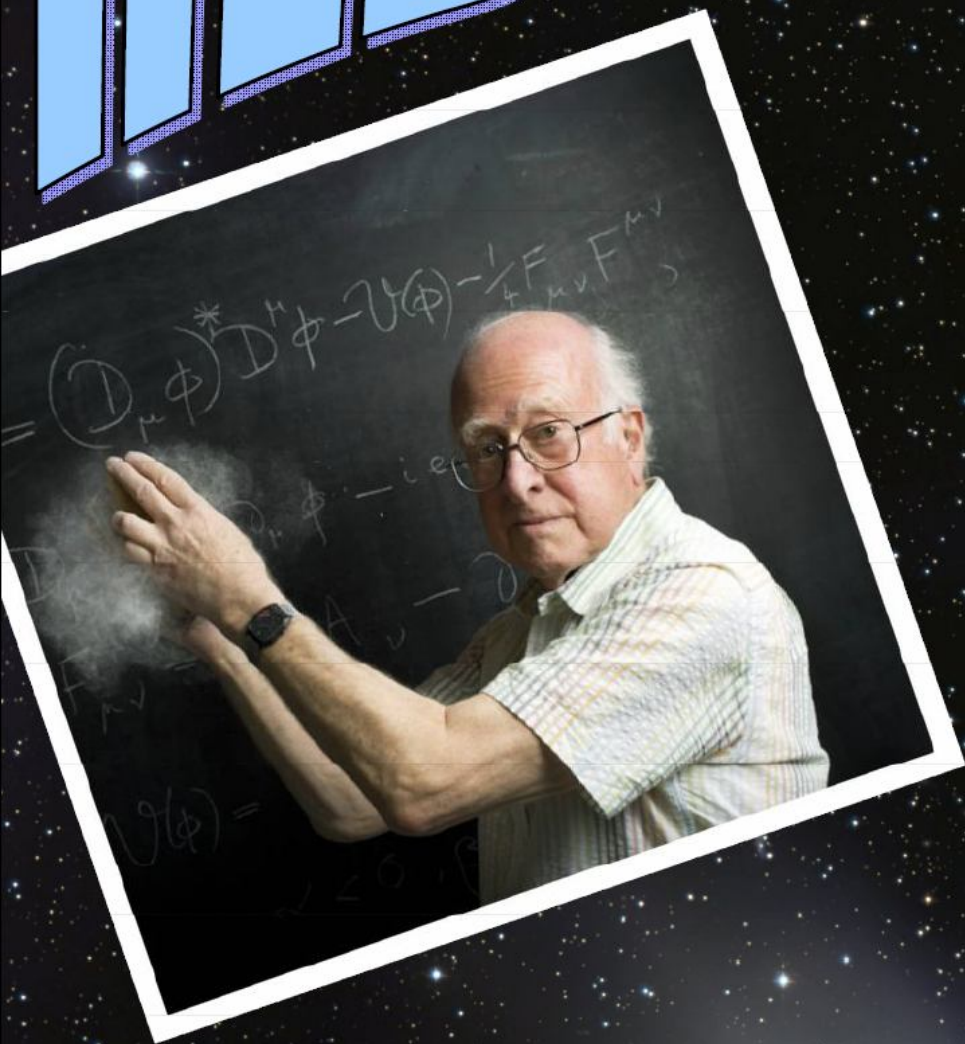


ДЛЯ ЛЮБИТЕЛЕЙ АСТРОНОМИИ

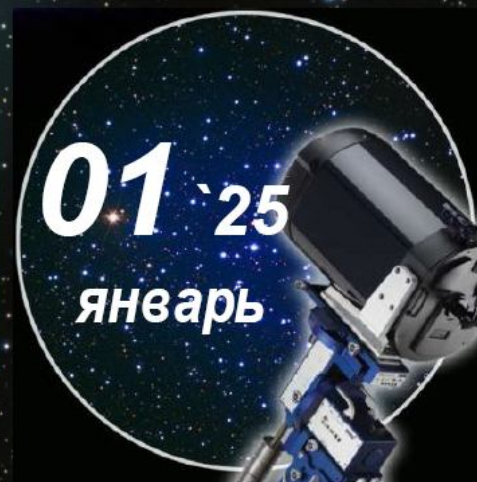
НЕБОСЕВОД



**Тихий физик из Эдинбурга:
памяти Питера Хиггса**

01`25
январь

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

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



<http://astronet.ru>



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



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



<http://www.vokruzsveda.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://www.astro.websib.ru/sprav/jurnalN> (журнал + все номера КН)

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

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



<http://www.astronomy.ru/forum>

Уважаемые любители астрономии!

В ясные ночи января можно совершать увлекательные путешествия по звездному небу. *«Месяц январь, пожалуй, самый богатый на праздники. Любимый всеми Новый год - единственный не политизированный праздник, доставшийся нам с советской эпохи, Крещение, православное Рождество, языческие святки - все это напоминает о том, как близка граница между землей и небом в этот месяц. Благодаря же отечественным законодателям мы получаем в иные годы возможность отдохнуть от работы практически две недели. Кое-кого столь длинные каникулы могут повергнуть в уныние, но только не любителя астрономии. Кто будет отказываться от столь прекрасной возможности понаблюдать все богатство зимних объектов? Обычно созвездие Единорога в астрономических пособиях удостоивается не самых лестных эпитетов. <Малоприметное>, <слабое>, <тусклое> обычно слышим мы и, на первый взгляд, это кажется действительно справедливым. Довольно обширная область между тремя блистательными звездами: Сириусом, Проционом и Бетельгейзе, образующими равносторонний треугольник содержит лишь три звездочки четвертой величины на фоне, богатом яркими зимними созвездиями. Более того, созвездие Единорога - настоящий новичок на звездном небе: появившись в середине XVII века, оно, казалось, не могло соперничать с такими <грандами>, как Орион, Телец и Близнецы. Однако все прелести этого участка неба, бедного яркими звездами, небольшого по общим меркам, оказались скрытыми для невооруженного взора. Стоит лишь воспользоваться биноклем или телескопом и, не побоявшись мороза, выйти под ясное зимнее небо, как нам откроются многие спрятанные для простого смертного сокровища звездного неба. Если внимательнее посмотреть на звездную карту, то окажется, что созвездие Единорога пересекает полосу Млечного пути, а это означает, что оно лежит в плоскости нашей Галактики со всеми вытекающими последствиями. Известно, что в плоскости диска Галактики наблюдаются активные процессы звездообразования.»* Полностью статью можно прочитать в январском 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)

Астрофизикам не удастся снизить

«хаббловское напряжение»

Алексей Левин

10 Тихий физик из Эдинбурга: памяти

Питера Хиггса

Алексей Левин

16 История астрономии 21 века

Анатолий Максименко

22 Небо над нами: ЯНВАРЬ - 2025

Обложка: Персеиды над Стоунхенджем

<http://www.astronet.ru/db/apod.html>

Что происходит в небе над Стоунхенджем? Метеорный поток – точнее, метеорный поток Персеиды. Несколько ночей назад, после того как небо потемнело, было получено множество изображений метеоров из потока Персеиды, из которых была смонтирована эта картинка. Все метеоры летят по прямым траекториям, однако из следы выглядят немного искривленными широкоугольным объективом камеры. Продолжения следов метеоров назад пересекаются в одной точке на небе, которую называют радиантом, в этом случае она расположена за верхним краем картинки, в созвездии Персея. Этой же камерой было получено глубокое изображение неба, на котором выделяется центральная полоса нашей Галактики Млечный Путь, проходящая почти вертикально через центр картинки. Изображения были получены из Уилтшира в Англии, внизу запечатлен знаменитый астрономический монумент – Стоунхендж. Максимум потока Персеиды наступил прошлой ночью, однако некоторые метеоры из этого потока можно будет увидеть в несколько следующих ночей.

Авторы и права: Джозш Дьюри

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

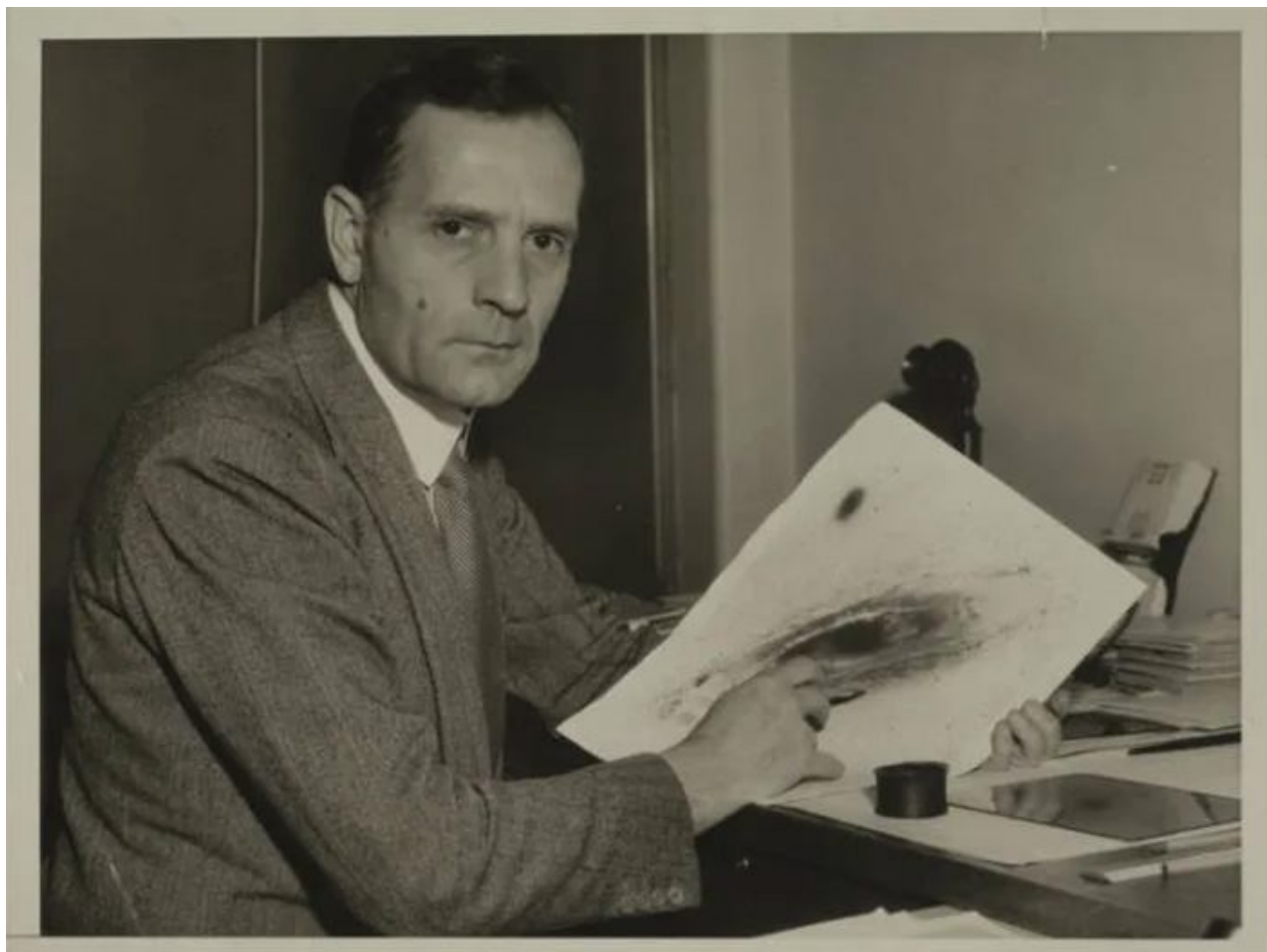
Тема журнала на Астрофоруме - <http://www.astronomy.ru/forum/index.php/topic,19722.0.html>

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

Сверстано в 2024 году

© *Небосвод*, 2025

Астрофизикам не удастся снизить «хаббловское напряжение»



Эдвин Хаббл со снимком Туманности Андромеды в своем кабинете, 1931 год. Исследуя эту галактику в начале 1920-х годов, он понял, что она расположена за пределами Млечного Пути. Фото с сайта science.nasa.gov

Постоянная Хаббла определяет скорость расширения современной Вселенной и потому представляет огромный интерес для астрофизики и космологии. Ее численные значения многократно оценивались разными способами без малого сто лет и в начале нашего века считались установленными достаточно надежно и в довольно узком интервале. Однако в прошлом десятилетии стали публиковаться другие значения постоянной Хаббла, которые оказались приблизительно на 10% меньше предшествующих. Это расхождение, получившее название Hubble tension («хаббловское напряжение»), до сих пор так и не удалось устранить. Для его объяснения выдвинуто великое множество гипотез, однако к решению проблемы они не привели. Недавно был опубликован ряд статей на эту тему, основанных на последних данных, полученных, в том числе, и на космическом телескопе имени Джеймса Уэбба. Описанные результаты, из-за того, что они более точные, даже усугубляют проблему.

Немного истории

Начнем с самого начала — ab ovo. В конце 1920-х годов американский астроном Эдвин Хаббл и его ассистент Милтон Хьюмэсон занялись уточнением расстояний до десятков космических туманностей за пределами Млечного Пути, которые лишь несколькими годами ранее стали считать самостоятельными галактиками. Эти звездные скопления двигались прочь от Солнца с радиальными скоростями, которые были измерены по величине красного смещения их спектров на основе эффекта Доплера — Физо. Хотя дистанции до большинства таких галактик удалось определить с большой погрешностью, Хаббл все же пришел к заключению, что между ними и скоростями скорее всего существует универсальная линейная зависимость. Об этом он написал в статье, опубликованной в начале 1929 года (E. Hubble, 1929. A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae). В 1931 году Хаббл и Хьюмэсон подтвердили свой вывод на основании результатов наблюдений других галактик, некоторые из которых отдалены от Солнца более, чем на 100 миллионов световых лет (E. Hubble, M. Humason, 1931. The Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae). В этой работе утверждается,

что радиальные скорости туманностей возрастают приблизительно на 558 км/сек с каждым увеличением расстояния до них на миллион парсек. При этом особо подчеркивается, что имеются в виду видимые скорости удаления туманностей от Земли, как они определяются из их красного смещения на основе эффекта Доплера.

Собранная Хабблом и Хьюмасоном информация легла в основу прославленной формулы $v=H_0d$, известной как закон Хаббла (точнее, здесь приведена исторически первая форма математической записи этого закона, о чем подробнее будет сказано ниже). Здесь v — радиальная скорость галактики по отношению к Земле, d — расстояние, H_0 — коэффициент пропорциональности, чья размерность, как легко видеть, обратна размерности времени. Сам Хаббл и еще многие астрономы долгое время отказывались от предположений о физическом смысле этого коэффициента. Тем более интересно, что молодой бельгийский космолог Жорж Леметр еще в 1927 году показал, что общая теория относительности позволяет интерпретировать разлет галактик как свидетельство расширения Вселенной (G. Lemaître, 1927. Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques). Более того, он математически вывел полный аналог будущей хаббловской формулы и, располагая известными к тому времени данными о скоростях ряда галактик и расстояниях до них, получил примерно такое же численное значение коэффициента пропорциональности между дистанциями и скоростями, что и Хаббл. Однако его статья была напечатана по-французски в малоизвестном бельгийском журнале и поначалу осталась незамеченной. Большинству астрономов (почти наверняка, и самому Хабблу) она стала известна лишь в 1931 году после публикации ее английского перевода.



Жорж Леметр и Альберт Эйнштейн в Калифорнийском университете в Беркли, 1933 год. Фото с сайта lindahall.org

Разумеется, история открытия и, если воспользоваться известным выражением Менделеева, укрепления закона Хаббла гораздо богаче этой схемы. Она подробно описана в биографиях Хаббла и Леметра, вошедших в мою книгу о великих творцах современной науки о физике космоса (А. Е. Левин, 2022. Астрофизика в

лицах: с. 139–166 и 167–180). Мы же теперь можем перейти от былых времен к двадцать первому веку.

Вселенная и закон Хаббла

Бесчисленные астрономические наблюдения давно показали, что мы живем в однородной и изотропной Вселенной, которая практически с самого рождения претерпевает перманентное расширение. Это означает, что физические расстояния между гравитационно независимыми галактиками и скоплениями галактик постоянно возрастают, однако крупномасштабная геометрия пространства Большого Космоса неизменно сохраняет однородность и изотропию. Выражаясь менее формально, в этой геометрии нет ни выделенных мест, ни выделенных направлений — так сказать, имеет место идеальная вселенская демократия.

Как показывает математический анализ, однородное и изотропное трехмерное пространство может существовать лишь в трех версиях — сферической, плоской (это наше родное пространство Евклида) и гиперболической. Всем им соответствует метрика Леметра — Фридмана — Робертсона — Уокера, которая тоже задается в трех вариантах. Формально различия между ними задаются параметром, определяющим знак (но не абсолютную величину!) кривизны пространства: для сферической геометрии она положительна, для евклидовой — нулевая, и для гиперболической — отрицательна. Как показывают многочисленные астрономические наблюдения, реальная пространственная кривизна сегодняшней Вселенной в принципе может быть отлична от нуля, однако же очень к нему близка. Это можно выразить и иначе: радиус кривизны пространства Вселенной может быть конечен, но в любом случае он намного превышает линейные размеры той ее части, которая доступна нашим наблюдениям.

Для описания расширения пространства в метрику вводится так называемый масштабный фактор $a(t)$, который увеличивается со временем (см. задачу Очень темные дела). Принято считать, что сегодня он равен единице, а при приближении к началу Вселенной уменьшается и в конечном счете стремится к нулю.

А теперь самое главное.

Растяжение пространства увеличивает длины волн всех электромагнитных излучений, которые распространяются в космосе между гравитационно не связанными объектами. Более того, это увеличение пропорционально росту масштабного фактора. Отсюда следует, что длина волны светового кванта, испущенного где-то в космосе в прошлую эпоху в момент времени t и теперь достигшего нашей планеты, увеличится по сравнению с первоначальным значением в отношении $1/a(t)$ (поскольку $a(t)$ меньше единицы, эта дробь превышает единицу). Этот феномен называется космологическим красным смещением. Его можно записать с помощью простой формулы: $\lambda_0/\lambda(t)=1/a(t)$, где $\lambda(t)$ — длина волны фотона в момент испускания, а λ_0 — его же длина волны в

момент земного наблюдения (напомню, что здесь единица — это конвенциональное значение масштабного фактора в нашу эпоху).

Пойдем дальше. Отношение прироста длины волны к исходному значению $\lambda_0 - \lambda(t)/\lambda(t)$, принято обозначать буквой z . Это безразмерная функция времени, которая одновременно равна отношению изменению масштабного фактора $1 - a(t)/a(t)$. Так что $z(t)$ — это и есть численная мера космологического красного смещения. Из ее определения следует, что чем дальше от Земли источник фотонов, тем больше их красное смещение.

И еще одно определение — последнее и самое важное. В космологии вводится параметр $H(t)$, равный отношению производной масштабного фактора по времени к его величине в тот же момент. Легко видеть, что размерность этого параметра обратна размерности времени (например, это 1/сек, если измерять время в секундах). Его называют параметром Хаббла, а его современное значение H_0 — постоянной Хаббла.

Довольно элементарные соображения позволяют показать, что если момент испускания фотона t достаточно близок к «нашему» космическому времени t_0 (или, что то же самое, если источник света в космологических масштабах не слишком удален от Земли), имеет место простое, но замечательное соотношение $z(t) = H_0(t_0 - t)$. Если умножить обе его части на скорость света c , то справа получим постоянную Хаббла, умноженную на расстояние до источника излучения $d = c(t_0 - t)$, вычисленную с точностью до малых поправок. Так что окончательно имеем $cz = H_0 d$. Это и есть закон Хаббла, как он формулируется в астрономии и космологии. Он переходит в классическую формулу Хаббла $v = H_0 d$, если вспомнить, что, согласно теории эффекта Доплера — Физо, величина красного смещения при взаимном удалении источника и приемника света дается формулой $z = v/c$, которая справедлива, если скорость удаления v много меньше световой.

Если выбрать, как это обычно и делается, систему единиц, в которой скорость света $c=1$, закон Хаббла приобретает совсем уж простой вид $z = H_0 d$. При ее использовании в такой записи надо только помнить, что размерности пространственной длины и времени в этой системе совпадают. Практически она применима, если величина красного смещения не превышает одной десятой.

Как уже говорилось, значение постоянной Хаббла можно выражать в обратных секундах. Однако реально для него используют запись, восходящую к исходной хаббловской формуле $v = H_0 d$. Поскольку слева там стоит скорость разлета галактик, выраженная в километрах в секунду, удобно «врезать» эту же меру и в определение хаббловской константы, придав ей размерность скорость/расстояние. Конкретно, ее численные значения определяют в километрах в секунду на мегапарсек, выражая межгалактические дистанции d опять-таки в мегапарсеках. Именно так и поступил Хаббл. Правда, в его совместной статье с Хьюмасоном от 1931 года численная величина H_0 оценивалась в 558 (км/сек)/Мпк, что уже тогда выглядело сильно завышенным. Первым астрономом, получившим близкое к современному значению хаббловской константы, был блестящий мастер прецизионных телескопических наблюдений американец Аллан Сэндидж, который в 1958 году, уже после кончины Хаббла, определил величину H_0

в 75 (км/сек)/Мпк. С тех пор она многократно корректировалась и продолжит корректироваться. Результаты этих корректировок и привели к возникновению так называемого Hubble tension («хаббловского напряжения»).

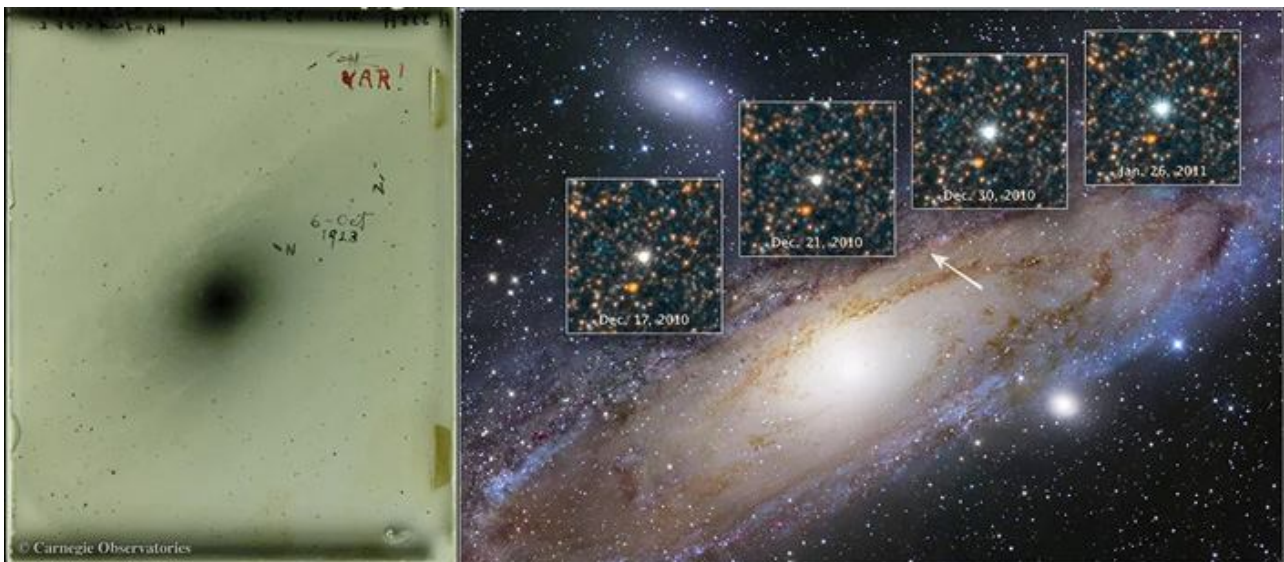
Еще одно техническое уточнение состоит в том, что хаббловская интерпретация космологического красного смещения в контексте эффекта Доплера исторически вполне объяснима, но с современной точки зрения не всегда верна и в любом случае не необходима. Поэтому для пушей ясности повторю, что корректная запись закона Хаббла дается формулой $cz = H_0 d$ (или $z = H_0 d$, если считать, что $c=1$).

Можно спросить, почему задача возможно более точного определения величины H_0 настолько релевантна для наук о космосе. Все дело в том, что космологические модели, описывающие эволюцию Вселенной, прямо или косвенно опираются на современное значение параметра Хаббла H_0 . В частности, его обратная величина $1/H_0$ по порядку величины равна возрасту Вселенной, а произведение $1/H_0$ на скорость света характеризует масштаб ее видимой области. Поэтому для астрономии и космологии выяснение точного значения H_0 не менее важно, чем, скажем, для физики частиц измерение заряда и массы электрона.

В заключение этого раздела хочу сильно облегчить жизнь и себе, и читателям. В дальнейшем речь пойдет о разных способах и результатах оценки постоянной Хаббла, что надо было бы подкрепить многочисленными ссылками. Это загромоздило бы мой скромный труд и вряд ли бы предстало интерес для аудитории «Элементов». Поэтому сошлось только на один источник библиографической информации, зато чрезвычайно репрезентативный. В конце прошлого года в электронном архиве препринтов был выложен очень полный обзор всего круга проблем, связанных с Hubble tension — L. Verde et al., A Tale of Many H_0 . Помимо демонстрации литературной эрудиции авторов, озаглавивших свою работу с намеком на известный роман Чарльза Диккенса, этот обзор содержит огромный массив библиографических данных. Полагаю, что его будет вполне достаточно. Ссылки на публикации нынешнего года я предложу в заключительном разделе.

Оптические методы оценки H_0

В принципе, путь к определению постоянной Хаббла с помощью фотометров, установленных на оптических (в том числе, и инфракрасных) телескопах вполне элементарен. Надо найти во Вселенной побольше не слишком удаленных объектов с надежно установленными расстояниями от Солнца, измерить их красные смещения спектрографами, и вычислить H_0 простой арифметикой. Дистанции до самых близких объектов можно вычислять посредством измерения их годовых параллаксов, то есть, чисто астрометрическими способами. Для дистанций побольше применяются наблюдения космических тел с известными светимостями, так называемых стандартных свечей. В этом качестве удобно использовать переменные звезды (например, цефеиды) с установленными соотношениями между периодами и светимостями. В частности, именно с цефеидами работал Эдвин Хаббл. Как отмечено в цитированном обзоре, многочисленные наблюдения цефеид позволили прийти к заключению, что H_0 с хорошей точностью можно считать равной $73,1 \pm 2,5$ (км/сек)/Мпк.



Слева — фотопластинка со снимком Туманности Андромеды, на котором Хаббл заметил переменную звезду (цефеиду). Сначала он ошибочно решил, что это новая и пометил ее буквой N (перечеркнутая, рядом с двумя штрихами, отмечающими положение цефеиды), но потом понял, что это переменная звезда, перечеркнул N и подписал «Var!». Справа — эта же область Туманности Андромеды и та же цефеида VI, снятая телескопом «Хаббл» в декабре 2010 года — январе 2011 года. Фото с сайта science.nasa.gov

Другая часто используемая разновидность стандартных свечей — это сверхновые типа Ia. Они имеют схожую пиковую светимость, примерно в четыре миллиарда раз превышающую солнечную. Это постоянство отнюдь не абсолютно, отклонения от среднего уровня достигают 20–30%, но их учет — решаемая проблема.

Конечно, все просто только на словах. Как и в случае цефеид, калибровка сверхновых сопряжена с серьезными техническими трудностями (необходимо принимать в расчет космическую пыль и много чего еще). Здесь уместно вспомнить, что открытие в самом конце прошлого столетия ускоренного расширения Вселенной опиралось как раз на наблюдение сверхновых из этого семейства и потому было бы невозможным без надлежащего учета всех этих факторов. В ходе этих наблюдений был накоплен большой опыт в «работе» со сверхновыми типа Ia, который пригодился и в их использовании для оценки величины H_0 . Согласно авторам обзора, на сегодня самое точное значение постоянной Хаббла, полученное с помощью наблюдений сверхновых, равно $73,29 \pm 1,15$ (км/сек)/Мпк. Как видим, оно очень близко к цефеидной оценке.

Еще одна возможность состоит в наблюдении звезд, лежащих на ветви красных гигантов. Чтобы понять, что это такое, обратимся к судьбе нашего Солнца. Через 5,4 миллиарда лет в его ядре выгорит весь водород, дав начало гелию. Когда это произойдет, Солнце потеряет гидростатическую стабильность и начнет расширяться, превращаясь в красный гигант. Этот процесс займет около двух миллиардов лет и приведет к тому, что солнечный радиус вырастет где-то в 250 раз, светимость Солнца увеличится в 2700 раз, а температура его атмосферы упадет до 2650 К. В это время многократно возрастет интенсивность солнечного ветра, что приведет к потере тридцати процентов солнечной массы.

На этом изменения не закончатся. Солнечное ядро будет постепенно сжиматься, увеличивая свою температуру. Приблизительно через 12 миллиардов лет она дойдет до ста миллионов кельвинов, и в ядре начнется взрывообразное термоядерное горение гелия (так называемая гелиевая вспышка) приводящее к синтезу углерода и кислорода. На этой стадии Солнце претерпит двадцатикратное сжатие, а температура его поверхности подрастет до 4770 К, так что наше постаревшее светило из красного сделается оранжевым.

Фаза гелиевого горения будет не слишком продолжительной — всего лишь порядка сотни миллионов лет. В это время вокруг ядра будет дожигаться водород, причем зона его сгорания сдвинется по направлению к солнечной поверхности. Когда запасы гелия иссякнут, Солнце опять потеряет стабильность, и его внешние слои расширятся практически до прежнего максимума. Температура Солнца опять упадет, на этот раз до 3100 кельвинов, и оно очутится на так называемой асимптотической ветви красных гигантов. Наконец, примерно через 30 миллионов лет Солнце выбросит свои оболочки в окружающее пространство, дав начало так называемой планетарной туманности, а его ядро превратится в медленно остывающий углеродно-кислородный белый карлик.

Я опустил ряд деталей этого сценария, но главное не в них. Чтобы в ядре загорелся гелий, давление там должно превысить критический порог, что происходит при массе ядра порядка половины нынешней солнечной массы. Поэтому светимость и поверхностная температура (следовательно, и цвет) у звезд в этой фазе более или менее одинаковы. Поскольку по ее достижении звезды вновь охлаждаются и их светимость резко падает, ветвь, которую они населяют на диаграмме «температура-светимость», обрывается. А перед началом гелиевого горения все звезды с массой не свыше 1,8 солнечной имеют схожие светимости, которые лежат в диапазоне 2000–3000 светимостей Солнца. Область на диаграммах Герцшпрунга — Расселла, где наблюдается этот обрыв, называется вершиной ветви красных гигантов (the tip of the red giant branch, TRGB).

Первое предложение использовать TRGB в качестве стандартных свечей было выдвинуто еще в конце прошлого века. Сейчас этот метод используют для надежной калибровки космических дистанций вплоть до дистанций порядка 20 Мпк. Этот масштаб меньше по сравнению с масштабами цефеидной калибровки, но вполне приемлем. С другой стороны,

число галактик, где наблюдаются вершины ветви красных гигантов, где-то в пять раз превышает число галактик с выявленными цефеидами (пятьсот против ста). Кроме того, использование наблюдений на телескопе имени Джеймса Уэбба (JWST) дает надежду довести масштаб дистанционных измерений до 50 Мпк.

Результаты различных коллабораций, наблюдающих вершины ветвей красных гигантов, пока не свелись к единой оценке H_0 . В обзоре приведены три значения: $69,8 \pm 0,8$ (км/сек)/Мпк, $71,5 \pm 1,8$ (км/сек)/Мпк и $73,22 \pm 2,06$ (км/сек)/Мпк.

Я описал основные методы оптической калибровки расстояний в относительной близости от Солнца и определения на их основе величины постоянной Хаббла. Не хочу загромождать статью перечислением других способов, хотя они тоже имеют место. В целом, разброс полученных таких образом величин составляет 3–5 (км/сек)/Мпк. Можно предположить, что по мере усовершенствования измерительных технологий и обработки результатов (в частности, с помощью искусственного интеллекта, который уже начал применяться) этот разброс удастся ужать. Пожалуй, больше здесь пока ничего и не скажешь.

Волны космических звуков

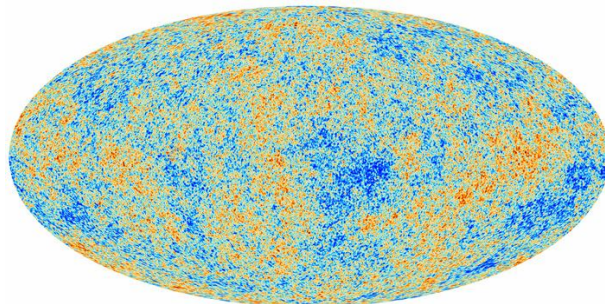
Оптические наблюдения с прямыми измерениями красного смещения дали огромный массив информации, но отнюдь не стали единственным средством оценки постоянной Хаббла. В нашем столетии появились и стали быстро развиваться другие способы решения той же задачи, использующие не оптические, а радиотехнические методы наблюдений. Их применение привело к тому, что набор вычисленных значений этой константы сделался бимодальным — иначе говоря, они стали группироваться около двух показателей, отделенных друг от друга весьма значительной щелью. Именно так и возникла хаббловская контраверза, она же Hubble tension.

Новые значения постоянной Хаббла были получены благодаря наблюдениям реликтового излучения, рожденного приблизительно через 380 тысяч лет после Большого взрыва. На этой стадии эволюции мироздания завершился так называемый процесс рекомбинации, который привел к тому, что в космическом пространстве стали почти свободно распространяться световые кванты, которые ранее были «сцеплены» с электронами в составе первичной плазмы. Это стало возможным из-за того, что благодаря постепенному остыванию вещества Вселенной практически все свободные электроны соединились с ядрами водорода, гелия и лития и тем положили начало нейтральным атомам.

Реликтовое излучение служит важнейшим источником информации не только о состоянии тогдашней Вселенной, но и об ее ранней и даже очень ранней истории. О том, как его открыли и какую информацию оно несет, можно прочитать в моей книге Белые карлики. Будущее Вселенной (с. 217–261).

Очень кратко, дело здесь в следующем. Сегодня спектр реликтового излучения с большой точностью совпадает со спектром излучения абсолютно черного тела, имеющего температуру 2,725 К. С большой точностью — но не полностью. Температура и поляризация реликтовых фотонов очень незначительно варьируют в зависимости от направлений, с которых они приходят к Земле. Это

означает, что реликтовое излучение слабо анизотропно как по температуре, так и по поляризации. Тонкий анализ спектральных характеристик этой анизотропии позволяет получить информацию о величине основных параметров, определяющих эволюцию Вселенной, — например, о плотности барионной и темной материи. К числу этих параметров относится и постоянная Хаббла H_0 .



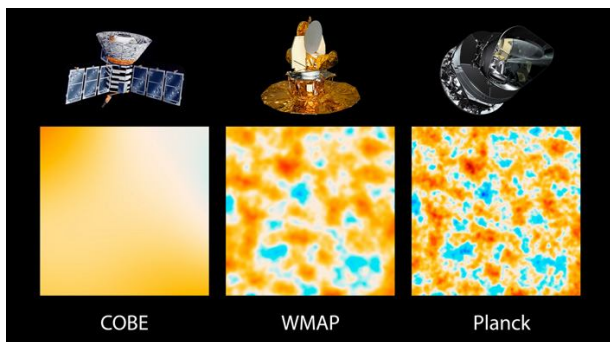
Карта флуктуаций реликтового излучения в галактических координатах по данным космической обсерватории «Планк». Синим цветом обозначены области, которые примерно на пару десятков микрокельвинов холоднее красных. Изображение с сайта esa.int

Теперь займемся происхождением упомянутой бимодальности. Исторически оно совпадает с самым началом нашего столетия. 30 июня 2001 года НАСА отправило в космос зонд Explorer 80, через два года переименованный в WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Его аппаратура позволила регистрировать температурные флуктуации микроволнового реликтового излучения (МРИ) с угловым разрешением менее трех десятых градуса. Тогда уже было известно, что спектр этого излучения почти полностью совпадает со спектром абсолютно черного тела, нагретого до 2,725 К, а колебания его температуры при «крупнозернистых» измерениях с угловым разрешением в 10 градусов не превышают 0,000036 К. Однако на «мелкозернистой» шкале зонда WMAP амплитуды таких флуктуаций были в шесть раз больше (около 0,0002 К). Реликтовое излучение оказалось пятнистым, тесно испещренным чуть более и чуть менее нагретыми участками.

Флуктуации реликтового излучения порождены колебаниями плотности электронно-фотонного газа, который некогда заполнял космическое пространство. Она упала почти до нуля приблизительно через 380 тысяч лет после Большого взрыва, когда завершился процесс рекомбинации, о котором говорилось выше. Пока этого не произошло, в электронно-фотонном газе распространялись звуковые волны, на которые влияли гравитационные поля частиц темной материи. Эти волны, или, как говорят астрофизики, барионные акустические осцилляции, наложили отпечаток на спектр реликтового излучения. Расшифровка этого спектра при помощи теоретического аппарата космологии и магнитной гидродинамики дала возможность по-новому оценить постоянную Хаббла.

Сначала результаты аппаратуры обсерватории WMAP, полученные на основе первых трех, пяти и семи лет ее работы, давали не слишком беспокоящие значения постоянной Хаббла в промежутке 70–71 (км/сек)/Мпк, которые лишь немного уступали тогдашнему консенсусному показателю 73–74 (км/сек)/Мпк. Однако в 2012 году данные с той же обсерватории позволили вычислить новое значение хаббловской постоянной, которое сдвинулось к 69

(км/сек)/Мпк. Это уже вызывало беспокойство, которое, правда, тогда отнюдь не всеми было осознано.



Измерения флуктуаций температуры микроволнового фона COBE (1992), WMAP (2003), Planck (2013). Рисунок с сайта nasa.gov

Как оказалось, это было только начало. В 2013 году Европейского космического агентство опубликовало детальный отчет о результатах работы космической обсерватории «Планк», запущенной к второй точке Лагранжа 14 мая 2009 года. Подобно WMAP, она занималась детальными промерами интенсивности и поляризации МРИ, причем по всей небесной сфере и на девяти частотных полосах в диапазоне от 30 до 857 гигагерц. Обработка полученных результатов позволила дать еще более низкую оценку величины H_0 : $67,80 \pm 0,77$ (км/сек)/Мпк.

Примерно такими же оказались и следующие результаты, опубликованные в 2015 и 2018 годах. Весь набор результатов «Планка», если не считать явно аномальных, укладывается в промежуток 64–70 (км/сек)/Мпк, причем наиболее убедительные величины лежат в его центре. Поскольку, как уже говорилось, до тех пор оптические наблюдения различных космических объектов неизменно показывали, что H_0 принадлежит диапазону 73–74 (км/сек)/Мпк (или, по крайней мере, не слишком из него выходит), у космологов и астрофизиков возникли вполне реальные причины для беспокойства.

Последние результаты

К сказанному осталось добавить немного. В 2024 году были обнародованы итоги ряда новейших наблюдений, которые, пожалуй, только усложнили проблему Hubble tension. В январе группа под руководством одного из первооткрывателей ускоренного расширения Вселенной Адама Рисса с очень высокой достоверностью подтвердила эффективность методов определения постоянной Хаббла с помощью наблюдения цефеид и сверхновых звезд, используя информацию, полученную аппаратурой Космического телескопа имени Джеймса Уэбба. Другая группа с его участием в самом конце февраля обнародовала информацию о численном значении постоянной Хаббла, полученную с помощью фотометрических наблюдений вершины асимптотической ветви красных гигантов (этот метод имеет много общего с TRGB, но я позволю себе воздержаться от подробностей). Их оценки лежат в диапазоне 71–78 (км/сек)/Мпк с фидуциальным значением $74,7 \pm$ (системные и статистические поправки) (км/сек)/Мпк.

В апреле результаты «Планка» практически повторила международная коллаборация DESI (Dark Energy Spectroscopic Instrument). Ее значение H_0 $67,53 \pm 0,38$ (км/сек)/Мпк получено на основе выявления барионных акустических осцилляций

посредством оптической спектроскопии света далеких галактик. Конечно, наблюдаются не сами эти осцилляции, а их следы, только на этот раз «впечатанные» не в анизотропию реликтового излучения, а в крупномасштабные трехмерные структуры космической материи — например, скопления галактик (популярное изложение этого метода можно найти в статье L. Linke, 2024. Euclid — The Dark Universe detective).

В принципе, это сообщение не отличается абсолютной новизной. Четырьмя годами ранее близкие результаты уже были извлечены из данных, полученных в ходе предшествующего трехмерного картирования космического пространства в рамках Слоановского цифрового обзора космоса (Sloan Digital Space Survey, SDSS). Летом 2020 года одна из коллабораций-участников этого проекта оценила постоянную Хаббла в 68 (км/сек)/Мпк. С другой стороны, надо отметить, что в литературе к результатам команды DESI уже появилось немало вопросов, и нельзя исключить, что они будут скорректированы или даже опровергнуты. Как бы то ни было, бимодальность значений постоянной Хаббла никуда не делась, и как от нее избавиться, пока не известно.

Очень короткое заключение

Однако кое-какие предположения сделать можно. Легко заметить, что в основе бимодальности лежит тот простой факт, что численные значения постоянной Хаббла оцениваются на основе двух принципиально различных подходов. Оценки верхней моды выводятся на основе регистрации фотонных потоков, рожденных относительно недавно и не так далеко от Земли — конечно, по космологическим масштабам. Фигурально выражаясь, они несут информацию о событиях, которые на космологической шкале времен и дистанций имеют место *hic et nunc*, здесь и сейчас. А вот реликтовое излучение дошло к нам от эпохи рекомбинации, имевшей место, округленно, всего лишь через 400 тысяч лет после Большого взрыва. Разница бросается в глаза.

Я попросил прокомментировать проблему Hubble tension одного из ведущих российских специалистов по космологии члена-корреспондента РАН Дмитрия Сергеевича Горбунова. Он сказал, что не видит другого объяснения кроме гипотезы, что либо перед началом рекомбинации, либо незадолго до нашего времени случилось что-то такое, что сделало невозможной однозначную оценку постоянной Хаббла. Что именно — тайна сия велика есть. Если так, остается надеяться, что когда-нибудь ее удастся разгадать. А надежды питают не только юношей, но также астрономов и космологов любых возрастов.

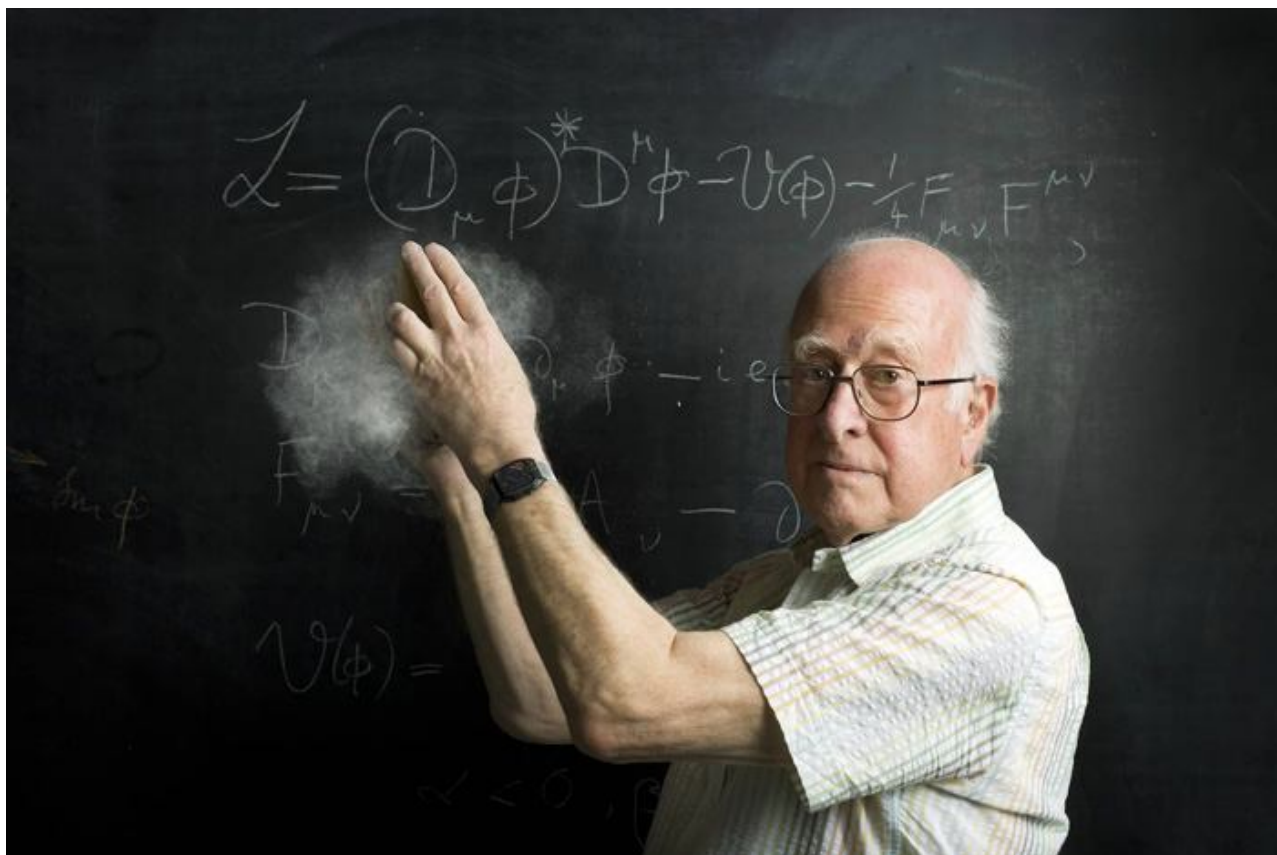
Источники:

- 1) A. Riess et al., 2024. JWST Observations Reject Unrecognized Crowding of Cepheid Photometry as an Explanation for the Hubble Tension at 8 sigma Confidence // электронный препринт arXiv:2401.04773 [astro-ph.CO].
- 2) S. Li et al., 2024. Reconnaissance with JWST of the J-region Asymptotic Giant Branch in Distance Ladder Galaxies: From Irregular Luminosity Functions to Approximation of the Hubble Constant // электронный препринт arXiv:2401.04777 [astro-ph.CO].
- 3) DESI Collaboration. DESI 2024 VI: Cosmological Constraints from the Measurements of Baryon Acoustic Oscillations // электронный препринт arXiv:2404.03002 [astro-ph.CO].

Алексей Левин,

https://elementy.ru/novosti_nauki/t/1763182/Aleksey_Levin

Тихий физик из Эдинбурга: памяти Питера Хиггса



Питер Хиггс во время лекции в Эдинбургском университете, 2007 год. Фото с сайта volkskrant.nl

8 апреля мир узнал о кончине физика-теоретика, профессора Эдинбургского университета и лауреата Нобелевской премии Питера Хиггса. Хиггс прежде всего известен как один из авторов теории, описывающей механизм, благодаря которому субатомные частицы приобретают массу. В 2012 году, после многолетних экспериментов на Большом адронном коллайдере, было объявлено об открытии хиггсовского бозона, — эту веху можно считать окончательным триумфом теории, над которой в 1960-х годах работали Хиггс и ряд других теоретиков. Алексей Левин рассказывает о жизни и работах этого замечательного ученого.

Очень короткое введение

О Питере Хиггсе уже давно наслышан весь мир. Однако известность за пределами научного сообщества пришла к нему довольно поздно, уже после выхода в отставку в 1996 году в звании почетного профессора (*professor emeritus*). Помимо присужденной в 2013 году Нобелевской премии, он, начиная с 1997 года, получил от различных университетов шестнадцать почетных докторских степеней. В его *alma mater* в Эдинбурге с 2012 года работает названный в его честь Центр

теоретической физики (Higgs Centre for Theoretical Physics).

Однако главный и нестареющий со временем знак признания выпал на долю Хиггса еще несколько десятилетий назад, когда коллеги по профессии впервые в истории физической науки присвоили его имя тогда еще гипотетической элементарной частице. Она была открыта в экспериментах на Большом адронном коллайдере через 48 лет после того, как в 1964 году возможность ее существования была с разной степенью определенности продемонстрирована в публикациях самого Хиггса, физиков из брюссельского Свободного университета бельгийца Франсуа Энглера и американца Роберта Браута и сотрудников лондонского Имперского колледжа Джеральда Гуральника и Томаса Киббла, работавших вместе с гостем из США Карлом Ричардом Хагеном. Из этой славной плеяды сейчас живы только двое, 91-летний Энглер и 87-летний Хаген. Так что здесь мы имеем дело с вполне чистым примером того, что в науковедении называется множественным (в данном случае, тройным) открытием, выполненным независимыми актерами, будь то отдельные ученые или научные коллективы.

Здесь необходимо уточнение. Перечисленные ученые открыли физический процесс, благодаря которому безмассовые калибровочные поля (см. седьмую главу моей монографии «Этноды о частицах: от рентгеновских фотонов до бозона Хиггса») могут обретать массу в результате спонтанного нарушения симметрии. Этот феномен получил в литературе название механизма Хиггса, или механизма Андерсона — Хиггса, поскольку его еще в 1962 году описал (правда, в нерелятивистском контексте) известный специалист по физике многочастичных систем американец Филип Уоррен Андерсон (см. Филип Андерсон: добрый и злой гений бозона Хиггса, «Элементы», 04.07.2022). Прочие участники не попали в эту номинацию, что, конечно, нельзя назвать справедливым. Более того, сходные идеи просматриваются в квантовой теории сверхпроводимости, развитой в середине прошлого столетия Львом Давидовичем Ландау и Виталием Лазаревичем Гинзбургом. Наконец, к той же модели обретения массы чуть позже Хиггса и остальных героев 1964 года пришли двое молодых московских физиков, чьи имена я еще назову. Однако название «бозон Хиггса» отражает личный вклад Питера Хиггса вполне адекватно — почему именно, будет рассказано позднее. На этом необходимым уточнении с введением можно закончить.

Питер Хиггс: предки, семья, детство и юность

Питер Уэйр Хиггс (Peter Ware Higgs) появился на свет 29 мая 1929 года в старинном английском городе Ньюкасле-на-Тайне, основанном в качестве римского военного поста и предместного укрепления во втором столетии нашей эры в годы правления императора Адриана. «По крови», если это выражение здесь уместно, Хиггс был на четверть шотландцем и на три четверти чистым бриттом. Однако среди его далеких предков были саксонские земледельцы, которые за много поколений до его рождения перекочевали в Англию.

Дед Питера со стороны отца житель Бристоль Альберт Хиггс умер в 1911 году где-то на рубеже пятидесятилетия — или, что не исключено, покончил счеты с жизнью, полностью разорившись из-за любви к азартным играм. Его вдова Шарлотта осталась с тринадцатилетним сыном Томом на руках совершенно без средств и смогла его вырастить только благодаря помощи родственников. Томас Хиггс (1898–1962) был способным мальчиком и, оставшись без отца, получил субсидию для продолжения обучения в Бристольской грамматической школе, где особенно успевал в латыни и других классических дисциплинах. Он рос очень религиозным и всерьез думал о духовной карьере в англиканской церкви. Однако в ноябре 1916 года восемнадцатилетнего юношу отправили сражаться за короля и отечество на север Франции, где он и находился вплоть до капитуляции кайзеровской Германии. В ходе тяжелейших боев он изрядно растерял уважение если не к религии, то к военным священникам, без устали благословлявшим солдат на убийство себе

подобных. Тогда же он сильно заинтересовался радиотехникой и после демобилизации поступил на инженерное отделение Бристольского университета, которое окончил в 1922 году. Получив весьма неплохую должность заместителя главного инженера отделения корпорации Би-Би-Си в Ньюкасле, он через два года женился на сестре своего фронтового друга Гертруде Когхилл (1895–1969). Через пять лет у них родился будущий предсказатель первой и пока единственной элементарной частицы, обнаруженной в нашем столетии.

Судьба не подарила маленькому Питеру крепкого здоровья. Практически с рождения он страдал сильнейшей экземой, на смену которой позднее пришла астма. Из-за нее родители почти не позволяли Питеру играть со сверстниками и отложили его поступление в начальную школу. В результате он сел за парту только в сентябре 1935 года, на год позже положенного срока. К тому времени он уже свободно читал и писал, из-за чего сразу попал в третий класс. Благодаря воспитанной еще дома любознательности, упорству в занятиях и великолепной памяти, он учился легко и с удовольствием. К сожалению, его учебу трижды прерывали тяжелые бронхиты — в семь лет, в девять, и в одиннадцать. Вина за эти приступы в немалой степени лежала на отце, страстном курильщике, которому в конце концов семейный доктор попросту запретил пускать дым в сторону сына. Единственным плюсом этого печального опыта оказалось то, что сам Питер Хиггс никогда в жизни не притрагивался к сигаретам.

В 1940 году Питер поступил в грамматическую школу в окрестностях Бирмингема, где проучился два года. Среднее образование он завершил в 1946 году на родине родителей в Бристолье, где жил вместе с матерью и где их регулярно навещал отец, которого начальство перевело в Бедфорд. К счастью, к четырнадцати годам его астма прошла и больше не возвращалась.

Готемская средняя школа, где прошла вторая половина школьной жизни Питера, бережно хранила память о своем гениальном выпускнике 1918 года Поле Дираке, который к тому времени уже давно был всемирно известным физиком и Нобелевским лауреатом (во время учебы Дирака она называлась школой при Бристольском Техническом колледже). Питер разделял преклонение перед Дираком, но сам о карьере физика не думал. Правда, он читал и понимал отцовские книги по элементарной математике и основам матанализа, который был за рамками школьной программы. Кроме математики, он отлично шел по химии и языкам, получая за эти предметы школьные призы. За два года до окончания школы он стал читать и популярные книги по физике, хотя тут обошлось без наград. В общем, он был очень хорошим учеником, но отнюдь не вундеркиндом, и в те годы никто не мог бы предположить в нем будущего нобелиата.

А потом в его жизни случилось то, что психологи называют сменой гештальта, — причем совершенно внезапно. Этот процесс, как ни странно, запустила атомная бомбардировка Хиросимы и Нагасаки. Через месяц с небольшим, в начале октября 1945 года, профессора Бристольского университета Невилл Мотт и Сесил Фрэнк Пауэлл (оба в будущем — Нобелевские лауреаты) выступили перед земляками с публичной лекцией о ядерной физике и ее применении для создания нового оружия. В набитой до предела университетской аудитории был и Хиггс, который оказался очень благодарным слушателем. После этого Пауэлл прочел еще несколько лекций о поиске новых частиц в космических лучах с помощью толстослойных фотоэмульсий, которым активно занималась его команда. Полученная там информация еще больше стимулировала Питера на изучение физики.

Путь к профессии

Свой последний школьный год Питер Хиггс провел в Лондоне, куда в конце войны перевели его отца. Завершив в 1947 году среднее образование, он стал студентом лондонского Королевского колледжа, основанного в 1829 году под покровительством тогдашнего британского монарха Георга IV и знаменитого победителя в битве при Ватерлоо герцога Веллингтона. Через два года Хиггс получил диплом бакалавра теоретической физики, став первым студентом своего колледжа, который решил специализироваться по этой недавно введенной в программу дисциплине. Он хотел делать докторскую диссертацию по физике частиц, однако один из наставников убедил его, что успех здесь далеко не гарантирован. В результате Хиггс переключился на молекулярную физику и в 1954 году получил докторскую степень за рентгеноструктурный анализ молекулярных кристаллов. В 1955 году он стажировался в Эдинбургском университете, правда, недолго. Однако четыре года спустя, после непродолжительного пребывания на временных должностях еще в двух лондонских вузах, Университетском колледже и Имперском колледже, он окончательно утвердился в Эдинбурге, где и проработал без перерыва до выхода в отставку. В 1980 году он стал профессором теоретической физики, тремя годами позже был избран членом Королевского общества, а на следующий год он был награжден весьма престижной Резерфордской медалью. В 1999 году Хиггс отказался от предложенного ему дворянства и тем упустил возможность стать сэром Питером.

Научный багаж Хиггса на удивление невелик — во всяком случае, в контексте его нынешней известности. В конце 1950-х годов он опубликовал пару статей по общей теории относительности, которые сейчас полностью забыты. Его звездный час пришел летом 1964 года, когда он 24 июля закончил и отправил в черновский журнал *Physics Letters* короткую (где-то всего в тысячу слов) статью с наброском его будущего подхода к решению проблемы кажущейся безмассовости калибровочных бозонов, которые в то время уже

рассматривались в качестве переносчиков слабых взаимодействий. В последней фразе он пообещал, что что подробней представит свои идеи в последующей публикации, которая уже не за горами. Эта заметка появилась в печати 15 сентября (P. W. Higgs, 1964. *Broken Symmetries, Massless Particles and Gauge Fields*). Второй текст с конкретным примером работы своей модели Хиггс подготовил уже к 31 июля, но редактор *Physics Letters* Жак Прентки его отклонил, сочтя слишком далеким от реальных проблем физики частиц. Тогда, после новой доработки, Хиггс послал свою рукопись в США, где она и была напечатана (P. W. Higgs, 1964. *Broken Symmetries and the Masses of Gauge Bosons*). Два года спустя он представил свои результаты во второй и последней статье несколько большего размера (P. W. Higgs, 1966. *Spontaneous Symmetry Breakdown without Massless Bosons*). Этими статьями и исчерпывается вклад Питера Хиггса в разработку механизма его имени. Позднее его вклад в физику практически полностью ограничился преподаванием.

На этом месте так и хочется спросить вслед за классиком советской поэзии: «Что он сделал, кто он и откуда, почему ему такая почеть?». Кто и откуда Питер Хиггс, мы уже знаем, а вот его роль в теорфизике двадцатого века требует дополнительного рассказа. Поскольку я пишу нечто вроде развернутого некролога, а не статью по истории науки, рассказ этот не будет длинным.

Бета-распад и слабое взаимодействие

Путь теоретической физики, ведущий к работам Питера Хиггса и пятерых его конкурентов-подельников, можно отсчитывать с так называемой четырехфермионной теории слабого взаимодействия, развитой Энрико Ферми в конце 1933 года. Она интерпретировала давно известный бета-распад атомных ядер как рождение протонов, электронов и еще не открытых, но уже описанных в качестве гипотезы нейтрино, из входящих в состав атомного ядра нейтронов. Все эти частицы относятся к классу фермионов, отсюда и название. В 1959 году модель Ферми подверглась серьезной модификации в виде так называемой V-A теории слабого взаимодействия, построенной Марри Гелл-Маном и Ричардом Фейнманом и, независимо и даже чуть раньше, Джорджем Сударшаном и Робертом Маршаком. Это название связано с тем, что процессы слабого взаимодействия моделируются при помощи токов двух видов — векторных (V) и аксиальных (A). Такой подход позволил максимально эффективно сформулировать единую теорию слабого взаимодействия, которая вполне адекватно для того времени описывала как различные акты прямого и обратного бета-распада, так и распад мюонов с учетом уже доказанного к тому времени несохранения четности во всех этих процессах. Тогда вполне могло показаться, что все секреты слабого взаимодействия окончательно раскрыты.

Однако уже в начале 1960-х годов несколько блестящих физиков-теоретиков пришли к выводу,

что и V-A теория не может считаться истиной в последней инстанции. После довольно длительных и трудных поисков эта проблема была решена посредством объединения двух фундаментальных взаимодействий, слабого и электромагнитного, на основе уже упомянутой в начале статьи концепции калибровочных полей. Новая теория электрослабого взаимодействия вводила три гипотетические частицы с единичным спином: две заряженные W^+ и W^- и одну нейтральную Z (см. W^- и Z -бозоны). Эти частицы, так называемые промежуточные векторные бозоны, «работали» в качестве переносчиков слабого взаимодействия — подобно тому, как фотоны отвечают за перенос электромагнитных сил. Кстати, фотон в новой теории тоже фигурировал в почтенном качестве четвертой частицы-посредника.

Однако у электрослабой теории была явная слабость, которая тогда казалась неустранимой. Все три «новых» калибровочных бозона, как и давно известный фотон, имели нулевую массу. Это создавало очень неприятную проблему. Радиус слабого взаимодействия очень мал, и поэтому ему, в силу общих принципов квантовой теории поля, требуются очень массивные посредники. К тому же наличие нейтрального переносчика Z требовало допустить возможность бета-переходов, не меняющих электрический заряд, а таковые тогда не были известны. В то же время бозон Z был необходим, поскольку без него не удавалось обеспечить несохранение четности в слабых взаимодействиях.

Замечательный физик-теоретик пакистанского происхождения Абдус Салам не только счел проблему безмассовости промежуточных векторных бозонов куда как серьезной, но и предложил ее решить с помощью механизма спонтанного нарушения калибровочной симметрии. Его идея оказалась очень плодотворной, но сработала она не сразу. В начале 1960-х годов на ее пути встала так называемая теорема Голдстоуна, впервые обнаруженная в 1961 году. Она утверждает, что во всех релятивистских квантовых теориях поля (следовательно, и в электрослабой теории) спонтанное нарушение так называемой глобальной симметрии, не зависящей от пространственно-временных координат, обязательно рождает безмассовые частицы. Отсюда вроде бы следовало,

что никакое спонтанное нарушение калибровочных симметрий не способно наделять массой калибровочные бозоны. В ретроспективе этот вывод не выглядит столь уж железобетонным, поскольку характер нарушения симметрии может меняться от точки к точке пространственно-временного континуума (такие симметрии называются локальными). Однако в начале 1960-х годов важность этого обстоятельства еще не была осознана.

Коллективная эврика 1964 года

Выход из этого затруднения нашли только Питер Хиггс и другие члены «Банды шести» (The Gang of Six), как их иногда называют. Они независимо и разными способами показали, что в так называемых полях Янга — Миллса, которые легли в основу электрослабой теории, не соблюдаются условия применимости теоремы Голдстоуна, поскольку эти поля обладают не глобальной, а локальной симметрией. Они также нашли способ снабдить возбуждения этих полей ненулевой массой через уже упоминавшийся механизм Андерсона — Хиггса. При этом Хиггс первым в явной форме отметил, что из его модели вытекает существование массивного скалярного бозона. В статье 1966 года он даже проанализировал возможный распад этой гипотетической частицы на два тяжелых векторных бозона, который, как объявили летом 2012 года физики из ЦЕРНа, действительно имеет место. Так что общепринятый ныне термин «бозон Хиггса» вполне заслужен. Как известно, в 2013 году Энглер и Хиггс стали нобелевскими лауреатами (Нобелевская премия по физике — 2013, «Элементы», 10.102013).



Франсуа Энглер (слева) и Питер Хиггс на семинаре 4 июля 2012 года, на котором было объявлено об открытии бозона Хиггса. Фото с сайта cerncourier.com

В 1965 году к сходным выводам другим способом пришли 19-летние московские студенты Александр Поляков и Александр Мигдал. Их работа была полностью оригинальной, однако в печать она попала только годом позже (А. Мигдал, А. Поляков, 1966. Спонтанное нарушение симметрии сильного взаимодействия и отсутствие безмассовых частиц). Двухгодичное отставание — это немало.

Замечательные работы «Банды шести» получили признание отнюдь не сразу. Лишь в конце 1967 года Стивен Вайнберг предложил единую модель электрослабого взаимодействия, в которой тройка векторных бозонов получает массу на основе механизма Андерсона — Хиггса (S. Weinberg, 1967. A model of leptons). Годом позже это же сделал и Салам (A. Salam, 1968. Elementary particle theory: Relativistic Groups and Analyticity). Вайнберг даже построил конкретную модель, в рамках которой детально описал взаимодействие калибровочных полей. Правда, она относилась только к лептонам и вообще содержала ряд упрощений, но как иллюстрация работала очень убедительно. В частности, Вайнберг довольно точно вычислил массу заряженных промежуточных векторных бозонов (по его оценке, порядка 60 ГэВ), а также показал, что их нейтральный партнер должен быть несколько тяжелее, в чем тоже оказался прав.

Великий механизм

В основе работы механизма Андерсона — Хиггса в электрослабой теории лежат скалярные поля, чьи квантованные возбуждения, по определению, не обладают спином. Как считается, они возникли спустя пикосекунды после Большого взрыва и теперь заполняют всю Вселенную. Такие поля обладают наименьшей энергией при ненулевой величине — это и есть их устойчивое состояние.

Нередко приходится читать, что элементарные частицы обретают массу в результате торможения хиггсовским полем, но это чересчур механистическая аналогия. В теории электрослабого взаимодействия фигурируют четыре хиггсовских поля (каждое со своими квантами) и четыре векторных бозона — два нейтральных и два заряженных, которые сами по себе не имеют массы. Три бозона, оба заряженных и один нейтральный, поглощают по одному безмассовому кванту трех хиггсовских полей, а в результате обретают массу и, как следствие, способность переносить короткодействующие силы. Последний бозон ничего не поглощает и остается безмассовым — это фотон. Съеденные кванты ненаблюдаемы (физики их называют духами), в то время как их выживший четвертый собрат обладает массой и должен наблюдаться при энергиях, достаточных для его рождения.

Эти процессы можно описать и по-другому. Поскольку все четыре векторных бозона изначально безмассовы и всегда обладают световой скоростью, их волновые функции колеблются только в плоскости, перпендикулярной направлению движения — как и у фотонов. После поглощения

хиггсовских квантов бозоны W^+ , W^- и Z^0 обретают дополнительные волновые компоненты, осциллирующие вдоль направления скорости. Эти продольные волны придают частицам инерционность и, следовательно, наделяют массой. По данным 2022 года масса обоих W -бозонов равна 80,377 ГэВ. Z -бозон несколько массивней, он весит 91,1876 ГэВ. Так что, хотя Стивен Вайнберг в своих первоначальных оценках и ошибся, но не слишком сильно.

Изначально механизм Андерсона — Хиггса был использован для интерпретации возникновения массы у векторных бозонов теории электрослабых взаимодействий. Позднее с его помощью в теорию ввели массы кварков и заряженных лептонов (глюоны массы не имеют, но механизм Хиггса их и не затрагивает). Он оказался полезным и для понимания массы нейтрино (хотя для нее есть и другое объяснение), и для объяснения смешивания кварков различных семейств. Хиггсовские частицы появляются и в рамках различных обобщений Стандартной модели, причем в немалых количествах. В общем, их нынешняя популярность вполне заслужена.

Под занавес стоит добавить уточнение технического характера. Электрослабое взаимодействие описывается произведением симметрий $SU(2)$ и $U(1)$. Первой симметрии соответствуют три калибровочных бозона, два заряженных W^+ и W^- и один нейтральный W^0 , а второй — один нейтрал B^0 , так называемый синглет слабого гиперзаряда (в оригинале, weak hypercharge singlet). Заряженные бозоны, получившие массу на основе механизма Андерсона — Хиггса, являются физически наблюдаемыми частицами. Нейтральные бозоны образуют две линейные комбинации, которые рождают физически наблюдаемые частицы — фотон и Z . Угол смешивания этих состояний называется углом Вайнберга и определяется из эксперимента, он примерно равен 29 градусов.

V-A теория слабого взаимодействия стала весьма близкой предшественницей электрослабой модели. Некоторые их предсказания довольно похожи. Например, обе теории примерно одинаково описывают рассеяние электронных нейтрино на электронах. Разница лишь в том, что в первом случае интенсивность этого рассеяния постоянна, а во втором зависит от угла Вайнберга. Численная величина зависимости определяется квадратом синуса этого угла, который приблизительно равен одной четвертой, то есть, не слишком велик. Поэтому при не слишком высокой точности экспериментальных измерений обе теории могут показаться эквивалентными. Однако есть и принципиальное различие: V-A теория полностью запрещает рассеивание мюонных нейтрино на электронах, а электрослабая модель его разрешает, хотя и с небольшой вероятностью. Это обстоятельство в начале 1970-х годов помогло экспериментально обоснованию теории Вайнберга и Салама.

И еще одно уточнение. Взаимодействие частиц с полями Хиггса обеспечивает лишь малую часть общей массы нашей Вселенной — где-то около одного процента. Остальные 99 процентов возникают из-за взаимодействий между кварками и глюонами, из которых состоят протоны и нейтроны. И все же без этих полей не было бы нашего мира. Как говорится, мал золотник, да дорог.



Лауреаты Нобелевской премии по физике 1979 года Шелдон Ли Глэшоу, Абдус Салам и Стивен Вайнберг. Фото с сайта web2.ph.utexas.edu

Заключение

Питер Хиггс занимался не только теорфизикой. В конце 1950-х он два года консультировал возникшую в 1957 году и существующую поныне общественную организацию, носящую название Кампания за ядерное разоружение (Campaign for Nuclear Disarmament, CND). В сентябре 1963 года он женился на американке Джоди Уильямсон, которая тогда преподавала лингвистику в Эдинбурге и тоже была активистом CND, и через год стал отцом маленького Кристофера. В это время он гостил в университете Северной Каролины в Чапел-Хилле, так что мальчик родился в США. Через несколько лет Питер и Джоди развелись, но всегда оставались друзьями. Джоди умерла в 2008 году от лимфомы.

Питер Хиггс прекратил связи с CND, когда ее руководство стало выступать не только против ядерного оружия, но и против мирного использования ядерной энергии. Одно время он участвовал в движении Greenpeace, но порвал и с ним, сочтя его антинаучные станы слишком радикальными.

В 1976 году Хиггс посетил ЦЕРН и там принял участие в обсуждении планов постройки Большого электрон-позитронного коллайдера (LEP), который, как тогда надеялись, мог бы производить предсказанные им скалярные бозоны. Эта

замечательная машина была запущена в 1989 году и стала предшественницей Большого адронного коллайдера, на котором в 2012 году и были впервые рождены хиггсовские бозоны.

Подобные факты можно было бы и дальше нанизывать на нить моего повествования, но особой пользы я в этом не вижу. Повторю главное: Питер Хиггс вошел в историю физики двадцатого века благодаря всего лишь трем небольшим статьям, из

которых две появились в 1964 году, и одна в 1966. В этом он сильно отличается от разделившего с ним Нобелевскую премию Франсуа Энглера, который опубликовал, один или в соавторстве, 116 статей по физике частиц, общей теории относительности, космологии и теории струн. Как говорится, каждому свое.

1964 год принес физике не только открытия Питера Хиггса и его коллег из Брюсселя и Лондона. Были и другие великие достижения: теория кварков, микроволновое реликтовое излучение, экспериментальное доказательство несохранения комбинированной четности (она же CP-инвариантность) при распадах каонов и гипотеза о существовании очарованного кварка. Так что Банда шести оказалась в хорошей компании.

И что же дальше? Работа механизма Андерсона — Хиггса в физике частиц математически безупречно описана и подтверждена во множестве экспериментов. Теперь предстоит лучше изучить свойства бозона Хиггса и на этой основе понять происхождение и состав скалярных полей, которые его рождают. Возможно, эти задачи не удастся решить без строительства новых суперускорителей. Сейчас идет активное обсуждение проектов новых в Европе (FCCee в ЦЕРНе) и Китае (CEPC, проект Пекинского института физики высоких энергий), в США тоже обсуждаются планы по возведению нового ускорителя, хотя и в несколько более отдаленной перспективе (Мюонный коллайдер, скорее всего в Фермилабе). Впрочем, сроки реализации этих проектов пока не ясны. В любом случае, никакого конца фундаментальной физики пока не предвидится. И это прекрасно.

Алексей Левин,

https://elementy.ru/novosti_nauki/t/1763182/Aleksey_Levin

История астрономии второго десятилетия 21 века



2016г 8 сентября 2016 года в США с Мыса Канаверал запущена американская автоматическая межпланетная станция (АМС) OSIRIS-REx (Origins Spectral Interpretation Resource Identification Security Regolith Explorer), предназначенная для доставки образцов грунта с астероида (101955) Бенну.

11 февраля 2017 года камерой MapCam АМС OSIRIS-REx был сфотографирован астероид (12) Виктория. С 17 августа по 1 октября 2018 года камерой PolyCam сделано двадцать 4-секундных снимков по мере уменьшения расстояния до астероида Бенну с 2,2 млн км до 192 тыс. км. Станция достигла астероида 31-го декабря 2018 года и вышел на круговую орбиту вокруг астероида. Таким образом Бенну стал наименьшим небесным телом с космическим аппаратом, находящимся на его орбите.

Забор грунта (реголита) состоялся 20 октября 2020 года, а возвращение на Землю запланировано на сентябрь 2023 года. Стоимость миссии составила около 1 миллиарда долларов: 800 миллионов долларов без стоимости ракеты-носителя Atlas V, запуск которой обошёлся в \$183,5 миллиона.

2016г 13 сентября 2016 года сайт AstroNews сообщает, что международная команда астрономов при помощи космического телескопа «Хаббл» впервые смогла наблюдать эволюцию звезды в реальном времени. На протяжении 30 лет температура звезды SAO 244567 испытала несколько значительных скачков. Теперь эта звезда вновь охлаждается, «переродившись» на новом этапе эволюции. Это делает звезду SAO 244567 первой «перерожденной» звездой, наблюдения

которой проводились в течение как этапа нагрева, так и этапа охлаждения при «перерождении».



Даже несмотря на то, что Вселенная постоянно изменяется, большая часть процессов в ней протекает слишком медленно, чтобы их можно было наблюдать на протяжении человеческой жизни. Однако теперь международная команда астрономов смогла наблюдать исключение из этого правила. «SAO 244567 представляет собой один из редких примеров звезды, эволюцию которой можно наблюдать в реальном времени, - объясняет Николь Рейндл из Университета Лестера, Соединенное Королевство, главный автор нового исследования. - На протяжении свыше 20 лет температура этой звезды почти удвоилась, и стало возможным наблюдать, как звезда ионизирует собственную газовую оболочку, уже сброшенную звездой ранее, которая теперь известна как туманность Скат».

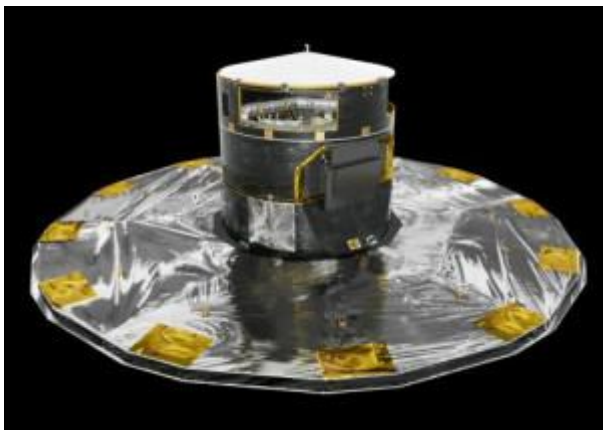
Объект SAO 244567, находящийся в созвездии Жертвенника на расстоянии 5218 световых лет от Земли, является центральной звездой туманности Скат, и его эволюция заметна при рассмотрении результатов различных наблюдений этой звезды за последние 45 лет. Между 1971 и 2002 гг. температура на поверхности этой звезды взлетела почти на 40000 градусов Цельсия. Теперь новые наблюдения, проведенные при помощи спектрографа Cosmic Origins Spectrograph (COS), установленного на космическом телескопе НАСА/ЕКА «Хаббл», обнаруживают, что звезда SAO 244567 стала остывать и расширяться.

Исследование вышло в журнале Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.

2016г 14 сентября команда Европейского космического агентства, работающая с

космическим телескопом Gaia (Global Astrometric Interferometer for Astrophysics, Гайя или Гея), представило трехмерную карту нашей Галактики, включающую более одного миллиарда звезд, которая содержит примерно в 1000 раз больше параметров, чем любая другая существующая карта такого рода.

Автоматическая научная станция «Гея» (космический телескоп оптического диапазона, запуск 19 декабря 2013 г.), обращалась вокруг Солнца на расстоянии 1,5 миллиона километров от Земли около точки Лагранжа L2 системы Земля—Солнце и производила наблюдения Млечного пути. Камера этого спутника (самый большой цифровой сенсор из когда-либо созданных для миссий в космосе, он состоит из 106 отдельных CCD-матриц размером $4,7 \times 6$ см каждая) с разрешением 938 миллионов пикселей является крупнейшей камерой, когда-либо находившейся в космосе, и она является настолько мощной, что с её помощью можно измерить диаметр, сравнимый с диаметром человеческого волоса, с расстояния в 1000 километров. Поэтому эта камера позволила определить местоположение близлежащих звезд с беспрецедентной точностью.



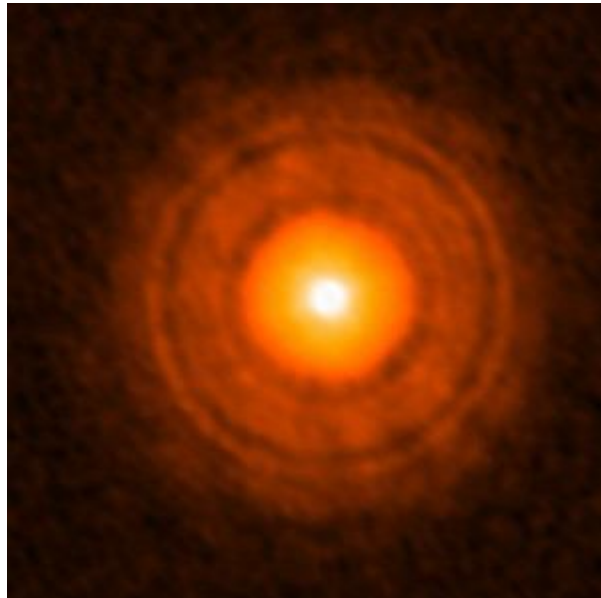
Спутник «Гея» определяет не только положение звезд Млечного пути на небе, но и устанавливает расстояние до каждой звезды, анализируя её движение. К настоящему времени при помощи этого спутника определены расстояния до более чем двух миллионов звезд, однако к концу 2017 г. планируется выполнить такие измерения примерно для одного миллиарда звезд.

Опубликованная карта научной командой GAIA - первый набор данных (Data Release 1, Gaia DR1), составленный по результатам наблюдений за 14 месяцев с июля 2014 по сентябрь 2015 года. В данном наборе опубликованы позиции (с точностью около 10 mas) и яркость 1,1 миллиарда звезд, а также рассчитаны подробные параметры для более чем 2 миллионов звезд, общих для Gaia и каталога Tycho-2 (TGAS — Tycho-Gaia Astrometric Solution), с точностью позиций в $0,3 \pm 0,3$ mas и точностью определения собственного движения 1 mas в год. В составе набора DR1 также зафиксированы кривые блеска около 3 тыс. цефеид и звезд типа RR Лиры.

25 апреля 2018 года Европейское космическое агентство на своём сайте сообщило о создании самой детализированной в истории человечества трёхмерной карты нашей Галактики, содержащей

информацию о точном расположении и передвижении почти 1,7 млрд звезд, а также о 14 тыс. астероидах Солнечной системы. Второй набор данных (Data Release 2, Gaia DR2) проходил в период с 25.07.2014г по 23.05.2016г. ЕКА создало детализированную карту Млечного пути с данными о более чем 1,5 млрд звезд.

Планируется, что Gaia будет передавать информацию на Землю до 2020 года для улучшения трёхмерной карты.



2016г 19 сентября 2016 года сайт AstroNews сообщает, что астрономы обнаружили признаки формирующейся планеты в системе звезды TW Гидры, близлежащей молодой звезды в 176 световых годах от Солнца, при помощи радиотелескопа Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA). Основываясь на расстоянии от центральной звезды и распределении крохотных частиц пыли, исследователи рассчитали, что эта планета, скорее всего, является ледяным гигантом, подобным Урану и Нептуну. Этот результат является ещё одним важным шагом на пути к пониманию различных классов планет.

Для того чтобы изучить место формирования этой планеты, исследовательская группа под руководством Такаши Цукагоши из Университета Ибараки (Япония) наблюдала молодую звезду TW Гидры. Эта звезда, возраст которой составляет примерно 10 миллионов лет, является одной из ближайших к Земле молодых звезд, система которой, благодаря особенной конфигурации, легко поддается наблюдениям с нашей планеты.

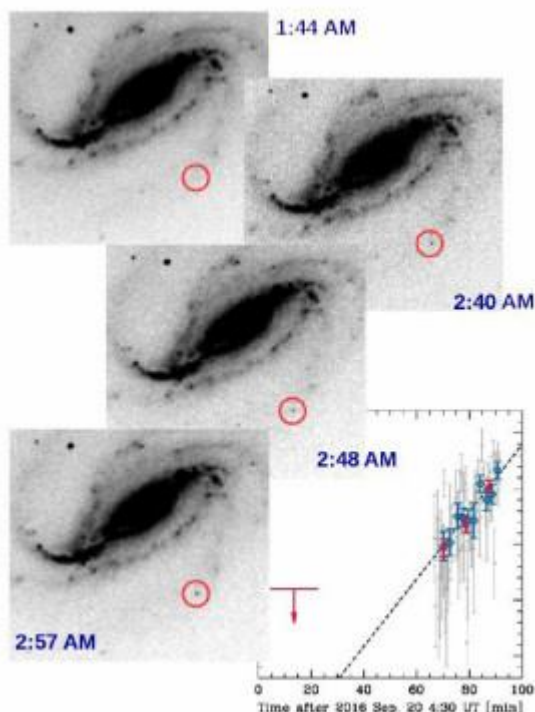
Предыдущие наблюдения показали, что звезда TW Гидры окружена диском, состоящим из крохотных частиц пыли. Этот диск является местом формирования планет. Новейшие наблюдения, проведенные при помощи телескопа ALMA, выявили также множественные щели в этом диске. Некоторые теоретические исследования указывают на то, что наличие этих щелей обусловлено наличием формирующихся планет в системе звезды.

В новом исследовании ученые при помощи телескопа ALMA определили, что в одной из щелей диска звезды TW Гидры радиусом 22

астрономических единицы (расстояния от Земли до Солнца) доминируют очень мелкие частицы пыли, размером порядка нескольких микрометров, в то время как относительное количество более крупных частиц в границах этой щели существенно меньше. Это согласуется с теоретическими представлениями, согласно которым при формировании гигантской планеты трение между газом и частицами пыли приводит к тому, что более крупные частицы пыли выбрасываются за пределы щели, в то время как частицы относительно небольшого размера остаются на месте, считают авторы работы.

Исходя из ширины и глубины этой щели радиусом 22 а.е., команда Цукагоши рассчитала, что масса этой недоступной прямым наблюдениям планеты слегка превышает массу Нептуна. Сгусток вытянут по направлению вращения диска. Ширина сгустка приблизительно равна расстоянию от Земли до Солнца (1,0 а.е.), а длина — 4,4 а.е.

Работа вышла в журнале *Astrophysical Journal Letters*.



2016г 20 сентября 2016 года Виктор Бузо (Victor Buzo) из Аргентины тестировал новую камеру на своем 16-дюймовом телескопе, делая серию снимков с короткой экспозицией спиральной галактики NGC 613, расположенной на расстоянии примерно 80 миллионов световых лет от Земли в направлении южного созвездия Скульптор. Благодаря удачным снимкам, ученые получили возможность наблюдать первые этапы вспышки массивной звезды.

Тестируя новую камеру, Виктор Бузо сделал снимки далекой галактики до и после взрыва сверхновой — когда волна давления, идущая со сверхзвуковой скоростью от взрывающегося ядра звезды, врывается в газ, находящийся у поверхности звезды, и разогревает его до очень высокой температуры, в результате чего яркость свечения газа резко возрастает.

До настоящего времени никто не запечатлевал «первый свет» сверхновой в оптическом диапазоне,

поскольку вспышки звезд в небе происходят случайно и длятся очень недолго. Эти новые данные позволили астрономам глубже понять физическую структуру этой звезды перед ее катастрофической гибелью и природу самого взрыва.

К счастью, Бузо сразу просмотрел сделанные снимки и заметил у конца спирального рукава тусклую светящуюся точку, которой не было на предыдущих снимках, и яркость которой стремительно возрастала — впервые в истории зафиксировано рождение сверхновой.

Астроном Мелина Берстен (Melina Bersten) из Института астрофизики в Ла-Плате (Аргентина), и ее коллеги быстро оценили ценность открытия, сделанного Бузо. Шанс наблюдать сверхновую составляет примерно один к десяти или даже ста миллионам.

Дальнейшие наблюдения этой сверхновой, получившей название SN 2016gkg, показали, что она относится к типу Ib, то есть представляет собой взрыв массивной звезды, предварительно потерявшей большую часть массы своей водородной оболочки. Согласно расчетам астрономов звезда, масса которой изначально составляла примерно 20 масс Солнца, «похудела» перед взрывом до 5 солнечных масс.



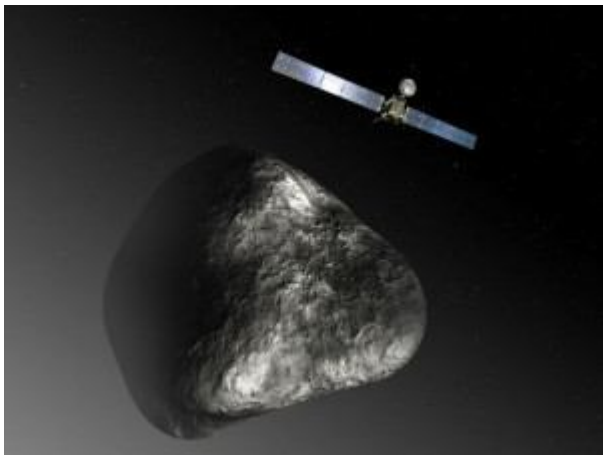
2016г 25 сентября 2016 года завершено строительство телескопа FAST (Five-hundred-meter Aperture Spherical Telescope — «Сферический телескоп с пятисотметровой апертурой»), известный также как «Тяньцзян» (Небесное око) на юге Китая, в провинции Гуйчжоу.

3 июля 2016 года специалисты установили последний из 4450 треугольных отражателей, из которых состоит радиотелескоп. Это ознаменовало завершение основного сооружения гигантского астрономического прибора.

После полного окончания строительства 11 января 2020 года радиотелескоп FAST прошёл государственную приёмку и был официально введён в эксплуатацию. FAST стал самым большим в мире радиотелескопом с заполненной апертурой, его диаметр — 500 метров (существует радиотелескоп с незаполненной апертурой большего диаметра — российский 576-метровый радиотелескоп РАТАН-600). Радиотелескоп имеет почти в два раза большую чувствительность, по сравнению с обсерваторией Аресибо, и скорость проведения обзоров неба, превышающую таковую для обсерватории Аресибо от 5 до 10 раз. На его строительство было затрачено более 185 млн долларов. Радиотелескоп позволит учёным изучать формирование и эволюцию галактик, тёмную

материю, исследовать объекты эпохи реионизации и решать другие научные задачи.

До этого радиотелескоп в Аресибо был крупнейшим в мире (из использующих одну апертуру) диаметром 304,8 метров в астрономической обсерватории в Пуэрто-Рико, в 15 км от города Аресибо, на высоте 497 м над уровнем моря. Введён в строй 1 ноября 1963 года; 1 декабря 2020 года разрушился в результате износа несущей конструкции



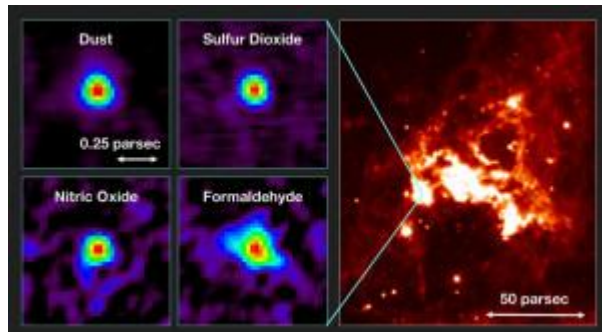
2016г 30 сентября 2016 года основной зонд "Rosetta" («Розетта», запуск 2.03.2004г) завершил свой полёт. Состоит из двух частей: собственно зонда «Розетта» (Rosetta space probe) и спускаемого аппарата «Филы» (Philae lander). Зонд был направлен с высоты в 19 км на столкновение с кометой 67P/Чурюмова — Герасименко и на скорости 3 км/ч столкнулся с ней, совершив контролируемую жёсткую посадку на комету в районе «колодцев» — местных гейзеров. Во время снижения, которое продолжалось 14 часов, аппарат передавал на Землю фотографии и результаты анализов газовых потоков. Спустя год инженеры в Геттингене смогли обработать фрагменты данных последнего фотоснимка, чтобы восстановить полную картину в момент столкновения.

В ходе миссии было сделано несколько важных открытий. В частности, обнаружено более высокое содержание тяжелой воды во льду кометы, что противоречит гипотезе о кометном происхождении воды на Земле. Совокупность результатов исследования структуры кометы и ее газопылевого состава указывают на рождение кометы в очень холодной области протопланетного облака во времена, когда Солнечная система еще формировалась, более 4,5 миллиардов лет назад. Большой интерес представляет обнаружение аминокислоты глицина, встречающейся в белках, фосфора — ключевого компонента ДНК и других органических соединений.

В рамках программы 12 ноября 2014 года произошла первая в мире мягкая посадка спускаемого аппарата "Филы" на поверхность кометы, правда неудачно - спускаемый аппарат попал в темную трещину кометы. В течение двух дней «Филы» выполнил свои основные научные задачи и передал через «Розетту» на Землю все результаты от научных приборов ROLIS, COSAC,

Ptolemy, SD2 и CONSERT, исчерпав весь заряд основной батареи. 13 июня 2015 года «Филы» вышел из режима пониженного энергопотребления, была установлена связь с аппаратом, но 9 июля связь с «Филы» прекратилась из-за исчерпания запасов энергии в аккумуляторах аппарата. Солнечные батареи больше не смогли выработать достаточное количество электроэнергии для подзарядки.

Миссия обошлась ЕКА в 1,3 миллиарда евро.



2016г 2 октября 2016 года сайт AstroNews сообщает, что астрономы впервые за пределами нашей Галактики обнаружили "горячее молекулярное ядро", кокон из молекул, окружающих новорожденную массивную звезду. Открытие, которое знаменует собой первый важный шаг в наблюдательных исследованиях внегалактических горячих молекулярных ядер и бросает вызов скрытому химическому разнообразию нашей вселенной. (журнал *Astrophysical Journal*, том 827)

Ученые из Университета Тохоку, Токийского университета, Национальной астрономической обсерватории Японии и Университета Цукубы использовали Атакамский большой миллиметровый / субмиллиметровый массив (ALMA) в Чили для наблюдения новорожденной звезды, расположенной в Большом Магеллановом облаке, одном из ближайших соседей нашей Галактики. В результате обнаружено несколько линий радиоизлучения от различного молекулярного газа, что указывает на наличие горячего молекулярного ядра, связанного с наблюдаемой новорожденной звездой.

Наблюдения показали, что горячее молекулярное ядро в Большом Магеллановом облаке имеет значительно отличающийся химический состав по сравнению с аналогичными объектами в нашей Галактике. В частности, результаты показывают, что в этой галактике недостаточно простых органических молекул, таких как метанол, что указывает на потенциальную трудность в производстве крупных органических веществ, необходимых для зарождения жизни. Исследовательская группа предполагает, что уникальная галактическая среда Большого Магелланова облака влияет на процессы формирования молекул вокруг новорожденной звезды, и это приводит к наблюдаемому уникальному химическому составу.

"Это первое обнаружение внегалактического горячего молекулярного ядра, и оно демонстрирует огромные возможности телескопов нового поколения для изучения астрохимических явлений за пределами нашей Галактики", - сказал доктор Такаши Шимониши, астроном из Университета

Тохоку, Япония, и ведущий автор статьи. "Наблюдения показали, что химический состав материалов, образующих звезды и планеты, гораздо более разнообразен, чем мы ожидали." Известно, что в горячих молекулярных ядрах нашей Галактики обнаружены различные сложные органические молекулы, которые имеют связь с пребиотическими молекулами, образовавшимися в космосе. Однако пока неясно, существуют ли такие большие и сложные молекулы в горячих молекулярных ядрах в других галактиках.



2016г 11 октября на интернет-сайте Центра малых планет Международного астрономического союза появилось сообщение об обнаружении новой карликовой планеты 2014 UZ224 в Солнечной системе.

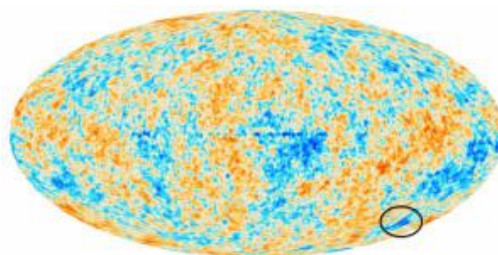
Команда исследователей из Мичиганского университета (США) в рамках проекта Pan-STARRS на снимках, полученных 19 августа 2014 года посредством камеры DECam телескопа имени Виктора Бланко в обсерватории Серро-Тололо в Чили, открыла карликовую планету размером примерно 650 км, которая расположена за орбитой Нептуна на расстоянии около 91,6 а. е. Период обращения по вытянутой орбите (38—180 а. е.) вокруг Солнца составляет 1136 лет.

Эти наблюдения были проведены командой ученых под руководством физика Дэвида Гердеса (David Gerdes). Он сказал, что заслуга открытия планеты на самом деле принадлежит группе студентов, перед которой была поставлена задача поиска новых объектов для нанесения на формируемую в настоящее время карту галактики. Эти усилия привели к созданию программного обеспечения, которое может быть использовано для анализа снимков, полученных при помощи инструмента наблюдения под названием Dark Energy Camera. Этот инструмент осуществляет поиски объектов, движущихся в границах любого наперед заданного участка неба – что является несомненным признаком того, что объекты принадлежат нашей Солнечной системе.

Программное обеспечение, разработанное исследователями, позволяет следить за движущимися объектами, не осуществляя их съемку много ночей подряд, при помощи специального алгоритма, позволяющего «соединять точки», обнаруживая движение в ночном небе. Однако работа по обнаружению движущихся объектов при помощи этой программы продвигается довольно медленно – например, для идентификации этой новой карликовой планеты ученым потребовалось

два года времени (отсюда число 2014 в названии этой карликовой планеты). Команда Гердеса также считает, что разработанная ими программа поможет обнаружить таинственную Планету 9, существование которой предсказывается, исходя из эффектов воздействия гипотетической планеты на другие объекты нашей планетной системы.

В настоящее время 2014 UZ224 является третьим по удаленности объектом Солнечной системы после Эриды (96,2 а. е.) и V774104 (~ 103 а. е.). 2012 VP113 в 2014 году находился на расстоянии 83 а. е. от Солнца, 2013 FY27 — на расстоянии 80 а. е. от Солнца.



2016г Команда астрофизиков из Университета Портсмута создала самую большую в истории карту пустот и сверхскоплений во Вселенной, которая помогает разгадать давнюю космологическую загадку.

Карта положения космических пустот - больших пустых пространств (войдов), содержащих относительно мало галактик, и сверхскоплений - огромных областей с гораздо большим количеством галактик, чем обычно, - может быть использована для измерения эффекта "растяжения" Вселенной темной энергией.

Полученные результаты подтверждают предсказания теории гравитации Эйнштейна.

Ведущий автор доктор Сешадри Надатур из Института космологии и гравитации Университета сказал: "Мы использовали новую технику, чтобы очень точно измерить влияние, которое эти структуры оказывают на фотоны космического микроволнового фона (СМВ) - свет, оставшийся вскоре после Большого взрыва, - проходящие через них.

"Свет от реликтового излучения проходит через такие пустоты и сверхскопления на своем пути к нам. Согласно Общей теории относительности Эйнштейна, эффект растяжения темной энергии вызывает незначительное изменение температуры реликтового излучения в зависимости от того, откуда оно пришло. Фотоны света, проходящие через пустоты, должны казаться немного холоднее, чем обычно, а фотоны, прибывающие из сверхскоплений, должны казаться немного горячее".

Это известно как интегрированный эффект Сакса-Волфа (ISW).

"Когда этот эффект был изучен астрономами из Гавайского университета в 2008 году с использованием более старого каталога пустот и сверхскоплений, эффект, казалось, был в пять раз больше, чем прогнозировалось. Это долгое время озадачивало ученых, поэтому мы снова посмотрели на это с новыми данными".

Для создания карты пустот и сверхскоплений команда Портсмута использовала более трех четвертей миллиона галактик, идентифицированных

Sloan Digital Sky Survey. Это дало им каталог структур, более чем в 300 раз больший, чем тот, который использовался ранее.

Затем ученые использовали масштабное компьютерное моделирование Вселенной, чтобы предсказать размер эффекта ISW. Поскольку эффект настолько мал, команде пришлось разработать новый мощный статистический метод, чтобы иметь возможность измерять данные CMB.

Они применили этот метод к данным реликтового излучения со спутника "Планк" (2009-2013) и смогли очень точно измерить эффект ISW пустот и сверхскоплений. В отличие от предыдущей работы, они обнаружили, что новый результат чрезвычайно хорошо согласуется с предсказаниями, использующими гравитацию Эйнштейна.

Доктор Надатур сказал: "Наши результаты разрешают одну давнюю космологическую загадку, но это углубило тайну очень необычного "Холодного пятна" в CMB. Она находится в созвездии южного полушария Эридан и имеет радиус примерно 5° . Холодное пятно было впервые обнаружено в 2001 году при помощи космического телескопа WMAP.

"Было высказано предположение, что Холодное пятно может быть вызвано эффектом ISW гигантского "суперзвезды", который был замечен в этой области неба. Но если гравитация Эйнштейна верна, супервид недостаточно велик, чтобы объяснить Холодное пятно. Реликтовое излучение, или микроволновое фоновое излучение Вселенной, является остатками Большого взрыва и охватывает всё наблюдаемое небо. Это фоновое излучение нашего мира с температурой $2,73$ градуса выше абсолютного нуля (или $-270,43$ градуса Цельсия) демонстрирует ряд аномалий, включая так называемое Холодное пятно. Эта область пространства, внутри которой температура примерно на $0,00015$ градуса ниже, чем в смежных с ней областях.

"Считалось, что существует какой-то экзотический гравитационный эффект, противоречащий Эйнштейну, который одновременно объяснил бы как Холодное пятно, так и необычные результаты ISW с Гавайев.

О новой карте можно прочитать 11 октября 2016 года в журнале *The Astrophysical Journal Letters*.

Однако в новой работе апреля 2017 года команда ученых из Даремского университета представила результаты обзора красных смещений 7000 галактик, проведенного при помощи Англо-Австралийского телескопа. Эти данные, имеющие высокую надежность, показали, что признаков сверхпустоты, способной объяснить происхождение Холодного пятна, на самом деле не наблюдается. Таким образом, формирование Холодного пятна не может быть связано со сверхпустотой, приходят к выводу авторы статьи.

В статье от 30.10.2017 года на сайте ЭЛЕМЕНТЫ "Как объяснить загадочное холодное пятно реликтового излучения".

2016г 11 октября 2016 года принята к публикации в журнале *Astrophysical Journal* (ознакомиться с ее текстом можно на сайте [ArXiv.org](http://arxiv.org)), что международная команда

астрономов пришла к выводу - наблюдаемая Вселенная содержит не менее двух триллионов галактик. Это приблизительно в десять раз больше, чем считалось ранее.

Астрономы, используя данные, полученные при помощи космического телескопа НАСА/ЕКА «Хаббл» (Hubble) и других телескопов, провели аккуратный подсчет числа галактик во Вселенной.

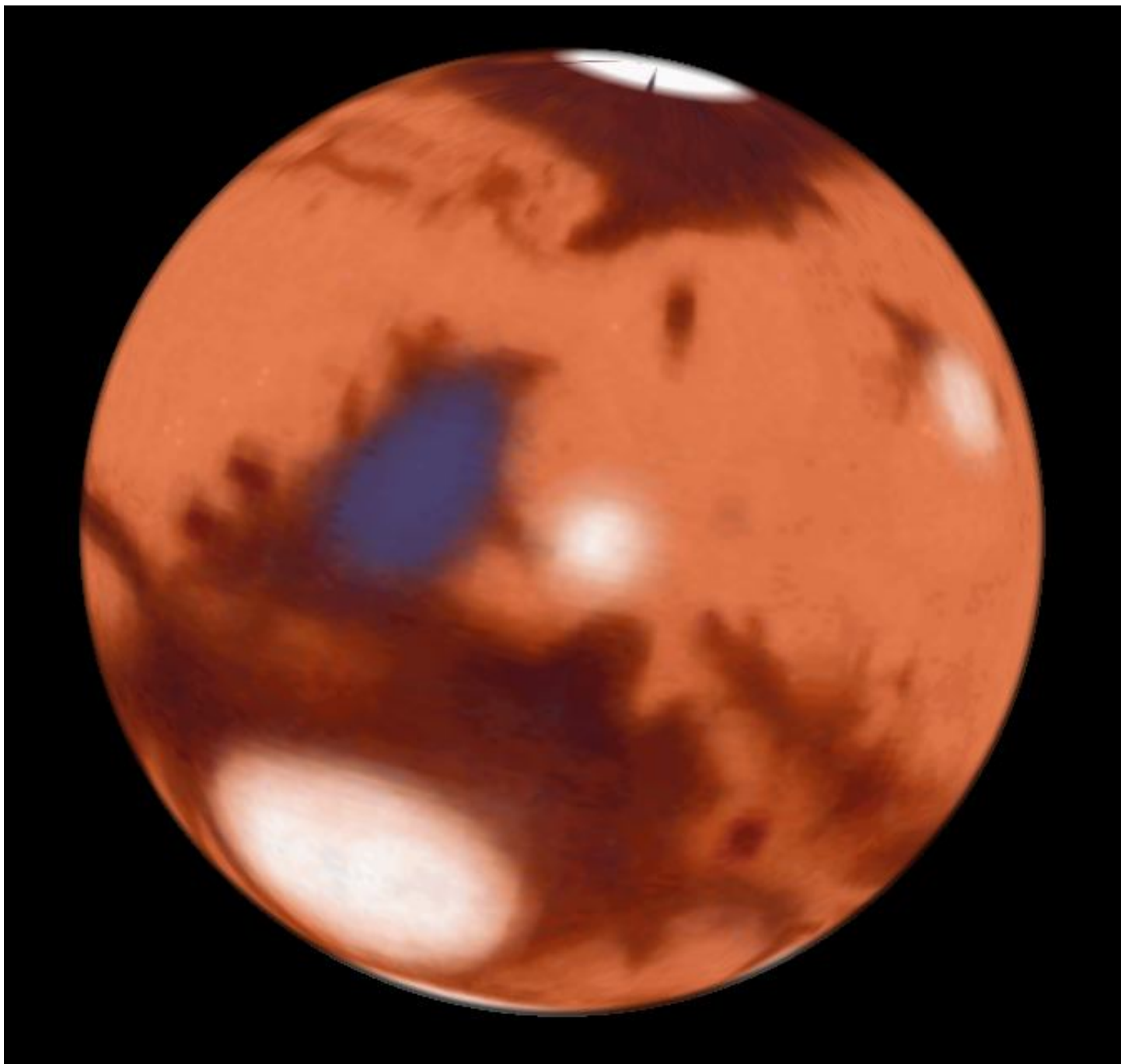
Снимки Hubble Deep Field, полученные в середине 90-х гг. 20-го столетия, позволили оценить количество галактик во Вселенной, которое в то время было принято равным примерно 100 миллиардам галактик. Теперь международная команда астрономов во главе с Кристофером Конселиче (Christopher Conselice) из Ноттингемского университета, Соединенное Королевство, показала, что эта цифра может быть занижена как минимум в 10 раз.



Конселиче и его команда пришли к этим выводам, изучив снимки далеких областей Вселенной, сделанные «Хабблом»; данные, полученные этой научной командой в предыдущем исследовании, и другие опубликованные ранее научные данные. Ученые конвертировали эти снимки в трехмерные изображения, чтобы произвести точные измерения числа галактик в разные эпохи существования Вселенной. Кроме того, исследователи использовали в своей работе новые математические модели, позволившие выявить существование галактик, которые невозможно наблюдать при помощи текущего поколения телескопов.

Ещё одним важным выводом из этой работы является разрешение так называемого парадокса Ольберса, или фотометрического парадокса, в котором противопоставляются между собой огромная суммарная светимость источников излучения, покрывающих собой почти всё наблюдаемое ночное небо, и темный вид этого неба. Разрешение этого парадокса, согласно команде Конселиче, состоит в том, что, несмотря на то, что в ранней Вселенной плотность распределения галактик была очень высока, и поэтому они покрывают собой почти все видимое небо, однако они остаются невидимыми для современных телескопов из-за комбинации следующих факторов: красного смещения света, динамической природы Вселенной и поглощения света межгалактическими пылью и газом.

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



Избранные астрономические события месяца (время всемирное - UT)

3 января - Луна ($\Phi = 0,16+$) близ Венеры,
4 января - максимум действия метеорного
потока Квадрантиды ($ZHR = 120$) из созвездия
Волпаса,
4 января - Земля в перигелии своей орбиты на
расстоянии 0,9833274 а.е. от Солнца,

4 января - покрытие Сатурна Луной ($\Phi = 0,25+$) при видимости на Европейской части
России,
5 января - покрытие Луной ($\Phi = 0,34+$)
Нептуна при видимости на севере Европейской
части России,

5 января - Луна ($\Phi = 0,37+$) в восходящем узле своей орбиты,
6 января - Луна в фазе первой четверти,
7 января - Луна ($\Phi = 0,61+$) в перигее своей орбиты на расстоянии 370173 км от центра Земли,
9 января - Луна ($\Phi = 0,74+$) близ Урана,
10 января - Венера в максимальной восточной (вечерней) элонгации 47 градусов,
10 января - Луна ($\Phi = 0,82+$) проходит южнее рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в Северной Америке и Африке),
10 января - Луна ($\Phi = 0,89+$) близ Юпитера,
12 января - максимальная южная либрация Луны по широте $6,6^\circ$,
12 января - Луна ($\Phi = 0,97+$) проходит точку максимального склонения к северу от небесного экватора,
12 января - Марс на минимальном расстоянии от Земли 0,642 а.е.,
13 января - полнолуние,
14 января - максимальная восточная либрация Луны по долготе $5,2^\circ$,
14 января - Луна в полнолуние близ Марса (покрытие при видимости в Северной Америке и Африке),
14 января - Луна ($\Phi = 0,99-$) проходит севернее рассеянного звездного скопления Ясли (M44),
16 января - Марс в противостоянии с Солнцем,
16 января - Луна ($\Phi = 0,92-$) близ Регула,
19 января - Луна ($\Phi = 0,75-$) в нисходящем узле своей орбиты,
19 января - Венера проходит в 2 градусах севернее Сатурна,
21 января - Луна ($\Phi = 0,56-$) близ Спика (покрытие при видимости в Африке),
21 января - Луна ($\Phi = 0,56-$) в апогее своей орбиты на расстоянии 404299 км от центра Земли,
21 января - Луна в фазе последней четверти,
25 января - покрытие Луной ($\Phi = 0,21-$) Антареса (при видимости в акватории Индийского океана),
26 января - максимальная северная либрация Луны по широте $6,6^\circ$,
26 января - Луна ($\Phi = 0,1-$) проходит точку максимального склонения к югу от небесного экватора,
27 января - максимальная западная либрация Луны по долготе $5,6^\circ$,
28 января - Луна ($\Phi = 0,01-$) близ Меркурия,
29 января - новолуние,
30 января - Уран в стоянии с переходом к прямому движению.

Солнце (находясь близ перигелия своей орбиты) движется по созвездию Стрельца до 19 января, а затем переходит в созвездие Козерога. Склонение центрального светила постепенно растет, а

продолжительность дня увеличивается, достигая к концу месяца 8 часов 32 минут на **широте Москвы**. Полуденная высота Солнца за месяц на этой широте увеличится с 11 до 17 градусов. Январь - не лучший месяц для наблюдений Солнца, тем не менее, наблюдать новые образования на поверхности дневного светила можно в телескоп или бинокль. **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 января в созвездии Стрельца свой путь по небу при фазе 0,01+. 1 января тонкий лунный серп перейдет в созвездие Козерога. Здесь 2 января лунный серп при фазе 0,06+ пройдет севернее Цереры, а 3 января при фазе 0,14+ перейдет в созвездие Водолея, где в этот же день пройдет южнее Венеры при фазе 0,16+. 4 января Луна ($\Phi = 0,25+$) покроет Сатурн при видимости на Европейской части России. 5 января Луна перейдет в созвездие Рыб и при фазе 0,34+ покроет Нептун при видимости на севере Европейской части России. В созвездии Рыб Луна примет фазу первой четверти 6 января, а 7 января при фазе 0,6+ перейдет в созвездие Овна. Здесь 8 января лунный овал при фазе 0,74+ пройдет севернее Урана и перейдет в созвездие Тельца. 10 января Луна ($\Phi = 0,82+$) пройдет южнее рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в Северной Америке и Африке). В этот же лунный овал ($\Phi = 0,9+$) будет наблюдаться севернее Альдебарана и Юпитера. 12 января Луна ($\Phi = 0,96+$) перейдет в созвездие Близнецов, где 13 января примет фазу полнолуния. 14 января яркий лунный диск покроет Марс при видимости в Северной Америке и Африке. В этот же день Луна перейдет в созвездие Рака и будет наблюдаться ($\Phi = 0,99-$) близ рассеянного звездного скопления Ясли (M44). 15 января при фазе 0,96- Луна перейдет в созвездие Льва, где 16 января при фазе 0,92- пройдет близ Регула. 18 января лунный овал ($\Phi = 0,78-$) вступит в созвездие Девы, где 21 января при фазе 0,56- покроет Спика при видимости в Африке. В созвездии Девы Луна примет фазу последней четверти 21 января, а на следующий день при фазе 0,44- перейдет в созвездие Весов. Здесь ночное светило пробудет до 24 января, когда при фазе 0,28- достигнет созвездия Скорпиона. В этом созвездии 25 января Луна ($\Phi = 0,21-$) покроет Антарес при видимости в акватории Индийского океана. В этот же день лунный серп ($\Phi = 0,18-$) перейдет в созвездие Змееносца, а 26 января - в созвездие Стрельца уже при фазе 0,12-. 28 января тонкий лунный серп ($\Phi = 0,01-$) перейдет в созвездие Козерога, где в этот же день пройдет южнее Меркурия. 29 января Луна примет здесь фазу новолуния, а 30 января вступит в созвездие Водолея уже на вечернем небе. В этом созвездии Луна закончит свой путь по небу января при фазе 0,08+ близ Сатурна, который покроет уже в феврале.

Большие планеты Солнечной системы.
Меркурий движется в одном направлении с Солнцем по созвездию Змееносца, 5 января переходя в созвездие Стрельца, а 27 января - в созвездие Козерога. 28 января близ Меркурия пройдет Луна. Быстрая планета видна на утреннем небе, уменьшая элонгацию от 21 до 7 градусов к западу от Солнца. Блеск Меркурия за месяц увеличивается от $-0,4m$ до $-0,9m$. Видимый диаметр Меркурия уменьшается от 6 до 5 угловых секунд. Фаза планеты увеличивается от 0,75 до 0,98 к концу месяца. В телескоп виден небольшой овал, переходящий в диск.

Венера движется в одном направлении с Солнцем по созвездию Водолея, 23 января переходя в созвездие Рыб. Планета находится на вечернем небе. 3 января близ Венеры пройдет Луна. Угловое расстояние планеты от Солнца составляет около 47 градусов к востоку от Солнца при максимальной вечерней элонгации 10 января. Видимый диаметр планеты составляет 22 - 32", а фаза изменяется от 0,6 до 0,4 при максимальном блеске $-4,7m$. В телескоп наблюдается небольшой полудиск без деталей.

Марс перемещается попятно по созвездию Рака близ рассеянного звездного скопления Ясли (M44). 13 января планета перейдет в созвездие Близнецов, а 16 января вступит в противостояние с Солнцем. Загадочную планету можно найти на ночном небе. 14 января близ Марса пройдет Луна (покрытие). Блеск Марса увеличивается от $-1m$ до $-1,4m$, а видимый диаметр превышает 14 секунд дуги. В телескоп наблюдается диск с деталями на поверхности планеты. Зимний период отличается лучшей видимостью планеты, позволяющей получать хорошие фотографии и зарисовки Марса.

Юпитер перемещается попятно по созвездию Тельца. Газовый гигант наблюдается на вечернем и ночном небе. 10 января близ Юпитера пройдет Луна. Угловой диаметр самой большой планеты Солнечной системы составляет 47 - 43" при блеске около $-2,5m$. 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 Водолея. Окольцованную планету можно наблюдать по вечерам. 4 января Сатурн покрывается Луной. Блеск планеты составляет около $+1m$ при видимом диаметре около 16". В небольшой телескоп можно наблюдать кольцо и спутник Титан, а также другие наиболее яркие спутники. Видимый наклон колец Сатурна составляет около 4 градусов.

Уран ($6m, 3,5''$) перемещается попятно (30 января меняя движение на прямое) по созвездию Овна южнее звездного скопления Плеяды. Планета видна вечером и ночью. 9 января близ Урана пройдет Луна. Увидеть диск Урана 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 наблюдается по вечерам. 5 января Нептун покрывается Луной. 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 $10m$ и ярче будут иметь, по крайней мере, две кометы: Tsuchinshan-ATLAS (C/2023 A3) и Helfenzrieder (D/1766 G1). Первая при максимальном расчетном блеске около $10m$ движется по созвездию Орла. Вторая перемещается по созвездиям Водолея, Рыб и Кита 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 $7,5m$. 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 4 января максимума действия достигнут Квадрантиды (ZHR=120) из созвездия Волопаса. Луна в период максимума этого потока близка к первой четверти и создаст некоторые помехи для наблюдений этого метеорного потока. Подробнее на <http://www.imo.net>.

Дополнительно в АК_2025 - <https://www.astronet.ru/db/msg/1942896>

Ясного неба и успешных наблюдений!

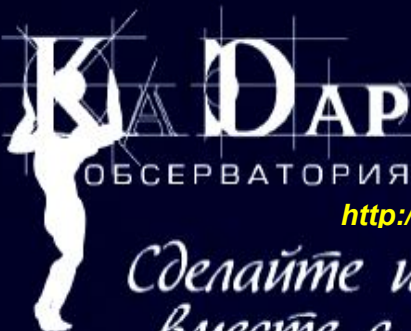
Оперативные сведения о небесных телах и явлениях всегда можно найти на <http://www.astronomy.ru/forum/index.php> Эфемериды планет, комет и астероидов, а также карты видимых путей по небесной сфере имеются в **Календаре наблюдателя № 01 за 2025 год** <http://www.astronet.ru/db/news/>

Календарь наблюдателя 01 - 2025

Астротоп 100 России

Народный рейтинг астрокосмических сайтов

<http://astrotop.ru>



КА ДАР
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>

Главная любительская обсерватория России
всегда готова предоставить свои телескопы
любителям астрономии!



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

Персеиды над Стоунхенджем

