

## НАПРАВЛЕНИЕ 10. ЭКЗОПЛАНЕТЫ

10.1	Проект 10.1: Динамические процессы в атмосферах горячих экзопланет вызванные их магнитной проводимостью	ИКИ РАН	Петросян А.С., Родин А.В.
10.2	Проект 10.2: Изучение эволюции планетных систем, астероидов, кратных звезд, поиск и исследование экзопланет	ГАО РАН	Шевченко И.И., Девяткин А.В.

### **Проект 10.1. Параметрические неустойчивости в магнитной гидродинамике экзопланетных атмосфер в приближении мелкой воды.**

**Аннотация.** Получены новые уравнения, описывающие магнитогидродинамические течения в атмосферах экзопланет, захваченных приливными силами. Рассматриваются вращающиеся магнитогидродинамические течения тонкого слоя астрофизической плазмы со свободной границей в вертикальном внешнем магнитном поле. Мы используем приближение мелкой воды.

В рассматриваемом случае имеют место трехволновые нелинейные взаимодействия. Асимптотическим методом многомасштабных разложений выведены нелинейные уравнения взаимодействия волновых пакетов: взаимодействие трех магнито-Пуанкаре волн, взаимодействие трех магнитострофических волн, взаимодействие двух магнито-Пуанкаре и одной магнитострофической волны, а также двух магнитострофических и одной магнито-Пуанкаре волн. Найдено, что существуют следующие типы распадных неустойчивостей: магнито-Пуанкаре волна распадается на две магнито-Пуанкаре волны, магнитострофическая волна распадается на две магнитострофические волны, магнито-Пуанкаре волна распадается на одну магнито-Пуанкаре волну и одну магнитострофическую, магнитострофическая волна распадается на одну магнитострофическую и одну магнито-Пуанкаре волну. Показано что имеются следующие механизмы параметрического усиления: параметрическое усиление магнито-Пуанкаре волн, параметрическое усиление магнитострофических волн, а также усиление магнито-Пуанкаре волны в поле магнитострофической и усиление магнитострофической волны в поле магнито-Пуанкаре волны. Найдены инкременты неустойчивостей и коэффициенты параметрического усиления для соответствующих процессов.

Поведение различных звезд и планет описывается магнитной гидродинамикой тонких слоев плазмы со свободной границей в поле силы тяжести. Например, течения солнечного тахоклина (тонкого слоя внутри Солнца, находящегося над конвективной зоной), динамика атмосфер нейтронных звезд, течения аккрецирующей материи в нейтронных звездах, захваченные приливами экзопланеты с магнитоактивными атмосферами. Для

описания таких течений астрофизической плазмы используется магнитогидродинамическое приближение мелкой воды и квазигеострофическое приближение в магнитной гидродинамике. Настоящая работа посвящена изучению слабонелинейных волновых взаимодействий в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды. Уравнения вращающейся магнитной гидродинамики в приближении мелкой воды являются альтернативой магнитогидродинамическим уравнениям тяжелой жидкости со свободной границей в случае, когда исследуется слой малой толщины по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи, и вертикальными ускорениями можно пренебречь. Рассматривается слой несжимаемой невязкой жидкости со свободной поверхностью, находящийся в поле сил тяжести, в неинерциальной системе отсчета, вращающейся вместе с плазмой. Магнитогидродинамические уравнения мелкой воды получаются из классических уравнений магнитной гидродинамики несжимаемой плазмы осреднением по глубине в предположении гидростатичности распределения давлений и малости толщины слоя по отношению к характерному горизонтальному линейному размеру задачи. Полученная в работе система играет такую же важную роль в космической и астрофизической плазме, как и классические уравнения мелкой воды в гидродинамике нейтральной жидкости и имеет вид:

$$\frac{\partial \dot{h}}{\partial t} + \frac{\partial \dot{h}v_x}{\partial x} + \frac{\partial \dot{h}v_y}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial(\dot{h}v_x)}{\partial t} + \frac{\partial(\dot{h}(v_x^2 - B_x^2))}{\partial x} + g\dot{h}\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial(\dot{h}(v_xv_y - B_xB_y))}{\partial y} + B_0B_x = 2\omega\dot{h}v_y$$

$$\frac{\partial(\dot{h}v_y)}{\partial t} + \frac{\partial(\dot{h}(v_xv_y - B_xB_y))}{\partial x} + \frac{\partial(\dot{h}(v_y^2 - B_y^2))}{\partial y} + g\dot{h}\frac{\partial h}{\partial y} + B_0B_x = 2\omega\dot{h}v_x$$

$$\frac{\partial(\dot{h}B_x)}{\partial t} + \frac{\partial(\dot{h}(B_xv_y - B_yv_x))}{\partial y} + B_0v_x = 0$$

$$\frac{\partial(\dot{h}B_y)}{\partial t} + \frac{\partial(\dot{h}(B_yv_x - B_xv_y))}{\partial x} + B_0v_y = 0$$

где  $h$  – глубина слоя, вектор  $v$  – горизонтальная скорость, вектор  $B$  – горизонтальное магнитное поле.

Мы изучаем магнитогидродинамические уравнения мелкой воды во внешнем вертикальном магнитном поле. Такая конфигурация магнитного поля характерна для нейтронных звезд и для экзопланет. В этом случае в магнитогидродинамическом приближении мелкой воды появляются дополнительные слагаемые, описывающие в

линейном приближении два типа быстрых волн: волны магнито-Пуанкаре с дисперсионным уравнением

$$\omega^2 = \frac{ghk^2}{2} + \frac{f^2}{2} + \left(\frac{B_0}{h}\right)^2 + \frac{1}{2}\sqrt{ghk^2(ghk^2 + 2f^2) + f^2(f^2 + 4\left(\frac{B_0}{h}\right)^2)}$$

и магнитострофические волны с дисперсионным уравнением

$$\omega^2 = \frac{ghk^2}{2} + \frac{f^2}{2} + \left(\frac{B_0}{h}\right)^2 - \frac{1}{2}\sqrt{ghk^2(ghk^2 + 2f^2) + f^2(f^2 + 4\left(\frac{B_0}{h}\right)^2)}$$

Работа является обобщением линейной теории магнитогидродинамических течений мелкой воды во внешнем магнитном поле на случай волн конечной амплитуды в приближении слабой нелинейности. В нашей работе показано, что закон дисперсии линейных волн во внешнем вертикальном магнитном поле обеспечивает условия синхронизма, необходимые для нелинейных взаимодействий. В отсутствие же внешнего вертикального магнитного поля, исчезают магнитострофические волны и остаются только гравитационные волны Пуанкаре в гидродинамике нейтральной жидкости в поле силы тяжести со свободной границей.

Мы исследуем взаимное влияние волновых пакетов во вращающейся магнитной гидродинамике мелкой воды. Анализ вида дисперсионных соотношений для обоих мод показал, что возможны несколько видов трехволновых взаимодействий: три магнито-Пуанкаре волны, три магнитострофические волны, а также межмодовые взаимодействия: две магнито-Пуанкаре волны и магнитострофическая волна, две магнитострофические волны и магнито-Пуанкаре волна. Для описания нелинейного взаимодействия волн использован асимптотический метод многомасштабных разложений. Для всех четырех случаев получены нелинейные уравнения взаимодействия амплитуд волн. Анализ полученных нелинейных уравнений, описывающих трехволновые взаимодействия, показал существование двух типов неустойчивостей: распадные неустойчивости и параметрическое усиление волн. Найдено, что существуют следующие четыре типа распадных неустойчивостей: магнито-Пуанкаре волна распадается на две магнито-Пуанкаре волны, магнитострофическая волна распадается на две магнитострофические волны, магнито-Пуанкаре волна распадается на одну магнито-Пуанкаре волну и одну магнитострофическую, магнитострофическая волна распадается на одну магнитострофическую и одну магнито-Пуанкаре волну. Получены инкременты найденных распадных неустойчивостей. Исследованы также следующие четыре механизма параметрического усиления волн: параметрическое усиление магнито-Пуанкаре волн,

параметрическое усиление магнитострофических волн, а также усиление магнито-Пуанкаре волны в поле магнитострофической и усиление магнитострофической волны в поле магнито-Пуанкаре волны. Для всех видов неустойчивостей найдены коэффициенты параметрического усиления.

**Руководитель проекта:** Петросян А.С., д. ф.-м. н., профессор, (495)333-5478,  
[apetrosy@iki.rssi.ru](mailto:apetrosy@iki.rssi.ru)

**Публикации:**

1. Klimachkov D.A., Petrosyan A.S., "Нелинейные взаимодействия волн в магнитной гидродинамике приближении мелкой воды", Журнал Экспериментальной Теоретической Физики, 2015, принята в печать.
2. Klimachkov D.A., Petrosyan A.S., Parametric Instabilities in Shallow Water Magnetohydrodynamics Of Astrophysical Plasma in External Magnetic Field, Astrophysical Journal Letters, отправлена в печать.
3. Mark Miesch, William Matthaeus, Axel Brandenburg, Arakel Petrosyan, Annick Pouquet, Claude Cambon, Frank Jenko, Dmitri Uzdensky, James Stone, Steve Tobias, Juri Toomre, Marco Velli, Large-Eddy Simulations of Magnetohydrodynamic Turbulence in Heliophysics and Astrophysics, Space Science Review, November 2015, Volume 194, Issue 1, pp 97-137.

**Проект 10.2. Изучение эволюции планетных систем, астероидов, кратных звезд, поиск и исследование экзопланет.**

**Тема 10.2.1. Исследование динамической и космогонической эволюции мультипланетных систем и планетных систем кратных звезд.**

**Аннотация.** Путем применения современных теоретических и численно-экспериментальных методов проведено комплексное исследование ряда аспектов динамической и космогонической эволюции планетных систем, с акцентом на анализ проявлений эффекта Лидова–Козаи и резонансного и хаотического поведения в динамике систем.

Посредством вычисления показателей Ляпунова в задаче о вековой динамике единственной известной планеты в кратной звездной системе 16 Cyg установлено, что хаотический характер движения планеты маловероятен, что корректирует современные

представления о ее динамике. Анализ построенных сечений фазового пространства для ряда моделей планетных орбит подтверждает этот вывод, — система 16 Cyg в фазовом пространстве находится вдали от сепаратрисы резонанса Лидова–Козаи, причем хаотический слой в окрестности сепаратрисы весьма узок. Результаты работы приняты к печати. (А.В.Мельников.)

Исследованы динамические возмущения протопланетного планетезимального циркумбинанного диска (диска вокруг двойной звезды). В численных экспериментах продемонстрировано, как формируется циркумбинанная спиральная структура. Изучена эволюция структуры в ходе распространения волны плотности по диску на вековой шкале времени. Выведены аналитические формулы, описывающие возникающую структуру; они в точности описывают численно-экспериментальную картину. Результаты работы опубликованы, а также доложены на конференциях. (Т.В.Демидова, И.И.Шевченко.)

На основе теории кеплеровых отображений предложены аналитические критерии для выявления устойчивости или неустойчивости мультипланетных и циркумбинантных планетных систем. Результаты работы опубликованы. (И.И.Шевченко.)

В рамках пространственной эллиптической ограниченной задачи трех тел численно-экспериментально изучена долговременная динамика планеты двойной звезды HD 196885. Выбор объекта исследования обусловлен принадлежностью планеты к системе кратной звезды и наблюдаемой сильной эксцентрисичностью орбиты планеты (эксцентриситет 0.48). Путем массовых численных экспериментов на представительных множествах начальных данных установлена возможность «опрокидывания» орбиты (перехода планеты с прямой на ретроградную орбиту и обратно) в ходе динамической эволюции; эта возможность обусловлена эффектом Лидова–Козаи в некруговой задаче трех тел. Изучена возможность проявления динамического хаоса в орбитальном движении планеты. Установлено, что планета может в дальнейшем эволюционировать к стадии «ретроградного горячего юпитера». Результаты работы доложены на конференциях. (М.А.Боруха с соавторами.)

Разработана теоретическая модель эффекта Росситера–МакЛафлина для произвольных отношений радиусов планета/звезда и звездных спектров любого вида. Результаты работы опубликованы. (В.Ш. Шайдулин, совместно с Р.В. Балухевым).

Развита теория эллипсоидальных фигур равновесия для многослойных неоднородных тел в несинхронном вращении с учетом приливной деформации из-за присутствия внешнего гравитационного возмущения. Результаты работы опубликованы. (К.В.Холшевников с соавторами.)

Для всех известных циркумбинантных планетных систем с относительно малыми значениями массового параметра центральной двойной показано, что аналитические

кривые как для глобальной границы области хаоса на диаграммах устойчивости (теория Шевченко, 2015), так и для локальных границ этой области (теория Мардлинг, 2008), качественно описывают характер диаграмм устойчивости на плоскости начальных условий «перигелическое расстояние – эксцентриситет», построенных путем численного интегрирования уравнений движения, что говорит об надежности аналитических моделей. Результаты работы доложены на конференции. (Е.А.Попова, И.И.Шевченко.)

Поставлена и решена задача о метрике в касательном к пространству орбит пространстве. В частности, найдена норма разности положений небесных тел на близких орбитах с приложением к одной задаче небесной механики. Результаты работы опубликованы. (К.В.Холшевников с соавторами.)

Разработан новый метод для вычисления величин геодезического вращения (геодезической прецессии и геодезической нутации) любых тел Солнечной системы. Впервые в возмущающих членах физической либрации для Луны и в углах Эйлера для Солнца, больших планет Солнечной системы и Плутона определены новые наиболее существенные вековые и периодические члены компонент векторов геодезического вращения. Результаты работы опубликованы. (В.В.Пашкевич.)

Определены вероятности физической связанности и выявлены вероятно оптические компоненты для выборки кратных звезд Пулковской программы наблюдений на 26-дюймовом рефракторе. Результаты работы опубликованы, а также доложены на конференции. (В.В.Орлов с соавторами.)

Найден ряд новых близких к периодическим орбит в общей задаче трех тел равных масс с нулевыми начальными скоростями. Результаты работы опубликованы. (В.В.Орлов с соавторами.)

## **Публикации:**

### ***Статьи***

1. Baluev R.V., Shaidulin V.Sh. Analytic models of the Rossiter–McLaughlin effect for arbitrary eclipser/star size ratios and arbitrary multiline stellar spectra // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, v. 454, no. 4, pp. 4379–4399. (2015).
2. Батмунх Н., Санникова Т.Н., Холшевников К.В., Шайдулин В.Ш. Норма разности положений небесных тел на близких орбитах с приложением к одной задаче небесной механики // Астрон. журн. Т. 92. № 12. (2015). В печати.
3. T.V.Demidova, I.I.Shevchenko, Spiral patterns in planetesimal circumbinary disks // Astrophys. J., v. 805, id. 38 (8pp) (2015).

4. Folonier H., Ferraz-Mello S., Kholshchikov K.V. The flattenings of the layers of rotating planets and satellites deformed by a tidal potential // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*. V. 122, No. 2, pp. 183–198. (2015).
5. Кияева О.В., Орлов В.В. Избранные кратные звезды Пулковской программы // *Астрофизический бюлл.* Т. 70. № 4. С. 456–468. (2015).
6. Мельников А.В. О хаотической орбитальной динамике планеты в системе 16 Cyg // *Письма в Астрон. журн.* Т. 42. № 1. С. 1–12. (2016). (DOI: 10.7868/S0320010816010058). В печати.
7. Pashkevich V.V., RERS2014 and MRS2014: new high-precision rigid Earth rotation and Moon rotation series // *Artificial Satellites*. Vol. 50, No. 1, pp. 35–40. (2015). (DOI: 10.1515/arsa-2015-0003).
8. Пашкевич В.В., RERS2014 и MRS2014: новые высокоточные решения для вращения Земли и Луны на больших интервалах времени // *Вестник СПбГУ, Серия 1. Том 2 (60)*. Вып. 2. С. 298–307. (2015).
9. Kholshchikov K.V., Shaidulin V.Sh. Existence of a class of irregular bodies with a higher convergence rate of Laplace series for the gravitational potential // *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, v. 122, No. 4, pp. 391–403. (2015).
10. И.И.Шевченко, Орбитальные резонансы в Солнечной и экзопланетных системах // *Механика, управление и информатика*. Т. 7. № 3 (56). С. 492–512 (2015).
11. И.И.Шевченко, Орбитальные резонансы в Солнечной и экзопланетных системах // В книге: «Исследования Солнечной системы. Космические вехи». Под ред. А.В.Захарова. Москва: ИКИ РАН. С. 492–512. (2015).
12. Ясько П.П., Орлов В.В. Поиск периодических орбит в области Агеяна–Аносовой для общей задачи трех тел // *Астрон. журн.* Т. 92. № 5. С. 447–456. (2015).

**Тезисы докладов:**

1. Боруха М.А., Эскин Б.Б., Мельников А.В., Соколов Л.Л., Шевченко И.И., Эффект Лидова–Козаи в планетных системах кратных звезд HD 196885 и 16 Cygni // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 6. (2015).
2. Боруха М.А., Эскин Б.Б., Мельников А.В., Соколов Л.Л., Шевченко И.И., Эффект Лидова–Козаи в планетных системах кратных звезд HD 196885 и 16 Cygni // Тезисы докладов Российской молодежной конференции по физике и астрономии «Физика.СПб». Санкт-Петербург, 2015. С. 12–13. (2015).

3. Демидова Т.В., Шевченко И.И., Структуры в планетезимальных дисках // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 13–14. (2015).
4. Демидова Т.В., Шевченко И.И., Структуры в планетезимальных дисках // Тезисы докладов Российской молодежной конференции по физике и астрономии «Физика.СПб». Санкт-Петербург, 2015. С. 10–11. (2015).
5. О.В.Кияева, В.В.Орлов, Р.Я.Жучков, Исследование кратных звезд Пулковской программы наблюдений на 26-дюймовом рефракторе // Тезисы Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 18. (2015).
6. Мельников А.В., Вековая динамика планетной системы 16 Cyg // Тезисы Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 26–27. (2015).
7. Попова Е.А., Шевченко И.И., О возможных циркумбинарных конфигурациях планетных систем Alpha Centauri и EZ Aquarii // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 36–37. (2015).
8. Попова Е.А., Шевченко И.И., Численное и аналитическое описание устойчивости циркумбинарных планетных систем // Тезисы докладов Всероссийской астрометрической конференции «Пулково-2015». С. 37. (2015).

**Руководитель темы:** д.ф.-м.н. Шевченко Иван Иванович, ГАО РАН, [iis@gao.spb.ru](mailto:iis@gao.spb.ru)

**Состав группы:** д.ф.-м.н. И.И. Шевченко (ГАО РАН, рук. проекта), д.ф.-м.н. В.В. Орлов (ГАО РАН, СПбГУ), д.ф.-м.н. проф. К.В. Холшевников (ГАО РАН, СПбГУ), к.ф.-м.н. Т.В. Демидова (ГАО РАН), к.ф.-м.н. А.В. Мельников (ГАО РАН), к.ф.-м.н. В.Ш. Шайдулин (ГАО РАН, СПбГУ), М.А. Боруха (ГАО РАН, СПбГУ), Е.А. Попова (ГАО РАН), Е.А. Смирнов (ГАО РАН).

#### **Тема 10.2.2. Комплексные исследования астероидов.**

**Аннотация.** Проведены астрометрических и фотометрических наблюдений тел Солнечной системы на телескопах ГАО РАН и телескопах других обсерваторий, выполнена обработка полученных наблюдений, проведено уточнение элементов орбит для ряда астероидов и исследование эволюции их орбит, определены их фотометрические и физические характеристики.

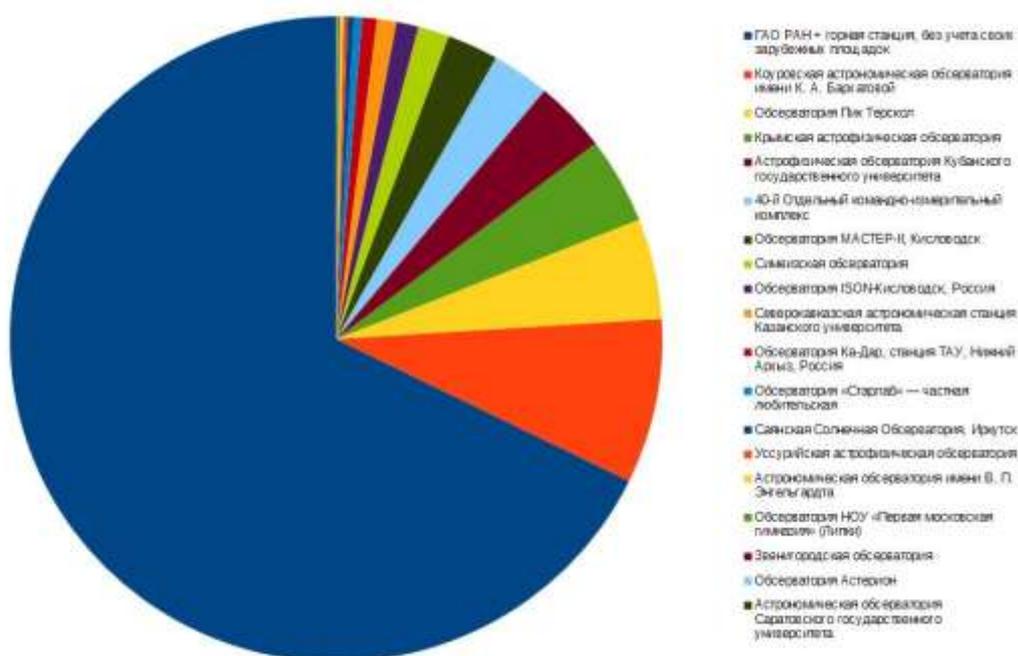
Получены высокоточные астрометрические и фотометрические наблюдения астероидов (в том числе опасных для Земли), которые были проведены в рамках международных

кампаний (GAIA FUN SSO, Лормановской обсерватории (ФРГ)) и кампаний, организованных ГАО РАН. На основе астрометрических наблюдений уточнены параметры их орбит и проведено моделирование их эволюции. По фотометрическим наблюдениям астероидов получены новые данные об их физических параметрах.

Предложен алгоритм поиска квазиспутников планет Солнечной системы, которые являются потенциально опасными объектами.

В результате переработки астрометрических наблюдений, проведенных в 1999–2010 гг. на ЗА-320М и МТМ-500М, получен новый ряд наблюдений Плутона в системе каталога UCAC4.

По данным базы NEODyS в России более 2/3 наблюдений астероидов, сближающихся с Землёй, получено на телескопах ГАО РАН: ЗА-320М и МТМ-500М



**Таблица.** Количество наблюдений астероидов, сближающихся с Землёй, полученных в обсерваториях России (по данным базы NEODyS).

**Результаты по некоторым объектам:**

**Апофис.** Наблюдения проводились в рамках двух международных кампаний, организованных Парижской обсерваторией (в рамках GAIA FUN SSO) и ИНАСАН.

Получено 515 положений с точностью 0".07–0".4 по альфа и 0".07–0".5 по дельта.

Определены показатели цвета  $B-V$ ,  $V-R$ ,  $R-I$ . Получено несколько фрагментов кривой блеска, три из них длительностью около 5 часов.

**Дуэнде.** Во время тесного сближения с Землёй получено 436 положений со средней точностью  $0''.46$  по альфа и  $0''.23$  по дельта. Проведено моделирование эволюции орбиты. Показано, что во время тесных сближений с Землёй Дуэнде, обращающийся вблизи резонанса 1:1 с ней по среднему движению, изменяет тип своего движения относительно неё (циркулирующая либо подковообразная орбита). В результате последнего сближения астероид отошёл от области резонанса 1:1.

Исследовано влияние солнечной радиации и эффекта Ярковского на орбитальное движение Дуэнде. Смещение астероида под действием давления солнечного излучения за 10 лет может составить от 270 до 329 км в зависимости от альbedo.

Получены показатели цвета  $B-V$ ,  $V-R$ ,  $R-I$ . Получены 2 отрезка кривой блеска длительностью около 10 часов. Сопоставление их с отрезками, полученными на других обсерваториях мира, а также численное моделирование показало, что во время тесного сближения с Землёй Дуэнде находился в состоянии «вращения с кувырканием» (т.е. вращение не вокруг главной оси инерции).

**2014 HQ124.** Наблюдения проведены в рамках международной кампании с целью выполнения триангуляционных измерений. Получено 84 положения со средней точностью  $0''.19$  по альфа и  $0''.26$  по дельта; из них 18 — наблюдаются в назначенные моменты для одновременных наблюдений на разных обсерваториях. Показано, что с помощью триангуляционных наблюдений в течение одной ночи можно построить орбиту с точностью сравнимой с точностью орбиты, построенной по многомесячным отдельным наблюдениям.

Построена кривая блеска длительностью около 4.5 часа.

**2013 TV135.** Получено 335 положений со средней точностью  $0''.28$  по альфа и дельта. Наблюдено 5 отрезков кривой блеска, по которым определён период осевого вращения астероида.

**(702) Алауда.** Получены показатели цвета  $B-V$ ,  $V-R$ ,  $R-I$ . Наблюдён отрезок кривой блеска длительностью около 1.5 часа со средней точностью около  $0.02^m$ .

**(3737) Beckman.** Наблюдён отрезок кривой блеска длительностью около 2.7 часа со средней точностью около  $0.015^m$ .

**251346.** Наблюдено 4 отрезка кривой блеска длительностью от 3.5 до 6.5 часа с точностью  $0.025-0.050^m$ . С их помощью подтверждено значение периода, известное из литературы.

**2004 BL86 и 2015 TB145.** Организованы наблюдательные кампании по квазисовременным наблюдениям двух астероидов с целью проведения их

триангуляционных измерений во время сближения с Землёй. К участию в кампаниях привлечены как российские (Краснодар, Иркутск, Уссурийск), так и зарубежные (Казахстан, Испания, Чили) обсерватории. Результаты наблюдений всех обсерваторий находятся в процессе обработки. Предварительные выводы подтверждают выводы кампании по наблюдению астероида 2014 HQ124 (см. выше).

**Квазиспутники.** В настоящее время большое внимание уделяется изучению квазиспутников Земли и других планет, т.к. такие объекты могут представлять потенциальную угрозу столкновения с планетой. С другой стороны, квазиспутники Земли могут рассматриваться как объекты, которые можно перевести на околоземные или окололунные орбиты с целью их детального изучения и использования в качестве источника минеральных ресурсов. Предложен алгоритм поиска квазиспутников планет на текущий момент. Представлены списки таких объектов и отмечены некоторые особенности их движения.

Апофис, Дуэнде, 702) Алауда, (3737) Weckman, 2014 HQ124, 2013 TV135, (251346, 2004 BL86, 2015 TB145, квазиспутники и др.

**Руководитель темы:** Девяткин Александр Вячеславович, ГАО РАН, adev@gao.spb.ru

**Состав группы** А.В.Девяткин, Д.Л.Горшанов, В.Н.Львов, С.Д.Цекмейстер, С.Н.Петрова, А.А.Мартюшева, С.А.Русов, Е.А.Башакова, К.Н.Наумов, А.В.Иванов, С.В.Зиновьев, В.Н.Ершов, О.О.Василькова.

#### **Публикации:**

1. Thuillot, W.; Bancelin, D.; Ivantsov, A.; Desmars, J.; Assafin, M.; Eggl, S.; Hestroffer, D.; Rocher, P.; Carry, B.; David, P.; Abe, L.; Andreev, M.; Arlot, J.-E.; Asami, A.; Ayvasian, V.; Baransky, A.; Belcheva, M.; Bendjoya, Ph.; Bikmaev, I.; Burkhanov, O. A.; Camci, U.; Carbognani, A.; Colas, F.; Devyatkin, A. V.; Ehgamberdiev, Sh. A.; Enikova, P.; Eyer, L.; Galeev, A.; Gerlach, E.; Godunova, V.; Golubaev, A. V.; Gorshanov, D. L.; Gumerov, R.; Hashimoto, N.; Helvacı, M.; Ibryamov, S.; Inasaridze, R. Ya.; Khamitov, I.; Kostov, A.; Kozhukhov, A. M.; Kozyryev, Y.; Krugly, Yu N.; Kryuchkovskiy, V.; Kulichenko, N.; Maigurova, N.; Manilla-Robles, A.; Martyusheva, A. A.; Molotov, I. E.; Nikolov, G.; Nikolov, P.; Nishiyama, K.; Okumura, S.; Palaversa, L.; Parmonov, O.; Peng, Q. Y.; Petrova, S. N.; Pinigin, G. I.; Pomazan, A.; Rivet, J.-P.; Sakamoto, T.; Sakhbullin, N.; Sergeev, O.; Sergeyev, A. V.; Shulga, O. V.; Suarez, O.; Sybiryakova, Y.; Takahashi, N.; Tarady, V.; Todd, M.; Urakawa, S.; Uysal, O.; Vaduvescu, O.; Vovk, V.; Zhang, X.-L. «The astrometric Gaia-FUN-

SSO observation campaign of 99942 Apophis» // *Astronomy & Astrophysics*, 2015, Volume 583, id.A59, 12 pp.

2. Девяткин А.В., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д., Василькова О.О., Смирнов С.С. «О поиске квазиспутников планет» // *Вестник Санкт-Петербургского университета*, 2015, Серия 1, т.2(60), вып.3, стр. 492-497.

3. Gorshanov, Denis; Devyatkin, Alexander; Martyusheva, Alexandra; Bekyashev, Rizvan «Photometry of Three Asteroids with the ZA-320M Telescope of Pulkovo Observatory» // *The Minor Planet Bulletin* (ISSN 1052-8091). Bulletin of the Minor Planets Section of the Association of Lunar and Planetary Observers, 2015, 42, No. 4, pp. 246-247 (2015).

4. Devyatkin, A.; Gorshanov, D.; L'vov, V.; Tsekmeister, S.; Petrova, S.; Martyusheva, A.; Slesarenko, V.; Naumov, K.; Sokova, I.; Sokov, E.; Zinoviev, S.; Karashevich, S.; Ivanov, A.; Lyashenko, A.; Rusov, S.; Kouprianov, V.; Bashakova, E.; Melnikov, A. «Investigation of asteroids in Pulkovo Observatory» // 2015, Proceedings of the Journées 2014 "Systèmes de référence spatio-temporels", Z.Malkin and N.Capitaine (eds) (Pulkovo observatory, St.Petersburg. Russia, 2014 Sept. 22-24), p. 88.

5. Devyatkin, A.V.; Bashakova, E.A.; Gorshanov, D.L.; Ivanov, A.V.; Karashevich, S.V.; Kouprianov, V.V.; L'Vov, V.N.; Naumov, K.N.; Romas, E.S.; Slesarenko, V.Yu.; Shakht, N.A.; Sokov, E.N.; Tsekmeister, S.D.; Vasilkova, O.O.; Vereschagina, I.A. «Near Earth Objects Research in Pulkovo Observatory» // *Highlights of Astronomy*, 2015, Volume 16, pp. 472-473.

6. Gorshanov D.L., Devyatkin A.V., L'vov V.N., Tsekmeister S.D., Petrova S.N., Martyusheva A.A., Slesarenko V.Yu., Naumov K.N., Sokova I.A., Sokov E.N., Zinoviev S.V., Karashevich S.V., Ivanov A.V., Lyashenko A.Yu., Rusov S.A., Kouprianov V.V., Bashakova E.A., Melnikov A.V. «Pulkovo observations in last campaigns of GAIA FUN SSO» // 2015, Proceedings of 'GAIA FUN SSO 3' Workshop (IMCCE/Paris Obs., Paris, France, 2014 Nov. 24-26), p. 89.

7. Eggl S., Ivantsov A., Gerlach E., Bottger S., Thuillot W., Baransky A., Devyatkin A.V., Bashakova E.A., Rusov S.A., Gorshanov D.L., Shulga O.V., Sybiryakova Y., Kozyryev Y., Kulichenko N., Vovk V. «GAIA-FUN-SSO: Triangulation Observations of 2014 HQ124» // 2015, Proc. of 'GAIA-FUN-SSO 3' Workshop (IMCCE/Paris Obs., Paris, France, 2014 Nov. 24-26), p. 71-75.