**Предварительная программа**

**4-ой Международной школы молодых ученых и студентов и рабочего совещания "Экзопланеты",**

**Институт астрономии РАН, 11-13 октября 2019 г.**

1) **Helmut Lammer**Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Graz, Austria

**The early evolution of terrestrial planets (i.e., Venus, Earth):**

**constraint by noble gases and elements**

The early evolution of terrestrial planets by using Venus and Earth as an example is
discussed from their origin onward to their final accretion. Atmospheric escape
processes are discussed that were important for the evolution of the present day
noble gas isotope ratios and volatiles.  Results of such studies are presented that
are in agreement with a fast accretion of thermally processed disk material
planetary embryos, with Hafnium-Tungsten chronometric accretion scenarios
of the proto-Earth. Moreover, new precise measurements of noble gas isotope
ratios in Venus' atmosphere will constrain not only the evolution of proto-Venus
but also the history of the young Sun's activity evolution.

2) **Maike Bauer**

Institute of Physics, IGAM, University of Graz, Universitatsplatz 5, 8010 Graz;
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Schmiedlstr. 6, 8042 Graz, Austria

**Evolution of Venus water inventory: constrained by the observed D/H ratio**

The Venera landing probes and Pioneer Venus provided some present-day isotope ratios for Venus, revealing that the planet' atmosphere is enriched in several heavy isotopes, amongst them Deuterium (D). One escape process of particular interest for the early evolution of the Venusian atmosphere is  escape of H and D during a possible captured nebula-based H2-envelope and/or a magma-ocean related outgassed hydrogen-rich steam atmosphere. Furthermore, recent scenario of reserchers that suggested that Venus might have had a liquid water ocean until about 700 My ago will also be discussed, especially how such a late ocean evaporation scenario would have affected the D/H ratio and a possible accumulation of oxygen in the atmosphere.

3) **Markus Benedikt**
Institute of Physics, IGAM, University of Graz, Universitatsplatz 5, 8010 Graz;
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Schmiedlstr. 6, 8042 Graz, Austria

**Loss of rock-forming elements and noble gases from accreting planetary embryos**

In the early evolution of planetary systems, protoplanets originate from the coagulation of dust and ice and initially reside embedded in the gas of the circumstellar disks. From isotope studies, it is expected that the Earth (and terrestrial planets) formed from pre-fractionated differentiated planetary embryos and a fraction of carbonaceous chondrites. It will be shown that magma ocean related steam atmospheres  can be lost efficiently via hydrodynamic escape that drag heavier elements like noble gases, and outgassed rock-forming elements K, Na, Si, Mg, Rb etc. into space. The consequences that planetary embryos that are later involved in terrestrial planet formation can be drier than previously expected are discussed.

4) **Manuel Scherf**
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Schmiedlstr. 6, 8042 Graz, Austria

**Origin of Titan's nitrogen atmosphere**

Titan is the only satellite in the solar system with a significant dense nitrogen atmosphere. Its origin, however, remained even after the Cassini mission a matter of debate. An insight into the origin and evolution of Titan's nitrogen atmosphere can be gained by the isotopic fractionation of 14N/15N which can be significantly modified by atmospheric loss, since escape preferentially removes the lighter isotope from the atmosphere. Within this presentation new calculations of thermal atmospheric nitrogen escape at Titan through its history will be shown and the its implications for the origin and evolution of the atmosphere of Saturn's biggest moon will be discussed.

5) **Laurenz Spros**
Institute of Physics, IGAM, University of Graz, Universitatsplatz 5, 8010 Graz;
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Schmiedlstr. 6, 8042 Graz, Austria

**Origin and build-up of early Earth's nitrogen atmosphere**

Nitrogen is an essential element in the building blocks of life and Earth's biosphere. It is shown
that the geobiological nitrogen cycle is a fundamental factor in the Earth's long-time habitability
and most likely also on Earth-like exoplanets. The evolution of the Earth's nitrogen atmosphere and its relation with the biosphere will be discussed and calculation results that build-up early Earth's nitrogen atmosphere will be shown. Furthermore, after discussing  possible evolution scenarios it is shown that terrestrial planets with N2-dominated atmospheres facilitate an operating plate tectonic regime connected with an enhanced probability of featuring highly developed life forms, whereas the absence of such features implies most likely CO2-dominated atmospheres.

6) **Andreas Krenn**
Institute of Physics, IGAM, University of Graz, Universitatsplatz 5, 8010 Graz;
Space Research Institute, Austrian Academy of Sciences, Schmiedlstr. 6, 8042 Graz, Austria

**An examination of the applicability range of the energy-limited escape formula:
implications for present exoplanet studies**

The stars EUV radiation is absorbed in the upper atmosphere of exoplanets (i.e. hot sub-Neptune's, Jupiter's) and some of the energy is used to drive hydrodynamic escape, leading to the loss of particles. An upper limit to the maximum particle escape driven by EUV radiation can be found, when looking at the amount of available EUV energy. Watson et al. 1981 did such an investigation of the energy-limited escape rate for the first time in a pioneering study. These authors provided a set of equations to calculate the height of the EUV absorption in the atmosphere and the maximum particle escape rate. A variety of assumptions were made: like a thin absorption layer and an absorption of all the EUV energy below the sonic level of the system, that limit the scope of applicability of the equations. Lower and upper boundaries for system parameters like mass, radius or incident EUV flux, that still satisfy the above-mentioned assumptions will be presented. The resulting energy-limited escape rates with escape rates provided by hydrodynamic numerical simulations will then be compared.

7) **Воробьев Эдуард Игоревич**

Южный федеральный университет

Институт астрономии Университета г. Вена, Австрия

**Formation of giant planets through disk gravitational fragmentation**

**Формирование планет-гигантов в результате гравитационной фрагментации**

**протопланетных дисков**

I will discuss the current status of the disk fragmentation theory for giant planet formation. The recent results on numerical simulations of dust growth and accumulation in gaseous clumps formed through disk fragmentation will be presented.

Обсуждается текущее развитие теории формирования планет-гигантов в результате гравитационной фрагментации. Будет представлены недавние результаты по моделированию роста и концентрации пылевых частиц в газопылевых сгустках, формирующихся в результате гравитационной фрагментации протопланетных дисков.

8) **Емельяненко Вячеслав Васильевич**

Институт астрономии РАН, г. Москва

**Formation of cometary populations during orbital migration of the outer planets in the Solar system**

**Формирование кометных популяций в процессе орбитальной миграции внешних планет Солнечной системы**

Dynamical processes leading to the orbital migration of planets in circumstellar disks are reviewed. Effects of planetary migration on the orbital distribution of small bodies in the outer Solar system are discussed. The review discusses problems that new data on the features of comets and the distribution of distant trans-Neptunian objects posed in the theory of the Solar system formation.

Дается обзор динамических процессов, приводящих к орбитальной миграции планет в околозвездных дисках. Рассматривается влияние планетной миграции на распределение орбит малых тел во внешней части Солнечной системы. Обсуждаются проблемы, которые новые данные о свойствах комет и распределении далеких транснептуновых объектов поставили в теории формирования Солнечной системы.

9) **И. Ф. Шайхисламов1**, М. Л. Ходаченко2, А. Г. Березуцкий1, И. Б. Мирошниченко1, М. С. Руменских1

1) Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск, Россия

2) Институт космических исследований, Академия наук Австрии, Грац, Австрия

3D Modeling of Absorption in FUV by Various Species for Hot Jupiter HD209458b

**3D моделирование поглощения в УФ спектре различными элементами для горячего Юпитера HD209458b**

The absorption of stellar radiation observed by the HD209458b in resonant lines of OI and CII has not yet been satisfactorily modeled. In our previous 2D simulations we have shown that the hydrogen-dominated upper atmosphere of HD209458b, heated by XUV radiation, expands supersonically beyond the Roche lobe and drags the heavier species along with it. Assuming solar abundances, OI and CII particles accelerated by tidal forces to velocities up to 50 km/s should produce the absorption due to Doppler resonance mechanism at the level of 6-10%, consistent with the observations. Since the 2D geometry does not take into account the Coriolis force in the planet reference frame, the question remained to which extent the spiraling of the escaping planetary material stream and its actually achieved velocity may influence the conclusions made on the basis of 2D modeling. In the present paper we apply for the first time in the study of HD209458b a global 3D hydrodynamic multi-fluid model that self-consistently describes the formation and expansion of the escaping planetary wind, affected by the tidal and Coriolis forces, as well as by the surrounding stellar wind. The modelling results confirm our previous findings that the velocity and density of the planetary wind flow are sufficiently high to produce the absorption in HI, OI, and CII resonant lines at the level, close to the in-transit observed values. The novel finding is that the matching of the absorption measured in MgI, MgII and SiIII lines requires at least 10 times lower abundances of these elements than the Solar values.

Поглощение звездного излучения, наблюдаемое для HD209458b в резонансных линиях OI и CII, еще не было удовлетворительно смоделировано. В наших предыдущих 2D-моделях мы показали, что верхняя атмосфера HD209458b, в которой преобладает водород, нагретая XUV-излучением, расширяется со сверхзвуковой скоростью за полость Роша и увлекает за собой более тяжелые частицы. Предполагая солнечное содержание элементов, частицы OI и CII, ускоренные приливными силами до скоростей до 50 км / с, должны создавать поглощение благодаря механизму доплеровского резонанса на уровне 6-10%, что согласуется с наблюдениями. Поскольку 2D-геометрия не учитывает силу Кориолиса в системе отсчета планеты, остается вопрос, до какой степени закручивание планетарного течения, и фактически достигаемая скорость может повлиять на выводы, сделанные на основе 2D-моделирования. В настоящей статье мы впервые применяем в исследовании HD209458b глобальную трехмерную гидродинамическую мультижидкостную модель, которая самосогласованно описывает формирование и расширение уходящего планетарного ветра, подверженного влиянию приливных сил и сил Кориолиса, а также окружающего звездного ветра. Результаты моделирования подтверждают наши предыдущие выводы о том, что скорость и плотность потока планетарного ветра достаточно высоки, чтобы вызвать поглощение в резонансных линиях HI, OI и CII на уровне, близком к наблюдаемым значениям в транзите. Новым чертой является то, что согласование поглощения, измеренного в линиях MgI, MgII и SiIII, требует, по меньшей мере, в 10 раза меньшего содержания этих элементов, чем значения для Солнца.

10) **Сидоренко Владислав Васильевич**

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, г. Москва

**Эффект Козаи-Лидова в динамике экзопланетных систем**

**Kozai-Lidov effect in dynamics of exoplanetary systems**

Эффект Козаи-Лидова проявляется в долгопериодических взаимосвязанных изменениях наклонений и эксцентриситетов небесных тел, образующих планетную систему. По современным представлениям эффект Козаи-Лидова определяет многие важные свойства динамической «архитектуры» планетных систем. Первая часть лекции посвящена различным аспектам этого эффекта в его «классическом» случае, обнаруженном М.Л. Лидовым и Й. Козаи в 60-ых гг. прошлого века. Затем будут приведены результаты более поздних исследований ( в частности, исследований «эксцентрического» эффекта Козаи-Лидова, приводящего при определенных условиях к изменению направления орбитального движения небесных тел).

The Kozai-Lidov effect manifests itself in long-term correlated changes in the inclinations and eccentricities of celestial bodies that form the planetary system. It is generally accepted now, that the Kozai-Lidov effect determines many important properties of the dynamic "architecture" of planetary systems. The first part of the lecture is devoted to various aspects of this effect in its “classical” case, discovered by M. L. Lidov and J. Kozai in the 60s of the last century. Then, the results of later studies will be presented (in particular, an attention will be paid to the so-called “eccentric” Kozai-Lidov effect, which under certain conditions leads to a change in the direction of the orbital motion of celestial bodies).

11) **Бисикало Дмитрий Валериевич**

Институт астрономии РАН, г. Москва

**Моделирование газовых оболочек горячих юпитеров**

**Modeling of gas envelopes of hot Jupiters**

12) **Шематович Валерий Иванович**

Институт астрономии РАН, г. Москва

**Полярные сияния в Солнечной системе**

**Aurorae in the Solar system**

Фундаментальная задача исследования полярных сияний в атмосферах планет земной группы тесно связана с вопросами образования и эволюции планетных атмосфер. Для анализа состава, структуры и химии исследуемой атмосферы, а также потоков энергии и частиц, воздействующих на атмосферу, широко используются наблюдения полярных сияний. Моделирование процессов высыпания плазмы солнечного ветра в верхние атмосферы планет Солнечной системы проводится в Институте астрономии РАН на протяжении последних 15 лет. Разработаны численные кинетические модели, позволяющие исследовать процессы высыпания протонов и электронов с высокими энергиями в полярные области планетных атмосфер. Эти модели учитывают стохастическую природу рассеяния в столкновениях при высоких кинетических энергиях. Данные модели электронных и протонных полярных сияний использовались для исследования полярных сияний и интерпретации наблюдений авроральных свечений в верхних атмосферах Земли (проект NASA IMAGE), Марса (проекты ESA Mars Express и NASA MAVEN), а также, для интерпретации полученных при помощи космического телескопа им. Хаббла наблюдений полярных сияний на планетах-гигантах Юпитере и Сатурне.

13) **Жилкин Андрей Георгиевич**

Институт астрономии РАН, г. Москва

**Магнитосферы горячих юпитеров**

**Magnetospheres of Hot Jupiters**

Hot Jupiters are located close to the Alfven point of the stellar wind of the host star. Therefore, the magnetic field of the wind should play an extremely important role in the process of stellar wind flowing around the atmosphere of a hot Jupiter. Analyses show that many typical hot Jupiters should have shockless induced magnetospheres, which have no analogs in the solar system.

14) **Кайгородов Павел Вячеславович**

Институт астрономии РАН, г. Москва

**Численная модель оболочки горячего юпитера ненулевым эксцентриситетом орбиты
Numerical model of envelope of the hot Jupiter with eccentric orbit**

Будет представлена трехмерная численная газодинамическая модель, предназначенная для исследования структуры течения в оболочках горячих юпитеров с эллиптическими орбитами. Для увеличения скорости и повышения точности моделирования расчет проводится в неинерциальной системе координат, движущейся вместе с планетой по эллиптической орбите. При этом собственное вращение системы координат задано таким образом, чтобы сохранять постоянным направление на звезду. Это позволяет упростить вид уравнений, используемых при моделировании, а также производить вычисления на неравномерных сетках и избегать потерь точности, вызываемых движением планеты по сетке. Будут показаны результаты тестового расчета структуры течения в протяженной оболочке горячего юпитера, движущегося по орбите с эксцентриситетом e=0.2.

A three-dimensional numerical gas-dynamic model, designed to study the flow structure in the envelopes of hot Jupiters with elliptical orbits will be presented. To increase the speed and improve the accuracy of the modelling, the calculation is carried out in a non-inertial coordinate frame moving together with the planet on an elliptical orbit. In this case, the proper rotation of the coordinate system is set to keep the direction to the star constant. This allows us to simplify the form of the equations used in modelling, as well as to perform calculations on condensed numerical grids and to avoid accuracy losses caused by the movement of the planet along the grid. The results of a test modelling of the flow structure in the extended envelope of a hot Jupiter with orbit eccentricity e = 0.2 will be presented.

**Короткие сообщения / Short communications**

**1. Разумовский М.В., Родин А.В.**

**Моделирование атмосфер гравитационно-захваченных супер-Земель, вращающихся вокруг маломассивных родительских звезд с использованием негидростатической модели общей циркуляции**

В работе представлены результаты численного моделирования общей циркуляции атмосферы гипотетической супер-Земли в рамках модели, основанной на решении полной системы уравнений гидродинамики. В результате моделирования обнаружено, что западная зональная суперротация, которая может проявляться в виде экваториального и двух среднеширотных джетов, является основным механизмом циркуляции в атмосфере. Положение и интенсивность среднеширотных джетов в существенной мере определяются молярной массой атмосферы и контрастом температур ``экватор-полюс''. В работе были продемонстрированы закономерности, отражающие эти изменения.