

ПРОГРАММА СЕМИНАРА

3 июня 2014

10:00-10:15 Академик Л.М.Зеленый с приветствием Семинару.

1. Методы поиска экзопланет. Председатель О.И.Кораблев

10:15-10:50 **Доплеровские методы поиска экзопланет**
Панчук В.Е.^{1,2}, **Клочкова В.Г.**¹, **Юшкин М.В.**¹, **Сендзикас Е.Г.**¹,
Сачков М.Е.³

10:50-11:10 **Эффективность поиска экзопланет методом микролинзирования при использовании различных телескопов**
Ипатов С.И.^{1,2}, **Ногне К.**³

11:10-11:40 Кофе

11:40-12:10 **Интерференционные и коронографические методы прямого наблюдения экзопланет**
А.В. Тавров

12:10-12:30 **О наблюдениях фазовых кривых экзопланет**
Фролов П.Н.

12:30-12:50 **Поиск и исследование экзопланет на основе метода Transit Timing Variations (TTVs). Создание международного наблюдательного проекта по поиску экзопланет методом TTV**
Соков Е. Н.

12:50-14:00 Обед

2. Наблюдения экзопланет в научных учреждениях РФ и Украины. Председатель Ю.Н.Куликов

14:00-14:20 **Спектрофотометрические исследования вариаций хромосферной активности звезд под влиянием экзопланет**
Кузнецова Ю.Г., Крушевская В.Н., Андреев М.В., Видьмаченко А.П., Шляхетская Я.О.

14:20-14:40 **Оценки динамических параметров и уточнение границ обитаемых зон избранных звезд пулковской программы**
Н.А.Шахт, Л.Г. Романенко, Д.Л.Горшанов.

3. Атмосферы экзопланет. Председатель В.Е.Панчук

14:40-15:05 **Трехмерное газодинамическое моделирование взаимодействия экзопланеты WASP-12B со звездой**
Бисикало Д.В., Кайгородов П.В., Ионов Д.Э., Шематович В.И., Lammer H., Fossati L.

15:05-15:30 **Верхние атмосферы внесолнечных планет**
Шематович В.И.

15:30-16:00 Кофе

16:00-16:25 **Расчет эффективности нагрева термосферы «горячего юпитера» HD 209458b**
Ионов Д.Э., Шематович В.И., Бисикало Д.В.

16:25-16:50 **Типы газовых оболочек экзопланет, относящихся к классу «горячих юпитеров»**
Кайгородов П.В., Бисикало Д.В., Ионов Д.Э., Шематович В.И.

16:50-17:10 **Темпы потери массы экзопланет типа «горячий юпитер» с оболочками различных видов**
Черенков А.А., Бисикало Д.В., Кайгородов П.В.

17:10-17:35 5-минутные представления постерных докладов

17:35-18:30 Постеры

Резонансы в мультипланетных системах и планетных системах кратных звезд
Попова Е.А., Шевченко И.И.

Спектры экзопланет, похожих на землю, с различными периодами осевых вращений
Ипатов С.И., Cho Y-K.

Об аномалиях в потемнении к краю дисков звезд, затмеваемых экзопланетами
М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук

Проект SPAREBIS – поиск экзопланет в затменных системах. Открытие красных карликов – компонент затменных двойных звезд V0873 PER и AR CRB.
Богомазов А.И., Ибрагимов М.А., Сатовский Б.Л., Эгамбердиев Ш.А., Козырева В. С., Ирсамбетова Т.Р., Крушевская В.Н., Кузнецова Ю.Г., Каримов Р.Г., Зотов В.Л., Тутуков А.В.

Прецизионная коррекция волнового фронта с использованием несбалансированного интерферометра для систем наблюдения экзопланет
Шкурский Б.Б., Ахметов И.И., Макашов М.А., Тавров А.В.

19:00-20:30 Неофициальное приветствие
от ИКИ РАН

=====

4 июня 2014

4. Экзопланетные системы Председатель В.В.Емельяненко

10:00-10:25 **Планеты одиночных и кратных звезд**
Маров М.Я., Шевченко И.И.

10:25-10:50 **Динамические процессы на поздних этапах формирования планетных систем**
Емельяненко В.В.

10:50-11:15 **Некоторые новые ограничения в гипотезе о влиянии планет на солнечную и звездную активность**
Веселовский И.С., Прохоров А.В.

11:15-11:45 Кофе

5. Современное состояние исследований экзопланет
Председатель М.Я.Маров

11:45-12:05 **Изотопы – ключ к разгадке происхождения планетных систем**
Бережной А.А., Дорофеева В.А.

12:05-12:25 **Некоторые заметки о современном состоянии исследований экзопланет**
Л. В. Ксанфомалити

12:25-12:50 **Миссии Kepler и CoRoT. Некоторые итоги**
В.Ананьева, В.Ясинский.

12:50-14:00 Обед. Постеры

6. Землеподобные экзопланеты Председатель А.В.Тавров

14:00-14:25 **О формировании первичных атмосфер планет земного типа в «зоне обитаемости» звезд солнечного класса**
Куликов Ю.Н., Ламмер Х., Еркаев Н.В., Штёкл А., Дорфи Е., Одерт П., Гюдел М., Кислякова К.Г., Лейтцингер М.

14:25-14:50 **Водородные короны и потери ионов из верхних атмосфер планет земного типа**
Куликов Ю.Н., Кислякова К.Г., Ламмер Х., Холмстрём М., Еркаев Н.В., Одерт П., Лейтцингер М., Гюдел М.

7. Новые исследовательские миссии для поиска экзопланет.
Председатель Д.В.Бисикало

14:50-15:20 **Экзопланеты: Новые исследовательские миссии**
О.И. Кораблев

15:05-15:30 **Низкочастотная радиоастрономия на Луне: поиск экзопланет земного типа.**
Скальский А.А., Могилевский М.М., Зеленый Л.М.

15:30-16:00 Кофе

8. Экзобиология Председатель И.С.Веселовский

16:00-16:25 **О вероятном расширении «зоны обитаемости» экзопланет до физических условий на планете Венера**
Л. В. Ксанфомалити

16:25-17:15 Обсуждение всех представленных докладов

17:15-17:45 Обсуждение и редактирование итогового документа

17:45-18:15 Завершение постерной сессии

=====

18:30-20:00 ФУРШЕТ

Приветствие
Семинару «ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ»,
3-4 июня 2014,
председателя Оргкомитета академика Л.М.Зеленого

Уважаемые коллеги,

На рубеже XX-XXI в науке произошло несколько событий, настолько значимых, что они революционизируют все дальнейшее развитие астрофизики, космологии и, возможно даже биофизики. В физике планет революционным открытием стали экзопланеты, однако вместо давно ожидавшихся множественных копий Солнечной системы, неистощимая на выдумки Вселенная выдала космогонии ощутимый экзопланетный «пинок».

За 19 лет, прошедших после открытия первой «нормальной» экзопланеты 51 Peg b, на начало 2014 г., обнаружено более 1000 экзопланет различных классов, таких, как «горячие юпитеры», «горячие нептун», экзопланеты на сверхнизких и высоких орбитах, орбитах как круговых, так и с высоким эксцентриситетом. В последние годы обнаружены планеты типа «сверхземля». Не найдено только близких аналогов самой Солнечной системы, хотя не исключено, что и такие открытия уже не за горами.

Наряду с экзопланетами, которые более или менее удовлетворительно описываются стандартными космогоническими моделями и представляют собой аналоги предполагаемого строения Юпитера и Сатурна, существуют, по-видимому, и другие группы, например, планетаны – планеты-океаны, с параметрами, близкими к земным. Поиск землеподобных планет представляет особенно большой интерес. Хотя исследование атмосфер экзопланет чрезвычайно сложно, важная цель в поисках экзопланет земного типа - это газообразные атмосферные компоненты возможного биологического происхождения.

Астрофизика экзопланетных систем развивается бурными темпами. Мы считаем, что потенциал науки России и стран СНГ в исследовании экзопланет достаточно высок. Чрезвычайно важно объединение наших усилий, к чему ученые неизменно стремятся, несмотря на любые трудности. Мы с благодарностью отмечаем участие в нашей работе ученых Украины. Мы надеемся, что целям расширения сотрудничества будет способствовать сборник материалов Семинара, который будет опубликован ИКИ РАН.

Проведение нашего двухдневного Семинара «ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ» в ИКИ РАН призвано рассмотреть ведущиеся работы, объединить работу исследователей России и СНГ и наметить актуальные задачи, выполнимые любыми имеющимися у исследователей средствами. Главными инструментами исследователей даже не имеющих, к сожалению, возможности работать на сложном современном оборудовании, все равно, всегда остаются интеллект, настойчивость и некоторая толика удачи. В случае, если собравшееся на семинаре русскоязычное планетное сообщество признает его результаты успешными, ИКИ РАН будет готов поддержать инициативу о регулярном проведении экзопланетных встреч. Успешной работы и интересных докладов.

ДОПЛЕРОВСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКА ЭКЗОПЛАНЕТ

Панчук В.Е.^{1,2}, Ключкова В.Г.¹, Юшкин М.В.¹, Сендзикас Е.Г.¹, Сачков М.Е.³

¹*Специальная астрофизическая обсерватория, panchuk@ya.ru*

²*Университет ИТМО*

³*Институт астрономии РАН*

Методическая основа направления высокоточных измерений лучевых скоростей эволюционировала синхронно с развитием светоприемников. Точность одноканального корреляционного метода (0.5 км/с, [1]) несколько уступала точности фотографической спектроскопии в фокусе кудэ, но фотоэлектрическим наблюдениям были доступны более слабые объекты и процедура получения результата не была столь трудоемкой. Идея поляриметрического метода [2] состоит в калибровке длины волны, для каждого элемента разрешения приемника с небольшим числом каналов, что сводилось к точному измерению угла поляризации, искусственно создаваемой на входе. Серковски впервые вынес задачу позиционной калибровки спектра из фокальной плоскости спектрографа, оставив за последним только функцию измерения интенсивностей в каналах. Таким образом, точность измерений не зависела от положения изображения звезды на щели и от механической стабильности собственно спектрографа. Другим способом увеличения широкощельности с одновременным увеличением доплеровской точности (до 10 м/с), явилось сочетание интерферометра Фабри-Перо (ИФП), контролируемого He-Ne лазером, с дифракционным спектрографом [3]. Увеличение числа каналов позволило развить корреляционные методы, из которых здесь отметим только метод абсорбционной ячейки [4, 5], обеспечивающий идентичность и одновременность заполнения апертуры спектрографа исследуемым и реперным потоками (формирующими абсорбционные спектры). Конкурирующим методом явился двухволоконный способ одновременной регистрации эмиссионного спектра калибровки и абсорбционного спектра звезды [6]. С увеличением формата ПЗС удается регистрировать участок спектра [7], значительно превышающий протяженность спектра йодной ячейки, поэтому двухволоконный метод получил приоритетное распространение (детали см. в обзоре [8]). На лучших экземплярах спектрографов с оптоволоконным сочетанием [7] удается достичь точности 1-3 м/сек. Дальнейшее развитие жанра разветвляется на создание спектрографов с рекордным диаметром коллимированного пучка ($d=400$ мм, см [9]), и на применение одномодовых волокон, позволяющих на порядок снизить габариты спектрографа ($d=33$ мм, см [10]), но требующих сочетания с адаптивной оптикой. В нашей стране разработаны и изготовлены оптоволоконные спектрографы для телескопов метрового класса [8, 11]. Доплеровские поиски экзопланет эффективны на специализированных (однопрограммных) телескопах, поэтому ближайшей задачей считаем разработку такого инструмента. Создаваемый оптоволоконный спектрограф для многопрограммного 1-метрового телескопа САО

РАН планируем использовать как в двухволоконном варианте, так и в режиме поляриметрической калибровки на входе (см. [2]). Кроме того, мы разрабатываем оптоволоконный спектрограф с ИФП на внутренней установке. Работа частично поддержана РФФИ (проекты 13-02-00029 и 12-07-00739).

Литература:

1. Griffin R.F. ApJ, 1967, v.148, p.465.
2. Serkowski K., PASP, 1972, v.84, No.501, p.649.
3. Serkowski K., et al., ApJ, 1979, v.228, p.630.
4. Campbell B., Walker G.A.H., PASP, 1979, v.91, No.542, p.540.
5. Marcy G.W., Batler R.P., PASP, 1992, v.104, No.674, p.270.
6. Baranne A., et al, AASS, 1996, v.119, p.373.
7. Pepe F., et al., Proc. SPIE, 2000, v.4008, p.582.
8. Panchuk V., et al, Astrophys. Bull., 2011, v.66, p.355.
9. Pepe F., et al, The Messenger, 153, Sept.2013, p.6.
10. Ghasempour A, et al, Proc. SPIE, v.8450, p/845045-1.
11. Панчук В.Е., и др., Изв. КрАО, 2013, т.109, No.2.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОИСКА ЭКЗОПЛАНЕТ МЕТОДОМ МИКРОЛИНЗИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛЕСКОПОВ

Ипатов С.И.^{1,2}, Horne K.³

¹*Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
siipatov@hotmail.com*

²*Ин-т космических исследований РАН, Москва*

³*Univ. of St. Andrews, St. Andrews, Scotland, United Kingdom*

Метод микролинзирования позволяет находить планеты с массами, близкими к массе Земли, находящиеся на таком расстоянии от звезды, при котором на этих планетах возможна жизнь. Нами проводилось [1] сравнение относительной вероятности обнаружения экзопланет при наблюдениях с помощью метода микролинзирования, проводимых на различных телескопах, для нескольких подходов к выбору наблюдаемых событий микролинзирования. Частью наших исследований являлось построение модели яркости звездного неба [2] на основе наблюдений с помощью телескопа OGLE (The Optical Gravitational Lensing Experiment, Чили) и телескопов сети RoboNet в 2011. Наш алгоритм показывает, какие события микролинзирования лучше наблюдать в рассматриваемые моменты времени с помощью конкретного телескопа для того, чтобы увеличить вероятность обнаружения экзопланет при наблюдениях. Полученные результаты показывают, что для поиска экзопланет методом микролинзирования, основанного на уже известных событиях микролинзирования, вероятность обнаружения экзопланет за единицу времени для 2-х метровых телескопов сети RoboNet (телескопы FTS = Faulkes Telescope South (Австралия), FTN = Faulkes Telescope North (Гавайи), или LT = Liverpool Telescope (Канарские острова)) больше (обычно в 1.2-2.1 раза), чем для OGLE. Для 1-м телескопа с ПЗС камерой Sinistro эта вероятность составляет примерно 0.8 от вероятности для OGLE, но в ряде расчетов она была больше, чем для OGLE. Приведенные выше оценки сравнения телескопов для поиска экзопланет приведены для случая, при котором каждый телескоп направлен на то событие микролинзирования, при котором вычисленное значение вероятности обнаружения является максимальным для рассматриваемых событий. Телескопы с более широким полем зрения, такие как OGLE, более эффективны для поиска новых событий микролинзирования. Вероятность обнаружения экзопланеты обычно пропорциональна диаметру зеркала телескопа. Анализ наших расчетов показывает, что при наблюдениях с помощью нескольких телескопов, расположенных в одной и той же обсерватории, большую часть времени наблюдений лучше наблюдать различные события микролинзирования с помощью различных телескопов, но в моменты времени, соответствующие пику кривой яркости события, часто лучше наблюдать одно и то же событие, используя все телескопы. Для выбора событий среди 1562 событий OGLE (с номерами 110001-111562) и 90-дневным (или более) периодом наблюдений значительная часть (часто больше 50%) вклада

в вероятность обнаружения экзопланеты приходилась на короткие интервалы времени, которые соответствовали пикам кривых яркости. Относительная вероятность для телескопа по сравнению с OGLE может отличаться на множитель до 2.5 в зависимости от наличия пиков кривых яркости в рассматриваемый интервал времени. Наш алгоритм может использоваться для планирования различных наблюдений (а не только наблюдений событий микролинзирования).

1. [1] Ipatov S.I. et al., “Simulator for Microlens Planet Surveys”, in Proc. IAU Symp. No. 293 “Formation, detection, and characterization of extrasolar habitable planets”, ed. by Nader Haghighipour and Ji-Lin Zhou, Cambridge University Press. <http://arxiv.org/abs/1308.6159> (2014). [2] Ipatov S.I., Horne K., Models of sky brightness, Abstracts of 45th Lunar and Planetary Science Conference (March 17-21, 2014), #1390, <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2014/pdf/1390.pdf> (2014). <http://www.hou.usra.edu/meetings/lpsc2014/eposter/1390.pdf> - eposter.

ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЕ И КОРОНОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРЯМОГО НАБЛЮДЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

А. Тавров ¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН), tavrov@iki.rssi.ru

К настоящему времени из более чем 1700 известных внесолнечных планет, открытых, в основном, непрямыми методами: лучевой скорости, наблюдениями транзитов, микролинзированием и таймингом, получены изображения 38 экзопланет ¹.

Для исследования экзопланет можно применять фотометрические, астрометрические, поляризационные и спектроскопические методы, как изображающие, так и неизображающие. Фотометрические методы больше подходят для обнаружения экзопланет, а не для их изучения. Из кривой блеска звезды можно определить орбитальные характеристики транзитной планеты и ее радиус. Для получения более подробной информации необходимы спектральные изображающие наблюдения. Непосредственное наблюдение экзопланет уточнит: сколько планет обращаются вокруг звезды, какие механизмы формирования и эволюции планет, какие основные физические параметры планет: масса, размер, состав, что на поверхности планет: скалы, атмосферы, есть ли свидетельства жизни на других планетах. Некоторые варианты ответов уже формируются в *моделях независимых* не прямых методах, но надежная проверка будет проведена непосредственными наблюдениями экзопланет внеатмосферным космическим телескопом ²: (выше атмосферного турбулентного экрана).

Непосредственное наблюдение внесолнечных планет затруднено как высоким контрастом (т.е. низким отношением блеска планеты к блеску звезды, в оптическом диапазоне достигающим $10^{-9} \dots 10^{-10}$), так и малым угловым расстоянием между планетой и звездой (менее 0.2 угл. с.) Пространственное разрешение космического телескопа ограничено дифракционным пределом $\sim 1.22\lambda/D$. Для метрового размера телескопа в видимом диапазоне длин волн предельное угловое разрешение составит 0.1 угл. с, что достаточно для покрытия ~ 100 известных экзопланет в наблюдательной зоне до 50 пс. Для ИК диапазона, а также наблюдения более удаленных экзопланет прямое наблюдение возможно интерферометром, состоящем из нескольких телескопов, соединенных оптически.

Адаптацию высокого оптического контраста в системе «звезда-планета» (на 6..10 порядков) для фоторегистрации осуществляет инструмент звездный коронограф, ослабляя только излучение звезды. Пылевой (зодиакальный) диск планетной системы (exozodi) дополняет фон от протяженного источника. Для наблюдения экзо-Земли на 10 пс с превышением зодиакального фона минимальный размер телескопа (2.4 м), может быть уменьшен для схемы ахроматического интерференционного

коронаграфа.

Первоначальные программы НАСА инициировали разработку методов прямого наблюдения экзопланет, содержащие: TPF-C (большой телескоп 8x3,5 м + коронаграф), TPF-I (интерферометр) – продолжатель Darwin'a, проект TPF-O (вынесенной коронаграфической маской, связанной по оси визирования на звезду парой КА с телескопом и КА с маской). Все эти программы ожидают остановленного приблизительно в 2003 г финансирования. В качестве прототипов *флагманских* миссий TPF (-C, -I, -O) предлагаются многочисленные малые орбитальные телескопы метрового класса, напр. SPICES, EXCEDE, ACCESS, PECO, EPIC, Planetoscope (на стратосферном баллоне) и др.

С российской стороны, ИКИ РАН разрабатывает несколько проектов космических телескопов по экзопланетным задачам: на борту МКС (и со стартом с МКС на ТГК «Прогресс» на более высокую орбиту) телескоп КЭ «Планетный Мониторинг» 0.6 м, с технологической отработкой наблюдения экзопланет (~2018 г.) и 1.5 м телескопом ²⁾, с аппаратурой для непосредственного изображения и спектро-поляриметрического исследования экзопланет.

1. J. Nishikawa, N. Murakami. "Unbalanced nulling interferometer and precise wavefront control". Opt. Rev. **20**, 453-462 (2013).
2. <http://www.star-patrol.cosmos.ru>

О НАБЛЮДЕНИЯХ ФАЗОВЫХ КРИВЫХ ЭКЗОПЛАНЕТ

Фролов П.Н.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН),
e-mail докладчика: warpedhorn@gmail.com*

На начало 2014 года достоверно обнаружено более 1000 внесолнечных планет и еще около 3500 надежных кандидатов по результатам миссии Кеплер ожидают проверки. Почти во всех случаях (более 95 процентов) детектирование осуществляется одним из двух непрямых методов: лучевой скорости или транзитным, которые предоставляют немного информации о планетах в силу ограничений применяемых методик и чувствительности к массивным планетам на тесных орбитах.

До недавнего времени именно с методом транзитов было тесно связано определение характеристик излучения экзопланет (излучения звезды, отражаемого и переизлучаемого дневной стороной планеты). При этом доля планет, которые можно обнаружить и изучать с помощью транзитного метода, определяется вероятностью затмения звезды планетой и равна отношению диаметра звезды к диаметру орбиты планеты. Например, в случае Солнца и планеты на расстоянии одной астрономической единицы вероятность транзита составляет около 0,46%. В ситуации, когда транзита не происходит, можно наблюдать изменение количества отраженного планетой света при ее движении по орбите – фазовую кривую. Фазовая кривая существует почти всегда кроме случаев, когда наклонение орбиты близко к нулю.

Наблюдение и спектральный анализ фазовых кривых экзопланет – это сложная техническая задача из-за сочетания огромных яркостных контрастов и малых угловых расстояний между планетой и звездой. Например, отношение интенсивностей излучения Солнца и Земли составляет около 10^6 в инфракрасном диапазоне и около 10^9 в видимом, видимое угловое расстояние $0,1''$ при наблюдении с расстояния 10 парсек. Для получения прямых изображений такой планетной системы необходимо исправить волновой фронт с точностью до $2,4 \cdot 10^{-5}$ мкм (при $\lambda=1$ мкм). Это в свою очередь потребует применения звездного коронографа и системы прецизионной адаптивной оптики. Однако требования для получения фазовой кривой могут быть менее критичны и технически достижимы.

Для наблюдения фазовой кривой мы рассмотрели схемы ахроматического интерференционного звездного коронографа общего пути CP-AIC и CP-ARC.

ПОИСК И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОПЛАНЕТ НА ОСНОВЕ МЕТОДА TRANSIT TIMING VARIATIONS (TTVS). СОЗДАНИЕ МЕЖДУНАРОДНОГО НАБЛЮДАТЕЛЬНОГО ПРОЕКТА ПО ПОИСКУ ЭКЗОПЛАНЕТ МЕТОДОМ TTV

Соков Е. Н.

Главная (Пулковская) Астрономическая обсерватория РАН

На сегодняшний день методом транзитных прохождений планеты по диску родительской звезды открыто уже более 1130 внесолнечных планет в более чем 600 планетных системах. Несмотря на точность предоставляемых наблюдательных данных таких телескопов, как Kepler, CoRoT, а также наиболее успешных проектов, которые ищут экзопланеты транзитным методом, таких, как SuperWASP, HATNet и др., не всегда удастся открыть все планеты в уже открытых планетных системах.

В 2005 году был предложен передовой метод поиска новых внесолнечных планет, основанный на регистрации серединного момента прохождений уже открытой планеты по диску родительской звезды. В англоязычной литературе этот метод получил название – Transit Timing Variations (TTVs).

Этот метод поиска новых экзопланет только сейчас начинает приобретать популярность с накоплением наблюдательных данных. Для более точного применения данного метода необходимо получение максимально плотного ряда наблюдений с хорошей точностью, что, увы, не под силу одной обсерватории. Для этих целей в Пулковской обсерватории создан и активно развивается международный наблюдательный проект (наблюдательная кампания), целью которого является получение точных наблюдательных данных с минимизацией пропусков между ними для наилучшего анализа тайминга транзитов избранных экзопланет. В рамках данного проекта уже участвует более 25 обсерваторий с использованием телескопов от 20 см до 2.6 метров, расположенных в России, странах СНГ, странах Европы, Южной и Северной Америки. Данный проект активно развивается и увеличивается число участников данного международного проекта.

У ряда транзитных экзопланет обнаружен тайминг (TTV сигнал) в регулярном прохождении планет по дискам родительских звёзд. Определены предварительные параметры обнаруженных вариаций на основе проведённого частотного анализа наблюдательных данных.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВАРИАЦИЙ ХРОМОСФЕРНОЙ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД ПОД ВЛИЯНИЕМ ЭКЗОПЛАНЕТ

Кузнецова Ю.Г.¹, Крушевская В.Н.¹, Андреев М.В.^{2,3}, Видьмаченко А.П.¹, Шляхетская Я.О.⁴

1 – Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины; sagittari07@gmail.com

2 – Терскольское отделение института астрономии, Российская академии наук

3 – Международный центр астрономических и медико-экологических исследований, Национальная академия наук Украины

4 – Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

Цель работы – исследование влияния, которое могут оказывать близкорасположенные массивные экзопланеты на хромосферы их родительских звезд; поиск переменности хромосферной активности ряда таких звезд, имеющих экзопланеты; поиск корреляции этой переменности с орбитальными периодами экзопланет и их гармониками, которая, по нашему мнению, может быть проявлением влияния этих планет на хромосферы родительских звезд.

В работе представлены результаты фотометрических исследований четырех экзопланетных систем HD68988, HD168746, HD219828 и Quatar-1, а также спектральных – системы HD189733. Все системы содержат экзопланеты, имеющие малые орбитальные периоды от 1.5 до 6.5 суток, с массами в пределах 0.23-1.9 $M_{\text{Юр}}$.

Выявление вариаций хромосферной активности родительских звезд под воздействием со стороны их планет-гигантов основано на анализе переменности наиболее мощных хромосферных линий H&K CaII и H α .

В фотометрических исследованиях была обнаружена переменность кривых блеска экзопланетных систем в широкополосных фильтрах В, R системы Джонсона, содержащих указанные спектральные линии. Сделан периодограммный Фурье-анализ полученных данных. Обнаруженные периоды вариаций соответствуют орбитальным периодам экзопланет и их гармоникам. Это указывает на возможную связь изменений хромосферной активности с орбитальными периодами экзопланет. Амплитуды вариаций лежат в диапазоне 0.055-0.015 звездных величин в различных фильтрах.

В спектральных исследованиях системы HD189733, полученных на протяжении явления транзита, обнаружены центральные эмиссионные пики в ядрах линий H&K CaII, которые, как известно, являются индикаторами хромосферной активности.

Фотометрические данные получены в Крымской астрофизической обсерватории с использованием 38-см телескопа системы Кассегрена и в обсерватории пика Терскол с использованием телескопов Zeiss-600 и Meade-14" в период с 2005 по 2013 гг. Спектральные данные получены в

обсерватории пика Терскол с использованием 2-м телескопа Zeiss-2000 и куде-эшелле спектрографа с разрешением $R=45000$.

ОЦЕНКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УТОЧНЕНИЕ ГРАНИЦ ОБИТАЕМЫХ ЗОН ИЗБРАННЫХ ЗВЕЗД ПУЛКОВСКОЙ ПРОГРАММЫ

Н.А.Шахт, Л.Г. Романенко, Д.Л.Горшанов

Главная (Пулковская) обсерватория РАН, e-mail: shakht@gao.spb.ru

Выполнен анализ динамических и физических характеристик звезд, наблюдаемых с помощью пулковского 26-дюймового рефрактора и имеющих полученные в Пулковке точные параметры движения. Выделены звезды, перспективные для точных наземных и космических наблюдений с целью обнаружения спутников с планетной массой. Для этих звезд на основе новейших известных данных о температуре, радиусе, возрасте и др. уточнены полученные нами ранее границы возможных обитаемых зон (HZ), а также вычислен уровень ожидаемого астрометрического сигнала в зависимости от параметров звезды и массы планеты. Из 50 двойных звезд, имеющих орбиты, полученные по пулковским наблюдениям, выделено 7 широких пар, соответствующих критерию целевых объектов Европейской космической программы NEAT (Nearby Earth Astrometric Telescope), планируемой к реализации вслед за проектом Gaia и нацеленной на обнаружение планет земного типа. Исследование показало, что у части наших звезд возможно обнаружение планет с массами от одной и более масс Земли в пределах зоны обитания с помощью космического аппарата, способного выявить астрометрический сигнал, составляющий 0.3 угловой микросекунды.

ТРЕХМЕРНОЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭКЗОПЛАНЕТЫ WASP-12B СО ЗВЕЗДОЙ

**Бисикало Д.В.¹, Кайгородов П.В.¹, Ионов Д.Э.¹, Шематович В.И.¹,
Lammer H.², Fossati L.³**

¹*Институт астрономии РАН, Москва, bisikalo@inasan.ru*

²*Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria*

³*Argelander Institut für Astronomie der Universität Bonn, Bonn, Germany*

Наблюдения, проведенные в 2009 году с использованием телескопа им. Хаббла перевели WASP-12b в класс наиболее загадочных экзопланет - система показала наличие раннего начала затмения в ближнем ультрафиолетовом диапазоне, что может быть объяснено наличием плотного, оптически-толстого вещества перед планетой, на расстоянии 4-5 ее радиусов. В работе представлены результаты трехмерного газодинамического моделирования взаимодействия экзопланеты WASP-12b и ее родительской звезды, по результатам моделирования описано течение вещества в системе. В частности, показано, что переполнение полости Роша планетой приводит к возникновению существенного оттока вещества ее верхней атмосферы через окрестности точек L_1 и L_2 . Вследствие сохранения углового момента поток из точки L_1 отклоняется в сторону орбитального движения планеты, а поток из точки L_2 - в противоположную сторону, что приводит к формированию асимметричной оболочки вокруг планеты. Сверхзвуковое движение планеты в газе звездного ветра ведет к образованию отошедшей ударной волны сложной формы. Наличие отошедшей ударной волны замедляет отток вещества через точки L_1 и L_2 , что позволяет говорить о наличии стационарной несферичной атмосферы у экзопланет подобного типа.

ВЕРХНИЕ АТМОСФЕРЫ ВНЕСОЛНЕЧНЫХ ПЛАНЕТ

Шематович В.И.

Институт астрономии РАН, Москва, ул. Пятницкая 48, 119017, Россия, shematov@inasan.ru

Более 1000 внесолнечных планет известны в настоящее время (<http://exoplanets.eu>). Открыты планеты в широком диапазоне размеров и масс, включая планеты-гиганты (горячие юпитеры), планеты-океаны (горячие нептуну с массами порядка $10M_E$ масс Земли) и каменные планеты земного типа (планеты-суперземли с массами порядка нескольких масс Земли). Открытие планет с атмосферами, насыщенными водородом и другими летучими компонентами, на близких к родительской звезде орбитах приводит к постановке вопросов о структуре и устойчивости верхних атмосфер относительно процессов тепловой и нетепловой диссипации. Действительно, орбиты многих из открытых экзопланет расположены ближе к родительской звезде, чем 0.1 а.е., следовательно, атмосферы таких экзопланет испытывают экстремальные воздействия интенсивных потоков плазмы и жесткого УФ-излучения от звезды, что, приводит к образованию протяженных и горячих планетных корон.

Прямые наблюдения атмосфер экзопланет редки из-за трудности выделения планетного сигнала из близлежащего и значительно более яркого звездного сигнала. Однако, у некоторых экзопланет плоскость орбиты лежит на луче зрения с Земли, что позволяет изучать атмосферу планеты посредством измерения поглощения излучения звезды при транзите - проходе планеты перед диском звезды. На данный момент, наиболее количество наблюдательных данных для планет-транзитов получено для атмосфер горячих юпитеров HD209458b и HD189733b, горячего нептона GJ436b и суперземли GJ1214b. Атмосферы горячих юпитеров состоят преимущественно из водорода и гелия, планет-океанов – из метана и/или паров воды, а суперземель – из водорода и паров воды.

Для интерпретации результатов наблюдений разработаны астрономические модели верхних атмосфер экзопланет, в которых рассматриваются:

- (а) *испаряющаяся верхняя атмосфера.* Например, близость планеты-транзита HD209458b к родительской звезде (0.045 а.е.) приводит к сильному нагреву верхней атмосферы звездным ультрафиолетовым излучением до температур порядка 10^4 К и ее атмосфера расширяется до пределов полости Роша;
- (б) *перезарядка плазмы звездного ветра в нейтральной короне планеты.* Измеренное поглощение излучения звезды в линии Лайман- α может быть также объяснено как результат воздействия плазмы звездного ветра на корону планеты.
- (в) *Газодинамическое взаимодействие между звездным ветром и нейтральной планетной короной.* Обычно орбитальные скорости

горячих юпитеров являются сверхзвуковыми относительно звездного ветра, что приводит к образованию ударной волны. Газодинамическое моделирование показывает, что в зависимости от положения ударной волны вокруг горячих юпитеров могут образовываться как замкнутые, так и открытые газовые оболочки.

В докладе обсуждаются современные аэрономические модели верхних атмосфер внесолнечных планет, разработанные на основе все нарастающего объема наблюдений. Такие модели используются для интерпретации наблюдений и позволяют уточнить наши представления о состоянии и эволюции протяженных верхних атмосфер внесолнечных планет на астрономических масштабах времени.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 14-02-00838а) и Программы №22 Президиума РАН.

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРЕВА ТЕРМОСФЕРЫ «ГОРЯЧЕГО ЮПИТЕРА» HD 209458B

Ионов Д.Э.¹, Шематович В.И.¹, Бисикало Д.В.¹

¹Институт астрономии РАН, ionovd@inasan.ru

Нагрев атмосфер «горячих юпитеров» интенсивным излучением звезды является одним из ключевых факторов, определяющих ее структуру и динамику. Поэтому одним из ключевых параметров в физике термосфер этих планет является эффективность нагрева излучением звезды. Для ее определения необходимо рассчитать скорости процессов фотоионизации и фотодиссоциации, в ходе которых энергия излучения переходит в кинетическую энергию фотоэлектронов, после чего определить долю от начальной энергии фотоэлектронов, которая идет на нагрев атмосферы. При этом необходимо учитывать, что фотоэлектроны по большей части рождаются с энергиями, значительно превосходящими тепловую энергию частиц атмосферы. Корректный расчет надтепловых частиц невозможен в рамках общепринятых газодинамических моделей атмосфер экзопланет. В большинстве ранее опубликованных работ эффективность не рассчитывалась, а выбиралась произвольно, причем существующие оценки демонстрируют разброс в диапазоне от 0.1 до 0.99.

В нашей модели реакции с участием фотоэлектронов и их перенос рассчитываются путем решения уравнения Больцмана методом прямого моделирования Монте-Карло. В работе определен высотный профиль эффективности нагрева. Приведены результаты, полученные для «горячего юпитера» HD 209458b — первой открытой транзитной экзопланеты. Показано, что учет надтепловых частиц существенно снижает принятую в настоящее время эффективность нагрева. Согласно полученным результатам среднее значение эффективности нагрева будет равно 0.16.

ТИПЫ ГАЗОВЫХ ОБОЛОЧЕК ЭКЗОПЛАНЕТ, ОТНОСЯЩИХСЯ К КЛАССУ «ГОРЯЧИХ ЮПИТЕРОВ»

Кайгородов П.В.¹, Бисикало Д.В.¹, Ионов Д.Э.¹, Шематович В.И.¹

¹*Институт астрономии РАН, Москва, bisikalo@inasan.ru*

«Горячие юпитеры», т.е. экзопланеты, имеющие массу, сравнимую с массой Юпитера, и большую полуось, не превышающую 0.1 а.е. , движутся, как правило, по орбите со сверхзвуковой скоростью относительно газа звездного ветра, что должно приводить к возникновению отошедшей ударной волны. Газодинамическое моделирование, проведенное в работе, показало, что в зависимости от положения точки лобового столкновения (ТЛС) все газовые оболочки вокруг «горячих юпитеров» можно разделить на два класса: если ТЛС лежит внутри полости Роша планеты, то оболочки имеют почти сферическую форму классической атмосферы, слегка искаженную воздействием звезды и взаимодействием с газом звездного ветра; а если ТЛС находится за пределами полости Роша, то начинается истечение через окрестности точек Лагранжа L_1 и L_2 и оболочка становится существенно несимметричной. Последний класс объектов также можно разделить на два типа. Если динамического давления газа звездного ветра достаточно для того, чтобы остановить наиболее мощное истечение из внутренней точки Лагранжа L_1 , то в системе формируется замкнутая квазистационарная оболочка сложной формы. Если ветер не может остановить струю из L_1 , то в системе формируется незамкнутая несферическая оболочка. Возможность существования трех упомянутых типов атмосфер подтверждена по результатам трехмерного численного моделирования.

На примере типичного «горячего юпитера», HD 209458b показано, что все три принципиально отличающихся типа атмосфер могут существовать в диапазоне параметров, оцененных в настоящее время для этой планеты. Поскольку разные оболочки имеют различные наблюдательные проявления, определение ее типа может использоваться для наложения дополнительных ограничений на имеющийся набор параметров HD 209458b.

ТЕМПЫ ПОТЕРИ МАССЫ ЭКЗОПЛАНЕТ ТИПА «ГОРЯЧИЙ ЮПИТЕР» С ОБОЛОЧКАМИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

Черенков А.А.¹, Бисикало Д.В.¹, Кайгородов П.В.¹

¹Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия, cherenkov@inasan.ru

Согласно результатам газодинамических расчетов, у экзопланет типа «горячий юпитер» могут формироваться газовые оболочки трех видов: замкнутые, квази-замкнутые и открытые. Тип формирующейся оболочки зависит от положения точки лобового столкновения (точки, в которой динамическое давление ветра уравнивает давление атмосферы) относительно границ полости Роша. Для планет, атмосферы которых целиком лежат внутри полости Роша, формируется замкнутая оболочка. Если точка лобового столкновения лежит вне полости Роша, то начинается отток вещества атмосферы через точки Лагранжа L_1 и L_2 , при этом могут формироваться квази-замкнутые (если динамическое давление звездного ветра останавливает отток из L_1) и открытые газовые оболочки.

В работе на примере типичного «горячего юпитера» HD 209458b были проведены расчеты темпов потери массы атмосферами различных типов M. По результатам моделирования были получены следующие оценки: для замкнутой атмосферы $M_1 = 1 \cdot 10^9$ г/сек, для квази-замкнутой атмосферы $M_2 = 3 \cdot 10^9$ г/сек, для открытой атмосферы $M_3 = 3 \cdot 10^{10}$ г/сек. Также в работе показано, что в замкнутой и квази-замкнутой атмосферах основной отток вещества происходит через точку Лагранжа L_2 , а для открытой оболочки – преимущественно через точку L_1 .

РЕЗОНАНСЫ В МУЛЬТИПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ И ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ КРАТНЫХ ЗВЕЗД

Попова Е.А., Шевченко И.И.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, iis@gao.spb.ru

На сегодняшний день открыто уже более тысячи экзопланетных систем. Явление орбитального резонанса (резонанса средних движений) имеет в них широкое распространение. Доклад посвящен статистическому и динамическому анализу резонансной структуры мультипланетных систем (систем с числом планет более одной) и планетных систем кратных звезд. Построены распределения отношений орбитальных периодов для случаев внешнего и внутреннего расположения орбиты более массивного тела относительно орбиты менее массивного. В обоих случаях построенные гистограммы имеют выраженные максимумы, соответствующие резонансам $3/2$, $2/1$, $5/2$, $3/1$ и $4/1$; однако в первом случае доминирует пик $2/1$, а во втором — $3/2$. Некоторые пики несколько смещены от своих номинальных резонансных положений. Проведено статистическое моделирование гистограмм; оценены указанные малые смещения пиков от номинальных положений. Путем построения столкновительных кривых на диаграммах «отношение периодов – эксцентриситет» выявлены динамически аномальные объекты.

СПЕКТРЫ ЭКЗОПЛАНЕТ, ПОХОЖИХ НА ЗЕМЛЮ, С РАЗЛИЧНЫМИ ПЕРИОДАМИ ОСЕВЫХ ВРАЩЕНИЙ

Ипатов С.И.^{1,2}, Cho Y-K.³

¹*Ин-т геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, sipatov@hotmail.com*

²*Ин-т космических исследований РАН, Москва*

³*School of Physics and Astronomy, Queen Mary, University of London, London, UK*

В настоящее время найдены земноподобные планеты около других звезд. Нами исследовались спектры планет, подобных Земле, но с различными периодами осевого вращения. Используя модель общей циркуляции атмосферы (general circulation model, GCM) и рассматривая циркуляцию атмосферы в течение 2 лет, мы вычислили [1] спектры атмосфер Земли и экзо-Земли, вращающихся с периодами 1, 0.167 и 100 дней. При вычислении спектров атмосфер использовалась программа SBDART. Мы анализировали спектр восходящего излучения на высотах в 1 и 11 км при длине волны от 1 до 18 микрон. Для Земли и экзо-Земли получены следующие общие черты: (1) планеты имеют широкий интервал абсорбции CO₂ около 14 микрон; (2) нет существенных различий для спектров около экватора (однако для некоторых областей, например, около полюсов, могут быть существенные различия в спектрах); (3) если интегрировать спектр по всему диску планеты, то разница в сигнале спектра, полученного при наблюдениях Земли/экзо-Земли с различных направлений, значительно снижается по сравнению с наблюдениями отдельных областей планет, но все же заметна разница в интегрированном сигнале спектра для Земли и экзо-Земли (например, эта разница заметна в случае спектра на высоте 11 км, наблюдаемом с южного полюса, но разница небольшая, если наблюдать весь диск с различных направлений экватора). Наши результаты показывают, что спектральный сигнал не может быть использован для определения скорости вращения экзопланеты, так как угол наблюдения экзопланеты в общем случае заранее не известен.

Наши расчеты также показывают, что в случае земноподобных экзопланет лучше всего наблюдать спектр с длиной волны ~5-10 и ~13-16 микрон, если нас не интересует период осевого вращения. Анализируя спектр с длиной волны около 9.4-10 микрон, мы можем сделать вывод, имеет ли атмосфера экзопланеты озон или нет. Локальный минимум при длине волны 9.4-10 микрон отсутствует на графиках восходящего излучения на высоте 11 км при отсутствии озона, но этот минимум имеется на графиках моделей с озоном. Так как озон важен для жизни, то полоса 9.4-10 микрон может быть важна для будущих наблюдений экзопланет, похожих на Землю.

1. [1] Ipatov S.I. and Cho J.Y-K., Abstracts of 39th LPSC, #2554, 2008. <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2008/pdf/2554.pdf>.

ОБ АНОМАЛИЯХ В ПОТЕМНЕНИИ К КРАЮ ДИСКОВ ЗВЕЗД, ЗАТМЕВАЕМЫХ ЭКЗОПЛАНЕТАМИ

М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук

Проанализированы многоцветные транзитные кривые блеска двойных систем с экзопланетами HD 209458 и HD 189733 при фиксированных теоретических коэффициентах потемнения к краю в квадратичном законе потемнения, взятых из работы [1]. Полагая модель звездной атмосферы верной, мы попытались объяснить расхождение между эмпирическими [2-6] и теоретическими [1,7] значениями коэффициентов потемнения влиянием протяженной несферической атмосферы экзопланеты. Для системы HD 209458 оказалось, что зависимость параметров i – наклона орбиты, r_s – радиуса звезды, r_p – радиуса планеты от длины волны λ наиболее существенна в коротковолновом диапазоне $\lambda\lambda = 3201-5000\text{AA}$, в то время как в длинноволновом диапазоне $\lambda\lambda = 5000-9708\text{AA}$, зависимость этих параметров от λ слабая. Это, по-видимому свидетельствует о том, что эффекты поглощения света звезды протяженной деформированной атмосферой экзопланеты заметно проявляют себя лишь в коротковолновом диапазоне и малы в длинноволновом диапазоне.

В связи с этим, казалось бы, именно в коротковолновом диапазоне $\lambda\lambda = 3201-5000\text{AA}$, эмпирические значения коэффициентов потемнения к краю должны наиболее сильно отличаться от теоретических [1,7]. Однако в случае системы HD 209458 ситуация противоположная: в коротковолновом диапазоне наблюдается хорошее согласие эмпирических и теоретических значений коэффициентов потемнения, в то время как в длинноволновом диапазоне наблюдается значительное расхождение эмпирических и теоретических значений коэффициентов потемнения. Причина такого расхождения остается неясной, поэтому приходится признать, что система HD 209458 пока остается “вызовом для теории звездных атмосфер” [7].

В случае системы HD 189733 зависимость наклона орбиты i от длины волны λ является незначительной, а относительное изменение радиуса звезды r_s с длиной волны составляет менее $\sim 1\%$, что свидетельствует о том, что эффекты поглощения света звезды протяженной деформированной атмосферой планеты в длинноволновом диапазоне $\lambda\lambda = 6000-10000\text{AA}$, несущественны, и простая модель двойной системы из двух сферических звезд на круговой орбите вполне адекватна имеющимся наблюдательным данным. Эмпирические значения коэффициентов потемнения к краю [5] в квадратичном законе потемнения в случае системы HD 189733 согласуются с теоретическими [1,7] в диапазоне $\lambda\lambda = 6000-10000\text{AA}$, что подтверждает современную теорию тонких звездных атмосфер [1].

Дальнейшие тщательные исследования проблемы потемнения к краю звезд, затмеваемых экзопланетами, представляют большой интерес.

1. A. Claret, Astron & Astrophys v.552, A16 (2013).

2. М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук, Астрон. журн. т. 85, 121 (2008).
3. М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук, Астрон. журн.т. 86, 778 (2009).
4. М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук, Астрон. журн.т. 87, 1199 (2010).
5. М.К. Абубекеров, Н.Ю. Гостев, А.М. Черепашук, Астрон. журн.т.88, 1139 (2011).
6. Abubekero M.K., Gostev N.Yu., MNRAS, v. 432, 2216 (2013).
7. A. Claret, Astron & Astrophys v. 506, 1335 (2009).

ПРОЕКТ SPAREBIS – ПОИСК ЭКЗОПЛАНЕТ В ЗАТМЕННЫХ СИСТЕМАХ. ОТКРЫТИЕ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ – КОМПОНЕНТ ЗАТМЕННЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД V0873 PER И AR CRB

Богомазов А.И.¹, Ибрагимов М.А.², Сатовский Б.Л.³, Эгамбердиев Ш.А.⁴, Козырева В. С.¹, Ирсамбетова Т.Р.⁵, Крушевская В.Н.⁶, Кузнецова Ю.Г.⁶, Каримов Р.Г.⁴, Зотов В.Л.¹, Тутуков А.В.²

¹ ГАИШ, Москва, Россия, a78b@yandex.ru

² ИНАСАН, Москва, Россия

³ ЗАО «АстроТел», Москва, Россия

⁴ АИ АН РУз, Ташкент, Узбекистан

⁵ КрАО, Научный, Крым

⁶ ГАО, Киев, Украина

Представляется новый проект по поиску внесолнечных планет в системах затменных двойных звезд «Search for Planets Around Eclipsing Binary Stars» (SPAREBIS). Проект нацелен на поиск новых объектов в затменных двойных системах при помощи двух методов обнаружения новых тел: фотометрические транзиты нового тела по поверхности родительской звезды (метод транзитов) и изучение временных вариаций орбитального периода двойной под гравитационным воздействием третьего тела (метод тайминга). Наблюдения проводятся на телескопах с апертурой 50-60 см на Майданакской обсерватории в Узбекистане и Крымской станции ГАИШ. Проект стартовал в мае 2013 года и пока еще не получено ни одного сигнала о наличии планетоподобного тела в исследуемых затменных системах. Однако, в ходе наблюдательной кампании 2013 года обнаружены красные карлики – не известные ранее компоненты систем V0873 Per и AR CrB. Результат получен с использованием тайминга затмений этих двойных звезд. Орбитальные периоды V0873 Per и нового третьего тела в этой системе составляют 0.2949039 и 299 дней соответственно. Орбитальные периоды AR CrB и ее нового тела составляют 0.39735151 и 150.462626 дней соответственно. Массы обоих новых тел в системах V0873 Per и AR CrB примерно равны и составляют около 0.1 массы Солнца.

ПРЕЦИЗИОННАЯ КОРРЕКЦИЯ ВОЛНОВОГО ФРОНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕСБАЛАНСИРОВАННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМ НАБЛЮДЕНИЯ ЭКЗОПЛАНЕТ

Шкурский Б.Б.¹, Ахметов И.И.², Макашов М.А.³, Тавров А.В.^{1,2}

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН), *shkurskiybb@mail.ru*

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Московский Энергетический Институт» (НИУ МЭИ)

³Федеральное Государственное Автономное Образовательное Учреждение Высшего Профессионального Образования Московский Физико-Технический Институт (МФТИ)

Системы прямого наблюдения экзопланет для реализации контраста 10^9 – 10^{10} , необходимого для наблюдения экзопланет земного типа, требуют контроля волнового фронта (ВФ) входящего излучения $\sim \lambda/10000$ по фазе и $\sim 0,1\%$ по амплитуде (среднеквадратичное отклонение – СКО).

Такое высокое качество волнового фронта превосходит точностные характеристики коммерчески-доступной адаптивной оптики. Зарубежные системы наблюдения экзопланет используют прецизионную адаптивную оптику [1].

В работе предлагается метод, основанный на несбалансированном по амплитуде интерферометре, позволяющий использовать для прецизионной коррекции волнового фронта коммерчески-доступные непрецизионные адаптивные деформируемые зеркала (ДЗ).

В основе метода предложено когерентное сложение оптического излучения от звезды с его копией, ослабленной по амплитуде и скорректированной посредством непрецизионной адаптивной оптики. Для этого используется несбалансированный по амплитуде интерферометр по схеме Маха-Цандера, с установленным в одном из плеч (с меньшей интенсивностью излучения) деформируемым зеркалом для модуляции фазы волны в плече. При этом интерферометр является существенно-несбалансированным, то есть амплитуда волн в плечах отличается в несколько раз. Излучение на выходе такого интерферометра может иметь качество волнового фронта, значительно превосходящее точность используемых адаптивных зеркал.

В работе проведено численное моделирование коррекции волнового фронта посредством разрабатываемого метода. По проведенным оценкам, предложенный метод делает возможным изображение экзопланет при помощи деформируемых зеркал с малой точностью управления ячейкой зеркала (актуатором) $\sim \lambda/500$, однако формирует прецизионный волновой фронт с качеством $\lambda/5000$ – $\lambda/10000$ (СКО). При этом достигается контраст $\sim 10^9$ с интерференционным коронографом [2] (при

числе элементов ДЗ 32x32). Также показано, что метод имеет высокую ахроматичность. Приведена схема лабораторного эксперимента.

1. Oppenheimer, B.R. et al., Project 1640: The World's First Extreme-AO Exoplanet Imager. Proceedings of the SPIE 8447, 844720-1 (2012)
2. Тавров А.В. Ахроматический нуль-интерферометр для звездной коронографии. Журнал технической физики, 2010, том 80, вып. 3, с.83-92

ПЛАНЕТЫ ОДИНОЧНЫХ И КРАТНЫХ ЗВЕЗД

Маров М.Я.¹, Шевченко И.И.²

¹ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского РАН, Москва*

² *Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, iis@gao.spb.ru*

В докладе рассмотрены проблемы формирования и динамической устойчивости мультипланетных (включающих две или более планеты) систем одиночных звезд и планетных систем кратных звезд. Проанализированы такие важнейшие факторы, определяющие их наблюдаемую динамическую структуру, как вековая эволюция, резонансы и миграция. Большой интерес представляет сопоставление свойств планет в зонах обитаемости систем одиночных и кратных звезд; такому сравнительному анализу в докладе посвящен специальный раздел.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОЗДНИХ ЭТАПАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Емельяненко В.В.

Институт астрономии РАН, vvemel@inasan.ru

Обсуждаются особенности процессов миграции планет в газопылевых дисках, а также взаимодействие планет с планетезимальными дисками на заключительных этапах формирования планетных систем. Рассмотрение основывается на результатах численных экспериментов, основу которых составляет симплектическое интегрирование уравнений движения.

Показывается, что захват в резонанс 2:1 для наблюдаемых систем GJ 876, 24 Sex, HD 37124, HD 73526, HD 82943, HD 128311, HD 160691, Kepler 9, NN Ser реализуется в широком диапазоне параметров миграции как первого, так и второго типа. Находятся условия миграции, при которых могли образоваться системы HD 45364 и HD 200964, находящиеся в резонансах первого порядка 3:2 и 4:3, соответственно. Обсуждаются возможные пути формирования систем HD 102272, HD 108874, HD 181433, HD 202206, планеты которых движутся в резонансах высоких порядков. Демонстрируется также важная роль взаимодействия планет с остатками планетезимального диска в разрушении резонансных конфигураций на примере трехпланетной системы 47 UMa.

Анализируются результаты моделирования процесса взаимодействия внешних планет с остатками планетезимальных дисков. Рассматриваются особенности этого процесса: реверсия направления миграции далеких планет, перемещение планетезималей во внешнюю область вследствие взаимодействия с мигрирующей планетой. Показывается, что модель обратимой миграции планеты с массой порядка массы Земли в планетезимальном диске объясняет основные особенности наблюдаемого орбитального распределения "холодного населения" пояса Койпера.

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ В ГИПОТЕЗЕ О ВЛИЯНИИ ПЛАНЕТ НА СОЛНЕЧНУЮ И ЗВЕЗДНУЮ АКТИВНОСТЬ

Веселовский И.С.^{1,2}, Прохоров А.В.¹

¹НИИЯФ МГУ, *veselov@dec1.sinp.msu.ru*

²ИКИ РАН

Конкретные причины солнечной и звездной активности, то есть немонотонных изменений светимости, потоков электромагнитного излучения, плазмы в виде ветра и энергичных частиц от звездных объектов привлекают к себе большое внимание. Гипотеза о внешнем происхождении солнечных циклов, связанная с возможным влиянием планет на образование пятен и других проявлений солнечной активности, была исторически первой попыткой объяснения циклических изменений. Она до сих пор обсуждается в научной литературе, хотя не имеет под собой надежных оснований в виде количественных оценок, не говоря о физических моделях. Так называемая стандартная модель Солнца, общепринятая в настоящее время, не в состоянии дать хоть какое-либо объяснение солнечной активности. Существует также гипотеза, связанная с источником циклов за пределами гелиосферы. Гораздо более привлекательной и развитой в настоящее время представляется теория магнитогидродинамического (МГД) динамо внутри самого Солнца, поскольку именно там сосредоточены наибольшие запасы свободной энергии для нестационарных и неравновесных, в том числе, циклических и периодических изменений ядерных, термодинамических, электродинамических и плазменных параметров. Однако на этом пути имеются свои трудности, которые не преодолены. Самая убедительная проверка планетной гипотезы состояла бы в сравнении двух типов звезд, одинаковых во всем остальном, но с планетными системами и без них. Такая проверка в настоящее время возможна благодаря открытию большого количества объектов, во всем похожих на Солнце по своей светимости, массе, составу вещества, скорости вращения, наличию пятен и других проявлений активности. Если окажется, что среди них есть звезда без планет или с очень слабой системой планет, то это будет сильным ограничением на планетную гипотезу. Не исключена также и противоположная ситуация, когда звезда типа Солнца обладает мощной планетной системой, но не имеет пятен. Для получения таких ограничений необходим тщательный анализ архивных данных, собранных в последние годы попутно при попытках обнаружения экзопланет. Сравнение с каталогами звезд солнечного типа при этом может дать все более строгие и детальные ограничения на планетную гипотезу. С другой стороны, вовсе не исключено совместное действие гравитационных планетных сил и плазменных МГД натяжений или даже преобладание планетных влияний для некоторых пекулярных звезд. Обнаружение и классификация подобных объектов в будущем представляет большой

научный интерес ввиду их физического разнообразия. Обсуждается современное состояние проблемы, ситуация с наблюдениями звезды Kepler-20 и других объектов с экзопланетами, а также перспективы дальнейших исследований. Предварительное рассмотрение имеющихся каталогов в целом указывает на возможность отмеченного разнообразия среди звезд солнечного типа и служит важным дополнительным аргументом в пользу общепринятой точки зрения о том, что активность современного Солнца обусловлена практически полностью внутренними, а не внешними причинами по отношению к нашей звезде.

ИЗОТОПЫ – КЛЮЧ К РАЗГАДКЕ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

Бережной А.А.¹, Дорофеева В.А.²

¹ГАИИШ МГУ, ber@sai.msu.ru

²ГЕОХИ РАН

Обобщены данные по $^{14}\text{N}/^{15}\text{N}$, $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ и D/H для льдов молекулярных облаков и комет.

Проведено их сопоставление с наблюдательными данными по изотопному составу летучих компонентов регулярных спутников Сатурна Титана и Энцелада с целью оценить значимость вклада неизмененного межзвездного вещества в состав вещества каменно-ледяных спутников внешних планет.

Сравнение данных по изотопному составу протопланетных дисков, комет и Энцелада позволяет утверждать, что водяной лед, вошедший в состав Энцелада, подобно льду комет, не прошел стадию испарения. Это дает основания предполагать, что Энцелад образовался на заключительной стадии эволюции протоспутникового диска Сатурна и в его составе велика доля неизмененного первичного межзвездного вещества.

Удивительная близость отношения D/H в метане атмосферы Титана и воды на Земле (VSMOW) может свидетельствовать об образовании метана в реакции серпентинизации в подледном океане крупнейшего спутника Титана. Если это предположение верно, то образование водяного льда, вошедшего в состав Титана, происходило в тех регионах, где он ранее был испарен.

Получение сведений об изотопном составе атмосфер экзопланет позволит исследовать происхождение планет в других планетных системах на принципиально новом уровне.

Работа поддержана грантом программы президиума РАН № 22.

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕТКИ О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭКЗОПЛАНЕТ

Л. В. Ксанфомалити

Институт космических исследований РАН, Москва

За годы, прошедшие с открытия первой «классической» экзопланеты 51Peg b в 1995 г., число обнаруженных экзопланет превысило 1000. Сегодня с уверенностью можно утверждать, что около половины звезд в ближайшем окружении Солнца имеют не менее одной планеты. Среди более 700 вероятных экзопланет, найденных в миссии КЕПЛЕР, примерно 10 объектов попадают в категорию «Суперземля», как по массам, так и по их орбитальному положению в «зоне обитаемости» земного типа, что соответствует возможному присутствию на небесном теле воды в жидкой фазе. Вместе с тем, исследования последних лет показывают, что не исключено существование живых форм при физических условиях на планетном теле, радикально отличающихся от земных, что значительно расширяет зону поиска возможной жизни на экзопланетах.

Самостоятельная группа экзопланет – это планетаны, океанические планеты. Условия существования таких тел ограничены достаточно узкими физическими рамками. Вместе с тем, достаточно неожиданным оказалось жесткое ограничение возможных водных ресурсов планет, обращающихся у звезд, обогащенных углеродом.

Что касается внесолнечных планет-гигантов, анализ данных, полученных при транзитах обнаруженных низкоорбитальных внесолнечных планет, указывает на вероятное существование нескольких различающихся подтипов гигантов, в том числе «горячих юпитеров» с массивным ядром из тяжелых элементов (например, HD149026b). Первые указания на существование таких подклассов были получены еще в 2004-2006 гг. Утверждается, что низкоорбитальные планеты-гиганты должны иметь сильное магнитное поле. Это их свойство может быть использовано для поиска внесолнечных планет. Оценены ожидаемые потери массы «горячих юпитеров» из-за убегания атмосферы на космогонической шкале времени, которые не превышают единиц процентов. За один орбитальный период (3,5 сут) гигант HD 209458b может терять $3 \cdot 10^{16}$ г – почти на порядок больше, чем очень крупная комета за время одного прохождения перигелия. Вместе с тем, потери за космогоническое время (скажем, 4,5 млрд лет) составят $1.4 \cdot 10^{28}$ г, или всего 1.4% массы Юпитера или 2% массы HD 209458b.

МИССИИ KEPLER И COROT. НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ

В.Ананьева ¹, В.Ясинский ²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН),
lada@rssi.ru

²Испытательная лаборатория ООО “Еврореференслаб”

Космический телескоп CoRoT (Convection, Rotation and planetary Transits) был запущен 27 декабря 2006 года на полярную солнечно-синхронную орбиту высотой 896 км. Научные наблюдения начались 3 февраля 2007 года. Телескоп имеет главное зеркало диаметром 27 см с фокусным расстоянием 1.1 м, ширина его поля зрения 2.7x3.05 градусов.

CoRoT обнаружил 567 транзитных кандидатов. Из них подтверждена планетная природа 22 транзитных горячих юпитеров, 2 транзитных «сатурнов», 2 транзитных «нептунов», одной суперземли (CoRoT-7 b), также открыто два транзитных коричневых карлика (CoRoT-3 b и CoRoT-15 b).

Несравненно успешнее оказалась миссия Kepler (NASA). Космический телескоп им. Кеплера был запущен 6 марта 2009 года с космодрома на мысе Канаверал ракетой-носителем «Дельта-2». Телескоп был выведен на гелиоцентрическую орбиту, близкую к земной, с периодом 372.5 суток. Диаметр его главного зеркала 0.95 м, площадь поля зрения близка к 105 квадратным градусам. Телескоп непрерывно наблюдал одну и ту же область неба, называемую полем Кеплера, расположенную в районе созвездий Лебедя и Лиры.

На середину апреля 2014 года Кеплером было обнаружено 3841 транзитных кандидатов, планетная природа 961 из них подтверждена независимыми методами. Кеплер собрал богатейшую статистику по свойствам планет и планетных систем. Среди важнейших научных результатов, полученных Кеплером,

- обнаружение резкого увеличения количества планет по мере уменьшения их размеров, продолжающегося как минимум до 2 радиусов Земли ($N \sim R_p^{-2}$),
- обнаружение компактных плотно упакованных плоских многопланетных систем (Kepler-11, Kepler-32),
- обнаружение небольших планет (суперземель) в обитаемой зоне своих звезд (Kepler-62 e, f),
- обнаружение планет, вращающихся вокруг пары звезд как целого (Kepler-16 b, Kepler-34 b),
- обнаружение остатков планет-гигантов, переживших поглощение звездой на стадии красного гиганта (Kepler-70 b, c), и др.

Однако главным результатом Кеплера стало получение богатейшей статистики по планетным системам Галактики. Так, по данным

Кеплера, 85% планетных систем являются плоскими (т.е. угол между наклонениями орбит планет не превышает 3°), в ~75% многопланетных систем эксцентриситеты орбит планет близки к 0.01 (и лишь в ~25% они составляют 0.1-0.4). Также показана широкая распространенность планетных систем.

16.5 ± 3.6% FGK-звезд имеют хотя бы одну планету радиусом **0.8-1.25** земных на орбитах короче 85 суток;

23 ± 2.4% FGK-звезд имеют хотя бы одну планету радиусом **1.25-2** земных на орбитах короче 85 суток;

23.5 ± 1.6% FGK-звезд имеют хотя бы одну планету радиусом **2-4** земных на орбитах короче 85 суток;

Наконец, **68.9 ± 4.7%** FGK-звезд имеют хотя бы одну планету любого размера на орбитах короче 85 суток.

Среди звезд красных карликов распространенность планет земного типа еще выше. На 1 M-карлик приходится 0.90 +0.04/-0.03 планет с радиусами от 0.5 до 4 радиусов Земли и периодом короче 50 суток. Ближайшая потенциально обитаемая планета находится не далее 5 пк от Земли (с достоверностью 95%) (Dressing & Charbonneau, 2013).

Обработка данных и их анализ продолжаются, итоги миссии официально еще не подведены.

О ФОРМИРОВАНИИ ПЕРВИЧНЫХ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ ЗЕМНОГО ТИПА В «ЗОНЕ ОБИТАЕМОСТИ» ЗВЕЗД СОЛНЕЧНОГО КЛАССА

**Куликов Ю.Н.¹, Ламмер Х.², Еркаев Н.В.³, Штёкл А.⁴, Дорфи Е.⁴,
Одерт П.², Гюдел М.⁴, Кислякова К.Г.², Лейтцингер М.⁵**

¹*Polar Geophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia; kulikov@pgi.ru*

²*Austrian Academy of Sciences, Space Research Institute, Graz, Austria*

³*Institute for Computational Modelling, Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia*

⁴*Institute for Astronomy, University of Vienna, Vienna, Austria*

⁵*Institute of Physics, University of Graz, Graz, Austria*

В работе исследованы процессы образования и потери водородных оболочек протопланет земного типа с массами в интервале от 0.1 массы Земли (M_{\oplus}) до 5 земных масс (масса супер-Земли), сформировавшихся и обращающихся в «зоне обитаемости» звезды G-класса. Предполагается, что силикатные ядра планет сформировались еще до того времени, как протопланетная газопылевая туманность диссипировала. Нами выполнено моделирование гравитационного притяжения вещества туманности к ядру планеты в зависимости от светимости протопланеты в результате аккреции и свойств газопылевого облака и рассчитана температура её поверхности на основе решения уравнений гидростатического равновесия для протопланетной туманности. В зависимости от свойств туманности, для планетных тел с массами от $0.1 M_{\oplus}$ до $1 M_{\oplus}$ получены массы водородных оболочек планет в интервале от $\sim 2.5 \times 10^{19} g$ до $1.5 \times 10^{26} g$. Для «супер-Земель» с массами $2 - 5 M_{\oplus}$ оказалось, что они могут аккумулировать значительно более массивные водородные оболочки, с массами от 7.5×10^{23} до $1.5 \times 10^{28} g$. Для изучения потери таких первичных, водородных атмосфер планет нами использовалась одномерная гидродинамическая модель атмосферы, истекающей из гравитационного поля планеты под действием интенсивного нагрева солнечным крайним ультрафиолетовым излучением и мягким рентгеновским излучением раннего Солнца (или звезды G-класса). Результаты нашего исследования показывают, что планеты земного типа с небольшими массами (не выше массы Земли) могут утратить свою захваченную водородную оболочку под действием нагрева излучением Солнца (звезды) в течение первых 100 млн лет после исчезновения протопланетного диска. В отличие же от протопланет небольшой массы, более массивные «супер-Земли» способны аккумулировать огромные количества газа из туманности и, наоборот, могут потерять лишь незначительную часть массы своих водородных оболочек. Таким образом, наши результаты согласуются с известным фактом, что планеты земной группы – Марс, Земля и Венера не имеют массивных водородных оболочек, тогда как недавние открытия экзопланет типа супер-Земли с низкой средней плотностью указывают на то, что, по всей вероятности, эти планеты не смогли избавиться от своих массивных водородных протопланетных атмосфер.

ВОДОРОДНЫЕ КОРОНЫ И ПОТЕРИ ИОНОВ ИЗ ВЕРХНИХ АТМОСФЕР ПЛАНЕТ ЗЕМНОГО ТИПА

Кислякова К.Г.¹, Ламмер Х.¹, Холмстрём М.², Еркаев Н.В.³, Куликов Ю.Н.⁴, Одерт П.⁵, Лейтцингер М.⁵, Гюдел М.⁶

¹ *Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria.*

² *Swedish Institute of Space Physics, Kiruna, Sweden.*

³ *Institute of Computational Modelling, Siberian Division of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russian Federation.*

⁴ *Polar Geophysical Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russian Federation, kulikov@pgi.ru*

⁵ *Institute of Physics, University of Graz, Graz, Austria.*

⁶ *Institute of Astrophysics, University of Vienna, Vienna, Austria.*

Исследовано взаимодействие плазмы звездного ветра типичной звезды класса М с водородной верхней атмосферой планеты-аналога Земли, а также «супер-Земли», имеющей радиус вдвое больше и массу в 10 раз больше, чем у Земли. Предполагается, что обе тестовые экзопланеты расположены в «зоне обитаемости» звезды. Методом стохастического моделирования Монте-Карло изучено влияние на потерю ионов водорода из протяженной короны планеты плотности и скорости плазмы звездного ветра, а также интенсивности потока XUV-излучения звезды (т.е. крайнего ультрафиолетового и мягкого рентгеновского излучения), формы и размера планетного препятствия (т.е. магнитосферы и ионопаузы). Показано, что вследствие перезарядки между горячими протонами звездного ветра и холодными атмосферными атомами Н происходит образование высокоэнергичных атомов водорода, способных покидать гравитационное поле планеты. Результаты моделирования также показывают, что вследствие перезарядки между протонами и планетными атомами водорода, а также фотоионизации короны образуются холодные ионы Н⁺ планетного происхождения, которые могут захватываться электромагнитными полями звездного ветра и теряться планетой. Наши оценки показывают, что интегральные нетепловые потери верхней атмосферы с доминирующим содержанием водорода для планеты-аналога Земли, находящейся в «зоне обитаемости» карликовой звезды класса М, в течение нескольких млрд лет могут составить от ~0.4 массы водорода, содержащейся в земном океане (EO_H), до $<3EO_H$. Эта величина, однако, в несколько раз, или даже на порядок, ниже тепловых потерь водорода из атмосферы планеты за тот же период.

ЭКЗОПЛАНЕТЫ: НОВЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ МИССИИ

О. И. Кораблев ¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований Российской академии наук
(ИКИ РАН),
tavrov@iki.rssi.ru, korab@iki.rssi.ru

Прогресс в развитии космической техники позволил не только плотную подойти к изучению состава, строения и эволюции отдельных планет Солнечной системы, но и начать изучение внесолнечных планет (экзопланеты от англ. extra-solar planets). Это качественно дополняет новую отрасль естествознания — сравнительную планетологию — научное направление, которое занимается сравнительным анализом строения планет Солнечной системы и Земли, в частности. Сейчас уже известно, что планетные системы широко распространены. Стало ясно, что тела Солнечной системы неполно описывают возможные типы планет. Понимание физических причин такого разнообразия является центральной проблемой космогонии и сравнительной планетологии.

После впечатляющего научного вклада космических телескопов Corot, Kepler запланированы следующие программы, наиболее представительным и вероятным из которых посвящается доклад.

TESS ¹⁾ – Transiting Exoplanet Survey Satellite – КА для поиска транзитных экзопланет. (бюджет 200 млн. \$ в проекте Astrophysics Explorer). КА будет оснащен 4-мя камерами с диаметром линз 12 см, поле зрения каждой камеры 23x23 градуса. Поля зрения всех четырех камер выстроены в одну линию, формируя одну наблюдательную площадку общей площадью 2100 квадратных градусов. На каждой наблюдательной площадке телескоп будет снимать фотометрию звезд от +4 до +12 звездной величины в течение 27 суток (2 витка вокруг Земли), потом переходить к следующей наблюдательной площадке. За 2 года планируется покрыть наблюдениями всю небесную сферу – около 500 тысяч звезд. TESS будет сосредоточена на поисках короткопериодических планет с периодами до ~20 суток

PLATO ²⁾ – PLANetary Transits and Oscillations of stars запланирована для поиска планет транзитным методом у ближайших к Солнцу звезд с возможностью фотометрии звезд до -16 звездной величины. PLATO была выбрана в феврале 2014 года в качестве третьей миссии среднего класса (M3) программы Европейского космического агентства Cosmic Vision в 2022-2024 годах. Для поиска долгопериодических планет (в отличие от короткопериодических планет TESS) наблюдательная стратегия PLATO содержит наблюдение двух полей зрения непрерывно по 3 года каждое, и предусмотрено наблюдение дополнительных полей по 2-5 месяцев. Предполагается, что за время работы миссии PLATO охватит наблюдениями около 50% небесной сферы.

CHEOPS ³⁾. (*CH*aracterizing *ExO*Planet *Satellite*) – малая миссия малого (S) класса ЕКА, выбранная по конкурсу в октябре 2012 года. Работы начались в конце 2013 года, запуск планируется на 2017 год. CHEOPS – это небольшой (33 см) космический телескоп, посвященный не поиску новых транзитных экзопланет, а изучению уже имеющих. Он предназначен для получения высококачественных кривых блеска сравнительно ярких (видимая звездная величина меньше +12.5) звезд, обладающих экзопланетами радиусами от 1 до 6 (рад. Земли), недоступными для наблюдений с Земли. Аппарат будет запущен на солнечно-синхронную околоземную орбиту высотой 620-800 км. Ожидаемое время работы – 3.5 года с возможностью продления.

1) http://space.mit.edu/TESS/TESS/TESS_Overview.html

2). <http://sci.esa.int/plato/>

3). <http://cheops.unibe.ch/>, <http://arxiv.org/pdf/1305.2270v1.pdf>

НИЗКОЧАСТОТНАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ НА ЛУНЕ: ПОИСК ЭКЗОПЛАНЕТ ЗЕМНОГО ТИПА.

Скальский А.А., Могилевский М.М., Зеленый Л.М.

*Институт космических исследований РАН, Москва, Профсоюзная
84/32
skalsky@iki.rssi.ru*

Диапазон принимаемых на Земле электромагнитных излучений космического происхождения ограничен влиянием проводящей ионосферы, которая экранирует радиоволны с частотами ниже 5-10 МГц. Этот радиоволновый диапазон является последним неизученным в спектре электромагнитных излучений, и его исследование может дать неожиданные научные результаты («transformational science»). Исследования низкочастотного диапазона имеет много дисциплинарный характер и представляют интерес для решения геофизических, гелиосферных и астрофизических задач. В частности, измерения в указанном диапазоне позволяют вести поиск экзопланет земного типа, которые обладают собственным магнитным полем и, соответственно, являются источниками радиоизлучения подобного авроральному километровому излучению Земли.

Единственным способом провести исследования в этом низкочастотном диапазоне радиоволн является размещение приемной антенной системы в космическом пространстве, находящемся вне влияния земной ионосферы. Отсутствие у Луны плотной ионосферы, низкий уровень помех антропогенного происхождения делают поверхность спутника Земли идеальной базой для размещения антенного поля (фазированной решетки), состоящего из отдельных неподвижных приемников радиоизлучения, собранных в кластеры (антенна с «синтезированной» апертурой). Относительная близость к Земле позволяет осуществлять управление низкочастотной антенной с Земли, вести передачу результатов измерений в реальном времени на Землю и проводить любой сложности обработку информации с использованием наземных вычислительных средств.

В работе рассмотрено: (1) проведение эксперимента по измерению низкочастотного электромагнитного излучения на посадочной лунной платформе с использованием элементарного приемника радиоизлучения; (2) создание кластера низкочастотной радиоантенны на поверхности Луны с использованием посадочного модуля и мобильного устройства (лунохода); (3) создание системы из нескольких кластеров с одновременным развитием инфраструктуры исследования и освоения Луны (системы топографической привязки и передачи данных с использованием спутников-ретрансляторов, взаимодействия лунной технологической инфраструктуры с наземным сегментом радиоантенны).

Работа поддерживается ПП-22 РАН.

О ВЕРОЯТНОМ РАСШИРЕНИИ «ЗОНЫ ОБИТАЕМОСТИ» ЭКЗОПЛАНЕТ ДО ФИЗИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПЛАНЕТЕ ВЕНЕРА

Д. В. Ксанфомалити

*Институт космических исследований РАН, Москва,
ksanf@rssi.ru*

Новые классы экзопланет сравнительно малой массы («суперЗемли»), расположенные на низких орбитах у звёзд невысокой светимости, обладают умеренно высокими температурами и давлением их атмосфер у поверхности. Во многих случаях подобные физические условия и состав атмосфер несовместимы с земной, аминокислотно-нуклеиновой формой жизни. Но следует ли их рассматривать как условия, несовместимые с любой формой жизни вообще? Широко используемое понятие «ЗОНЫ ОБИТАЕМОСТИ» опирается на земные физические условия, к которым адаптирована единственно известная аминокислотно-нуклеиновая форма жизни.

Возможно, однако, что ответ на вопрос о существовании жизни вне Земли удастся отыскать не в других мирах, удаленных на десятки парсеков, а на поверхности ближайшей планеты в Солнечной системе – на Венере. К такому выводу приводит новая обработка результатов телевизионных экспериментов на поверхности планеты, выполненных спускаемыми аппаратами *ВЕНЕРА* в 1975 и 1982 гг. Метод дистанционного телевизионного анализа был тем же, которым сегодня ведется поиск жизни на Марсе, только выполнялся он на 32 года раньше.

Очевиден тот факт, что высокая температура поверхности Венеры, 735 К, и огромное давление газовой оболочки (8.7 – 9.2 МПа) с плотностью 65 кг/м³, состоящей из углекислого газа (96,5%), азота (3,5%) и следов других газов, не допускают возможности возникновения и существования на Венере единственно известной земной, аминокислотно-нуклеиновой формы жизни. Вместе с тем, нельзя исключить, что материалы, опубликованные в работах 2012-14 гг. указывают на присутствие на поверхности Венеры объектов с неторопливыми движениями, обладающих определенными морфологическими особенностями, некоторые из которых напоминают земные живые формы. За годы, прошедшие со времени выполнения телевизионных экспериментов на аппаратах *ВЕНЕРА-9*, -10 (1975 г.) и *ВЕНЕРА-13*, -14 (1982 г.) аналогичных экспериментов и миссий к Венере не было. В ходе работы удалось найти новые группы интересных объектов Венеры, часть которых будет представлена в докладе.

