

ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ АСТРОНОМИИ

# НЕБОСВОД



Цвет Красной планеты

Небесный курьер (новости астрономии)  
История астрономии 21 века Небо над нами: ИЮНЬ - 2025





## Книги для любителей астрономии из серии «Астробиблиотека» от 'АстроКА'



Астрономический календарь на 2005 год <http://astronet.ru>  
 Астрономический календарь на 2006 год <http://astronet.ru/db/msg/1208871>  
 Астрономический календарь на 2007 год <http://astronet.ru/db/msg/1216757>  
 Астрономический календарь на 2008 год <http://astronet.ru/db/msg/1223333>  
 Астрономический календарь на 2009 год <http://astronet.ru/db/msg/1232691>  
 Астрономический календарь на 2010 год <http://astronet.ru/db/msg/1237912>  
 Астрономический календарь на 2011 год <http://astronet.ru/db/msg/1250439>  
 Астрономический календарь на 2012 год <http://astronet.ru/db/msg/1254282>  
 Астрономический календарь на 2013 год <http://astronet.ru/db/msg/1256315>  
 Астрономический календарь на 2014 год <http://astronet.ru/db/msg/1283238>  
 Астрономический календарь на 2015 год <http://astronet.ru/db/msg/1310876>  
 Астрономический календарь на 2016 год <http://astronet.ru/db/msg/1334887>  
 Астрономический календарь на 2017 год <http://astronet.ru/db/msg/1360173>  
 Астрономический календарь на 2018 год <http://astronet.ru/db/msg/1364103>  
 Астрономический календарь на 2019 год <http://astronet.ru/db/msg/1364101>  
 Астрономический календарь на 2020 год <http://astronet.ru/db/msg/1364099>  
 Астрономический календарь на 2021 год <http://astronet.ru/db/msg/1704127>  
 Астрономический календарь на 2022 год <http://astronet.ru/db/msg/1769488>  
 Астрономический календарь на 2023 год <http://astronet.ru/db/msg/1855123>  
 Астрономический календарь на 2024 год <http://astronet.ru/db/msg/1393061>  
 Астрономический календарь на 2025 год <http://astronet.ru/db/msg/1393062>  
 Астрономический календарь на 2026 год <http://astronet.ru/db/msg/1393063>  
 Астрономический календарь на 2027 год <http://astronet.ru/db/msg/1393065>  
 Астрономический календарь на 2028 год <http://astronet.ru/db/msg/1393067>  
 Астрономический календарь на 2029 год <http://astronet.ru/db/msg/1393068>  
 Астрономический календарь - справочник <http://www.astronet.ru/db/msg/1374768>



Солнечное затмение 29 марта 2006 года и его наблюдение (архив – 2,5 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1211721>

Солнечное затмение 1 августа 2008 года и его наблюдение (архив – 8,2 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1228001>

Кометы и их методы их наблюдений (архив – 2,3 Мб)

<http://astronet.ru/db/msg/1236635>

Астрономические хроники: 2004 год (архив - 10 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1217007>

Астрономические хроники: 2005 год (архив – 10 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1217007>

Астрономические хроники: 2006 год (архив - 9,1 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1219122>

Астрономические хроники: 2007 год (архив - 8,2 Мб)

<http://www.astronet.ru/db/msg/1225438>

Противостояния Марса 2005 - 2012 годы (архив - 2 Мб)

[http://www.astrogalaxy.ru/download/Mars2005\\_2012.zip](http://www.astrogalaxy.ru/download/Mars2005_2012.zip)



Календарь наблюдателя на июнь 2025 года <http://www.astronet.ru/db/news/>



<http://astronet.ru>



<http://www.nkj.ru/>



<http://www.popmech.ru/>



<http://www.vokrugsveta.ru>



Вышедшие номера журнала «Небосвод» можно скачать на многих Интернет-ресурсах, например, здесь:

<http://www.astronet.ru/db/sect/300000013>

<http://www.astrogalaxy.ru>

<http://www.shvedun.ru/nebosvod.htm>

<http://astronomam.ru/sprav/jurnalN> (журнал + все номера KN)

<http://ivmk.net/lithos-astro.htm>

ссылки на новые номера - на <http://astronomy.ru/forum>



## Уважаемые любители астрономии!

В ясные ночи июня можно совершать увлекательные путешествия по звездному небу. «Ночь на юге даже в июне, самом светлом месяце, наваливается быстро: золотистый закат, едва отблистав, переходит в густые иссиня-лиловые сумерки, на небе первыми появляются бриллиантовая Вега и гранатовый Арктур, глядишь, а уже и весь небосвод усыпан россыпями алмазной пыли. Млечный путь зажигается, словно, ртутная лампа: сначала, еле заметный для глаза, робко перемигивается, потом загорается вполсилы, а уже минут через десять сияет во всем своем великолепии. По правую сторону от млечного пути расположено одно из моих любимых летних созвездий - созвездие Змееносца. Не броское, но обширное, не богатое на знаковые дип-скай объекты, но обильное на не столь популярные, но ничуть не менее интересные туманные пятнышки. Тут и прекрасная парочка жемчужин M10 и M12, и пылевые туманности на юге, и даже крупная галактика. Рассеянное скопление IC 4665, лежащее неподалеку  $\beta$  и  $\gamma$  Змееносца я самостоятельно открыл в пору своей юности независимо от Каролины Гершель, правда, спустя двести десять лет после нее, но, тем не менее. В виду этого сей туманный объект мне дорог совершенно особой любовью, равно как несколько других, тоже нечаянно обнаруженных. Ведь отыскать на небе в небольшой телескоп далекую галактику или рассеянное скопление приятно, но приятно вдвойне, если открываешь нечто незапланированное. В такие моменты ощущаешь себя на месте Шарля Мессье, хотя, конечно, сомневаюсь, чтобы он испытывал восторг при их обнаружении - все-таки он был ловцом комет, а они - досадными недоразумениями, кометами не являющимися. Скопление IC 4665 полюбились мне и потому, что оно было первым из каталога NGC в списке моих достижений. Тогда, в четырнадцать лет я считал, что объекты из каталога Дрейера удостоивают внимания лишь особо продвинутых любителей астрономии, поэтому даже это яркое рассеянное скопление влило в меня массу оптимизма относительно моих возможностей и возможностей моего тогдашнего 60-мм очкового рефрактора.» Полностью статью можно прочитать в июньском номере журнала «Небосвод» за 2009 год. Не смотря на давность публикации, она актуальна и сейчас.

**Ясного неба и успешных наблюдений!**

## Содержание

### 4 Небесный курьер (новости астрономии)

**Цвет Красной планеты объясняется  
наличием в марсианской пыли  
ферригидрита**

*Владислав Стрекопытов*

### 8 Зарегистрировано космическое нейтрино беспрецедентно высокой энергии

*Игорь Иванов*

### 14 История астрономии 21 века

*Анатолий Максименко*

### 22 Небо над нами: ИЮНЬ - 2025

**Обложка: Комета G3 ATLAS над Уругваем**  
<http://www.astronet.ru/db/apod.html>

Кометы могут быть огромными. Когда комета далека от Солнца, ее размер относится к твердому ядру из льда и горных пород и обычно составляет несколько километров – меньше самых маленьких спутников. Однако когда комета приближается к Солнцу, из ядра выбрасываются пыль и газ, образуя тонкий хвост, который может достигать огромной длины – больше расстояния между Землей и Солнцем. На картинке показан хвост из отражающей солнечный свет пыли и светящегося газа кометы C/2024 G3 (ATLAS), его угловой размер в несколько раз больше видимого размера диска полной Луны. На снимках, сделанных с длинными экспозициями с помощью камеры, он выглядит больше, чем может увидеть невооруженный глаз. На фотографии впечатляющая комета ATLAS запечатлена над лугом и деревьями в Сиеррас де Махома в департаменте Сан-Хосе в Уругвае около недели назад. Комета G3 ATLAS была хорошо видна на небе южного полушария Земли на закате, однако сейчас она удаляется от Солнца, ее яркость уменьшается и увидеть эффектные хвосты становится все труднее.

Авторы и права: [Маурицио Салазар](#)  
Перевод: Д.Ю. Цветков

## Журнал для любителей астрономии «Небосвод»

Издается с октября 2006 года любителями астрономии

Веб-ресурс журнала: <http://www.astronet.ru/db/author/11506>, почта журнала: [stgal@mail.ru](mailto:stgal@mail.ru)

Тема журнала на Астрофоруме - <http://www.astronomy.ru/forum/index.php/topic,19722.0.html>

Веб-сайты: <http://astronet.ru>, <http://astrogalaxy.ru>, <http://astro.websib.ru>, <http://ivmk.net/lithos-astro.htm>

Сверстано в 2025 году

© Небосвод, 2025



## Новости астрономии

**Цвет Красной планеты  
объясняется наличием в  
марсианской пыли ферригидрита**



*Рис. 1. Полноцветное изображение Марса, полученное 14 августа 2021 года многодиапазонной камерой Emirates eXploration Imager (EXI), установленной на борту автоматической межпланетной станции «Аль-Амаль» космического агентства UAESA (ОАЭ). Фото из обсуждаемой статьи в Nature Communications*

В экспериментальном исследовании международная группа ученых создала в лабораторных условиях имитацию марсианской пыли, смешав вулканический базальт с разными типами оксидов железа. Оказалось, что спектральные характеристики реального марсианского грунта лучше всего совпадают со смесями с ферригидритом — минералом, который формируется только в присутствии холодной воды. Авторы доказывают, что основным компонентом оксида железа марсианской пыли, придающим ей характерный красноватый оттенок, является именно ферригидрит, а не безводные минералы типа гётита и гематита, как считали раньше. По мнению исследователей, эта гидратированная фаза железа образовалась на последних стадиях раннего этапа развития Марса, в водных окислительных условиях.

Марс не случайно называют Красной планетой. Цветом своей поверхности он отличается от других планет Солнечной системы. Римляне дали ему имя в честь бога войны, так как считали, что его цвет напоминает кровь. А египтяне называли планету «Хер Дешер», что означает «красная».

Благодаря наблюдениям, выполненным многочисленными миссиями к Марсу в течение последних десятилетий, ученые установили, что красный цвет поверхности планеты связан с преобладанием в марсианском реголите оксидов железа. Образующаяся при его выветривании пыль поднимается в атмосферу, усиливая красноватое свечение (рис. 1).

Первоначально, на основе анализа наблюдений спектрометра OMEGA, установленного на борту автоматической межпланетной станции «Марс-экспресс» Европейского космического агентства (ESA) ученые предположили, что красноватый оттенок марсианской почвы придают безводные окислы железа, такие как гематит ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) или маггемит ( $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ). Минералогические модели

показывали, что эти минералы могли накопиться в марсианской пыли в результате длительного непрерывного окисления и выветривания в условиях сухой поверхности в течение всего амазонийского периода, охватывающего последние 3 миллиардов лет марсианской истории.

Однако более поздние наблюдения, в том числе с помощью спектрометра CRISM (Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars) миссии Mars Reconnaissance Orbiter НАСА, выявили спектральные особенности, связанные с присутствием гидратированных минералов.

Еще позднее, данные, собранные мёссбауровским спектрометром MIMOSII Mössbauer, установленным на марсоходах программы НАСА Mars Exploration Rover («Спирит» и «Оппортьюнити»), показали присутствие в марсианском грунте миллиметровых сферул гематита и гётита ( $\text{FeO}(\text{OH})$ ), а также неопределенной фазы оксида железа, получившей условное название «нанопфаза  $\text{NpOx}$ ». Примечательно, что в самой мелкой фракции марсианской пыли эта фаза встречалась повсеместно, а ее содержание коррелировало с содержанием серы и хлора, в то время как в неизменных породах (базальтах, богатых оливином), концентрация «нанопфазы» была заметно ниже. Все это указывало на то, что «нанопфаза» является продуктом химического изменения базальтов.

Дополнительную информацию о составе марсианской пыли дали результаты программы Mars Science Laboratory, выполненной марсоходом «Кьюриосити». В состав установленного на его борту аналитического набора ChemCam (Chemistry and Camera) входил прибор лазерно-искровой эмиссионной спектроскопии (LIBS), проводивший анализ пыли, присутствующей в атмосфере. На протяжении многих лет ChemCam фиксировал в атмосферной пыли Марса стабильный сигнал водорода, который не демонстрировал суточных колебаний, что предполагает, что водород химически связан в минеральном веществе пылевых частиц.

Данные приборного комплекса CheMin того же марсохода «Кьюриосити», который исследовал химический и минералогический состав марсианского грунта с помощью рентгеноструктурного и рентгенофлуоресцентного анализа, указывают на то, что около трети материала, входящего в состав реголита, представлено аморфной фазой, а пыль по составу похожа на основную часть базальтовой коры Марса, но обогащена  $\text{SO}_3$ , Cl и Fe, что согласуется с предыдущими наблюдениями.

Аналитический комплекс SAM (Sample Analysis at Mars) «Кьюриосити», включающий квадрупольный масс-спектрометр (анализирующий газы, отобранные из атмосферы или выделяемые из твердых образцов при нагревании), газовый хроматограф (разделяющий сложные газовые смеси на молекулярные компоненты) и настроенный диодно-лазерный абсорбционный спектрометр (выполняет точные измерения соотношений изотопов кислорода и углерода), обнаружил в газах,

выделяемых из образцов при нагревании до  $835^\circ\text{C}$ , летучие соединения —  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ . Причем вода устойчиво ассоциировала с аморфной фазой. Однако минералогическая природа этой фазы до сих пор оставалась неясной.

Авторы нового исследования, проведенного международной группой ученых из США, Швейцарии, Франции, Великобритании и Канады и опубликованного в журнале Nature Communications, доказывают, что доминирующей фазой в марсианской пыли, которая и придает ей характерный оттенок, является ферригидрит ( $\text{Fe}_5\text{O}_8\text{H}\cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) — плохо кристаллизованный, гидратированный минерал оксида железа (см. ferrihydrite).

В земных условиях ферригидрит образуется при осаждении из теплых растворов, богатых железом, при их встрече с холодной водой (рис. 2, а), либо в результате метаболической активности бактерий. Исследователи создали в лаборатории образец, имитирующий марсианскую пыль, обогащенную ферригидритом (рис. 2, б), и сравнили ее спектральные характеристики с данными марсианских миссий. Результаты показали, что спектр полученной смеси в целом соответствует спектру марсианской пыли (рис. 2, с).

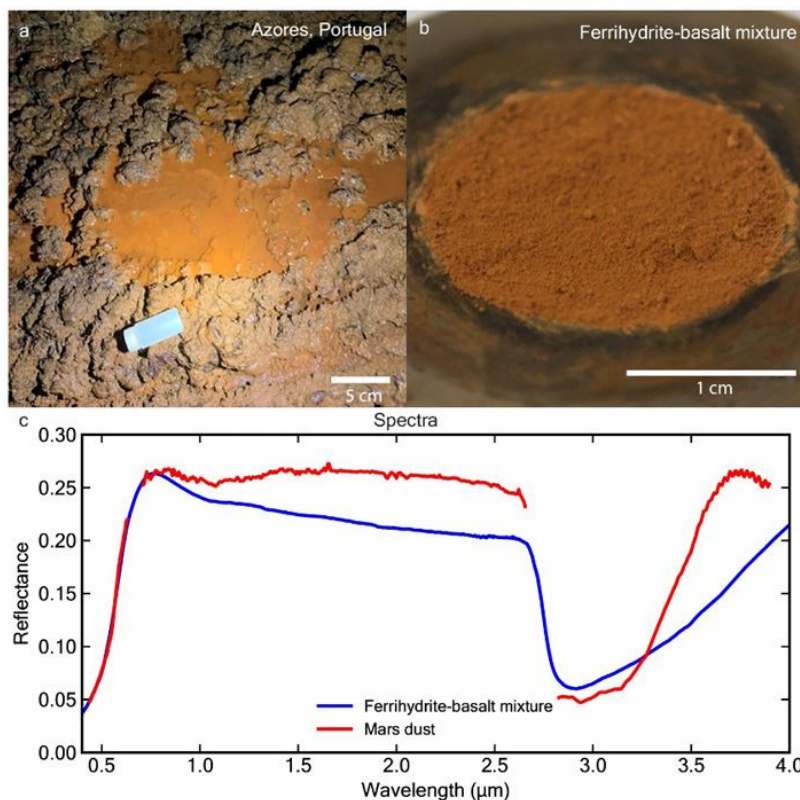


Рис. 2. а — отложения ферригидрита на полу лавовой пещеры Грута-Дос-Балкойнс (остров Терсейра, Азорские острова, Португалия) — богатая железом вода просачивается из базальтового потолка пещеры, образуя сталактиты и осаждается на земле. б — лабораторный образец, имитирующий марсианскую пыль. Тонкопорошковая смесь состоит из ферригидрита и измельченного базальта с частицами размером менее одного микрометра. Размер образца — 1 дюйм в поперечнике. с — сравнение спектра (зависимости отражательной способности (reflectance) от длины волны (wavelength)) марсианской пыли (красный) и имитационной смеси базальта и ферригидрита (синий). Рисунок из обсуждаемой статьи в Nature Communications



Всего исследователи использовали для имитационных смесей девять различных минеральных фаз железа: магнетит ( $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ), маггемит, гётит, гематит, ферригидрит, лепидокрокит ( $\gamma\text{-FeO}(\text{OH})$ ), акагенит (см. akaganeite,  $\text{FeO}(\text{OH}, \text{Cl})$ ), фероксигит (см. ferroxhyte,  $\delta\text{-FeO}(\text{OH})$ ) и швертманнит (см. schwertmannite,  $\text{Fe}_8\text{O}_8(\text{OH})_6(\text{SO}_4) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Оказалось, что спектральная кривая имитационной смеси с ферригидритом в видимой части спектра практически идеально совпадает с интегральной кривой, составленной по результатам наблюдений различных марсианских миссий, в отличие от спектральных линий тонкопорошковых смесей базальта с другими оксидами/гидроксидами железа (рис. 3).

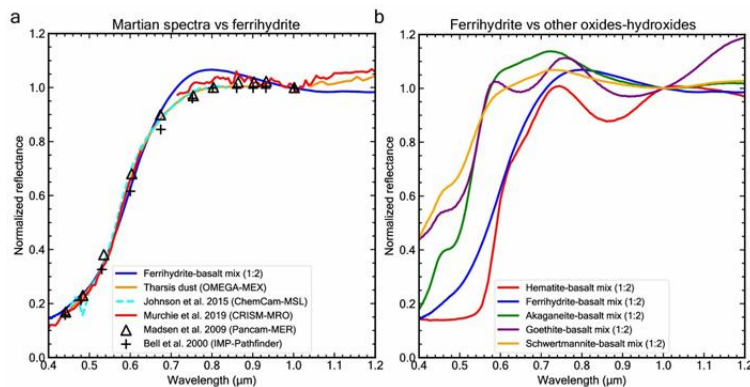


Рис. 3. а — сравнение видимой части спектра лабораторной смеси базальта и ферригидрита (синий) с наблюдениями различных марсианских миссий; б — спектры тонкопорошковых лабораторных смесей базальта с гематитом (красный), ферригидритом (синий), акаганеитом (зеленый), гётитом (сиреневый) и швертманнитом (желтый). Рисунок из обсуждаемой статьи в *Nature Communications*

Исследователи также проанализировали спектральные характеристики лабораторных базальтовых смесей с разным процентным содержанием ферригидрита. Эксперименты показали, что максимально приближены к параметрам марсианской пыли смеси с содержанием ферригидрита от 20 до 33% (рис. 4). Примерно такой же процент составляет так называемая аморфная, или «нанопфаза» в марсианской пыли.

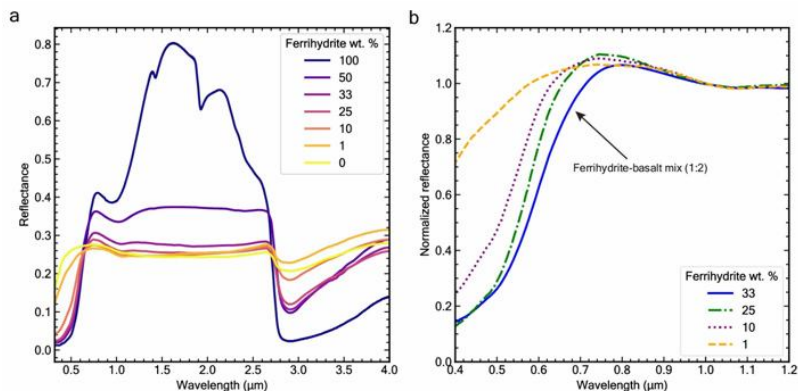


Рис. 4. Спектральные характеристики базальтовых смесей с разным содержанием ферригидрита. Рисунок из обсуждаемой статьи в *Nature Communications*

Еще один вопрос, на который попытались ответить авторы исследования, — является ли ферригидрит термодинамически стабильным в современных марсианских условиях. В земных условиях ферригидрит — метастабильный аморфный минерал, который со временем трансформируется в более термодинамически стабильные кристаллические фазы, такие как гематит и гётит.

Существует два основных пути кристаллизации ферригидрита в другие фазы оксида железа. Первый путь, известный как твердофазное превращение, требует высоких температур. При сухом нагревании до 200–1000°C ферригидрит постепенно дегидратируется и кристаллизуется в форме гематита. Однако современные марсианские условия при очень низком парциальном давлении водяного пара в атмосфере характеризуются значительно более низкими температурами (около -70°C).

Другой путь — реконструктивное преобразование, которое включает растворение и осаждение в водных растворах, что обычно приводит к кристаллизации сначала гётита, а затем гематита. Этот процесс в значительной степени зависит от pH и температуры воды. Низкие значения pH (высокая кислотность) и низкие температуры замедляют это преобразование.

Проведенный авторами 40-дневный эксперимент по дегидратации чистого ферригидрита показал, что в моделируемых «современных марсианских» условиях (температура, давление,  $\text{CO}_2$ -атмосфера, УФ-облучение) ферригидрит теряет часть адсорбированной  $\text{H}_2\text{O}$ , сохраняя при этом свою скрытокристаллическую структуру и не переходит в другие фазы оксида-гидроксида железа (рис. 5).

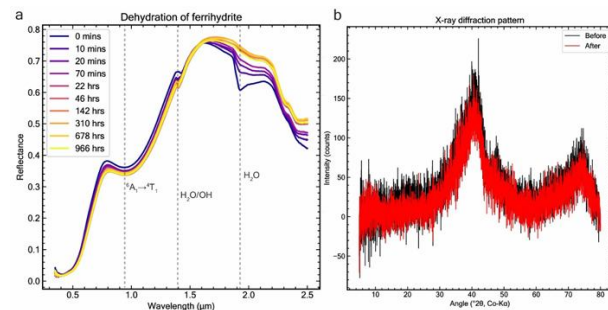


Рис. 5. а — спектры чистого ферригидрита в условиях дегидратации в течение 966 часов. Воздействие имитированных «современных марсианских» условий приводит к значительной дегидратации и потере воды в ферригидрите, на что указывает удаление полосы 1,9 мкм; б — рентгеновские дифракционные картины ферригидрита до (черный) и после (красный) дегидратации. Образец чистого ферригидрита не изменил фазу и не кристаллизовался, как показывает рентгеноструктурный анализ. Рисунок из обсуждаемой статьи в *Nature Communications*

Помимо определения минеральной формы нахождения железа в марсианской пыли важным является вопрос происхождения ферригидрита на Марсе. Спектральные особенности указывают на его тесную ассоциацию с другими производными вулканических пород. Отсюда авторы делают вывод о том, что первичным источником железа являлись марсианские базальты.

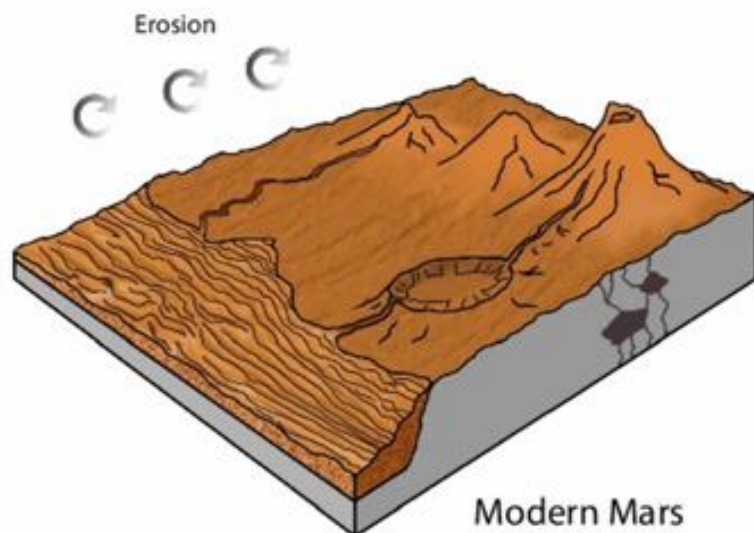
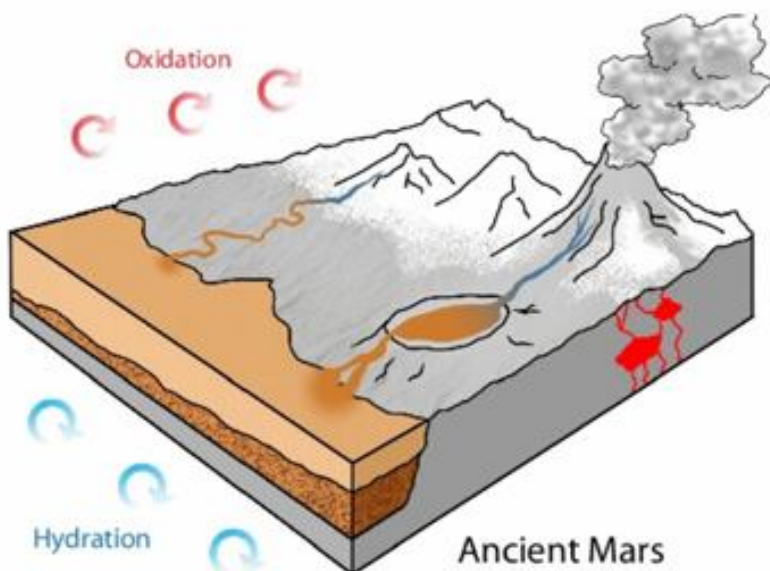


Рис. 6. Как Марс стал Красной планетой. Более 3 млрд лет назад Марс был «влажным» миром, а на его поверхности действовали вулканы, которые растапливали ледники. Базальтовые лавы подвергались химическому выветриванию (взаимодействию с кислородом и водой в процессе окисления и гидратации). Поверхностные сточные воды переносили нерастворимое трехвалентное железо в озера и бассейны, образуя осадочные отложения. После превращения Марса в «сухой» мир, эрозионные процессы на его поверхности переработали обогащенные железом осадочные отложения, а образовавшийся при этом мелкозернистый охристый материал был разнесен по всей планете. Рисунок из обсуждаемой статьи в *Nature Communications*

Железо могло высвобождаться из минералов базальтов либо путем сухого физического выветривания, либо при преобразовании базальтов в водной среде.

Определить происхождение ферригидрита косвенным образом можно по размеру его зерен. При физическом выветривании эоловые процессы способствуют истиранию ферригидрита в тонкую пыль с последующим образованием нескольких кристаллических фаз. Когда же ферригидрит выпадает из раствора, он изначально образует очень мелкие кристаллиты размером 2–3 нм, а после высыхания формирует более крупные агрегаты.

Размер ферригидрита в данном исследовании (около 500 нм) и его соответствие марсианским спектральным данным предполагает, что агрегация нанокристаллитов происходила в условиях быстрого осаждения в водной среде с последующим высыханием. В земных условиях ферригидрит также часто образуется в зонах развития вулканических пород, в обстановках с холодной водной средой, таких, например, как лавовые пещеры. В более теплой водной среде, как правило, главным продуктом преобразования базальтов являются смектиты.

В представлении авторов исследования, формирование ферригидрита происходило в обстановке водного окислительного выветривания, имевшей место в позднегесперийское время, примерно 3 млрд лет назад.

В это время периоды с температурой на поверхности выше нуля, когда происходило таяние ледников, сменялись холодными, засушливыми периодами.

До этого планета пережила эпоху интенсивной вулканической активности, и взаимодействие базальтов с жидкой водой и льдом создавало условия, благоприятные для образования ферригидрита. Исследователи считают, что такой режим существовал не так долго, и процесс осаждения ферригидрита из растворов, содержащих продукты размыва базальтов, был достаточно быстрым. В конце гесперийского периода произошел переход к более кислым и засушливым условиям. После этого, в течение длительного времени, отложения с ферригидритом разрушались эоловой эрозией и переносились посредством ветровой активности и пылевых бурь, пока частицы красновато-бурого цвета не распространились по всей поверхности Марса и в его атмосфере (рис. 6).

Благодаря своей исключительной термодинамической стабильности, частицы ферригидрита сохраняются в грунте и атмосфере Марса до сих пор, придавая Красной планете ее характерный цвет.

**Источник:** Adomas Valantinas, John F. Mustard, Vincent Chevrier, Nicolas Mangold, Janice L. Bishop, Antoine Pommerol, Pierre Beck, Olivier Poch, Daniel M. Applin, Edward A. Cloutis, Takahiro Hiroi, Kevin Robertson, Sebastian Pérez-López, Rafael Ottersberg, Geronimo L. Villanueva, Aurélien Stcherbinine, Manish R. Patel, Nicolas Thomas. Detection of ferrihydrite in Martian red dust records ancient cold and wet conditions on Mars // *Nature Communications*. 2025. DOI: 10.1038/s41467-025-56970-z.

**Владислав Стрекопытов,**

[https://elementy.ru/novosti\\_nauki/t/5272006/Vladislav\\_Strekopytov](https://elementy.ru/novosti_nauki/t/5272006/Vladislav_Strekopytov)



## Зарегистрировано космическое нейтрино беспрецедентно высокой энергии

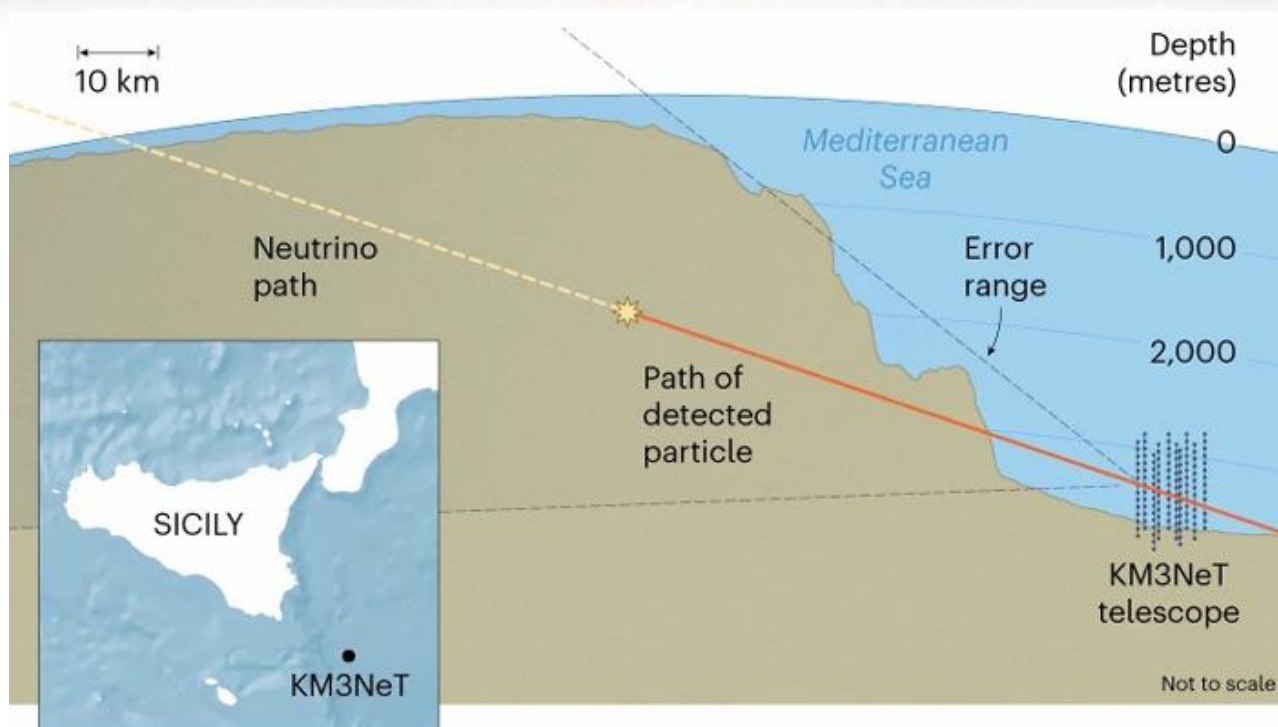


Рис. 1. Предполагаемая траектория полета астрофизического нейтрино, превратившегося в мюон, сквозь воды Средиземного моря и подводный грунт. Горизонтальные размеры сжаты в пятнадцать раз по сравнению с вертикальными. Рисунок из популярного синопсиса на сайте [nature.com](https://www.nature.com)

Нейтрино в очередной раз преподнесли сенсацию. В журнале *Nature* вышла статья коллаборации KM3NeT с сообщением о регистрации нейтрино с беспрецедентно высокой энергией в сотни петаэлектронвольт, что в десятки раз превышает энергию предыдущего рекордсмена. Это нейтрино, несомненно, прилетело из глубокого космоса, но его источник и механизм рождения остаются загадкой. Более того, регистрация этого нейтрино на скромной установке KM3NeT вступает в противоречие отсутствием подобных событий в гораздо более прозорливом нейтринном телескопе IceCube.

### Нейтрино-рекордсмен

13 февраля 2023 года Землю пронзило космическое нейтрино невиданной доселе энергии. Точнее, чиркнуло по касательной: двигаясь с запада на восток, частица вошла сначала в неглубокие воды Средиземного моря к югу от Сицилии, затем — в толщу подводного грунта и, летя почти горизонтально, снова вышла из грунта в глубинные воды центральной котловины Средиземного моря. Где-то на этом пути нейтрино испытало

столкновение и превратилось в мюон сверхвысокой энергии, который, высадив свою энергию на нескольких километрах траектории, осветил средиземноморские глубины короткой, но яркой вспышкой света. Это редкое событие осталось бы незамеченным, если бы поблизости не оказался гигантский нейтринный телескоп KM3NeT — научная установка, которая как раз отслеживает сигналы от нейтрино сверхвысоких энергий. Мюон пролетел сквозь «заросли» из вертикальных цепочек светочувствительных элементов, которые, словно водоросли километровой длины, крепились на дне. Подводный фейерверк длился считанные микросекунды, но несколько тысяч датчиков уловили испущенные фотоны и передали всю информацию на берег, в пульттовую KM3NeT.

Событию было присвоено кодовое обозначение KM3-230213A, и сразу стало ясно, что это сенсационный результат. Судя по засветке телескопа, энергия исходного нейтрино должна была составлять сотни ПэВ (петаэлектронвольт). Это беспрецедентное значение для нейтринной физики; энергии предыдущих нейтринных рекордсменов оценивались лишь в несколько ПэВ. Коллаборация KM3NeT свыше года анализировала данные, оценивала погрешности, проводила численное моделирование всевозможных процессов, тестировала различные гипотезы — и, наконец, летом прошлого года направила научную статью в престижный журнал *Nature*. 12 февраля статья была опубликована на сайте журнала, а результаты были представлены на широко освещенной пресс-конференции коллаборации.



## Вселенная в нейтринных лучах

Давайте переведем дух и обсудим вначале, зачем вообще ловить космические нейтрино высокой энергии и какую информацию они могут нести.

Нейтрино — удивительные частицы. Их массы безумно малы — но не нулевые, и физики до сих пор ломают голову, как такое может получиться. Нейтрино бывают трех разных сортов и умеют менять свой сорт прямо на лету. За открытие этих спонтанных превращений — нейтринных осцилляций — была присуждена Нобелевская премия по физике за 2015 год. Кроме того, нейтрино не несут электрического заряда, а значит, не чувствуют электромагнитных полей. Они участвуют лишь в слабом взаимодействии, из-за чего вероятность их взаимодействия с веществом исключительно мала. Нейтрино умеренной энергии способно прошить насквозь не только Землю, но и Солнце, ни разу не наткнувшись ни на один атом. Для таких нейтрино мы — пустое место.

Все эти свойства делают нейтрино уникальным инструментом для изучения космических глубин. Дело в том, что жизнь Вселенной складывается не только из спокойного свечения звезд, но и из самых разнообразных взрывов, ударных волн, катастрофического поглощения материи черными дырами и прочих катаклизмов. Космические катастрофы способны разогнать элементарные частицы до безумных энергий, на порядки превышающих все достижения земной ускорительной физики, включая Большой адронный коллайдер. Некоторые из этих частиц нестабильны и порождают при распаде фотоны или нейтрино. В результате по всей Вселенной разлетаются частицы сверхвысокой энергии и самых разных сортов, которые несут в себе информацию о том, что же произошло в этом уголке космоса.

Некоторые из них долетают до Земли, и их удается зарегистрировать — однако информация часто оказывается «смазанной». Например, заряженные частицы отклоняются магнитными полями как внутри нашей Галактики, так и в межгалактическом пространстве. Мы ловим такие частицы детекторами космических лучей, но направление их прихода уже никак не помогает нам узнать, где они родились. Фотоны высокой энергии — гамма-лучи — свободны от этого недостатка; они летят по прямой и указывают направление на источник. Но гамма-лучи поглощаются газопылевыми облаками в Галактике или рассеиваются в своем межгалактическом путешествии — и в результате далекие источники мы просто не видим, гамма-лучи от них нас не достигают. А космические нейтрино свободны от обоих этих недостатков: они летят по прямой и практически ничем не блокируются. Поэтому, улавливая космические нейтрино, мы можем «рассматривать» Вселенную в совершенно новых лучах, через новый канал наблюдения, дополняющий потоки заряженных частиц и фотоны самых разных энергий. Одним словом, космические нейтрино — важнейший элемент астрофизических наблюдений.

Впрочем, у регистрации астрофизических нейтрино есть свои сложности. Главная проблема в том, что на Землю падает огромный поток нейтрино от Солнца, а также атмосферных нейтрино, рождающихся при столкновении космических лучей высокой энергии с молекулами высоко в земной атмосфере. Солнечные нейтрино — не помеха, их энергии не превышают десятка МэВ. А вот «атмосферные» нейтрино вполне могут быть высокоэнергетическими, с энергиями в диапазоне ГэВ и ТэВ. Даже если от какого-то далекого источника время от времени приходят нейтрино с энергиями порядка 1 ТэВ, этот слабый космический сигнал окажется полностью забит потоком нейтрино «земного» происхождения. Надежно избавиться от фона атмосферных нейтрино можно лишь на энергиях в сотни ТэВ, а еще лучше — ПэВ (1 ПэВ = 1000 ТэВ).

Все это было понято достаточно давно, и тогда же стало ясно, что для регистрации нейтрино таких огромных энергий требуются детекторы размером в километр. Причем располагаться они должны не на поверхности, а на километровых глубинах, чтобы заэкранировать детектор от посторонних частиц. К счастью, нет необходимости строить установку километрового масштаба; достаточно найти кубический километр прозрачной воды или льда и заполнить его оптическими модулями — датчиками света, способными улавливать отдельные фотоны. Подходящие условия можно найти на дне моря или глубокого озера — или же в толще антарктического ледникового щита. Такие установки стали называть нейтринными телескопами — ведь они должны не просто ловить нейтрино, а с помощью них рассматривать глубокий космос. Пионерские эксперименты в этом направлении начались еще в конце 1970-х годов, а первые действующие установки очень скромных размеров появились в 1990-х; подробнее про раннюю историю этих исследований можно прочитать в большом популярном материале 2021 года. Астрофизических нейтрино эти установки не поймали, но была отлажена сама технология регистрации нейтрино в глубинах морей и озер и в антарктическом льду. Стало окончательно понятно, что достаточно лишь увеличить объем чувствительной области детектора примерно до кубического километра — и открытия посыпятся.

Уже в XXI веке началась работа по развертыванию сразу трех нейтринных телескопов с прицелом на километровый масштаб. Это проект IceCube на Южном полюсе и детектор Baikal-GVD на дне озера Байкал, а чуть позже в гонку вступила установка KM3NeT в Средиземном море. Нетрудно представить себе сложность работ по созданию научных инструментов такого масштаба, в особенности с учетом того, что чувствительные элементы должны устанавливаться на многокилометровой глубине, а в случае IceCube — еще и вмораживаться в лед. Развертывание этих установок растянулось на десяток — или десятки — лет, но, к счастью, оно может вестись поэтапно. Каждый год специалисты добавляют одну или несколько «гирлянд» — цепочек с оптическими

модулями, нанизанными каждые несколько десятков метров. Нейтринный телескоп начинает работать уже с несколькими гирляндами и уверенно «видит» атмосферные нейтрино. Но поскольку он ловит свет, испущенный пролетающими мимо электронами или мюонами лишь в небольшом объеме воды или льда, вероятность поимки нейтрино сверхвысокой энергии невелика. По мере добавления новых гирлянд увеличивается чувствительный объем телескопа, вероятность растет — и рано или поздно детектору посчастливится поймать нейтрино с энергией порядка ПэВ или выше.

Первым этого добилась коллаборация IceCube, которая в 2013 году объявила о регистрации двух нейтрино с энергиями в несколько ПэВ. Даже если у кого-то поначалу оставались сомнения в интерпретации первых двух событий, опубликованный спустя год полный статистический анализ надежно доказал, что IceCube уверенно «видит» астрофизические нейтрино, прилетающие из глубокого космоса, возможно — из далеких галактик (см. IceCube окончательно доказал реальность астрофизических нейтрино, «Элементы», 27.05.2014). Нейтринные телескопы стали полноправным инструментом изучения Вселенной (см. Нейтринная астрофизика делает первые шаги, «Элементы», 20.11.2015), и на первый план вышел вопрос: откуда именно, от каких источников прилетают к нам нейтрино с такими энергиями. В последующие годы наблюдения и теоретические расчеты все более надежно указывали на то, что такие нейтрино — или, по крайней мере, значительная их часть — рождается в блазарах, исключительно активных ядрах далеких галактик (см. статью Где рождаются нейтрино? и новость Анализ данных обсерватории IceCube связал часть астрофизических нейтрино с блазарами, «Элементы», 23.08.2022).

## Нейтринный телескоп KM3NeT

Вернемся к «виновнику торжества», нейтринному телескопу KM3NeT. Первые попытки ловить нейтрино в глубине Средиземного моря предпринимались еще в 1990-х годах. Они положили начало полноценному проекту нейтринного телескопа ANTARES, который располагался вблизи берегов Франции и проработал с 2008 по 2022 годы. Из-за своего скромного объема ANTARES не смог достоверно обнаружить астрофизические нейтрино, однако его успешная работа позволила физикам и инженерам накопить огромный опыт охоты за нейтрино в открытом море.

В результате несколько лет назад у берегов Сицилии начал планомерно строиться нейтринный телескоп нового поколения KM3NeT — а точнее, подпроект KM3NeT/ARCA, как раз нацеленный на регистрацию астрофизических нейтрино.

Ожидается, что на морском дне, на глубине 3450 метров, будут закреплены 230 гирлянд — вертикальных тросов, несущих по 18 оптических модулей через каждые 36 метров. Оптические модули — это широко раскрытые глаза нейтринного телескопа, готовые улавливать отдельные фотоны, появляющиеся в средиземноморских глубинах. Причем глаза эти — фасеточные; в отличие от IceCube и Baikal-GVD, в KM3NeT каждый оптический модуль диаметром 44 см несет на себе 31 трехдюймовый фотоумножитель и, таким образом, смотрит сразу во все стороны. Сами тросы размещены на дне в виде широкой решетки; среднее расстояние между соседними тросами — почти 100 метров. В результате заверченный детектор будет «просматривать» подводный объем около одного кубического километра.



Рис. 2. Специалисты готовят к спуску на трехкилометровую глубину очередную гирлянду оптических модулей для строящегося у берегов Сицилии нейтринного телескопа KM3NeT. Фото из популярного синопсиса на сайте nature.com

Стоит подчеркнуть, что в момент прилета рекордного по энергии нейтрино в KM3NeT была установлена всего 21 гирлянда из 230. Физикам очень повезло, что мюон, порожденный этим нейтрино, угодил прямехонько в уже построенный участок детектора и засветил более трети всех фотоумножителей. Развертывание телескопа продолжается и по сей день, причем довольно неторопливо: по состоянию на середину 2024 года было установлено 28 гирлянд, так что работы еще далеки от завершения.

Трудности развертывания и работы нейтринного телескопа в Средиземном море многообразны. Во-первых, сам спуск троса с оптическими модулями с исследовательского судна на многокилометровую глубину, причем в неспокойном открытом море в сотне километров от берега — занятие непростое и недешевое. Для сравнения, обслуживание Байкальского нейтринного телескопа Baikal-GVD обходится не в пример дешевле: там все работы выполняются на толстом мартовском льду всего в трех километрах от берега, а вся техника приезжает по льду своим ходом.



Далее, в отличие от неподвижного льда в толще антарктического ледника и относительно спокойных глубин озера Байкал, в придонных водах Средиземного моря наблюдаются заметные течения. Каждая гирлянда километровой длины, конечно, крепится ко дну, а также удерживается плавучим бумом в вертикальном положении, но течения все равно ее колышат, смещая оптические модули туда-сюда на добрый десяток метров. Экспериментаторам же критически важно знать расстояние между оптическими модулями. Ведь для того, чтобы определить энергию пролетающего мюона, надо оценить яркость испущенного им света. Но свет поглощается в воде на расстояниях в десятки метров, так что оптические модули улавливают лишь долю всей вспышки. Измерив, сколько света поймали оптические модули, мы пытаемся оценить, сколько света произвела частица. И если в этом расчете мы упустим из виду, что гирлянды колышутся, мы допустим серьезную ошибку в оценке энергии частицы. Более того, если вихревое придонное течение синхронно развернет все гирлянды на небольшой угол, мы неверно определим то направление на карте неба, с которого прилетело космическое нейтрино, и тем самым рискуем упустить потенциально важное открытие.

Чтобы держать расстояние между модулями под контролем, на морском дне рядом с детектором KM3NeT установлены ультразвуковые излучатели, а каждый оптический модуль оборудован пьезоэлектрическими микрофонами. Звук в этом случае куда более удобен, чем свет — ведь свет сильно поглощается на масштабах детектора, а звук распространяется почти без потерь. Так что каждые десять минут излучатели посылают короткий звуковой импульс, датчики регистрируют момент его прихода, благодаря чему расстояние между оптическими модулями постоянно контролируется с точностью до 15 см.

Для контроля глобальной ориентации детектора используется... Луна! И это вовсе не шутка. Дело в том, что Луна блокирует космические лучи, прилетающие из далекого космоса. Если мы регистрируем мюоны, родившиеся в земной атмосфере при попадании космических лучей (см. Мюоны и температура атмосферы), мы должны заметить, что со стороны Луны таких мюонов приходит чуть меньше среднего. Хоть детектор KM3NeT и расположен глубоко под водой, до него все же долетают особенно энергичные атмосферные мюоны, и поэтому он должен увидеть «мюонную тень» от Луны. В 2023 году коллаборация KM3NeT сообщила, что за почти год наблюдений лунная тень действительно обнаружилась. Сопоставление тени с реальным направлением на Луну позволило убедиться в корректной ориентации детектора с точностью около одного градуса.

## Событие KM3-230213A: подробности

Событие KM3-230213A пришлось на сезон наблюдений ARCA21 (детектор KM3NeT/ARCA с 21 установленной гирляндой), прошедший с сентября 2022 года по сентябрь 2023 года. За это время детектор зарегистрировал свыше 100 миллионов вспышек. Если ограничиться только теми вспышками, которые засветили как минимум сто фотоумножителей и соответствовали четко восстановленной траектории мюона длиной не менее 250 метров, то таких событий накопилось свыше десяти тысяч. Подавляющее большинство из них было порождено атмосферными мюонами, падавшими сверху вертикально или под небольшим углом. Ловить редчайшие космические нейтрино среди них — безнадежное дело.

Была также зарегистрирована одна вспышка, вызванная нейтрино, прилетевшим снизу, из-под Земли. В том, что это было именно нейтрино, сомнений нет — никакие другие частицы не способны пройти Землю насквозь. Это событие засветило примерно 200 фотоумножителей, что должно соответствовать умеренно большой энергии нейтрино; других подробностей коллаборация пока не приводит, обещая предоставить их в будущей статье.

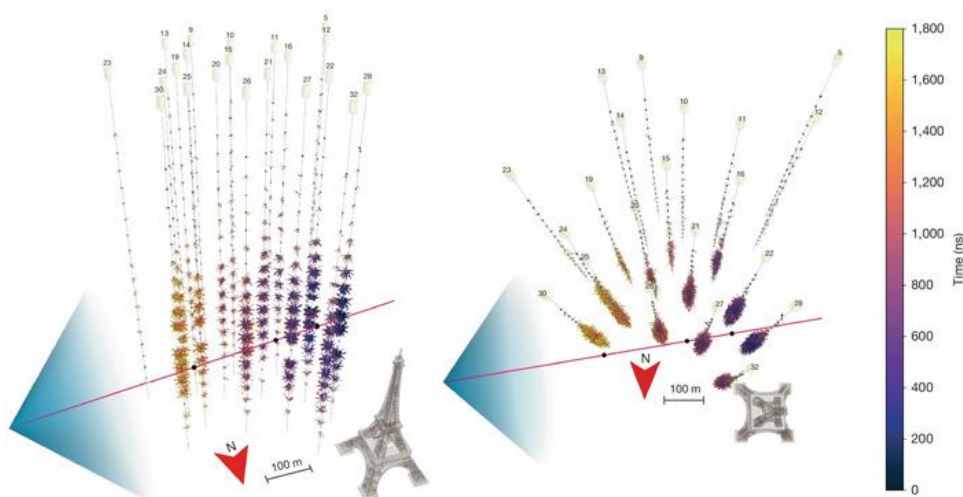


Рис. 3. Событие KM3-230213A: траектория пролета мюона (справа налево) сквозь детектор KM3NeT. Звездочки показывают количество света, уловленного сработавшими фотоумножителями. Цвет показывает запаздывание по времени момента прихода света в каждый фотоумножитель по сравнению с самым первым сигналом; фиолетовым показаны самые ранние срабатывания, желтым — самые поздние. Суммарная длительность события составляет 1800 наносекунд, или 1,8 микросекунды. Конус показывает фронт излучения Вавилова — Черенкова, распространяющегося от мюона, летящего быстрее, чем свет движется в воде. Эйфелева башня показана для сравнения масштабов. Здесь можно посмотреть анимацию срабатывания детекторов. Изображение из обсуждаемой статьи

Событие KM3-230213A стоит особняком. Прежде всего, это было самое мощное по засветке событие за весь годичный сеанс наблюдений. За две микросекунды, пока мюон летел сквозь детектор, выделилось так много света, что его уловили свыше трех с половиной тысяч фотоумножителей — треть всех датчиков, работавших в тот момент. Некоторые из сработавших фотоумножителей располагались на расстоянии аж 300 метров от траектории мюона — и это при том, что длина поглощения света в морской воде составляет всего 60 метров! Когда мюон летит сквозь воду, он теряет энергию, которая в конечном счете преобразуется в свет и попадает в детекторы. Чем больше энергия мюона, тем сильнее энергопотери и тем больше выделится света. Измерив количество сработавших фотоумножителей и сравнив результаты с моделированием, физики смогли оценить энергию мюона — и она показала безумные 120 ПэВ с погрешностью в два раза в обе стороны (то есть от 60 до 230 ПэВ на уровне достоверности 68%, или от 35 до 380 ПэВ на уровне достоверности 90%). И это — только дочерний мюон! Если, опираясь на моделирование, оценить энергию исходного нейтрино, она получится в районе сотен ПэВ, а конкретно, в диапазоне от 110 до 790 ПэВ на уровне достоверности 68%.

Хочется добавить от себя, что летом прошлого года коллаборация KM3NeT уже сообщала на научных конференциях о том, что их детектор зарегистрировал рекордное по энергии нейтрино. Однако значение энергии исследователи тогда держали в тайне, ограничившись лишь констатацией факта, что она превышает 10 ПэВ — на тот момент это было рекордом от IceCube. Несколько дней назад, открывая страницу с долгожданным объявлением об открытии, я попытался предсказать, какое же значение предъявят физики из KM3NeT. Моя ставка была на 12 ПэВ, то есть чуть-чуть выше, чем у IceCube. Когда я увидел 120 ПэВ, у меня вырвалось громкое «ого!». А когда обратил внимание, что 120 ПэВ — это только у мюона, «ого!» прозвучало во второй раз. Да, нейтрино не устают удивлять.

Второй важный параметр события — это направление прихода мюона, а значит, и родительского нейтрино. Мюон огромной энергии летит со скоростью, практически равной скорости света в вакууме. Свет же летит сквозь воду медленнее, он отстает от мюона. В этих условиях «сверхсветовой» мюон испускает излучение Вавилова — Черенкова, которое конусом расходится от мюона и последовательно достигает все более удаленные фотоумножители. Каждый из них не просто регистрирует свет, но и записывает момент прихода вспышки с наносекундной точностью. В результате мы не только знаем общую засветку детектора, но и можем реконструировать, в какой последовательности и с какой задержкой по времени срабатывали фотоумножители (см. анимацию). Именно эта информация позволяет определить направление движения мюона с точностью около полутора градуса.

Так вот, выяснилось, что мюон пролетал сквозь детектор практически горизонтально. Этот результат

моментально устраняет последние сомнения в происхождении мюона. Это не могли быть несколько атмосферных мюонов, одновременно широким ливнем упавшие сверху и засветившие треть детектора — ведь тогда развитие сигнала во времени шло бы сверху вниз, а не справа налево. Это также не мог быть один атмосферный мюон аномально большой энергии, родившийся на большом удалении от детектора и по касательной прошедший свыше сотни километров воды и грунта. Если бы такой мюон и родился в столкновении космических лучей, что само по себе исключительно маловероятно, он обязательно бы растратил всю свою энергию за несколько десятков километров своего путешествия сквозь грунт. Единственное работающее объяснение — это было нейтрино сверхвысокой энергии, вошедшее в грунт и пролетевшее добрую сотню километров как нейтрино и лишь на последних километрах пути превратившееся в мюон. Наконец, гипотезу о том, что это нейтрино не космическое, а родилось в атмосфере при попадании космических лучей, тоже приходится отбросить. Мы достаточно хорошо знаем потоки космических лучей и процессы рождения нейтрино и можем оценить, насколько часто — а точнее, насколько редко — такое может произойти. Авторы статьи приводят оценку для рождения нейтрино с энергией 100 ПэВ в земной атмосфере: примерно раз в десятки тысяч лет. В свете приведенных оценок наиболее правдоподобной следует признать гипотезу, что перед нами — космическое нейтрино беспрецедентно высокой энергии. Нейтрино, побившее предыдущий рекорд в десятки раз.

## Вопросы без ответа

Событие KM3-230213A сразу же поставило перед учеными как минимум две загадки. Первая касается происхождения нейтрино с такой энергией. Проследив траекторию мюона, мы можем определить, из какой точки на небе прилетело нейтрино. В статье приводятся координаты на небесной сфере; здесь же достаточно указать, что эта точка находится в неприметном созвездии Единорога, зажатом между Орионом и Большим Псом, примерно на полпути между звездами из пояса Ориона и Сириусом. Ничего выдающегося в нашей Галактике в том направлении, плюс-минус пара градусов, мы не знаем. Да и вообще трудно даже теоретически представить себе космический катаклизм звездных масштабов, способный разогнать частицы до энергий в тысячи ПэВ, чтобы из них потом родилось нейтрино такой энергии. Гипотезу о сверхразвитой внеземной цивилизации, которая таким образом посылает нам сигнал, оставим писателям-фантастам. Значит, надо выйти за пределы Галактики в далекий космос. Авторы статьи выполнили поиски по каталогам различных внегалактических объектов и нашли несколько десятков галактик на удалении не более 100 мегапарсек, достаточно близких к направлению прихода нейтрино. Однако это вполне спокойные галактики, и никаких аномальных вспышек во временном окне  $\pm 6$  месяцев от события KM3-230213A в них не было зарегистрировано.



Приходится в поисках подходящих объектов отодвинуться уже на космологические расстояния и прошерстить каталоги квазаров и, в особенности, блазаров — исключительно «буйных» ядер далеких галактик. Несколько объектов действительно нашлось, но из-за большого количества известных квазаров это вполне могло получиться и случайно. На данном этапе никакой достоверной связи рекордного нейтрино с известными источниками установить нельзя. Более того, если какой-то конкретный источник хотя бы раз «выстрелил» нейтрино с энергией в сотни ПэВ, то он, по всем раскладам, должен был бы куда чаще «стрелять» и частицами с энергией поменьше, хотя бы несколько ПэВ, на худой конец — сотни ТэВ. Коллаборация IceCube, работая свыше десяти лет с детектором существенно большего объема, наблюдает за такими нейтрино — и никакого потока, приходящего именно с этого направления, не видит.

Но может быть, этому нейтрино и не требуется источник?! Дело в том, что теоретики уже давно предсказывают, что космические лучи сверх-сверх-сверхвысоких энергий — а как иначе охарактеризовать протоны с энергиями в миллионы(!) ПэВ? — на своем пути в межгалактической среде будут сталкиваться с фотонами и порождать вторичные частицы, в том числе и нейтрино. Поскольку это событие происходит где-то на пустых просторах Вселенной, рожденное нейтрино совершенно не обязано указывать на какой-либо источник. Такие нейтрино называют «космогенными», чтобы отличать их от просто «астрофизических», рожденных в местах космических катаклизмов. Теоретики пытались оценить потоки космогенных нейтрино, но оценки разных групп разнятся в сотни раз. Это как раз та ситуация в астрофизике, когда без наблюдательных данных ничего толком предсказать не удастся, но зато первое же достоверное наблюдение такой частицы станет прорывом.

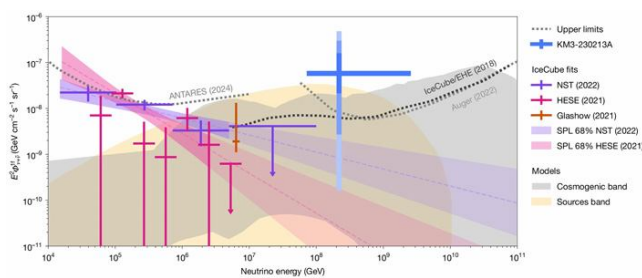


Рис. 4. Распределение взвешенного потока космических нейтрино по их энергии. Красные и сиреневые крестики при энергии ниже 10 ПэВ ( $10^7$  ГэВ) — результаты IceCube. Линии со стрелками вниз — их же ограничения сверху. Пунктирные линии — ограничения сверху на поток, полученный из различных наблюдений. Широкие полосы показывают теоретические оценки на поток астрофизических (бежевая полоса) и космогенных (серая полоса) нейтрино, полученные при разных предположениях. Синий крест — оценка потока, полученная на основании одного события KM3-230213A. Изображение из обсуждаемой статьи

Это рассуждение подводит нас ко второй загадке. Если у таких экстремальных нейтрино нет выделенного источника, значит, их должны наблюдать и другие нейтринные телескопы, прежде всего IceCube. Более того, IceCube должен был бы видеть такие события чаще, ведь его суммарная экспозиция намного выше. Увы, ничего близкого телескоп IceCube не обнаружил. Наконец, Обсерватория Пьера Оже (Pierre Auger Observatory), исполинская установка по регистрации космических лучей, тоже в принципе способна отслеживать нейтрино огромных энергий иными методами. Пару лет назад эта коллаборация отчиталась о поисках нейтрино с энергиями в десятки ПэВ и выше: ничего не было найдено, установлены ограничения сверху на поток таких частиц (рис. 4).

И тут оказывается, что одно-единственное событие, пойманное скромным пока телескопом KM3NeT, вступает в противоречие с титанами этой области исследования, IceCube и Auger. Если взять за основу их ограничение и оценить, как часто KM3NeT в его тогдашней конфигурации должен был бы ловить подобные нейтрино, то получится не чаще, чем раз в 70 лет. А KM3-230213A поймал его менее чем за год!

Как понимать это разногласие — неизвестно. Может быть, там, в созвездии Единорога, действительно что-то прячется, а телескоп IceCube просто не слишком чувствителен к нейтрино, прилетающим с этого направления. По крайней мере, авторы статьи Clash of the Titans: ultra-high energy KM3NeT event versus IceCube data, вышедшей по горячим следам, склоняются к мысли, что это может быть первым случаем регистрации нейтрино от астрофизических объектов нового типа. Возможно также, что никакого конкретного источника нет, что это всего лишь статистическая флуктуация, и коллективу KM3NeT просто несказанно повезло поймать такое нейтрино раньше IceCube. Не исключено, что причина кроется в чем-то совсем другом. Так или иначе, перед нашими глазами закручивается сюжет очередной главы нейтринного детектива, и нам остается только запастись терпением.

**Источник:** The KM3NeT Collaboration. Observation of an ultra-high-energy cosmic neutrino with KM3NeT // Nature. 2025. DOI: 10.1038/s41586-024-08543-1.

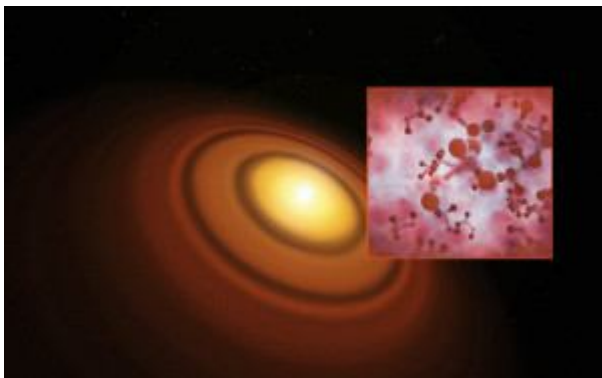
См. также:

- 1) Observation of an ultra-high-energy cosmic neutrino with KM3NeT — страница на сайте коллаборации KM3NeT, посвященная событию KM3-230213A; на ней можно найти инфографику, дополнительную информацию и ссылки на сопровождающие статьи.
- 2) Рэй Джаявардхана, Охотники за нейтрино.
- 3) Марк Боуэн, Телескоп во льдах.
- 4) И. Иванов, Д. Наумов, Никто: ... Абсолютно никто: ... «Медуза»: Вообще-то главное в 2021-м — это нейтрино! — популярное описание состояния дел в нейтринной физике по состоянию на 2021 год.

**Игорь Иванов,**

[https://elementy.ru/novosti\\_nauki/t/261885/Igor\\_Ivanov](https://elementy.ru/novosti_nauki/t/261885/Igor_Ivanov)

## История астрономии второго десятилетия 21 века



2017г 27 мая 2017 года сайт AstroNews сообщает, что метанол, ключевой «строительный кирпичик», из которого построены молекулы сложных органических соединений, являющихся основой жизни, был впервые обнаружен в составе вещества протопланетного диска вокруг молодой, далекой звезды TW Гидры. Эти находки могут помочь ученым глубже понять химические процессы, происходящие при формировании планет, которые в конечном счете могут привести к зарождению жизни.

Этот открытие было сделано учеными в системе TW Гидры, звезды, масса которой составляет примерно 80 процентов массы нашей звезды, а возраст оценивается в 10 миллионов лет. Она представляет собой более молодую версию Солнечной системы, находящуюся примерно на том же этапе эволюции, на котором наша планетная система пребывала более чем 4 миллиарда лет назад. Находящаяся на расстоянии примерно 176 световых лет от нас, звезда TW Гидры является ближайшей к Земле звездой с протопланетным диском. Предполагается, что вокруг этой звезды по орбите радиусом 22 астрономических единицы (1 а.е. равна расстоянию от Земли до Солнца) движется планета - ледяной гигант.

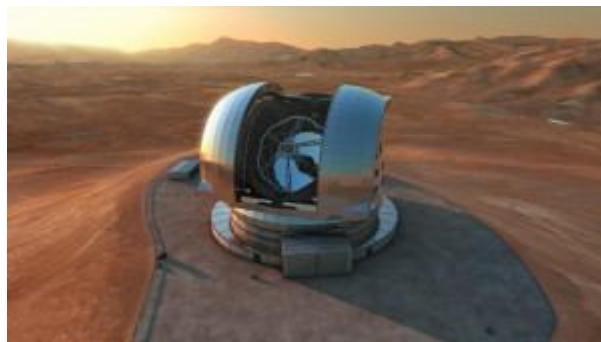
Обнаруженный метанол формирует кольцо радиусом, достигающим 30 астрономических единиц. По всей видимости, этот газообразный метанол происходит из метанольного льда, расположенного чуть дальше от звезды.

Наблюдения метанола в системе TW Гидры были проведены группой исследователей во главе с Кэтрин Уолш (Catherine Walsh), астрохимиком из Лидского университета (Великобритания) при помощи радиотелескопа Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA), расположенного в Чили.

Исследование вышло в журнале *Astrophysical Journal Letters*.

В июле 2018 года другая группа ученых под руководством Сесиль Фавр (Cecile Favre) из обсерватории Арчетри (Италия) провела при

помощи радиотелескопа ALMA наблюдения системы TW Гидры и обнаружила наличие в околозвездном диске молекул муравьиной кислоты ( $\text{HCOOH}$ ). Муравьиная кислота является простейшим представителем класса карбоновых кислот и содержит карбоксильную группу, являющуюся одной из главных функциональных групп аминокислот. Это открытие стало первым случаем обнаружения простейшей карбоновой кислоты в составе вещества протопланетного диска.



2017г 30 мая 2017 года в штаб-квартире ESO были подписаны контракты на изготовление 39,3-метрового главного зеркала Чрезвычайно большого телескопа (Extremely Large Telescope, ELT) с использованием технологии адаптивной оптики, позволяющей корректировать оптические искажения, вызываемые завихрениями потоков атмосферного воздуха. Немецкая компания Schott займётся производством заготовок сегментов зеркала, а французская фирма Reosc (входит в промышленный конгломерат Safran) выполнит полировку, сборку и тестирование 798 шестиугольных сегментов диаметром 1,4 метра каждый.

В связи с началом строительства этого телескопа состоялась торжественная церемония в Паранальской резиденции Европейской южной обсерватории (European South Observatory, ESO), расположенной в северной части Чили, неподалеку от места размещения этого будущего гигантского телескопа, который будет находиться на вершине горы Серро Армасонес высотой 3046 метров. 20 июня 2014 года была взорвана вершина скалы в том месте, где должна быть башня телескопа.

Важность этого проекта была подчеркнута присутствием на церемонии генерального директора ESO Тима де Зей (Tim de Zeeuw) и президента Республики Чили Мишель Бачелет Херии (Michelle Bachelet Jeria).

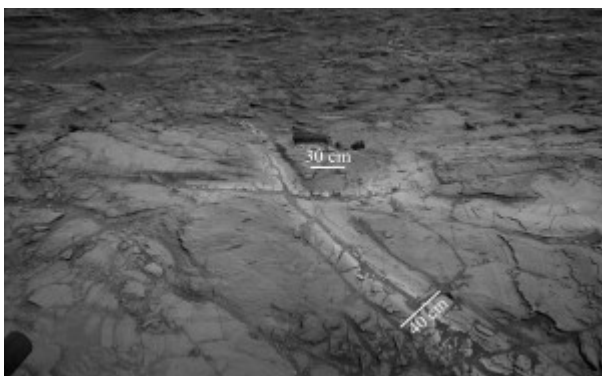
Телескоп ELT будет строиться Европейской южной обсерваторией, международной коллаборацией, поддерживаемой Советом по научно-техническому оборудованию Соединенного



Королевства. Ученые из Оксфордского университета играют ключевую роль в этом проекте и отвечают за конструкцию спектрографа этого телескопа под названием HARMONI, предназначенного для совместного получения 4000 снимков, слегка отличающихся друг от друга цветом, в котором производятся наблюдения.

Инструмент HARMONI позволит ученым получить более подробную информацию о формировании и эволюции объектов Вселенной. Он будет наблюдать все, начиная от планет нашей Солнечной системы, и вплоть до процессов, протекающих внутри самых далеких галактик Вселенной.

Завершение строительства телескопа ELT намечено на 2024 год, открытие запланировано на 2027 год.; компьютерная модель его внешнего вида представлена на фото.



2017г 31 мая 2017 года сайт AstroNews сообщает, что после обнаружения необычных песчаных отложений марсоходом Curiosity на горе Шарп, ученые предположили, что на Марсе жидкая вода существовала намного дольше, чем считалось ранее. Известно, что кратер Гейл в «прошлой жизни» был озером, вода из которого даже была пригодна для питья. Но это не дает точно определить, долго ли просуществовала в нем жизнь. Эта находка марсохода дает возможность предположить, что жизнь на красной планете еще продолжала существовать после полного испарения озера - в значительных запасах влаги в марсианской почве.

Из изученных образцов «каменной пыли», добытых марсоходом путем бурения отверстия в плоском камне (с присвоенным именем «Джон Кляйн») в феврале 2013 года, было выяснено, что условия древнего Марса были весьма благоприятными, чтобы там существовали микроорганизмы. А в 2015-ом, руководящий миссией Curiosity - Джон Гротцингер (John Grotzinger), доказал, что на дне пересохшего озера в течение сотен тысяч лет продолжали существовать «постоянные» водоемы, в которых гипотетически, могла зародиться жизнь.

После, Йенс Фрайденванг (Jens Frydenvang) из университета Копенгагена (Дания), при рассматривании фотографий, полученных ровером у вершины горы Шарп, в так называемом месте «плато Науклуфт», выяснил о возможности существования воды в кратере Гейл намного дольше, чем предполагала команда Гротцингера. Они заметили, что скалы были в каких-то

необычных расселинах, заполненные неким белым материалом, похожим на осадочную породу водного происхождения. Так как считалось, что формирование плато происходило в «безводную» эпоху Марса, из-за этого научная команда марсохода решила начать детальное изучение состава содержимого обнаруженных прожилок с помощью лазерной пушки ChemIn и спектрометра APXS.

Застывшей в расселинах массой оказался мелкий песок, который, по мнению ученых «принесла» в них вода, временами заполнявшая почвы и трещины в кратере Гейл, когда существование «постоянных» озер Марс уже не мог поддерживать. Подобные песчаные залежи, были потом обнаружены практически на всем плато Науклуфт, а так же в наиболее возвышенных регионах горы Шарп. Это доказывает наличие жидкой воды на Марсе на протяжении многих лет, пусть в том или ином виде, даже после пересыхания всех океанов и других водоемов красной планеты. И тем самым, существование жизни на Марсе могло продолжаться на протяжении еще очень долгого времени, а не только в течение того миллиарда лет, «выделенного» ему планетологами и геологами.

В новом исследовании, проведенном учеными под руководством профессора географии Вея Люо (Wei Luo), произведен расчет количества воды, необходимого для формирования древней сети долин на поверхности Марса, и сделан вывод о том, что на поверхности Марса однажды находилось значительно больше воды, чем считалось ранее. Большая часть этих долин сформировалась более чем 3 миллиарда лет назад.

«По нашим самым консервативным оценкам глобальный объем сетей марсианских долин и общий объем воды, необходимый для формирования этих долин, оказываются примерно в 10 раз выше, по сравнению с аналогичными значениями, найденными предыдущими исследователями», - сказал Люо.

Кроме того, эта новая оценка количества воды, необходимого для формирования долин, оказалась по крайней мере на один порядок выше, по сравнению с объемом этого гипотетического океана и примерно в 4000 раз больше, по сравнению с общим объемом долин.

«Это означает, что вода циркулировала по сети речных долин на поверхности Марса много раз - а для активного циркулирования воды необходимо присутствие на поверхности планеты обширного открытого водоема, такого как океан», - добавил Люо.

2017г 6 июня 2017 года в ходе проводимой ежегодно в Остине (США) встречи Американского астрономического общества, Джек Бернс (Jack Burns) - сотрудник университета Колорадо в Боулдере (США) заявил о том, что затрудняет формирование новых звезд. Сталкиваясь и сливаясь, друг с другом, галактики фактически «задыхаются» от образующихся особых зон турбулентности в их газовых облаках, из-за которых происходит преобразование энергии их движения в тепло. Если взглянуть на слияние галактических скоплений с точки зрения энергетических масштабов, то - это

самые большие «взрывы» во Вселенной, разумеется, после Большого взрыва.

Наблюдая за окружающими нас галактиками в космическом пространстве в течение последних лет, стало ясно, что больше половины из их числа — это «живые мертвецы». Постепенное выгорание присутствующих в них светил приводит к медленному угасанию галактик, ведь новые звезды в них уже не формируются. Чтобы перезапустился процесс звездообразования, в них должны проникать из межгалактической среды потоки холодной материи. Однако, эти «зомби» галактики окружены гигантскими облаками раскаленного газа. Именно это, по мнению ученых, является главной причиной массового угасания Вселенной.



Астрономы прозвали открытый феномен «смертоносными сферами», о возникновении которых астрофизики ведут на сегодняшний день самые горячие споры. Первые считают к этому «причастными» чрезмерно активные сверхмассивные черные дыры из центральной части галактик. Вторые «винят» слияния крупных галактик и сопутствующие этому процессы, в том числе слишком высокую скорость зарождения звезд и сверхновых.

Бернс вместе со своей командой, наблюдая за галактическим скоплением Abell 115 в созвездии Рыб, удаленном от Земли приблизительно на 2,4 миллиарда световых лет, обнаружили доказательство второй теории. В некоторых отдельных объектах, - своеобразных останках двух столкнувшихся в недавнем прошлом крупных галактических «семейств», астрономы обнаружили гигантские раскаленные газовые облака температурой в 166 000 000 градусов по Цельсию. Для «привычных» столкновений это до невозможного высокая температура, из-за чего было решено провести спектральный анализ этих галактик с помощью рентгеновской обсерватории «Чандра» и радиотелескопа VLA (Very Large Array).

Как было обнаружено, между галактиками образуются определенные зоны турбулентности в наиболее жарких участках газовых облаков. Они возникли перед самым слиянием «предтеч» скопления Abell 115, в результатедвигающихся на сверхзвуковых скоростях «лоб в лоб» отдельных газовых и пылевых скоплений. Подобно ложке в стакане, именно эти зоны турбулентности создают дополнительное перемешивание и разогрев газа, формируя «смертоносные сферы», которые нашли у других галактик.

По расчетам астрономов, в будущем ожидается постепенное исчезновение части подобных зон в

скоплении Abell 115, что делает его более холодным и спокойным, и некоторые галактики в нем не утратят способности к формированию новых светил.

## **2017г 6 июня объявлено об официальном открытии двух новых спутников S/2016 J 1 и S/2017 J 1 у Юпитера.**

S/2016 J 1 один из самых малых спутников Юпитера - диаметр спутника около 2 километров. Открыт 8 марта 2016 года астрономом Института Карнеги Скоттом Шеппардом, но не анонсировался до 2 июня 2017 года. Анонсирован в Minor Planet Electronic Circulars (MPECs) Центром малых планет. Спутник совершает полный оборот вокруг Юпитера примерно за 604 дня. Большая полуось составляет около 20,6 миллиона километров. Направление движения по орбите противоположно вращению Юпитера вокруг своей оси. Относится к группе Пасифе.

S/2017 J 1 один из самых малых спутников Юпитера - диаметр спутника около 2 километров. Открыт во время наблюдений 5 февраля 2016 — 23 апреля 2017 года астрономом института Карнеги Скоттом Шеппардом. Спутник совершает полный оборот вокруг Юпитера примерно за 735 дней. Большая полуось составляет около 23,5 миллиона километров. Направление движения по орбите противоположно вращению Юпитера вокруг своей оси.

Теперь их общее число достигло 59 (еще 10 были открыты в 2017 году, но объявлены были в 2018 году). Википедия: Спутники Юпитера

## **2017г 8 июня 2017 года сайт AstroNews сообщает, что с помощью микроволновой обсерватории ALMA (Atacama Large Millimeter Array) впервые было установлено присутствие сложных органических молекул в звездном «зародыше», значит, не исключено, что формироваться и накапливаться они могут внутри них. Заслуга в данном открытии принадлежит Одри Кутенс (Audrey Coutens) из университетского колледжа Лондона (Великобритания). Совместно со своими коллегами они провели наблюдения за самым близким к нам и необычным звездным «зародышем» - тройной системой IRAS 16293–2422, которая расположилась в созвездии Змееносца в 460 световых лет от Земли.**

Внутри этого крупного газового облака вращаются относительно друг друга на небольшом расстоянии два звездных «эмбриона», а третий «зародыш» вращается вокруг этой пары на удалении равном десятикратному увеличению расстояния от Солнца до Плутона.

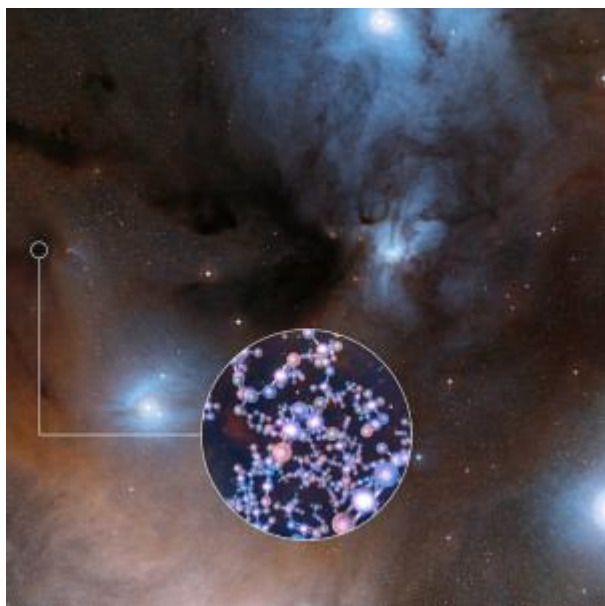
Чтобы их рассмотреть, как следует, астрономам пришлось прибегнуть к использованию мощнейших микроволновых радиотелескопов, такого как ALMA, так как оптические, в силу холода этого газового облака и звездных «зародышей», их не увидят. Так, внутри этого газопылевого диска были обнаружены кирпичики «космического» сахара, а Кутенс и ее коллегам посчастливилось отыскать присутствие и других органических молекул, среди которых и потенциальный «предок» аминокислот и других



сложных «кирпичиков» жизни (метилформиат, карбонилсульфид, гликолонитрил).

ALMA — один из самых мощных телескопов в своем роде, которому удалось «заглянуть» в сам газопылевой «кокон» IRAS 16293–2422, где он не только отыскал органику, но и помог выяснить, сколько ее там содержится.

Замеренное количество сложных органических молекул, включая и метил-изоцианат, наличие которых в протопланетном диске IRAS 16293–2422 было обнаружено в большом количестве, присутствовали не только в холодной его части, куда лучи формирующегося светила не «дотягиваются», но и на «теплой» стороне. Почему это важно? Потому что, этот свет и тепло давно бы уже привели к разрушению органики, не оставив от нее и следа, если только не происходит постоянное образование новых молекул сложных соединений, пополняющие запасы органики.



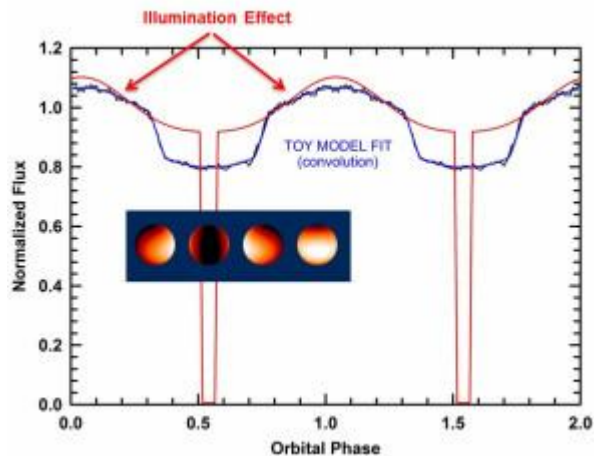
Кроме того, учеными было зафиксировано, что эти молекулы формируются и в самых холодных «уголках» диска на ледяных «зернах» молекул метана и синильной кислоты. Это свидетельствует об их наличии практически у каждого новорожденного светила, потому что встретить метан и синильную кислоту в космическом пространстве не редкое явление.

Особенную значимость данному открытию придает тот факт, что своей массой звезда практически аналогична весу Солнца в «юности», а сложившиеся вокруг нее условия, очень благоприятны для зарождения землеподобных планет.

2017г 10 июня 2017 года пресс-релиз Университета Бишопс сообщает, что международная команда астрономов используя данные, собранные при помощи космического телескопа «Кеплер» (Kepler, 2009-2018гг), выполняющего расширенную миссию, открыла редкий объект: двойную систему, состоящую из «неудавшейся звезды», как называют коричневый карлик, и остатков мертвой звезды, известных как белый карлик. Одно из свойств

этой системы, которое делает её необычной, это орбитальный период, составляющий всего лишь 71,2 минуты. Это означает, что скорости звезд, обращающихся друг относительно друга, составляют до 100 километров в секунду. При помощи пяти различных наземных телескопов команда смогла определить, что эта двойная система состоит из коричневого карлика массой примерно 6,7 процента от массы Солнца (или примерно 67 масс Юпитера) и белого карлика массой примерно 40 процентов от массы нашей звезды. Они также выяснили, что этот белый карлик начнет поглощать коричневого карлика менее чем через 250 миллионов лет — что делает эту систему самой короткопериодической предкатаклизмической переменной, когда-либо открытой учеными.

Сначала ученые предполагали, что белый карлик WD1202-024, открытый впервые при помощи Слоуновского цифрового обзора неба, представляет собой изолированный объект. Тот факт, что этот источник на самом деле представляет собой тесную двойную систему из белого и коричневого карликов, был открыт доктором Лорном Нельсоном (Lorne Nelson) из Университета Бишопс, Канада, который первым обратил внимание на необычный характер затмений белого карлика таинственным темным объектом (см. фото), не похожим на затмение проходящей перед белым карликом экзопланеты. Команда Нельсона быстро построила модель, которая показала, что, вероятнее всего, система состоит из постепенно сближающихся белого и коричневого карликов.



Построенная модель позволила также изучить формирование этой системы. Согласно модели изначально система состояла из звезды массой 1,25 массы Солнца и коричневого карлика и имела орбитальный период 150 суток. Когда звезда вступила в фазу красного гиганта, она расширилась и поглотила коричневого карлика, который начал быстро приближаться к плотному гелиевому ядру звезды, ставшему белым карликом. Согласно расчетам эта система сформировалась примерно три миллиарда лет назад, а фаза общей оболочки наступила сравнительно недавно, примерно 50 миллионов лет назад.

Исследование вышло в журнале Исследование направлено к публикации 16 мая в журнал Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (препринт).

**2017г 13 июня 2017 года сайт AstroNews сообщает, что астрономы пришли к выводу, что объединение крупнейших галактик Вселенной со своими ближайшими «соседками» в своеобразные «цепочки» и последующее выстраивание в одну линию, начало происходить уже около десятка миллиардов лет назад.**

Сотрудник обсерватории Лоуэлла во Флагстаффе (США) - Майкл Уэст (Michael West) сказал, что приведенные выводы придают тайне существования галактик еще больше загадочности, а в сборе целой «космической» головоломки данное открытие играет очень важную роль. Главным образом, это говорит о том, что галактики начали выстраиваться в такие структуры, только начав свое существование. На данный момент под наблюдением находятся еще более тусклые и далекие галактики, которые, возможно, помогут понять, было ли подобное необычное «поведение» характерно для них в еще более далеком прошлом Вселенной.



Еще «вчера» астрономы были уверены, что в большинстве своем спиральные галактики располагаются внутри скоплений, повернувшись к «остальным» произвольным образом. Однако по результатам последних наблюдений выяснилось, что большая часть из их числа имеет характерную вытянутость, и «обращены» они к своим ближайшим соседям, образуя при этом некую своеобразную светящуюся линию или нить.

Современные же космологические теории «диктуют» случайность распределения видимой и темной материи во Вселенной за счет микроскопических флуктуаций, отдающихся «эхом» Большого взрыва. Следовательно, и распределение в космосе, и то, как повернуты сами галактики и их скопления, должно быть образовано аналогично. Чему новое открытие - абсолютное противоречие.

Но нашлись и те, кого это не смутило. По мнению этих астрономов о противоречии нового открытия и «устоявшихся» теорий речь не идет. Они склоняются к мнению, что выстраивание галактических «цепочек» могло начаться в течение нескольких последних миллиардов лет из-за того, что галактики перемещаются внутри своих

скоплений и взаимодействуют друг с другом. Однако, находка целого «выводка» древних галактик, «обратившихся» к соседним объектам, из числа 65 скоплений, за которыми Уэст и его коллеги вели наблюдения, указали, что те не изменяли своего состояния приблизительно в течение 10 миллиардов лет.

Проанализировав полученные с «Хаббла» фотографии, оказалось, что во всех этих скоплениях присутствует десяток крупных галактик, образовавших со своими «соседями» общую линию. Плюс к этому, так же было обнаружено в соседних скоплениях присутствие еще более крупных подобных структур, соответственно выстроившихся аналогичным образом. Это напрямую свидетельствует о том, что галактические «цепочки» начали существовать спустя уже 2-3 миллиарда лет после зарождения Вселенной.

Не исключено, конечно, что образование таких линий из галактик могло произойти после того, как они сформировались. Но, опираясь на теории о зарождении и перемещении галактик и их скоплений, вероятность возможности таких «миграций» практически нереальна, так как тогда происходить они должны были бы очень быстро.



**2017г 13 июня 2017 года сайт AstroNews сообщает, что международная группа исследователей смогла доказать, что Юпитер является наиболее старой планетой Солнечной системы.**

Анализируя изотопы вольфрама и молибдена, входящие в состав вещества железных метеоритов, команда ученых в новой работе нашла, что материал метеоритов представлен двумя четко выделяющимися разновидностями, связанными с двумя разными частями солнечной туманности, которые сначала существовали, но затем были разделены в период между 1 миллионом и 3-4 миллионами лет после формирования Солнечной системы.

«Наиболее вероятный механизм этого эффективного разделения состоит в формировании Юпитера, прорезавшего щель в диске и предотвратившего обмен материала между этими двумя газовыми резервуарами, или частями солнечной туманности, - сказал Томас Крюйер (Thomas Kruiger), главный автор новой работы. - Юпитер является самой древней планетой Солнечной системы, и его твердое ядро сформировалось задолго до того, как произошло рассеяние газа солнечной туманности, что согласуется с моделью формирования гигантских планет, называемой моделью аккреции ядра».



Юпитер является наиболее массивной планетой Солнечной системы, и его присутствие оказывает очень большое влияние на динамику солнечного аккреционного диска. Знание возраста Юпитера является ключом к пониманию того, как Солнечная система эволюционировала, превращаясь постепенно в ту структуру, которую она представляет собой в настоящее время. Хотя модели предсказывали, что Юпитер сформировался относительно рано, однако до настоящего времени его возраст не был точно датирован.

Команда показала в своей работе на основе анализа изотопного состава вещества, входящего в состав метеоритов, что твердое ядро Юпитера сформировалось не более чем через 1 миллион лет после формирования Солнечной системы, что делает его самой древней в Солнечной системе планетой.

Исследование вышло в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*.

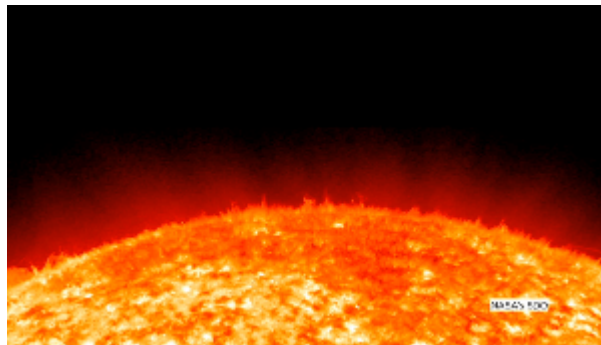


**2017г 15 июня** Китай в 03:15 UTC ракета Long March-4B, на борту которой находился 2,8-тонный телескоп, стартовала с площадки космодрома Цзюцюань, расположенного на территории пустыни Гоби, занимающей северо-западную часть Китая. На орбиту выведен первый китайский рентгеновский модуляционный космический телескоп Hard X-ray Modulation Telescope (HXMT), или Insight. Китайская орбитальная рентгеновская обсерватория предназначена для наблюдения чёрных дыр, нейтронных звёзд и других явлений в рентгеновском и гамма-диапазонах космического излучения. Он также поможет ученым исследовать гамма-всплески, соответствующие гравитационным волнам, и изучать вопросы, связанные с использованием пульсаров для навигации в космосе. О запуске прибора сообщает агентство «Синьхуа».

Создана на основе платформы, на базе которой создан исследовательский спутник наблюдений JianBing 3. Размеры телескопа 2x2x2,8 м. Основным научным прибором является матрица из 18 сцинтилляционных детекторов NaI(Tl)/CsI (na), с перекрывающимися полями зрения  $5,7^\circ \times 1^\circ$ . Основные детекторы NaI имеют площадь 286 см<sup>2</sup> каждый и охватывают диапазон энергий 20-200 кэВ. Спутник оснащен тремя полезными нагрузками: рентгеновским телескопом высокой энергии (20-250 кэВ), рентгеновским телескопом средней энергии (5-30 кэВ) и рентгеновским телескопом низкой энергии (1-15 кэВ). То есть телескоп HXMT охватывает диапазон длин волн от 0,05 до 1,25 нанометра (от

250 до 1 килоэлектронвольта) и широкое поле зрения.

Обзор неба в рентгеновском диапазоне позволяет исследовать самые высокоэнергетические процессы во Вселенной. Источником рентгеновских фотонов являются либо сверхгорячие объекты (с температурой более миллиона кельвинов), либо заряженные частицы, движущиеся с околосветовой скоростью. Однако наземные наблюдения в этом диапазоне практически невозможны — рентген сильно рассеивается на толще воздуха. Поэтому огромную роль играют космические телескопы. Наиболее известные из них: «Чандра», XMM-Newton и NuSTAR. Они отличаются высоким разрешением и небольшим полем зрения — в десятки угловых минут.



**2017г 23 июня** 2017 года сайт AstroNews сообщает, что ученые объяснили происхождение «огненных волос» на Солнце. Если мы взглянем днем на небо, то Солнце будет представляться нам как ровный и «спокойный» сияющий плоский диск. В действительности же, солнечная поверхность пребывает в непрерывном, «кипящем» движении, где ежедневно происходит возникновение крупных вспышек (корональных выбросов массы), путем которых раскаленная материя звезды, а точнее ее сотни миллионов тонн, как бы «катапультируются» в открытое космическое пространство.

Однако, солнечные выбросы, а вернее их главный источник - это не вспышки. По большей части им является солнечный ветер и основные элементы тонкой структуры хромосферы Солнца (спикулы), иначе - протуберанцы у поверхности светила, откуда вырывается за пределы Солнца его ускоряющаяся материя. С близкого бы расстояния, если бы это было возможно, нам бы показалось, что солнечный шар весь покрыт шевелящимися "огненными волосами".

Именно для исследования Солнца, в 2013 году NASA запустила космический спутник IRIS (Interface Region Imaging Spectrograph), чтобы пронаблюдать за возникновением этих вспышек и происходящими процессами во внешней оболочке звезды.

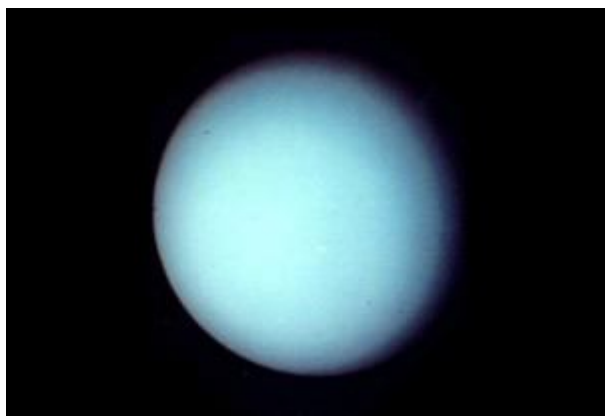
Проанализировав полученные зондом данные, сотрудник Лаборатории солнечной астрофизики американской компании Локхид-Мартин в Пало-Алто - Хуан-Мартинез-Сикора (Juan Martinez-Sykora) вместе со своими коллегами выяснили причину существования подобных «огненных волос» на поверхности Солнца. Ежесекундно во внешней оболочке светила мгновенно зарождаются

и пропадают миллионы спикул. Корональные выбросы из них в миг «набирают» высоту десятков тысяч километров, после чего: либо падают обратно, либо «улетучиваются» в открытый космос.

С помощью созданной компьютерной модели недр светила, ученым удалось разгадать тайну «огненных волос», существующих на Солнце. Оказалось, что приповерхностные слои звезды «кишат» нейтральными атомами, которые, как было выяснено, кардинальным образом изменяют поведение линий магнитного поля в верхней части хромосферы, вырабатывающиеся «кипящей» солнечной материей в более глубоких недрах светила.

Они не «сцепляются» с линиями магнитного поля, благодаря чему те с легкостью выходят «наружу» вместе с заряженными частицами, поэтому словно движением катапульты, они выбрасываются в атмосферу Солнца и в открытое космическое пространство. За счет этого же процесса, как говорят ученые, разогревается выбрасываемая плазма и происходит возникновение особых магнитных волн, связанных с солнечным ветром.

Предполагается, что после разгадки механизма зарождения «огненных волос» на поверхности Солнца, более точно можно будет прогнозировать «солнечную погоду» и продвинуться в объяснении образования других типов вспышек.



2017г 26 июня 2017 года сайт AstroNews сообщает, что астрономы выяснили по какой причине на Уране каждый день полюса меняются местами. В Солнечной системе Уран - лишь одна планета, вращающаяся в плоскости собственной орбиты. А по отношению к его географическим полюсам, магнитные расположены под углом в 60 градусов, когда на Земле данное отклонение составляет только 11 градусов. Именно поэтому с помощью магнитного компаса у нас есть возможность определить в каком направлении находится нужный нам географический полюс.

По мнению ученых, это может быть связано со скрытым под плотной «завесой» атмосферы Урана, соленым океаном, генерирующим его магнитное поле. Почему это произошло, а так же по какой причине вращение планеты происходит как бы «лежа на боку», планетологи объясняют «пережитыми» несколько раз Ураном мощными столкновениями с гигантскими планетными «зародышами» в далеком прошлом.

Когда в Технологическом институте Джорджии в Атланте (США), Кэрол Пати (Carol Paty) вместе со своими коллегами пытались воссоздать процесс взаимодействия магнитного поля и атмосферы гигантской планеты с солнечным ветром, ими была замечена еще одна необычная особенность магнитного поля Урана. Кстати, впервые подобные «странные» данные получил еще пролетавший мимо него в 1986 году космический зонд «Вояджер-2», когда делал первые снимки гигантской планеты и ее спутников и собирал научные данные.

А вот этой необычной «странностью» была попеременно то полностью «открытая», то «закрытая» и защищенная магнитным щитом в разные дни атмосфера Урана перед бомбардировкой частицами солнечного ветра.

Взяв за основу данные, полученные «Вояджером-2», чтобы понять причину происходящего, учеными была создана компьютерная модель недр планеты, на которой они просчитали изменения ее магнитного поля по ходу времени.

Результат этих исследований оказался довольно необычным. Оказалось, что в дни, приходящиеся на период летнего и зимнего солнцестояния, магнитное поле гигантской планеты выступало в качестве некоего «рубильника», который будто перещелкивал, меняя полюса местами на планете по истечению каждых почти полных 18 часов, точно спустя одни сутки на Уране.

Как раз, когда происходит это «переключение», в магнитном щите планеты образовывается «брешь», зафиксированная «Вояджером-2» три десятка лет тому назад. Как считает Пати, не исключено аналогичное поведение и других открытых в течение последних лет телескопом «Кеплер» и прочими обсерваториями планет, похожих на Уран. Исходя из этого, занимаясь дальнейшим изучением Урана, и подключив в работу новые космические зонды, мы получим шанс выяснить много новой информации об устройстве подобных планет и о жизнепригодности их спутников, если те находятся в «зоне жизни».

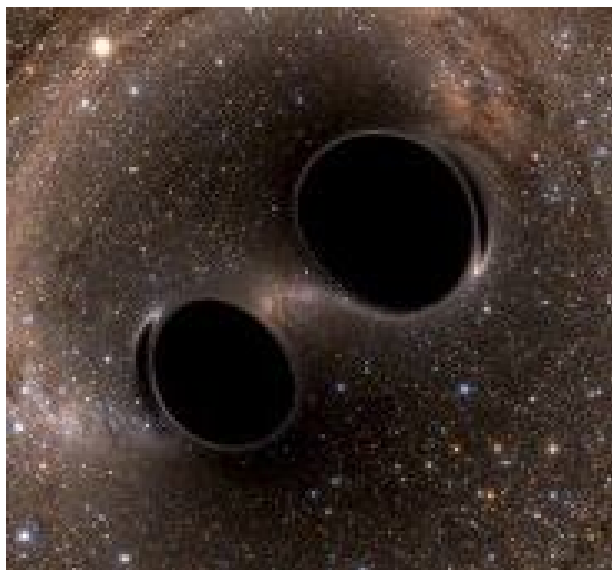
2017г 28 июня 2017 года сайт AstroNews сообщает, что ученым впервые довелось наблюдать вращение двух сверхмассивных черных дыр. Когда сотрудники университета Нью-Мексико в Альбукерке (США) во главе с Грегори Тэйлором (Gregory Taylor) обнаружили на удалении от Земли приблизительно в 750 миллионов световых лет обычную спиральную галактику 4C +37.11, в ее центре присутствовали сразу две сверхмассивные черные дыры, отделенные друг от друга рекордно малым расстоянием в 24 световых года.

Как сказали сами ученые, это является идеальной дистанцией, чтобы наблюдать, как вращаются эти два объекта. Слишком далеко для вырабатывания «видимых» для нас гравитационных волн и их слияния, и в то же время достаточно близко, для наблюдения за искривляющимся благодаря им окружающим пространством.

Однако, для проведения таких наблюдений необходима комбинированная мощность нескольких радиотелескопов, объединенных в единую гигантскую виртуальную радиотарелку. Именно в



качестве такой системы, ученые воспользовались радиоинтерферометром Американской Национальной Радиоастрономической Обсерватории (NRAO) - Very Long Baseline Array (VLBA). Так, в течение 12 лет, ученые наблюдали, как эти две сверхмассивные черные дыры в центре галактики 4C +37.11 исполняют свой гравитационный «танец».



В результате было выяснено, что они действительно вращаются относительно друг друга и тратят на один «орбитальный» оборот примерно тридцать тысяч лет. Суммарный вес этой «пары» превышает массу Солнца в 15 миллиардов раз.

Как надеяться Тэйлор и его команда, в процессе дальнейшего изучения этих черных дыр, они смогут ответить на два волнующих уже очень давно всех космологов вопроса: по какой причине мы «встречаем» такие пары черных дыр очень редко и может ли одна галактика быть местом «рождения» их обоих. В принципе, сказал ученый о последней загадке, что это возможно, но чтобы подтвердить данную гипотезу, они проведут еще много длительных дополнительных наблюдений.

**2017г 5 июля 2017 года сайт AstroNews сообщает, что нашу Галактику бомбардируют миллионы черных дыр из Большого Магелланова Облака. Группа астрономов показала, что самые быстродвижущиеся звезды в нашей Галактике – которые путешествуют с настолько высокой скоростью, что могут покинуть пределы Млечного Пути – на самом деле представляют собой «беглянок» из меньшей по размерам галактики, обращающейся вокруг нашей. Многие из таких звезд завершают свой жизненный цикл, находясь «в пути», поэтому в сторону нашей Галактики могут нестись потоки «мертвых звезд» - нейтронных звезд и черных дыр.**

Исследователи из Кембриджского университета, Великобритания, используя данные, полученные при помощи Слоуновского цифрового обзора неба и компьютерных моделей, показали, что эти так называемые сверхскоростные звезды происходят из Большого Магелланова Облака (БМО), карликовой галактики, являющейся спутником Млечного пути.

Астрономы сначала предполагали, что эти сверхскоростные звезды, представляющие собой гигантские, короткоживущие голубые звезды, происходят из центра Млечного пути сверхмассивной черной дырой нашей Галактики. Другие сценарии, включающие дезинтегрировавшие карликовые галактики или хаотические звездные скопления, также могли объяснить происхождение скоростей этих звезд, но ни один из этих трех механизмов не объяснял, почему все эти звезды расположены лишь в одной, определенной части неба (в направлении созвездий Лев и Секстант).



Поэтому мысль о том, что звезды могли происходить из галактики БМО, показалась исследователям весьма правдоподобной. Для проверки своей гипотезы авторы провели сеансы компьютерного моделирования, которые показали, что «звезды-беглянки» действительно могли быть выброшены из галактики БМО, вращающейся с очень высокой скоростью, но оказывающей на звезды лишь слабое гравитационное воздействие. Это могло произойти при взрывах сверхновых в двойных звездных системах, в результате которых вторая звездная компонента выбрасывается из системы с гигантской скоростью, которая, к тому же складывается со скоростью, приобретаемой звездой в результате ее стремительного вращения вместе с вращающейся галактикой. Моделирование также показало, что в нашей Галактике могут присутствовать свыше 10000 сверхскоростных звезд-беглянок из БМО, а еще больше – возможно, несколько миллионов – сверхскоростных остатков тех звезд, которые взорвались лишь «в пути» и представляют собой в настоящее время черные дыры или нейтронные звезды.

Результаты исследования опубликованы в журнале Monthly Notices of the Royal Astronomical Society; главный автор Дуглас Буберт (Douglas Boubert) из Института астрономии Кембриджского университета.

**Анатолий Максименко,**  
Любитель астрономии, <http://astro.websib.ru>



### Избранные астрономические события месяца (время всемирное - UT)

1 июня - Венера в максимальной западной (утренней) элонгации 46 градусов,  
1 июня - Луна ( $\Phi = 0,33+$ ) близ Марса,  
2 июня - Луна ( $\Phi = 0,4+$ ) близ Регула,  
3 июня - Луна в фазе первой четверти,

4 июня - Луна ( $\Phi = 0,59+$ ) в нисходящем узле своей орбиты,

6 июня - Луна ( $\Phi = 0,81+$ ) проходит близ Спика (покрытие при видимости в акватории Индийского океана),

7 июня - Луна ( $\Phi = 0,87+$ ) в апогее своей орбиты на расстоянии 405553 км от центра Земли,



8 июня - Меркурий проходит в 2 градусах севернее Юпитера,  
 10 июня - покрытие Луной ( $\Phi = 0,99+$ ) Антареса (при видимости в Австралии и акватории Тихого океана),  
 11 июня - максимальная северная либрация Луны по широте  $6,5^\circ$ ,  
 11 июня - полнолуние,  
 11 июня - Луна ( $\Phi = 0,99-$ ) проходит точку максимального склонения к югу от небесного экватора,  
 16 июня - максимальная западная либрация Луны по долготе  $5,8^\circ$ ,  
 17 июня - Марс проходит в  $0,7$  гр. к северу от Регула,  
 18 июня - Луна ( $\Phi = 0,55-$ ) в восходящем узле своей орбиты,  
 18 июня - Луна в фазе последней четверти,  
 19 июня - Луна ( $\Phi = 0,47-$ ) близ Сатурна и Нептуна,  
 21 июня - летнее солнцестояние,  
 22 июня - Луна ( $\Phi = 0,14-$ ) близ Венеры,  
 23 июня - Луна ( $\Phi = 0,08-$ ) близ Урана и рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в Западной Европе и Африке),  
 23 июня - Луна ( $\Phi = 0,07-$ ) в перигее своей орбиты на расстоянии  $363178$  км от центра Земли,  
 24 июня - максимальная южная либрация Луны по широте  $6,6^\circ$ ,  
 24 июня - Юпитер в соединении с Солнцем,  
 25 июня - Луна ( $\Phi = 0,0$ ) проходит точку максимального склонения к северу от небесного экватора,  
 25 июня - Луна ( $\Phi = 0,0$ ) близ Юпитера,  
 25 июня - новолуние,  
 27 июня - Луна ( $\Phi = 0,05+$ ) близ Меркурия и рассеянного звездного скопления Ясли (M44),  
 27 июня - максимум действия метеорного потока Июньские Боотиды (поток переменный,  $ZHR = 0 - 100$ ),  
 28 июня - максимальная восточная либрация Луны по долготе  $6,5^\circ$ ,  
 29 июня - Луна ( $\Phi = 0,19+$ ) близ Регула,  
 30 июня - Луна ( $\Phi = 0,24+$ ) близ Марса (покрытие при видимости в акватории Тихого океана и в Южной Америке).

**Солнце** движется по созвездию Тельца до 21 июня, а затем переходит в созвездие Близнецов и остается в нем до конца месяца. Склонение дневного светила постепенно растет, а продолжительность дня увеличивается от 17 часов 11 минут в начале месяца до 17 часов 32 минут в день солнцестояния 21 июня. Солнце в этот день как бы замирает в верхней точке максимального склонения ( $+23,5$  градуса), а затем начинает опускаться к югу. Приведенные данные по продолжительности дня справедливы для широты Москвы, где полуденная высота Солнца в течение

месяца имеет значение около  $57$  градусов. На широте С. Петербурга наступают белые ночи, а севернее  $66$  широты наступает полярный день. Достаточно благоприятные условия для наблюдения звездного неба остаются лишь в южных широтах страны. Для средних широт глубокое звездное небо откроется лишь к концу июля. Для наблюдений Солнца июнь - самый благоприятный период в году. Наблюдения пятен и других образований на поверхности дневного светила можно проводить в телескоп или бинокль и даже невооруженным глазом (если пятна достаточно крупные). **Но нужно помнить, что визуальное изучение Солнца в телескоп или другие оптические приборы нужно проводить обязательно (!) с применением солнечного фильтра** (рекомендации по наблюдению Солнца имеются в журнале «Небосвод» <http://astronet.ru/db/msg/1222232>).

**Луна** начнет движение по небу июня в созвездии Рака (близ рассеянного звездного скопления Ясли (M44)) при фазе  $0,29+$ , перейдя в этот же день в созвездие Льва. 1 июня Луна ( $\Phi = 0,33+$ ) будет наблюдаться близ Марса, а 2 июня близ Регула при фазе  $0,4+$ . В созвездии Льва 3 июня Луна примет фазу первой четверти. 4 июня лунный овал при фазе  $0,59+$  перейдет в созвездие Девы. 6 июня Луна ( $\Phi = 0,81+$ ) пройдет близ Спики (покрытие при видимости в акватории Индийского океана), а 7 июня перейдет в созвездие Весов, увеличив фазу до  $0,9+$ . 9 июня ночное светило при фазе  $0,97+$  достигнет созвездия Скорпиона, а при фазе  $0,99+$  покроет Антарес при видимости в Австралии и акватории Тихого океана. 10 июня почти полная Луна перейдет в созвездие Змееносца и примет здесь фазу полнолуния 11 июня. В этот же день яркий лунный диск перейдет в созвездие Стрельца, наблюдаясь всю короткую ночь. 14 июня Луна ( $\Phi = 0,91-$ ) перейдет в созвездие Козерога и пробудет здесь до 16 июня, когда при фазе  $0,74-$  перейдет в созвездие Водолея. 18 июня лунный овал ( $\Phi = 0,54-$ ) перейдет в созвездие Рыб, приняв в этот день фазу последней четверти. На следующий день Луна при фазе  $0,47-$  сблизится с Сатурном и Нептуном. В созвездии Рыб лунный серп пробудет до 21 июня, когда при фазе  $0,25-$  перейдет в созвездие Овна. Здесь 22 июня Луна ( $\Phi = 0,14-$ ) пройдет близ Венеры, достигнув в этот же день созвездия Тельца при фазе около  $0,1-$ . 23 июня Луна ( $\Phi = 0,08-$ ) пройдет близ Урана и рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в Западной Европе и Африке), а при фазе  $0,04-$  пройдет севернее Альдебарана. 25 июня самый тонкий месяц перейдет в созвездие Близнецов и примет здесь в этот день фазу новолуния. 27 июня Луна ( $\Phi = 0,04+$ ) перейдет в созвездие Рака и пройдет севернее Меркурия. В этот же день молодой месяц ( $\Phi = 0,07+$ ) пройдет севернее рассеянного звездного скопления Ясли (M44), а 28 июня при фазе  $0,12+$  перейдет в созвездие Льва. 29 июня Луна ( $\Phi = 0,19+$ ) пройдет близ Регула. 30 июня при фазе  $0,24+$  Луна пройдет близ Марса (покрытие при видимости в акватории Тихого океана и в Южной Америке) и закончит свой путь по небу июня при фазе  $0,33+$ .

**Большие планеты Солнечной системы.**  
**Меркурий** движется в одном направлении с Солнцем по созвездию Тельца, 9 июня переходя в созвездие Близнецов, а 25 июня - в созвездие Рака. Быстрая планета находится на вечернем небе. Меркурий увеличивает элонгацию от 1 до 26 градусов к концу месяца. Блеск Меркурия уменьшается от -2,4m до 0m. Видимый диаметр Меркурия увеличивается от 5 до 7 угловых секунд. Фаза планеты уменьшается от 1 до 0,48. В телескоп виден небольшой диск, переходящий в овал и полудиск.

**Венера** перемещается прямым движением по созвездию Рыб, 10 июня переходя в созвездие Овна, а 28 июня - в созвездие Тельца. Планета видна на утреннем небе. 22 июня близ Венеры пройдет Луна. Угловое расстояние планеты от Солнца уменьшается от 46 до 44 градусов к западу от Солнца. Видимый диаметр планеты составляет 24 - 18", а фаза изменяется от 0,49 до 0,63 при максимальном блеске около -4,5m. В телескоп наблюдается полудиск без деталей.

**Марс** перемещается в одном направлении с Солнцем по созвездию Льва. Загадочную планету можно найти на вечернем небе. 1 июня близ Марса пройдет Луна. Блеск Марса составляет около +1,5m, а видимый диаметр - около 5 секунд дуги. В телескоп наблюдается крохотный диск с некоторыми деталями на поверхности планеты.

**Юпитер** перемещается прямым движением по созвездию Тельца, 11 июня переходя в созвездие Близнецов. Газовый гигант наблюдается на вечернем небе до 25 июня, а затем пройдет соединение с Солнцем и перейдет на утреннее небо. 25 июня близ Юпитера пройдет Луна. Угловой диаметр самой большой планеты Солнечной системы составляет около 32" при блеске слабее -2m. Диск планеты различим даже в бинокль, а в небольшой телескоп на поверхности Юпитера видны полосы и другие детали. Четыре больших спутника видны уже в бинокль, а в телескоп в условиях хорошей видимости можно наблюдать тени от спутников на диске планеты, а также различные конфигурации спутников.

**Сатурн** имеет прямое движение, перемещаясь по созвездию Рыб. Планета находится на утреннем небе. 19 июня близ Сатурна пройдет Луна. Блеск планеты имеет значение около +1m при видимом диаметре около 17". В небольшой телескоп можно наблюдать кольцо и спутник Титан, а также другие наиболее яркие спутники. Видимый наклон колец Сатурна составляет около 3 градусов.

**Уран** (6m, 3,5") перемещается прямым движением по созвездию Тельца южнее звездного скопления

Плеяды. Планета находится на утреннем небе. 23 июня близ Урана пройдет Луна. Увидеть диск Урана (в период видимости) поможет телескоп от 80 мм в диаметре с увеличением более 80 крат и прозрачное небо. Невооруженным глазом планета может быть найдена темном небе при отсутствии Луны и наземных источников света (лучше всего в период противостояния). Блеск спутников Урана слабее 13m.

**Нептун** (8m, 2,4") перемещается прямым движением по созвездию Рыб, близ звезды лямбда Psc (4,5m). Планета находится на утреннем небе. 19 июня близ Нептуна пройдет Луна. Найти планету в период видимости можно в бинокль с использованием звездных карт [Астрономического календаря на 2025 год](#). Диск планеты различим в телескоп от 100 мм в диаметре с увеличением более 100 крат (при прозрачном небе). Спутники Нептуна имеют блеск слабее 13m.

**Из комет месяца** расчетный блеск около 11m и ярче будут иметь, по крайней мере, две кометы: Brooks (D/1886 K1) и Swift (D/1895 Q1). Первая при максимальном расчетном блеске слабее 11m движется по созвездию Весов и Гидры. Вторая перемещается по созвездию Орла при максимальном расчетном блеске около 10m. Подробные сведения о других кометах месяца имеются на <http://aerith.net/comet/weekly/current.html>, а результаты наблюдений - на <http://195.209.248.207/>.

**Среди астероидов** месяца самой яркой будет Веста в созвездии Девы с блеском около 6m (близ противостояния с Солнцем). Сведения о покрытиях звезд астероидами на <http://asteroidoccultation.com/IndexAll.htm>.

**Долгопериодические переменные звезды** месяца. Данные по переменным звездам (даты максимумов и минимумов) можно найти на <http://www.aavso.org/>.

**Среди основных метеорных потоков** 27 июня максимума действия достигнут Июньские Боотиды (поток переменный, ZHR= 0 - 100). Луна в период максимума этого потока имеет фазу, близкую к новолунию, поэтому условия наблюдений потока будут благоприятны. Подробнее на <http://www.imo.net>.

Дополнительно в АК\_2025 - <https://www.astronet.ru/db/msg/1942896>

### Ясного неба и успешных наблюдений!

Оперативные сведения о небесных телах и явлениях всегда можно найти на <http://www.astronomy.ru/forum/index.php> Эфемериды планет, комет и астероидов, а также карты видимых путей по небесной сфере имеются в Календаре наблюдателя № 06 за 2025 год <http://www.astronet.ru/db/news/>

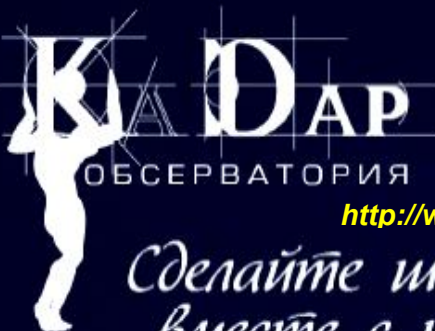
**Календарь наблюдателя 06 - 2025**



# Астротоп 100 России

Народный рейтинг астрокосмических сайтов

<http://astrotop.ru>



ОБСЕРВАТОРИЯ

<http://www.ka-dar.ru/observ>

Сделайте шаг к науке  
вместе с нами!

**Астрономический календарь на 2025 год**

<http://www.astronet.ru/db/msg/1942896>

# АСТРОФЕСТ

<http://astrofest.ru>

## Два стрельца



<http://shvedun.ru>



<http://www.astro.websib.ru>

## astro.websib.ru



<http://астрономия.рф/>

# Астрономия .РФ

Общероссийский астрономический портал

ТЕЛЕСКОПЫ - НАША ПРОФЕССИЯ

## Звездочет

<http://astronom.ru>

**(495) 729-09-25, 505-50-04**

Офис продаж: Москва. Тихвинский переулок д.7, стр.1 ([карта](#))

О НАС

КОНТАКТЫ

КАК КУПИТЬ И ОПЛАТИТЬ

ДОСТАВКА

ГАРАНТИЯ



# Комета G3 ATLAS над Уругваем

Mauricio Salazar

