

Тесные сближения звезд с Солнечной системой

В.В. БОБЫЛЕВ,

доктор физико-математических наук

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

ГИПОТЕЗА ООРТА

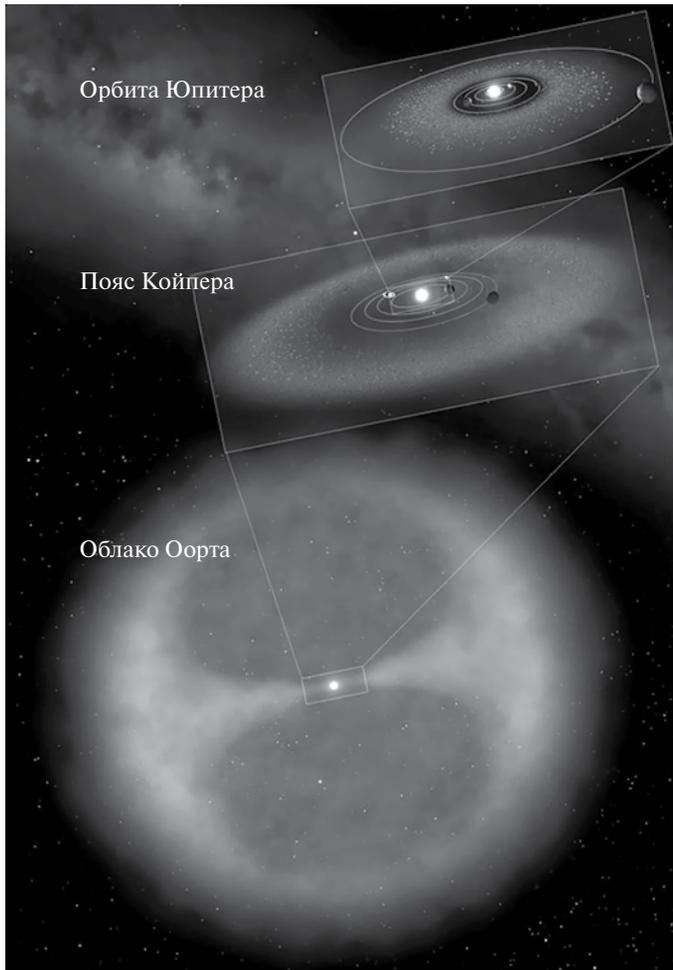
Интерес к проблеме тесных сближений звезд галактического поля (звезды, которые лежат на траектории движения Солнца в Галактике) с Солнцем, в первую очередь, связан с тем, что пролет звезды может привести к различного рода возмущениям объектов Солнечной системы. Согласно гипотезе, выдвинутой в 1950 г. голландским астрономом Яном Оортом, Солнечная система окружена кометным облаком. Предполагается, что оно имеет сферическую форму, с радиусом около 10^5 а.е. (0,48 пк), и содержит примерно 10^{11} комет. На таком большом расстоянии гравитационная связь комет с нашим светилом слаба, поэтому их орбиты легко могут быть подвержены различным внешним возмущениям. К ним относят, например, воздействие межзвездных гигантских газопылевых облаков, возмущения,

вызываемые галактической спиральной волной плотности, галактический прилив и тесные сближения со звездами галактического поля. Возмущения внешних границ облака Оорта таит в себе опасность возникновения кометных ливней, движущихся во внутренние области Солнечной системы. В итоге не исключена возможность бомбардировки такими кометами Луны и Земли.

Солнце движется в Галактике через области с небольшой звездной плотностью. Сегодня оно находится в районе, где среднее расстояние между звездами составляет около 2 пк. Как показывают оценки различных авторов, тесные (менее 1 пк) сближения звезд галактического поля с Солнцем очень редки. Тем не менее, задача поиска возможных звезд-кандидатов не является безнадежной. В последние десятилетия выполняются космические наблюдения

с целью определения массовых высокоточных координат, собственных движений и тригонометрических параллаксов звезд. Прецизионные измерения были выполнены с борта космической астрометрической обсерватории "Гиппаркос" ("Hipparcos", ESA; Земля и Вселенная, 2003, № 5), запущенной в 1989 г. и проработавшей на орбите 37 месяцев. Результаты этой миссии опубликованы в 1997 г. (*The HIPPARCOS and Tycho Catalogues*, ESA SP-1200, 1997).

В определениях тригонометрических параллаксов и собственных движений звезд была достигнута миллисекундная точность, что оказало огромное влияние на решение многих астрономических задач. Сегодня на околоземной орбите работает космическая обсерватория "Гайя" ("Gaia", ESA; Земля и Вселенная, 2014, № 3), запущенная в 2013 г. Планируется,



Сравнение орбиты Юпитера с размерами пояса Койпера и облака Оорта.

является точность определения расстояний, самый надежный метод – тригонометрический. С помощью этого метода определяется тригонометрический параллакс, значение которого затем служит для вычисления расстояния до звезды. Точность наземных наблюдений тригонометрических параллаксов такова, что в итоге надежными (с относительной ошибкой менее 10%) оказываются расстояния до звезд, удаленных от Солнца не более чем на 25–30 пк. В итоге надежные наземные измерения параллаксов измерены всего лишь для нескольких сотен звезд.

Вопрос о сближении звезд с Солнцем до расстояний менее 2–3 пк рассматривался в работах различных авторов. Отметим, например, хорошо известную кратную систему Альфа Центавра, в которую входит наиболее близкая к Солнцу компонента – звезда Проксима Центавра. Уже с использованием наземных измерений было достаточно надежно установлено, что эта система в ближайшем будущем сблизится с орбитой Солнца на расстояние менее 1 пк. Сближение звезды

что в результате выполнения программы измерений в 2020 г. будет достигнута микросекундная точность в определении положений, собственных движений и тригонометрических параллаксов нескольких миллиардов звезд. Первые результаты наблюдений, полученные в течение одного года функционирования на орбите, уже опубликованы в 2016 г. (Gaia Collaboration, T. Prusti et al. *The Gaia mission* // Astro-

nomu & Astrophysics, 2016. Т. 595. С. 1).

В предложенной статье автор поднимает проблему поиска звезд-кандидатов, которые имеют ненулевую вероятность проникновения в область кометного облака Оорта. Расскажем о двух необычных звездах – Gliese 710 и WISE0720.

ПОИСК ТЕСНЫХ СБЛИЖЕНИЙ

Одним из ключевых моментов при анализе звездных движений

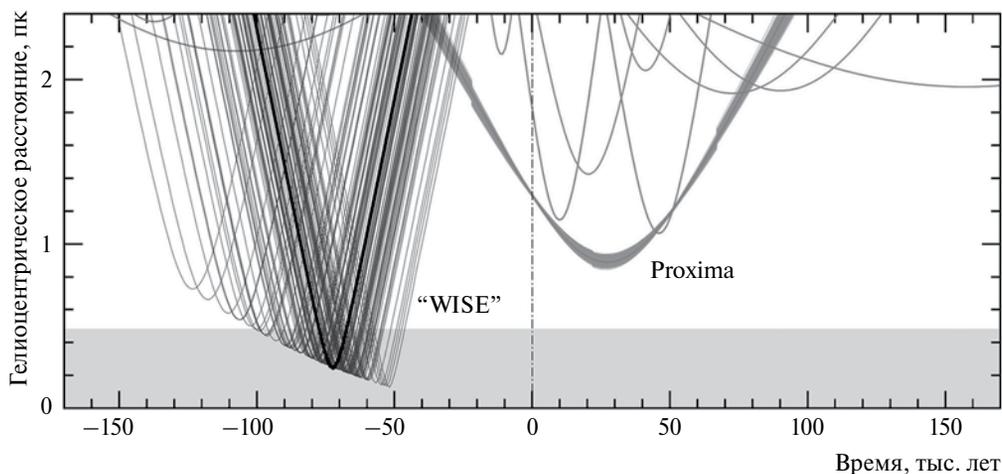


График расстояний между несколькими звездами и Солнцем, в зависимости от времени (от настоящего момента – в прошлое и в будущее). Красными линиями показаны траектории ряда звезд из каталога “Гиппаркос”; жирной черной линией – траектория звезды WISE0720; синими – 100 модельных треков, полученных для этой звезды с помощью метода Монте-Карло с учетом ошибок в исходных данных; фиолетовым цветом очерчены модельные орбиты для Проксимы; желтой заливкой – область облака Оорта. Рисунок автора.

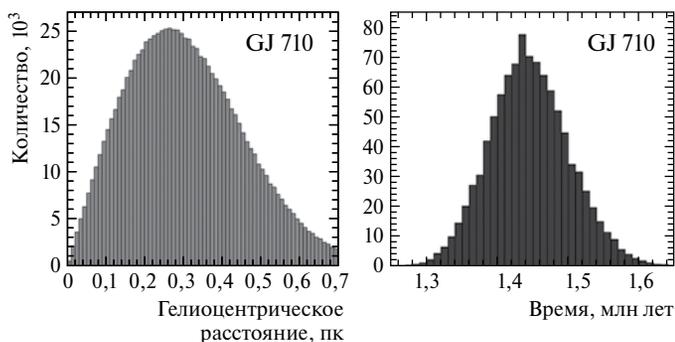
с орбитой Солнца мы характеризуем двумя параметрами: расстоянием минимального сближения d_{\min} в момент времени t_{\min} . Для красного карлика Проксимы Центавра, например, эти параметры составляют $d_{\min} = 0,9$ пак и $t_{\min} = 27$ тыс. лет.

Для вычисления трехмерного движения звезды, помимо параллакса и двух компонент собственного движения по каждой из координат, необходимо знать значение ее лучевой скорости (компонента движения, направленная вдоль луча зрения). Измерения этих величин выполняют путем сравнения спектральных линий в звездном

спектре с лабораторным (неподвижным) источником. Для одиночных звезд обычно достаточно 1–2 спектров. Двойные и кратные звезды изучать сложнее, так как требуется серия спектров, охватывающая период обращения мало-массивной компоненты вокруг главной звезды, для определения средней скорости такой системы.

В 2006 г. Пулковский астроном Георгий Гончаров опубликовал сводный каталог лучевых скоростей 35 тыс. звезд; в него вошли как одиночные, так и двойные звезды. Средняя случайная ошибка определения лучевой скорости

в этом каталоге составляет около 2 км/с. В настоящее время массовые наземные определения лучевых скоростей сотен тысяч слабых звезд со средней ошибкой около 2–3 км/с выполняются в рамках проекта “RAVE” (RAAdial Velocity Experiment – эксперимент определения радиальных скоростей). С 2003 г. проводятся наблюдения в Южном полушарии на 1,2-м телескопе системы Шмидта в Англо-Австралийской обсерватории. Опубликованная в 2017 г. последняя версия результатов изменений (DR5) содержит данные о 457 588 звездах. На сегодняшний день это максимальное



Гистограммы распределения параметра d_{\min} наиболее тесного сближения звезды GJ710 с орбитой Солнца (слева) и момента времени такого сближения (справа), построенные с использованием миллиона модельных орбит, вычисленных с учетом ошибок в исходных данных на основе метода Монте-Карло. Рисунок автора.

количество звезд, у которых измерены лучевые скорости с такой высокой точностью.

На основе каталога “Гиппаркос”, в сочетании с известными на тот момент лучевыми скоростями звезд, поиск тесных сближений был осуществлен испанским астрономом Гарсиа-Санчесом и опубликован в работах с соавторами (J. Garcia-Sanchez et al. *Stellar Encounters with the Oort Cloud Based on HIPPARCOS Data* // *Astronomical Journal*, 1999. Т. 117. С. 1042; J. Garcia-Sanchez et al. *Stellar encounters with the solar system* // *Astronomy & Astrophysics*, 2001. Т. 379. С. 634). В итоге были найдены 156 звезд из окрестности радиусом в 50 пк, которые либо сближались, либо будут сближаться с Солнечной системой до

расстояния менее 5 пк в течение ближайших ± 10 млн лет. Из анализа этих данных была оценена частота тесных (ближе 1 пк) встреч звезд с Солнцем; она составляет примерно 12 сближений в миллион лет.

ЗВЕЗДА GJ 710

Одиночная звезда GJ 710 (HD168442, или Gliese 710 находится на расстоянии около 45 св. лет от нас в созвездии Змеи) впервые, в 1957 г. была включена Вильгельмом Глизе в каталог ближайших звезд, расположенных в пределах 25 пк от Солнца. Позже этот каталог был расширен Глизе и Ярайсом, поэтому в обозначении звезды GJ 710 фигурируют фамилии двух астрономов. Эту звезду иногда называют оранжевым карликом, она имеет спектральный класс K7, масса ее составляет около $0,6 M_{\odot}$.

Ж. Гарсиа-Санчесом с соавторами (J. Garcia-Sanchez et al., *Stellar Encounters with the Oort Cloud Based on HIPPARCOS Data* // *Astronomical Journal*, 1999. Т. 117. С. 1042; J. Garcia-Sanchez et al., *Stellar encounters with the solar system* // *Astronomy & Astrophysics*, 2001. Т. 379. С. 634) было показано, что среди звезд “Гиппаркос” звезда GJ 710 считается рекордсменом по тесным сближениям, так как она проникает внутрь облака Оорта. В 2007 г. первые данные орбитальные наблюдений, полученных с борта обсерватории “Гиппаркос”, были существенно образом переработаны голландским астрономом Флором ван Лювеном, что позволило значительно повысить точность параллаксов и собственных движений многих звезд. На основе этой, переработанной версии (в частности, для звезды GJ 710) в работе автора (2010) были найдены следующие значения: $d_{\min} = 0,31 \pm 0,17$ пк и $t_{\min} = 1447 \pm 60$ тыс. лет. Как выяснилось, точность определения параллаксов и собственных движений звезд в эксперименте на обсерватории “Гайя” оказалась на порядок выше той, что была достигнута обсерваторией “Гиппаркос”. Новые данные позволили польским астрономам Ф. Берскому и П. Дыбжиньскому (Berski F. and

Dybczynski P.A. *Gliese 710 will pass the Sun even closer* // *Astronomy & Astrophysics*, 2016. Т. 595. С. L10) заново проанализировать сближение GJ 710 с Солнцем и изучить ее влияние на кометное облако Оорта. Найденные ими значения минимального расстояния $d_{\min} = 0,065 \pm 0,030$ пк в момент времени $t_{\min} = 1350 \pm 50$ тыс. лет показывают, что сближение может быть существенно более тесным, чем это следовало из данных каталога “Гиппаркос”.

Как показало моделирование, тесный пролет звезды GJ710 может вызвать заметный поток с плотностью около десяти комет в год, продолжительностью 3–4 млн лет. Кометы, направляющиеся непосредственно во внутреннюю область Солнечной системы, в первые 0,6 млн лет после пролета звезды будут сконцентрированы вблизи направления на антиперигелий звездной орбиты. Остальная часть наблюдаемых комет будет значительно рассредоточена по небесной сфере.

ЗВЕЗДА WISE0720

Полное обозначение этой звезды довольно длинное—WISEJ072003.20–084651.2. Она находится на расстоянии около 20 св. лет от нас в созвездии Единорога. На это указывает

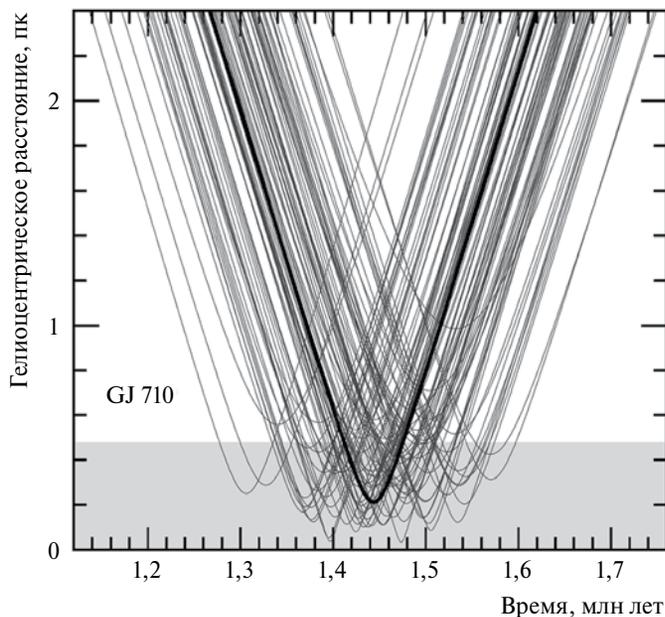
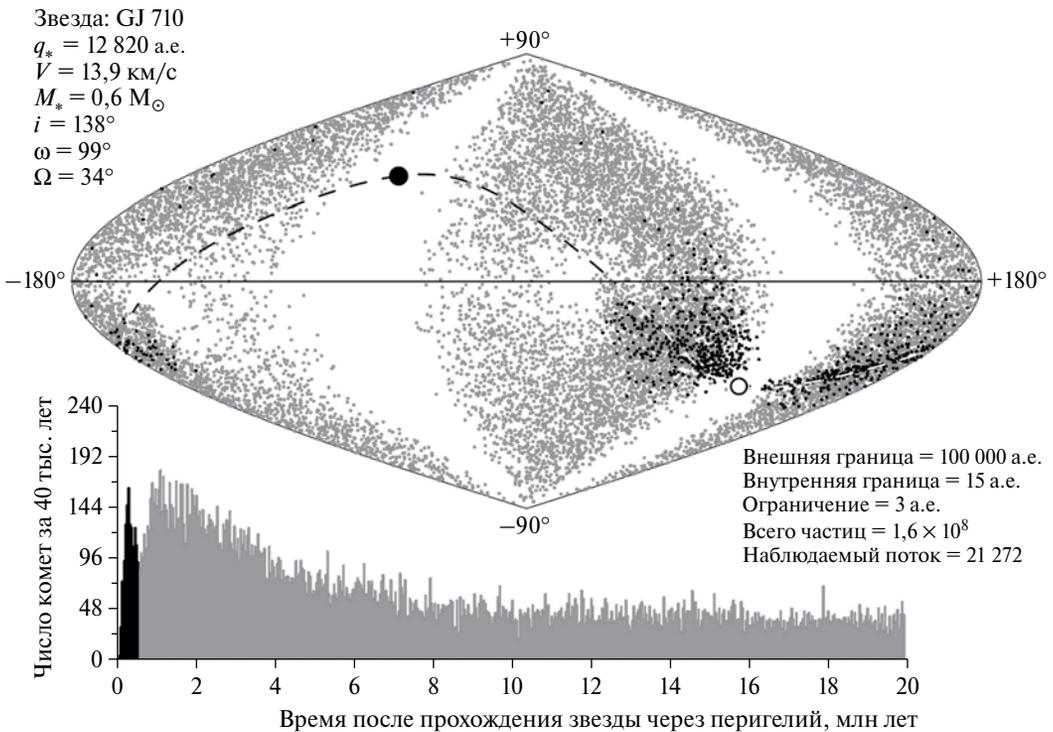


График расстояний между звездой GJ 710 и Солнцем в зависимости от времени (жирная черная линия); синими линиями показаны 100 модельных треков, полученных методом Монте-Карло с учетом ошибок в исходных данных; желтой заливкой показана область облака Оорта. Рисунок автора.

фотометрический каталог, составленный по наблюдениям американской космической обсерватории “WISE” (2010–2012 гг.; Земля и Вселенная, 2010, № 3, с. 63; 2013, № 4, с. 91); в названии есть экваториальные координаты объекта. Это – двойная система, состоящая из двух карликов общей массой около $0,15 M_{\odot}$. Спектральный класс первого компонента оценивается как M9.5, а второго – как T5. Американским астрономом Эриком Мамаеком с соавторами (Mamajek E.E., et al. *The*

Closest Known Flyby of a Star to the Solar System // *The Astrophysical Journal Letters*, 2015. Т. 800. С. 17) были найдены следующие параметры ее сближения с Солнечной системой: $d_{\min} = 0,25 \pm 0,09$ пк, $t_{\min} = 70 \pm 0,12$ тыс. лет в прошлом. По опубликованным Э. Мамаеком данным, мы построили траекторию WISE0720 относительно Солнца и 100 модельных треков. Как видно из рисунка, модельные траектории, построенные для звезды WISE0720, распределены в очень широкой области. Велики



Карта структуры наблюдаемого кометного роя, спровоцированного пролетом звезды GJ 710. Проекция гелиоцентрической орбиты звезды на небесную сферу (в галактических координатах) передана штриховой линией; положение ее перигелия (ближайшего к Солнцу расстояния) отмечено жирной черной точкой (черные точки и черная часть гистограммы – область вблизи антиперигелия звездной орбиты); незаштрихованным кружком – положение антиперигелия. “Приток” комет начинается сразу после пролета звезды и достигает максимума примерно через 1 млн лет. Временная структура кометных ливней (нижняя часть рисунка), охватывающая отрезок в 20 млн лет после пролета звезды. По данным моделирования Ф. Берского и П. Дыбжиньского (Berski F. and Dybczyński P.A. *Gliese 710 will pass the Sun even closer* // *Astronomy & Astrophysics*, 2016. Т. 595. С. L10).

случайные ошибки исходных данных, поэтому для этой системы требуются более точные наблюдения практически всех ее кинематических составляющих – параллакса и собственных движений. Так как эта система (по сравнению с GJ 710) обладает в четыре раза меньшей массой, то значительного

потока комет от нее ожидать нельзя.

Автор отметил две уникальные звезды, которые имеют ненулевую вероятность проникновения в область кометного облака Оорта. Их существование уже имеет большое значение для понимания долговременной эволюции Солнечной системы. Эти звезды

показывают, что тесные и очень тесные сближения звезд с Солнечной системой могли происходить в прошлом и могут произойти в будущем. Как показывает моделирование тесного (до расстояния 0,065 пк, что составляет примерно 13500 а.е.) сближения звезды GJ 710 с Солнцем, возможен устойчивый

поток комет с плотностью (около десяти комет в год из далеких окраин Солнечной системы в область больших планет) продолжительностью 3–4 млн лет.

В настоящее время астрономы связывают большие надежды с успешным выполнением космического проекта «Гайя». Как ожидается,

итоговая точность определения тригонометрических параллаксов к 2020 г. составит от 7 до 20 микросекунд дуги, выскока будет и точность собственных движений звезд. В этом проекте запланировано также определение лучевых скоростей звезд, правда, с низкой точностью – со случайной ошибкой

около 15 км/с. Все это позволит получить высокоточные кинематические данные для анализа движений миллиардов звезд из широкой окосолнечной области. Это, в частности, позволит на новом уровне осуществить поиск тесных звездных сближений с Солнечной системой.

Информация

Шторм на Юпитере

24 октября 2017 г. АМС «Юнона» (“Juno”) успешно в 9-й раз сблизилась с Юпитером и выполнила запланированную программу научных наблюдений. Однако на Земле об этом узнали лишь 31 октября – когда станция передала полученные данные на Землю. Дело в том, что Юпитер в этот период находился в верхнем соединении с Солнцем (то есть за Солнцем, по отношению к земному наблюдателю), поэтому радиосвязь

со станцией была сильно затруднена. Следующее сближение станции с Юпитером произойдет 16 декабря 2017 г.

Во время этого полета к планете установленный на борту станции микроволновый радиометр регистрировал электромагнитное излучение в 6-ти спектральных полосах в диапазоне 1,3–50 см, позволяя зондировать атмосферу планеты до уровня давлений в 240 бар. Наблюдения Большого Красного Пятна, проведенные с помощью микроволнового радиометра, показали, что его источник уходит очень глубоко в атмосферу. Получены также фотографии (в улучшенных цветах) мощного шторма

огромных размеров, бушевавшего в Северном полушарии Юпитера (см. 2-ю стр. обложки, вверху). Шторм вращался против часовой стрелки, слои облаков располагались в широком диапазоне высот: более темные находились глубже в атмосфере, по сравнению со светлыми. В самых ярких “рукавах” шторма скопились гряды облаков, которые на снимке отбрасывают тени. Мелкие коричневые облака в форме вихрей размером 7–12 км представляют собой восходящие воздушные потоки кристаллов аммиачного льда – возможно, смешанные с водяным льдом.

*Пресс-релиз NASA,
1 ноября 2017 г.*

Метановые ливни на Титане

На поверхности крупнейшего спутника Сатурна Титана бушуют сильные ливни – к такому заключению пришла группа планетологов и геологов из Калифорнийского университета (США). Хотя эти ливни происходят относительно редко – примерно один раз в течение местного года этого спутника, продолжительность которого на Титане составляет

примерно 29,5 земного года – тем не менее они происходят чаще, чем полагали раньше. Наиболее интенсивные бури, сопровождающиеся метановыми ливнями, приносят примерно 30 см осадков за сутки, что можно сравнить с количеством осадков, выпавшем в августе 2017 г. в Хьюстоне, когда там бушевал ураган Харви, вызвавший катастрофические наводнения.

Ученые установили, что дожди происходят в тех областях поверхности Титана (на широте около 60°), где, согласно построенной ими модели, происходят экстремально мощные бури. АМС “Кассини” зафиксировала наличие аллювиальных вееров (отложений, при-

несенных потоками жидкости); это указывает на то, что отложения образовались в результате мощных метановых ливней. На Титане над областью 75–85° ю.ш. обнаружены токсичные облака из ледяных частиц, формирующиеся на высоте примерно в 160–210 км. Из таких облаков проливаются дожди, представляющие собой смесь органических молекул циановодорода (HCN) и бензола (C₆H₆), одновременно кристаллизующихся при низких температурах и образующих лед, хорошо перемешанный на поверхности Титана.

*Журнал “Nature Geoscience”,
9 октября 2017 г.*

В Галактике обнаружены сложные молекулы

С помощью 65-м радиотелескопа Шанхай-Тяньма (КНР) группа китайских астрономов обнаружила обширную область пространства, простирающуюся более чем на 117 св. лет, с различными сложными молекулами, включая гликолевый альдегид (CH₂ОНСНО), эти-

ленгликоль (НОСН₂СН₂ОН) и спирты (этанол и метанол). Область расположена внутри гигантского молекулярного газопылевого облака Стрелец В2 массой 3 × 10⁶ M_☉ и размером около 150 св. лет, находящегося в 390 св. годах от центра Млечного Пути и в 25 тыс. св. лет от нас. Гигантский размер облака говорит о том, что это одно из самых крупных молекулярных облаков в Галактике. Полученная находка может иметь большое значение для изучения поведения пребиотических молекул в межзвездном пространстве. Гликолевый альдегид,

к примеру, представляет собой молекулу, вступающую в реакцию с акролеином (пропеналем), формируя рибозу – основную составляющую молекулы РНК; этиленгликоль – это двухатомный спирт, сходный с этанолом. Как показали исследования, формирование этих молекул не связано со звездообразованием и происходит в “холодных условиях” в результате низкотемпературного химического процесса.

*По материалам
интернет-сайта
“Астроньюс”,
10 октября 2017 г.*

НОВЫЕ КНИГИ

Интересное о галактиках

В книге доктора физико-математических наук, лауреата престижных научных премий, руководителя коллектива астрономов, изучающих структуру и эволюцию галактик различными методами О.К. Сильченко “Происхождение и эволюция галактик” (М.: Век-2, 2017) содержится научно-популярный обзор современного представления о них и собственный взгляд автора на возможное эволюционное толкование фактов.



Это издание заполняет огромный пробел в наших знаниях о галактиках, поскольку на русском языке уже несколько десятилетий

не публиковались подобные обзоры.

Познакомившись с этой книгой, читатель сможет ощутить глубину поиска и уровень проблем, встающих перед теми, кто изучает историю Вселенной. В обзоре рассказано о классификации и типах галактик; как и почему менялась со временем их структура и какими методами ученые исследуют их свойства; о том, почему именно эта область наших представлений о Вселенной в наши дни бурно развивается и полна неожиданных открытий.

Книга предназначена для всех, кто интересуется вопросами современной астрономии.

Информация

Гигантский айсберг, отделившийся от Антарктиды

В июле 2017 г. айсберг А-68А (один из крупнейших в истории нашей планеты) отделился от шельфового ледника Ларсена в Антарктиде. Сложно даже представить себе этот гигантский кусок льда площадью более 6 тыс. км², что по сути составляет 10% от всей площади шельфа. NASA, в рамках проекта “IceBridge” по картографированию Антарктиды, опубликовало удивительные фотографии этого айсберга.



Гигантский айсберг А-68А площадью более 6 тыс. км², отделившийся от Антарктиды. Фото NASA.

В ходе ежегодного проекта “IceBridge” специалисты этого агентства изучают шельфовые ледники Арктики и Антарктики. Цель ученых – понять механизм процессов взаимодействия между льдом и океанами, а также научиться вычислять толщину шельфовых

ледников. Кроме того, исследователей также интересует траектория движения гигантских айсбергов, периодически откалывающихся от шельфов (как это случилось с А-68А).

Пресс-релиз NASA,
17 ноября 2017 г.