИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Ёлкина Е.С.¹, Плотников Д.Е.¹, Толпин В.А.¹,
Щербенко Е.В.²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *ООО ИКИЗ, Москва, Россия*

Задачи дистанционного картографирования больших территорий алгоритмами с обучением сопряжены с необходимостью использования точной и распределённой обучающей выборки. Способом получения таких данных может быть организация краудсорс-разметки путем фотоинтерпретации спутниковых данных [1-3], что особенно актуально в случае отсутствия или недоступности наземных данных для исторических периодов наблюдений. Благодаря наличию постоянно обновляющихся архивов открытых спутниковых данных, развитию доступности геоинформационных систем, возможностям организации удаленной работы, краудсорсинг (привлечение не-экспертов для выполнения работ) в области дистанционного зондирования Земли используется всё шире [3], [5]. При этом большой интерес представляет как методология проведения краудсорс-работ, так и вопросы оценки точности и контроля надежности получаемых результатов [4-6].

В данной работе представлены результаты эксперимента [2] по созданию и оценке распределенной опорной выборки с помощью волонтеров на территорию Европейской России для решения задачи распознавания используемых пахотных земель. Цель работы – разработка подходов к слиянию хорошо представленных волонтерских наборов с ограниченными «экспертными» наборами с максимизацией общего качества получаемой выборки. В рамках эксперимента была организована краудсорс-платформа на базе системы Vega Science [7,9], где участниками проводилась разметка объектов наземного покрова двух классов: «пашня» и «не-пашня» (для бинарной классификации) путём массовой фотоинтерпретации спутниковых снимков. Для дешифрирования использовались спутниковые данные за 2017 год наблюдений, прежде всего, архивы данных спутников Landsat и Sentinel-2, а также временные ряды вегетационного индекса NDVI по данным прибора MODIS (Terra и Aqua). В среднем участник-волонтер за выделенное ему время интерпретировал не менее 400 объектов на территории Европейской России и прилегающих стран. В результате общее количество объектов, доступных для анализа в рамках эксперимента составило 4866, из них почти половина были контрольными, т.е. были интерпретированы также и экспертами. Объекты для интерпретации были распределены методом случайного стратифицированного семплинга, что обеспечило репрезентативность и полноту полученной разметки. Нормальное распределение числа контрольных точек по участникам эксперимента гарантирует сравнимость результатов оценки точности участников.

Оценка точности полученных данных и анализ устойчивости результатов были проведены с использованием ГИС-системы QGIS и языка Python. Оценка качества полученных данных включала в себя как оценку точностей, так и пространственный анализ по агроэкологическим зонам (стратам) GAEZ – Global Agro-Ecological Zones [10], которые отражают разбиение на относительно однородные территории с точки зрения агропрактик. Для оценки точности волонтеров использованы метрики F1-score по классам «пашня» и

«не-пашня» и общая точности (Overall Accuracy). Было оценено распределение точностей внутри группы волонтеров и проведено ранжирование волонтеров по уровню точности. Для оценки стабильности результата волонтера были построены гистограммы распределения точности в зависимости от агрозоны. Было обнаружено, что общая точность распознавания класса «не-пашня» в среднем выше точности распознавания класса «пашня», а общая точность не опускается ниже 0.65. Средняя общая точность бинарной классификации объектов волонтерами составила 0.87 со стандартным отклонением 0.06.

Была проведена оценка пространственных тенденций точности волонтеров на территории всей Европейской части России с выявлением «простых» и «сложных» для интерпретации территорий на основе стратификации GAEZ. Построены картограммы по значениям метрик точности для оценки пространственных тенденций ошибок. Данный анализ позволил выявить зоны, где можно снизить вклад экспертов, не потеряв в качестве краудсорс-выборки. Точность распознавания «пашни» в среднем по стране ожидаемо ниже точности распознавания «не-пашни» (средние значения F1-score 0.85 и 0.88 соответственно). Примечательно высокое стандартное отклонение (0.22) для F1-score по классу «пашня» - это говорит о сильных различиях в точностях интерпретации пахотных земель от агрозоны к агрозоне. Также была проведена оценка устойчивости результатов в зависимости от размера выборки: построен график в форме кривой зависимости точности волонтеров от объема выборки с целью поиска компромисса между затратами на исследование и точностью.

Предложенные подходы к организации и контролю качества создания разметки с привлечением волонтеров можно использовать для получения достоверных и быстроформируемых опорных данных на большие территории, в частности, для создания распределенной выборки контролируемой точности для распознавания используемой пашни на территории РФ, в том числе, на «исторические» эпохи. Потенциальными преимуществами подхода является скорость обработки больших территорий, относительно низкие затраты на организацию и финансирование работ, возможность сократить количество экспертов до определённого минимума.

Работа выполнялась с использованием ресурсов ЦКП "ИКИ-Мониторинг" [8] при поддержке Минобрнауки (тема "Мониторинг госрегистрация № 122042500031-8).

Литература:

[1] Плотников Д.Е., De Abellegra D., Veron S.R., Zhang M., Толпин В.А., Барталев С.А., Lavreniuk M., Waldner F., Ziad A. Картографирование пахотных земель в различных регионах глобальной сети JESAM на основе спутниковых данных Landsat и полученной методом краудсорсинга опорной информации // "Информационные технологии в дистанционном зондировании Земли - RORSE 2018". ИКИ РАН, 2019. С. 177-184. DOI: doi.org/10.21046/rorse2018.177

[2] Ёлкина Е.С., Плотников Д.Е., Толпин В.А., Щербенко Е.В. Анализ результатов эксперимента по созданию опорных выборок на больших территориях с помощью краудсорсинга // Материалы 20-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2022. С. 353. DOI 10.21046/20DZZconf-2022a

[3] E. Saralioglu and O. Gungor, "Crowdsourcing in Remote Sensing: A Review of Applications and Future Directions," in IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, vol. 8, no. 4, pp. 89–110, Dec. 2020, doi: 10.1109/MGRS.2020.2975132

[4] See L, Comber A, Salk C, Fritz S, van der Velde M, Perger C, et al. (2013) Comparing the Quality of Crowdsourced Data Contributed by Expert and Non-Experts. PLoS ONE 8(7): e69958. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0069958>

[5] Waldner F., Schucknecht A., Lesiv M., Gallego J., See L., Pérez-Hoyos A., d'Andrimont R., de Maet T., Laso Bayas J.C., Fritz S., Leo O., Kerdiles H., Díez M., Van Tricht K., Gilliams

S., Shelestov A., Lavreniuk M., Simões M., Ferraz R., Bellón B., Bégué A., Hazeu, G., Stonacek V., Kolomaznik J., Misurec J., Veron S.R., De Abelleira D., Plotnikov D.E., Mingyong L., Singha M., Patil P., Zhang Y., Defourny, P. Conflation of expert and crowd reference data to validate global binary thematic maps // *Remote Sensing of Environment*. 2019. Vol. 221. P. 235–246. DOI: 10.1016/j.rse.2018.10.039

[6] Michael F. Goodchild, Linna Li, Assuring the quality of volunteered geographic information, *Spatial Statistics*, Volume 1, 2012, Pages 110-120, ISSN 2211-6753,

<https://doi.org/10.1016/j.spasta.2012.03.002>

[7] Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Бриль А.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Миклашевич Т.С., Плотников Д.Е., Радченко М.В., Стыщенко Ф.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Система "Vega-Science": особенности построения, основные возможности и опыт использования // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2021. Т. 18. № 6. С. 9-31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31

[8] Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2019. Т. 16. № 3. С. 151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170

[9] URL: sci-vega.ru

[10] URL: <https://gaez.fao.org/>

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СТАНДАРТНЫХ АЛГОРИТМОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ МУТНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА В ПРИУСТЬЕВОЙ ЗОНЕ Р. МЗЫМТА, ЧЕРНОГО МОРЯ

Жаданова П.Д.^{1,2}, Назирова К.Р.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Оценка применимости и эффективности стандартных алгоритмов восстановления физических параметров для определенных районов является важной задачей, ввиду того что разработка региональных алгоритмов представляется трудоемкой и достаточно сложной задачей. Было проведено сравнение различных стандартных алгоритмов в применении к району исследования: приустьевая зона р. Мзымта, впадающей в Черное море. В ходе работы были использованы изображения высокого пространственного разрешения, предоставляемые спутниками Landsat-8/9 и Sentinel-2, и данные, полученные в результате подспутниковых измерений *in-situ*.

Важным этапом обработки спутниковых данных является проведение атмосферной коррекции. В ходе проделанной работы были исследованы методы атмосферной коррекции, реализуемые в программном комплексе ACOLITE. В ACOLITE доступны два различных алгоритма атмосферной коррекции: экспоненциальная экстраполяция (EXP) и подгонка темного спектра (DSF). Оба алгоритма были оценены для исследуемого региона. Было получено, что метод DSF лучше подходит для исследования прибрежных вод, так как учитывает различные модели аэрозоля приземного слоя морской и прибрежной атмосферы. Также было изучено влияние учета коррекции солнечных бликов на изучаемой территории.

Для восстановления значений мутности и концентрации взвешенного вещества были использованы методы, предложенные Nechad (Nechad 2009 и 2015) и Dogliotti (Dogliotti 2015). В ходе сравнения с результатами квазисинхронных натуральных измерений было установлено, что алгоритм Nechad (2015) лучше описывает прибрежные воды при диапазонах мутности меньше 50 FNU. Метод Dogliotti, созданный для средне и сильно замутненных вод, показал слабую корреляцию с измерениями *in-situ*, значительно завышая значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 23-27-00124.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ГРАНИЦ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ЯМАЛО-НЕНЕЦКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ

Ильясов Р.М.

ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики»

Береговая зона один из динамично развивающихся элементов ландшафта. И в текущее время, с изменением климата, повышением уровня мирового океана и увеличением разрушительной способности водных объектов, необходимость изучения динамики изменений береговых зон увеличивается. В этих целях в ГАУ ЯНАО «Научный центр изучения Арктики» проводится мониторинг береговых процессов. Мониторинг представляет собой систему наблюдений за водными объектами с целью оценки их влияния на хозяйственную жизнедеятельность региона. Мониторинг проводится как в населённых пунктах, так и за их пределами на участках, связанных с важными инженерными сооружениями. В орбиту интереса попадают наиболее динамично изменяющиеся объекты, а это более 25 исследуемых участка. Большие расстояния между участками исследования и ограниченность во времени актуализировали применение дистанционных методов исследования. В этой связи, доклад освещает опыт применения методов ДЗЗ в обследовании границ водных объектов на территории Ямало-Ненецкого автономного округа.

ОСОБЕННОСТИ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ СОРОВЫХ ПониЖЕНИЙ В ЗОНЕ ПОЛУПУСТЫНИ

Мелихова А.В.

ФНЦ агроэкологии РАН

В работе описаны результаты картографирования и анализа пространственного размещения сорových понижений как одного из ключевых факторов оценки опустынивания Астраханского Заволжья. В докладе представлены: составленные по результатам дешифрирования материалов ДЗЗ (Landsat) схемы пространственного распределения сорových понижений для исследуемой территории; материалы экспедиционных выездов в Красноярском районе.

Литература:

[1] Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Пространственное распределение сорových понижений на юге европейской России по данным дистанционного зондирования // Научно-агрономический журнал. 2022. № 4(119). С. 6-11. DOI 10.34736/FNC.2022.119.4.001.06-11. EDN UXOTSB.

[2] Кравченко А. С., Юферев В. Г., Шинкаренко Геоинформационный анализ ландшафтов астраханского Заволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4(48). С. 154-163. EDN SIUVGL.

[3] Пищулов С.А. Соры как форма аридного рельефа. Геоморфология, 2013б. № 3. С. 89-96. DOI: 10.15356/0435-4281-2013-3.

[4] Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Дорошенко В. В. Спутниковый мониторинг процессов опустынивания на юге Европейской России в 2019-2022 гг // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 319-327. DOI 10.21046/2070-7401-2022-19-5-319-327. EDN ZBPBWU.

ПОСТРОЕНИЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ФЕНОЛОГИЧЕСКИ ОДНОРОДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ NDVI

Миклашевич Т.С., Барталев С.А., Егоров В.А.

Институт космических исследований РАН

Одной из проблем глобального мониторинга состояния растительного покрова является высокая вариативность фенологических фаз развития растения в различных географических и климатических условиях. Широко используемые фенологические характеристики, такие как начало роста, максимум вегетации, длина вегетационного сезона и т.д., зависят от типа подстилающей поверхности, температурного режима, объема атмосферных осадков и прочих факторов. При этом даты наступления фенологических фаз, как и характерные для них значения исследуемых метрик для одного типа растительности в разных регионах могут сильно отличаться. В работе приведен метод совмещения межгодовых и территориальных вариаций фенологических фаз развития растений, основанный на анализе временной динамики нормализованного вегетационного индекса NDVI.

В качестве исходных данных используются ежедневные восстановленные бесснежные композитные изображения AQUA/TERRA MODIS с пространственным разрешением 230м. Метод основан на определении максимума вегетации и определении фазы интенсивного роста и падения NDVI. Так как на определение дат начала роста и конца вегетационного сезона влияет облачность и даты схода и выпадения снежного покрова, их часто можно спутать с началом и окончанием наблюдения в календарном году. Поэтому формирование фенологических композитных изображений основывается на анализе скорости накопления NDVI в диапазоне от максимума вегетации до фазы интенсивного роста (увядания) растения, и не зависит от длины вегетационного сезона и периода наблюдения. Так же используется информация о вариации значений весенних и осенних максимумов NDVI за период наблюдения с 2000 по 2022гг. В результате формируется набор разновременных фенологических композитных изображений в красном, ближнем инфракрасном и среднем коротковолновом спектральных диапазонах.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения "Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6). Обработка данных проводилась с использованием ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2019).

Литература:

1. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С.151-170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.

МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ПОКРЫТЫХ ЛЕСОМ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Сайгин И.А., Стыценко Ф.В.

Институт космических исследований РАН

Активное развитие в последние годы получают методы автоматизированной обработки данных высокого пространственного разрешения (10-30м), что в перспективе может значительно повысить пространственную детальность результатов картографирования растительного покрова на национальном уровне. Ранее были получены композитные изображения, полученные в летний и зимний периоды 2020г. для всей территории России с пространственным разрешением 30м, основанные на данных Sentinel-2, которые имеют существенные преимущества, выраженные, прежде всего в значительном улучшении пространственной детальности по сравнению с данными среднего пространственного разрешения (Барталев и др., 2022).

В рамках работы был предложен метод картографирования покрытых лесом территорий на основе данных ДЗЗ высокого пространственного разрешения. Метод картографирования включает в себя классификацию опорной выборки с применением алгоритма LAGMA (Барталев и др., 2016). В качестве опорной выборки, использовалась ранее полученная выборка для построения карты наземных экосистем с пространственным разрешением 230 м по данным MODIS (Барталев и др., 2016, Стыценко и др., 2021). Для формирования карты также использовались сторонние продукты: карта изменений в лесах на основе продукта Global Forest Change (Hansen et al, 2013), карта пахотных земель (Плотников и др., 2018) и карта городской инфраструктуры на основе карты GlobeLand30 (Chen Jun, 2015).

Была построена карта покрытых лесом территорий за 2020 год. Сравнение с маской лесных классов, полученной на основе карты наземных экосистем за 2020 г по данным MODIS, демонстрирует более детальное выделение лесных территорий, в частности значительное повышение точности выделения границ, а также возможность выявления относительно небольших участков леса, занимающих незначительные доли в рамках пиксела с разрешением 230м. К недостаткам полученных результатов можно отнести ошибки, возникающие на территориях с непродолжительным периодом наличия снежного покрова или его полным отсутствием, что требует дальнейшего развития методики получения зимних композитных изображений, либо отдельного выявления таких территорий с последующим применением специализированной методики картографирования покрытых лесом территорий.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт космических исследований Российской академии наук (Регистрационный номер 122100700008-5) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ. Исследования проводились с использованием инфраструктуры хранения и обработки спутниковых данных Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2015).

Литература:

- [1] Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. – М.: ИКИ РАН, 2016. – 208 с.
- [2] Барталев С.А., Ворушилов И.И., Егоров В.А. Построение и радиометрическая нормализация безоблачных композитных спутниковых изображений покрытой снегом земной поверхности для мониторинга лесов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 2. С. 57-69.
- [3] Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.
- [4] Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Лупян Е.А., Барталев С.А. Автоматическое распознавание используемых пахотных земель на основе сезонных временных серий восстановленных изображений Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. С. 112–127.
- [5] Стыценко Ф.В., Сайгин И.А., Барталев С.А. Создание временной серии карт растительности, на основе динамической актуализации обучающей выборки // Материалы Девятнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 15-19 ноября 2021. ИКИ РАН, 2021.
- [6] Chen Jun, Chen Jin, Liao A., Cao X., Chen L., Chen X., He C., Han G., Peng S., Lu M., Zhang W., Tong X., Mills J. (2015) Global land cover mapping at 30 m resolution: A POK-based operational approach // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2015. Vol. 103. pp. 7–27
- [7] Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change // Science. – 2013. – Vol. 342. No. 6160. P. 850–853.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ В ГИДРОЛОГИИ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТОВ АЛЬТИМЕТРИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВОДЫ ДЛЯ УЧАСТКОВ ШИРОКОПОЙМЕННЫХ РЕК

Семенова Н.К.^{1,2,3}, Захарова Е.А.^{1,4}, Крыленко И.Н.^{1,2}, Сазонов А.А.^{1,2}

¹ ИВП РАН

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

³ Гидрометцентр России

⁴ EOIA, Toulouse, France

Применение спутниковой альтиметрии для мониторинга водного режима внутренних вод суши (озер и рек) активно развивается на протяжении последних 10 лет в связи с подготовкой гидрологического спутника SWOT (Surface Water and Ocean Topography) запущенного в ноябре 2022 г. Альтиметрические спутниковые измерения на реках сложны из-за неоднородности физических характеристик и топографии отражающей поверхности в футпринте радара. Тем не менее, в условиях ограниченного наличия данных о топографии поймы, батиметрии и уровнях наблюдений на многих участках арктических рек, спутниковые альтиметрические измерения могут служить для верификации или калибровки гидродинамических моделей. В данном исследовании результаты моделирования уровней воды с помощью одномерной гидродинамической модели, адаптированной для 163 км участка нижнего течения р. Колымы были верифицированы по данным альтиметрических спутников Sentinel-3А и -3В. Несмотря на использование в качестве граничных условий гидродинамической модели расходов воды с вышележащих постов, пересчитанных с учетом увеличения площади водосбора и добегаания, модель хорошо воспроизвела сезонную и межгодовую изменчивость на всем модельном участке. Связь модельных и спутниковых уровней воды варьировала от 0.8 до 0.91. Однако среднеквадратичное отклонение было достаточно высоким 0.77 - 2.75 м (или 13 – 62% от сезонной амплитуды уровня). Одной из причин высоких отклонений мы считаем упрощенный статистический метод фильтрации выбросов спутниковых измерений. В связи с этим встал вопрос разработки более продвинутого метода, основанного на машинном обучении.

Альтиметрические уровни воды рассчитывались по данным измерений спутников Sentinel-3А и -3В на 19 виртуальных станциях. Набор геофизических коррекций, поставляемых в стандартном продукте "SR_l-]2_LAN" и адаптированных для задач гидрологии суши был применен к высотам, полученным ретрекером SAMOSA. Коррекции были интерполированы к координатам 20 Hz измерений радара, точная выборка последних над речным руслом проводилась с использованием снимков Ландсат-8.

Для фильтрации полученных альтиметрических уровней воды был разработан ансамблевый метод определения выбросов, основанный на комбинации нескольких классических статистических методов (правило 3σ и расстояние Махаланобиса) и методов кластеризации. В качестве методов кластеризации были рассмотрены алгоритмы машинного обучения: изолированный лес (Isolation Forest), DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering

of Applications with Noise) и LOF (local outlier factor). Алгоритм был разработан на однорукавном моделируемом участке р.Колымы, где удалось улучшить точность расчетов спутникового уровня на 8%. В настоящее время алгоритм тестируется на р. Оби (уасток г. Сургут) для оценки его эффективности в условиях широкопойменных и многорукавных участков рек.

Финансирование. Работа поддержана грантом РФФ 22-27-00633 "Исследование уровня режима рек методами спутниковой альтиметрии и гидродинамического моделирования".

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАНЕТ



ЗЕМЛЕПОДОБНЫЕ МОДЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ВЕНЕРЫ

Amorim D.O.¹, Гудкова Т.В.²

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² ИФЗ РАН

Исследование внутреннего строения Венеры является важной задачей, так как условия в недрах этой планеты тесно связаны с её эволюцией, и её изучение может объяснить ряд особенностей Венеры. Например, известно, что у Венеры нет собственного магнитного поля, и это говорит о том, что её ядро должно заметно отличаться от земного ядра.

Единственные измеренные геофизические параметры Венеры – это момент инерции [1] и приливное число Лява k_2 [2]. Они пока измерены с невысокой точностью. С целью уточнения значений этих параметров и измерения других, разрабатываются миссии по исследованию Венеры: проект Роскосмоса – Венера-Д, проект Европейского космического агентства – EnVision и проект НАСА – VERITAS.

На основе модели Земли PREM [3] в данной работе построены десятки моделей внутреннего строения Венеры, отличающиеся радиусом и плотностью ядра, и плотностью мантии. Для всех моделей вычислен момент инерции. Сравнение модельных значений момента инерции с измеренным 0.337 ± 0.024 [1] позволяет заключить, что наиболее вероятны модели с радиусом ядра в интервале от 3000 до 3300 км.

При расчёте числа Лява k_2 неупругость в недрах учитывается с помощью реологии Андраде [4,5]. Она зависит от частоты приливного воздействия χ и от вязкости среды η и задаёт закон преобразования упругого модуля сдвига μ в комплексную величину. Вязкость в недрах Венеры неизвестна, поэтому для неё построены пробные распределения вязкости на основе современных моделей Земли.

Реология Андраде также зависит от двух эмпирических параметров – α и ζ которые неизвестны для вещества мантии Венеры. Для “калибровки” реологического уравнения, мы вычислили приливные числа Лява k_2 , h_2 , l_2 и k_3 , приливной сдвиг фазы ε и добротность Q Земли при $\alpha \in (0.05, 0.4)$, $\zeta \in (0.01, 100000)$ и при различных профилях вязкости (η), затем сравнили полученные значения с наблюдаемыми [6,7]. Получено, что одновременно удовлетворить всем условиям по k_2 , h_2 , l_2 , k_3 и ε возможно только при $\zeta > 10$ и при $\alpha \sim 0.15$. Это согласуется с результатами различных исследований частотной зависимости добротности Земли [8].

Для всех моделей Венеры вычислены числа Лява и ряд других геофизических величин. Сравнение модельных значений с измеренными позволяет заключить, что модели с маленьким ядром (радиус < 3000 км) маловероятны. Измерение приливного сдвига фазы необходимо для уточнения вязкости в недрах Венеры, что в свою очередь поможет определить размер ядра с хорошей точностью.

Список литературы:

[1] Margot, Jean-Luc, et al. "Spin state and moment of inertia of Venus." *Nature Astronomy* 5.7 (2021): 676-683.

[2] Konopliv, A. S., and C. F. Yoder. "Venusian k_2 tidal Love number from Magellan and PVO tracking data." *Geophysical research letters* 23.14 (1996): 1857-1860.

[3] Dziewonski, Adam M., and Don L. Anderson. "Preliminary reference Earth model." *Physics of the earth and planetary interiors* 25.4 (1981): 297-356.

[4] Castillo-Rogez, Julie C., Michael Efroimsky, and Valéry Lainey. "The tidal history of Iapetus: Spin dynamics in the light of a refined dissipation model." *Journal of Geophysical Research: Planets* 116.E9 (2011)

[5] Efroimsky, Michael. "Tidal dissipation compared to seismic dissipation: In small bodies, Earths, and super-Earths." *The Astrophysical Journal* 746.2 (2012): 150.

[6] Ray, Richard D., Richard J. Eanes, and Frank G. Lemoine. "Constraints on energy dissipation in the Earth's body tide from satellite tracking and altimetry." *Geophysical Journal International* 144.2 (2001): 471-480.

[7] Rutkowska, Milena, and Marcin Jagoda. "Estimation of the elastic Earth parameters using the SLR LAGEOS 1 and LAGEOS 2 data." *Acta Geophysica* 58 (2010): 705-716.

[8] Smith, Martin L., and F. A. Dahlen. "The period and Q of the Chandler wobble." *Geophysical Journal International* 64.1 (1981): 223-281.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИНАМИКА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ

Abdelaal M.E.^{1,2}, Dokuchaev I.V.², Lyash A.N.²,
Kuznetsov I.A.², Kartasheva A.A.², Dolnikov G.G.²,
Dubov A.E.², Zakharov A.V.²

¹ *Moscow Institute of Physics and Technology*

² *Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences*

Заряженные пылевые частицы, постоянно присутствующие в атмосфере Марса, могут быть источниками электромагнитных излучений. Природа этих излучений связана с электрическими разрядами, которые могут генерироваться в результате трибоэлектрического эффекта у поверхности при сальтации пылевых частиц и их ионизации в атмосфере. Наиболее активно такие процессы происходят при динамике пылевых частиц в периоды пыльных бурь и в областях пылевых вихрей (Farrell and Desch 2001; Krauss et al. 2006; Zhai et al. 2006). Электрические разряды (пробой) между пылевыми частицами возникают в среде, когда электростатическое поле достаточно велико и соответствует минимуму кривой Пашена [Budenstein, 1980; Farrell et al., 2003]. Частота таких излучений может составлять от десятков и сотен Гц до нескольких мГц. После генерации такие излучения слабо затухают и могут распространяться на очень большие расстояния, внутри «волновода», состоящего из поверхности планеты и ионосферы. Свойства такого «волновода», например, электропроводность поверхности и атмосферы, влияют на параметры её распространения. Электромагнитные излучения на таких низких частотах могут проникать глубоко в среду, так как глубина их скин-слоя довольно велика по сравнению с волнами высоких диапазонов частот. В работах Mills 1977 и Derooy 2010 были высказаны предложения о необходимости регистрации электромагнитных излучений и измерений электрических полей у поверхности Марса с целью исследований природы и условий возникновения атмосферного электричества.

Регистрация и анализ низкочастотных электромагнитных излучений на Марсе планировалась датчиком ЭМА (Электро-Магнитный Анализатор) в диапазоне частот от 0,125 до 1,425 МГц в рамках эксперимента «Пылевой Комплекс» на посадочной платформе проекта «ЭкзоМарс». В настоящее время, используя датчик ЭМА, проводятся лабораторные работы, имитирующие физические процессы, генерации электромагнитных излучений, происходящих на Марсе. Показаны примеры записи сигналов, полученных датчиком ЭМА при воздействии внешнего шумового электростатического разряда.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ В ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЕ ЭКЗОПЛАНЕТЫ GJ 3470B

Автаева А., Шематович В.

Институт Астрономии РАН

Горячий Нептун GJ3470b был открыт в 2012 году (Bonfils и др., 2012), он обращается вокруг красного карлика класса M – GJ 3470 на расстоянии 0,0348 а.е. GJ 3470b располагается на границе суб-нептунов. Близость к родительской звезде этого горячего суб-нептуна дает возможность исследовать, как маломассивные экзопланеты на близких орбитах эволюционируют под воздействием излучения родительских звезд. В одном из первых исследований на HST было обнаружено, что горячий суб-нептун GJ 3470b должен характеризоваться одним из самых больших темпов потери атмосферы из-за малой массы, близкой орбиты и относительно высокой активности родительской звезды GJ 3470 (Bourrier и др., 2018).

Первые наблюдения (Bourrier и др., 2018) прохождения по диску родительской звезды экзопланеты GJ 3470b позволили сделать вывод о наличии протяженной верхней атмосферы из нейтрального водорода вокруг GJ 3470b. В целом подобно горячему нептуну GJ 436b, экзопланета GJ 3470b оказывается горячей экзопланетой с большой водородной оболочкой, простирающейся далеко за пределы полости Роша. Существующие модели верхней атмосферы планеты GJ 3470b предсказывают значительный отток атмосферного вещества.

Нетепловой поток убегающего в направлении планета-звезда равен $3,4 \times 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ для среднего уровня звездной активности. Это значение близко к скорости убегающего, рассчитанной по формуле Джинса - $3,3 \times 10^{13} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$ для тепловых атомов водорода.

Усреднённый расчетный поток по освещенной полусфере верхней атмосферы, дает верхнюю оценку скорости нетепловой потери, равную $9.5 \times 10^9 \text{ г/с}$, что сравнима со скоростью тепловой потери массы атмосферы, рассчитанной в аэрономических моделях (до $\sim 10^{10} \text{ г/с}$ пример: Shaikhislamov и др., 2021).

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 22-22-00909.

Список литературы:

- [1] X. Bonfils, M. Gillon, S. Udry, et al. 2012, A&A, 546, A27
- [2] V. Bourrier, A. L. Des Etangs, D. Ehrenreich, J. Sanz-Forcada, et al, Astronomy & Astrophysics, 620, A147. (2018)
- [3] I. F. Shaikhislamov, M. L. Khodachenko, H. Lammer, A. G. Berezutsky, et al, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 500, 1, 1404-1413 (2021)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ АНАЛОГА ЛУННОГО ГРУНТА VI-75 ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Агапкин И.А., Уварова А.В.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

Введение. Современные исследования Луны направлены в том числе на изучение полярных областей. В данных районах, может присутствовать лед и, согласно различным оценкам, его содержание может достигать 4% по массе (Гришакина Е.А., Слюта Е.Н., 2021). Он очень сильно влияет на механические свойства грунтов (Роман, 2003) и может повышать прочностные свойства в несколько раз. Данным фактом не следует пренебрегать при миссиях, целью которых является бурение и забор грунта, а также его зондирование. В связи с этим, исследование направлено на изучение лунного грунта-аналога с разной влажностью при отрицательных температурах. В качестве грунта-аналога использовали ранее разработанный лабораторией Геохимии Луны и планет лунный грунт-аналог VI-75 (Slyuta et al., 2021), который имитирует физические и механические свойства поверхностного лунного реголита.

Методы исследования. Основными прочностными свойствами в механике грунтов являются угол внутреннего трения и удельное сцепление. Первый параметр характеризует отношение нормальных и касательных сил, необходимых для разрушения образца, второй же показывает сопротивление касательным силам, без воздействия нормальных сил. Данные характеристики определяли одноплоскостным срезом.

Опыты проводили при трех значениях вертикальной нагрузки, минимальное напряжение приняли 50 кПа, так как оно близко к бытовому давлению грунтов плотного сложения на глубине 60 см и далее. Последующие стадии нагружения выбраны как удвоенные значения предыдущей ступени. Смесь VI-75 замешивали равномерно с необходимым количеством воды, до достижения одинаковой влажности внутри образца. Значения влажности задавали 5% и 10% по массе. Полученную смесь помещали в цилиндрические кольца высотой 35 мм и диаметром 71 мм, это специальные формы для подготовки образцов к испытаниям на срез, и уплотняли до $\rho = 1,75$ г/см³. Кольца заблаговременно смазывали вазелином, чтобы замерзшие образцы было проще продавливать в установку для испытаний. Подготовленные образцы помещали в ящик, сделанный из изоляционного материала. В отдельную емкость заливали жидкий азот для быстрой заморозки образцов. Они замерзали до минимально возможной температуры - 110-120°C в течение двух часов. Отсутствие морозильных камер способных вместить прибор для одноплоскостного среза, обусловило проведение экспериментов при температуре +13°C. Подобные условия непременно привели к повышению температуры образцов, поэтому дополнительно измерялась скорость оттаивания образцов.

Результаты. Измерение скорости оттаивания показало значительный рост температуры с -120°C до -50°C за 5 минут, дальше скорость снижается. Сопоставление результатов среза с графиком скорости оттаивания демонстрирует, что пиковое значение касательной нагрузки достигается на 5 минуте опыта, температура образцов при этом от -45°C до -55°C. Касательное напряжение также изменяется от 1,26 до 1,42 МПа. Образцы с большим разбросом значений касательного напряжения и выходящие за пределы статистической погрешности выбрасывались из общей выборки. Таким образом, за счет большого количества опытов можно полагать, что все выбранные испытания были на образцах с температурой

около $-45-55^{\circ}\text{C}$ на момент разрушения. Испытания одноплоскостным срезом образцов с влажностью 5% показали, что угол внутреннего трения равен $66,8 \pm 0,9^{\circ}$ и удельное сцепление $163,9 \pm 28,4$ кПа. Данные характеристики возросли до значений $\phi = 74,9 \pm 0,67^{\circ}$ и $c = 486,2 \pm 72,9$ кПа с увеличением суммарной весовой влажности до 10%.

Выводы. Проведенные опыты одноплоскостным срезом на мерзлом VI-75 с влажностью 5% и 10% при температуре $-45-55^{\circ}\text{C}$, а также его сопоставление результатов с сухим образцом, показали, что угол внутреннего трения заметно увеличивается: до $66,8^{\circ}$ ($W=5\%$) и $74,9^{\circ}$ ($W=10\%$). Удельное сцепление также увеличивается до 163,9 кПа ($W=5\%$) и достигает 486,2 кПа ($W=10\%$). Таким образом, наличие льда в лунном реголите может существенно увеличить его прочностные характеристики. Дальнейшие исследования будут направлены на способы проведения испытаний при постоянной температуре образцов, а также определение других механических характеристик.

ОБРАБОТКА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ МИССИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАРСА

Батов А.В.^{1,2}, Сальников А.М.^{1,2}

¹ *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

² *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН*

На Марсе, в отличие от Земли, нет глобального магнитного поля, однако наблюдается остаточная намагниченность, в некоторых местах достигающая нескольких тысяч нТл. Измеренные значения магнитного потенциала в месте посадки миссии InSight оказались существенно больше предсказанных модельных значений (Johnson et al., 2020). Последняя современная модель магнитного поля Марса (Langlais et al., 2019) использует данные магнитометров спутниковых миссий MGS и MAVEN. В данной работе используются спутниковые данные магнитометра миссии MAVEN за период с 10.10.2014 по 15.11.2022, что составляет чуть менее 3 тысяч дней и чуть больше, чем 255 миллионов измерений (при дискретизации 1 измерение/секунду). Проводится анализ данных спутниковых измерений, введены несколько критериев выбора и использования данных для дальнейшего построения модели магнитного поля. Для формирования сеток выборок используются как регулярные сетки, так и равноплощадные сетки SREAG (Spherical Rectangular Equal-Area Grid) (Malkin et al., 2019). Построение модели магнитного поля планеты производится с помощью модифицированного метода S-аппроксимаций (см. работы В.Н. Страхова, И.Э. Степановой).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда No 23-27-00392, <https://rscf.ru/project/23-27-00392/>

АПРОБАЦИЯ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПЛАНЕТАРНОЙ ГЕОФИЗИКИ

Боронин И.А.^{1,2}, Гудкова Т.В.¹

¹ *ФГБУН институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

² *Научно-исследовательский институт экономики и организации управления в газовой промышленности*

В последнее время все чаще для уточнения внутреннего строения планет и спутников используют методы решения нелинейных обратных задач. Это связано с тем, что данные, полученные из наблюдений, имеют некоторую погрешность измерений, что может привести к не оптимальному решению прямой задачи, а иногда просто невозможно получить достоверные начальные данные для прямой задачи.

Вероятностный подход к решению обратных задач позволяет наилучшим образом отразить соответствие параметров модели, как имеющейся исходной информации, так и данным наблюдения.

Предлагается использовать метод Монте-Карло для решения обратных задач, который заключается в том, что: задача, решается множество раз, затем, на основе полученных решений, вычисляются вероятностные характеристики параметров.

Также предлагается использовать байесовский подход к статистике, который описывает модельное пространство, априорную информацию (исходная или начальная информация) и апостериорную информацию (информация, сочетающая в себе априорную и данные реальных измерений системы). Апостериорная информация получается с помощью построения функции правдоподобия, которая количественно отражает степень соответствия данных, полученных из измерений реальной системы с априорной информацией.

Для апробации метода Монте-Карло рассматривается модельная задача, приведенная в статье [1].

Для реализации метода Монте-Карло описывается алгоритм семплирования модельного пространства – метод случайных блужданий. Модельное пространство представляется в виде графа, где вершины – это модели, а ребра – это возможные шаги случайного блуждания. Затем, описывается процесс случайного блуждания для построения априорных вероятностных характеристик и модификация случайного блуждания, с применением функции правдоподобия и правила Метрополиса для построения апостериорных вероятностных характеристик.

Программа реализована на языке C++ и проведено сравнение с результатами работы [1]. Результаты работы программы хорошо согласуются с результатами, полученными в статье.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-22-00074, <https://rscf.ru/project/23-22-00074>.

Литература:

[1] Mosegaard K., Tarantola A. Monte Carlo sampling of solutions to inverse problems // J. Geophys. Res. 1995. V.100. N B7. P.12431-12447.

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ВОДЫ И ХЛОРА В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ РАЙОНАХ КРАТЕРА ГЕЙЛ НА МАРСЕ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ДАН

Дьячкова М.В., Никифоров С.Ю., Лисов Д.И.,
Митрофанов И.Г., Литвак М.Л.

Институт космических исследований РАН

В данном исследовании было изучено содержание воды и хлора, а также других элементов, поглощающих нейтроны, в подповерхностном слое грунта кратера Гейл на основе измерений с помощью прибора Динамическое Альбедро Нейтронов (ДАН) на борту марсохода НАСА "Кьюриосити".

Были рассмотрены результаты активных и пассивных измерений, выполненных с 2012 по 2021 г. Содержания воды и хлора наряду с другими поглотителями нейтронов изучалось отдельно для различных геологических регионов вдоль траверса марсохода, соответствующих стратиграфической колонке, разработанной научной командой "Кьюриосити".

Для каждого региона представлены средние значения и особенности распределений значений содержания воды и хлора. Содержание воды повышается вдоль движения марсохода по траверсу и имеет наиболее высокие значения в формации Carolyn Shoemaker. Большая часть геологических регионов (например, формации Bradbury, Sheepbed, Pahrump Hills и другие) имеют средние значения воды от 2 до 3 мас.%, в то время как регионы во второй части траверса (Jura, Knockfarrill Hill, Glasgow) имеют средние значения содержания воды выше 3 мас.%. Средние значения хлора не имеют больших вариаций для всех исследованных геологических регионов и составляют около 1 мас.%.

КАРТИРОВАНИЕ НОЧНОГО СВЕЧЕНИЯ O₂ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ АППАРАТА SPICAM-IR

Жарикова М.С.^{1,2}, Федорова А.А.¹, Lefevre F.³,
Montmessin F.³, Кораблев О.И.¹, Lacombe G.³,
Bertaux J.-L.³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Аппарат SPICAM-IR находится на орбите Марса уже почти 20 лет и за это время смог собрать огромное количество данных. С 2011 года стало регулярно измеряться ночное свечение кислорода и были опубликованы первые полученные профили (Fedorova, A. et. al, 2012). Дневное свечение имеет сильную интенсивность, его легко наблюдать и результаты его картирования были опубликованы (Guslyakova, S. et. al, 2016). Ночное же свечение имеет намного меньшую интенсивность, однако более чем за 10 лет была накоплена большая, еще неопубликованная статистика. При очистке карт ночного свечения кислорода от остаточного дневного свечения мы столкнулись с проблемой дифференциации ночного свечения от дневного, так как наблюдения в обоих случаях производится на одной длине волны, но механизм образования возбужденного состояния кислорода, из которого вытекает и ночное, и дневное свечение, различен, а также из-за геометрии наблюдений в поле зрения прибора при ночных наблюдениях может попадать и дневная сторона. Для решения этого вопроса мы использовали несколько методов, такие как фильтрация данных по времени на основе вычисления уравнения восхода, вычисление линии терминатора и положения аппарата относительно нее.

Список литературы:

Guslyakova, S., Fedorova, A., Lefèvre, F., Korablev, O., Montmessin, F., Trokhimovskiy, A., & Bertaux, J. L. (2016). Long-term nadir observations of the O₂ dayglow by SPICAM IR. *Planetary and Space Science*, 122, 1-12.

Fedorova, A. A., Lefèvre, F., Guslyakova, S., Korablev, O., Bertaux, J. L., Montmessin, F., ... & Gondet, B. (2012). The O₂ nightglow in the martian atmosphere by SPICAM onboard of Mars-Express. *Icarus*, 219(2), 596-608.

КОРРЕКЦИЯ ТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ И МЕТОД ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ

Иванова А.Е.^{1,2}, Тавров А.В.¹, Bertaux J.-L.²,
Lallement R.³, Marcq E.²

¹ *Институт Космических Исследований РАН*

² *LATMOS/IPSL, Universite de Versailles Saint-Quentin*

³ *GEPI, Observatoire de Paris*

Метод лучевых скоростей основан на измерении доплеровских смещений звездных линий, вызванных движением звезды вокруг центра масс системы звезда-планета. В связи с тем, что спектры для измерений лучевых скоростей получают с Земли, линии, создаваемые земной атмосферой, также отображаются в спектре звезды, наряду со звездными линиями. Поглощение земной атмосферой или теллурическое поглощение неизбежно. Для того, чтобы избежать ошибок из рассмотрения исключаются области спектра с теллурическим поглощением и близких к ним. Из-за годового движения Земли, из рассмотрения исключаются области в ± 30 км/с вокруг теллурических линий. Проблема в том, что теллурические линии покрывают довольно широкий диапазон длин волн, особенно в диапазоне от 600 нм. Таким образом из рассмотрения исключаются довольно большие участки спектра, обычно с отличным соотношением сигнал-шум.

Поэтому важной задачей является коррекция спектров звезд от теллурического поглощения, поскольку это может повысить точность измерения лучевой скорости.

Был разработан метод коррекции теллурического поглощения в спектрах звезд, полученных наземными телескопами. Метод был опробован на данных в спектральном диапазоне 380 – 780 нанометров для звезды класса K2.5. Данный метод является универсальным и может быть применен для более широкого спектрального диапазона, в том числе для наземных спектрографов в инфракрасном диапазоне. После небольшой модификации он также может быть применен для более холодных звезд, к примеру красных карликов. Метод коррекции теллурического поглощения позволяет использовать участки спектров, которые ранее были недоступны для рассмотрения из-за зашумления Земной атмосферой. Это повышает точность измерений лучевой скорости родительской звезды, что в свою очередь позволяет находить планеты, возмущения от которых ранее не были заметны в данных, а также производить более точные измерения физических и орбитальных параметров уже открытых экзопланет.

В докладе также показано, что измеренное изменение лучевой скорости не всегда является знаком наличия планеты.

КОНЦЕПЦИЯ "ОТКРЫТЫЕ ДАННЫЕ" В ПЛАНЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Козлова Н.А., Слодарж Н.А.

Московский государственный университет геодезии и картографии

Открытые данные (от англ. Open data) — концепция, о том, что определённая информация должна быть свободно доступна всем пользователям для анализа, исследований и дальнейшей републикации без ограничений авторского права, патентов и других механизмов контроля (Открытые данные России: <https://Data.gov.ru>). Рациональность распространения планетных данных в качестве открытых обусловлена такими их особенностями, как:

- трудность получения (уникальность);
- высокая научная ценность;
- большой объем;
- сложность обработки.

Значительная часть планетных данных (в частности космические изображения небесных тел и ряд продуктов из обработки) уже является свободно доступной информацией (за некоторыми исключениями, что связано с приоритетом научных команд, обеспечивающих получение новых данных). Однако, далеко не каждый потенциальный потребитель этих данных может их свободно использовать. Это связано в большей степени со сложностями работы с такими данными. Каждая космическая миссия и прибор уникальны, имеют свои особенности формат и структуру данных, а также способы хранения. Неподготовленному человеку требуется тратить значительное время на поиск и подготовку данных к использованию. При этом, количество получаемых планетных данных непрерывно растет: например, космическим аппаратом LRO (Лунный орбитальный зонд, США) с 2009 г. по настоящий момент получено более 1 млн. «сырых» изображений поверхности Луны и создано множество производных продуктов, что составляет 700 Тб, и ежемесячно поступает 5-6 Тб новых данных. Такой массив информации просто не может быть полностью обработан и использован, не будь он свободно доступным.

В Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК накоплены пространственные данные о поверхности почти десятка небесных тел - помимо Луны, Марса и Меркурия, это еще Галилеевы спутники Юпитера и несколько спутников Сатурна (Энцелад, Гиперион и др.). Среди обработанных данных, помимо базовой координатной информации (опорные сети, ЦМР и ортомозаики), имеются каталоги кратеров (Луна, Меркурий) и каталоги борозд (Фобос). Все эти данные имеют пространственную привязку в соответствующих международных системах координат и свободно доступны через Геопортал планетных данных МИИГАиК, который накапливает данные с 2012 г. (Matveev et al., 2012) и постоянно развивается (Karachevtseva et al., 2019).

Несмотря на доступность и открытость информации, круг потребителей пространственных планетных данных достаточно узок, что, как сказано выше, связано со сложной структурой исходных данных. В связи с этим, помимо Геопортала, планетные данные вскоре будут доступны через создаваемый в МИИГАиК новый ресурс «Открытые данные», что облегчит использование планетной информации за счет стандартизированного упрощенного описания и доступа. Это позволит применять данные широкому кругу пользователей, как для научных исследований, так и в образовательных программах и для популяризации космических исследований.

Таким образом, полнота использования такой сложной и ценной информации как планетные данные является важной задачей, для решения которой требуются современные подходы, как для хранения и обработки, так и для организации доступа к результатам космических исследований Солнечной системы на новом технологическом уровне.

Работа выполняется в рамках поддержки МИИГАИК по Программе "Приоритет 2030".

Литература:

[1] Открытые данные России: <https://Data.gov.ru>.

[2] Matveev E., Karachevtseva I., Oberst J. Development Geoportal for access to Phobos data and scientific analyses. // The 3-rd Moscow Solar System Symposium, Space research institute, Moscow, 8-12 October, 2012.

<http://ms2012.cosmos.ru/sites/ms2012.cosmos.ru/files/3m-s3-abstracts.pdf>

[3] Karachevtseva I.P., Garov A.S., Zubarev A.E., Matveev E.V., Kokhanov A.A., Zharkova A.Yu. Geoportal of planetary data: Concept, methods and implementations // In: «Planetary Remote Sensing and Mapping» Book, 1st Edition, Editors: Bo Wu, Kaichang Di, Jürgen Oberst, Irina Karachevtseva, CRC Press, 2019, 332 pp., ISBN 9781138584150 — CAT# K3769. <https://doi.org/10.1201/9780429505997>.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ МАРСА ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Кулик Е.А.

*НИУ Московский физико-технический институт
Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта*

Одна из целей построения модели внутреннего строения Марса носит космогонический характер: можно ли построить модель Марса, чтобы выполнялась фундаментальная гипотеза о хондритовом составе планет земной группы.

Измеряемые геодезические параметры накладывают ограничения на модели внутреннего строения Марса. Это момент инерции и число Лява k_2 .

Модели внутреннего строения Марса построены по методу, описанному в [1], и основаны на минералогической модели Wanke-Dreibus [2]. В указанных моделях мы используем приближение постоянной плотности коры и ядра.

Используя данные о минералогическом составе мантии Марса из [3] и [4], мы находим зависимость плотности мантии от давления. Далее, из решения уравнения гидростатического равновесия строим зависимость давления от глубины. Мы находим радиус ядра из требования удовлетворить наблюдаемому значению массы Марса. Для моделей рассчитываем скорости сейсмических волн в недрах Марса, применяя формулы теории конечных деформаций третьего порядка и данные об упругих свойствах минералов мантии из [4], и строим их распределение в зависимости от глубины и давления. По полученным данным находим момент инерции Марса и число Лява k_2 . Для расчета числа Лява k_2 используются система дифференциальных уравнений из [5].

Используя наблюдаемые значения геодезических параметров, мы отбираем те модели, которые удовлетворяют им. Наблюдаемые упругие значения $k_2 = 0.163-0.170$ (соответствующие им неупругие значения $k_2 = 0.168-0.175$) взяты из [6].

Работа выполнена в рамках госзадания ИФЗ РАН.

Список литературы:

[1] Zharkov V.N., Gudkova T.V. Construction of Martian interior model // Solar Syst. Res. 2005. V. 39. P. 343-373.

[2] Dreibus G., Wanke H. Mars, a volatile-rich planet // Meteoritics. 1985. V. 20. P. 367-381

[3] Bertka C.M., Fei Y. Mineralogy of the Martian interior up to core-mantle boundary pressures // J. Geophys. Res. 1997. V. 102. N 3. P. 5251-5264.

[4] Bertka C.M., Fei Y. Density profile of an SNC model Martian interior and the moment-of-inertia factor of Mars // Earth and Planet. Sci. Lett. 1998. V. 157. P. 79-88.

[5] Alterman Z., Jarosch H., Pekeris C.L. Oscillations of the Earth // Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences. 1959. V. 252 (1268). P. 80-95.

[6] Konopliv A.S., Park R.S., Rivoldini A., Baland R.-M., Le Maistre S., Van Hoolst T. et al. Detection of the Chandler wobble of Mars from orbiting spacecraft // Geophysical Research Letters. 2020. V. 47. I. 21, e2020GL090568.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ОТРАЖЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ ШАПОК МАРСА МЕТОДАМИ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

Ломакин А.А.^{1,2}, Федорова А.А.¹, Кораблев О.И.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

Лед и снег в ближнем ИК-диапазоне на Марсе наблюдались множеством миссий (OMEGA/MEX, CRISM/MRO, SPICAM-IR/MEX). Спектр льда в инфракрасном диапазоне зависит от множества параметров: размер зерна, процент смеси с пылью и/или другим льдом. Использование модели, которая точно воспроизводит спектр льда в зависимости от исходных параметров, является необходимым условием для корректного восстановления их из наблюдаемых спектров. Так как снег является ансамблем частиц от микронных до миллиметровых размеров, то для его моделирования чаще всего используется рассеяние Ми. Однако, для получения спектра отражения снега недостаточно знать параметры однократного рассеяния частиц. Для этого используются модели многократного рассеяния: одной из самых быстрых и точных является двухпотоковая модель в приближении дельта-Эддингтона. Однако, существует модель, которая, при выборе правильных параметров, почти численно точная – многопотоковое (>16) моделирование учитывающее многократное рассеяние. Ранее такие модели использовались только для моделирования снега и льда на Земных поверхностях. В этом докладе мы представим метод получения спектров снега и льда и результаты работы алгоритма в Марсианских условиях с применением DISORT v4.1. Также представим результаты использования этого алгоритма для коррекции многократного аэрозольного рассеяния в атмосфере Марса и восстановления "истинного" альbedo полярных шапок.

РЕЗУЛЬТАТЫ СЪЕМКИ ПОВЕРХНОСТИ ГАНИМЕДА ПО ДАННЫМ МИССИИ "ЮНОНА"

Мельникова М.А., Нерусин В.А.

Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий

В сентябре 20223 года под руководством Европейского космического агентства к системе Юпитера стартует миссия «JUperICy moons Explorer» (JUICE). За все время исследования системы Юпитера было запущено множество миссий (Галилео, Вояджер-1, Вояджер-2 и Юнона), в этот раз основными объектами исследования станут спутники Юпитера – Ганимед, Европа и Каллисто, и соответственно около трети полетной программы космического аппарата (КА) «JUICE» будет направлено на изучение самого крупного спутника в Солнечной системе – Ганимеда. Снимки его поверхности уже неоднократно передавались на Землю, однако до сих пор остаются участки, про которые мы знаем крайне мало – причиной тому низкое разрешение снимков или плохие условия освещения в момент пролета.

КА "Юнона" в 2021 г. провел съемку ряда областей поверхности Ганимеда, а именно областей Перрайна и Бернарда, территории цепочек кратеров Энки и Нанше, а также ударного кратера Трос. На сегодняшний день более 50% поверхности спутника покрыто съемкой с разрешением грубее 1 км/пиксель, а область Галилео и полюса спутника сняты с разрешением грубее 5 км/пиксель. Ряд регионов: области Перрайна, Бернарда и Николсона, а также территории в пределах рытвин Лагаш, Сиппар и Мумму имеет плотность покрытия снимками более 15 на точку, в то время как на другие области, а именно: область Галилео и территории вблизи кратеров Вепвавет, Цисти, Нах-Хунте, Селкет, Нинлиль, Таурт, Хершеф - имеют покрытие всего несколькими снимками, при этом, полярные шапки вовсе не имеют покрытия, что составляет 0,14% площади. Наиболее подробные 227 изображений из всех доступных легли в основу мозаики, созданной в MExLab в 2022 г. Для создания мозаики были использованы снимки, полученные в ходе космических миссий "Вояджер-1, -2", "Галилео" и "Юнона" в период с 1979 по 2021 гг. Ввиду различий в высоте траекторий и особенностей съемочных систем разрешение исходных изображений варьируется от 20 м до 13 км на пиксель. При этом наилучшее разрешение имеют изображения из отдельных пролетов миссии "Галилео" и новейшие изображения, полученные в ходе миссии "Юнона".

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВЕНЕРЫ В ОКНЕ ПРОЗРАЧНОСТИ 1 МКМ

Назарова А.В.¹, Евдокимова Д.Г.², Федорова А.А.²,
Кораблев О.И.²

¹ *Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

Венера обладает толстым облачным слоем, преимущественно состоящим из капель концентрированной серной кислоты (H_2SO_4), который расположен на высотах от 47 до 70-75 км и препятствует дистанционным наблюдениям за поверхностью и нижними слоями атмосферы. Плотная атмосфера планеты, основным компонентом которой является углекислый газ (CO_2) с содержанием 96.5%, обеспечивает сильно отличающиеся от земных атмосферные условия у поверхности: температура 750 К (477°C) и давление 92 атм. При таких температурах и давлениях запуск посадочных аппаратов становится сложной технической задачей, а срок их работы ограничен часами. Ввиду этого, особый интерес представляют орбитальные измерения теплового излучения разогретой поверхности и нижней атмосферы, в том числе с целью поиска и наблюдения периодических процессов. Большая часть теплового излучения поверхности поглощается углекислым газом и малыми газовыми составляющими (например, H_2O). Однако существует несколько “окон прозрачности” - узких диапазонов, в которых не происходит поглощения углекислым газом. Цель данного исследования - изучить тепловое излучение поверхности, которое наблюдается в окне прозрачности 1 мкм. В этом диапазоне излучение достигает верхней границы атмосферы и не поглощается другими газовыми составляющими.

Модель переноса излучения в окне прозрачности 1 мкм основана на работах Bezar et al., 2011 [1] и Fedorova et al., 2015 [3], где подобная задача решалась для диапазона 1.1-1.3 мкм. В этой модели перенос излучения рассчитывается с помощью программы SHDOMPP, которая вычисляет неполяризованный перенос излучения в плоскопараллельной атмосфере с использованием метода дискретных ординат. Оптические свойства среды, предполагается, единообразны в каждом слое [2]. Профиль температуры и давления задается из базы данных VIRА, основанной на данных спускаемых аппаратов [7]. В данной работе производились расчеты для исследуемого диапазона. Коэффициенты поглощения CO_2 были вычислены с использованием спектроскопической базы данных “High-T” [1,3,6]. Облачный слой считался состоящим из частиц аэрозоля сферической формы, состоящих из 75% H_2SO_4 , а вертикальное распределение частиц в облачном слое было задано согласно недавней работе Haus et al., 2016 [4]. Кроме того, интенсивность излучения определяется такими параметрами, как высота и излучательная способность поверхности наблюдаемой точки и концентрация частиц аэрозоля в облачном слое. В работе данные параметры варьировались.

Результаты моделирования переноса излучения используются для сравнения с экспериментальными данными инфракрасного (ИК) спектрометра СПИКАВ-ИК (англ., SPICAV - SPectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Venus) [5], проводившего ночные наблюдения Венеры в надир в спектральном диапазоне от 0.65 до 1.7 мкм. Данный эксперимент проработал на орбите Венеры около 8 лет, с апреля 2006 по декабрь 2014. Прибор был установлен на аппарате космической миссии “Венера-Экспресс”, орбита которого являлась полярной эллиптической, а её высота находилась в интервале от 66000 до 250 км. Спектральное разрешение СПИКАВ-ИК выше, чем 1 нм [5], что являет-

ся преимуществом по сравнению с другими экспериментами, проводившими наблюдения Венеры в окне прозрачности 1 мкм.

Литература:

- [1] Bézard B. et al. The 1.10-and 1.18- μm nightside windows of Venus observed by SPICAV-IR aboard Venus Express // *Icarus*. – 2011. – Т. 216. – №. 1. – С. 173-183.
- [2] Evans K. F. SHDOMPPDA: A radiative transfer model for cloudy sky data assimilation // *Journal of the atmospheric sciences*. – 2007. – Т. 64. – №. 11. – С. 3854-3864.
- [3] Fedorova A. et al. The CO₂ continuum absorption in the 1.10-and 1.18 - μm windows on Venus from Maxwell Montes transits by SPICAV IR onboard Venus express // *Planetary and Space Science*. – 2015. – Т. 113. – С. 66-77.
- [4] Haus, R., Kappel, D., Tellmann, S., Arnold, G., Piccioni, G., Drossart, P., & Häusler, B. (2016). Radiative energy balance of Venus based on improved models of the middle and lower atmosphere. *Icarus*, 272, 178-205.
- [5] Korablev O. et al. SPICAV IR acousto-optic spectrometer experiment on Venus Express // *Planetary and Space Science*. – 2012. – Т. 65. – №. 1. – С. 38-57.
- [6] Pollack, J. B., Dalton, J. B., Grinspoon, D., Wattson, R. B., Freedman, R., Crisp, D., ... & Ma, Q. (1993). Near-infrared light from Venus' nightside: A spectroscopic analysis. *Icarus*, 103(1), 1-42.
- [7] Seiff, A., Schofield, J. T., Kliore, A. J., Taylor, F. W., Limaye, S. S., Revercomb, H. E., ... & Marov, M. Y. (1985). Models of the structure of the atmosphere of Venus from the surface to 100 kilometers altitude. *Advances in Space Research*, 5(11), 3-58.

ЛОКАЛЬНЫЕ ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ГАНИМЕДА: АНАЛИЗ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ

Нерусин В.А., Мельникова М.А., Козлова Н.А.

МИИГАиК, Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий (КЛИВТ)

13 апреля 2023 г. стартует миссия «JUperiter ICy moons Explorer» (JUICE) Европейского космического агентства к системе Юпитера, главным образом, его спутников – Ганимеда, Европы и Каллисто. Около трети полетной программы КА «JUICE» направлено на изучение самого крупного спутника в Солнечной системе – Ганимеда. Основные научные задачи миссии посвящены исследованиям характеристик подповерхностного океана, внутреннего строения, экзосферы и собственного магнитного поля, обнаружению предполагаемых подземных водоемов; изучению физических свойств ледяной коры; топографическому, геологическому и композиционному картографированию поверхности [1]. Сейчас в системе Юпитера находится КА миссии «Юнона» НАСА, который передает на Землю новые данные в рамках своей космической программы. Обобщение всей имеющуюся информацию о поверхности Ганимеда – важная составляющая в подготовке и интерпретации результатов будущих исследований. Мы обобщили результаты космических миссий, по итогам которых были получены подробные изображения Ганимеда на основе которых были созданы глобальная фотокарта и первая геологическая карта USGS [2] и ЦМР поверхности спутника.

По результатам миссий Вояджер были получены первые стереоизображения локальных участков поверхности Ганимеда, однако ЦМР так и не были построены. Первые ЦМР были созданы в 1998 году на основе миссии "Галилео" на регион Галилео - размерами 63x102 км с разрешением 300 м/пиксель и рывину Урук - размерами 22x56 км с разрешением 200 м/пиксель, покрывающие площадь 7658 км² [3]. В 2016 г. в МИИГАиК был проведен комплексный анализ всех имеющихся изображений и получены цифровые стереомодели поверхности на следующие виды рельефа – рывины, регионы и кратеры (всего 24 модели) [4]. В 2021 г. на Землю были переданы 46 изображений, полученных в ходе миссии «Юнона», с разрешением от 0.86 км/пикс до 1.73 км/пикс. Полученные данные позволили создать новые ЦМР модели на юпитерианской стороне Ганимеда вокруг объектов – кратер Торс и Катена Энки [5].

В ходе сравнительного анализа цифровых моделей рельефа была использована геологическая карта USGS для определения форм и типов рельефа, покрываемых ЦМР. Была создана схема перспективного покрытия ЦМР поверхности Ганимеда.

На основе всей совокупность изображений нами была создана обновленная мозаика Ганимеда [6], а также построены новые детальные цифровые модели поверхности. В работе представлены доступные ЦМР и созданные, по этим данным, карты поверхности Ганимеда.

Литература:

[1] ESA/SRE(2011)18

<https://sci.esa.int/documents/33960/35865/1567258126055-JUICEYellowBookIssue1.pdf>

[2] Mapping the Galilean Satellites of Jupiter with Voyager Data / R. M. BATSON P. M. BRIDGES J. L. INGE CHRISTOPHER ISBELL HAROLD MASURSKY M. E. STROBELL R. L. TYNER U.S. Geological Survey Flagstaff, AZ 86001

[3] The Distribution of Bright and Dark Material on Ganymede in Relationship to Surface Elevation and Slopes / Jürgen Oberst, Björn Schreiner, Bernd Giese, James W. Head, Robert T. Pappalardo, Paul Helfenstein, <https://doi.org/10.1006/icar.1999.6143>

[4] A search of Ganymede stereo images and 3D mapping opportunities / A. Zubarev, I. Nadejdina, E. Brusnikin, B. Giese, J. Oberst

[5] Controlled Global Ganymede mosaic from Voyager and Galileo images / E. Kersten, A.E. Zubarev, Th. Roatsch, K.-D. Matz

[6] New global mosaic of Ganymede, detailed dems and maps / M.A. Melnikova, V.A. Nerusin, A.E. Zubarev, I.E. Nadezhdina, A.Yu. Zharkova, N.A. Slodarzh Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), MIIGAiK Extraterrestrial Laboratory (MExLab)

КАТАЛОГИЗАЦИЯ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ДАН ПО ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ВОДЫ И ХЛОРА ВДОЛЬ ПУТИ СЛЕДОВАНИЯ МАРСОХОДА «КЮРИОСИТИ» В КРАТЕРЕ ГЕЙЛ

Никифоров С.Ю., Дьячкова М.В., Митрофанов И.Г.,
Литвак М.Л., Лисов Д.И., Санин А.Б.

Институт космических исследований РАН

Динамическое альbedo нейтронов (ДАН) - это активный нейтронный спектрометр, который измеряет содержание воды в виде водного эквивалента водорода (ВЭВ) и поглощающих нейтроны элементов в виде эквивалента хлора в грунте вдоль траверса марсохода НАСА "Кюриосити". Эксперимент успешно проводится с августа 2012 года. Прибор состоит из импульсного генератора нейтронов и двух детекторов нейтронов.

Представление данных ДАН по отдельным пикселям позволяет проводить анализ вдоль сложного пути движения марсохода в соответствии с особенностями геоморфологии кратера. Значения ВЭВ и хлора для разных точек вдоль траектории движения марсохода, расположенных в пределах одного пикселя, усредняются и присваиваются данному пикселю. Пиксель размером 3x3 м позволяет охватить каждое отдельное измерение прибора, как активное, так и пассивное.

В данной работе представлены профили измерений прибора ДАН, представленные в виде пикселей регулярного размера вдоль пути движения марсохода. Каждый пиксель содержит оценку содержания ВЭВ и хлора, полученную из данных прибора за несколько лет непрерывной работы.

НАХОЖДЕНИЕ ВЫСОТЫ МЕЗОПАУЗЫ В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО СОЛНЕЧНОМУ ПРОСВЕЧИВАНИЮ ПРИБОРА ACS-MIR

Салихова С.Р.^{1,2}, Беляев Д.А.^{1,2}, Стариченко Е.Д.¹,
Фёдорова А.А.¹, Кораблев О.И.¹, Montmessin F.³,
Трохимовский А.Ю.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

³ *LATMOS/IPSL, UVSQ Université Paris-Saclay, UPMC Univ. Paris 06, CNRS, Guyancourt, France*

Мезопауза - тонкий слой атмосферы планеты, отделяющий мезосферу от термосферы, характеризующийся минимальной температурой. На Марсе мезопауза расположена на высоте ~ 100 км. Более точное изучение её высоты и корреляции этой высоты с пространственно - временными параметрами планеты, такими как, географические координаты, время года, время суток, влияние пылевых бурь и пр. представляет большой научный интерес. Однако, на отдельных вертикальных профилях температуры точка мезопаузы не всегда совпадает с температурным минимумом. Цель данного исследования - составить алгоритм нахождения высоты мезопаузы, учитывающий подобное условие. Главной идеей данной работы является поиск мезопаузы около минимума среднего температурного профиля, построенного путем сглаживания вертикального профиля температуры с помощью различных методов, таких как: метод скользящего среднего, приближение полиномами различных степеней, различными фильтрами.

В данной работе, используются данные спектрометра среднего инфракрасного диапазона Atmospheric Chemistry Suite - Middle InfraRed (ACS-MIR), работающем на орбитальном аппарате Trace Gas Orbiter (TGO) [1] с апреля 2018 года. Аппарат является частью европейско-российской научной миссии ExoMars 2016. ACS-MIR - эшелле спектрометр со скрещенной дисперсией, работающий в диапазоне 2.3-4.2 мкм. Его разрешающая способность составляет 30000, отношение сигнал-шум превышает 1000 и вертикальное разрешение - 0.5-2.5 км. Спектрометр позволяет восстанавливать вертикальные профили температуры, плотности и давления в диапазоне высот от 10 до 180 км на основе спектров пропускания углекислого газа CO₂ по сильной полосе поглощения 2.7 мкм [2,3].

Литература:

[1] Korablev O., Montmessin F., and ACS Team, 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. Space Sci. Rev., 214:7. DOI 10.1007/s11214-017-0437-6.

[2] Belyaev D. et al., 2021. Revealing a high water abundance in the upper mesosphere of Mars with ACS onboard TGO. Geophysical Research Letters, 48, e2021GL093411. DOI: 10.1029/2021GL093411

[3] Belyaev D. et al., 2022. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ Spectroscopy. Journal of Geophysical Research: Planets. 127, e2022JE007286. doi: 10.1029/2022JE007286

ГИПЕРИОН (С7): ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ, ФОРМЫ. ЗАДАНИЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ

Слодарж Н.А., Козлова Н.А.

Московский государственный университет геодезии и картографии, Комплексная лаборатория исследования внеземных территорий (КЛИВТ)

Введение:

В работе представлены результаты фотограмметрической обработки изображений седьмого спутника Сатурна, Гипериона, полученных в ходе миссии КА «Кассини». В комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК создана единая опорная сеть хаотически вращающегося тела. При ее создании была задана система координат, определены векторы скорости Гипериона в момент съемки, независимо получены параметры трехосного эллипсоида.

Данные:

Первым космическим кораблем, совершившим облет Гипериона, был «Вояджер» в 1980-1981 годах. Пролет «Вояджера» был обзорным и коротким (всего 2 дня наблюдений). Следующим КА, давшим обширный материал для исследования Гипериона был аппарат миссии «Кассини». Перед завершением своей миссии в сентябре 2017 года он передал на Землю последние снимки Гипериона. «Кассини» был оснащен узкоугольной (НАС) и широкоугольной (WAC) камерами. За время миссии Cassini передал более 2800 изображений Гипериона и более 50 изображений со средним и высоким разрешением (500 м/пикс и выше). Все эти данные были получены в период с 2004 по 2016 год, последние же данные имели разрешение до 25 м/пикс.

Результаты:

Создана опорная сеть, состоящую из 1954 точек на 116 изображениях с разрешением от 26 м/пиксель до 3,3 км/пиксель, СКО около 7 км. Модель формы тела определялась по сети контрольных точек с использованием трехмерных координат точек. В этом исследовании мы определяем модель формы тела в два этапа, потому что модели вращения еще нет, а оси тела определялись только по самому большому пролету. На первом этапе мы предварительно ориентируем ось тела, чтобы уменьшить разницу между моделью эллипсоида и трехмерным облаком контрольных точек. На следующем этапе мы обрабатываем стереопары и улучшаем форму и улучшаем плотность облака точек (~ 1,6 млн точек). Наконец, мы используем все доступные данные для определения 6 параметров ($a, b, c, \omega, \phi, \kappa$), которые определяют размер и ось формы.

Модель a , км b , км c , км ω , км

P.C. Thomas et al., 2010 $180.1 \pm 2.0133.0 \pm 4.5102.7 \pm 4.5135 \pm 4$

Данное исследование $177.6 \pm 0.2128.5 \pm 0.2105.6 \pm 0.1141.7 \pm 0.3$

Литература:

[1] Tarnopolski M. Rotation of an oblate satellite: Chaos control // *Astronomy and Astrophysics*, 2017b, 606, A43, DOI: 10.1051/0004-6361/201731167.

[2] Thomas P., Helfenstein P. The small inner satellites of Saturn: Shapes, structures and some implications // *Icarus*, 2020, 344, 113355, DOI: 10.1016/j.icarus.2019.06.016.

[3] Thomas P.C., Yoder C.F., Synnott S.P., Salo H., Veverka J., Simonelli D.P., Helfenstein P., Carcich B., Black G.J., Nicholson P.D., Binzel R.P., Gaffey M.P., Zellner B.H., Bell J.F. III and Clark B.E (2021). Small Body Optical Shape Models Bundle V1.0. urn:nasa:pds:ast-sat.thomas.shape-models::1.0. NASA Planetary Data System; <https://doi.org/10.26033/g5e0-kh52>

ДВА ГОДА НАБЛЮДЕНИЙ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН В АТМОСФЕРЕ МАРСА ПО ДАННЫМ ПРИБОРА ACS/TGO

Стариченко Е.Д.¹, Беляев Д.А.¹, Медведев А.С.²,
Федорова А.А.¹, Кораблев О.И.¹, Трохимовский А.Ю.¹,
Montmessin F.³

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Max Planck Institute for Solar System Research, Göttingen, Germany*

³ *LATMOS/IPSL, UVSQ Université Paris-Saclay, UPMC Univ. Paris 06, CNRS, Guyancourt, France*

Гравитационные волны (ГВ) — распространение волновых колебаний в атмосфере, возникающих вследствие смещения равновесия между силой тяжести и силой Архимеда (плавучести). ГВ являются переносчиками энергии и импульса, таким образом, влияя на общую динамику атмосферы планеты. В нашей работе мы рассматриваем параметры ГВ [1], а также их распределения. ГВ восстанавливаются из высотных профилей температуры, полученных в результате обработки данных по эксперименту солнечного просвечивания российского комплекса спектрометров Atmospheric Chemistry Suite (ACS) [2] на борту аппарата Trace Gas Orbiter (TGO). Нами находятся такие характеристики ГВ, как вертикальный поток горизонтального импульса, потенциальная энергия, ускорение и частота Брента-Вяйсяля, характеризующая стабильность распространения ГВ. Для характеристики активности ГВ мы используем такие параметры как потенциальную энергию и ускорение.

ACS находится на орбитальном аппарате TGO, который является частью европейско-русской миссии ExoMars 2016. Он состоит из трех спектрометров ближнего – NIR (0.73-1.6 мкм), среднего – MIR (2.3-4.2 мкм) и теплового – TIRVIM (1.7-17 мкм) инфракрасного диапазона. В данной работе используются данные приборов MIR и NIR: эшелле-спектрометра со скрещенной дисперсией и эшелле-спектрометра с акустооптическим фильтром соответственно. ACS-MIR позволяет получать вертикальные профили температуры и плотности с мелкой сеткой по высоте от 10 до 180 км из спектров углекислого газа CO₂ по сильной полосе поглощения 2.7 мкм [3,4], тогда как ACS-NIR по данным полосы поглощения CO₂ 1.57 мкм позволяет восстанавливать высотные профили температуры и плотности в диапазоне от 10 до 100 км [5,6]. Оба ИК канала обладают высокой разрешающей способностью, превышающую 25000, отношением сигнал-шум более 1000 и вертикальным разрешением 0.5-2.5 км. Представленный объем данных представляет собой наблюдения за 2 марсианских года с начала работы приборов (апрель 2018, Ls — 165 MY34) и по середине 36 марсианского года (февраль 2022). Объем данных насчитывает около 760 затменных наблюдений для канала MIR и около 8550 наблюдений для NIR.

Литература:

[1] Starichenko E. et al., 2021. Gravity wave activity in the Martian atmosphere at altitudes 20–160 km from ACS/TGO occultation measurements. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 126, e2021JE006899. DOI: 10.1029/2021JE006899

[2] Korablev O., Montmessin F., and ACS Team, 2018. The Atmospheric Chemistry Suite (ACS) of three spectrometers for the ExoMars 2016 Trace Gas Orbiter. *Space Sci. Rev.*, 214:7. DOI 10.1007/s11214-017-0437-6.

[3] Belyaev D. et al., 2021. Revealing a high water abundance in the upper mesosphere of Mars with ACS onboard TGO. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093411. DOI: 10.1029/2021GL093411

[4] Belyaev D. et al., 2022. Thermal Structure of the Middle and Upper Atmosphere of Mars from ACS/TGO CO₂ Spectroscopy. *Journal of Geophysical Research: Planets*. 127, e2022JE007286. doi: 10.1029/2022JE007286

[5] Fedorova A. et al., 2020. Stormy water on Mars: The distribution and saturation of atmospheric water during the dusty season. *Science*, eaay9522. DOI: 10.1126/science.aay9522.

[6] Fedorova A. et al., 2022. A two-Martian year survey of the water vapor saturation state on Mars based on ACS NIR/TGO occultations. Submitted to *Journal of Geophysical Research: Planets*. 128, e2022JE007348. doi: 10.1029/2022JE007348

КАРТИРОВАНИЕ ЛЬДОВ НА ПОЛЯРНЫХ ШАПКАХ МАРСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ОМЕГА/MARS EXPRESS

Трунина А.А.¹, Ломакин А.А.²

¹ ГБОУ "Лицей №1501"

² Институт космических исследований РАН

Методы машинного обучения в планетологии используются относительно редко и часто конкурируют с традиционными методами. Однако с годами находится все больше и больше ниш для их применения – иногда они позволяют взглянуть на данные другими глазами. Такие методы начинают находить применение и в работе с гиперспектральными данными (Bernard-Michel et al., 2009; Cartwright et al., 2022). Однако, с помощью этих методов была проанализирована и размечена лишь часть данных и много данных и миссий является еще не обработанными.

Мы использовали данные ОМЕГА (Observatoire pour la Mineralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité, Bibring et al., 2005) – прибора, изучающего минералогический и молекулярный состав поверхности и атмосферы Марса с помощью спектрального анализа рассеянного солнечного света и теплового излучения поверхности. ОМЕГА является гиперспектрометром – данные этого прибора являются картами, где каждому пикселю соответствует спектр в диапазоне от 0.38 до 5 микрон. Для работы с данными ОМЕГА мы использовали *omegaru* – открытую библиотеку, реализованную на *python*, с помощью которой можно провести обработку данных. Среди ее функционала есть возможность провести атмосферную и термальную коррекции: уменьшить влияние спектральных линий атмосферы Марса на спектр отражения, а также убрать из данных тепловое излучение. Для картирования льдов мы использовали традиционные методы, такие, как использование спектральных индексов. Спектральные индексы являются метрикой глубины полос поглощения в спектрах отражения льда и снега на поверхности Марса. Помимо этого, мы применили *k-means clustering* – метод кластеризации, который используется, когда есть данные без определенных групп или категорий. Основной целью алгоритма является минимизация суммы расстояний между точками и соответствующим центроидом кластера.

Список литературы:

[1] Bernard-Michel, C., Douté, S., Fauvel, M., Gardes, L., and Girard, S. (2009), Retrieval of Mars surface physical properties from OMEGA hyperspectral images using regularized sliced inverse regression, *J. Geophys. Res.*, 114, E06005, doi:10.1029/2008JE003171.

[2] Bibring, J. P., Langevin, Y., Mustard, J. F., Poulet, F., Arvidson, R., Gendrin, A. & Neukum, G. (2006). Global mineralogical and aqueous Mars history derived from OMEGA/Mars Express data. *Science*, 312(5772), 400-404.

[3] Cartwright, S. F. A., Calvin, W. M., Seelos, K. D., & Seelos, F. P. (2022). Characterizing Seasonal and Residual Ices at the South Pole of Mars Using a Universal Set of CRISM Spectral Endmembers. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127(11), e2022JE007372.

АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ПОСАДОЧНОЙ ПЛОЩАДКИ НА ГОРЕ МУТОН В ЮЖНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ЛУНЫ

Турчинская О.И., Слюта Е.Н.

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского Российской академии наук

Среди основных требований к размещению лунной исследовательской базы можно выделить следующие: расположение и размер площадки, удобный и безопасный рельеф местности, максимальная степень освещенности, периодическая видимость Земли, возможность обеспечения прямой и постоянной радиосвязи с Землей, максимально комфортная температура на поверхности, наличие богатых залежей водяного льда в лунном грунте и др. Основной задачей данной работы является анализ рельефа, степени освещенности и других параметров площадки на горе Мутон в Южной полярной области Луны для оценки соответствия вышеперечисленным требованиям.

Исследуемая площадка на горе Мутон представляет собой участок 15×15 км с центральными координатами $27,562503^{\circ}$ - $84,900278^{\circ}$. Это относительно пологая возвышенность, высшая точка имеет абсолютную высоту 5494 метров. Амплитуда высот в пределах площадки составляет около 800 м. В рамках работы была составлена цифровая модель рельефа (ЦМР) высокого разрешения (1 м) по данным лазерной альтиметрии модуля LOLA KA LRO (NASA, США). На основе полученной ЦМР составлена карта уклонов на базе 5 м. Также были проанализированы карты освещенности, видимости с Земли и сезонное распределение температур на поверхности.

В пределах площадки уклоны поверхности 0° - 5° занимают 38,7%, 5° - 10° – 39,1%, 10° - 20° – 18%, более 20° – 3,7%. Данная площадка характеризуется большой площадью непрерывной пологонаклонной поверхности – 77,8% на карте уклонов на базе 5 м.

Сильно зависящая от локального рельефа солнечная освещенность в полярных областях Луны в пределах участка достигает 50%. Видимость Земли, позволяющая задействовать средства прямой радиосвязи с Землей, на большей части территории составляет более 65% [1]. Средняя летняя температура на площадке изменяется в пределах от 73.717 К до 154.174 К в зависимости от рельефа, средняя зимняя температура – от 62.849 К до 146.638 К, соответственно [2].

По данным проведенного анализа цифровой модели рельефа высокого разрешения, распределения безопасных уклонов на базе 5 м, степени освещенности, видимости Земли, средних зимних и летних температур, площадка на горе Мутон является одной из немногих в Южной полярной области, которая отвечает всем основным требованиям для потенциального размещения лунной научно-исследовательской станции.

Литература:

[1] Mazarico, E. M., G. A. Neumann, D. E. Smith, M. T. Zuber, and M. H. Torrence. 2011. "Illumination Conditions of the Lunar Polar Regions Using LOLA Topography." *Icarus* 211 1066 [10.1016/j.icarus.2010.10.030]

[2] Williams, J.-P., et al. (2019). Seasonal polar temperatures on the Moon. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 124, 2505–2521.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СООТНОШЕНИЯ HDO/H₂O В МЕЗОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ SOIR ЗА 2006-2014 ГОДЫ

Федорова Е.С., Беляев Д.А., Федорова А.А.

Институт космических исследований РАН

Аэрозольные частицы в атмосфере Венеры содержатся не только в облачном слое (высоты 50-70 км), но и в так называемой надоблачной дымке, в мезосфере на высотах 70-100 км. Как и облака, эти частицы состоят из капель водного раствора серной кислоты (H₂SO₄) с процентным содержанием 75 – 80%. Недавние исследования в рамках миссии "Венера-Экспресс" (VEx) показали, что эти частицы имеют субмикронные (~ 0.2 мкм) и микронные (~ 1 мкм) размеры и могут образовывать отдельные плотные слои на высотах от 70 до 90 км [1,2]. Механизм образования таких слоёв до конца неизвестен; их формирование зависит от фотохимического взаимодействия водяного пара (H₂O) с двуокисью серы (SO₂), изотопного соотношения HDO/H₂O, а также от условий конденсации воды в мезосфере.

В данной работе приведены результаты обработки спектров пропускания H₂O, HDO и CO₂, полученных в эксперименте SOIR/VEx (Solar Occultation in the InfraRed) в режиме солнечного просвечивания, а также получено соотношение HDO/H₂O в мезосфере Венеры, важное для понимания эволюции планеты. Настоящая работа является продолжением анализа данных, опубликованных в 2008 году [3], и охватывает наблюдения за весь период эксперимента SOIR, с 2006 по 2014 гг. Акустооптический эшелле спектрометр SOIR миссии "Венера-Экспресс" проводил измерения в спектральном диапазоне 2.3–4.3 мкм с разрешающей способностью около 25000, что позволяло регистрировать тонкие линии поглощения таких молекул, как CO₂, H₂O, HDO, SO₂. Диапазон доступных высот при работе в режиме солнечного просвечивания начинается выше 65 км (прямо над облаками), что делает данные SOIR идеально подходящими для исследования надоблачной дымки [3]. На данном этапе исследования было проведено восстановление высотных профилей CO₂ и температуры в этом диапазоне высот. В дальнейшем планируется использовать результаты работы для исследования механизмов образования плотных аэрозольных слоёв над облаками, что позволит усовершенствовать существующие химические и микрофизические модели атмосферы Венеры и поможет в подготовке и реализации будущих экспериментов на планете.

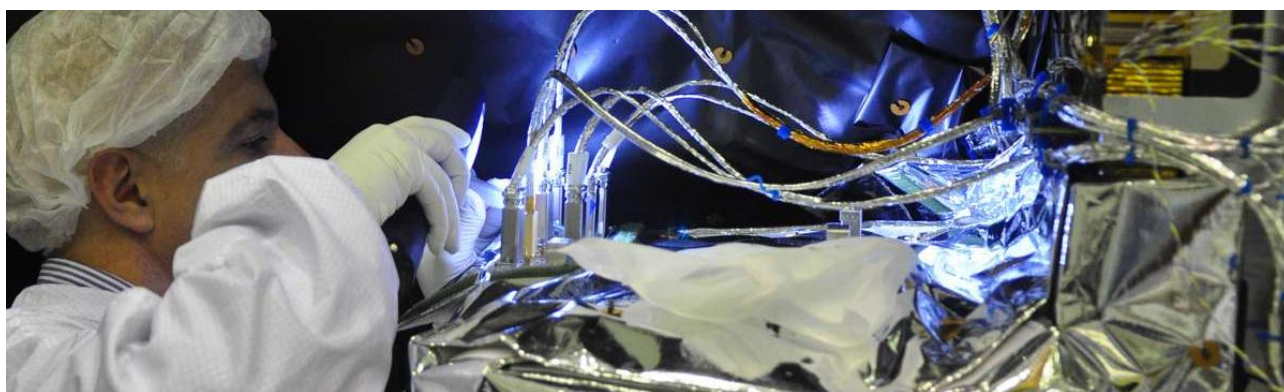
Литература:

[1] Luginin et al., 2016. Aerosol properties in the upper haze of Venus from SPICAV IR data. *Icarus*, Volume 277. doi:10.1016/j.icarus.2016.05.008.

[2] Luginin et al., 2018. Scale heights and detached haze layers in the mesosphere of Venus from SPICAV IR data. *Icarus*, Volume 311. doi:10.1016/j.icarus.2018.03.018.

[3] Fedorova et al., 2008. HDO and H₂O vertical distributions and isotopic ratio in the Venus mesosphere by Solar Occultation at Infrared spectrometer on board Venus Express. *J. Geophys. Res.*, 113, E00B22, doi:10.1029/2008JE003146.

КОСМИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ



ИСПЫТАНИЯ ДЕТЕКТОРА ИЗ ВЫСОКОЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ В СОСТАВЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА КОСМИЧЕСКОГО ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА С МЕЧЕННЫМИ ЗАРЯЖЕННЫМИ ЧАСТИЦАМИ НА ПРОТОННОМ ПУЧКЕ ФАЗОТРОНА ОИЯИ

Аникин А.А.¹, Мокроусов М.И.¹, Митрофанов И.Г.¹,
Головин Д.В.¹, Козырев А.С.¹, Литвак М.Л.¹,
Никифоров С.Ю.¹, Санин А.Б.¹, Тимошенко Г.Н.²,
Швецов В.Н.², Павлик Е.Е.²

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Объединённый институт ядерных исследований*

В настоящее время особую актуальность сохраняет задача анализа состава приповерхностного грунта небесных тел бесконтактными методами с бортов космических орбитальных и посадочных аппаратов. Одним из хорошо зарекомендовавших методов определения элементного состава грунта является космическая гамма-спектроскопия. Чаще всего этот метод используется для небесных тел с тонкой атмосферой или без, где в качестве источника излучения используется постоянный поток галактических космических лучей (ГКЛ). Основной проблемой таких измерений является невозможность учета фона от космического аппарата в результирующем измеренном сигнале.

Для решения этой проблемы для посадочных аппаратов был предложен метод меченных заряженных частиц. Идея метода состоит в дополнении гамма-спектрометра детектором-телескопом частиц ГКЛ, располагающимся недалеко от поверхности небесного тела (на высоте 0.5-1 м), который регистрирует заряженные частицы (так называемые меченные ГКЛ, или МГКЛ), которые проходя через детектор попадают в небольшой выделенный изучаемый объем вещества небесного тела. В данном методе результаты измерений гамма-спектрометра обрабатываются совместно с детектором заряженных частиц: если для построения гамма-спектра отбирать только те отсчеты, которые совпали по времени (в некотором временном окне) с регистрацией МГКЛ, то с высокой вероятностью этот спектр характеризует раннее альbedo вещества небольшого изучаемого объема приповерхностного грунта.

Для подтверждения этого метода были проведен цикл наземных отработок, который показал высокую эффективность предложенных решений. На начальном этапе отработок в макете прибора космического гамма-спектрометра с меченными заряженными частицами (КГС-МЗЧ) в качестве ДГЛ использовался детектор на основе кристалла бромида церия CeBr₃: такие сцинтилляционные детекторы имеют достаточно высокое спектральное разрешение среди сцинтилляторов ($\sim 27 - 37$ кэВ или $\sim 4 - 4,5\%$ для фотонов с энергией 662 кэВ), относительно малое время высвечивания, высокую эффективность регистрации и низкий собственный фон. Однако такой детектор значительно уступает по разрешению детектору из высокочистого германия, который обладает спектральным разрешением около 2 кэВ для фотонов с энергиями 0,662 и 1,33 МэВ.

В докладе будет рассмотрен эксперимент с лабораторным макетом КГС-МЗЧ с полупроводниковым детектором из высокочистого германия и результаты полученных измерений. Будет показано, что такая конфигурация КГС-МЗЧ является наиболее эффективной для исследования состава приповерхностного грунта небесного тела с борта посадочного аппарата. Высокое спектральное разрешение высокочистого германия позволяет обнаруживать ядерные линии с максимальной чувствительностью для детектора с заданной массой, а применение метода МЗЧ позволяет практически исключить собственный фон от космического аппарата и значительно повысить пространственное разрешение гамма-спектрометра.

Лабораторные отработки макета прибора КГС-МЗЧ проводились на протонном пучке фазотрона Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в г. Дубна с энергиями ~ 170 МэВ и импульсной микроструктурой.

Авторы благодарят коллектив отдела Фазотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ за обеспечение экспериментальной работы на протонном ускорителе ОИЯИ и Российский научный фонд за поддержку исследований, результаты которых будут представлены в данном докладе (грант РФФИ №18-12-00487).

ДАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРА КОДИЗ В ПЕРИОД ПОВЫШЕННОЙ ГЕОМАГНИТНОЙ АКТИВНОСТИ КОНЦА ФЕВРАЛЯ 2023 Г.

Антонюк Г.И.¹, Бенгин В.В.^{1,2}, Нечаев О.Ю.¹,
Оседло В.И.¹, Золотарев И.А.¹

¹ Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына

² Институт медико-биологических проблем российской академии наук

В настоящее время ведется эксперимент по измерению потоков космических лучей различной природы на низкой полярной околоземной орбите. Данные измерения проводятся с новым научным прибором, разработанным в НИИ ядерной физики МГУ - комбинированным детектором излучений (КОДИЗ). Прибор был выведен на орбиту на борту микроспутника Cubesat-3U "Монитор-1" 9 августа 2022 года.

В конце февраля 2023 г. было зафиксировано повышение уровня геомагнитной активности, а также несколько вспышек на Солнце. Данная активность была зарегистрирована рядом космических аппаратов, в том числе "Монитор-1". В работе представлены данные измерений, полученных с прибора КОДИЗ, соответствующих данному периоду.

Эксперимент проводится в рамках проекта "Созвездие-270" и федерального проекта "Космос-π" при поддержке Фонда содействия инновациям и междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ "Фундаментальные и прикладные космические исследования".

СУЩЕСТВУЮЩИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ НАКОПЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СОСТОЯНИЙ

Виноградова Е.В., Богачёв А.М.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Воздействие ионизирующего излучения (ИИ) приводит к образованию электронно-дырочных пар в оксиде МОП (металл-окисел-полупроводник) транзисторов. В оксиде накапливается объемный положительный заряд Q_{ot} , поскольку в результате частичной рекомбинации электроны покидают оксид, а дырки могут захватываться на глубокие ловушки. ИИ космического пространства вызывает образование радиационно-индуцированных поверхностных состояний (ПС) N_{it} . В отличие от механизма встраивания объемного положительного заряда физические процессы образования ПС до сих пор остаются до конца не изученными. На сегодняшний день нет полного понимания механизма накопления ПС при радиационном облучении. Более изученными являются модели, в которых накопление ПС рассматривается как процесс, состоящий из двух стадий и протекающий с участием, высвобождаемых в диоксиде кремния, ионов водорода. Во время первой стадии при воздействии ИИ генерированные в диоксиде кремния дырки могут переноситься как по направлению к границе раздела кремний/диоксид кремния, так и по направлению к границе затвор/диоксид кремния. Во время этого процесса они способны разрывать напряженные связи Si–O и слабые связи комплексов «трехвалентного кремния» с водородом, в результате чего высвобождаются ионы водорода. На второй стадии высвобожденные ионы водорода образуют ПС из-за разрыва связей Si–H и Si–OH во время дрейфа по направлению к границе раздела диоксид кремния/кремний. Исходя из этой модели, только при подаче на затвор МОП-структуры положительного смещения будет наблюдаться накопление ПС.

На сегодняшний день достаточно информации существует по трем моделям накопления радиационно-индуцированных ПС: водородной, конверсионной и связанной с разрывом напряженных связей. Исторически одной из начальных гипотез образования ПС была возможность разрыва напряженных связей у поверхности полупроводника. Так и есть, из-за разности в коэффициентах линейного расширения кремния и оксида на поверхности кремния всегда содержатся напряженные связи, разрывающиеся в первую очередь при воздействии частиц ионизирующего излучения. В результате эксперимента, заключающегося в облучении оксида толщиной 100 нм гамма квантами (1.2 МэВ) и ультрафиолетовым излучением с энергией 10.2 эВ было выявлено, что гипотеза о разрыве напряженных связей вряд ли достоверна. В эксперименте доза гамма и ультрафиолетового излучения подбиралась, таким образом, чтобы количество электронно-дырочных пар, образующихся в объеме оксида, было одинаковым. Отличием являлся тот факт, что гамма излучение вызывало однородную ионизацию оксида, а ультрафиолетовое излучение поглощалось в слое толщиной порядка 10 нм. Таким образом, только в случае воздействия гамма излучения поверхность раздела оксид–полупроводник подвергалась воздействию квантов. В итоге оказалось, что в обоих случаях накапливалось одинаковое количество радиационно-индуцированных ПС. Результат свидетельствует о том, что при воздействии ИИ важно общее количество электронно-дырочных пар, образующихся в оксиде для образования ПС.

В случае водородной модели придерживаются предположения о том, что за счёт радиолитического распада водородосодержащих соединений (например, ОН-групп) или в результате выделения энергии при процессах рекомбинации электрон-дырка, в оксиде высвобождаются ионы водорода, депассивирующие поверхностные связи в процессе миграции к границе раздела кремний/диоксид кремния, что приводит к встраиванию ПС.

Конверсионная модель основана на том, что рост плотности ПС происходит в результате нейтрализации положительного заряда. В ходе эксперимента, проводившегося в 80-е годы в течение облучения наблюдалось небольшое увеличение плотности ПС δN_{it} и осязаемое увеличение объёмного заряда в оксиде δQ_{ot} . Но во время процесса отжига объёмный заряд в оксиде почти полностью отжигался, а плотность ПС значительно возрастала. Эти данные позволили говорить о конверсионной модели встраивания ПС, вызванных радиационным излучением. На самом деле, в случае захвата электрона конфигурация положительно заряженного центра может преобразоваться в нейтральное состояние, эквивалентное поверхностной ловушке. Конверсионная модель не получила столько внимания, сколько водородная, но различные экспериментальные данные позволяют судить о достоверности этой концепции.

В результате экспериментального исследования кинетики послерадиационного образования ПС в МОП-структуре в среде молекулярного водорода в различных полевых режимах, группой учёных из МИФИ было выявлено, что взаимодействие водородосодержащих комплексов с электронами подложки играет не малую роль в процессе накопления ПС. Полученные данные позволяют рассматривать водородную и конверсионную модели с точки зрения единой водородно-электронной модели встраивания ПС. В случае данного подхода для образования ПС необходимо не только наличие у границы оксид-кремний положительно заряженных водородосодержащих комплексов, но и взаимодействие этих комплексов с электронами из подложки.

Исходя из различных экспериментальных исследований возможно сделать вывод о том, что введение водорода в МОП-структуру приводит к осязаемому росту скорости образования ПС во время облучения и после.

Результаты учёных соответствуют предположению о том, что если количество водородных соединений у границы кремний-оксид кремния мало, то можно ожидать, что темп и энергия активации генерации ПС в целом определяются переносом соединений водорода в оксиде. Напротив, при наличии соединений водорода у границы раздела кинетика, энергия активации и полевая зависимость процесса связаны с электронным обменом с подложкой.

Поскольку актуален вопрос изучения процессов накопления ПС в результате ионизирующего излучения, в ближайшем будущем существующие модели, вероятно, будут совершенствоваться и, возможно, предлагаться новые.

МАГНЕТРОННЫЙ СПОСОБ ЗАЩИТЫ ЭКИПАЖА И ОБОРУДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО КОРАБЛЯ ОТ ПОТОКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Глушкова В.С.

Московский авиационный институт

Идея работы появилась при наблюдении горячей резки пенопласта. Вокруг раскалённого металла есть облако электронов. Электронами управляют в радиолампах-магнетронах. Нельзя ли управлять электронами с помощью магнитного поля не только в магнетронах, но и в обычных радиолампах?

Установка с мощной лампой-пентодом ГУ-81М была изготовлена Молочной А.А., но с другой целью [1]. Теперь цель другая – изучить реакцию электронов на магнитное поле для практического применения.

Первый опыт самый простой. На созданной установке был разогрет катод. В отличие от работы [1], на анод было подано напряжение. Высокое рабочее напряжение, до 3000 В, для первого опыта не нужно, достаточно всего 15 В, достаточно для регистрации эффекта. Магнитное поле создавалось двумя способами: сильным неодимовым магнитом или соленоидом вокруг лампы. В обоих случаях магнитное поле изменяло анодный ток. Методика опыта очень простая. Надо приближать и удалять магнит, глядя на показания амперметра. В качестве амперметра применялся аналоговый стрелочный прибор-мультиметр Ц4311. Эффект есть, магнитное поле уменьшало анодный ток на 200 мкА. Конечно, магнетронный эффект слабый, но надо учесть, что радиолампа ГУ-81М не является магнетроном. После первого опыта был сделан вывод о наличии магнетронных возможностей в обычных радиолампах.

Второй опыт предполагал усиление магнитного поля. Для этого изготовили соленоид, намотали на стеклянный баллон лампы ГУ-81-М. Диаметр соленоида 12 см. При таком большом диаметре соленоида нужна большая сила тока, десятки ампер. В школьной лаборатории таких источников питания нет. Но даже без них можно обойтись, если воспользоваться свинцовым аккумулятором с напряжением 12В. Провод соленоида толстый, осветительный, как говорят электрики, 3 квадрата, то есть с площадью поперечного сечения 3 кв.мм. Сила тока большая, потому что это ток короткого замыкания замыкание свинцового аккумулятора. Силу тока в соленоиде не измеряли, потому что амперметр с пределом измерения 20А зашкалило, а других в лаборатории пока нет.

Во втором опыте сила тока уменьшилась на 50 мА, то есть магнетронный эффект стал в 250 раз сильнее, чем в первом опыте.

Третий опыт. Было бы идеально провести следующий опыт с диодом. Но сначала был найден очень удобный для опыта триод 6С7Б. Это маленькая радиолампа в миниатюрном исполнении. Триод был включен в режим диода, сетка соединена с анодом. Делать это нельзя, рабочее напряжение сетки отрицательное. Но лампа была переведена в режим генераторного триода с малым анодным напряжением, всего +15 Вольт, что вполне допустимо. Электромагнит стандартный школьный, ток короткого замыкания от свинцового аккумулятора с напряжением 12 Вольт. На второй установке были проведены измерения. Методика измерений более сложная, чем в первых опытах. Если в первых опытах было только по одному измерению, то теперь было решено построить вольт-амперную характеристику лампового триода 6С7Б-В при напряжениях между анодом и катодом от 0В до +15В. Таких характеристик нужно две. Первая строится в обычном режиме, а вторая

с подключённым соленоидом. Казалось бы, абсолютная величина уменьшения анодного тока увеличивается при возрастании анодного напряжения, как показано на левом графике. Но относительная величина уменьшается, как показано на правом графике. Это связано с увеличением скоростей электронов. Быстрым электронам труднее отклониться, поэтому для них магнетронный эффект слабее. Напротив, медленным электронам легко отклониться от движения к аноду, поэтому ток анода в магнитном поле уменьшается значительно.

Четвёртый опыт вызвал наибольший интерес [2]. Что будет, если в мощной радиолampe ГУ-81М анодное напряжение полностью убрать? Термоэлектронов вокруг катода много. Среди них есть очень быстрые, способные долететь до анода даже без анодного напряжения. Тогда должен появиться анодный ток. Это электрический ток термоэмиссии. Так и получилось. Светодиод АЛ-307 засветился от тока термоэмиссии 3 мА, при рабочем токе 10 мА. Значит радиолampa ГУ-81М является термоэмиссионным преобразователем тепловой энергии в электрическую. Правда, эффект очень слабый, коэффициент полезного действия оказался 0,02%. Но надо помнить, что радиолampa – это не термоэмиссионный преобразователь, у неё другое назначение. Зато именно радиолampa ГУ-81М позволила показать опыт по термоэмиссионному электричеству. В школах такие опыты обычно не показывают. Радиолampa позволила создать учебную школьную установку для демонстрации быстрых («шалых») электронов в распределении Максвелла-Больцмана.

Вывод. Определены четыре практические применения магнетронного управления электронами: использование скрытых возможностей радиолamp, создание новых приборов, управление термоэлектричеством, магнетронная защита людей и аппаратуры от потоков заряженных частиц в космическом пространстве.

Литература:

1. Глушкова В.С. Магнетронные свойства радиолamp / Сборник тезисов. V Всероссийская с международным участием школа-конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Материалы и технологии XXI века». 30 ноября – 2 декабря 2022 г. - Отв. ред. А.В. Герасимов. [Электронный ресурс] – Казань.: КФУ, 2022. – С.275.

2. Глушкова В.С. Магнетронные возможности вакуумных радиолamp (определение направления научных исследований). – Фестиваль науки «Гении Подмосковья 2022. Осенняя сессия». – Город Королёв, Московская область 20 ноября 2022 г.

Дополнительные материалы: Видеоролик о работе (начало исследования): <https://youtu.be/pyOGuut2dsE>

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Для отработки нового высокоточного прибора специалистами ОФО ИКИ РАН выполнялся цикл разносторонних проверок, направленных на соблюдение требований технического задания, подтверждение его работоспособности, а также заявленных характеристик. Внимание разработчиков уделялось контролю состояния и параметров прибора в различных видах испытаниях, прогнозируемости его поведения, непротиворечивости получаемых данных, оценке функционирования в штатных условиях эксплуатации и при отступлении от них. Важным этапом стало составление полной диагностической карты прибора, включающей в себя показания всех видов испытаний. В докладе будут развернуто представлены результаты ключевых и наиболее значимых испытаний, полученных на специализированном стендовом оборудовании и их сопоставление с данными натурной съемки с Земли.

Летные образцы приборов уже изготовлены и успешно прошли все стадии проверок, включая фотометрическую и геометрическую калибровки. Их применение планируется на перспективных космических аппаратах дистанционного зондирования Земли.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И АЛГОРИТМА РАБОТЫ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Специалистами ОФО ИКИ РАН завершена долгожданная разработка прибора звездной ориентации нового поколения. К особенностям созданного прибора является переход на отечественную элементную базу, целостность и защищенность данных кодом Хемминга, высокая частота опроса (до 8Гц) и расширение диапазона угловых скоростей, с запасом покрывающих запросы современных космических аппаратов. В составе прибора содержится охлаждаемая КМОП-матрица CMV4000 и светосильный объектив ОЗК-60/1,4-К. При массе прибора 4кг - это один из самых точных датчиков, в котором удалось реализовать ряд интересных технических решений. Так, например, бленда прибора теплоизолирована от остальной части изделия и охлаждается за счет радиационного теплообмена с конструкцией космического аппарата. Для стабилизации температуры радиационным теплообменом прибор впервые будет расположен внутри негерметичного приборного отсека космического аппарата. Это обстоятельство позволит снизить амплитуду термоупругих деформаций до величины 0.1 угл. с.

В целях повышения точности измерений значительно расширена телеметрическая информация передавая с прибора. Массив телеметрии снабжен координатами звезд, зарегистрированных на фотоприемнике, с использованием вычисленным прибором порогом отсеки. Одной из практической ценностей полученных измерений является их последующая наземная обработка, позволяющая скорректировать параметры геометрической калибровки, а гибкая система настроек программного обеспечения их оперативное применение непосредственно в полете. При этом пересчет модели дисторсии возможен самим прибором в специальном опциональном режиме.

Алгоритм работы прибора предусматривает интеллектуальный подход, к изменяющимся условиям космического полета, гарантирующий надежное распознавание в самом широком диапазоне угловых скоростей. К их числу можно отнести: подбор оптимальной экспозиции, сжатие отдельных фрагментов изображения (свертка), бинирование полного кадра и др. В докладе будут подробно рассмотрены соответствующие нюансы.

ВЫСОКОТОЧНЫЙ ЗВЕЗДНЫЙ ДАТЧИК НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ НАЗЕМНОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Дементьев В.Ю.

Институт космических исследований РАН

Производственный цикл создания прибора звездной ориентации подразумевает прохождение им большого количества проверочных мероприятий. Речь идет о проведении наземного комплекса испытаний, в процессе которых прибор ставится в условия, максимально приближенные к условиям космической среды, зачастую весьма враждебной. Наиболее традиционные из них: это термовакуумные испытания, климатические, стендовые, натурные испытания и др. В ходе каждого такого эксперимента происходит получение и аккумулирование значительных объемов телеметрических массивов. В настоящий момент эта информация хранится в сыром и расшифрованном виде в протоколах контрольно-испытательной аппаратуры без каталогизирования, что затрудняет ее использование и анализ. Особенно чувствительно это сказывается в многочасовых испытаниях с одновременным участием нескольких приборов. Трансляция телеметрической информации в таких экспериментах ведется параллельно с каждого прибора и регистрируется во множестве файлов.

Эта проблема предстала особенно остро для высокоточного звездного датчика нового поколения, характеризующимся увеличенной частотой опроса и заметно расширенной телеметрией. Для ее решения было создано специальное программное обеспечение, позволяющее в кратчайшие сроки выполнить анализ информации, поступившей с одного или нескольких приборов, в рамках заданного типа испытаний. Это дало возможность ускоренно оценить результат работы прибора в целом, обнаружить точечные аномалии в измерениях и оперативно отреагировать на них путем внесения соответствующих корректив в программно-математическом обеспечении. Протоколы испытаний существенно обогатились ценной сопроводительной информацией о состоянии прибора, наполнились статистическими оценками и графической визуализацией ключевых параметров.

Применение разработанного программного обеспечения носило также и исследовательский характер. Так, например, было доподлинно установлено, что время определения ориентации звездным датчиком стабильно держится в пределах 2.5 - 3.0 с и не зависит от внешней температуры. Этот результат был получен при апостериорном наблюдении за работой прибора в термокамере, где на протяжении суток температура менялась от -15°C до $+45^{\circ}\text{C}$ туда и обратно. Были произведены расчеты отклонения угловых параметров ориентации прибора, а также смещение энергетических координат звезд на КМОП-матрице при нормальных и экстремальных температурных значениях. Благодаря этому было достигнуто цельное представление о влиянии температуры окружающей среды на фотометрические характеристики прибора, величины темного тока и выбора им порога отсечки.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФОРМЫ КОРПУСА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОРБИТАЛЬНОГО МАНЕВРИРОВАНИЯ

Екимовская А.А.

Московский авиационный институт

Задача выбора компоновочной схемы вращающегося космического аппарата (КА) появилась из назначения конструкции. В баллистических работах было доказано, что вращающаяся космическая система может совершить орбитальный переход, например, манёвр Гомана, только за счёт запасённой кинетической энергии вращения [1].

В этой работе баллистические вопросы не рассматриваются, но появилось новое направление, связанное с конструкцией вращающихся космических систем. Простейшая модель стержневого вращающегося КА является очень приближённой, не рациональной для практического применения, служит только для иллюстрации возможности орбитального маневрирования разрывом стержня [2]. Вывод КА на орбиту – это очень дорогостоящее мероприятие. Значит, КА должны иметь наименьшую массу при максимальном полезном объёме, то есть рациональную форму конструкции [3]. С позиции вариационного исчисления такому условию удовлетворяет сфера. Но единичная сферическая конструкция не приспособлена для маневрирования разрывом связи.

Для поиска рациональных форм вращающихся космических аппаратов сначала потребовалось изучить свойства типовых геометрических фигур, прежде всего, частей сферы. Это нужно для выяснения условий состыковки единичных фрагментов в сложные конструкции. В частности, известна рациональная форма сферического аквариума для разведения рыбок, в котором срез сферы выполнен на половине радиуса. Такая открытая конструкция обладает максимальным объёмом при минимальной поверхности. Сразу появилась исследовательская задача о других вариантах рациональных компоновок единичных усечённых сферических отсеков, но теперь уже для вращающихся КА. Сначала была изучена расчётная схема конструкции в форме шарового сегмента в качестве элементарной структуры для комбинированной конструкции.

Первой задачей стало выяснение вопроса о возможности герметизации отсека плоской круговой крышкой. Математически были записаны формулы для объёма и поверхности блока, выведена целевая функция в виде отношения объёма к площади, а потом проведено исследование на максимум. Оказалось, что у шарового слоя экстремумы отсутствуют, поэтому надо оперировать наибольшим значением функции на заданном ограничительном отрезке значений возможного среза.

Первый простейший способ создания замкнутой конструкции заключается в состыковке двух оптимальных «аквариумов». Срез каждого отсека выполнен на середине радиуса. Такая система может быть закручена вокруг центральной оси, лежащей в плоскости среза. Каждый модуль получит линейные скорости вращения, а система в целом – кинетическую энергию вращения, которая высвобождается после разрыва кольцевой связи между отсеками. Эта конструкция не рациональна, потому что после разъединения получаются два открытых отсека.

Аналогично был исследован на экстремальные свойства сферический слой с двумя срезами. Оказалось, что у целевой функции тоже нет экстремумов. Но если один срез закрыть плоской круговой крышкой, то появится локальный максимум. Для максимизации отношения объёма к площади отсека с двумя срезами и одной крышкой, то есть сферической

части «аквариума» с плоским дном, надо сделать срезы на расстояниях приблизительно 0,255 радиуса, отсчитывая от конца радиуса, от сферы. Две крышки опять приведут к системе без экстремума.

Более интересной оказалась система из трёх шаровых слоёв. Для максимизации отношения объёма к площади поверхности трёх отсеков без перегородок надо сделать срезы на расстояниях приблизительно 0,545 радиуса, отсчитывая от конца радиуса, от сферы. Этот результат тоже очень похож на известный открытый сферический «аквариум», но срез должен быть несколько ближе к центру, 0,545 радиуса от сферы против 0,5. Но если ввести перегородки, результат изменяется принципиально. Для максимизации отношения объёма к площади трёх отсеков с двумя внутренними перегородками надо сделать срезы на расстояниях приблизительно 0,246 радиуса, отсчитывая от конца радиуса, от сферы. Этот результат интереснее с технической точки зрения, потому что центральный отсек можно сделать приборным, а концевые отсеки будут герметичными после разрыва связи вращающейся системы. Один герметичный отсек получит разгонный импульс, другой затормозится. Можно механически за счёт энергии вращения разогнать один герметичный отсек, а другие один или два, напротив, затормозить. Появилась возможность варьирования конструкции для решения целевой задачи. Двойные перегородки, для герметизации всех трёх отсеков после расстыковки, не дадут экстремума целевой функции. Но если двойные перегородки выполнить из листового материала с поверхностной плотностью в два раза меньше, чем у сферических слоёв, то опять получается задача с двумя формальными перегородками, хотя фактически их четыре. У конструктора появилась возможность выбора рациональной формы КА.

Таким образом, методами дифференциального исчисления можно предложить рациональную или оптимальную форму вращающейся космической системы для орбитального маневрирования посредством запасённой механической энергии.

Литература:

[1] Екимовская А.А. Орбитальный манёвр Гомана разрывом связей вращающейся трюсовой системы /Материалы Международного молодёжного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2022». Отв. Ред. И.А.Алешковский, А.В.Андриянов, Е.А.Антипов, Е.И.Зимакова. [Электронный ресурс] – М.: МАКС Пресс, 2022.

[2] Екимовская А.А. Орбитальное маневрирование разрывом вращающегося отрезка / VII Музруковские Чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 26-30 сентября 2022г./ ГБПОУ СПТ им. Б.Г. Музрукова, отв. за выпуск И.В. Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2022, 438 с. - С.148-152.

[3] Екимовская А.А. Вращающиеся системы – новый вид космических аппаратов / Сборник трудов XV Всероссийской студенческой научной школы «Аэрокосмическая декада». – М.: Издательство «Перо», 2022. – 269 с.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ПЕРЕЛЁТА В МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ ПРИТЯГИВАЮЩИХ ЦЕНТРОВ

Канищев Р.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Важным классом задач, связанных с планированием и баллистическим обеспечением миссий в дальний космос, является расчет и оптимизация перелетов космических аппаратов (КА) в системе притягивающих центров. Такие задачи возникают как при проектировании перелетов к внешним планетам, так и в ходе работы в системах планет-гигантов.

В рамках данного доклада рассмотрены численные решения модельной гравитационной задачи многих тел, как частного случая задачи Коши для системы обыкновенных дифференциальных уравнений. Постановка задачи осуществлена в рамках приближений основной математической модели небесной механики, как начальной задачи Коши с соответствующими начальными условиями.

Для численного решения данной задачи и обеспечения приемлемого времени построения множества траекторий применены методы Эйлера и Рунге-Кутты с использованием технологий параллельного программирования на видеокартах (GPU).

После построения фазового портрета динамической системы, производится отбор допустимых траекторий КА. Исследованы свойства устойчивости таких траекторий, достижимости целевых орбит и чувствительности портрета к изменению параметров системы. Рассмотрена оптимизация траекторий по минимальной продолжительности перелета.

Дальнейшее исследование предполагает решение экстремальных задач многокритериальной оптимизации траекторий управляемых перелётов КА с учётом возмущений и эфемерид реальных космических объектов.

РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ АГРЕГАТА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ "ВЕНЕРА-Д" В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ковешников А.А., Палешкин А.В.

Московский Авиационный Институт

Предложен способ обеспечения тепловой защиты привода грунтозаборного устройства на КА «Венера-Д». В силу возможной нехватки места в герметичном отсеке спускаемого аппарата может потребоваться размещать привод за пределами герметичного отсека, что требует разработки для него собственной теплозащиты. Способ обеспечения тепловой защиты заключается в применении в ее конструкции теплового аккумулятора с фазовым переходом, как ключевого элемента, парирующего внешние тепловые потоки. Разработана математическая модель термодинамических процессов, с ее помощью в результате проведения вычислительного эксперимента найдены оптимальные материалы для теплового аккумулятора, а также параметры геометрии тепловой защиты, позволяющие обеспечить наименьшую массу изделия. Разработано конструктивное решение тепловой защиты, представляющее собой электромотор с редуктором (привод), окруженный внутренним слоем теплового аккумулятора и внешним слоем из теплозащитного вещества, с выходным валом, зафиксированным радиально упорными подшипниками, находящимися в стакане. В работе представлено сравнение двух технических решений выбора вещества теплового аккумулятора в результате проведения вычислительного эксперимента.

КЛАССИФИКАЦИЯ ФОРМЫ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО КРИВЫМ БЛЕСКА

Кошева М.А.

НИУ Московский физико-технический институт

Возрастающее количество космических (КО) объектов требует быстрые методы определения их характеристик. Кривые блеска решают эту задачу. В данной работе предложен метод определения формы КО с помощью методов машинного обучения и нейронных сетей, которые помогут в классификации КО невыпуклых форм.

Для трех групп объектов простой геометрической формы был создан набор данных с кривыми блеска. Для одного КО, созданного со случайными параметрами, создавались 360 кадров наблюдений, моделирующих полное вращение КО. Кривая блеска получалась усреднением кадра наблюдения. Для наблюдений был добавлен гауссовский шум.

Размер набора данных кадров наблюдений для обучения уменьшался с 360 до 8 наблюдений, варьировался гауссовский шум.

Были реализованы следующие модели машинного обучения: метод опорных векторов с ядром Радиальной Базовой, случайный лес с оптимизацией гиперпараметров. Они показали точность (precision) больше 85% на выборках размером до 8 наблюдений и процентом шума до 15%.

Наборы данных разного размера и зашумленности так же были источником для обучения CNN, успешно показавшая себя в работе распознавания КО по кривым блеска [1]. Наборы данных уменьшенных размеров показали точность (accuracy) в 96% для набора из 28 компонент и 10% гауссовского шума.

CNN сохранила точность выше 90% для наборов разного размера и увеличением зашумленности до 20%.

Дальнейшая работа включает в себя работу с распознаванием материалов КО.

Литература:

[1] Furfaro R., Linares R., Reddy V. Space objects classification via light-curve measurements: deep convolutional neural networks and model-based transfer learning //AMOS Technologies Conference, Maui Economic Development Board. – 2018.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ЗЕЕБЕКА И ХОЛЛА ПРИ ЭСКИЗНОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА - ИССЛЕДОВАТЕЛЯ СРЕДНЕГО И ДАЛЬНЕГО КОСМОСА

Леонтьева Д.А

Московский Авиационный Институт

В 1821 году было открыто термоэлектричество. Открытие принадлежит прибалтийскому физика Томасу Зеебеку. Термо-ЭДС - электродвижущая сила, возникающая в электрической цепи, состоящей из 2-х проводников в частности полупроводников, контакты между которыми имеют различную температуру (Эффект Зеебека). Такая цепь называется термоэлементом (термопарой).

Данный эффект использовался при измерении температурных полей с помощью термопар на стенде лаборатории экспериментальных исследований. На реальных конструкциях, перспективных ЛА.

Целью настоящей работы было разработать возможность использования этого эффекта для получения батареи термо - ЭДС, которая будет использована для энергетического обеспечения КА, учитывая возможности создания на космическом аппарате разницы температур.

Эффект Холла заключается в возникновении поперечного электрического поля в пластине по которой протекает ток, при помещении ее во внешнее магнитное поле. Эффект Холла в данном случае используется для создания поперечного электрического поля объединенного электрического поля в батарее.

Для реализации эффекта Зеебека на борту космического корабля необходим перепад температур при движении его в космическом пространстве. Корпус будет принимать температуру межпланетной среды, для оценки T_1 100К соответственно, без учета радиационного нагрева (Солнце) части поверхности. Место повышенных температур можно создать с помощью ядерной энергии. Этот источник энергии (тепла) определит высокую (T_2) температуру. $T = T_2 - T_1$ Таким образом получается устройство без движущихся элементов.

Используемая литература:

- [1] В.П. Жузе, Е.И. Гусенкова Библиография по термоэлектричеству М. Л. 1963
- [2] С.А. Фридрихов физические основы электронной техники М. 1982
- [3] А.Ф. Коффе «Полупроводниковые термоэлементы» М.Л. 1960

СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА НАВИГАЦИИ

Муродов Г.А., Муминов А.А., Валиев С.Э.

Самарский университет

Статья посвящена исследованию орбитального движения спутников GNSS, GPS, GIOVE, GLONASS и GALILEO методом имитационного моделирования в среде SCILAB. Представлен сложный вычислительный материал в виде наглядного результата для получения качественных и количественных характеристик.

Введение. В настоящее время авиационная навигация гражданской авиации и воздушных судов занимает важнейшее место в России и в мире, поэтому требует особого внимания и внедрения разработки новых технологий для улучшения быстродействия, и снижения рисков столкновения с другими летательными аппаратами.

Интересы РФ, как морской державы, устанавливают надобность в развитии гражданской авиации и отечественного аэрокосмического прогноза морей и океанов, находящихся вокруг ее территорий, которые, в свою очередь, являются фактором международной стабильности и важным стратегическим объектом.

XXI век отличается несколькими важными событиями, которые имеют значение для человечества. В этот же ряд входят глобальные радионавигационные спутниковые системы позиционирования, которые широко используются в системах массового обслуживания по «теория графов, теория алгоритмов, теория надёжности, теория оптимизации, теория автоматов, математическая теория, теория кодирования, теория принятий решения» [1].

В настоящее время для решения данной проблемы была рассмотрена возможность получения модификации орбитальной группы (группировки) спутников GNSS, GPS, GIOVE, GLONASS и GALILEO в программной среде SCILAB методом имитационного моделирования.

Всякий летательный аппарат источает особые навигационные сигналы на нескольких несущих частотах, которые обеспечивают определение скорости и расположения по заранее заданным координатам с измерениями доплеровского смещения частоты, излучаемого со спутников двухчастотного (150 и 400 МГц) радиосигнала. Помимо этого, спутник дополнительно к доплеровскому двухчастотному излучает ещё и импульсный радиосигнал на частоте в пределах 10 ГГц, длина волны которого находится в пределах - 3 см. При передаче сигналов на различных несущих частотах, квадратурные компоненты сигналов сталкиваются с фазовой манипуляцией при использовании различных дальномерных псевдослучайных последовательностей (ПСП). Конструкция некоторых из этих ПСП обработана и размещена таким образом, чтобы этот сигнал имел возможность приниматься всеми покупателями. Однако, часть конструкции ПСП закрыта и недоступна для общего пользования, поэтому доступ к этому сигналу ограничен лишь для организованных покупателей, которые знакомы с конструкцией ПСП и имеют доступ к этим данным.

Главным достоинством данной системы является её предельная простота и точность обработки информации. Радионавигационные системы, основанные на данном принципе, являются первыми в своём роде.

Вывод: в процессе выполнения этого исследования были изучены и приведены характеристики и принципы использования спутников GNSS, GPS, GIOVE, GLONASS и GALILEO. Также были рассчитаны координаты, орбиты, скорости, время видимости и количество видимых летающих объектов с помощью полученной информации со спутников в программной среде SCILAB. Данное исследование будет важно для развития гражданской авиации и отечественного аэрокосмического мониторинга морей и океанов, омывающих территорию РФ.

Список использованных источников:

- [1] Богданов М.Р. ИД Интеллект “Применения GPRS-ГЛОНАСС. Учебно-справочное руководство” технологии 2012г.
- [2] Беляев Н.Д., Ермаков В.С., Загрядская Н.Н., Михаленко Е.Б. “Глобальные системы позиционирования” ИКФ Каталог, Москва, 2002 г., 106 стр.
- [3] Б. Андриевский, А. Фрадков "Элементы математического моделирования в программных средах MATLAB 5 и Scilab" СПб.: Наука, 2001. 286 с.

О НАЗЕМНЫХ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДАХ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОРАНЖЕРЕИ МГУ

Николадзе Г.М., Сазонов В.В., Морозов О.В.,
Антонова Л.Д., Беляков Н.В., Благова М.А.,
Ганичева А.А., Горшков Н.Н., Госсе Д.Д., Гросс А.А.,
Егоров М.В., Егоров П.В., Ильина И.А., Керов Ю.В.,
Комиссаров Н.С., Лозина Ю.Б., Раевская А.В.,
Сазонова С.В., Самыловский И.А., Самыловская А.К.,
Санкин А.Е., Смольникова Е.В., Хабарадзе Д.Э.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Для проведения наземных испытаний космических приборов, как части технологической цепочки жизненного цикла изделий, необходима координация усилий многих людей. В первую очередь, это оптимизирует трудозатраты проекта, снижая стоимость конечного продукта. Кроме того, необходимо учитывать и специфику создаваемой аппаратуры, для которой могут быть необходимы уникальные метрологические и исследовательские поля.

Для нового космического проекта «Оранжерея МГУ» необходимо, чтобы основная испытательная база (связанная, в первую очередь, с процессом вегетации) находилась на одной территории и имелась возможность оперативной доставки образцов от одного испытательного стенда к другому (особенно, для биологических объектов) и размещения стендов в одном помещении, в случае необходимости их совместного использования. В рамках проекта «Оранжерея МГУ» создаются уникальные собственные испытательные стенды. Планируется воспроизвести по отдельности, последовательно, как в космическом полете, так и в различных комбинациях некоторые факторы космического полета: режимы механического нагружения при полёте, изменения магнитного поля по траектории МКС, изменение вектора гравитации (для исследования влияния гравитации на грибы и растения, необходимого при выборе видов для последующей их культивации на борту). Стенды создаются унифицировано, с возможностью совместного использования, например, имеется возможность помещать клиностат внутрь установки для изменения магнитного поля.

Все агрегаты стендов оборудованы держателями для ёмкостей, которые будут использоваться на борту РС МКС и обеспечивают возможность одновременного исследования 10 биологических образцов. Такой метод исследования образцов на Земле и сравнение результатов с полётными данными позволит определить с большей степенью достоверности причины специфических изменений биологических тканей, выделить один из факторов влияния либо комбинацию внешних воздействующих факторов. Такой подход к комплексной экспериментальной отработке позволит усовершенствовать научную аппаратуру «Оранжерея МГУ» с целью нейтрализации выявленного негативного воздействия, и/или нахождения способа использования данного воздействия для совершенствования качеств культивируемой продукции.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМ ВЫРАЩИВАНИЕМ РАСТЕНИЙ

Николадзе Г.М., Сазонов В.В., Морозов О.В.,
Антонова Л.Д., Беляков Н.В., Благова М.А.,
Ганичева А.А., Горшков Н.Н., Госсе Д.Д., Гросс А.А.,
Егоров М.В., Егоров П.В., Ильина И.А., Керов Ю.В.,
Комиссаров Н.С., Лозина Ю.Б., Раевская А.В.,
Сазонова С.В., Самыловский И.А., Самыловская А.К.,
Санкин А.Е., Смольникова Е.В., Хабарадзе Д.Э.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Выращивание растений в условиях космического полёта сопряжено с рядом трудностей. Самой главной трудностью является потребность растений в большом количестве воды. Одним из способов уменьшить количество потребляемой растениями воды является переход на выращивание растений без почвы. Наиболее экономичным способом выращивания растений является применение aeropоники [1,2], при которой вода и питательные вещества подаются к корневой системе растений посредством маленьких капель.

Одной из важных особенностей aeropоники является наличие автоматики для управления распылителями. Кроме управления распылителями автоматика должна управлять системой подсветки. В работе описана система автоматического управления для установок aeropоники. Система автоматического управления построена на основе однокристальной микроЭВМ Atmel AT91SAM7X256 [3]. Эта микросхема была выбрана из-за большого количества периферийных устройств и поддержки как классической системы команд ARM, так и более компактной системы команд Thumb. Несмотря на то, что система должна обеспечивать автономное выращивание растений, в ней предусмотрена возможность непосредственного вмешательства в процесс с помощью подключаемого по USB внешнего персонального компьютера.

Литература:

- [1] Мураш И. Г., Aeropоника в теплицах, М. 1964
- [2] Мураш И. Г., Опыты по aeropонике в школе, М. 1969
- [3] Редькин П. П., 32/16-битные микроконтроллеры ARM7 семейства AT91SAM7 фирмы Atmel, М. 2008

КОНЦЕПТ МИССИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ АСТЕРОИДОВ ДЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «СПЕКТР-РЕНТГЕН-ГАММА»

Пупков М.В.^{1,2}, Эйсмонт Н.А.¹, Старинова О.Л.²,
Зубко В.А.¹, Федяев К.С.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Самарский университет им. Королева*

«Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ) – космическая обсерватория, предназначенная для исследования Вселенной и построения ее полной карты в рентгеновском диапазоне. Космический аппарат был успешно выведен в 2019 году на рабочую орбиту в окрестности солнечно-земной точки либрации L2. Основные миссии обсерватории должны быть выполнены к началу 2026 года, однако к этому времени на борту СРГ останется запас топлива, достаточный для осуществления дополнительных научных исследований.

В данной работе предлагается использовать часть оставшегося топлива для осуществления орбитальных маневров, необходимых для близкого пролета некоторых потенциально опасных астероидов. По отклонению орбиты СРГ из-за гравитационного воздействия небесного тела можно оценить массу последнего при проведении траекторных измерений. Также существует возможность получить изображение исследуемого астероида при помощи установленного на борту космической обсерватории звездного датчика БОКЗ-МФ. Подобный подход к изучению небесных тел был реализован в нескольких проектах. Одним из них является ICE-3 (ISEE-3) – после достижения поставленных целей космический аппарат был перенаправлен к кометам Джакобини-Циннера и Галлея. Стоит отметить и межпланетную станцию “NEAR Shoemaker”. При пролете астероида Матильда на расстоянии порядка тысячи километров удалось получить более 500 его изображений, измерить магнитное поле и массу.

В качестве объектов для исследования выбраны астероиды 1990 MU и Апофис. Очередные тесные сближения данных небесных тел с Землей состоятся в 2027 и 2029 годах соответственно. Показано, что космическая обсерватория СРГ может сблизиться с указанным астероидами на любое наперед заданное расстояние при имеющихся ограничениях на величину характеристической скорости. Подтверждено, что после сближения с астероидом Апофис космический аппарат может сохранить орбиту в окрестности точки либрации L2 системы Солнце-Земля.

В работе также приведена визуализация траекторий движения космических аппаратов Gaia и James Webb Space Telescope, функционирующих вместе с СРГ вблизи точки L2. Для обсерватории Gaia рассчитана траектория перелета к астероиду 1997 NC1 для случая завершения основной миссии в 2026 году. Предварительные расчеты показывают перспективность указанного подхода. Основными преимуществами являются оперативность таких миссий и экономия земных ресурсов.

ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ПЛАНИРОВАНИЕМ РАБОТЫ ГРУППИРОВКИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Самыловский И.А., Филиппов А.А.,
Царегородцев А.Ю., Богачева А.Е., Абрамова В.В.,
Комаровский А.Ю., Крымшамхалов А.Х., Сазонов В.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Явный тренд на использование многоспутниковых группировок предъявляет требования к поиску новых и совершенствованию имеющихся методов управления ими. Двумя классическими областями исследования являются методы, основанные на исследовании группировки как набора динамических объектов (в частности, такие методы позволяют решать задачи уклонения от столкновений по аналогии с задачами диспетчеризации авиационного и морского транспорта) и как набора «агентов». Агентный метод доказал свою масштабируемость и адаптивность, что очень важно при появлении новых заявок на съемку и сброс, выходе из строя элементов группировки и т. д. С другой стороны, в качестве входных данных агентный метод требует предрасчитанных «конфигураций» съемки, на основе которых проводится разрешение потенциальных конфликтов. Кроме того, агентный метод, конечно, находит лишь «субоптимальное» решение, что, однако, компенсируется скоростью работы. Методы, основанные на теории управляемых систем, могут претендовать на поиск как минимум удовлетворяющих необходимым условиям оптимальности режимов работы, но сталкиваются с трудностями при масштабировании (для «честного» качественного исследования приходится ставить задачу большой размерности и выписывать соответствующий функционал) и при изменении списка задач.

В рамках настоящей работы ставится задача применения обоих подходов для комплексного планирования работы типовой космической системы. Имеется набор управляемых объектов (малые спутники) и набор объектов космического мусора. Малые спутники должны, во-первых, обеспечить уклонение от столкновений с элементами мусора и при этом избежать столкновения друг с другом, и, во-вторых, обеспечить съемку целевых объектов и сброс информации на наземные пункты в соответствии с запросом на работу системы. Движение центров масс спутников и элементов космического мусора моделируется, соответственно, управляемыми и неуправляемыми системами дифференциальных уравнений (начальные условия движения могут быть получены в том числе заданием модельных кеплеровских орбит или загрузкой типовых наборов файлов TLE). Для спутников ставится задача поиска минимума взвешенного функционала — «свертки» локальных максиминных критериев в парах «спутник — спутник» и «спутник — космический мусор». После вычисления управлений, обеспечивающих уклонение от столкновения, на полученных траекториях — сшивках участков активного и пассивного движения проводится расчет потенциальных окон съемки и сброса, которые отправляются на вход программе мультиагентного планирования, осуществляющей распределение этих «заказов». Приводятся примеры расчетов для «типовых» конфигураций космической системы, для различных вариантов расположения станций приема и объектов съемки на поверхности планеты.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СБЛИЖЕНИЯ И ВСТРЕЧИ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Самыловский И.А., Бирюков Д.А., Беляков Н.В.,
Филиппов А.А.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

В теории и практике задач терминального и оптимального управления важную роль играют задачи, связанные со сложным движением динамических объектов — твердых тел. Как правило, такие задачи возникают при моделировании безопасного совместного маневрирования, избегания столкновений или, напротив, при планировании сближения. Возникает круг вопросов как математического (выбор систем координат, в которых записываются уравнения движения, исследование необходимых и достаточных условий оптимальности процесса и т. д.), так и инструментального характера. К последним вопросам относятся, в частности, настройки списка свойств, изменение которых предполагается отслеживать в ходе процесса моделирования.

В рамках данной работы рассматривается типовая задача моделирования динамики сложного движения двух твердых тел. Каждое из них описывается геометрической структурой (3D модель) и тензором инерции, приведенным к главным осям. Предполагается, что оба тела движутся в поле действия внешних сил, в качестве которых рассматривается гравитация Земли (центральное/нецентральное поле), гравитация Луны, гравитация Солнца либо параметризованное векторное поле («поток», сносящий тело). Ставится задача, во-первых, моделирования совместных маневров двух тел, включая отслеживание их столкновения в рамках модели абсолютно упругого удара, и, во-вторых, задачи управления их сложным движением таким образом, чтобы либо линейные и угловые скорости сравнялись (задача о встрече), либо минимальное расстояние между телами достигало максимума на моделируемом интервале (задача об уклонении).

В простейшем варианте вращательное движение каждого из твердых тел описывается совокупностью кинематических (Пуассона) и динамических (Эйлера) уравнений в предположении о том, что тела движутся в инерциальном пространстве. Поступательное движение также моделируется в инерциальном пространстве с учетом стандартных возмущающих факторов. На первом этапе после задания начальных условий движения проводится расчет траектории сближения и, в случае определения столкновения рассчитываются параметры абсолютно упругого удара. Траектория, таким образом, представляет собой «сшивку» участков «до» и «после» удара с непрерывным изменением фазовых переменных — координат и разрывами фазовых переменных — прямоугольных и угловых скоростей. На втором этапе ставится задача определения параметров движения, которые гарантировали бы либо уклонение объектов, либо их встречу с минимальным ударным воздействием. Для уклонения достаточно рассмотреть ограничивающие эллипсоиды обоих тел и поставить задачу поиска максимума минимального расстояния между объектами. Для «стыковки» требуется обеспечить сонаправленность ортов строительных систем координат объектов, минимум расстояния между выбранными осями и минимум квадрата модуля скорости встречи.

ПРОГРАММНО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА КАК МНОГОМОДУЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Самыловский И.А., Абрамова А.А., Беляков Н.В.,
Бирюков Д.А., Филиппов А.А., Царегородцев А.Ю.,
Богачева А.Е., Комаровский А.Ю.,
Крымшамхалов А.Х., Сазонов В.В.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

На сегодняшний день обязательным требованием к проектированию спутников различного назначения является системный подход, при котором сам спутник является, во-первых, иерархически организованной системой, элементы которой характеризуются как минимум своими массо-габаритными, кинематическими и динамическими свойствами, и, во-вторых, частью системы, включающей в ходе срока активного существования как минимум наземный и космический сегменты. Как на этапе проектирования, так и на этапе эксплуатации обязательным является применение таких программных комплексов как STK, FreeFlyer, GMAT и т. д., охватывающих различные аспекты комплексного моделирования космической системы в целом. Разработка программно-математических инструментов, позволяющих работать с редактируемым составом объектов моделирования и предоставляющих как минимум функциональность «интегрированной среды разработки» для баллистика, по-прежнему является востребованной областью деятельности.

Целью настоящей работы является исследование возможностей программного комплекса MIDE, разработанного факультетом космических исследований, в области комплексного моделирования работы космических аппаратов, включая орбитальные станции. При таком моделировании, наряду с использованием верифицированных моделей движения центра масс и вращательного движения, важной является поддержка возможности моделирования объекта как иерархической структуры, например, космического аппарата как совокупности блока полезной нагрузки и блока служебных систем, каждый из которых, в свою очередь, делится на соответствующие подсистемы. Особенный интерес представляет такая возможность для моделирования многомодульных станций, подобных МКС и перспективной РОСС.

Программный комплекс MIDE в базовом варианте рассматривает виртуальный «мир» как совокупность физических объектов (планеты, звезды, наземные станции с установленными на них сенсорами и космические аппараты с установленными на них сенсорами). К каждому из физических объектов привязываются «источники данных» о положении и ориентации (ими служат файлы данных, системы уравнений движения, наборы орбитальных элементов либо телеметрия) и настраиваемый набор «абстрактных объектов»: векторы, углы, плоскости и т. д., включая, например, ориентацию, заданную относительно системы координат, совершающей сложное движение относительно другой системы координат.

В рамках данной работы комплекс был дополнен функциональностью, позволяющей «собирать» участвующие в моделировании объекты из отдельных блоков. Типичным примером использования подобного подхода является моделирование работы полезной нагрузки КА таким образом, чтобы оператор, работая со всеми составными частями как с полноценными объектами, мог настраивать их параметры, «огрубляя» второстепенные для целей моделирования объекты. Приводятся примеры использования такого подхода для следующих вариантов моделирования: 1) космический аппарат с оптической полез-

ной нагрузкой, организованный как многоуровневая система и допускающий моделирование поступательного и вращательного движения; 2) многомодульная станция (РОСС), допускающая настройку состава, поворотов солнечных батарей, расположения модулей и сенсоров и допускающая исследование типовых вариантов работы на различных типах орбит.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОРБИТАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Сирий Р.С., Баранов П.С.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»

Ежегодное увеличение космических запусков вследствие человеческой деятельности на протяжении десятилетий привело к колоссальному количеству космического мусора (КМ) на околоземной орбите. Эти объекты достигают размеров от нескольких миллиметров до нескольких метров и движутся с первой космической скоростью и выше. Также, разный КМ движется на разных непредсказуемых орбитах и по случайным траекториям. Таким образом, такие объекты представляют опасность как для пилотируемых миссий, так и для беспилотных космических аппаратов (КА).

На сегодняшний день существует множество систем компьютерного зрения (СКЗ), выполняющих задачу мониторинга КМ, причем наиболее точные по позиционированию объекта являются оптические системы. Однако, все они являются наземными, что неминуемо приводит к ряду ограничений.

Вывод таких систем на орбиту Земли позволит обойти данные ограничения. Существует ряд миссий, в рамках которых на орбиту запускали оптические системы, выполнявшие ограниченный мониторинг и доказавших принципиальную возможность регистрации КМ на базе таких систем.

Кроме этого, существует множество работ, посвященных мониторингу космического мусора посредством орбитальных СКЗ. Однако, главная проблема в том, что среди данных работ не существует единой методики оценивания эффективности мониторинга как комплексного процесса.

Целью данной работы является формирование вариантов построения орбитальных СКЗ при едином методе оценки обнаружения для мониторинга КМ, разработанного ранее авторами. На базе предложенного метода была произведена оценка возможности регистрации КМ запущенными КА. Теоретическая оценка показала малое расхождение с практическими данными, что говорит о корректности метода.

В данной работе было предложено несколько конфигураций систем на современной компонентной базе, что позволило увеличить количество регистрируемых объектов в кадре более чем в 100 раз по сравнению с системами в запущенных миссиях.

Было выявлено, что такие параметры, как фокусное расстояние, время кадра, и отношение радиуса кружка рассеяния объектива к размеру пиксела помимо влияния на количество растрелируемых объектов КМ, определяют форму изображения смаза.

Представляет интерес оценка распределения КМ по длине смаза при различных параметрах. Это необходимо для определения стратегии разработки алгоритмов обнаружения и расчета центра координат изображений КМ. По результатам анализа было выявлено, что 75% всех регистрируемых объектов системой Коронас Ф являлись точечными, а на смазы длиной от 1 до 4 пикселей приходится 90% от общего числа.

УСТРОЙСТВО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОСМОНАВТОВ

Спирин А.Е.

*Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени
Ю.А.Гагарина*

Одной из фундаментальных проблем освоения космического пространства является агрессивная космическая среда, как для безопасности жизнедеятельности человека в космосе, так и для космического приборостроения, в том числе, обеспечивающего такую безопасность. При этом основным является телеметрия систем функциональной диагностики космонавта и мониторинг его психофизиологического состояния. При планировании перспективных полётов – за пределы околоземной орбиты, на Луну, Марс или далее незаменимыми средствами станут системы поддержки принятия решений и/или экспертные системы, которые сформулируют либо правильные решения, либо дадут рекомендации для выбора действий.

На Земле такие системы уже широко внедряются [1,2]. Пользуясь базами данных, базами знаний и базами прецедентов они позволяют решать трудно формализуемые задачи, у которых отсутствует или не известен алгоритм решения или обладают достаточно большими размерностями. Последние прецедентные данные накапливаются как по статистическим выборкам деятельности человека (на Земле), так и по техногенным (нештатным ситуациям) и природным, не зависящим от человека, обстоятельствам.

В условиях предикативной неопределённости дальнего космоса и малоизученности его воздействия как на психофизиологическое/психоэмоциональное состояния человека, так и на надёжность космической техники таких прецедентных данных (как штатных, так и внештатных ситуаций) ничтожно мало. Поэтому важно моделирование такого симбиоза в виде гибридно-интеллектуализированного человеко-информационного взаимодействия (НООН-моделирования).

Многочисленные работы по оцениванию профессиональной пригодности специалистов опасных профессий, как правило, состоят в регистрации и анализе ряда физиологических и психофизиологических параметров в экстремальных условиях [например: 3–7]. На их основе вычисляют: либо интегральный показатель функционального состояния с формированием «функционального паспорта» специалиста [3], либо корреляционные связи между результативностью деятельности и величиной затрат организма [4], либо интегральный показатель профессиональной пригодности [5], либо комплексной психофизиологической оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности [6,7] и так далее.

В работе предложен концепт – устройство, обеспечивающее дистанционный мониторинг психофизиологического состояния космонавта, позволяющий путём использования НООН-технологии смоделировать базу виртуальных прецедентов, и на основании имитации последних диагностировать психофизиологическое состояние космонавта путём мультимодальной детекции речи, глазодвигательной активности, мимики, жестов и мелкой моторики.

Устройство направлено на решение основных задач: мониторинга профессиографических и психофизиологических параметров испытуемого (тестируемого) с помощью мультимодального (зрительные, слуховые, тактильные и др. сигналы-стимулы) интерфейса в

заданной области профессиональных знаний в режиме реального времени; обеспечения рефлекса и обратной передачи информации о характере и силе рефлекторного действия в центральную нервную систему для оценивания физиологически адекватного управления (включая тактильность и мелкую моторику); определения динамики глазодвигательной активности – динамики движения точки пересечения оптической оси глазного яблока и плоскости наблюдаемого события на экране сенсорного дисплея, на котором предъясвляется динамическое событие в определённой области профессиональных знаний в виде комбинации графическо-числовой и/или текстово-символьной информации; преобразования речевого сигнала в цифровую информацию с распознаванием лексем языка, типа и назначения речи, качества и интонации голоса, в том числе частоты тона, громкости, тембра и темпа, а также реализация интерфейса безмолвного доступа, основанного на получении и обработке речевых сигналов на ранней стадии артикулирования.

Основу устройства составляют подсистема моделирования (НООН-моделирования) с аудиальными, визуальными и сенсомоторными моделями, подсистема мультимодальной детекции с компонентами распознавания речи и оптического отслеживания глазодвигательных реакций, мимики и жестов и база виртуальных прецедентов.

Подсистема НООН-моделирования представляет сведения, содержащиеся в информации с использованием отдельного или интегрированного объектно-ориентированного (познавательного) интерпретационно-имитационного предметного (прагматического) моделирования в виде картинных с необходимым аудиальным сопровождением образно-воспринимаемых знаковых моделей, соответствующих психофизиологии мышления человека-оператора, применяющего эти модели. Предназначена для моделирования проблемной ситуации – правдоподобных действий в определённый момент времени с использованием многомодального человекоинформационного интерфейса с целью последующего анализа психофизиологического (психоэмоционального) состояния тестируемого путём принимаемых решений на основе «здравого смысла».

Подсистема мультимодальной детекции с аудио- и видео- детекторами и компонентами распознавания речи и оптического отслеживания глазодвигательных реакций, мимики и жестов совместно с интерактивным интерфейсом ввода-вывода информации позволяет вести более эффективный клиаративно-креативный диалог за счёт дублирования передаваемой информации по разным информационным каналам и замещая какие либо каналы дополнять доступными для тестируемого входными и выходными модальностями. При этом входные модальности отвечают за восприятие информационных потоков, идущих от человека (речь, звуки, движение тела, жесты, сенсомоторика и тактильность пальцев кистей рук, рукописный текст и т.п.). Выходные модальности обеспечивают тестируемого необходимой информацией о событиях, происходящих внутри системы и поступающих сигналов.

Результаты мониторинга представляются в виде профессиографического анализа и психофизиологических параметров, в том числе включая такие как личностный адаптационный потенциал, дезадаптационные нарушения, нервно-психическая устойчивость и общая личностная тревожность, с учётом процессов фрустрированности, агрессивности, ригидности и т.п.

Полученные технические результаты реализации предложенного концепта могут стать основой для перспективных направлений будущих исследований как по делегированию соответствующих компетенций членам экипажа, так и по защите космонавтов от облучения, включая лекарственную терапию, генную инженерию или технологию гибернации. А также могут быть использованы в предикативной аналитике для оптимизации организационных и управленческих решений при кадровом отборе персонала, подборе и расстановке кадров, при профессиональной ориентации обучающихся и отборе в учебные заведения, включая специализированные и т.п.

Список использованных источников:

[1] Джозеф Джарратано, Гари Райли «Экспертные системы: принципы разработки и программирование»: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 стр. с ил.

[2] Залюбовский И.Н. Искусственный интеллект – революция в делегировании // Журнал Искусство управлять №3. 2019. С.24-29; <http://ipro-etalon.ru/>, доступ свободный.

[3] Щербакова А.Э., Попова М.А., Современные подходы к диагностике адаптационных возможностей профессиональной надёжности специалистов экстремальных профессий // Медико-физиологические проблемы экологии человека: Материалы VI Всероссийской конференции с международным участием (19-23 сентября 2016 года).– Ульяновск, 2016. – С. 178-179.

[4] Патент RU 2 655 186. Способ контроля функционального состояния человека в экстремальных условиях деятельности / Петров В.А., Иванов А.О., Пульцина К.И., Эль-Салим Суад Зухер.

[5] Патент RU 2 392 860. Способ определения профессиональной надёжности специалиста экстремального профиля деятельности и устройство для его осуществления/Гриценко Г.Н., Колючкин С.Н., Седин В.И., Смирнов Б.П.

[6] Патент RU 2 716 339. Способ оценки профессиональной пригодности специалистов опасных профессий/ Мыльченко И.В. и др., Попова М.А., Щербакова А.Э., Каримов Р.Р.

[7] Патент RU 2 314 029. Способ комплексной психофизиологической оценки индивидуально-типологических особенностей целенаправленной деятельности личности/ Журавлев Б.В., Муртазина Е.П., Ломакина Т.Е.

КАЛИБРОВКА БОРТОВЫХ МАГНИТОМЕТРОВ НА СТЕНДЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ НАНОСПУТНИКА

Эспиноза Валлес А.С., Николаев П.Н.

*Самарский национальный исследовательский университет имени академика
С.П. Королева*

В задаче управления космическими аппаратами важное место занимает определение их ориентации. В этих задачах, на протяжении многих лет использовалось большое многообразие измерительных приборов, среди которых выделяются магнитометрические, измеряющие компоненты магнитного поля Земли. В силу этого, возникает необходимость оценить направление и величину напряжённости магнитного поля с высокой точностью. Основная проблема любого датчика заключается в необходимости его предварительной калибровки. Например, большой вклад в погрешность измерений магнитометров вносит смещение нуля, связанное с технологией их изготовления и внешними магнитными возмущениями.

Для калибровки бортовых магнитометров в данной работе предлагается использовать стенд полунатурного моделирования движения наноспутников. На межвузовской кафедре космических исследований Самарского университета данный стенд применяется для отработки и тестирования создаваемых малогабаритных космических аппаратов. В состав стенда входят комплекс имитации магнитного поля (КИМП) Земли, воздушный подвес, имитатор звёздного неба и имитатор Солнца. КИМП включает три пары магнитных катушек, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Катушки позволяют создать магнитное поле в центре стенда, соответствующее положению космического аппарата на орбите. Для измерения заданного магнитного поля стенд оснащается эталонным магнитометром. Величина и направление создаваемого поля изменяется за счёт изменения силы тока, подаваемого на катушки. Величина тока устанавливается с помощью программно-управляемого источников тока.

Для определения составляющих смещения нуля по трём осям задаётся постоянный по модулю профиль магнитного поля, направление которого меняется по окружности в горизонтальной плоскости. Так, составляющие задаваемого поля, лежащие в горизонтальной плоскости, имеют гармонический характер. В этом случае смещения нуля магнитометров по каждой из осей представляют собой отклонения наибольшего значения заданного профиля от наименьшего.

Проведена калибровка магнитометрических средств наноспутника SamSat-ION. Измерительные средства SamSat-ION включают в себя МЭМС-датчики MPU-9255, состоящие из трёхосевых гироскопов, трёхосевых акселерометров, трёхосевых магнитометров, и высокоточные трёхосевые магнитометры ММС5883. Наноспутник располагался в центральной части стенда на воздушном подвесе, так чтобы измерительные оси датчиков были параллельны основным осям стенда. Чтобы не брать в расчёт влияние опоры аэродинамического подвеса на измерения магнитометров, поле генерировалось только по горизонтальной плоскости, в плоскости X-Y наноспутника. Затем наноспутник переворачивался и эксперимент повторялся в плоскости X-Z. В ходе испытаний был получен набор измерений магнитного поля с привязкой ко времени, по которым были оценены смещения нуля компонент магнитного поля.

В работе предложен подход к калибровке магнитометров на стенде полунатурного моделирования динамики углового движения наноспутника. На основе предложенного подхода оценены смещения нуля МЭМС-магнитометров MPU-9255 и ММС5883 наноспутника SamSat-ION. Данный подход обеспечивает оценку вектора смещения нуля измерений магнитометров с погрешностью порядка 2 нТл.

Работа выполнена в рамках проекта 0777-2020-0018, финансируемого из средств государственного задания победителям конкурса научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России.

ПОДГОТОВКА ПРОГРАММЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУННОГО РЕГОЛИТА НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ ПРИ ПОМОЩИ ЛУННОГО МАНИПУЛЯТОРНОГО КОМПЛЕКСА В РАМКАХ ПРОГРАММЫ ЛУНА-25

Яковлев В.А., Литвак М.Л.

Институт космических исследований РАН

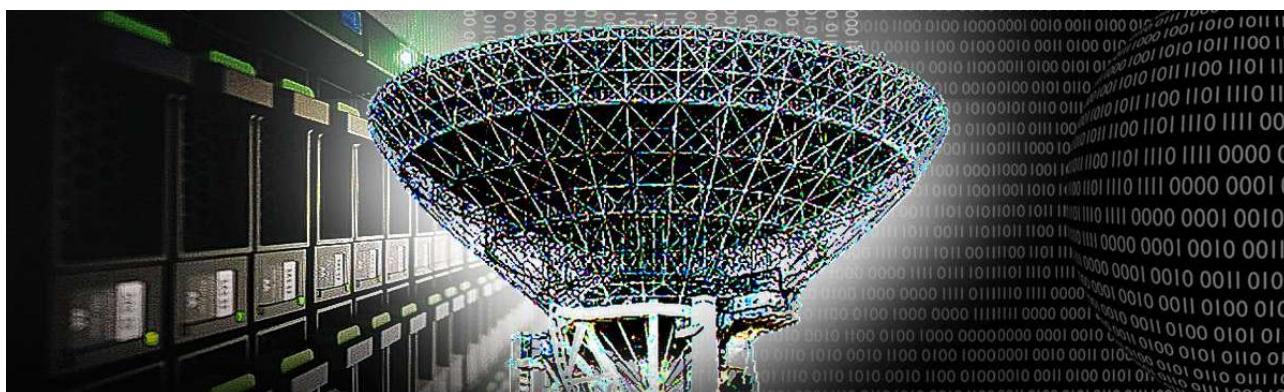
Лунный посадочный модуль «Луна-25» - первая лунная российская автоматическая станция, старт которой назначен на 13 июля 2023г. На борту установлен комплекс научной аппаратуры для изучения минералогического, химического, изотопного состава лунного реголита, поиска летучих соединений (в том числе водяного льда и органических веществ) и анализа физико-химических свойств лунного реголита.

В состав научной аппаратуры входит группа приборов для изучения лунного реголита: лунный манипуляторный комплекс (ЛМК), стереокамеры (СТС-Л и ТВ-РПМ), инфракрасный спектрометр (ЛИС) и лазерный масс-спектрометр (ЛАЗМА). Их совместная работа позволит выполнить основную научную задачу миссии «Луна-25»: проведение анализа забранного образца лунного грунта и возможное обнаружение водяного льда. В ИКИ РАН было проведено большое количество наземных испытаний, позволивших откалибровать каждый прибор по отдельности и отработать их взаимодействие друг с другом. Основная цель таких испытаний – это создание программы управления комплексом научной аппаратуры в течение первых лунаций.

Программа исследования лунного реголита начнется сразу же после посадки Луны-25 и будет включать ряд специальных операций, чтобы подготовить научную аппаратуру к работе на поверхности Луны. Будут получены панорамные снимки, а также фотографии ЛМК и его рабочей зоны. Сам ЛМК как можно быстрее должен быть переведен из транспортного положения в одну из своих дневных парковок, чтобы обеспечить его температурный режим. После этого необходимо проверить функционирование остальных приборов и провести тестовый выход ЛМК к приемному окну прибора ЛАЗМА, чтобы убедиться, что механические и температурные деформации не повлияли на движение ЛМК, отработанное на Земле. Если надо по контрольным снимкам СТС-Л и ТВ-РПМ будут внесены необходимые коррекции в траекторную поддержку ЛМК. Только после этого будут совершены первые попытки забора образцов лунного и грунта и их доставки в прибор ЛАЗМА.

Эта комплексная программа и ее многочисленные вариации отрабатывалась на стендах в ИКИ РАН, что позволило сформировать программу первого лунного дня на поверхности Луны сразу после посадки.

ТЕОРИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



АНАЛИЗ ПОРОГОВОГО РЕЖИМА МЕЛКОМАСШТАБНОГО ДИНАМО В РАМКАХ КАСКАДНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

Абушзаде И.З.¹, Юшков Е.В.², Соколов Д.Д.³

¹ *Бакинский государственный университет, Азербайджан*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

В настоящее время механизм формирования крупномасштабного магнитного поля звезд и планет в целом понятен и описывается так называемой теорией магнитного динамо. Однако помимо этого хорошо изученного процесса генерации, есть также и весьма похожий процесс перекачки гидродинамической энергии в магнитную – мелкомасштабное или турбулентное динамо.

Мелкомасштабное динамо описывает процесс генерации магнитной энергии на масштабах меньших или сравнимых с характерной корреляционной длиной случайного поля скорости. Этот процесс генерации описывается путем усреднения второго момента магнитного поля, так как в отличие от крупномасштабного среднее поле в мелкомасштабном процессе может не расти, а растет только средняя магнитная энергия. Для простейшего случая, без дифференциального вращения и без зеркальной асимметрии уравнение для мелкомасштабного динамо впервые было получено А.П. Казанцевым [1]. Отличительной чертой модели Казанцева является то, что такая мелкомасштабная генерация — является пороговым явлением, то есть генерация возможна, только если магнитное число Рейнольдса достаточно велико, больше критического значения. Однако все оценки до настоящего времени были получены именно в рамках модели Казанцева для короткокоррелированного конвективного потока в линейном режиме [2].

В нашем докладе мы пытаемся отойти от этих требований, рассматривая процесс генерации не в рамках подхода Казанцева, а с помощью каскадного подхода. Каскадные модели МГД-турбулентности в упрощенном виде описывают взаимодействие турбулентных вихрей разного масштаба друг с другом [3]. Полученные преобразованием Фурье из уравнения движения плазмы и уравнения магнитной индукции на конечном числе спектральных оболочек, эти модели позволяют анализировать каскад гидродинамической и магнитной энергии по спектру, накопление энергии и ее диссипацию со временем. В случае слабого начального магнитного поля каскадные модели показывают, что магнитная энергия растет экспоненциально и локализуется на малых масштабах. Это позволяет предположить, что наблюдаемая генерация является отражением мелкомасштабного динамо-процесса, но без предположений о короткой коррелированности или линейности режима. В настоящей работе, мы исследуем скорости роста магнитной энергии, которые получаем для различных магнитных чисел Рейнольдса и отвечаем на вопрос, является ли мелкомасштабное динамо, наблюдаемое в рамках каскадного подхода, пороговым явлением также, как и в классическом подходе Казанцева, или нет.

[1] Kazantsev A.P. // Soviet Physics JETP 1967. V. 26(5). P. 1031.

[2] Novikov V.G. // Applied Mathematics Institute, USSR Academy of Sciences JETP 1983. V. 85. P. 909-918

[3] Фрик П.Г. // Турбулентность: подходы и модели. — Изд. 2-е, испр. и доп. — М.—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2010. — 332 с

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ НА ПОРОГ МЕЛКОМАСШТАБНОЙ ГЕНЕРАЦИИ В МОДЕЛИ КАЗАНЦЕВА

Аллахвердиев Р.Р.¹, Юшков Е.В.², Соколов Д.Д.³

¹ *ADA University*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Теория магнитогидродинамического динамо описывает процессы генерации и эволюции средних магнитных полей в случайных турбулентных течениях. Традиционно динамо разделяют на крупномасштабное динамо среднего поля и мелкомасштабное турбулентное динамо, основными моделями для которых является уравнение Штеенбека-Краузе-Рэдлера для среднего поля и модель Казанцева (система Вайнштейна-Кичатинова) для вторых моментов магнитного поля соответственно. Усреднение уравнения магнитной индукции по случайному полю скорости лежит в основе теории динамо. Стандартным подходом к такому усреднению является метод, предложенный Краузе и Рэдлером для двухмасштабной турбулентности. В настоящем докладе мы оперируем иным методом усреднения, впервые используемым Молчановым, Рuzмайкиным и Соколовым в 1985 году, методом мультипликативных интегралов. Этот метод базируется на двух допущениях: во-первых, рассматривается поле скорости с короткими временными корреляциями, одинаковым на всех масштабах, что позволяет развязать усреднение по магнитному полю и по скорости, во-вторых, детерминированные траектории жидких частиц заменяются на пучки виннеровских траекторий, усреднение по которым позволяет учесть диссипативные эффекты.

Достоинства данного подхода связаны с тем, что им можно вывести не только уравнение среднего поля, но и так называемую модель Казанцева, определяющую эволюцию вторых моментов магнитного поля. В частности, эта модель используется для описания мелкомасштабного динамо-процесса, при котором экспоненциально нарастает энергия магнитного поля, в то время как среднее поле остается нулевым. Как и для среднего поля, для вторых моментов мультипликативный подход позволяет получить анизотропный аналог модели Казанцева. Традиционно в таком подходе используется уравнение магнитной индукции, записанное для магнитного поля, мы же в докладе используем уравнение для векторного потенциала. При этом основная цель в этом не столько доказать применимость мультипликативного подхода для потенциала, сколько продемонстрировать преимущества данной модификации метода для анизотропной постановки. Полученная нами анизотропная система для вторых моментов позволяет численно проанализировать зависимость порога генерации мелкомасштабного динамо от степени локальной анизотропии среды.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕГРАТОРОВ ГАУССА-ЭВЕРХАРТА И ЛОББИЕ В ЗАДАЧАХ АСТЕРОИДНОЙ ДИНАМИКИ

Басхаев Д.Л., Галушина Т.Ю.

Томский государственный университет

Введение

В работе представлен анализ эффективности двух методов численного интегрирования: Гаусса-Эверхарта и коллокационного метода Lobbie. Исследование проводилось в рамках решения дифференциальных уравнений для невозмущенной и возмущенной задачи двух тел, а также смешанной системы уравнений первого и второго порядка с параметром хаотичности MEGNO (Mean Exponential Growth factor of Nearby Orbits).

Описание методики

В данной работе исследуются следующие объекты: интегратор Гаусса-Эверхарта [1], который является улучшенной версией изначального интегратора Эверхарта [2], и новый коллокационный интегратор Lobbie [3]. Оба метода численного интегрирования тестировались на астероидах с различным эксцентриситетом: (4964) Korovka ($e = 0.12$), (3753) Cruithne ($e = 0.51$), (3200) Phaethon ($e = 0.89$). Моделирование проводилось на интервале 100 орбитальных периодов с порядком схем равным 10. Вызов правых частей дифференциальных уравнений зачастую является самой ресурсозатратной операцией, поэтому целесообразно оценивать оптимальность алгоритма по их количеству и достигаемой точности. Программная реализация на языке Fortran позволяет варьировать параметр локальной точности на шаге и отслеживать количество обращений `pf` к функциям правых частей дифференциальных уравнений. Однако, так как оба метода построенные на разбиениях гауссовых квадратур Лобатто являются симметричными, то становится невозможным использовать для оценки точности метод прямого и обратного интегрирования. Для оценки погрешности использовались эталонные орбиты, посчитанные схемами более высоких порядков. Для интегратора Lobbie имеются две реализации, соответствующие уравнениям первого (`lobbie(I)`) и второго (`lobbie(II)`) порядков, также была отдельно исследована возможность интегратора Lobbie совместно решать смешанные системы уравнений первого и второго порядков.

Заключение

Таким образом, в ходе данного исследования изучена эффективность и поведение интеграторов Гаусса-Эверхарта и Lobbie. Были получены следующие результаты:

1. Обнаружено значительное преимущество интегратора Lobbie для решения задачи двух тел, в силу возможности интегрировать уравнения второго порядка.
2. Выявлено наличие геометрических свойств в обоих интеграторах, а также условия их возникновения. Лучшая итерационная сходимость наблюдается у Lobbie.
3. Не было обнаружено существенного преимущества какого-либо из интеграторов при решении возмущенной задачи двух тел.
4. Интегратор Lobbie показал более высокую эффективность в решении смешанных систем ДУ нежели интегратор Гаусса-Эверхарта.

Обобщая, можно сделать вывод о том, что оба интегратора хорошо подходят для решения задач астероидной динамики. Однако более универсальным и эффективным является интегратор Lobbie.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 19-72-10022, <https://rscf.ru/project/19-72-10022/>

Список литературы:

- [1] Avdushev V. A. Интегратор Гаусса-Эверхарта // Вычислительные технологии. — 2010. — Vol. 15. — P. 31–46.
- [2] Everhart E. Implicit Single Sequence Methods for Integrating Orbits // Celest. Mech. — 1974. — Vol. 10. — P. 35–55.
- [3] Avdushev V. A. Коллокационный интегратор Loblie в задачах орбитальной динамики //Астрономический вестник. — 2021. — Vol. 56. — P. 36–46.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ В УСТОЙЧИВО СТРАТИФИЦИРОВАННОЙ ЗАТУХАЮЩЕЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Воробьев О.П.¹, Петросян А.С.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)*

Динамика течения в различных геофизических и астрофизических процессах определяется условиями среды, в частности характером стратификации. Например, в атмосферах и океанах потоки жидкости чаще всего стратифицированы. Солнечный тахоклин представляет собой устойчиво стратифицированную среду. Рассматривается тонкий сферический слой жидкости в трехмерной системе с вращением. Динамика течения в условиях устойчивой стратификации описывается с использованием уравнений гидродинамики в приближении Буссинеска. Для численного моделирования турбулентности используется спектральный метод, реализованный с помощью языков Python и Matlab. Все вычисления выполнены на сетке с разрешением $256 \times 128 \times 90$ по широте, долготе и радиусу соответственно. Обсуждаются результаты моделирования трехмерной затухающей турбулентности, исследовано влияние вращения и стратификации на перенос энергии в системе. Рассматривается возможность обратного каскада в сферических моделях.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

ПАРАМАГНИТНАЯ ВОСПРИИМЧИВОСТЬ И СПИНОВАЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ FE, CO И NI В КРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ТЕМПЕРАТУР

Гуленко А.С.¹, Мельников Н.Б.¹, Резер Б.И.²

¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

² *Институт физики металлов им. М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук*

Одним из важных направлений в геофизике является изучение свойств ферромагнитных металлов при давлениях и температурах верхней мантии Земли. Поскольку давления в верхней мантии Земли невысокие, первым шагом является исследование ферромагнитных металлов при высоких температурах и нормальном давлении.

Парамагнитные свойства ферромагнитных металлов обычно описываются в двух различных температурных диапазонах: значительно выше температуры Кюри T_C , где обратная восприимчивость подчиняется закону Кюри–Вейсса $\chi^{-1} \propto T - T_C$, и в критической области непосредственно вблизи T_C , где имеет место степенная зависимость $\chi^{-1} \propto (T - T_C)^\gamma$.

Однако расчеты парамагнитной восприимчивости «из первых принципов», включая динамическую теорию среднего поля и подходы с использованием эффективных гамильтонианов с классическими спинами, имеют ограничения в описании магнитного ближнего порядка вблизи T_C и практически не дают отклонения от закона Кюри–Вейсса.

Динамическая теория спиновых флуктуаций (ДТСФ) учитывает как квантовую природу флуктуаций, так и их нелокальный характер [1]. Мы используем ДТСФ для расчета критических показателей парамагнитной восприимчивости и корреляционного радиуса в Fe, Co и Ni, а также для оценки области критических температур в ферромагнитных металлах.

Метод численного продолжения, разработанный в [2], и модификация программного комплекса MAGPROP для расчета вблизи точки Кюри [3] позволили повысить точность расчетов ДТСФ выше T_C .

Парамагнитная восприимчивость в ДСФТ вычисляется с учетом всех конфигураций обменного поля, а не только среднего поля, как в приближении случайных фаз и в теории Гинзбурга-Ландау.

Для оценки критического показателя ν , описывающего степенную зависимость корреляционного радиуса $r_c \propto (T - T_C)^{-\nu}$ вблизи T_C , мы вычисляем коррелятор спиновой плотности $\langle s_{\mathbf{q}} s_{-\mathbf{q}} \rangle$ в статическом приближении ДТСФ.

В этом случае коррелятор имеет лоренцову форму $\langle s_{\mathbf{q}} s_{-\mathbf{q}} \rangle \propto (r_c^{-2} + q^2)^{-1}$, что позволяет получить явный вид r_c .

Расчеты в ДСФТ показали [4], что в 3d ферромагнитных металлах обратная парамагнитная восприимчивость и корреляционный радиус следуют степенному закону до 1.10 – $1.15 T_C$, а затем происходит переход к линейному закону.

Результаты ДТСФ для критических индексов парамагнитной восприимчивости γ и корреляционного радиуса ν в Fe, Co и Ni дают заметное улучшение по сравнению с результатами приближения случайных фаз и теории Гинзбурга-Ландау и находятся в разумном согласии с экспериментом.

Литература:

[1] N.B. Melnikov, B.I. Reser, *Dynamic Spin Fluctuation Theory of Metallic Magnetism*, Springer, Berlin, 2018

- [2] G.V. Paradezhenko, N.B. Melnikov, B.I. Reser, *Comp. Math. Math. Phys.*, **60**, 404 (2018)
- [3] N.B. Melnikov, G.V. Paradezhenko, B.I. Reser, *J. Magn. Magn. Mater.*, **525**, 167559 (2021)
- [4] Н.Б. Мельников, А.С. Гуленко, Б.И. Резер, *ЖЭТФ*, **163**, 35 (2023)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРЕХОДА ГОМАНА РАЗРЫВОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Екимовская А.А.

НИУ Московский авиационный институт

Цель работы – обеспечить орбитальное маневрирование космического аппарата (КА) без использования химического топлива: исключение из состава КА опасных веществ, энергетическое обеспечение малых КА.

Традиционные конструкции космических аппаратов практически полностью исчерпали предел своих технических возможностей. Для дальнейшего освоения космического пространства нужны принципиально новые технические решения. Вращающиеся космические системы являются новым предложением в развитии космической техники. В настоящее время всё больше внимания начинают уделять малым космическим аппаратам для построения глобальных группировок связи и дистанционного зондирования Земли. Уменьшение размеров космических аппаратов не решило, а напротив, обострило проблему энергетического обеспечения и межорбитального маневрирования объектов. В конструкции малого размера нельзя разместить топливо для работы двигательной установки, поэтому небольшие объекты проектируют для строго определённых орбит без возможности маневрирования в космосе. Актуальной стала новая задача замены энергии химического топлива другими видами энергии, обязательно безопасными, для орбитального маневрирования малых КА.

Объектом исследования являются вращающиеся космические системы, как тросовые, так и жёсткие. Начато изучение обоих видов вращающихся конструкций. Предмет исследования связан с комплексом характеристик нового вида космических аппаратов. Для тросовых систем сначала были изучены нагрузки, возникающие в гибких связях при вращении [1]. Затем началось изучение орбитального маневрирования вращающихся систем после разрыва связи [3,4]. Вращательная энергия системы может быть использована для получения маневрового импульса. Например, для безопасного возвращения КА на Землю с низкой орбиты нужен тормозной импульс не более 100 м/с. Такую скорость обеспечит вращающаяся тросовая или жёсткая система радиусом 100 метров с угловой скоростью вращения 1 рад/с после разрыва связи. Это вполне приемлемые технические характеристики, особенно для беспилотных КА. Для пилотируемых КА вращение системы, конечно, с меньшими скоростями, позволяет создать искусственную гравитацию. Таким образом, задача сразу стала системной, комплексной. Так как система вращается, то векторы скоростей связанных тех изменяют направление. Вектор скорости центра масс КА должен лежать в плоскости вращения. Разрыв троса надо выполнить управляемо, то есть в момент, когда скорость от вращения одного груза сонаправлена скорости центра масс КА, а скорость другого груза противоположно направлена. Тогда после разрыва троса или жёсткой связи первый груз получит разгонный импульс и увеличит высоту апогея, а второй груз затормозится и уменьшит высоту перигея.

Для проверки выдвинутой гипотезы и предложенного технического решения были проведены тестовые расчёты. Для орбитального манёвра Гомана нужны два импульса, поэтому тросовая система должна иметь две разрывающиеся связи, в перигее для поднятия апогея, а потом в апогее для поднятия перигея при восходящем манёвре. При нисходящем – всё наоборот.

Выводы по работе.

1. Безопасность обусловлена отсутствием на борту КА химического топлива. Для маневрирования используется энергия вращения.

2. Вращающаяся система – аккумулятор механической энергии. Для пилотируемых КА вращение быстрее 1 град/с не допустимо по медицинским ограничениям, для беспилотных КА ограничений нет.

3. Раскрутку системы можно выполнить либо на Земле перед стартом в случае малых КА под обтекателем, либо на орбите. Во втором случае требуется топливо, но оно будет сразу израсходовано, не нужно хранить на орбите опасные вещества.

4. В РКК «Энергия» разработан проект возвращения КА с помощью качающейся тросовой системы. Если качательное движение способно перевести КА на другую орбиту, то вращение и подавно повторит то же самое.

5. Этим способом можно уменьшить засорение орбит, возвращая объекты на Землю.

6. Подана заявка на патент на изобретение (2021126157) «Способ межорбитального маневрирования КА» [4].

7. Разработана учебная установка для демонстрации сил во вращающейся тросовой системе. Подготовлена вторая заявка на патент на изобретение.

Список использованных источников:

[1] Екимовская А.А. Применение табличного редактора Microsoft Excel для решения задачи о космической тросовой вращающейся системе / Научно-методическое издание: Материалы XXXI конференции «Современные информационные технологии в образовании». Ред. Группа: Алексеев М.Ю. и др. – Фонд новых технологий в образовании «БАЙТИК», ИТО-Троицк-Москва, 2-3 июля 2020. – 572 с. – ISBN 978-5-89513-468-9. – С.507-511.- Эл. ресурс: <https://lk-ito.bytic.ru/uploads/files/materials.pdf>

[2] Екимовская А.А. Применение вращающихся тросовых космических систем для орбитального перехода Гомана / Ред. Группа: Алексеев М.Ю., Алексеева О.С., Калабухова Д.А., Киревнина Е.И. Научно-методическое издание. Материалы IV Всероссийской конференции «Умный мир руками детей» (Электронное издание), Троицк-Москва, 29-30 июня 2021 г. – 224 с. – Ил. – С.84-90. – ISBN 978-5-89513-495-5.

[3] Екимовская А.А. Орбитальный переход Гомана посредством вращающихся тросовых систем / VI Музруковские чтения: Материалы Международной научно-практической конференции, 25-29.09.2021 г. – ГБПОУ СПТ им. Б.Г.Музрукова, отв. за вып. И.В.Столяров. – Саров: Интерконтакт, 2021. – 422 с. – ISBN 978-5-6045873-1-7. – С.41-46.

[4] Екимовская А.А. Способ межорбитального маневрирования космического аппарата. Заявка на патент на изобретение RU № 2021126157, приоритет от 06.09.2021 г.

ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ НА МАГНИТНОЕ ПОЛЕ В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ

Жихарева Е.Н.¹, Михайлов Е.А.^{1,2}

¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

² *Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН*

Магнитные поля должны играть достаточно важную роль в протекании различных процессов в аккреционных дисках, окружающих такие компактные астрофизические объекты как черные дыры, белые карлики и нейтронные звезды. Они могут переносить момент количества движения, влиять на потоки среды и другие явления [Shakura & Sunyaev 1973]. Существуют разные подходы к объяснению генерации магнитного поля в аккреционном диске. Так, ряд работ предполагает, что оно связано с влиянием центрального объекта. Другие авторы предполагают, что оно приносится в диск вместе с падающим веществом. Между тем, сложно предполагать, что данное магнитное поле будет иметь упорядоченную структуру, поэтому наиболее вероятным представляется формирование регулярных магнитных полей за счет действия механизма динамо, сходного с тем, который действует на солнце, в галактиках и других астрофизических объектах. Ранее было показано [Boneva et al 2021], что механизм динамо может приводить к возникновению магнитных полей в аккреционных дисках.

Между тем, особый интерес представляют начальные условия. В работе [Boneva et al 2021] предполагались простые детерминированные условия, которые навряд ли в полной мере могут быть реализованы на практике. Начальные магнитные поля связаны с действием мелкомасштабного (турбулентного) динамо, остатками магнитного поля, принесенного с падающей средой, и поэтому имеют неупорядоченную случайную структуру. По этой причине важно рассмотреть генерацию магнитного поля со случайными начальными условиями так, как это ранее делалось для спиральных галактик [Михайлов и др. 2021].

Мы использовали планарное приближение, разработанное для исследования магнитных полей в тонких дисках. Оно предусматривает, что основную роль играют радиальные и азимутальные составляющие магнитного поля, поэтому можно упростить решаемое уравнение. Так же в задаче учитывались радиальные потоки среды и другие эффекты, характерные для аккреционных дисков. Показано, что случайные магнитные поля, несмотря на то, что имеют близкое к нулевому среднее, могут приводить к генерации регулярных структур поля. Кроме того, в ряде случаев возможно возникновение инверсий, которые похожи на аналогичные явления имеющие место в некоторых спиральных галактиках.

Литература:

[1] N.I. Shakura, R.A. Sunyaev, *Astronomy and Astrophysics*, 1973, Vol. 24, p. 337 – 355.

[2] Boneva D.V., Mikhailov E.A., Pashentseva M.V., Sokoloff D.D., *Astronomy & Astrophysics*, 2021, Vol. 652, 7 pp.

[3] Е.А. Михайлов, Т.Т. Хасаева, И.О. Тепляков, *Труды Института системного программирования РАН*, 2021, т. 33, №6, с. 253-264

ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КОСМИЧЕСКОЙ И АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЕ С ГАЗОВОЙ ДОБАВКОЙ

Клименко Ю.Т.^{1,2}, Сафонов С.Ю.¹, Федотова М.А.¹,
Петросян А.С.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

Многие процессы в космической физике и астрофизике описываются плазмой с газовой добавкой. Например, ионосферно-термосферная система Земли и планет, солнечная хромосфера, межзвездный газ. Фактически такая плазма может считаться частично ионизованной, в которой не происходят элементарные процессы, например, ионизации и рекомбинации. В работе мы используем модель частично ионизованной плазмы для описания крупномасштабных течений в космической и астрофизической плазме. В работе развита теория для описания течений частично ионизованной плазме в трехжидкостном и двухжидкостном приближениях. Получены уравнения в приближении стандартной f -плоскости и в приближении бета-плоскости для силы Кориолиса. Развита теория волновых процессов в рамках предложенных уравнений. Проведен сравнительный анализ результатов, полученных в трехжидкостной и двухжидкостной моделях. В рамках трехжидкостной модели в приближении стандартной f -плоскости получены дисперсионные соотношения для анизотропных инерционных и магнитных ионно-инерционных волн. Восстанавливающими силами таких волн являются сила Кориолиса и сила Лоренца. В случае бета-плоскости было получено дисперсионное уравнение для линейных волн в частично ионизованной вращающейся плазме. В частном случае двумерных течений получены аналитические результаты. Переход от трехжидкостного описания к двухжидкостной модели позволил улучшить описание электромагнитных эффектов при наличии вращения. При двухжидкостном рассмотрении был проведен анализ ряда частных случаев линейных волн в частично ионизованной вращающейся плазме. Рассмотрены линейные волны в отсутствие магнитного поля. Получены дисперсионные соотношения для волн в высоко- и низкочастотном пределах. Двухжидкостная теория обобщена на случай приближения бета-плоскости для силы Кориолиса и проведено аналитическое исследование линейных волн в двумерных течениях.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «Базис».

ИССЛЕДОВАНИЕ УСКОРЕНИЯ ЧАСТИЦ НА МНОЖЕСТВЕННЫХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ В ОКРУЖЕНИИ ПЛАЗМОИДОВ

Левашов Н.Н.^{1,2}, Попов В.Ю.^{1,2}, Малова Х.В.^{1,3},
Зеленый Л.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет*

³ *Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына*

Наблюдения, проведенные различными околоземными миссиями, показали, что, с одной стороны, параметры межпланетного магнитного поля и плазмы изменчивы в различных пространственных и временных масштабах, а с другой стороны, солнечный ветер содержит стабильные квазистационарные магнитные и плазменные структуры, такие как токовые слои и плазмойды. Токовые слои в солнечном ветре, представляют собой стабильные многослойные плазменные структуры, создаваемые квазиadiaбатическими ионами внутри них. Данные структуры способны существенно влиять на ускорение заряженных частиц космической плазмы: в солнечном ветре в окрестностях гелиосферного токового слоя наблюдаются потоки ускоренных частиц с энергиями порядка МэВ.

Целью нашей работы является исследование влияния токовых слоев на динамику заряженных частиц в солнечном ветре. Мы рассмотрели случаи движущиеся одиночный и множественные токовые слои, с окружающими плазмойдами и без них. Методом Нелдера-Мида были исследованы оптимальные параметры токовых слоев для достижения наилучшего ускорения частиц.

НАБЛЮДЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА В ИНСТИТУТЕ АСТРОНОМИИ РАН В 2022 ГОДУ

Левкина П.А., Бахтигараев Н.С.

Институт астрономии Российской академии наук

На комплексе телескопа Zeiss-2000 Терскольского филиала Института астрономии РАН (ИНАСАН) на Северном Кавказе проводятся регулярные наблюдения объектов космического мусора.

В настоящем докладе приводится методика получения позиционных и фотометрических измерений объектов космического мусора, а также характеристики обнаруженных в 2022 году и ранее не наблюдавшихся искусственных фрагментов. По результатам наблюдений на Терскольской обсерватории была исследована эволюция параметров орбит нескольких фрагментов космического мусора. Рассматриваются результаты фотометрических наблюдений объектов космического мусора в фильтрах.

ВОЗБУЖДЕНИЕ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

Лужковский А.А., Шкляр Д.Р.

Институт космических исследований РАН

Левополяризованные электромагнитные ионно-циклотронные волны – это поперечные волны, генерируемые в экваториальной области магнитосферы Земли неустойчивым распределением энергичных ионов с энергией 10-100 кэВ. В данной работе исследуется инкремент ионно-циклотронных волн как функции частоты волны и угла волновой нормали. Для его расчета используется функция распределения протонов, учитывающая температурную анизотропию и конус потерь. Другие ионы, помимо протонов, такие как, гелий и кислород, также присутствуют в магнитосферной плазме, но в работе мы ограничиваемся исследованием электрон-протонной плазмы. Вычисления выполнены с использованием дисперсионного соотношения, поляризационных коэффициентов и выражения для плотности энергии волны, справедливых во всем диапазоне частот и углов волновой нормали ионно-циклотронных волн, включая квази-электростатический предел.

В последнее время в научной литературе интенсивно исследуется резонансное взаимодействие электромагнитных ионно-циклотронных (ЭМИЦ) волн с релятивистскими электронами, приводящее к питч-угловому рассеянию электронов и их высыпанию в атмосферу Земли. Поскольку частота ЭМИЦ волн много меньше электронной циклотронной частоты, то циклотронный резонанс не изменяет энергию частиц, а приводит только к изменению питч-угла электронов. Ввиду того, что продольная компонента электрического поля ЭМИЦ волны очень мала, то взаимодействие осуществляется на циклотронных резонансах с $n \neq 0$, что требует энергии электронов \gtrsim нескольких МэВ. Определение частот возбуждения ЭМИЦ волн, соответствующих частотам максимального инкремента, является важным в исследовании резонансного взаимодействия волн с электронами ввиду существенной резонансной энергии от частоты волны. Для характерных параметров магнитосферной плазмы и реалистичных параметров функции распределения, как показывают произведенные расчеты, инкремент волн имеет максимум для случая продольного распространения, для частоты волны $\sim (0.2-0.6)$ ионной гирочастоты.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-22-00135.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ВТОРОГО ЭКРАНА ЩИТА УИШЛА НА МЕЗОУРОВНЕ

Нечунаев А.Ф., Мещеряков Ю.И., Коновалов Г.В.,
Жигачева Н.И., Диваков А.К.

Институт проблем машиноведения Российской академии наук

В околоземном пространстве известно более 130 млн объектов размером 0,1–1 см на тех или иных орбитах в совокупности. Сюда относят отработанные ступени ракет, осколки от столкновения спутников, частицы ракетного топлива, прочий мусор. При ударе такой частицы на высокой скорости в космический аппарат могут возникнуть необратимые разрушения обшивки, разгерметизация, повреждение дорогостоящих приборов. Для защиты космических аппаратов, как правило, применяют двойной экран – так называемый щит Уишпа. После столкновения опасной частицы с первым тонким экраном щита Уишпа, как рассматривалось в [1], образуется облако осколков сферо- или грушевидной формы, которое практически с такой же скоростью движется ко второму экрану. Воздействие облака осколков на второй экран гораздо менее опасно, чем воздействие компактного ударника. Но в отдельных случаях, при достаточно малом диаметре облака, может вызывать во втором экране откол. В то же время, детальное исследование ударного нагружения толстого алюминиевого экрана на более низких скоростях может дать понимание физики разрушения материала.

Было проведено вычислительное моделирование методом сглаженных частиц [2,3] эволюции процесса ударного нагружения в алюминиевую преграду толщиной 7 мм, внутри которой, на оси удара присутствовала мезомасштабная область из сглаженных частиц размером 1,5 x 1,5 мм. Эта область разбивалась на 60 частиц по каждой стороне. Диаметр ударника и мишени составлял 30 мм, толщина ударника составляла 2 мм. Материал ударника – Al2024. Начальная скорость ударника составляла 300 м/с.

В результате моделирования были сняты графики внутренней энергии по всем частям модели: ударнику, преграде, мезомасштабной области. Оказалось, что внутреннюю энергию эта область набирает неравномерно. Сначала внутренняя энергия почти линейно поднимается до уровня 0,018 Дж, держится на плато около 200 нс, затем падает до 0,012 Дж, затем вновь растет.

Таким образом, происходит непрерывный обмен энергией между указанной областью и остальной частью мишени. Это обстоятельство весьма важно для разработки теории разрушения, выяснения природы разрушения материалов на тех или иных масштабах. Кроме этого, было замечено, что к моменту времени 3,2 мкс после начала расчета ударная волна достигла мезомасштабной области, которая расположена точно посередине мишени, а к моменту времени 4,15 мкс наблюдается активный волнообмен внутри мезомасштабной области. Волны движутся в различных направлениях, отражаются от границ и сочетаются между собой. В реальных материалах, как известно, роль границ такой области будут выполнять границы зерна. Тогда такие же процессы должны наблюдаться внутри отдельного зерна, что необходимо исследовать дополнительно. Как численно, так и в натурном эксперименте.

Таким образом, была построена вычислительная модель ударного нагружения второго экрана щита Уишпа на мезоуровне, когда внутри одного масштаба присутствует другой. Такая модель показывает обмен энергией между областью на одном уровне и об-

ластью на более крупном уровне. С использованием и дальнейшим развитием полученной модели можно исследовать закономерности обмена энергией между соседними зёрнами материалов, между зёрнами и нанообъектами, понять зависимость скорости накопления внутренней энергии от размера мезомасштабной области.

Литература:

[1] Silnikov, M.V., Guk, I.V., Mikhaylin, A.I., Nechunaev, A.F., Rumyantsev, B.V. Numerical simulation of hypervelocity impacts of variously shaped projectiles with thin bumpers. *Materials Physics and Mechanics*, 42(1), p. 20–29 (2019) <https://mpm.spbstu.ru/article/2019.69.3/>

[2] M.B. Liu, G.R. Liu, Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH): an Overview and Recent Developments, *Arch. Comput. Methods Eng.* 17 (2010) 25–76

[3] M.B. Liu, G.R. Liu, Smoothed Particle Hydrodynamics A Meshfree Particle Method, World Scientific Publishing, Singapore, 2003

О ВЛИЯНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ФАКТОРОВ НА НАБЛЮДАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ОБЪЕКТА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

Санникова Т.Н.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН

В настоящее время проблема накопления космического мусора (КМ) в околоземном пространстве (ОКП) приобрела глобальный характер. Количество объектов искусственного происхождения постоянно растет не только за счет вывода из эксплуатации отработавших спутников, но и в результате разрушения объектов из-за физического износа, взрывов и столкновений. Это порождает серьезную угрозу для действующих космических аппаратов и экологии Земли и ОКП.

Вследствие воздействия различных возмущающих факторов элементы орбиты объектов КМ изменяются со временем, что требует их регулярных наблюдений. Для выдачи целеуказаний необходимо рассчитать эфемериды для большого количества объектов. Чем больше возмущающих факторов при этом будет учитываться, тем больше требуется вычислительных ресурсов. Но пренебрежение каким-либо возмущающим фактором может привести к ошибкам прогноза и потере объекта. В данной работе оценивается влияние различных эффектов на положение тела на небесной сфере.

Для исследования влияния возмущающих сил на положение объекта использован высокоточный программный комплекс “Численная модель движения систем ИСЗ” [1], разработанный в Научно-исследовательском институте прикладной математики и механики Томского государственного университета (НИИПММ ТГУ).

Литература:

[1] А. Г. Александрова, Т. В. Бордовицына, И. Н. Чувашов, Численное моделирование в задачах динамики околоземных объектов // Изв. вузов. Физика. 60 (1) с. 69–76 (2017)

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ПЫЛИ В ТУРБУЛЕНТНЫХ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ ДИСКАХ

Семенюк Е.А., Петросян А.С.

Институт космических исследований РАН

Вихри в протопланетных дисках играют важную роль на ранней стадии формирования планет из-за их способности эффективно улавливать частицы межзвездной пыли. Существование асимметричных вихрей в протопланетных дисках подтверждается несколькими (суб) миллиметровыми наблюдениями, а их природа обусловлена различными неустойчивостями в турбулентном газовом течении. При этом было обнаружено, что вихри в 3D-дисках подвержены эллиптической неустойчивости, которая снижает жизнеспособность этих вихрей как ловушек для пыли, а характер парных столкновений частиц пыли во многом определяется параметрами самих твердых частиц.

В данной работе исследуется динамика межзвездной пыли в турбулентном потоке газа путем выполнения локального трехмерного гидродинамического моделирования с высоким разрешением. Для турбулентного течения реализована 3D модель сдвиговых ячеек Cartesian Shearing Box (CaSB). В качестве начального условия используется метод кинематического моделирования Synthetic Turbulence, который позволяет сгенерировать однородную изотропную турбулентность, оптимальную с точки зрения процесса рандомизации. Произведено сравнение полученных результатов с другими локальными моделями. Динамика пыли в данной работе определяется только трением между газом и твердыми частицами и не оказывает обратного влияния на течение газа. Режим трения зависит от размера частиц, в данной задаче рассматриваются малые частицы в диапазоне от 1 мкм до 1 см.

Для отслеживания скоплений пылевых агрегатов движение пыли рассматривается в эйлеровом представлении. На результирующем распределении изменения плотности пыли отчетливо наблюдаются устойчивые области сжатия межзвездной пыли, что свидетельствует о кластеризации межзвездной пыли. Полученные результаты приближенно описывают механизм роста планетезималей в протопланетных дисках путем парных столкновений частиц пыли в турбулентном течении.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СПИРАЛЬНОСТИ НА НЕИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ РЕЗОНАНС ПАРКЕРОВСКИХ ДИНАМО-СИСТЕМ

Серенкова А.Ю.¹, Соколов Д.Д.^{1,2}, Юшков Е.В.^{1,3}

¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

² *Московский центр фундаментальной и прикладной математики*

³ *Институт космических исследований РАН*

Одной из первых моделей, предложенных для описания 11-летнего солнечного цикла, была динамо-модель Юджина Паркера 1955 года [1], и, несмотря на кажущуюся для настоящего времени простоту, она смогла дать ответы на два основных вопроса — почему происходит генерация среднего магнитного поля и почему среднее поле осциллирует со временем. Именно поэтому данная модель активно используется и в современных работах, особенно когда идет речь о явлениях, связанных не конкретно с Солнцем, а с магнитными полями звезд и планет вообще. В нашем докладе мы как раз и исследуем такой общий вопрос: если модель Паркера описывает процессы генерации одновременно с осцилляциями, то возможно ли при периодическом изменении параметров системы появление параметрического резонанса [2]. При этом мы не пытаемся ответить на другие важные вопросы, например, что могло послужить причиной такого параметрического влияния — внутренние процессы в звезде или влияние других астрофизических тел, а сосредотачиваемся на исследовании возможности резонанса.

Данный вопрос поднимался в теории динамо неоднократно [3, 4], однако попытка конкретизировать динамо-систему приводила к тому, что в разных работах даются разные ответы. В одних параметрический резонанс имеет классический вид, то есть происходит на удвоенной частоте и кратных частотах, в других работах — классического резонанса в динамо-системах нет вообще. Мы наоборот идем путем упрощения, в частности, нами была рассмотрена модель Паркера, которая получается из усреднённого по турбулентному зеркально-несимметричному потоку плазмы уравнения магнитной индукции, соответствующему конвективной оболочке Солнца, при котором к тому же происходит разделение магнитного поля на полоидальную и тороидальную компоненты. Кроме того, мы рассматриваем одно из наиболее известных упрощений данной системы, известное как маломодовая модель, в которой обе компоненты поля раскладываются по первым двум членам ряда Фурье по углу с учетом их симметрии относительно экватора, остальные же гармоники отбрасываются. Такой подход сводит задачу к системе из четырёх обыкновенных дифференциальных уравнений, которую можно рассмотреть с точки зрения выделения резонансных эффектов.

Ранее нами было показано, что при симметричных диссипативных слагаемых в данной системе наблюдается так называемый неизбирательный резонанс, отличительной чертой которого является отсутствие четко выделенного узкого максимума резонанса на кратных частотах. Кроме диссипативных слагаемых в системе Паркера можно также управлять и другими членами, например, распределением гидродинамической спиральности по зенитному углу в сферической оболочке. Некоторые угловые зависимости допускают маломодовое разложение, в то время как другие можно исследовать в самой системе Паркера.

В рамках доклада мы ответим на следующий вопрос: влияет ли вид гидродинамической спиральности на неизбирательный параметрический резонанс в системе Паркера и в её маломодовом приближении.

Численный анализ параметрического резонанса в динамо-системах выполнен при поддержке Минобрнауки РФ в рамках программы Московского центра фундаментальной и прикладной математики (проект № 075-15-2019-1621). Асимптотический анализ периодического воздействия на генерацию крупномасштабных структур проводился при поддержке фонда БАЗИС (грант № 21-1-3-63-1).

Литература:

- [1] Parker, E. N. Hydromagnetic Dynamo Models // *Astrophys. J.* V. 122. P. 293. 1955.
- [2] Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Курс теоретической физики I. Механика. // Москва. Наука. С. 103—109. 1973.
- [3] D. Moss and D. Sokoloff, *Astr. and Astrophys.* 553, A37. 2013.
- [4] Л.Л. Кичатинов, А.А. Непомнящих, *Письма в Астрон. Ж.* 41(7), 409. 2015.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ВОЛНЫ В ОПТИЧЕСКОМ РЕЗОНАТОРЕ ТИПА ФАБРИ-ПЕРО

Филатов В.В., Волкова В.В., Ядрихинская Д.Р.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Проведено моделирование метрического поля в линейном оптическом резонаторе типа Фабри-Перо. Установлено, что стоячая электромагнитная волна частоты ω_0 порождает гравитационную волну удвоенной частоты $\omega = 2\omega_0$, что может интерпретироваться как рождение гравитонов g в канале $\gamma + \gamma \rightarrow g$. Предлагается использовать сборку резонаторов Фабри-Перо для генерации гравитационного потенциала сложной формы (суперпозицией монохроматических гравитационных Фурье-гармоник), что позволит сформировать пузырь Алькубьерре и исследовать его свойства в условиях наземной оптической лаборатории.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ФОТОН-ПАРАФОТОННЫХ ОСЦИЛЛЯЦИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЁМНОЙ МАТЕРИИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ЗВЕЗДЫ

Филатов В.В., Волкова В.В., Ядрихинская Д.Р.

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Парафотоны (бифотоны) – нейтральные аксионоподобные частицы-«хамелеоны», возникающие в сверхсильных электромагнитных полях при неупругом фотон-фотонном взаимодействии по каналу $\gamma + \gamma \rightarrow \alpha$. В теории Печчеи-Квинн [1,2] подобные псевдоголдстоуновские бозоны возникают в результате спонтанного нарушения $U(1)$ -симметрии Печчеи-Квинн и отвечают за сохранение комбинированной CP чётности в сильных (ядерных) взаимодействиях. Ранее нами сообщалось [3-5] о наблюдении парафотонных состояний (биполяритонов) в поляритонном конденсате Бозе-Эйнштейна, сформированном в резонансной твердотельной микрополости фотонного кристалла, причём эффективная масса парафотонов была оценена нами как $m_a \sim 0,1$ мэВ. Ненулевая «хамелеонная» масса m_a соответствует ненулевому дефекту массы (энергии связи фотонов в бифотоне) $\Delta mc^2 \ll m_a c^2$, что делает возможными [6] фотон-парафотонные осцилляции $\gamma + \gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma + \gamma$. В работе [7] с использованием метода Монте-Карло был установлен равновесный характер фотон-бифотонных превращений в межзвёздной среде при захвате реальным фотоном, испущенным звездой, (виртуального) фотона реликтового фона с такой же энергией $\sim 0,1$ мэВ (~ 1 К). При этом в [7] для простоты рассматривался «полуклассический» феноменологический случай, в рамках которого величиной Δm пренебрегалось вследствие её малости ($\Delta m \approx 0$). Учёт малого, но ненулевого Δm позволяет дать более точную оценку влияния фотон-парафотонных осцилляций на распределение тёмной материи в окрестностях звезды, а именно: в настоящей работе предсказывается, что доля парафотонов изменяется с расстоянием до светила по закону $\rho(r) \sim \sin[(\Delta mc^2) \times (r/c)]$, что должно приводить к существованию концентрических «тёмных» оболочек, окружающих звезду на расстояниях, полунечётное число раз ($1/2, 3/2, 5/2$ и т.д.) кратных $\mathfrak{R} = 2\pi\hbar/\Delta mc^2$. Таким образом, по наблюдаемой яркости однотипных звёзд, расположенных на разных расстояниях от наблюдателя, можно оценить величину \mathfrak{R} , а именно: предсказывается, что из одинаковых звёзд те, что расположены на расстоянии \mathfrak{R} , кажутся существенно более тусклыми (войд) по сравнению с расположенными на расстоянии \mathfrak{R} (с учётом поправки на расстояние). Предлагается проверить этот вывод наблюдательными данными: в случае положительного результата по измеренной величине \mathfrak{R} можно определить энергию связи фотонов Δmc^2 и оценить саму массу m_a , «закрыв» проблему лёгкой тёмной материи (и, возможно, лёгкой тёмной энергии). В частности, проведённая нами оценка по излучателям в Местном листе галактик (наблюдаемый радиус листа $\mathfrak{R} \sim 10^7$ св.лет $\sim 10^{23}$ м [8]) соответствует $\Delta mc^2 \sim 10^{-37}$ эВ, что в рамках изложенного подхода может быть интерпретировано как вакуумная постоянная фотон-фотонного взаимодействия, определяющая крупномасштабную структуру Вселенной.

Литература:

[1] R.D. Peccei, H.R. Quinn. CP Conservation in the Presence of Pseudoparticles // Physical Review Letters (1977). Vol. 38, p. 1440-1443.

[2] R.D. Peccei, H.R. Quinn. Constraints Imposed by CP Conservation in the Presence of Pseudoparticles // Physical Review D (1977). Vol. 16, p. 1791-1797.

[3] V.V. Filatov, V.S. Gorelik, S.V. Pichkurenko. Stimulated Axion-Like Bipolariton Generation in the Globular Photonic Crystal // Material Science Forum (2021). Vol. 1047, p. 134-139. DOI:10.4028/www.scientific.net/msf.1047.134.

[4] Би Дунсюэ, У Мэнюань, А.А. Коноплёва, В.В. Филатов. Плотность биполяритонных состояний при поляритонной бозе-эйнштейновской конденсации в фотонном кристалле // Труды 64-й Всероссийской научной конференции МФТИ. Электроника, фотоника и молекулярная физика. Москва–Долгопрудный-Жуковский: МФТИ, 2021. С. 286-287.

[5] Д.М. Безверхняя, В.В. Филатов, Д.Р. Ядрихинская. Формирование мультифотонных состояний при бозе-эйнштейновской конденсации света в фотонном кристалле // Сборник научных трудов VIII Международной конференции «Лазерные, плазменные исследования и технологии» (ЛаПлаз-2022). М.: НИЯУ МИФИ, 2022. С. 199.

[6] В.А. Моисеева, В.В. Филатов. Сечения двухфотонного процесса фотон-гравитонной конверсии в вакууме // Труды XI Всероссийской конференции «Необратимые процессы в природе и технике» (НППТ-2021). Т.2. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, С.128-130.

[7] Д.Р. Ядрихинская, В.В. Филатов. Численное моделирование фотон-парафотонных осцилляций в межзвездной среде в присутствии электромагнитного поля // Материалы международной научной конференции «Фундаментальные и прикладные задачи механики» (FARM-2020). Т.1. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. С. 99-100.

[8] R. Tully. The Local Void is Really Empty // Proceedings of the International Astronomical Union (2007). Vol. 3(S244), p.146-151. DOI:10.1017/S1743921307013932

МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВНЕШНИХ ОБЛАСТЯХ ГАЛАКТИКИ

Хасаева Т.Т.^{1,3}, Михайлов Е.А.^{1,2}

¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

² *ФИАН имени П.Н. Лебедева*

³ *ИТПЗ РАН*

В настоящий момент наличие магнитных полей в ряде галактик не вызывает сомнений. Их существование подтверждается многочисленными измерениями фарадеевского вращения плоскости поляризации радиоизлучения различных галактических и внегалактических источников (Beck R. et al. 1996). По современным представлениям, величина галактического магнитного поля составляет порядка 10^{-6} Гс. Это поле формируется благодаря так называемому механизму динамо, основанному на α -эффекте - явлении, отвечающем за турбулентные движения в межзвездной среде, - и дифференциальном вращении, возникающем в связи с нетвердотельностью вращения галактического диска. Формированию поля препятствует турбулентная диффузия, способствующая диссипации структур поля. По этой причине механизм динамо является пороговым и генерация поля возможна лишь при некотором соотношении между параметрами, характеризуемом таким параметром, как динамо-число, включающим в себя скорость турбулентных движений, угловую скорость и толщину диска.

Генерация магнитного поля происходит достаточно активно на расстояниях в 5-7 килопарсек от центра галактики, при этом возникает вопрос о возможности проникновения структур поля на большие расстояния. Ранее было показано, что значение динамо-числа во внешних областях галактического диска ниже порогового значения (Mikhailov, et al. 2014). Тем не менее, генерация магнитного поля все же возможна за счет эффекта, близкого по смыслу к механизму Колмогорова-Петровского-Пискунова. Отдельного внимания заслуживает возможность возникновения инверсий магнитного поля на таких больших расстояниях. Величина магнитного поля, созданного таким образом, будет много меньше, чем в основной части галактического диска. По этой причине можно предположить, что более значимую роль в этой области играют другие механизмы генерации поля. В частности, большой интерес может представлять генерация поля за счет магниторотационной неустойчивости, хорошо известной в магнитной гидродинамике и ранее использованной для объяснения магнитных полей в аккреционных дисках (Shakura et al. 2022).

Список литературы:

[1] Beck R., Brandenburg A., Moss D. et al. Galactic Magnetism: Recent Developments and Perspectives // Annual Review of Astronomy and Astrophysics. 1996. Vol. 34. P.155 – 206.

[2] Mikhailov, E., Kasparova, A., Moss, D. et al. Magnetic fields near the peripheries of galactic discs // Astronomy and Astrophysics. 2014. Vol.568: A66.

[3] Shakura, N., Postnov, K., Kolesnikov, D., Lipunova, G., On the appearance of non-local MRI in Keplerian accretion discs // Preprint arXiv:2210.15337v1 [astro-ph.HE].2022

О ДЕФОРМАЦИИ ФАЗОВОГО СПЕКТРА СВЕРХКОРОТКИХ РАДИОИМПУЛЬСОВ ПРИ РАСПРОСТРАНЕНИИ ПО МЕЖПЛАНЕТНОЙ ТРАССЕ

Худышев Ю.С.

Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Одним из направлений развития систем связи различного назначения является применение сверхкоротких импульсных сигналов. Такие сигналы характеризуются широкими частотными спектрами, что обеспечивает дополнительную скрытность и помехозащищенность при их использовании.

При распространении в межпланетной плазме электромагнитные импульсы претерпевают дисперсионные искажения, уровень и особенности которых определяются их начальными характеристиками и протяженностью трассы. Влияние среды может приводить к значительным различиям временного хода напряженности поля излучаемого сигнала и напряженности поля, регистрируемой на приемном конце трассы.

Деформация радиоимпульсов с возрастанием интегральной электронной концентрации трассы (ТЕС) обусловлена изменением их фазового спектра под воздействием среды, проявляющимся в возникновении фазового набега частотных гармоник формирующих импульс. При этом из-за отсутствия поглощения в среде амплитудный спектр распространяющегося импульса не деформируется.

В докладе приведены результаты анализа характера и особенностей искажений фазового спектра сверхкоротких радиоимпульсов с различными начальными характеристиками при распространении по межпланетной трассе. Показано, что при достаточно больших величинах ТЕС, фазовые спектры импульсов трансформируются к кривой с отрицательным частотным градиентом, для рассмотренных импульсов варьирующей незначительно. Последнее обусловлено тем, что величины набега фазы при больших ТЕС на соответствующих частотах значительно превышают значения фазы излучаемых импульсов и её влияние на фазовый спектр несущественно. Используя полученные значения величин набега фазы, произведен расчет напряженности поля импульсов при различных ТЕС с применением обратного преобразования Фурье.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В МОМЕНТ ГЕОМАГНИТНОЙ ИНВЕРСИИ

Царева О.О.¹, Левашов Н.Н.^{1,2}, Попов В.Ю.^{1,2,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

³ *НИУ Высшая школа экономики*

Межзвездное пространство заполнено космическими лучами - частицами, которые представляют естественный радиационный фон в космосе. Энергии этих частиц достигают десятков ГэВ. Эти частицы активно бомбардируют землю [1]. Геомагнитное поле защищает нашу планету от роя заряженных частиц. Благодаря геомагнитному полю, наша планета теряет гораздо меньше атмосферы по сравнению с другими телами Солнечной Системы, где отсутствует подобное магнитное поле, например, Марс и Венера. Однако, геомагнитное поле Земли не статично и постоянно изменяется.

Самые значительные изменения геомагнитного поля - инверсии т.е. смена направления магнитного поля. Начиная с 1900 произошло значительное смещение полюсов: северный сместился более чем на 2000 км, южный более чем на 1000 км. В тоже в настоящее время магнитный дипольный момент демонстрирует резкое уменьшение, с уменьшением примерно на 10 процентов с 1840 года или на пол проценты за десятилетие. Таким образом, геомагнитное поле с течением времени постепенно уменьшается, а координаты магнитных полюсов медленно изменяются, что может говорить о начале процесса геомагнитной инверсии.

Мы рассматриваем численное моделирование прохождения галактических космических лучей через атмосферу Земли в момент инверсии для двух сценариев. В первом сценарии геомагнитное поле земли в момент инверсии имеет чисто квадрупольную составляющую, но атмосфера не разрежена, во втором сценарии, геомагнитное поле также имеет чисто квадрупольную составляющую, но атмосфера разрежена: количество кислорода падает с сегодняшних 21 процента до 14, а падение азота – на 2 процента от сегодняшнего. Такое разрежение атмосферы наблюдалось в прошлом в процессе множественных инверсий, поскольку при ослабленном геомагнитном поле, выветривание атмосферы происходит интенсивнее.

Для моделирования взаимодействия высокоэнергетических космических частиц с атмосферой используется пакет для разработки программ geant4 [2]. Для параметризации атмосферы Земли при расчете прохождения протонов ГКЛ используется эмпирическая модель атмосферы NRLMSISE-00 [3]. Рассчитаны изменения доз радиации от высоты. Показано, что дозы радиации галактических космических лучей у поверхности планеты в момент инверсии для первого сценария, существенно вырастут в экваториальных зонах, а для второго сценария, будут значительно превышать сегодняшние на всех широтах, по сравнению с сегодняшним фоном. Такие уровни радиации могут негативно сказаться на высокотехнологичном оборудовании.

Литература:

[1] Е.А. Маурчев, Ю.В. Балабин, А.В. Германенко, Е.А. Михалко, Б.Б. Гвоздевский // Труды Кольского научного центра РАН. Гелиогеофизика. Т.10, №8, 2019

[2] Agostinelli S et al. Geant4 - A Simulation Toolkit // Nuclear Instruments and Methods. 2003 A 506 P. 250-303. DOI: 10.1016/S0168-9002(03)01368-8.

[3] Picone, J. & Hedin, AE & Drob, D. & Aikin, A. (2002). NRLMSISE-00 empirical model of the atmosphere: Statistical comparison and scientific issues. Journal of Geophysical Research. 107 10.1029/2002JA009430.

ДОЛГОВРЕМЕННАЯ ОРБИТАЛЬНАЯ ЭВОЛЮЦИЯ ОБЪЕКТОВ ГЕОСТАЦИОНАРНОЙ ЗОНЫ

Чувашов И.Н.¹, Левкина П.А.², Шейн А.В.²

¹ Томский государственный университет

² Институт астрономии Российской академии наук

На текущий момент на геосинхронных орбитах (с наклонениями от 0° до 180° [1]) находятся 996 объектов, за которыми ведется постоянное наблюдение (space-track.org), 270 из данных объектов находятся на орбите уже больше 30 лет. Большинство из них — это крупные объекты космического мусора, которые имеют достаточно малые отношения площади миделевого сечения к массе (коэффициенты парусности), что исключает возможность выметания их из области геостационарной орбиты под влиянием светового давления [2]. За это время, в основном, под действием лунно-солнечных возмущений, элементы орбиты этих объектов изменяют свои значения, по большей части это касается наклонения орбиты и долготы восходящего узла. Как показано в монографии [3], наклонение орбиты у геостационарных объектов за 27 лет изменяется с 0 до 15 градусов, и далее начинает возвращаться к первоначальным значениям, что способствует обогащению геостационарной зоны в плоскости экватора. Кроме того, за время миграции объекты могут разрушаться и порождать большую совокупность новых объектов, что может значительно осложнить навигацию в области геостационарной орбиты.

Наблюдения, представленные на сайте space-track.org, позволяют отследить динамику изменения орбитальных элементов выбранных объектов геостационарной зоны (области, ограниченной от 0° до 25° по наклонению [1]) и оценить изменение плотности объектов в данной области за счет их миграции. К тому же такой большой наблюдательный ряд позволяет определить среднее значение коэффициента парусности (отношение миделевого сечения к массе) и оценить влияние светового давления на движение выбранных объектов.

Целями данной работы являются проверка на реальных наблюдениях утверждения о дрейфе объектов геостационарной области, который может проявляться только на значительных интервалах времени, и оценка изменения плотности геостационарной области из-за возврата таких объектов либо совокупности объектов, вследствие распада родительского тела на орбите.

Для численного моделирования движения совокупности объектов используется модель движения ИСЗ, разработанная в Томском государственном университете, включающая все рекомендации IERS [4]. В качестве наблюдений были взяты TLE-элементы орбит объектов геостационарной зоны на интервале времени 60 лет.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-4236.2022.1.2).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ И ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА ПО ПОЗИЦИОННЫМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Чувашов И.Н.¹, Левкина П.А.²

¹ *Томский государственный университет*

² *Институт астрономии Российской академии наук*

На текущий момент в околоземном космическом пространстве насчитывается почти 54 тысячи объектов искусственного происхождения (<https://www.space-track.org>). Из них 90 процентов – объекты космического мусора, образовавшиеся в результате столкновений между собой или разрушения родительского тела. Наземными службами осуществляется постоянный мониторинг всей наблюдаемой совокупности объектов, поскольку они могут представлять угрозу для действующих космических аппаратов (Klinkrad, 2006). Для большинства таких объектов можно получить позиционные наблюдения, их размеры превышают 10 см (Ogolev and Morozov, 2019). Совершенствование методики получаемых наблюдений с возможностью охвата большого количества объектов предъявляет дополнительные требования к качеству программного обеспечения для обработки наблюдательной информации. Программный комплекс для обработки наблюдений должен позволять определять орбиты исследуемых объектов и выдавать эфемериды на длительные интервалы времени. Целями данной работы являются определение орбитальных и физических характеристик объектов космического мусора с использованием позиционных наблюдений. И исследование орбитальной эволюции этих объектов на длительных интервалах времени.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых (МК-4236.2022.1.2).

ТЕОРИЯ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ В СРЕДАХ С НЕОДНОРОДНЫМИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

Юденкова М.А.^{1,2}, Климачков Д.А.², Петросян А.С.^{1,2}

¹ НИУ Московский физико-технический институт

² Институт космических исследований РАН

Рассматривается течение двухслойной жидкости в приближении мелкой воды. Верхний слой жидкости предполагается сжимаемым с неоднородными температурой, плотностью и давлением. Он создает добавочное давление на нижний слой. Нижний слой жидкости несжимаемый. Он определяет форму подстилающей поверхности для верхнего слоя.

В работе получена система дифференциальных уравнений в частных производных для описания течения двухслойной жидкости. На β -плоскости найдены решения в виде линейных волн: двух волн Пуанкаре и волны Россби. Методом многомасштабных разложений исследовано влияние квадратичной поправки. Найдены новые типы резонансных взаимодействий, которые отсутствовали в однослойной сжимаемой модели. Для каждого случая трехволновых взаимодействий исследованы параметрические неустойчивости и найдены коэффициенты взаимодействия трех волн в сжимаемой жидкости на бета-плоскости.

Работа поддержана Фондом развития теоретической физики и математики «Базис».

ФИЗИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ



АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МАГНИТНОГО НАГРЕВА НА ДИСПЕРСИОННЫЕ СВОЙСТВА МАГНИТОАКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН В СОЛНЕЧНОЙ ПЛАЗМЕ

Агапова Д.В.^{1,2}, Завершинский Д.И.^{1,2}, Белов С.А.²,
Молевич Н.Е.^{1,2}

¹ Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет)

² СФ ФИАН

Одними из физических процессов, которые определяют свойства и параметры различных пространственно-временных структур на Солнце с размерами от ненаблюдаемых малых до сотен мегаметров, являются неадиабатические процессы, такие как объемный нагрев и радиационное охлаждение. В частности, в корональной плазме, тепловое равновесие определяется балансом между процессами нагрева и охлаждения, отличительной особенностью которых является зависимость их мощности от параметров плазмы, таких как, например, температура, плотность и магнитное поле. В связи с этим, возмущение установившихся параметров среды может вызвать тепловой дисбаланс между конкурирующими процессами, вызывая обратную связь между возмущением и средой. Наличие подобной обратной связи может приводить к усилению/затуханию магнитоакустических (МА) волн и дисперсии их фазовой скорости. В солнечной атмосфере МА волны зачастую наблюдаются с помощью космических и наземных приборов в структурах, удерживаемых сильными магнитными полями, например, в корональных петлях, протуберанцах и т.д. Наличие же характерных размеров волноводов, связанных с магнитной структуризацией плазмы, также приводит к дисперсии фазовой скорости волн.

Для того чтобы изучить совместное влияние неоднородности плазмы и теплового дисбаланса, нами с помощью идеальной системы уравнений магнитной гидродинамики с учетом неадиабатических процессов и теории возмущений были получены дисперсионные соотношения для осесимметричных/изгибных МА волн, распространяющихся в солнечной короне. Полученное численное решение уравнений позволило установить, что фазовая скорость медленных волн в длинноволновой части спектра подвержена существенному влиянию дисперсии, определяемой тепловым дисбалансом, а также конечной шириной плазменного слоя. Так, длинноволновым пределом теперь будет являться не классическое выражение для адиабатической трубочной скорости, а модифицированное выражение, учитывающее влияние неадиабатических процессов. Также было установлено, что модифицированная трубочная скорость принимает разные значения в зависимости от вида функциональной зависимости нагрева, от величины магнитного поля. Важно отметить, что для более «сильных» магнитных полей разница в значениях трубочной скорости исчезает. В работе исследовалось затухание МА волн, вызванное тепловым дисбалансом, в условиях корональной плазмы. Как и прежде, для данного случая медленные МА волны подвержены более сильному затуханию, чем быстрые. Причем с увеличением показателя степенной зависимости мощности нагрева от магнитного поля время затухания медленных МА волн уменьшается. Для быстрых волн наоборот, время затухания растет с уменьшением показателя степенной зависимости от магнитного поля.

В работе также был проведен сравнительный анализ результатов, полученных для модели тонкой потоковой трубки и модели магнитного слоя, представленного в данной работе. Было выяснено, что обе модели совпадают в длинноволновом пределе. Однако,

кривые фазовой скорости начинают расходиться при переходе между модифицированной трубочной и трубочной скоростях, а для «сильных» магнитных полей около скорости звука внутри слоя. После данного перехода для «сильных» магнитных полей модели полностью совпадают. А в случае, когда напряженность магнитного поля равна 10 Гс, данные модели сильно различаются из-за того, что тонкие потоковые трубки перестают быть «тонкими» для более коротких длин волн.

Работа частично поддержана Министерством образования и науки (проекты FSSS-2023-0009, 0023-2019-0003).

ГЕЛИОСФЕРНЫЕ ЭНЕРГИЧНЫЕ НЕЙТРАЛЬНЫЕ АТОМЫ: АНАЛИЗ ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИБОРА IBEX-LO

Балюкин И.И.^{1,2}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

КА Interstellar Boundary Explorer (IBEX) с 2008 г. проводит измерения на орбите Земли и строит полные карты неба в потоках нейтральных атомов. Измеряются как межзвездные атомы, проникающие в гелиосферу из межзвездной среды, так и энергичные нейтральные атомы (ЭНА), которые рождаются на границе гелиосферы. На КА IBEX находятся два прибора: IBEX-Lo охватывает диапазон низких энергий от 10 эВ до 2 кэВ, а IBEX-Hi – от 500 эВ до 6 кэВ.

Анализ изображений в потоках ЭНА является незаменимым инструментом в космических исследованиях. ЭНА несут информацию о свойствах той области плазмы, в которой они были рождены, и их можно восстановить путем анализа величин регистрируемых потоков, а также их пространственного распределения и энергетических спектров. Поток ЭНА, измеренный удаленным наблюдателем, таким как КА IBEX, представляет собой интеграл от источников рождения ЭНА вдоль траектории атома. Энергичные нейтральные атомы, в свою очередь, образуются в процессе перезарядки межзвездных атомов с различными популяциями ионов в гелиосфере. Таким образом, чтобы по измерениям ЭНА получить информацию о свойствах гелиосферы (в частности, о распределении различных популяциях ионов на границе гелиосферы), данные наблюдений необходимо сравнивать с предсказанием численной модели.

До сих пор сравнение наблюдений КА IBEX с модельными расчетами ограничивалось лишь диапазоном энергий прибора IBEX-Hi. В этом исследовании впервые проведено сравнение данных IBEX-Lo за один полный солнечный цикл 2009 – 2019 (Galli et al., 2022, doi: 10.3847/1538-4365/ac69c9) с результатами расчетов кинетической модели распределения захваченных протонов и ЭНА в гелиосфере (Baliukin et al. 2020, 2022). Расчеты проведены на основе глобальных распределений плазмы и нейтральных атомов, полученных в рамках кинетико-МГД модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвездной средой (Izmodenov and Alexashov, 2015, 2020).

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕЖЗВЕЗДНОЙ ПЫЛИ В КОНТЕКСТЕ МИССИИ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА УЛИСС

Годенко Е.А.^{1,2,3}, Измоденов В.В.^{1,2,3}

¹ *Институт проблем механики им. А.Ю.Ишлунского РАН*

² *Институт космических исследований РАН*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Солнце движется относительно окружающей его межзвездной среды со скоростью 26.4 км/сек. При взаимодействии сверхзвуковой плазмы солнечного ветра и сверхзвуковой плазмы локальной межзвездной среды образуется структура из двух ударных волн и тангенциального разрыва между ними. Область распространения солнечного ветра, ограниченная тангенциальным разрывом, называется гелиосферой. В межзвездной среде, помимо нейтральной и плазменной компонент, присутствует также пылевая компонента, частицы которой проникают внутрь гелиосферы, что впервые было экспериментально подтверждено с помощью измерений космического аппарата (КА) Улисс [1]. Анализ полученных на КА Улисс данных с помощью численного моделирования оставил несколько вопросов: в частности, недостаточное количество частиц пыли малых размеров в данных, а также то, что измеряемые потоки до 2003 года могут быть воспроизведены только с помощью моделирования крупных частиц (> 0.2 мкм), а после 2005 года - наоборот, только с помощью частиц малых размеров [2]. Причина может заключаться в том, что в модели, которая использовалась для анализа, не учитывалось влияние гелиосферного ударного слоя на траектории пылинок, хотя известно, что при прохождении этой области некоторые частицы межзвездной пыли испытывают фильтрацию [3], и, соответственно, не достигают малых гелиоцентрических расстояний. Цель данной работы - численное моделирование потоков межзвездной пыли на КА Улисс, а также сравнение модельных расчетов с экспериментальными данными.

Для описания распределения межзвездной пыли используется кинетический подход, который состоит в решении кинетического уравнения с помощью метода Монте-Карло. Частицы межзвездной пыли начинают свое движение из области невозмущенной локальной межзвездной среды с одинаковой скоростью, численно равной скорости движения Солнца в локальной межзвездной среде. Динамику движения пылинок в гелиосфере и ее окрестностях определяют три силы: сила гравитационного притяжения к Солнцу, сила радиационного давления, а также электромагнитная сила. Гелиосферное магнитное поле содержит поверхность разрыва своей полярности - гелиосферный токовый слой, форма которого зависит от фазы солнечного цикла, а также от угла поворота Солнца вокруг своей оси. Мы проводим моделирование потоков межзвездной пыли в области, которая содержит траекторию КА Улисс, для частиц каждого размера отдельно, а также с учетом распределения по размерам пылевых частиц в межзвездной среде, полученного на основе астрономических наблюдений.

[1] Grun E., Zook H. A., Baguhl M. et al., 1993, Nature, V. 362, 428.

[2] Sterken V.J., Strub P., Kruger H., von Steiger R., Frisch P., 2015, ApJ, V. 812, 141.

[3] Slavin J.D., Frisch P.C., Muller H.-R. et al., 2012, ApJ, V. 760, 46.

ОПИСАНИЕ ТУРБУЛЕНТНОГО КАСКАДА СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В РАМКАХ ОБОЛОЧЕЧНОГО ПОДХОДА

Дуканов И.А.¹, Юшков Е.В.², Соколов Д.Д.¹

¹ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

² *Институт космических исследований РАН*

Солнечный ветер является ключевым звеном в системе Солнце-Земля, но при этом ни физика его формирования, ни физика эволюции еще до конца не ясны. Это является основной причиной запуска в 2018 году специальной спутниковой миссии Parker Solar Probe (PSP), которая за первые пять лет работы обеспечила специалистам огромный приток новых данных с высоким временным разрешением. В частности, она позволила восстановить кинетические и магнитные спектры на большом диапазоне расстояний от Солнца и по-новому взглянуть на турбулентный каскад, формирующийся в межпланетной плазме.

Данные PSP подтвердили наличие в картине спектральной плотности энергии магнитного поля двух изломов: первый расположен вблизи субионного масштаба, другой - на левом конце инерционного интервала, то есть в крупномасштабной области. Для четкого понимания энергетического переноса динамика этих изломов, ограничивающих инерционный интервал, является ключевой. И если для описания околорассеивающего излома необходимым кажется привлечение кинетического подхода, то эволюцию крупномасштабного излома, видимо, можно описать, оставаясь в рамках магнитогидродинамической парадигмы. Поэтому в настоящей работе, используя в качестве основы данные миссии PSP, мы описываем свободное вырождение турбулентного каскада с помощью оболочечной МГД-модели и стараемся повторить реально наблюдаемую эволюцию излома спектра.

Для описания турбулентного каскада мы используем оболочечную модель, разработанную П.Г. Фриком. Класс оболочечных моделей для систем гидродинамического типа представляет из себя Фурье-образы МГД-уравнений, в которых образы нелинейных слагаемых заменены суммой квадратичных нелинейностей таким образом, чтобы в бездиссипативном приближении выполнялись законы сохранения трехмерной МГД: сохранения полной энергии, магнитной и перекрестной спиральности. При этом непрерывная спектральная шкала заменяется набором дискретных спектральных оболочек, а в нелинейных слагаемых учитывается обмен энергией только между соседними оболочками. В таком подходе мы используем данные PSP вблизи Солнца как входные и изучаем в процессе свободного вырождения турбулентного каскада возможную эволюцию спектров и динамику движения крупномасштабного излома. Полученные результаты каскадного моделирования сравниваются с данными PSP вблизи Земли и на основании сравнения делается вывод о применимости оболочечного анализа.

Авторы хотели бы выразить искреннюю благодарность П. Г. Фрику за полезные советы и предоставленную модель, а также команде Parker Solar Probe и CDAWEB за предоставленные спутниковые данные. Работа поддержана грантом фонда БАЗИС N 21-1-3-63-1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ В АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ СОЛНЦА

Зубик В.С.¹, Зимовец И.В.^{1,2}

¹ *НИУ Московский физико-технический институт*

² *Институт космических исследований РАН*

Исследование эволюции активных областей (АО) Солнца важная задача, т.к. может усовершенствовать понимание явлений энерговыделения, происходящих на Солнце, а также улучшить способы предсказания солнечных вспышек.

В данной работе исследовалась эволюция магнитного поля и электрического тока в АО NOAA 11675, в пике активности которой в 15:45 17.02.2013 произошла вспышка класса M1.9. В качестве граничных данных использованы фотосферные векторные магнитограммы прибора SDO/HMI. Выполнена экстраполяция магнитного поля с фотосферы Солнца в корону с помощью пакета GX Simulator в двух приближениях: потенциальном и нелинейном бессиловом.

В рамках этих приближений получены временные зависимости интегральной магнитной энергии в интервале времени с 00:00 15.02.2013 до 23:00 19.02.2013, на основе чего определена зависимость свободной магнитной энергии. Дополнительно получены распределения плотности электрического тока для этого промежутка времени. На основе этих расчетов обсуждаются процессы накопления и выделения свободной магнитной энергии, связанной с эволюцией токов в рассматриваемой АО.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВРОРАЛЬНОГО КИЛОМЕТРОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ (АКР) ПРИ НАЛИЧИИ ПЛАЗМЕННЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Колпак В.И.^{1,2,3}, Могилевский М.М.³, Чугунин Д.В.³,
Чернышов А.А.^{2,3}, Мойсеенко И.Л.³

¹ *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Институт космических исследований РАН*

Представлены результаты анализа электрической компоненты электромагнитных излучений в диапазоне частот 5–800 кГц, зарегистрированных на спутнике ERG при его пролете вблизи внешней границы плазмосферы Земли. По результатам измерения частоты верхнего гибридного резонанса (f) выявлены вариации плотности плазмы, которые достигают $\delta N/N \sim 0.3 - 0.7$. Мы предполагаем, что эти неоднородности плазмы вытягиваются вдоль магнитного поля Земли и формируют плазменные каналы с пониженной плотностью. В ряде случаев наблюдается «захват» АКР в эти каналы. В приближении геометрической оптики мы промоделировали распространение излучения в таких каналах. Результаты моделирования показывают, что существуют ограничения на «захват» излучения в канал:

- в зависимости от положения источника;
- в зависимости от частоты;
- в зависимости от глубины канала.

При распространении АКР в канале происходит трансформация его спектра: относительно быстрое возрастание до частот 200-300 кГц и относительно медленное спадание до частот порядка 500 кГц. Следует отметить, что в эксперименте высокие частоты захватываются в «канал» плохо, что подтверждается результатами нашего моделирования. Рассмотрена зависимость изменения спектра АКР в зависимости от ширины «канала».

ТРАНСФОРМАЦИИ ЭНЕРГИИ И НЕИДЕАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОЛЯ В СВЕРХТОНКИХ ТОКОВЫХ СЛОЯХ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ МИССИИ MMS В ХВОСТЕ ЗЕМНОЙ МАГНИТОСФЕРЫ

Леоненко М.В.^{1,2}, Григоренко Е.Е.¹, Зеленый Л.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

В работе проводится исследование 95 пересечений СТС в хвосте Земной магнитосферы по данным миссии MMS. Исследуемые СТС наблюдаются совместно с быстрыми плазменными потоками к и от Земли со скоростями до 1300 км/с, во время фазы роста магнитной суббури. Полутолщина СТС составляет порядка нескольких гирорадиусов тепловых электронов ρ_e . Большинство исследуемых СТС наблюдаются с параметром адиабатичности $\kappa_e < 1$, что свидетельствует о размагниченной динамике электронов.

На малых электронных кинетических масштабах возможно нарушение условия вмороженности плазмы. Нарушение вмороженности плазмы приводит к появлению неидеальных электрических полей. Наблюдается присутствие неидеальных электрических полей выше 10 мВ/м внутри большинства СТС в статистике.

Трансформация энергии в СТС характеризуется объемной плотностью мощности изменения кинетической энергии частиц и описывается выражением (j, E') , где E' – неидеальное электрическое поле. Положительный знак параметра (j, E') характеризует передачу энергии от поля к частицам, отрицательный знак – от частиц к полю. Статистический анализ показал, что вероятность наблюдения заданного значения (j, E') распределена квази-нормально с шириной 0.2 нВт/м³. В отдельных событиях наблюдается мощность до 0.6 нВт/м³, что свидетельствует о интенсивном преобразовании энергии вне области пересоединения (в современных работах сообщается о наблюдении мощности трансформации энергии (1.0-2.0) нВт/м³ внутри диффузионной области). Полученные результаты показывают, что интенсивное преобразование энергии с последующим накоплением и выделением энергии возможно вне области пересоединения. Некоторые наблюдаемые СТС могут быть неустойчивы и нестационарны.

Показано, что наблюдение разного знака параметра (j, E') является равновероятным, что свидетельствует о равновероятности протекания процессов трансформации энергии электромагнитного поля в кинетическую энергию электронов и наоборот. В большинстве исследуемых СТС наблюдаются незначительная величина параметра (j, E') 0.1 нВт/м³, что свидетельствует о их квази-стационарности на характерных временах наблюдения слоя (1-5 с).

В работе были рассчитаны дивергенция и ротор неидеального электрического поля, который характеризует природу наблюдаемых полей. Наблюдаются значения $\text{div}E$ и $\text{rot}E$ 1000 нТл/с. Данные величины свидетельствуют в том, что неидеальные электрические поля являются электростатическими и индукционными. Присутствие индукционных электрических полей свидетельствует о возможных временных нестационарностях СТС.

ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФЛУКТУАЦИЙ УГЛОВ НАПРАВЛЕНИЯ ПОТОКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Москалева А.В., Рязанцева М.О., Ермолаев Ю.И.,
Лодкина И.Г.

Институт космических исследований РАН

Работа посвящена исследованию функций плотности распределения (PDF) флуктуаций углов направления вектора потока ϕ (longitude/долгота) и θ (latitude/широта), выявлению их отличий от нормальной функции распределения на масштабах от трёх секунд до одного часа в различных крупномасштабных типах течения солнечного ветра и на масштабах 24 ч. и 48 ч. независимо от типа солнечного ветра. Рассмотренные масштабы соответствуют пространственным масштабам от 10^3 до $10^7 - 10^8$ км. Для выявления отличий от нормальной функции распределения вычислены эксцессы (моменты 4-го порядка) и проанализированы зависимости эксцессов от масштабов флуктуаций. Углы направления вычислены из компонент скорости по данным прибора 3DP космического аппарата WIND за период 1995-2019 гг. Данные привязывались к различным типам солнечного ветра с использованием каталога крупномасштабных явлений <http://iki.rssi.ru/pub/omni/catalog/> [Ермолаев Ю.И., Николаева Н.С., Лодкина И.Г., Ермолаев М.Ю. Каталог крупномасштабных явлений солнечного ветра для периода 1976– 2000, Космические исследования, 2009, т. 47, № 2, с. 81–94].

По результатам анализа выявлено, что вид PDF флуктуаций углов значительно отличается от нормального распределения для малых масштабов, это отличие уменьшается с увеличением масштаба. На масштабах 24-48 часов PDF приближается к нормальному распределению. Данная тенденция наблюдается почти для всех типов солнечного ветра и показывает перемежаемость временных рядов флуктуаций углов (отражение особенности турбулентности в виде чередования областей высокой активности с областями покоя). Максимальный уровень перемежаемости наблюдается для типов солнечного ветра Ejecta и Sheath, а минимальный для типов ветра Rare и Fast в случае флуктуаций широтного угла и типов HCS и Fast в случае флуктуаций долготного угла.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект 22-12-00227.

ЭВОЛЮЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА В АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ СОЛНЦА ОТ НАЧАЛА ИХ ЗАРОЖДЕНИЯ, ДО И ВО ВРЕМЯ МОЩНЫХ ВСПЫШЕК

Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н.

Институт космических исследований РАН

Анализ поведения электрических токов в активных областях (АО) Солнца может быть полезен для понимания происходящих в них физических процессов, так как токи связаны со свободной энергией магнитного поля, с которой, в свою очередь, связана вспышечная активность в этих областях. На основе фотосферных векторных магнитограмм инструмента Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) на борту Solar Dynamics Observatory (SDO) было проведено исследование эволюции некоторых параметров магнитного поля и электрических токов в трех АО NOAA 11158, 11675 и 12673, произведших вспышки классов M и X, на протяжении времени от их зарождения в восточном полушарии до прохождения по диску и исчезновения вблизи западного лимба с шагом в 2 часа. Рассматриваемые параметры включали в себя показатель степенной функции плотности вероятности абсолютного значения плотности вертикального тока $PDF(|j_z|)$, максимум абсолютного значения вертикального электрического тока, знаковую и беззнаковую суммы вертикальных токов и беззнаковые суммы вертикальных и горизонтальных потоков магнитного поля. Также мы исследовали пространственную структуру формирования АО, а именно, как быстро, и до каких масштабов эволюционируют области сильных полей и токов. Найдены некоторые закономерности в поведении рассматриваемых параметров. Так, показатель степенной функции $PDF(|j_z|)$ для периодов времени, когда в рассмотренных АО возникали вспышки классов M и X, находился в пределах от -5 до -3. Это может рассматриваться в качестве дополнительного необходимого условия возникновения мощных вспышек. Интересно также отметить, что в АО 12673 степенной показатель $PDF(|j_z|)$ вышел на квазипостоянный уровень -4 ± 0.3 еще до начала значительного всплытия магнитного потока. Это указывает на то, что только одного значения степенного показателя $PDF(|j_z|)$ недостаточно для прогнозирования мощных вспышек.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕГУЛЯРИЗАЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КИНЕМАТИКИ СОЛНЕЧНЫХ ЭРУПЦИЙ

Радивон А.В.^{1,2}, Зимовец И.В.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Московский физико-технический институт*

До сих пор точно не установлена связь между эруптивными протуберанцами, корональными выбросами массы (КВМ) и солнечными вспышками. Надежное количественное определение кинематических характеристик эруптивных протуберанцев на Солнце важно для понимания их физики, их связи со вспышками и корональными выбросами массы, что необходимо для изучения и прогнозирования космической погоды. В данной работе был реализован метод численного вычисления производных с применением регуляризации, который берет за основу данные из диаграммы «время-расстояние» и позволяет получить аппроксимацию данных необходимой гладкости, а также минимизировать получаемые ошибки кинематических кривых. Работа метода была исследована при различных наборах данных и размерах изначальных ошибок, отдельно рассмотрено наличие краевых эффектов. Был проведен сравнительный анализ результатов данного метода с результатами [1], [2], [3] и др.

[1] Chen, H., Zhang, J., Cheng, X., Ma, S., Yang, S., & Li, T. (2014), *The Astrophysical Journal*, 797, L15.2. Frank A.G., Bugrov S.G., Markov V.S. // *Phys. Lett. A* 2009. V. 373. P. 1460.

[2] Qiu, Y., Guo, Y., Ding, M., & Zhong, Z. (2020), *The Astrophysical Journal*, 901, 13.

[3] Gou, T., Veronig, A. M., Liu, R., Zhuang, B., Dumbović, M., Podladchikova, T., Reid, H. A. S., Temmer, M., Dissauer, K., Vršnak, B., & Wang, Y. (2020), *The Astrophysical Journal*, 897, L36.

СТРАТИФИЦИРОВАННЫЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЙ ДЖЕТ

Синевич А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугунин Д.В.¹,
Могилевский М.М.¹

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова*

В субавроральной зоне вблизи проекции плазмопаузы на высотах F-слоя ионосферы наблюдаются узкие потоки быстрых субавроральных дрейфов ионов, наиболее заметные при геомагнитной активности на фоне крупномасштабной плазменной конвекции, называемые поляризационный джет (ПД) или субавроральный ионный дрейф (SAID). Несмотря на важность использования различных наземных средств наблюдения для изучения и анализа свойств ПД/SAID, а также разработки аналитических моделей и численного моделирования, наибольшую ценность представляют наблюдения *in situ*. Эти наблюдения можно получить только во время пролета спутника через субавроральную зону при развитии ПД/SAID. Мелкомасштабные процессы внутри ПД/SAID практически не изучались и здесь остается много открытых вопросов из-за отсутствия спутниковых измерений высокого разрешения. В этой работе, используя данные спутника NorSat-1 с высокой частотой дискретизации, мы сообщаем, что существуют стратифицированные субавроральные ионные дрейфы (SSAID), которые состоят из мелкомасштабных страт поляризационного джета (PJS) электронной плотности и температуры.

РАССЕЯННОЕ СОЛНЕЧНОЕ ЛАЙМАН-АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЕ КАК СПОСОБ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕЖЗВЕЗДНЫХ АТОМОВ ВОДОРОДА В ГЕЛИОСФЕРЕ

Титова А.В.^{1,2}, Измоденов В.В.^{1,2,3}

¹ *Институт космических исследований РАН*

² *НИУ Высшая школа экономики*

³ *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

Солнечная система движется сквозь межзвездную среду, которая главным образом состоит из нейтральных атомов водорода. Эти атомы могут проникать внутрь гелиосферы, так как их длина свободного пробега сравнима с размерами гелиосферы. В ударном слое атомы водорода могут взаимодействовать с протонами и изменять свои свойства. Для получения информации о межзвездной среде и гелиосферном ударном слое можно анализировать спектр рассеянного Лайман-альфа излучения, который зависит от проекции распределения атомов на луч зрения.

На данный момент имеется огромное количество наблюдательных данных — спектров для различных положений наблюдателя и лучей зрения, полученных на аппаратах HST и MAVEN. Главным же источником информации является прибор SWAN на борту SOHO. С его помощью можно получать полные карты неба в суммарной интенсивности излучения с периодичностью в 2-3 дня.

Доклад посвящен моделированию распределения межзвездных атомов водорода и последующему исследованию влияния параметров солнечного ветра и эффектов ударного слоя на спектр рассеянного Лайман-альфа излучения. Для достижения поставленной цели решалось кинетическое уравнение. Граничное условие было поставлено с учетом эффектов гелиосферного ударного слоя. Далее на основе полученной функции распределения были рассчитаны спектры и его моменты (суммарная интенсивность, доплеровский сдвиг, ширина линии) в приближении self-absorption. Результаты были получены для различных параметров солнечного ветра и сравнены с наблюдательными данными.

ПОВЕДЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ГЕЛИЯ В МКВМ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Хохлачев А.А., Ермолаев Ю.И., Лодкина И.Г.,
Рязанцева М.О., Рахманова Л.С.

Институт космических исследований РАН

Наряду с основной протонной компонентой солнечный ветер в своём составе имеет малые ионные компоненты. Среди этих компонент наиболее распространёнными являются дважды ионизированные ионы гелия. Их относительное содержание, как правило, составляет в среднем 3 – 5% в квазистационарных потоках и достигает значений $> 10\%$ в межпланетных корональных выбросах массы МКВМ. Аналогично другим параметрам солнечного ветра, содержание гелия может изменяться в зависимости от текущей солнечной активности.

Согласно исследованиям последних лет, активность Солнца существенно снизилась в 23-24 солнечных циклах (СЦ) по сравнению с 21-22 СЦ, вследствие чего в среднем наблюдается заметное уменьшение относительного содержания гелия в солнечном ветре за последние два СЦ. В данной работе изучаются изменения поведения содержания гелия внутри МКВМ, возникшие из-за этого спада солнечной активности. На основе среднечасовых данных из базы OMNI были рассмотрены зависимости содержания гелия от других параметров плазмы и межпланетного магнитного поля в эпоху высокой активности (21-22 СЦ) и эпоху низкой активности (23-24 СЦ). Помимо зависимостей между стандартными параметрами была проанализирована связь содержания гелия и расчётного угла γ между вектором межпланетного магнитного поля и вектором относительной скорости космического аппарата. Этот угол является мерой расстояния между точкой наблюдений и осью МКВМ: при малых значениях угла расстояние до оси минимально.

Согласно результатам статистического анализа, относительное содержание гелия в центральной области МКВМ выше, чем в периферийных областях. Увеличение содержания гелия по мере приближения к оси МКВМ наблюдается в обеих рассмотренных эпохах. Данная зависимость подтверждает гипотезу, высказанную в статье (Ермолаев и др., JGR, 2020), согласно которой вблизи оси МКВМ протекает обогащённый гелием электрический ток. Косвенным подтверждением данной гипотезы являются зависимости содержания гелия от величины межпланетного магнитного поля и плазменного β параметра, которые были выявлены на предыдущем этапе работы (Хохлачев и др., Космические исследования, 2022). Общий характер этих зависимостей не изменился при смене эпохи.

УСКОРЕНИЕ ПЛАНЕТАРНЫХ ИОНОВ В АНОМАЛИИ ГОРЯЧЕГО ПОТОКА У МАРСА

Шестаков А.Ю., Шувалов С.Д.

Институт космических исследований РАН

Аномалии горячего потока (НФА) являются одним из наиболее распространенных явлений, сопровождающих нестационарные процессы при взаимодействии солнечного ветра и ударных волн. Они представляют собой поток нагретой плазмы, направленный от планетарной ударной волны, наблюдаемой в районе ее пересечения с межпланетным токовым слоем. Наблюдения НФА у Земли с помощью миссии MMS показали, что протоны могут ускоряться внутри этих структур до энергий, достигающих 1 МэВ. Такое ускорение может происходить при определенных условиях по механизму ускорения Ферми первого рода. Это указывает на то, что НФА играют важную роль в том числе в формировании космических лучей на астрофизических ударных волнах во всем космическом пространстве [1].

Настоящее исследование сосредоточено на анализе одного НФА из списка, представленного в более ранней статье [2], зарегистрированного у Марса космическим аппаратом MAVEN. Событие характеризуется наличием ускоренных ионов O^+ и O_2^+ ионосферного происхождения по обе стороны от токового слоя, связанного с событием. Ионы с энергиями до 10 кэВ регистрируются до пересечения токового слоя и более 30 кэВ после пересечения токового слоя. Существует связь между массой иона и максимальной энергией, до которой происходит ускорение, что согласуется с описанным выше процессом ускорения Ферми [1].

Присутствие тяжелых ионов внутри НФА возможно, по-видимому, только вблизи планет, не имеющих собственного глобального магнитного поля, так как их ударные волны находятся достаточно близко (1 радиус планеты) к ионосфере, что позволяет ионам планет достигать ударной волны во время сильных возмущений. Ускорение планетарных ионов в НФА также может указывать на еще один канал атмосферных потерь Марса.

[1] Turner D.L., Ergun R., Schwartz S.J. et al. Autogenous and efficient acceleration of energetic ions upstream of Earth's bow shock // Nature. V. 561. P. 206-210. Art. No. 30209369 DOI: 10.1038/S41586-018-0472-9.

[2] Shuvalov S.D., Ermakov V.N., Zorina V.O. et al. Propagation properties of Hot Flow Anomalies at Mars: MAVEN observations // Planetary and Space Science. 2019. V. 179. Art. No. 104717. DOI: 10.1016/j.pss.2019.104717.

Данное исследование проведено при поддержке гранта РФФИ No. 21-42-04404.

НАБЛЮДЕНИЕ SHORT LARGE-AMPLITUDE MAGNETIC STRUCTURES (SLAMS) У МАРСА

Шувалов С.Д., Григоренко Е.Е.

Институт космических исследований РАН

В зависимости от ориентации межпланетного магнитного поля (ММП) головная ударная волна может быть как квазипараллельной, так и квазиперпендикулярной. В квазипараллельной ударной волне значительное количество надтепловых частиц солнечного ветра отражается от её фронта и дрейфует вдоль силовых линий ММП, образуя протяженную и сильно турбулентную область, называемую форшоком, где наблюдается большое количество волн и нелинейных плазменных процессов.

В данной работе приводится наблюдение и анализ 30 с УНЧ волн большой амплитуды, зарегистрированных спутником MAVEN перед головной ударной волной Марса при радиальных условиях в ММП (т.е. при доминирующей компоненте магнитного поля, направленной вдоль линии «Марс-Солнце»). На фронтах данных волн регистрируется торможение потока солнечного ветра до дозвуковых скоростей, и его значительный разогрев. Обычно такие протонные циклотронные волны генерируются при прохождении Марсом перигелия, когда процесс захвата солнечным ветром ионов водородной короны Марса особенно активен.

Исследуемый в работе случай интересен тем, что он наблюдается в окрестности марсианского апогелия, когда описанный выше механизм практически не работает вследствие малой плотности водородной короны планеты. Более того, в области наблюдения волн наблюдаются большие потоки идущих со стороны ударной волны протонов, а также имеются градиенты плотности тяжелых ионов, что согласуется с характерными особенностями SLAMS, о наблюдениях которых у Марса ранее не сообщалось.

В работе приводится частотный анализ магнитного поля в области наблюдения волн, а также анализ отдельных фронтов методом наименьших вариаций. Нормали к фронтам волн, вычисленные по теореме ко-планарности, показывают сходство с нормалью к головной ударной волне. Также обсуждается механизм ускорения тяжелых ионов до энергий 650 эВ в этих структурах.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 21-42-04404. Данные MAVEN общедоступны по ссылке <https://pds.nasa.gov>.