

## 11 - Астрофизика, физика космоса

Бутенко Александр Вячеславович, аспирант 2 года обучения  
Пушино, Пушинский государственный естественно-научный институт, астрофизики и радиоастрономии  
**Поиск гигантских радиисточников в обзоре северного неба на частоте 102.5 МГц**  
e-mail: [shtukaturya@yandex.ru](mailto:shtukaturya@yandex.ru) стр. 288

Гарипова Гузель Миннизиетовна, аспирант  
Стерлитамак, Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета, физико-математический  
**Проблема темной материи: история и перспективы**  
Камал Канти Нанди, PhD  
e-mail: [goldberg144@gmail.com](mailto:goldberg144@gmail.com) стр. 288

Жукова Елена Владимировна, аспирант  
Волгоград, Волгоградский государственный университет, физико-технический институт  
**Гидродинамическая модель самогравитирующего оптически толстого газопылевого облака**  
Коваленко Илья Геннадьевич, д.ф.-м.н.  
e-mail: [zhu4ok88@mail.ru](mailto:zhu4ok88@mail.ru) стр. 290

Зотов Леонид Валентинович, н.с.  
Москва, Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ, физический  
**О сходстве между вращением Земли и изменениями климата**  
e-mail: [wolf\\_del\\_sol@mail.ru](mailto:wolf_del_sol@mail.ru) стр. 291

Казанцев Андрей Николаевич, магистрант 2 года обучения  
Пушино, Пушинский государственный естественно-научный институт/Пушинская радиоастрономическая  
обсерватория, радиоастр-ий центр астрофизики и радиоастрономии  
**Анализ энергетических распределений индивидуальных импульсов секундных пульсаров**  
Потапов Владимир Алексеевич, к.ф.-м.н.  
e-mail: [kazantsev\\_andrey\\_106@bk.ru](mailto:kazantsev_andrey_106@bk.ru) стр. 292

Клинаева Екатерина Евгеньевна, магистрант 1 года обучения  
Томск, Национальный исследовательский Томский государственный университет, радиофизический  
**Моделирование сегментированного зеркала астрономического телескопа**  
Большасова Лидия Адольфовна, к.ф.-м.н.  
e-mail: [klinaeva\\_ee@sibmail.com](mailto:klinaeva_ee@sibmail.com) стр. 294

Пушкова Юлия Юрьевна, аспирант 1 года обучения  
Волгоград, Волгоградский государственный университет, физико-технический  
**Модифицированный критерий гравитационной неустойчивости**  
Коваленко Илья Геннадьевич, д.ф.-м.н.  
e-mail: [1compliment@mail.ru](mailto:1compliment@mail.ru) стр. 295

Старченко Александр Евгеньевич, 6 курс  
Москва, Московский физико-технический институт, кафедра аэрофизики и космических исследований  
**Управление космическим аппаратом, снижающее дозу радиации, полученную им на орбите**  
Легостаев Виктор Павлович, академик РАН  
e-mail: [inorsi@yandex.ru](mailto:inorsi@yandex.ru) стр. 296

Угольников Олег Станиславович, с.н.с.  
Москва, Институт космических исследований РАН, нет  
**Исследования состава антарктической стратосферы на основе спектроскопии Луны в тени Земли**  
e-mail: [ougolnikov@gmail.com](mailto:ougolnikov@gmail.com) стр. 297

Фурт Иван Иванович, 5 курс  
Днепропетровск, Днепропетровский национальный университет, физики, электроники и компьютерных систем  
**Статистическая модель галактического гало**  
Гладуш Валентин Данилович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [furt.dp@gmail.com](mailto:furt.dp@gmail.com) стр. 298

## Поиск гигантских радиисточников в обзоре северного неба на частоте 102.5 МГц

<sup>1,2</sup>Бутенко Александр Вячеславович

*Идагесаманский Рустам Давудович, Исамодуров Владимир Алексеевич, ИТюльбашев Сергей Анатольевич*

<sup>1</sup>Пуцинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института Академии Наук им. Лебедева

<sup>2</sup>Пуцинский государственный естественно-научный институт  
[shtukaturya@yandex.ru](mailto:shtukaturya@yandex.ru)

Гигантские радиисточники - это самые большие объекты во Вселенной известные на сегодняшний день. Типичные гигантские радиисточники имеют проецируемый размер несколько сотен килопарсек, т.е. части радиисточника выходят далеко за пределы родительской галактики. Как правило, они имеют большие угловые размеры. Действительно, проецируемый размер в 500~кпс при  $z=0.1$  соответствует угловому размеру около 5 угловых минут. Отдельные гигантские радиисточники имеют угловые размеры, превышающие 1 градус. Радиооблака гигантских радиисточников непосредственно взаимодействуют с межгалактическим газом, что позволяет исследовать физические условия в нем. Протяженные структуры на расстояниях сотни кпс от ядра интересны с точки зрения эволюции радиисточников. Есть неясности, связанные со временем жизни гигантских радиисточников, их формировании, физических условий в отдельных деталях источников, помогающие понять условия их рождения.

Очевидно, что для протяженного источника плотности потока в обзорах, сделанных на антеннах с высоким угловым разрешением, будут заниженными, а оценка спектрального индекса будет завышенной.

В рамках данной работы было проведено отождествление источников Пуцинского обзора проведенного на частоте 102 МГц (NSS102 обзор) с источниками в обзорах с гораздо большими угловыми разрешениями. У всех источников обзора оценивались двухточечные спектральные индексы. Если спектральный индекс был больше некоторого фиксированного значения, источник исследовался на протяженность.

При формировании выборки кандидатов в гигантские радиогалактики мы придерживались следующих условий:

- 1) плотность потока источника в NSS не меньше 5 Янских;
- 2) источник должен быть внегалактическим (галактическая широта  $> 15$  градусов);
- 3) кандидат в гигантские источники должен быть уединенным. Т.е., внутри площадки отождествления (размер площадки 20 угловых минут) в каждом из использованных каталогов должен быть лишь один кандидат на отождествление. Для каталога NSS расстояния до соседних источников не менее 20 угловых минут. Центр площадки совпадает с координатой источника из Техасского каталога, координаты из которого мы считаем наиболее точными. Не должно быть других источников Техасского каталога ближе 15 угловых минут от центральной координаты.

Нам удалось найти 17 таких источников, 10 из 17 источников кандидатов оказались ранее известными протяженными источниками. Из 7 оставшихся источников 4 показывают явные признаки протяженности, 1 – остается хорошим кандидатом в протяженные радиисточники, 1 – представляет вероятный случай путаницы источников и 1 – случай ложного обнаружения источника

## Критерий стабильности орбит частиц в галактических гало в конформной теории гравитации

*Гарипова Гузель Миннизиевна*

*Стерлитамакский филиал Башкирского государственного университета*

*Камал Канти Нанди*

*Северо-Бенгальский университет*

*Камал Канти Нанди, PhD*

[goldberg144@gmail.com](mailto:goldberg144@gmail.com)

В работе [1] Маннгейм и О'Брайен показали, что рассчитанные теоретически в конформной теории гравитации лучевые скорости звезд хорошо согласуются с данными наблюдений для довольно большого числа галактик. Это дает основания полагать, что конформная теория может оказаться неплохой альтернативой теориям, предполагающим наличие темной материи. Еще одно преимущество теории – то, что она дает возможность оценить верхний предел протяженности галактик при  $v^2 \rightarrow 0$ . В работах Маннгейма и О'Брайена

этот предел равен  $R_{пред} \sim 100$  кпк. Однако, по нашему мнению, при оценке верхнего предела нельзя упускать из вида критерий стабильности орбит.

Излучение, испускаемое частицами, движущимися по стабильным круговым орбитам вокруг центров галактик, распространяется вдоль нулевых геодезических [2]. Рассмотрение критерия стабильности может сузить границы, в которых заключен нейтральный водород в галактических гало. Значит, конформная теория вместо  $R_{пред}$  вводит максимальный радиус, при котором еще существуют стабильные орбиты – обозначим его как  $R = R_{стаб}$ . Различие между двумя указанными величинами,  $R_{пред}$  и  $R_{стаб}$ , может достигать 20-30%. К примеру, для UGC 2259 верно следующее:  $R_{стаб} = 200$  кпк, тогда как  $R_{пред} = 300$  кпк. Такое существенное различие нетрудно обнаружить на практике. Стабильность является важным физическим понятием, и поэтому, на наш взгляд, в качестве величины, требующей экспериментальной проверки, следует рассматривать именно  $R_{стаб}$ .

Тангенциальные скорости частиц, движущихся по геодезическим, определяются выражением (согласно обозначениям, принятым в [1]):  $v^2 = (Rc^2 / 2)B'$  (штрих означает производную по  $R$ ). Интегрирование дает:

$$B(R) = 1 - \frac{2N^*\beta^*}{R} + (N^*\gamma^* + \gamma_0)R - \kappa R^2 + \frac{3R_0^2 N^*\gamma^*}{2R} + \frac{15R_0^4 N^*\gamma^* - 24R_0^2 N^*\beta^*}{8R^3}. \quad (1)$$

Геодезическая определяется условием:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)^2 = B^2(R) - a\frac{B^3(R)}{R^2} - bB^3(R), \quad (2)$$

где константы  $a$  и  $b$  задаются обычными условиями для круговых орбит. Условие стабильности предполагает, что вторая производная правой части (2) по  $R$  должна быть отрицательной, то есть:

$$f(R) \equiv 2B'^2(R) - B(R)B''(R) - 3B(R)B'(R)/R < 0. \quad (3)$$

Ситуация для UGC 2885 проиллюстрирована на рисунке 1 (а, b).

Предсказываемые нами верхние пределы протяженности галактик ненамного превышают размеры тех областей, что доступны для наблюдения в настоящий момент. Так, для UGC 0128  $R_{стаб} = 65.6$  кпк, тогда как для наблюдения доступна область до 54.8 кпк, и эта цифра постепенно растет. Если станет понятно, что после 65.6 кпк не существует частиц, движущихся по стабильным орбитам, значит, предсказание конформной теории гравитации верно.

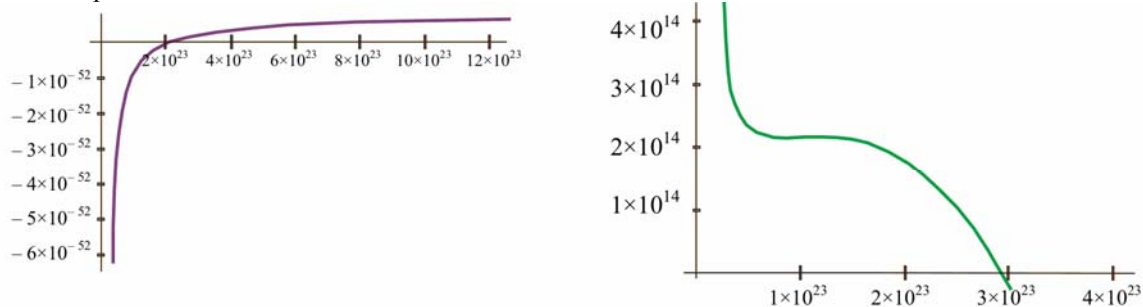


рис.1. Зависимость лучевой скорости от расстояния для UGC 2259: (а) – с учетом, (b) – без учета критерия стабильности

Список публикаций:

- [1] P.D. Mannheim and J.G. O'Brien, *Phys. Rev. Lett.* 106, 121101 (2011).  
 [2] K. Lake, *Phys. Rev. Lett.* 92, 051101 (2004).

## Гидродинамическая модель самогравитирующего оптически толстого газопылевого облака

Жукова Елена Владимировна

Волгоградский государственный университет

Коваленко Илья Геннадьевич, д.ф.-м.н.

[zhu4ok88@mail.ru](mailto:zhu4ok88@mail.ru)

Наблюдения свидетельствуют о существенной турбулизации газа в межзвездных облаках как атомарного, так и молекулярного водорода со скоростью турбулентных движений, сопоставимой со звуковой [1, 2]. Причиной турбулентности могут служить конвективные потоки, генерируемые внутри облака. Вследствие неоднородного прогрева и неоднородного выхолаживания вещества внутри оптически плотной среды тепловое равновесие среды может стать неустойчивым по отношению к малым возмущениям, либо вовсе перестать существовать как равновесие гидростатическое. Все это должно приводить к возникновению течений, стремящихся перестроить среду таким образом, чтобы в ней вновь установилось тепловое равновесие в среднем, но не статическое, а динамическое.

Нами разработана гидродинамическая модель газопылевого межзвездного облака, находящегося в конвективно-неустойчивом равновесии с собственной тяжестью и внешним излучением. Модель включает в себя учет взаимодействия межзвездных пылинок с излучением центральной звезды в облаке, учет химического состава, оптических свойств и полидисперсности пыли. Расчет переноса излучения проводится в приближении  $\delta$ -Эддингтона [3,4]. Рассмотрены два возможных состояния газопылевого вещества в облаке: а) статическое; б) динамическое с производством пыли в центре облака и её стационарным оттоком на периферию.

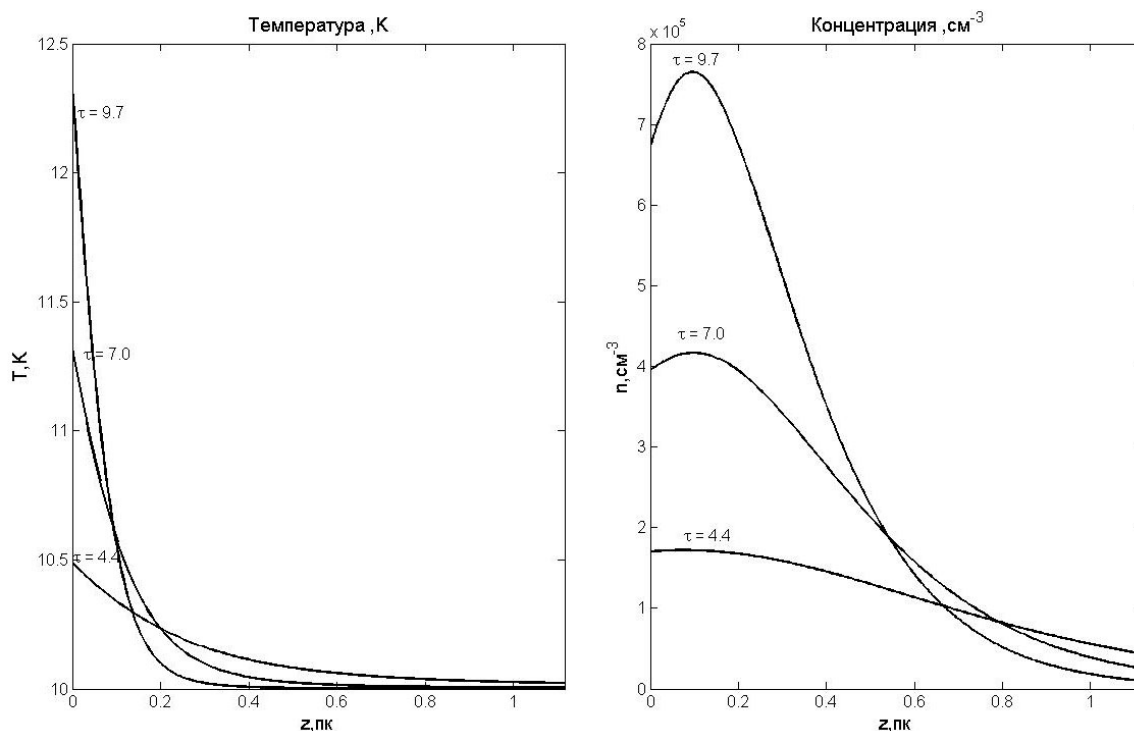


рис.1. Распределения температуры и концентрации газопылевого вещества облака с расстоянием относительно центра облака в статической модели.

Численные расчеты показывают, что условия для развития конвективной неустойчивости действительно возникают и они наиболее благоприятны при наличии мощного источника излучения, окруженного оптически плотным (характерные значения оптических толщин  $\tau = 2-12$ ) для его излучения газопылевым облаком (рис. 1).

Список публикаций:

- [1] Mac Low M.-M., Klessen R. S. Control of star formation by supersonic turbulence // *Rev. Modern Physics*. - 2004. - V.76. - P.125-194.
- [2] Pan L., Padoan P. The temperature of interstellar clouds from turbulent heating // *Astrophys. J.* - 2009.
- [3] Joseph J.H., Wicombe W.J. The delta-eddington approximation for Radiative Flux Transfer // *Journal of the atmospheric sciences* / -1976. - Vol.33 – P.2452-2459.
- [4] Wicombe W.J. Delta-Eddington Approximation for a Vertically Inhomogeneous Atmosphere // *ational Center for Atmospheric Research*, 1977.

## **О сходстве между вращением Земли и изменениями климата**

**Зотов Леонид Валентинович**

*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга*

*МГУ им. М.В. Ломоносова*

*[tempus@sai.msu.ru](mailto:tempus@sai.msu.ru)*

Вариации во вращении Земли могут рассматриваться как сводный индекс активности разнообразных процессов в атмосфере, океане, ядре и в других оболочках планеты. Одной из наиболее обсуждаемых проблем современности в науках о Земле является проблема изменения климата. Его отпечатки повсеместны: растет температура воздуха, верхнего слоя океана, растет его уровень, тают ледники. Могут ли эти процессы отразиться на вращении Земли?

Уже несколько десятилетий известно [4] сходство между скоростью вращения Земли и долгопериодическими изменениями температуры на Земле. На рис. 1 слева вверху показан график глобальной средней температуры на планете HadCRUT3, реконструированный климатическими центрами Великобритании с 1850 г. по данным о поверхностной температуре океана и суши. После вычитания параболического тренда, связанного с глобальным потеплением, которое составило около  $0.7^{\circ}\text{C}$  за 150 лет, остаточные отклонения хорошо коррелируют с изменениями скорости вращения Земли. Для сопоставления на рис. 1 слева внизу представлена перевернутая кривая LOD – продолжительности суток, которая увеличивается при замедлении вращения Земли.

Наблюдаемая корреляция до сих пор не объяснена. Считается, что колебания продолжительности суток с периодом более 10 лет связаны с процессами в мантии и ядре. В работе [3] указывается на связь изменений температуры и LOD с вариациями геомагнитного поля. В [1] обнаружено сходство с Североатлантическим и Тихоокеанским колебаниями. Сама по себе корреляционная связь не позволяет сказать, что является причиной, а что следствием. Не исключено, что имеется внешний фактор, одновременно влияющий на климат, процессы в океане и атмосфере и на вращение Земли.

Известно, что ось вращения Земли не стоит на месте. В частности, в Земной системе координат полюс смещается с амплитудой до 10 метров, и одной из основных составляющих его движения является Чандлеровское колебание с периодом 433 суток и меняющейся амплитудой. Это резонансное колебание затухло бы за время от 50 до 100 лет, если бы не существовало силы, его возбуждающей. Такой силой считается атмосферная и океаническая циркуляция [4,6]. Однако причина долгопериодических изменений амплитуды Чандлеровского колебания остается под вопросом. В работе [7] мы, решив обратную задачу, получили график Чандлеровского возбуждения – входного процесса, характеризующего причину Чандлеровского колебания полюса. Было обнаружено изменение амплитуды возбуждения, синхронное с 18.6-летним циклом регрессии узлов орбиты Луны. На рис. 1 справа показаны графики Чандлеровского возбуждения и 18.6-летнего приливного цикла. Максимумы и минимумы хорошо согласуются, по крайней мере, вне зоны действия краевых эффектов (выделена прямоугольником).

В работе [8] мы провели сингулярный спектральный анализ (ССА) данных по температуре HadCRUT3. ССА позволяет выделить главные компоненты (ГК) изменчивости временного ряда [2]. Был выделен тренд ГК 1 (рис. 1, слева вверху), квази-двадцатилетнее ГК 2 (рис. 2, справа вверху) и десятилетнее ГК 3 (не показано) колебания. ГК 2 с амплитудой до  $0.15^{\circ}\text{C}$  хорошо выделяется из ряда HadCRUT3 как методом ССА, так и другими методами [5]. На рис. 1 справа эта компонента сопоставлена с восстановленным из наблюдений Чандлеровским возбуждением [7]. Видно, что огибающая последнего неплохо согласуется с квази-двадцатилетней компонентой изменения температур (ГК 2). Согласие с 18.6-летней волной лунного прилива также прослеживается, особенно после 1900 г.

Таким образом, на наш взгляд, имеется сходство между силой, вызывающей Чандлеровское качение полюса, 18.6-летней волной прилива, связанной с регрессией узлов орбиты Луны, и квази-двадцатилетней компонентой изменений температуры на планете. Мы не исключаем возможности того, что приливное воздействие Луны, меняющееся в цикле прецессии узлов её орбиты с периодом 18.6 года и является внешним фактором, поддерживающим Чандлеровское колебание, а также вызывающим изменения температуры. Для дальнейшего прояснения вопроса необходимы исследования влияния Луны на циркуляцию атмосферы и океана.

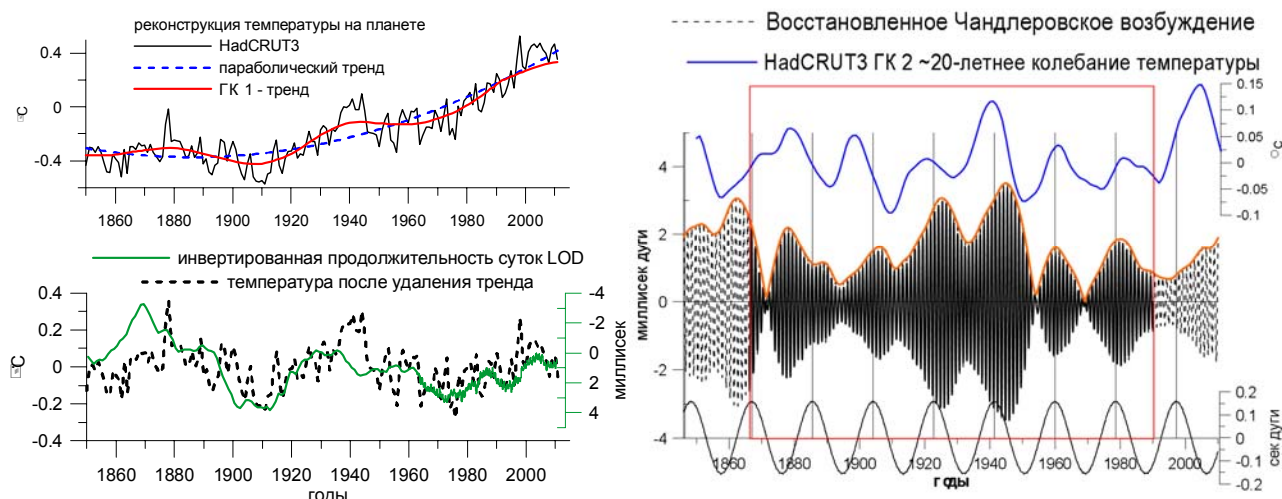


рис.1. Слева, сверху: средняя температура на планете по данным HadCRUT3, её параболический тренд и тренд, полученный как первая главная компонента методом ССА. Слева внизу: инвертированная кривая LOD, сопоставленная с аномалиями температуры, полученными после устранения тренда. Справа: восстановленное из наблюдений за движением полюса Чандлеровское возбуждение, сопоставленное с 18.6-летним приливным колебанием (внизу) и квази-двадцатилетней компонентой изменения температуры ГК 2 (сверху), выделенной методом ССА.

#### Список публикаций:

- [1] Вилсон Ян. *Современные глобальные изменения природной среды, том 3 ред. Касимов, Клиге, М. Научный мир (2012).*
- [2] Зотов Л.В. *Теория фильтрации и обработка временных рядов, курс лекций, Физический ф-т МГУ (2010).*
- [3] Dickey, Jean O., Steven L. Marcus, Olivier de Viron: *J. Climate, 24, 569–574 (2011).*
- [4] Lambeck K. *The Earth's Variable Rotation; Geophysical Causes and Consequences, Cambridge University Press (1980).*
- [5] Qian W.H., Lu Bo, Zhu C.W. *Chinese Science Bulletin., 55, 19. 1963-1967, (2010).*
- [6] Sidorenkov N.S., *The Interaction Between Earth's Rotation and Geophysical Processes, Wiley-VCH Verlag (2009).*
- [7] Zotov L., C. Bizourad, , DOI: 10.1016/j.jog.2012.03.010, *Journal of Geodynamics, N 62 p. 30-34, (2012).*
- [8] Zotov L., *Odessa Astronomical Publications, N 2, p. 225, (2012).*

## Анализ энергетических распределений индивидуальных импульсов секундных пульсаров

**Казанцев Андрей Николаевич**

*Пуцинский государственный естественно-научный институт*

Потапов Владимир Алексеевич, к.ф.-м.н.

[kazantsev\\_andrey\\_106@bk.ru](mailto:kazantsev_andrey_106@bk.ru)

Гигантские импульсы (ГИ), генерируемые пульсарами, отображают происходящие на их поверхности и в магнитосфере процессы, с рекордными, для Галактических объектов, плотностями энергии. Исследования ГИ приводят нас к пересмотру моделей генерации электромагнитного излучения пульсарами (так как есть высокая вероятность того, что механизмы генерации обычных и гигантских импульсов различны) и представляют большой интерес для современной астрофизики. Пульсар в Крабовидной туманности (B0531+21) и миллисекундный пульсар B1937+21 генерируют наиболее характерные, «классические» ГИ, достигающие огромных пиковых значений плотностей потока S. К примеру, у пульсара в Крабе регистрировались импульсы с S в несколько мегаянских ( $1 \text{ Ян} = 10^{-26} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц}$ ) на частоте 600 МГц, при этом микроструктура ГИ на высоких частотах не разрешается, а длительность отдельных компонент может быть меньше нескольких наносекунд. Наряду с этими пульсарами существует 12 пульсаров, которые также генерируют мощные индивидуальные импульсы относительно своего среднего профиля, но обладают не столь мощными плотностями потоков и большими длительностями. Одним из препятствий для теоретических исследований является относительная бедность статистики ГИ (как по числу объектов, так и по общему числу наблюдений ГИ для всех пульсаров, кроме B0531+21 и B1937+21). Стремление заполнить этот пробел побудило нас организовать продолжительные наблюдения на частоте 111 МГц пульсаров, у которых ранее регистрировались ГИ, а также ряда пульсаров, у которых мы предположили их наличие.

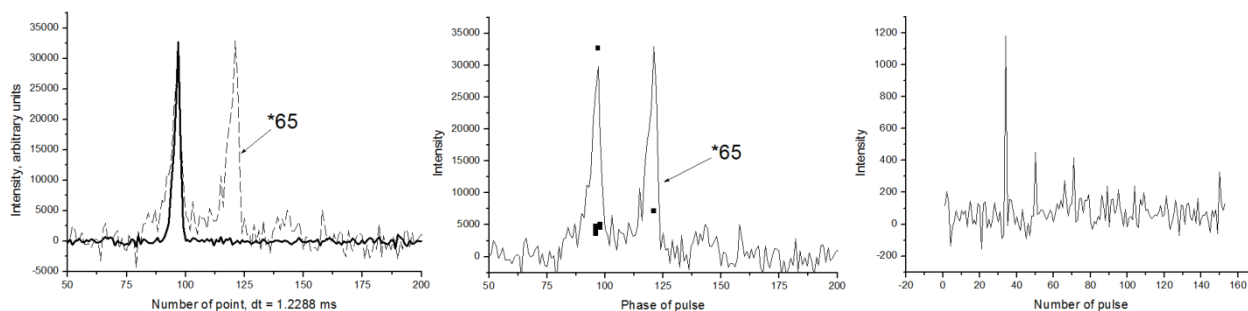


рис.1. На левом рисунке показан наиболее мощный индивидуальный импульс пульсара PSR B1237+25. На среднем – пиковые интенсивности импульсов (черные квадраты) относительно среднего в сеансе (сплошная линия), на правом – последовательность всех индивидуальных импульсов в сеансе. Интенсивность на всех графиках показана в условных единицах.

Поиск импульсов, удовлетворяющих критерию превышения среднего потока в десятки раз, продемонстрировал, что явление генерации ГИ у большинства наблюдаемых нами нормальных пульсаров не встречается. Основным результатом программы стало обнаружение у одного из 25 пульсаров - B1237+25 - регулярных превышений индивидуальными импульсами среднего профиля в 30 и более раз. Пульсар B1237+25 является близким и мощным секундным пульсаром. В 40 сеансах, в которых регистрировались 6120 периодов пульсара, нами было зарегистрировано 173 импульса, превышающих средний в 10 и более раз, 16 - в 30 и более раз и один - в 65 раз. Один из наиболее характерных мощных индивидуальных импульсов пульсара, интенсивности импульсов, с соотношением сигнал/шум 10 и более продемонстрированы на (рис.1).

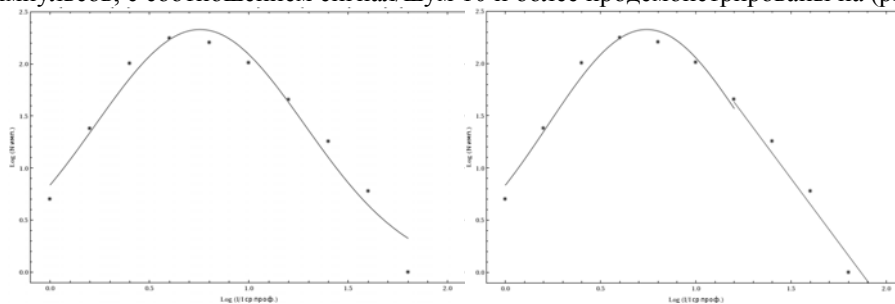


рис.2. Распределение относительных интенсивностей индивидуальных импульсов PSR B1237+25 (в единицах среднего импульса) и его приближение моделями логнормального и комбинированного распределения.

Распределение пиковых плотностей потока индивидуальных импульсов пульсара B1237+25 относительно среднего профиля и результат вписывания в экспериментальные данные логнормального и степенного распределений показаны на (рис.2). Как видно, наилучшим образом экспериментальное распределение описывается комбинацией логнормального (до превышения среднего профиля в 10 раз) и степенного (для мощных импульсов) распределений. Таким образом, по всем трем критериям наиболее мощные импульсы B1237+25 могут быть предварительно отнесены к ГИ.

Далее представлены формульные виды проведенных аппроксимаций и соответствующие им средние квадратичные отклонения для сравнения степени пригодности:

$$\text{Log}(N_{\text{умн}}) = 2.33 \cdot e^{-\frac{(t-0.75)^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \text{ где } t = \text{Log}(I/I_{\text{cp}}), \sigma = 0.53; \quad (1)$$

Среднее квадратичное отклонение по 10 точкам: 0.173;

$$\text{Log}(N_{\text{cp}}) = -2.45 \cdot t - 4.57, \text{ где } t = \text{Log}(I/I_{\text{cp}}); \quad (2)$$

Среднее квадратичное отклонение по 6 точкам: 0.106;  
Среднее квадратичное отклонение комбинированного распределения=0.120;

Чтобы полностью убедиться в нашем выводе, в настоящее время проводится анализ на более богатой статистике (по результатам дополнительных наблюдений), а также совместно анализируются распределения плотностей потока импульсов обычных пульсаров и пульсара с ГИ на нашей частоте. В качестве пульсара, регулярно генерирующего ГИ, рассматривается B1112+50. В качестве обычного пульсара будет взят PSR B1508+55, у которого, за все время исследований, не было зарегистрировано ни одного мощного индивидуального импульса.

Работа выполнялась при поддержке со стороны Учебно-научного комплекса ФИАН, Целевой программы президиума РАН поддержки молодых ученых, программы президиума РАН «Нестационарные явления в объектах Вселенной» и программы ОФН РАН «Активные процессы в Галактике и внегалактических объектах».

## Моделирование сегментированного зеркала астрономического телескопа

*Клинаява Екатерина Евгеньевна*

*Институт оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

*Большасова Лидия Адольфовна, к.ф.-м.н.*

*[klinaeva\\_ee@sibmail.com](mailto:klinaeva_ee@sibmail.com)*

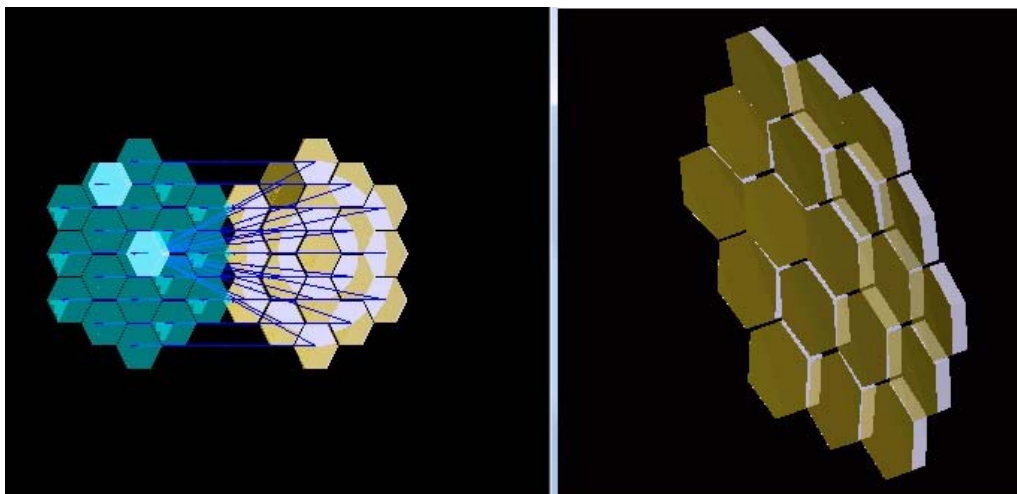
Данная работа направлена на создание модели сегментированного зеркала и анализа качества при искажениях, обусловленных собственной тепловой деформацией поверхности сегментов зеркала и аберрациями волнового фронта падающего излучения вызванных атмосферной турбулентностью.

Сегментированные зеркала, как правило, используются в качестве зеркал крупногабаритных астрономических телескопов, и являются, единственно возможной современной технологией создания апертур астрономических телескопов с диаметром более 6 метров. Определенное преимущество сегментированных зеркал по сравнению с непрерывным зеркалом – их относительная дешевизна и возможность замены сегмента в случае повреждения.

Поскольку сегментированные зеркала состоят из отдельных независимых сегментов, то имеют недостаток, связанный с потерями энергии падающего излучения, вызванными наличием зазоров между смежными сегментами и перераспределением энергии, вызванным дифракционными эффектами от каждого сегмента. При этом температурные деформации зеркала являются отдельной проблемой астрономических телескопов. Поэтому представляет интерес прогнозировать качество изображения формируемого сегментированным зеркалом в зависимости от указанных выше причин. Поскольку экспериментальные исследования требуют больших материальных затрат, то ряд этих задач может быть решен математическим моделированием.

Целью работы является исследование эффективности сегментированного зеркала. Для достижения этой цели решались следующие задачи: моделирование сегментированного зеркала в программной среде «ZEMAX», введение источников оптического излучения; моделирование деформаций поверхности сегментов зеркала и аберраций волнового фронта падающего излучения; оптимизация по заданным критериям на основе методов программной среды «ZEMAX»; анализ функции размытия точки до и после оптимизации.

В данной программной среде была реализована модель сегментированного зеркала (рис.1) с возможностью варьирования параметрами и введения созданной модели зеркала в оптическую схему телескопа.



*рис.1. Модель сегментированного зеркала*

Смоделированы искажения волнового фронта падающего оптического излучения и деформации поверхности сегментов зеркала. В результате расчета определен минимально допустимый перекосяк сегментов, при котором волновой фронт не искажается. Он составил 2090,887 мкм.

Выполнена оптимизация на основе методов программной среды «ZEMAX» чтобы минимизировать аберрации в плоскости изображения. Проанализированы функции размытия точки до и после оптимизации. Найдены значения параметра Штреля для изображений при наличии аберраций и после оптимизации, они составили 0,2777 и 0,9544 (рис.2).



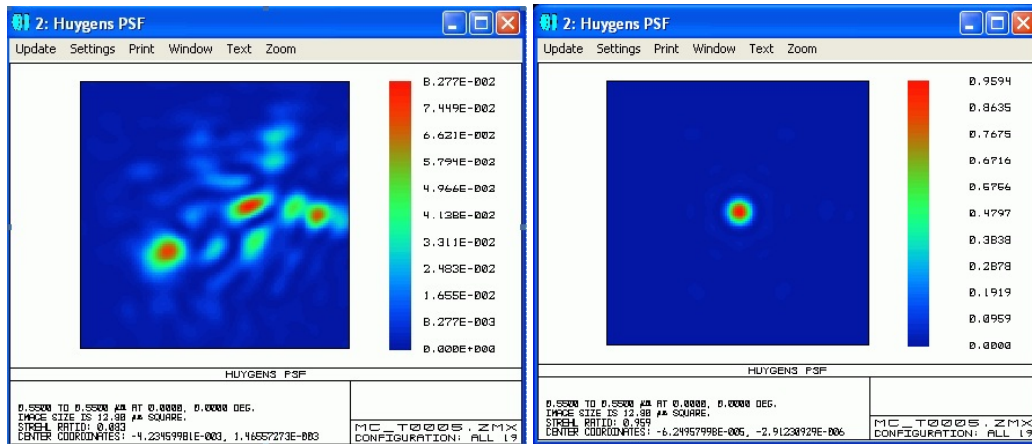


рис.2. Функция размытия точки сегментированного зеркала при наличии aberrаций волнового фронта и после оптимизации

Низкие значения параметра Штреля в первом случае объясняются наличием зазоров между сегментами, дифракцией, aberrациями, а также потерей энергии. Анализируя полученные данные можно прийти к выводу, что изображение после оптимизации является близким к идеальному.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 12-08-31111 мол\_а и поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 8703.

## Модифицированный критерий гравитационной неустойчивости

*Пушкова Юлия Юрьевна*

*Волгоградский государственный университет*

*Коваленко Илья Геннадьевич, д.ф.-м.н.*

*[lcompliment@mail.ru](mailto:compliment@mail.ru)*

В астрофизических условиях ключевую роль играют силы собственного тяготения вещества, которые определяют характерные особенности структурирования среды во Вселенной. Иерархия структур во Вселенной определяется развитием гравитационной неустойчивости на самых разных масштабах.[1,2]

Известный критерий Джинса гравитационной неустойчивости формально применим только по отношению к покоящейся гравитирующей среде [1]. Его уточнение на случай среды, расширяющейся под действием собственного тяготения, как это имеет место во Вселенной на космологических масштабах, дано Боннором в работе [3]. Согласно Боннору, в модели плоской вселенной, когда среда представляет собой идеальный политропный газ с показателем адиабаты  $\gamma$ , малые возмущения при  $\gamma < 4/3$  асимптотически устойчивы. Этот вывод не согласуется ни с аналитическими оценками, ни с численными расчетами эволюции локализованных возмущений [4], которые показывают существование неустойчивости в диапазоне  $6/5 < \gamma < 4/3$ . Неустойчивость на нелинейной стадии приводит к формированию либо коллапсирующих сгустков, либо расширяющихся каверн, окруженных от внешнего фона сильной ударной волной.

В данной работе мы уточняем критерий гравитационной неустойчивости Боннора на случай расширяющейся самогравитирующей среды в модели плоской вселенной. Мы показываем, что в диапазоне значений  $6/5 < \gamma < 4/3$ , действительно, может развиваться гравитационная неустойчивость, проявляющаяся как конвективная неустойчивость, в то время как неустойчивость Боннора при  $\gamma > 4/3$  имеет абсолютный характер. Решение для малых возмущений строится как разложение по собственным функциям задачи, каждая из которых эволюционирует со временем по некоторому автомодельному закону. Наиболее быстро растущая мода определяет структуру возмущения при переходе от линейной стадии к нелинейной. Можно говорить о том, что линейный анализ гравитационной неустойчивости устанавливает классификацию неких универсальных структур для локализованных возмущений.

Список публикаций:

[1] Weinberg S. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity* // Academic Press, New York and London, 685 (1972).

[2] Фридман А. М. УФН. Т. 117(2). С. 121-148 (2007).

[3] Bonnor W. B. *Jeans' formula for gravitational instability* // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 117, 104 (1957).

[4] Kovalenko I. G., Sokolov P. A. *The nonlinear stage of evolution of spherically symmetric disturbances in an Einstein-de Sitter universe: explosive and implosive modes* // Astron. Astrophys., 270, 1-19 (1993)

**Управление космическим аппаратом, снижающее дозу радиации,  
полученную им на орбите**

**Старченко Александр Евгеньевич**

*Московский физико-технический институт (Государственный университет),*

*Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королёва*

*Легостаев Виктор Павлович, академик РАН*

*[inorsi@yandex.ru](mailto:inorsi@yandex.ru)*

Маневрирование космическим аппаратом (КА) с использованием двигателей малой тяги приводит к получению дозы радиации на орбите Земли на порядки большей, по сравнению с маневрированием двигателями большой тяги. Большие дозы радиации существенно снижают срок службы бортовой электроники и приводят к отказу всего космического аппарата.

Наряду с утолщением стенок и специальной компоновкой приборов КА имеет смысл рассмотреть способ снижения дозы радиации путём выбора специального управления движением центра масс КА. Данный способ будет эффективен только в случае увеличения расхода топлива на усложненное управление, меньшего или сравнимого с массой противорадиационной защиты. Поэтому задачу снижения дозы радиации можно формализовать в виде двухкритериальной задачи оптимизации, один из критериев качества которой — затраты рабочего тела, а второй — доза радиации, полученная аппаратом. Данная работа ставит себе целью построить парето-фронт упомянутой выше задачи оптимизации.

Для построения указанного парето-фронта в работе предлагается метод, который можно назвать методом промежуточных орбит. Суть его состоит в параметризации перелёта КА с начальной орбиты на целевую орбитальными элементами  $p_i, i = 1 \dots m$  набора промежуточных орбит, через которые последовательно должен проходить этот перелёт. Теперь если каким-либо образом задать перелёты между промежуточными орбитами, то можно получить как функцию параметров промежуточных орбит всю траекторию перелёта, а, следовательно, и расход рабочего тела, и полученную дозу. Из полученных целевых функций расхода рабочего тела  $\Delta M(p_i), i = 1 \dots m$  и дозы радиации  $D(p_i), i = 1 \dots m$  составляется критерий вида

$$\Phi(p_i) = \alpha_1 \Delta M(p_i) + \alpha_2 D(p_i), i = 1 \dots m, \quad (1)$$

где  $\alpha_1 > 0, \alpha_2 > 0$  — произвольные положительные числа. Далее полученную нелинейную функцию многих переменных  $\Phi(p_i), i = 1 \dots m$  можно минимизировать любым глобальным или локальным численным методом, и соответствующие минимуму значения будут парето-эффективными, то есть находиться на парето-фронте. Доказательство последнего утверждения можно найти, например, в книге [1].

Построение траекторий между промежуточными орбитами в данной работе производится по упрощенному алгоритму максимального убывания параметра близости к целевой орбите [2], известного в англоязычной литературе как Q-Law. Упрощение этого алгоритма состоит в том, что не используется учёт максимальной скорости изменения орбитальных элементов, а также не вводится никак штрафных функций.

При минимизации функционала (1) в данной работе в качестве параметров  $p_i, i = 1 \dots m$  использовался один единственный параметр — наклонение начальной орбиты. Параметризация промежуточных орбит не производилась. Минимизация функционала (1) проводилась в среде MATLAB с помощью функции *fminbnd*, использующей алгоритм, основанный на методе последовательной параболической аппроксимации и методе золотого сечения.

Для построения аппроксимации искомого парето-фронта использовались десять наборов коэффициентов  $\{\alpha_1, \alpha_2\}$ , соответствующих наклонам аппроксимирующих прямых от  $-90^\circ$  до  $0^\circ$  с шагом  $10^\circ$ . Полученная аппроксимация изображена на *рис.1* жирной линией. Также для сравнения на *рис.1* изображен парето-фронт для метода промежуточных орбит, использующего методы линейного программирования для минимизации целевых функций, а также парето-фронт для метода утолщения стенок. Как видно из этого рисунка метод с использованием Q-Law-подобного управления уступает по эффективности методу линейного программирования, но в отличие от последнего Q-Law-подобное управление не требует ручного подбора параметров для расчета каждой точки и позволяет легко масштабировать метод на любое число точек парето-фронта. Кроме того, в случае Q-Law-подобного управления можно легко ввести достаточно много промежуточных орбит и использовать для минимизации целевой функции более сложный алгоритм, например, генетический алгоритм, что позволит существенно повысить эффективность метода.

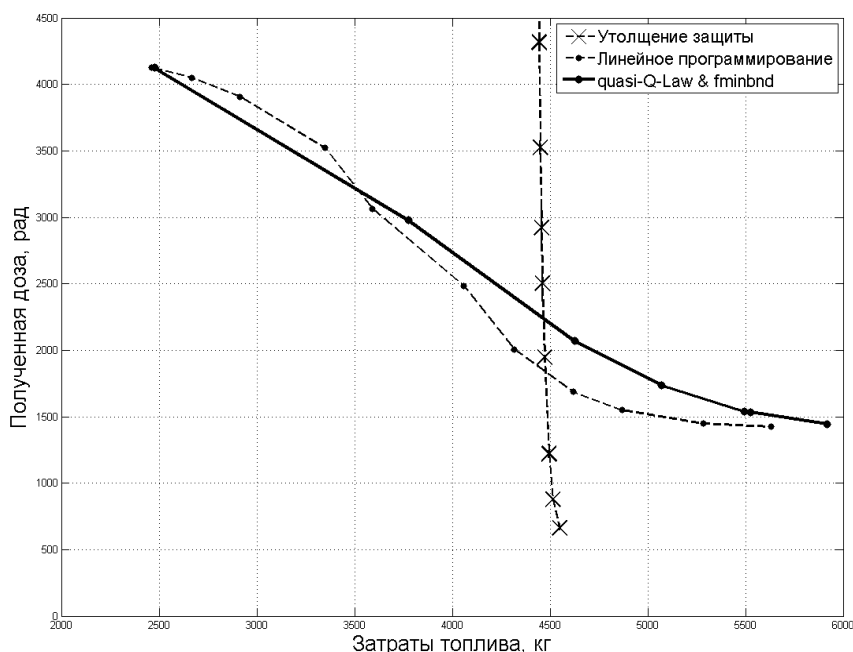


рис. 1. Парето-фронт метода промежуточных орбит с использованием *Q-Law*-подобного управления, метода промежуточных орбит с использованием линейного программирования и метода утолщения стенок

Список публикаций:

[1] Стрекаловский А. С. Предложение 1.4.2 // Введение в теорию игр: учеб. пособие. — Иркутск: Иркут. ун-т, 2005. — С. 25–26.

[2] Petropoulos A. E. Low-Thrust Orbit Transfers Using Candidate Lyapunov Functions With a Mechanism for Coasting // AIAA/AAS Astrodynamics Specialist Conference and Exhibit / American Institute of Aeronautics and Astronautics. — Guidance, Navigation, and Control and Co-located Conferences. — 2004. — URL: <http://dx.doi.org/10.2514/6.2004-5089>.

## Исследования состава антарктической стратосферы на основе спектроскопии Луны в тени Земли

Угольников Олег Станиславович, к.ф.-м.н.<sup>1</sup>

Пуланова Анна Федоровна<sup>2</sup>, Крушинский Вадим Владимирович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований РАН

<sup>2</sup>Коуровская астрономическая обсерватория

[ougolnikov@gmail.com](mailto:ougolnikov@gmail.com)

Работа посвящена первым измерениям участка поверхности Луны во время полного лунного затмения методами спектроскопии высокого разрешения. Экспериментальная часть работы была проведена в Коуровской астрономической обсерватории Уральского Федерального университета с помощью 1.2-м телескопа с оптоволоконным спектрографом, введенным в эксплуатацию в 2011 году.

Во время лунного затмения излучение Солнца проходит по касательной траектории через среднюю атмосферу Земли, преломляясь в область геометрической тени и освещая Луну. Спектр излучения, отраженного от лунной поверхности, содержит линии атмосферных составляющих, характеристики которых чувствительны к содержанию этих газов в области перигея касательных лучей. Геометрия эксперимента аналогична космическим измерениям состава атмосферы. Лунные затмения предоставляют возможность провести подобные измерения с поверхности Земли. Исследуемая область атмосферы может быть удалена на тысячи километров от места проведения наблюдений. Лунное затмение 10 декабря 2011 года было интересно тем, что Луна была освещена солнечными лучами, прошедшими через антарктическую стратосферу недалеко от сезонной озоновой депрессии.

На основе наблюдательных данных производится анализ спектральных линий атмосферных составляющих с хорошо известным пространственным распределением – молекулярного кислорода  $O_2$  и тетраоксида  $O_4$ . Это позволяет восстановить эффективную траекторию распространения солнечного излучения в зависимости от положения элемента поверхности Луны в тени. Анализ требует детального учета поглощения как вдоль антарктической траектории, так и в локальной атмосфере над наблюдателем. Сравнение

характеристик эффективной траектории с данными газовых моделей позволяет судить о роли аэрозольного ослабления и вкладе рассеяния излучения в антарктической атмосфере в интенсивность поверхности Луны.

Далее восстанавливается содержание других газов вдоль найденной траектории – озона  $O_3$ , диоксида азота  $NO_2$  и водяного пара  $H_2O$ . Точность указанной процедуры особенно высока для озона, так как инструментальный диапазон охватывал широкие полосы Шапюи, уменьшающие интенсивность излучения, достигающего Луны, в 6 раз. Обнаружено небольшое превышение содержания озона по сравнению с данными спутникового зондирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант №12-05-00501-а.

## Статистическая модель галактического гало

**Фурт Иван Иванович**

*Гладуш Валентин Данилович*

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара*

*Гладуш Валентин Данилович, д.ф.-м.н.*

[furt.dp@gmail.com](mailto:furt.dp@gmail.com)

Проблема черной материи в настоящее время стала одной из основных проблем астрофизики и космологии. Этой проблеме посвящено множество научных работ. В данной работе предложена простая модель холодной черной материи, которая согласуется с данными наблюдательной астрофизики.

Скорость вращения объекта на Кеплеровой орбите с радиусом  $r$  вокруг галактики пропорциональна  $r^{-1/2}$  при условии, что масса сосредоточена в центре и около центра галактики. Но судя по астрофизическим наблюдениям, скорость вращения одинакова, даже при больших расстояниях от центра. Таким образом, имеется материя, которая вносит значительный вклад в общую массу галактики или скопления. Данная материя не проявляется ничем, как кроме своего гравитационного воздействия на звезды.

Была рассмотрена модель галактического гало в виде системы бесстолкновительных нейтральных частиц с точки зрения кинетической теории. Функция распределения подчиняется бесстолкновительному кинетическому уравнению

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \left( \vec{v} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \vec{r}} \right) + \left( \vec{F} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial \vec{v}} \right) = 0$$

По предположению, это массивные частицы очень малых размеров, которые могут взаимодействовать только гравитационным образом. Частицы с энергией большей энергии связи, в том числе релятивистские, не образуют связанных с галактическим гало состояний и испаряются. Сечение рассеяния этих частиц настолько мало, а длина свободного пробега настолько велика, что они свободно пролетают сквозь планеты и звезды, не претерпевая каких либо изменений. В качестве кандидата таких частиц можно рассмотреть элементарные черные дыры с массой порядка планковской массы, которые являются возможными остатками испарения реликтовых черных дыр.

Для равновесной системы с использованием функции распределения Максвелла-Больцмана полученные результаты объясняют наблюдаемую плоскую кривую вращения. Полученные выводы совпадают с результатами модели равновесного сферического газового облака в ньютоновской гравитации с линейным уравнением состояния.

Список публикаций:

[1] *Dark Matter in Review of Particle Physics. J. Phys. G: Nucl. Part. Phys 37 (2010) 255-260*

[2] *Поляченко В. Л., Фридман А. М. Равновесие и устойчивость гравитирующих систем. Наука, -М., 1976.*