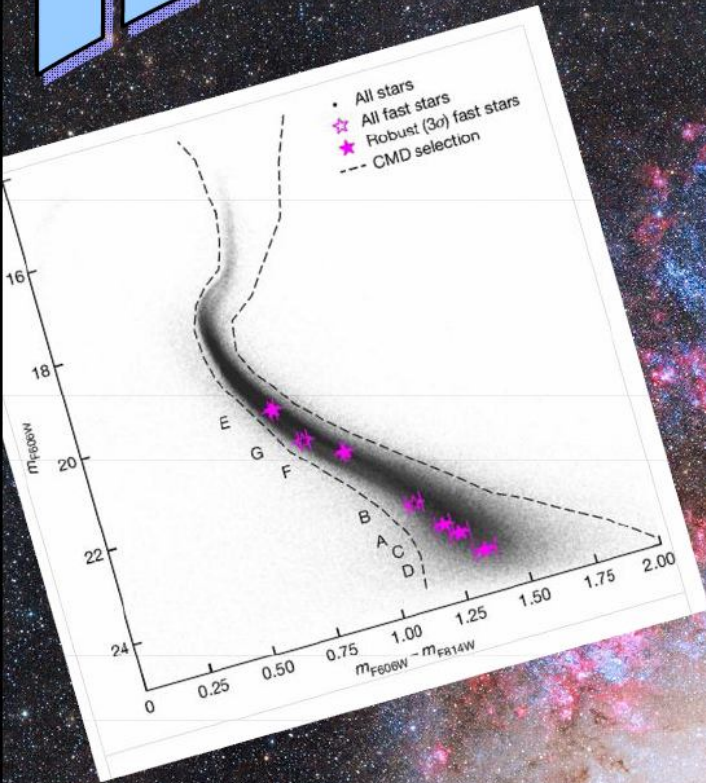


НЕБОСВОДА



Черная дыра
промежуточной массы

12`24
декабрь

Небесный курьер (новости астрономии)

История астрономии 21 века Небо над нами: ДЕКАБРЬ - 2024



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 декабрь 2024 года <http://www.astronet.ru/db/news/>



<http://astronet.ru>



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



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



<http://www.vokrugsveta.ru>



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

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

<http://www.astrogalaxy.ru>

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

<http://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>



Уважаемые любители астрономии!

В ясные ночи декабря можно совершать увлекательные путешествия по звездному небу. «Подлинная красота туманности Ориона открывается 150-мм инструменту достаточно редко, в жутко ледяные, но особо прозрачные ночи, когда трескучая стужа, казалось бы, готова заморозить, остановить даже сам небосвод. Тогда широкоугольный окуляр, дающий небольшое увеличение раскроет туманность чуть ли не с фотографической красотой. Боковым зрением становятся заметны эти прекрасные арки струящегося газа, их которых самая длинная загибается к самой нижней звезде Меча - ι Ориона. Слабый отблеск этой дуги у ι Ориона имеет собственное обозначение по Дрейеру - NGC 1980. Сама же звезда - это не отдельная звезда, а главный член рассеянного скопления Cr 72 - очередного прекрасного <ювелирного> образчика. Вряд ли случайно несколько пар двойных и кратных звездочек спроецировались в этом месте. Опять перед нами очередной пример того, как один культовый объект может затмить своим величием все остальные, находящиеся поблизости. Так что потаенные сокровища стоит искать не только в густом воздухе у южного горизонта, но и возле своих <закадычных знакомых> - объектов, казалось бы, изъезженных вдоль и поперек. Что ж, на этом закончился Меч, но не закончился Шамтур Ориона. Следующим и уже последним объектом в нем является крохотная туманность NGC 1999. По своей сути она является отражательной и подсвечивается очень молодой звездой, еще не вошедшей в фазу стабильного существования - V 380. Эта звездочка настолько юна, что еще не развела мощным потоком излучения тот газопылевой кокон, из которого вылупилась. В центральной части свечения этот пылевой мешок проецируется черным пятнышком, поэтому У. Гершель, открывший объект, причислил его к планетарным туманностям. Темное пылевое облачко есть ни что иное, как <глобула Бока> - насыщенный сгусток холодного газа и пыли, являющихся строительным материалом для новых звезд.» Полностью статью можно прочитать в декабрьском номере журнала «Небосвод» за 2008 год. Не смотря на давность публикации, она актуальна и сейчас.

Ясного неба и успешных наблюдений!

Содержание

4 Небесный курьер (новости астрономии)

Черная дыра промежуточной массы

Алексей Левин

6 Гипотеза о циклической Вселенной

получила наблюдательную

поддержку

Николай Горькавый

20 История астрономии 21 века

Анатолий Максименко

22 Небо над нами: ДЕКАБРЬ - 2024

Обложка: Комета Цыцзиньшань-ATLAS над Мексикой

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

Новая комета прошла ближайшую к Солнцу точку на орбите и сейчас приближается к Земле. Комета C/2023 A3 (Цыцзиньшань-ATLAS) выходит из области внутри орбиты Венеры, наиболее тесное сближение с Землей произойдет через две недели. Яркость кометы Цыцзиньшань-ATLAS находится на границе видимости невооруженным глазом, ее изображения можно легко получить камерой с длинной экспозицией. Сейчас комету можно наблюдать из северного и южного полушарий Земли. Это изображение было получено несколько дней назад из Закатекаса в Мексике. Большая часть предрассветного неба была покрыта облаками, поэтому астрофотограф запустил дрон, чтобы получить изображения с высоты. Несколько кадров были объединены, чтобы улучшить видимость кометы. Яркость комет трудно предсказать, однако есть надежда, что комета Цыцзиньшань-ATLAS будет продолжать ярчать, перемещаясь на вечернее небо.

Авторы и права: [Даниэль Корона](#)

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>

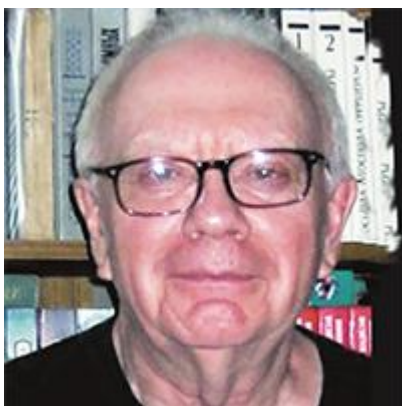
Сверстано в 2024 году

© Небосвод, 2024

Черная дыра промежуточной массы

«Троицкий вариант — Наука» №14(408), 16 июля 2024 года

Оригинал статьи на сайте «Троицкого варианта» <https://www.trv-science.ru/2024/07/chernaya-dyra-promezhutochnoj-massy/>



Алексей Левин

Международный коллектив астрофизиков подтвердил выдвинутую шестнадцать лет назад гипотезу о существовании черной дыры промежуточной массы в центре самого массивного звездного шарового скопления в нашей галактике ω Центавра, также известного под обозначением NGC 5139.

Черные дыры настолько известны, что вряд ли стоит рассказывать об их теоретическом предсказании, реальном открытии (точнее, открытиях), методах наблюдения и физической природе. Отмечу только, что сейчас точно установлено существование двух семейств черных дыр, чьи массы либо лежат в интервале приблизительно от 3–5 до 150–180 солнечных, либо измеряются миллионами и даже миллиардами масс Солнца. Черные дыры первой группы рождаются после гибели звезд с начальными массами не менее 20 солнечных, которые полностью сжигают свое термоядерное топливо и претерпевают гравитационный коллапс. Эта судьба ожидает в среднем лишь одну-две звезды главной последовательности из тысячи, поскольку остальные при рождении имеют меньшие массы. Черные дыры второго семейства, которые принято называть сверхмассивными, содержатся в ядрах абсолютного большинства галактик, включая и Млечный Путь. Хотя сценарии их формирования пока недостаточно изучены, принято считать, что они появляются из зародышевых черных дыр меньшей массы, которые постепенно растут как в результате аккреции газа и пыли из прилегающих областей галактических ядер, так и в процессе столкновений с другими черными дырами и/или нейтронными звездами. Стоит отметить, что в последние годы такие столкновения удалось зарегистрировать с помощью американского детектора гравитационных волн LIGO, его европейского партнера Virgo и японского детектора KAGRA.

Огромный разрыв между массами послезвездных и сверхмассивных черных дыр уже давно вызвал к жизни гипотезу о существовании дыр с промежуточными массами, лежащими в диапазоне 100–100 000 солнц. Хотя она выглядит совершенно естественной и в каком-то смысле даже необходимой, в ее пользу пока что не накопилось достаточного количества данных наблюдений. Первым таким подтверждением стало гравитационно-волновое детектирование столкновений и слияний черных дыр с массами 105,5 и 57,2 солнечной, о котором было объявлено в 2020 году. В результате возникла черная дыра с массой порядка 150 солнечных, что лежит у нижней границы предполагаемого диапазона промежуточных масс. Позднее тем же способом удалось зарегистрировать еще несколько подобных слияний, которые закончились рождением дыр с близкими по величине массами. Кроме того, в последние годы методами звездной астрометрии и рентгеновской астрономии были найдены кандидаты в черные дыры с массами в десятки тысяч солнечных, лежащими недалеко от верхней границы этого диапазона. Эти результаты очень важны, но пока, к сожалению, весьма малочисленны.

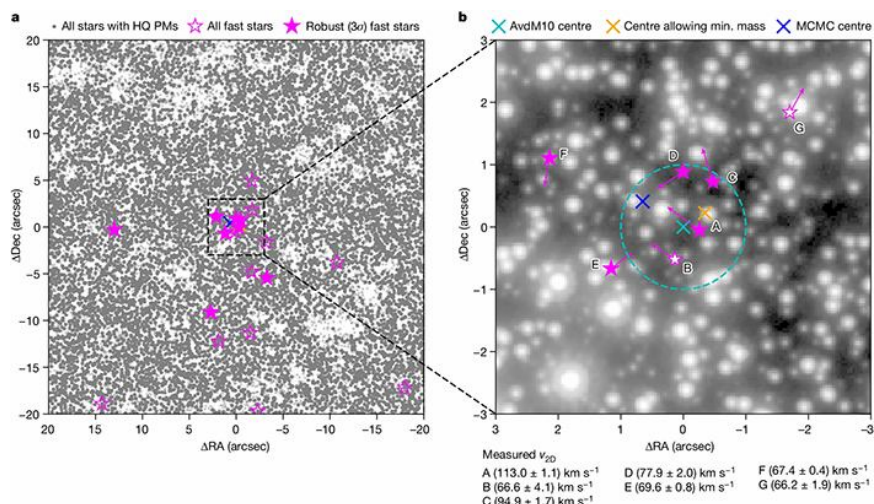


Рис. 1. Расположение быстродвижущихся звезд
 а. Сплошные серые маркеры обозначают звезды с высококачественными (HQ) измерениями собственного движения в новом каталоге в пределах области 40"×40" с центром в AvdM10. Розовым цветом отмечены звезды (качественные данные) со скоростями, превышающими скорость убегания в скоплении (62 км/с), лежащие на главной последовательности скопления на диаграмме цвет — величина звезд ω Центавра (рис. 2). У закрашенных маркером звезд скорость превышает скорость убегания с достоверностью минимум 3 σ (в отличие от незакрашенных маркером), у прочих звезд скорость не превышает скорость убегания.
 б. Итоговое изображение внутренней области ω Центавра с использованием всех наблюдений. Отмечены быстродвижущиеся звезды и направления их движения¹

Глобулярный кластер ω Центавра считается весьма перспективным потенциальным вместилищем черной дыры промежуточной массы. От Солнца его отделяет сравнительно небольшое расстояние —

5,43 кпк, или чуть больше 17 тыс. световых лет. Он виден с Земли невооруженным глазом и потому в качестве звезды был известен античным астрономам, включая Клавдия Птолемея. Этого статуса он лишился только в XVII столетии, а в 1826 году шотландский астроном Джон Данлоп впервые описал его как шаровое звездное скопление, или глобуляр.

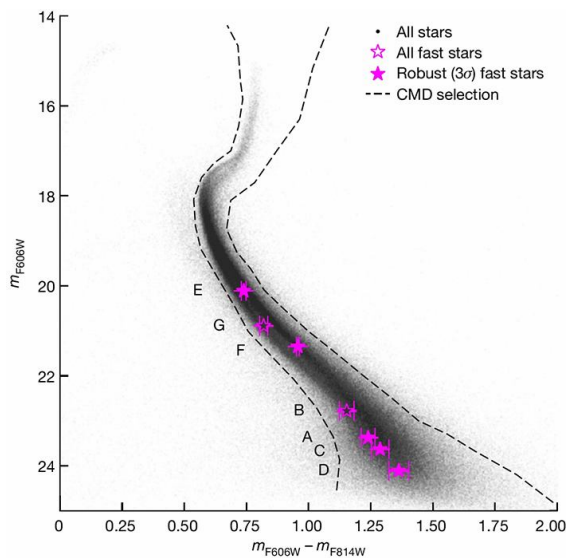


Рис. 2. Диаграмма цвет — величина звезд ω Центавра. Положение всех быстродвижущихся звезд отмечено розовыми значками, а их фотометрические ошибки 1σ — соответствующими отрезками. Все они находятся на главной последовательности, это указывает на то, что они, вероятно, входят в состав ω Центавра. У звезд проставлены обозначения от A до G, они отсортированы по расстоянию до центра $A\nu d M 101$

Этот кластер довольно необычен. При диаметре 150 световых лет он содержит около 10 млн звезд с общей массой примерно 4 млн солнечных, что на порядок превышает типичные массы других крупных шаровых скоплений. Его звездное население начало формироваться 12 млрд лет назад и закончило этот процесс только спустя 2 млрд лет. Так что звезды этого глобуляра имеют разный возраст и к тому же отличаются по типу и химическому составу. В этом отношении он тоже выделяется из абсолютного большинства известных шаровых скоплений, которые состоят из близких по составу звезд-ровесниц.

Эти аномалии позволяют предположить, что в далеком прошлом NGC 1539 был карликовой галактикой, которая со временем попала в гравитационный плен Млечного Пути. Согласно этому допущению, в своем прежнем качестве он мог содержать центральную черную дыру, которая вместе с ним перекочевала в нашу Галактику. В силу той же логики, благодаря карликовости этой галактики дыра могла не дорасти до сверхмассивности и задержаться на уровне промежуточной массы.

Первое подтверждение этой гипотезы появилось в 2008 году. Его опубликовали трое астрономов из ФРГ и США, которые работали с информацией, полученной в ходе наблюдений на орбитальном телескопе «Хаббл» и расположенном в Чили телескопе Gemini South. Анализируя спектральные характеристики и движение звезд в центре кластера, Ева Нойола и ее коллеги пришли к заключению, что там может находиться черная дыра с массой порядка

40 тыс. солнц. Однако два года спустя их выводы были поставлены под сомнение сотрудниками Института исследований космоса с помощью космического телескопа в Балтиморе Джейм Андерсоном и Роландом ван дер Марелом. Они не опровергли самого существования черной дыры в кластере NGC 1539, однако снизили ее возможную массу до 12 тыс. солнечных. Так что вопрос в конечном счете остался открытым.

Теперь перейдем к новой публикации в Nature. Ее авторы проанализировали кинематику 150 тыс. звезд этого кластера, используя двадцатилетний архив данных телескопа «Хаббл» и обнаружили семерку звезд с аномально высокими скоростями, расположенных в пределах трех угловых секунд, или 0,08 пк, от центра кластера. Полученная из вычислений двумерная скорость разбегания звезд центра кластера (т. е. проекция физической скорости на плоскость, перпендикулярную направлению на Солнце) составляет 62 км/с, в то время как для быстрейшей из выделенных светил этот показатель равен 113 км/с. При таких скоростях они должны были бы покинуть центр кластера всего за тысячу лет, а затем и вообще уйти в открытый космос, поскольку тяготение звездного населения кластера не могло бы их удержать. Авторы статьи интерпретировали этот результат как свидетельство в пользу наличия в центре кластера черной дыры, создающей дополнительное притяжение, препятствующее разбеганию этих звезд. Используя данные о кинематике пяти звезд, чьи движения были прослежены с особой надежностью, ученые заключили, что масса дыры не может быть меньше 8200 солнечных. Если учесть оценку Андерсона и ван дер Марела, получится, что речь должна идти о долгожданной дыре промежуточной массы. Если она действительно существует, ее придется считать ближайшей к Земле массивной черной дырой — конечно, пока не появятся другие претенденты на этот титул.

Конечно, это еще не конец истории. Хотя плотность газа внутри кластера ω Центавра и невелика, он должен нагреваться в ходе аккреции на черную дыру и тем самым выдавать ее присутствие своим тепловым излучением. Поиск этого излучения уже запланирован на космическом телескопе «Джеймс Уэбб» (JWST). Предстоит также собрать данные о трехмерных скоростях звезд вблизи центра кластера, что позволит улучшить количественное моделирование их динамики. Для этого понадобятся новые измерительные комплексы, которые предстоит установить на будущих наземных супертелескопах.

Однако начало этим исследованиям уже положено, и они обещают интересные результаты. Если существование дыры в кластере NGC 1539 подтвердится, возникнет вопрос о наличии дыр промежуточной массы в центрах других крупных глобуляров, не являющихся потомками карликовых галактик. В общем, впереди еще много работы.

1 Maximilian Häberle et al. Fast-moving stars around an intermediate-mass black hole in ω Centauri. Nature, Vol. 631, 11 July 2024, 285–288. звезды и белые карлики различаются по спектру рентгеновских вспышек

Алексей Левин

https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/437170/Troitskiy_variant_Nauka_14_408_16_izulya_2024_goda

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

Гипотеза о циклической Вселенной получила наблюдательную поддержку

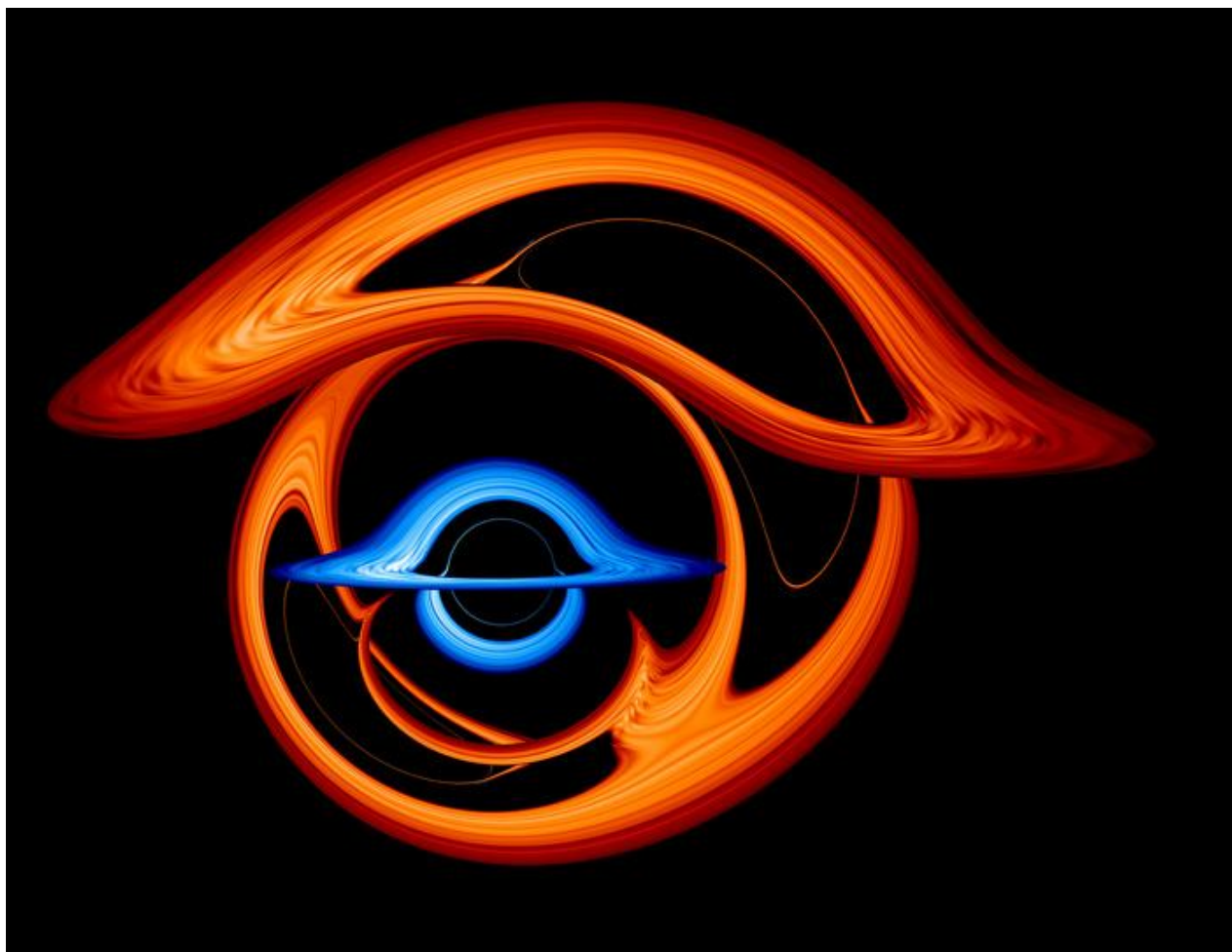


Рис. 1. Искривленное пространство перепутывает свет возле пары сверхмассивных дыр, каждая из которых окружена аккреционным диском своего цвета. Рисунок с сайта svs.gsfc.nasa.gov

Не так уж часто бывает, что две конкурирующие гипотезы сосуществуют десятки лет, сменяя друг друга в борьбе за звание общепринятой. Именно такая ситуация сложилась в космологии, начиная с середины XX века. Сначала главенствовала гипотеза о том, что эволюция нашей Вселенной устроена циклически — за Большим взрывом следует стадия расширения, в ходе которой формируются звезды и галактики (а иногда где-то возникает и жизнь), сменяющаяся сжатием, вслед за которым следует коллапс — и новый цикл. К концу 1970-х годов перед этой гипотезой стоял длинный список вопросов, на которые она не могла ответить. И на смену пришла гипотеза «одноразовой» инфляции, захватившая первенство примерно на 20 лет. Но к концу XX века уже она столкнулась с многочисленными проблемами — например, с открытием ускоренного расширения Вселенной.

Параллельно копились работы с косвенными аргументами в пользу циклической Вселенной. В начале 2024 года вышли еще две такие статьи. Первая посвящена открытию анизотропии в распределении фонового гамма-излучения: оно имеет дипольную структуру, но ориентировано не так, как диполь реликтового излучения. Во второй статье описано открытие чрезвычайно тусклого, но достаточно массивного спутника Млечного Пути, меняющее представления о распределении черных дыр в гало галактик. Оба результата изящно вписываются в картину мира, которую рисуют космологи в рамках гипотезы о циклической Вселенной.

Ни в одной области науки, кроме космологии, нет такого количества произвольных и заведомо ошибочных теорий, сосуществующих во времени с правильной теорией.

Я. Б. Зельдович

Введение

В начале этого года вышли сразу две важные для космологии работы. Сенсационная статья о гамма-диполе была опубликована космологом Александром Кашлинским (Alexander Kashlinsky) с соавторами 10 января 2024 года в журнале *The Astrophysical Journal Letters*. Это открытие было неожиданным, потому что авторы искали совсем не то и не там. Они, фактически, проверяли факт изотропности Вселенной, который мало кто осмеливается оспаривать. В современной космологической парадигме самым сильным доказательством этой изотропности является равномерность распределения реликтового микроволнового излучения по небосводу. В модели изотропной Вселенной допускается только одна глобальная неоднородность — дипольная, связанная с движением Земли сквозь это тепловое излучение. Скорость этого движения мала по сравнению со скоростью света, поэтому и величина дипольной анизотропии всего $\sim 0,1\%$. Когда этот диполь вычитается из данных по реликтовому излучению, то там остаются флуктуации на микроскопическом уровне 10^{-5} .

Группа, возглавляемая А. Кашлинским, решила получить диполь фонового гамма-квантового излучения в интервале энергий от 2,74 до 115 ГэВ по данным космического гамма-телескопа Fermi. Если движение Земли является единственным источником глобальной анизотропии в космосе, то направление и величина гамма-диполя должны совпадать с параметрами диполя реликтового излучения. Но анализ показал, что диполь фона гамма-квантов оказался смещен от диполя реликтового излучения настолько, что, в галактических координатах, из северного полушария он перекочевал в южное (рис. 2). Амплитуда его оказалась около 7%, что на порядок больше ожидаемой. Кашлинский и соавторы отмечают, что частицы космических лучей с энергией более 8 эксаэлектронвольт (1018 эВ, назовем их «суперчастицы») тоже имеют диполь близкий к гамма-квантовому, как по расположению, так и по амплитуде.

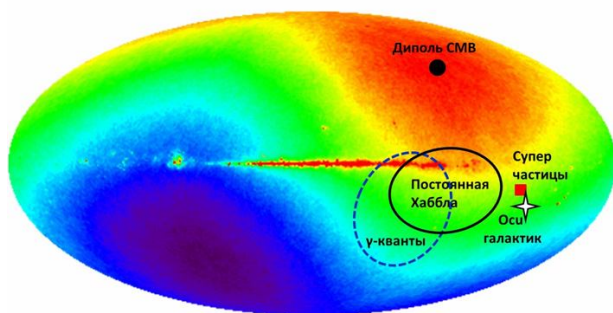


Рис. 2. Карта дипольной анизотропии реликтового излучения (СМВ) с осью, отмеченной черным кружком (в галактических координатах; Млечный Путь заметен вдоль горизонтальной оси). Как показано в статье А. Kashlinsky et al., 2024. *Probing the Dipole of the Diffuse Gamma-Ray Background*, аналогичный диполь для гамма-излучения оказался сильно смещен к югу (синий эллипс), при этом

аналогичную анизотропию имеют космические частицы с высокой энергией («суперчастицы»; красный квадрат). Черным эллипсом указан минимум постоянной Хаббла (K. Migkas et al., 2020. *Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_X - T scaling relation*). Звездочкой отмечен Южный полюс Земли. Согласно Амирханяну, оси галактик избегают направления на полюса (В. Амирханян, 2009. *Анизотропия пространственной ориентации радиоисточников. II: Функция распределения осей*). Эти феномены «дьявольской оси» указывают на центр нашей Вселенной, расположенный, видимо, недалеко от Южного полюса. Рисунок с сайта map.gsfc.nasa.gov, с изменениями

Но это далеко не все удивительные совпадения. В районе Южного полюса постоянная Хаббла испытывает минимум, отклоняясь от среднего на $\sim 10\%$ (рис. 2). Кроме того, еще в 2009 году российский астроном В. Амирханян опубликовал в «Астрофизическом бюллетене» данные об анизотропии распределения осей вращения галактик, которые избегают направления на Южный полюс (В. Амирханян, 2009. *Анизотропия пространственной ориентации радиоисточников. II: Функция распределения осей*).

Можно смело считать последние годы временем космологической революции, которая должна сменить парадигму однородной и изотропной Вселенной на новую модель, которая объясняет космологическую глобальную анизотропию и неоднородность, которая для постоянной Хаббла достигает тех же 10% (Астрофизикам не удается снизить «хаббловское напряжение», «Элементы», 22.05.2024).

Вторая прорывная новость этого полугодия — открытие темного скопления-спутника Млечного Пути, названного Большая Медведица III/UNIONS 1 (Ursa Major III, S. Smith et al., 2024, *The Discovery of the Faintest Known Milky Way Satellite Using UNIONS*). Это скопление имеет типичные для шаровых звездных скоплений размер (10 световых лет) и массу (10^4 – 10^5 солнечных масс), но содержит всего около 60 старых звезд возрастом примерно 12 миллиардов лет с общей светимостью, соответствующей 16 солнечным массам. Это означает, что это скопление практически полностью темное — лишь благодаря нескольким звездам оно было обнаружено. Чем важно это открытие?

После 2016 года и открытия при помощи гравитационно-волнового детектора LIGO слияний двойных черных дыр (рис. 1, см. Гравитационные волны — открыты!, «Элементы», 11.02.2016) астрономы активно обсуждают возможность того, что темная материя может полностью состоять из черных дыр (см. ссылки в статье S. Clesse, J. Garcia-Bellido, 2017. *The clustering of massive Primordial Black Holes as Dark Matter: Measuring their mass distribution with advanced LIGO*).

Распространенное мнение, что малое количество событий гравитационного микролинзирования

указывает на то, что число черных дыр незначительно, основано на многочисленных теоретических предположениях (например, о равномерном распределении черных дыр по небу), которые сейчас активно пересматриваются. Ведь темная материя из черных дыр должна образовывать шаровые скопления в гало Галактики, сходные по массе и возрасту с шаровыми скоплениями звезд. Эта кластеризация черных дыр уменьшает вероятность обнаружения черных дыр методом микролинзирования. Обнаружение темного скопления Большая Медведица III/UNIONS 1 является прямым подтверждением теории о том, что темная материя состоит из черных дыр. Отметим, что уточнение модели галактического гало по данным астрометрического спутника Gaia окончательно снимает вопрос об ограничениях на количество черных дыр, связанных с микролинзированием (J. Garcia-Bellido, M. Hawkins, 2024. Reanalysis of the MACHO constraints on PBH in the light of Gaia DR3 data)

На какую концепцию сменится нынешняя парадигма квантовой одноразовой Вселенной? Видимо, стоит ждать возрождения циклической космологии, но на новом уровне — с учетом темной материи из черных дыр, а также всей совокупности обнаруженных феноменов космологической неоднородности и анизотропности. О возможной модели пульсирующей Вселенной стоит поговорить детальнее, тем более что она недавно получила прямое экспериментальное подтверждение.

Классическая циклическая Вселенная

Идея циклической Вселенной обсуждается с античных времен. Две с половиной тысячи лет назад Гераклит учил: «Вселенная конечна, и мир един. Возникает он из огня и вновь исходит в огонь попеременно, оборот за оборотом, в течение всей вечности...». Первую модель пульсирующего мира, которым управляют реальные физические силы — притягивающая гравитация и отталкивающее давление, развил Иммануил Кант в 1755 году. Он писал про Вселенную: «Через всю бесконечность времен и пространств мы следим за этим фениксом природы, который лишь затем сжигает себя, чтобы вновь возродиться юным из пепла...».

В рамках общей теории относительности решение для осциллирующей Вселенной нашел в 1922 году российский математик Александр Фридман, который оценил период космологического пульса в десять миллиардов лет. Концепция периодической Вселенной успешно развивалась в XX веке и стала в 60-х–70-х годах доминирующей. Например, статья 1965 года Арно Пензиаса и Роберта Вильсона об открытии реликтового микроволнового излучения сопровождалась статьей группы теоретиков во главе с Робертом Дикке (R. Dicke et al., 1965. Cosmic black-body radiation). Эта группа была лидером в тогдашней космологии (входивший в нее Джеймс Пиблс стал в 2019 году нобелевским лауреатом, а в честь Дэвида Вилкинсона был назван космологический спутник WMAP). Группа Дикке интерпретировала открытие Пензиаса и Вильсона в

рамках модели замкнутой и циклической Вселенной: «материя, которую мы видим вокруг себя сейчас, может представлять барионы из предыдущего расширения замкнутой, постоянно колеблющейся Вселенной». В статье группы Дикке описывалась циклическая переработка тяжелых атомных ядер: «Предполагая осциллирующую космологию без сингулярностей, мы полагаем, что температура должна была быть достаточно высокой, чтобы разложить тяжелые элементы из предыдущего цикла... В этой картине необходимо предположить, что в момент максимального коллапса температура Вселенной превысит 10^{10} К, чтобы пепел предыдущего цикла переработался обратно в водород, необходимый для звезд в следующем цикле».

Трое российских космологов — А. Д. Долгов, Я. Б. Зельдович и М. В. Сажин — в книге «Космология ранней Вселенной» (1988) лаконично изложили историю космологии XX века так: «Раньше наибольшей популярностью пользовалась точка зрения, согласно которой наш цикл расширения явился продолжением предыдущего цикла сжатия. Существовала модель пульсирующей Вселенной. ... Некоторой модификацией модели пульсирующей Вселенной явилась модель „отскока“ от сингулярности... Сейчас, однако, наиболее привлекательной выглядит идея квантового рождения мира, или рождения из „ничего“.»

Важную роль в развитии циклической космологии сыграли Георгий Гамов, его студент Ральф Альфер и молодой ученый Роберт Герман (Robert Herman), которые в 1946–1948 годах разработали первую реалистичную схему нуклеосинтеза — образования химических элементов в ранней раскаленной Вселенной (подробно эта история описана в статье Джордж и его команда: к 70-летию горячей модели Вселенной, «Элементы», 26.01.2016).

Гамов был уверен, что ранняя Вселенная была плотной и горячей, и предсказал с соавторами микроволновое (с температурой несколько кельвинов — близкой к тепловому излучению жидкого гелия) реликтовое излучение, оставшееся после Большого взрыва и остывания Вселенной. В книге «Создание Вселенной» (The Creation of the Universe) Гамов сомневался, что существует способ остановить расширение Вселенной, поэтому обсуждал «модель отскока», которая является упрощенной версией циклической космологии: «Почему наша Вселенная была в таком сильно сжатом состоянии и почему она стала расширяться? Простейший и математически наиболее корректный ответ состоит в том, что Большое сжатие, которое имело место в ранней истории нашей Вселенной, было результатом коллапса, который случился в еще более раннюю эру и, что нынешнее расширение есть просто „упругий“ отскок, который начался, как только максимально возможная плотность была достигнута.» Гамов рисует яркую картину космологической эволюции: «В смутном догалактическом прошлом... Вселенная, из чего бы она ни была создана, была вовлечена в гигантский коллапс... Вещество Вселенной, должно быть,

вышло из Большого сжатия в полностью разрушенном состоянии, образуя изначальный Улем из нейтронов, протонов и электронов... Температура по всей Вселенной была около миллиарда градусов, но плотность вещества была сопоставима с плотностью атмосферного воздуха на больших высотах».

Горячей и, возможно, осциллирующей Вселенной противостояли концепции холодных и безусловно одноразовых мирозданий, которые в 50-х и 60-х годах XX века развивали Герман Бонди, Томас Голд и Фред Хойл, а также Яков Зельдович с советскими учеными. Модель Зельдовича была в духе времени: она была похожа на взрыв термоядерной бомбы, который разогревал Вселенную из плотного холодного состояния в разреженное и горячее. В 1962 году, на конференции в Тарту (сборник трудов вышел в 1963 году), академик Зельдович, считавший теорию Гамова «наивной», утверждал: «Возвращаясь к вопросу о начальной стадии мира, необходимо признать, что представления Гамова, Альфера и Хермана о высокой температуре в этой стадии противоречат современным сведениям». Сам Зельдович предпочитал другой «единственно возможный, единственно правильный вариант» изначальной холодной Вселенной: «Гипотеза, согласно которой в качестве исходного вещества для звездной стадии эволюции берется холодный чистый водород, вполне согласуется с современными астрофизическими представлениями».

Споры космологов закончились в 1965 году, с открытием реликтового излучения Арно Пензиасом и Робертом Вильсоном, полностью подтвердившем модель горячей Вселенной и «наивную» теорию Гамова — Альфера — Хермана.

В циклической космологии был найден эффективный способ превращения накопленных в звездах тяжелых элементов снова в водород с помощью фотодиссоциации (R. Dicke et al., 1965. Cosmic black-body radiation). При сжатии современной Вселенной в 10 миллиардов раз, до размера в десяток световых лет, реликтовое излучение из микроволнового становится гамма-квантовым и разрушает самые прочные ядра химических элементов до барионов, обеспечивая новый цикл образования звезд.

Но теория пульсирующей Вселенной не смогла ответить на следующие вопросы:

1) Как избежать гравитационной сингулярности при сжатии Вселенной? Ведь гравитация сильно сжатого тела превосходит все остальные физические силы.

2) Каков механизм Большого взрыва, который повторяется раз за разом?

3) Какова природа темной материи, признаки существования которой открыли Фриц Цвикки и Вера Рубин?

4) Почему Вселенная так изотропна и однородна?

5) Как совместить концепцию периодической Вселенной и второй закон термодинамики, который

утверждает, что энтропия от цикла к циклу должна нарастать?

Квантовая одноразовая Вселенная

Против сильной гравитации возле сингулярности всегда можно придумать гипотетическое отталкивающее поле, которое еще сильнее. Для самого простого варианта Большого взрыва достаточно постулировать одноразовое антигравитационное поле, которое потом исчезнет и ускользнет от современных наблюдений. Именно по такому пути пошел Алан Гут, который в 1981 году опубликовал статью о квантовой инфляционной модели Вселенной, где постулировал «инфлатон» — квантовое поле, которое обеспечивает Большой взрыв и ускоренный разлет Вселенной из микроскопической точки (почти сингулярности). Вселенная перед периодом инфляции имела размер 10^{-54} см и возраст 10^{-37} секунды (согласно книге Алана Гута «Инфляционная Вселенная», 1997). За 10^{-35} секунды инфлатон ускоренно расширил эту крошечную Вселенную до примерно метрового размера. Увеличение в размере на 56 порядков делало Вселенную практически плоской и однородной: начальная кривизна и все неоднородности выглаживались и растягивались. После инфляционного пинка Вселенная, раздутая до размеров большой тыквы, продолжала расширяться уже по инерции.

Одноразовый «волшебный» инфлатон противоречил модели циклической Вселенной, для которой была нужна антигравитация, возникающая в момент каждого максимального сжатия Вселенной. Поэтому циклическая модель оказалась оттесненной на обочину космологии. Зато теория инфляции была активно поддержана специалистами по элементарным частицам и тружениками квантовых полей: в новой космологии можно задавать разные потенциалы гипотетического инфлатона, получая множество моделей Вселенной. Так как эти модели были одноразовыми, то о накоплении энтропии можно было не беспокоиться. Для объяснения темной материи были предложены гипотетические элементарные частицы — ВИМПы (WIMP = Weakly Interacting Massive Particles).

Публикация А. Гуттом книги в 1997 году показывала, что к этому времени он рассматривал теорию инфляции как зрелую космологическую модель. Но уже в 1998 году наблюдатели, которые любят портить жизнь теоретикам, преподнесли неприятный сюрприз, открыв ускоренное расширение Вселенной.

Алан Гут признавался: «Это здорово ошеломило меня» (цитируется по книге С. Powell, God in the Equation). Причину ускорения Вселенной условно назвали «темной энергией». Академик Валерий Рубаков отмечал: «Открытие темной энергии было сделано астрономическими методами и стало для большинства физиков полной неожиданностью. Темная энергия, пожалуй, главная загадка современного естествознания».

Классическая циклическая космология снова не смогла ответить на вопрос о причинах ускоренного расширения Вселенной. Зато квантовые космологи быстро оправились — и предложили на роль «темной энергии» отрицательное давление (или самогравитацию) квантового вакуума, наполненного виртуальными частицами. Идея о том, что отрицательное давление приводит к экспоненциальному расширению ранней Вселенной, была выдвинута в 1965–66 годах в журнале ЖЭТФ А. Д. Сахаровым и Э. Б. Глинером. Глинер представил свою статью «Алгебраические свойства тензора энергии-импульса и вакуумоподобное состояние вещества» 22 января 1965 года, а Сахаров статью «Начальная стадия расширения Вселенной и возникновение неоднородностей распределения вещества» — 2 марта. Но статья Сахарова была опубликована в июле 1966 года, а статья Глинера появилась в августе: он редактировал свою работу и повторно представил ее 17 апреля 1965 года.

Глинер связал отрицательное давление с физическими свойствами вакуума и предположил, что этот эффект может привести к ненулевой космологической постоянной. Работы Глинера (несправедливо забывая о Сахарове) считаются фундаментом инфляционной космологии, однако сам Глинер к ней относился скептически: «сама идея инфляции представляется ошибочной» (Э. Глинер, 2002. Раздувающаяся Вселенная и вакуумоподобное состояние физической среды). В предисловии к этой статье Глинера редактор журнала В. Л. Гинзбург отмечает, что из-за такой позиции легендарный Глинер не нашел работу в американских университетах. Отметим, что Сахаров был убежденным сторонником циклической модели Вселенной. В статье «Послесловие к статье Я. Б. Зельдовича «Возможно ли образование Вселенной „Из ничего“?» (Природа, 1988, №4) Сахаров рассуждает о «возможности в будущем бесконечного числа пульсаций (циклов расширения и сжатия Вселенной). ... Но можно ли представить себе такую модель Вселенной, которая приводит к бесконечной последовательности пульсаций, продолжаемой и в будущее, и в прошлое. По-видимому, существует по крайней мере один вариант».

Идея, лежащая в основе гипотезы об отрицательном давлении или самопритяжении вакуума, проста: виртуальные частицы, кратковременно вынырывающие из вакуума Дирака, могут притягиваться друг к другу, порождая космологическую константу. Слово «могут» выбрано неспроста — решения квантовой теории поля при разных предположениях гласят, что это взаимное притяжение может быть равно нулю. Но этот вариант квантовых космологов не устраивал, поэтому они стали теоретически рассчитывать ненулевое самопритяжение вакуума — и оно оказалось на 120 порядков больше, чем наблюдаемая космологическая постоянная. Этот расчет стал известен, как «самое плохое предсказание» в истории физики (S. Carroll, 2004. Why is the Universe Accelerating?).

Тем не менее, отрицательное давление вакуума стало, вместе с инфлатоном и ВИМПами третьим столпом теории инфляции. Проблему с лишними 120 порядками «темной энергии» (как и проблему с обоснованием инфлатона), должна была решить будущая квантовая теория гравитации, или теория струн, или еще какая-нибудь «теория всего».

Космологическая революция 2015 года

Новую космологическую революцию вызвали не теоретики, которым и так было хорошо, а наблюдатели, которые все время находят что-то новое, не влезаящее в старые модели. В конце 2015 года поползли будоражающие слухи об открытии гравитационных волн на детекторе LIGO — сенсационные, но, на первый взгляд, не сулящие каких-либо потрясений основ существующей космологии. Но когда 11 февраля 2016 года было официально объявлено о деталях этого открытия, они всех поразили.

Оказалось, что уже через два дня после начала наблюдений обновленный детектор LIGO поймал гравитационную волну от слияния двух черных дыр с массой 29 и 36 масс Солнца, расположенных от нас на расстоянии 1,6 миллиарда световых лет (Гравитационные волны — открыты!, «Элементы», 11.02.2016). В результате слияния образовалась черная дыра массой 62 массы Солнца, а на генерацию гравитационных волн ушло 5% от суммарной массы сливающихся дыр. Мгновенное превращение 3 масс Солнца в гравитационное излучение показало космологическую важность гравитационных волн. Ведь слияний черных дыр во Вселенной может быть очень много, следовательно, переход значительной доли их массы в гравитационные волны должен учитываться при построении космологических моделей, как резонно отметил в 2018 году нобелевский лауреат Филип Андерсон (P. Anderson, 2018. Four Last Conjectures).

Наблюдения LIGO показали, что частота слияний черных дыр (значит — и их количество) гораздо больше, чем ожидали астрономы (S. Clesse, J. Garcia-Bellido, 2017. The clustering of massive Primordial Black Holes as Dark Matter: Measuring their mass distribution with advanced LIGO). Поэтому черные дыры стали реальными претендентами на роль темной материи, с совокупной массой большей, чем у обычной материи.

Раньше считалось, что черные дыры не могут составить темную материю, потому что, если направить телескоп сквозь темное гало нашего Млечного Пути на такие соседние галактики, как Туманность Андромеды или Магеллановы облака, то нужное количество событий гравитационного линзирования не обнаруживается. До открытия гравитационных волн микролинзирование было единственным способом обнаружения черных дыр звездных масс без аккреционного диска. А направление на Андромеду и Магеллановы облака определялось не тем, что в гало Млечного Пути в этом направлении должно быть много черных дыр,

а тем, что Андромеда и Облака имеют много звезд, изображение которых и должны были искажать черные дыры. После открытий LIGO было показано, что если черные дыры небольших масс создают компактные шаровые скопления из черных дыр, то это резко уменьшает вероятность их обнаружения с помощью гравитационного линзирования — просто потому, что такого скопления в направлении на Андромеду или Магеллановы облака может и не быть (S. Clesse, J. Garcia-Bellido, 2017. The clustering of massive Primordial Black Holes as Dark Matter: Measuring their mass distribution with advanced LIGO). Как было описано выше, первое такое темное скопление уже открыто. Уточнение модели темного гало Галактики с помощью данных астрометрического спутника Gaia окончательно сняло наблюдательное ограничение на число черных дыр вокруг нашей Галактики (J. Garcia-Bellido, M. Hawkins, 2024. Reanalysis of the MACNO constraints on PBH in the light of Gaia DR3 data).

Это означает, что поставлен под сомнение один из главных столпов квантовой космологии — концепция ВИМПов (которых так и не нашли, невзирая на десятилетия активных поисков и растроченные миллиарды долларов). Если темная материя состоит не из квантовых элементарных частиц, а из классических черных дыр, то «квантовость» современной модели Вселенной значительно уменьшается. При этом, два остальных квантовых столпа — инфлантон и темная энергия — так и не получили убедительного теоретического обоснования. Теория инфляции без фундаментального обоснования оказалась феноменологической теорией, у которой много свободных параметров, чтобы подкрутить свои модели практически под любой набор наблюдений.

Характерная история случилась в 2014 году. Группа ученых, анализирующих данные антарктической обсерватории BICEP, объявила в марте об открытии следов гравитационных волн, предсказанных теорией инфляции. Этот триумф вызвал ликование сторонников теории инфляции:

«В астрофизическом сообществе это сообщение вызвало эйфорию, и она вполне оправданна. Результат BICEP2 — если он действительно подтвердится — впервые открывает возможность экспериментальной проверки свойств Вселенной в эпоху космической инфляции, отстоящую от момента Большого взрыва на ничтожную долю секунды. Теория инфляционной вселенной, остававшаяся до сих пор любопытной, захватывающей воображение, пусть правдоподобной — но все-таки гипотезой, превратилась в факт биографии нашей реальной Вселенной.»

Эксперимент BICEP2 подтверждает важнейшее предсказание теории космической инфляции, «Элементы», 22.03.2014.

«Недавние результаты, полученные на установке BICEP2 рядом с Южным Полюсом, показывают,

что амплитуда гравитационных волн может оказаться очень большой, вплоть до $r = 0,2$, близко к тому, что предсказывают простейшие варианты хаотической инфляции. Если эти результаты подтвердятся, то это достижение будет сопоставимо по значению с открытием бозона Хиггса.»

Андрей Линде, Борис Штерн. Как за полчаса изменился мир.

«...инфляция — прекрасная теория, у которой есть большие проблемы с наблюдательным подтверждением. Важность результата BICEP (точнее, установки второго поколения BICEP2), если он окажется верен, — именно в подтверждении инфляционной модели.»

Сергей Попов, Сигнал из времен до Большого взрыва

История с BICEP имеет два интересных момента.

Во-первых, поверив в то, что открытые гравитационные волны стали железным доказательством теории инфляции, ее сторонники откровенно признали, что теория инфляции — лишь «гипотеза», которая имеет «большие проблемы с наблюдательным подтверждением».

Во-вторых, три месяца спустя, в июне 2014 года, это «открытие» гравитационных волн было опровергнуто — полученный сигнал оказался связан не с гравитационными волнами, а с распределением космической пыли (см. Новые данные обсерватории Planck закрывают чересчур оптимистичную интерпретацию результатов BICEP2, «Элементы», 24.09.2014). Примечателен факт, что «гибкая» теория инфляции легко пережила эту скандальную историю! У нее осталось достаточно вариантов, которые предсказывают практически любой уровень гравитационных волн.

Это настораживает любого трезвого ученого. Оглядываясь на критерии Поппера, применимые ко всем научным теориям, логично задаться вопросом: не является ли теория инфляции многопараметрической моделью ad hoc? Она построена для объяснения известных фактов (и успешно делает это с помощью подкручивания имеющихся свободных параметров), но не способна предсказать конкретные эффекты, которые могли бы ее фальсифицировать — или бесспорно (без споров!) ее подтвердить. Инфляционисты своей гибкостью успешно избегают фальсифицируемости своих моделей, одновременно разрушая их проверяемость — в полном соответствии с анализом Карла Поппера.

Пол Стейнхардт (профессор из Принстона, один из основателей теории инфляции), Абрахам Лёб (Abraham «Avi» Loeb, профессор, главный астроном Гарварда) и молодой доктор наук из Германии Анна Иджас (Anna Ijjas) опубликовали в январе 2017 года статью в журнале Scientific American, где поставили под сомнение саму научность теории инфляции (A. Ijjas et al., 2017. Cosmic Inflation Theory Faces

Challenges). Трои этих авторов пишут: «...важнейший ингредиент, называемый инфляционной энергией, является чисто гипотетическим; у нас нет прямых доказательств его существования. Более того, за последние 35 лет выдвинуто буквально сотни предположений относительно того, какой может быть инфляционная энергия, каждое из которых порождает очень разные темпы инфляции и очень разные суммарные величины растяжения. Таким образом, очевидно, что инфляция — это не точная теория, а очень гибкая структура, охватывающая множество возможностей». Авторы задаются вопросом: может ли теория инфляции делать конкретные предсказания? «Ответ — нет. Инфляция — настолько гибкая идея, что возможен любой результат».

Эта статья инициировала знаменитую дискуссию 2017 года и вызвала ответную статью, в которой 33 автора выступили в защиту теории инфляции (см. статью Б. Штерна Столкновение космологов: тридцать три богатыря против банды трех, а также интервью О. Орловой с Алексеем Старобинским). Не вдаваясь в детали этого спора, подчеркнем, что несмотря на 40 лет развития и широкую популярность, инфляционная космология одноразовой Вселенной не смогла бесспорно доказать свое превосходство — ни в теоретическом, ни в наблюдательном аспекте — над другими моделями. Внутри инфляционной модели Вселенной есть принципиальные проблемы, которые не решаются со временем, а наоборот — все больше входят в противоречие с наблюдениями. Например, сверхчувствительность инфляционных моделей к начальным условиям. Стоит этим условиям измениться на ничтожную величину в 10^{-79} , как Вселенная давно бы схлопнулась, или, наоборот, давно бы разлетелась в холодную бесконечную пустыню. Это заставило вводить «мультиверс» в 10^{500} вселенных, чтобы с помощью антропного принципа «найти» там хоть одну подходящую для нас Вселенную. Но как писал академик Я. Б. Зельдович в статье «Современная космология» (Природа, №9, 1983 год): «Другая часто упоминаемая идея — это антропоцентристский принцип, согласно которому существует много вселенных, и мы живем в той из них, которая оказалась пригодной для зарождения жизни... Но тут мы рискуем быстро перейти от науки к размахиванию руками». Автор учебника по современной космологии Петер Шнайдер выразился не менее иронично: антропный принцип можно рассматривать как «объяснение», но можно и как «капитуляцию» (P. Schneider, 2015. Extragalactic Astronomy and Cosmology. An Introduction).

Нетензорность гравитационной энергии в ОТО

Падение доверия к одноразовой инфляционной модели Вселенной вызвало рост интереса к циклической космологии, отодвинутой в сторону инфляционистами. Но каким путем двигаться дальше, чтобы решить полдюжины нерешенных

проблем циклической космологии? Можно выдвинуть новые экзотические гипотезы о многомерии, бранах и загадочных полях — как сделали П. Стейнхардт и Н. Турок в своей книге «Бесконечная Вселенная: за пределами Большого взрыва» (Endless Universe: Beyond the Big Bang), опубликованной в 2007 году.

Но любая космологическая модель, которая не вводит ранее неизвестных сущностей, неизмеримо предпочтительнее теорий, использующих новые гипотетические феномены. Роджер Пенроуз (в книге Циклы времени) строит свою циклическую модель на основе ОТО, но в его модели остаются большие лакуны, которые он закрывает гипотетическими предположениями, например, о таинственном конформном преобразовании, которое превращает большую расширяющуюся Вселенную снова в маленькую.

Космология — прикладная наука, ее формулы являются решениями уравнений фундаментальной общей теории относительности. Когда ученые сталкиваются с невозможностью объяснения наблюдаемых феноменов, то перед ними встает выбор: или обвинить в этом себя и свое неумение найти правильное решение, или объявить неполноту общей теории относительности, тем самым, переложить ответственность на ее творца — Эйнштейна, который возразить уже не сможет. Как легко догадаться, второй вариант кажется предпочтительным для очень многих. Не будем искать легких путей и попробуем понять — может, мы неправильно используем ОТО для космологических приложений?

Знаменитый закон гравитации Ньютона является решением уравнения Пуассона, которое связывает гравитационный потенциал ϕ с его источником — гравитационной массой с плотностью ρ : $\Delta\phi=4\pi G\rho$, где значок Δ означает дифференциальный оператор Лапласа

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

Отметим, что в уравнении Пуассона сам потенциал никоим образом не входит в источники поля, то есть, не является источником самого себя.

Уравнения Эйнштейна являются релятивистским тензорным обобщением уравнения Пуассона. В левой части эйнштейновских уравнений появляются вторые производные от аналога потенциала — метрического тензора второго ранга, описывающего искривление четырехмерного пространства-времени, а справа фигурирует уже не скалярная плотность материи, а тензор второго ранга для энергии-импульса, например, вещества и электромагнитного поля. После вывода уравнений ОТО в 1915 году возник вопрос — нужно ли включать энергию самого гравитационного поля в число источников гравитационного поля? Ньютон ответил бы, что нет.

Но если исходить из принципа равноправия энергий, то надо включать. Для этого требуется

получить тензор энергии-импульса гравитационного поля — такой же, какой получен для энергии-импульса электромагнитного поля. Но математический объект второго ранга, который Эйнштейн предложил для описания энергии и импульса гравитационного поля, оказался не тензором: Эрвин Шредингер в 1918 году показал, что такой объект (его стали называть «псевдотензором») можно превратить в ноль выбором системы координат.

Выяснилось, что вывести истинный тензор энергии-импульса гравитационного поля в принципе невозможно! Причина не в неумении физиков, а в самой ОТО, в основе которой лежит фундаментальный принцип эквивалентности, который устанавливает равенство между гравитационным полем и искривленным пространством. Это означает, что для свободно падающего наблюдателя гравитационное поле полностью исчезает, как и энергия этого поля. Этот феномен называется нелокализацией гравитационной энергии — и он запрещает тензорное описание энергии, как и квантование гравитационного поля, потому что число гравитонов не должно магическим образом обнуляться для падающего наблюдателя.

Проблему энергии импульса в ОТО хорошо описал В. И. Родичев в своей книге Теория тяготения в ортогональном репере (1974): «Трудности, связанные с нетензорным характером величин, описывающих энергию, импульс и момент гравитационного поля, оказались настолько серьезными и неприступными, что их постепенно начали рассматривать как проявление особых свойств гравитационного поля — универсальности, незранируемости, нелокализемости и т. д.» Ученый задается вопросом: «...в чем причина появления нековариантных результатов в теории, одним из принципов которой является принцип общей ковариантности?».

Уже сто лет не прекращается дискуссия вокруг вопроса: может ли нетензорная и нелокализуемая гравитационная энергия служить источником тензорного гравитационного поля? В научном сообществе сложилось две противоположных точки зрения на этот счет:

1) Гравитационная энергия нелокальна и нетензорна, но все равно реальна и должна быть рассмотрена как источник гравполя. Нобелевский лауреат Р. Пенроуз пишет: «Энергия, а, следовательно, и масса гравитационного поля ведут себя подобно скользкому угрю, так что их невозможно „привязать“ к какому-нибудь четко определенному месту. Тем не менее, к гравитационной энергии следует относиться со всей серьезностью. Она заведомо присутствует, и ее необходимо учитывать для того, чтобы сохранить смысл понятия массы.» (Новый ум короля, 2003).

2) Гравитационное поле — это искривленное пространство, оно может воздействовать на объекты, не обладая классически определяемой

энергией. Гравитационная энергия — фикция, исторически сложившееся понятие. В источнике ее вставлять нельзя. Нобелевский лауреат Герард 'т Хоофт подчеркивает, что любая модификация уравнений Эйнштейна, в которой гравитационное поле является источником дополнительного поля и вносит вклад «в тензор напряжения-энергии-импульса, вопиюще ошибочна. Написание такого варианта выдает полное непонимание общей теории относительности. Энергия и импульс гравитационного поля полностью учитываются нелинейными частями исходного уравнения».

Каждую позицию поддерживает множество ученых, хотя возможно, что за первую, более психологически приемлемую, выступает большинство. Какой точки зрения придерживался сам Эйнштейн? До 1916 года он выступал за первую трактовку, а позже стал сторонником второй точки зрения. После изучения двух сотен статей и писем Эйнштейна из двух собраний его сочинений (русского четырехтомника издательства «Наука», 1965–1967 гг. и незаконченного собрания сочинений, выпускаемого Принстонским университетом), можно составить следующую примечательную таблицу его утверждений о гравитационной энергии и об источниках гравитационного поля.

Таблица. Эволюция мнения Эйнштейна о гравитационной энергии

Годы	Сколько раз приведены уравнения для гравитационного поля	Число утверждений (и уравнений) Эйнштейна, где:	
		гравитационная энергия входит в число источников поля вместе с энергией материи	источником гравитационного поля является только материя (или гравитационная энергия не является источником поля)
1913	3	7	—
1914	5	10	—
1915	2	3	—
1916	3	5	—
1917	1	—	1
1918	1	—	3
1919	1	—	1
1920–1929	6	—	5
1930–1939	8	—	4
1940–1949	3	—	1
1950–1955	1	—	1

Мы будем называть общую теорию относительности в первоначальной трактовке «теорией 1915 года», а более позднюю версию эйнштейновской теории гравитации — «теорией 1919 года», потому что Эйнштейн сформулировал ее предельно четко к этому времени и оставался верным такой интерпретации ОТО до конца жизни. Например, в 1953 году Эйнштейн так описывает

главное уравнение ОТО: «Правая часть уравнения феноменологически описывает все источники гравитационного поля. Тензор T_{ik} представляет энергию, которая создает гравитационное поле, но сама не имеет гравитационного характера, как, например, энергия электромагнитного поля, энергия, связанная с плотностью вещества, и т. д.»

Тем не менее, Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшиц утверждают в своем учебнике: «Обладая определенной энергией, гравитационная волна сама является источником некоторого дополнительного гравитационного поля» («Теория поля», 1973). В учебнике «Гравитация» Ч. Мизнера, К. Торна и Д. Уилера, вышедшем в том же 1973 году, написано обратное: «...,локальная гравитационная энергия-импульс“ не весит, не искривляет пространство, не служит источником, стоящим в правой части уравнений поля Эйнштейна, не вызывает никакого относительного геодезического отклонения двух соседних мировых линий, проходящих через рассматриваемую область, и не наблюдается».

Кто прав? Мнение автора теории должно иметь наивысший приоритет. Почему же многие не прислушались к мнению Эйнштейна? С одной стороны, как это не удивительно, но современные физики часто уверены, что они лучше понимают ОТО, чем сам Эйнштейн (причины этой убежденности не очень понятны).

С другой стороны, мнение Эйнштейна по этому поводу попросту малоизвестно из-за труднодоступности его работ. В 2024 году достаточно полное собрание научных сочинений Эйнштейна существует только на русском (опубликованное в 1960-х, оно быстро стало раритетом) и японском языках. Нигде нельзя найти хотя бы избранного собрания сочинений этого великого ученого на английском или немецком языке.

Первый том полного 25-томного собрания сочинений Эйнштейна на английском увидел свет в издательстве Принстонского университета лишь в 1987 году, спустя 70 лет после создания общей теории относительности и через 32 года после смерти ученого. К 2024 году — за 37 лет — было выпущено 17 томов, охвативших публикации Эйнштейна лишь до ноября 1930 года. Судя по темпам издания, последний том можно ожидать к середине XXI века. Это рекордный по медлительности проект, когда переиздание сочинений занимает времени больше, чем сам Эйнштейн потратил на их написание. Отметим, что работать с этими томами очень трудно: полторы сотни наиболее существенных научных работ и заметок Эйнштейна приходится буквально выуживать среди десятков тысяч документов типа частных писем. Неудивительно, что современные западные гравитационисты плохо знакомы с оригинальными статьями Эйнштейна и с его мнением по вопросу гравитационной энергии. А у российских гравитационистов книга Ландау и Лифшица окружена таким святым сиянием, что мнение Эйнштейна игнорируется на его фоне.

Спор вокруг гравитационной энергии носил до последнего времени академический характер — ведь вклад энергии гравитационных волн обычно считался пренебрежимо малым. Но все изменилось в 2015 году, после открытий, сделанных обсерваторией LIGO. Мгновенное превращение трех масс солнца в гравитационные волны показало, что вопрос об их гравитационной массе требует внимательного рассмотрения. LIGO доказал, что у черных дыр есть огромная и до сих пор остававшаяся незамеченной космологическая роль: их слияния могут изменять гравитационную массу Вселенной (оставляя неизменным баланс инертной массы и энергии).

Новая циклическая космология

Включать или не включать гравитационную энергию в число источников гравитационного поля? Этот вопрос трудно решить логическими или математическими аргументами. Фактически, это область аксиоматики ОТО, или, проще говоря, инструкций по использованию уравнений Эйнштейна. Но аксиомы — это семена, из которых вырастают огромные деревья приложений. Поэтому надо просто изучить следствия, к которым приводят разные трактовки ОТО — и мы сразу поймем, какая трактовка лучше описывает наблюдаемую реальность.

Рассмотрим такую трудную проблему теории гравитации, как сингулярности. На стадии коллапса все противодействующие силы (центробежная сила, давление электронного или нейтронного газа и т. д.) становятся малы по отношению к гравитационному притяжению, поэтому коллапсирующая система должна сжаться в точку. Но если сингулярность нельзя предотвратить с помощью негравитационных сил, остается возможность победы над гравитационным коллапсом с помощью самой гравитации, то есть с помощью таких гравитационных феноменов, которые растут при сжатии быстрее притяжения, что дает принципиальную возможность его преодоления. Такие гравитационные феномены существуют: это приливные силы и гравитационное излучение.

С точки зрения ОТО 1915 года, гравитационная масса коллапсирующей сферы не меняется, она лишь превращается из массы вещества в массу, вызванную энергией гравитационных волн. Поэтому гравитационный коллапс сферы с неизменной гравитационной массой остановить нельзя — и она должна сжаться в точечную сингулярность. Зато с точки зрения ОТО 1919 года, энергия гравитационных волн не может порождать гравитационное поле, тем самым, гравитационная масса коллапсирующей сферы будет уменьшаться по мере перехода в ходе коллапса энергии материи в псевдоэнергию гравволн. Это ключевое различие в следствиях общей теории относительности 1915 года и 1919 года.

Для решения проблемы сингулярности нужно показать, что гравитационное излучение при

коллапсе быстро растет. Если взять идеальную сферу и заставить ее сжиматься, то никаких гравитационных волн, согласно теореме Биркгофа, генерироваться не будет. Но идеальный коллапсирующий шар не более реален, чем сферический конь в вакууме.

На поверхности коллапсирующей звезды сила гравитационного притяжения растет как квадрат обратного радиуса: r^{-2} . Зато приливная сила зависит от радиуса сильнее — в третьей степени: r^{-3} . Пусть на жидкой поверхности сжимающейся звезды распространяются незаметные волны. Приливные силы растягивают по радиусу любые объекты с ненулевой радиальной протяженностью, в том числе и волны на поверхности звезды. Поэтому при коллапсе приливные силы будут увеличивать амплитуду волн на сжимающейся звезде, пока они не вырастут в своеобразные «штормовые валы» или «цунами». Это хорошо известное явление. Ландау и Лифшиц («Теория поля», 1973) пишут: «Эффекты несферичности в сопутствующей системе отсчета отнюдь не затухают, а, напротив, должны нарастать при дальнейшем сжатии тела, и поэтому нет никаких оснований ожидать, чтобы поле под горизонтом могло определяться лишь полными массой и моментом тела».

Еще одним гравитационным эффектом, быстро растущим с коллапсом, является генерация гравитационного излучения, которая зависит от пятой степени радиуса коллапсирующей системы: r^{-5} . Таким образом, гравитационные приливные силы «заботятся» о том, чтобы любая система, коллапсирующая под действием сил притяжения, была принципиально несферической. В свою очередь, генерация гравитационного излучения эффективно переводит массу коллапсирующей несферической системы в невесомые гравитационные волны до тех пор, пока притяжение не будет преодолено, и система не перестанет сжиматься.

Итак, классическая проблема сингулярности, непобедимая в классической общей теории относительности 1915 года, легко решается в теории Эйнштейна 1919 года, если включить в анализ коллапсирующей системы два хорошо известных эффекта — нарастание неоднородности системы, вызванной гравитационными (приливными) силами, и генерацию гравитационного излучения, связанного с неоднородностью коллапсирующей системы.

Изящное решение проблемы сингулярности уже заставляет сделать уверенный выбор в пользу трактовки 1919 года. При этом ее победное шествие только начинается.

Как меняется метрика пространства времени вокруг гравитирующей системы, которая уменьшает свою массу? Решение уравнений Эйнштейна для такого случая получил профессор Ягеллонского университета Марек Кутчера (Marek Kutschera), опубликовавший в сентябре 2003 года в журнале *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*

статью «Монопольные гравитационные волны от релятивистских фэйрболов, вызывающих гамма-всплески» (M. Kutschera, 2003. *Monopole gravitational waves from relativistic fireballs driving gamma-ray bursts*).

Но Кутчера не исследовал полученную метрику в деталях. Это было сделано в нашей с А. Васильковым статье — в том же журнале, только в 2016 году (N. Gorkavyi, A. Vasilkov, 2016. *A repulsive force in the Einstein theory*). Оказалось, что если использовать метрику Кутчеры для вычисления гравитационной силы, которая сопровождает коллапс Вселенной, то в формулу ньютоновской гравитации, которая раньше описывала только притяжение, добавляется новое релятивистское слагаемое (эта формула из ньютоновских соображений была получена мной в 2003 году — см. N. Gorkavyi, 2003. *Origin and Acceleration of the Universe without Singularities and Dark Energy*):

$$F \approx -\frac{GM}{r^2} + \frac{\alpha}{c} \cdot \frac{GM}{r}.$$

Здесь для удобства принято предположение, что гравитационная масса системы меняется со временем согласно экспоненциальной функции

$e^{-\alpha(t - \frac{r}{c})}$, тогда параметр α может описывать скорость, как уменьшения ($\alpha > 0$), так и увеличения ($\alpha < 0$) гравитационной массы. Как принято в случаях запаздывающего потенциала, функция учитывает и задержку во времени, с которым удаленные наблюдатели получают информацию об изменении массы. Те наблюдатели, которые расположены на радиусах далее ct , вообще еще не знают о переменности массы. Параметр α — это не новая фундаментальная константа, а просто феноменологический параметр в заданной функции изменения гравитационной массы. Для каждой реальной системы будет своя функция со своими параметрами. Отметим, что новый член в ньютоновской формуле медленнее падает с расстоянием, чем классическое притяжение.

Случай положительной α описывает появление волны антигравитационного потенциала (рис. 3), которая и является причиной Большого взрыва.

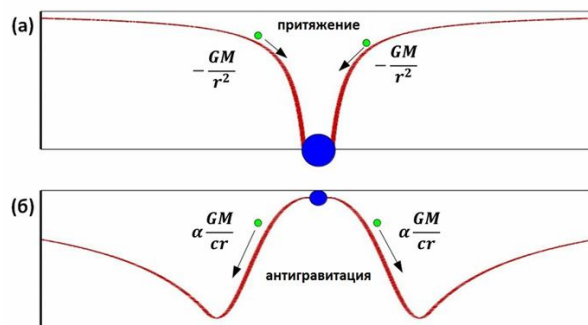


Рис. 3. (а) — гравитационное притяжение наглядно иллюстрируется движением легких шариков, которые катятся вниз по стенкам потенциальной ямы. (б) — когда гравитационная масса центрального тела падает, то потенциал (красная

линия) возле него уменьшается. Так как сигнал об этом уменьшении распространяется со скоростью света, то удаленные наблюдатели будут получать информацию о новом уровне потенциала с запаздыванием, что означает формирование антигравитационного потенциала, следуя которому легкие шарики начинают двигаться от центрального тела. Так как шарики всегда следуют градиенту потенциала (катятся вниз под горку), то им все равно, куда направлен этот градиент. В этом смысле физика гравитационного притяжения и отталкивания совершенно одинаковая — вопрос о существовании антигравитации упирается только в способ создания потенциала с нужным наклоном. Самые удаленные наблюдатели вообще еще не получили информации о падении потенциала, поэтому для них воронка потенциала остается постоянной. Но волна антигравитации со скоростью света движется к ним, одновременно ослабевая.

Можно показать, что антигравитация при сжатии Вселенной преодолевает притяжение задолго до сингулярности, останавливая коллапс Вселенной на ее размере в десяток световых лет. Мощная антигравитация делает Большой взрыв неизбежным: как нельзя удержать вещество от падения в черную дыру, так нельзя остановить и разлет вещества под действием отталкивающей гравитации тогда, когда это вещество окажется вблизи центра черной дыры.

Вариант отрицательной α описывает гипергравитацию, которая усиливает притяжение на больших расстояниях. Как было показано в нашей с А. Васильковым статье 2018 года (N. Gorkavyi, A. Vasilkov, 2018. A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass), именно гипергравитация, вызванная поглощением гравитационного излучения черными дырами, отвечает за ненулевую космологическую постоянную, которую можно интерпретировать как ускоренное растяжение поля галактик (или локальной части Вселенной) вокруг нас. Тем самым, необходимость введения «темной энергии» исчезает.

Из новой теории неизбежно следует, что наша Вселенная является осциллирующей системой, размещенной внутри черной дыры с размером порядка триллиона световых лет. Основной пружиной ее пульсаций с периодом около ста миллиардов лет являются взаимопревращения черных дыр и гравитационных волн. Как я расскажу ниже, быстрое массовое слияние черных дыр, вызывающее антигравитационный потенциал при сжатии Вселенной, имеет наблюдательное подтверждение, благодаря открытию реликтовых гравитационных волн. Обратный процесс — медленное поглощение гравитационных волн крупными черными дырами (дыры едят все, что на них падает) — тоже имеет наблюдательное подтверждение: именно этот процесс порождает ненулевую космологическую постоянную (N. Gorkavyi, A. Vasilkov, 2018. A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass).

Этот колоссальный космологический маятник невозможно остановить: черные дыры при мировом коллапсе сбрасывают часть своей массы в гравитационное излучение, вызывая расширение Вселенной. Но при этом на месте коллапса, в центре сжимающейся Вселенной, неизбежно образуется самая большая черная дыра размером порядка светового года. Она постепенно растет, поглощая суп из барионов и гравитационных волн, переходя потом на галактики и их скопления. Сейчас ее размер можно оценить примерно в миллиард световых лет. Именно эта Большая Черная Дыра несет в себе основную энтропию нашего мира, которая стремительно растет с увеличением массы этой дыры. Рано или поздно эта дыра догонит нашу галактику и тоже ее проглотит — и это будет началом новой эры в истории Млечного Пути, потому что он попадет в сжимающуюся Вселенную с низкой энтропией — ведь внутри черной дыры ее энтропия ненаблюдаема. Это открывает большие возможности для самоорганизации — и именно этот момент логично считать началом нового космологического цикла. Мы в этой картине не сделали ни одного произвольного предположения — вся динамика Вселенной диктуется жесткими законами физики черных дыр и ОТО.

Идеи о том, что наша Вселенная находится внутри огромной черной дыры, высказывались не раз, начиная с 70-х годов прошлого века. Сейчас это можно считать обязательным следствием циклической космологии — и уже получены наблюдательные свидетельства небольшой глобальной кривизны Вселенной: анализ, учитывающий кривизну пространства, показал, что данные спутника WMAP, а также спутника «Планк» с вероятностью >99% указывают на положительную кривизну Вселенной, что допускает ее замкнутость. Это противоречит предсказанию теории инфляции о нулевой кривизне, что вызвало даже дискуссию о кризисе в космологии (подробнее см. новость Какова на самом деле кривизна Вселенной и есть ли кризис в космологии?, «Элементы», 14.02.2020).

Кроме всего прочего, это означает, что у Вселенной, как и у любой черной дыры, есть центр. Он расположен недалеко от Южного полюса — именно туда указывает «ось зла» — как эмоционально называют космологи направление, возле которого группируются различные анизотропные космологические феномены (рис. 2). Например, в последние годы появились убедительные наблюдательные свидетельства в пользу небольшой ~10% анизотропии и неоднородности постоянной Хаббла — основного параметра космологических теорий. Как показали мы с А. Васильковым (N. Gorkavyi, A. Vasilkov, 2018. A modified Friedmann equation for a system with varying gravitational mass), уравнения Фридмана, полученные для циклической Вселенной с переменной гравитационной массой, действительно содержат дополнительные члены, описывающие небольшую анизотропию и неоднородность нашего мира.

Рассмотрим динамику популяции черных дыр детальнее. Квантовое испарение несущественно для дыр звездных масс, следовательно, черные дыры являются неразрушимыми объектами, способными уцелеть при максимальном сжатии Вселенной — только если они не сольются друг с другом, что сохраняет неразрушаемость черных дыр как популяции. Отметим, что излучение Хокинга пренебрежимо мало даже для черных дыр звездных масс, не говоря уж о сверхмассивных дырах.

В вышедшей в 2021 году статье Черные дыры и нейтронные звезды в осциллирующей Вселенной мы с С. Тюльбашевым рассмотрели модель накопления черных дыр в циклической Вселенной и показали, что всю наблюдаемую популяцию черных дыр, благодаря их компактности, можно разместить в сфере с диаметром около светового года. Самый большой вклад в суммарный объем вносят достаточно малочисленные сверхмассивные дыры. Хотя и для таких дыр есть место в сжатой Вселенной, но именно эти дыры вызывают массовое слияние дыр, при котором они активно поглощают более мелких соседей. Мы рассчитали несколько моделей эволюции популяции черных дыр в циклической Вселенной. Эти модели построены на учете всего двух физических эффектов, усредненных по циклу: рост радиуса черных дыр при поглощении окружающей среды и уменьшения численности дыр при взаимном слиянии. Оказалось, что такая модель, управляемая всего двумя параметрами, приводит к наблюдаемому распределению дыр, которые отвечают, как за темную материю, так и за образование галактик и шаровых скоплений. В такой модели единственным реальным способом создания черных дыр является астрофизическая эволюция звезд. Таких дыр в каждый космологический цикл образуется в сотни раз меньше, чем нужно для объяснения темной материи. Но эти дыры успешно проходят через сжатое состояние Вселенной и накапливаются из цикла в цикл. Примерно тысячу циклов нужно, чтобы накопилось наблюдаемое количество темной материи, а также сверхмассивных дыр, после чего распределение дыр становится стационарным.

Это решает проблему наличия в ранней Вселенной сверхмассивных дыр и зрелых спиральных галактик, которая возникла в ходе наблюдений телескопа «Джеймс Уэбб» (JWST). Появилось множество теорий о сверхбыстром образовании сверхмассивных дыр. На самом деле, они не образуются после Большого взрыва в пожарном порядке, а просто попадают в наш цикл из предыдущего цикла. Смелую гипотезу о том, что черные дыры могут попадать к нам из предыдущего цикла Вселенной, выдвинули в 2011 году Бернард Карр и Алан Коли (B. Carr, A. Coley 2011. Persistence of black holes through a cosmological bounce). Численный расчет, проведенный мной и С. Тюльбашевым в 2021 году лишь подтвердил жизнеспособность этой идеи в условиях циклической Вселенной.

В качестве следствия развитой модели эволюции черных дыр, в нашей статье было сделано заключение: «В момент максимального сжатия Вселенной происходит массовое слияние черных дыр, которое порождает мощную вспышку реликтового гравитационного излучения...». На этом предсказании реликтовых гравитационных волн нужно остановиться подробнее.

Гравитационное излучение двойной системы черных дыр имеет частоту их вращения вокруг центра инерции системы. Максимум частоты вращения достигается, когда расстояние между дырами становится близко к размеру черных дыр. Нами был сделан вывод, что самую массивную часть популяции черных дыр составляют дыры в несколько масс Солнца. Нетрудно показать, что, при слиянии таких дыр возникает гравитационное излучение с частотой около сотни герц. Именно такое излучение при современном слиянии пар черных дыр регистрируется детектором LIGO. Естественно, при сжатии Вселенной темп таких слияний был неизмеримо выше, и мощность излучения в момент максимального коллапса была очень высока (при сохранении тех же частот гравитационных волн).

Любое излучение, возникшее на ранних стадиях Вселенной, испытывает красное смещение, то есть увеличение длины волны в z

раз. Это увеличение примерно равно отношению современного диаметра нашего мира к размеру Вселенной при Большом сжатии. Целый ряд фактов указывает на то, что минимальный размер Вселенной составляет несколько световых лет, что соответствует $z \sim 10^{10}$. Именно в этот момент количество слияний черных дыр было максимальным, что порождает мощную вспышку гравитационного излучения. Следовательно, длина волны этого реликтового излучения должны испытать красное смещение на 10 порядков, поэтому волны с частотой 100 герц, возникшие при Большом сжатии, должны превратиться в волны с современной частотой 10^{-8} Гц (рис. 4).

Наблюдательные подтверждения предсказания теории осциллирующей Вселенной

Если обсерватория LIGO ловит достаточно высокочастотные волны с помощью лазерной интерферометрии, то консорциум NANOGrav регистрирует низкочастотные гравитационные волны, используя совсем другой метод. Российский астрофизик М. В. Сажин предложил в 1978 году метод регистрации низкочастотных гравитационных волн с помощью наблюдения миллисекундных пульсаров и анализа смещений их частот. Этот метод принес блестящие плоды: с его помощью североамериканскими (NANOGrav) и австралийским (PPTA) радиотелескопами были обнаружены наногерцовые гравитационные волны.

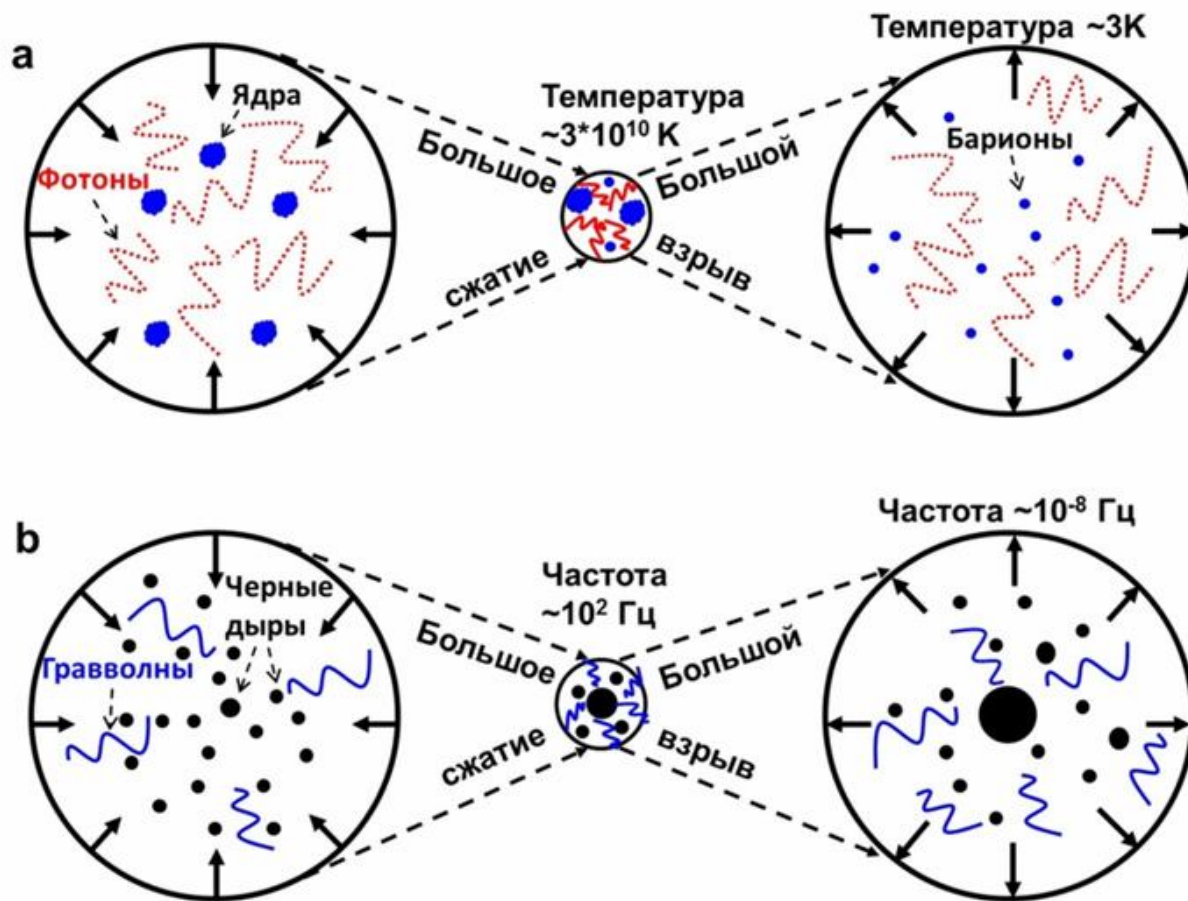


Рис. 4. Эволюция реликтовых электромагнитных волн (a) и реликтового гравитационного излучения (b) во Вселенной при Большом сжатии и Большом взрыве. При сжатии тяжелые ядра распадаются на барионы, а также образуется самая Большая Черная Дыра. Рисунок из статьи N. Gorkavyi et al., 2018. A Possible Solution for the Cosmological Constant Problem, с изменениями

Их период составляет несколько лет. Окончательное доказательство того, что наблюдаемые колебания частоты пульсаров вызваны гравитационными волнами, было получено в 2023 году (Зарегистрированы низкочастотные гравитационные волны, «Элементы», 07.07.2023). В мае 2024 года вышла статья европейских и индийских радиоастрономов, которые подтвердили открытие гравитационных волн наногерцового диапазона.

Это важнейшее открытие последнего десятилетия, потому что наногерцовые реликтовые гравитационные волны являются аналогами реликтового микроволнового излучения. Как открытие фонового теплового излучения в 1965 году стало доказательством горячей Вселенной и Большого взрыва, так и обнаружение наногерцовых гравитационных волн прямо свидетельствует в пользу модели циклической Вселенной, в которой черные дыры играют ключевую роль.

Отмечу, что наша с С. Тюльбашевым статья 2021 года, где был предсказан «высокий уровень реликтового гравитационного излучения, порождаемого в момент максимальных сжатий

Вселенной и массовых слияний черных дыр», была отправлена летом 2019 года в *Астрономический журнал*, но была категорично отвергнута рецензентами. 6 мая 2020 года она была послана в *Астрофизический бюллетень* и, после длительных дискуссий, была принята к печати 3 марта 2021 года. Я отмечаю эти даты, чтобы сопоставить их с предварительными публикациями консорциума NANOGrav осенью-зимой 2020 года, где было описано открытие наногерцовых гравитационных волн на основе радионаблюдений пульсаров. Официально статья NANOGrav была опубликована 24 декабря 2020 года (Z. Arzoumanian et al., 2020. The NANOGrav 12.5 yr Data Set: Search for an Isotropic Stochastic Gravitational-wave Background).

Я в 2022 году на основе модели Горькавого — Тюльбашева получил спектр наногерцовых гравитационных волн, из которого можно сделать дополнительные конкретные предсказания, проверяемые наблюдениями (N. Gorkavyi, 2022. Gravitational wave background discovered by NANOGrav as evidence of a cyclic universe):

1) Спектр наногерцовых гравволн не будет описываться законом Планка или каким-либо другим законом, связанным с тепловым равновесием. Реликтовые фоновые гравволны должны отражать наблюдаемое современное распределение черных дыр, с учетом красного смещения.

2) Амплитуда реликтовых гравволн достаточно слабо меняется с увеличением частоты до периода в один год, но для периодов колебаний меньше года она должна быстро уменьшаться из-за отсутствия астрофизических черных дыр с массами $<4M_{\odot}$. Эта особенность спектра не следует из других моделей.

3) Многочисленные сверхмассивные черные дыры, которые в настоящее время наблюдаются в центрах галактик, должны генерировать во время Большого сжатия ультранизкочастотные (в настоящее время) гравитационные волны с частотой 10^{-14} – 10^{-17} Гц.

Позже модель была расширена на все другие частоты, и было показано, что хотя энергия фоновых гравитационных волн имеет заметный пик на наногерцовой частоте, основная энергия (возможно, в миллионы раз большая!) будет содержаться в главном пике килогерцовых гравитационных волн, образованных при слиянии черных дыр звездных масс в момент максимального расширения Вселенной. Частота таких килогерцовых волн — около 2000 Гц.

Это лишь самый яркий пример эффективности новой теории. Еще одним примером может служить теоретическое получение закона Талли — Фишера для связи скорости периферийного вращения галактик и их барионной массы, а также объяснения загадочного «M-сигма» соотношения между массой центральной сверхмассивной дыры с дисперсией скоростей в балдже галактик (N. Gorkavii, 2022. *Accretion of Galaxies around Supermassive Black Holes and a Theoretical Model of the Tully-Fisher and M-Sigma Relations*).

Заключение

Предлагаемая модель циклической Вселенной построена только из черных дыр, гравитационных волн и небольшой примеси обычной материи, из которой состоят все звезды, планеты и живые существа. Наша Вселенная — это стационарная вселенная Эйнштейна, в которой бьется беспокойное сердце вселенной Фридмана. Анализ популяции черных дыр показывает, что циклов у Вселенной было, как минимум, около тысячи (за это время популяция накапливающихся черных дыр приходит к стационарному состоянию), но, вероятно, гораздо больше.

Вселенная представляет собой маятник с перетеканием энергии между главными компонентами — негравитирующими гравволнами и гравитирующими черными дырами, что приводит к периодическому изменению общей гравитационной массы Вселенной. Она действительно оказалась бессмертным кантрианским фениксом, который ухитряется восставать из пепла, даже состоящего из неуничтожимых черных дыр. Циклическая космология объясняет механизм Большого взрыва, природу «темной энергии» и причину отсутствия гравитационных сингулярностей. Быстрое ускоренное расширение Вселенной в начальный период отвечает за ее однородность в первом приближении, но во втором приближении появляются анизотропные (и неоднородные) космологические феномены.

Новая циклическая космология решает загадку накопления темной материи в виде черных дыр, а

также раннего происхождения сверхмассивных, в миллиарды масс Солнца, черных дыр в центрах галактик. Для циклической Вселенной существует элегантное решение проблемы роста энтропии, которое тесно связано с судьбой самой большой черной дыры.

Все основные детали этого сценария получили строгое математическое обоснование, в обсуждаемой модели циклической Вселенной нет ни одного экзотического предположения или выдуманной сущности, вроде новых полей, размерностей или гипотетических частиц, и нет ни одной нерешенной принципиальной проблемы — такой как гравитационная сингулярность или накопление энтропии. Циклическая космология основана исключительно на известных фактах и на проверенных физических теориях, в первую очередь — на общей теории относительности. Пульсирующая Вселенная не нуждается в поддержке гипотетических феноменов, она прочно базируется на логике, ОТО и ядерной физике.

Данная модель осциллирующей Вселенной детально описана в моей книге, которая вышла в феврале 2023 года в издательстве Челябинского государственного университета под названием «Осциллирующая Вселенная». Книга вызвала такой интерес, что ведущее издательство научно-популярной литературы «Питер» выпускает ее второе издание, исправленное и дополненное, под измененным названием «Пульсирующая Вселенная». Книга поступит в продажу 1 июля 2024 года, предзаказы принимаются. Книга написана популярным языком, но все математические решения, на которых она основана, приведены в приложении.

Нобелевский лауреат Джон Мазер для готовящегося английского издания книги «The Oscillating Universe» написал такой отзыв: «Я обожаю эту книгу! В ней есть загадки, истории об удивительных людях, ищущих доказательства истины, и блестящие объяснения без математики. Не только „как началась Вселенная, если она имеет начало?“ Но также, поскольку Эйнштейн, похоже, прав насчет гравитации и искривленности пространства-времени: „что делает его искривленным?“ Может ли Вселенная действительно восстанавливаться после предыдущего коллапса? Я думаю, у Эйнштейна были бы те же вопросы, что и у Горькавого. Правильны ли новые идеи? Поживем — увидим.»

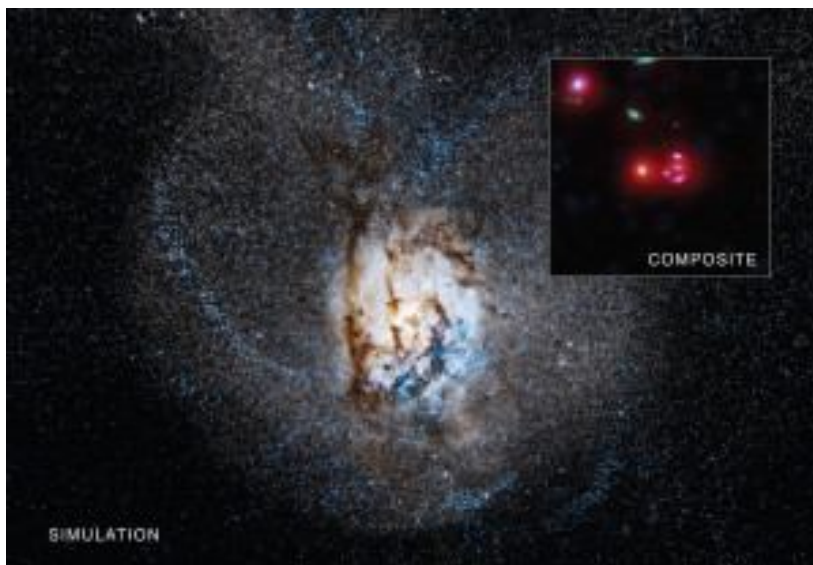
Источники:

- 1) A. Kashlinsky, F. Atrio-Barandela, C. S. Shrader. Probing the Dipole of the Diffuse Gamma-Ray Background // *The Astrophysical Journal Letters*. 2024. DOI: 10.3847/2041-8213/acfedd.
- 2) S. Smith et al. The Discovery of the Faintest Known Milky Way Satellite Using UNIONS // *The Astrophysical Journal*. 2024. DOI: 10.3847/1538-4357/ad0d9f.

Николай Горькавый,

https://elementy.ru/novosti_nauki/t/5272199/Nikolay_Gorkaviy

История астрономии второго десятилетия 21 века



2016г 11 декабря 2016 года сайт AstroNews сообщает, что далекая галактика SPT0346-52 находится на расстоянии 12,7 млрд световых лет и демонстрирует космос таким, каким он был менее миллиарда лет спустя после Большого взрыва. А был он весьма бурным: SPT0346-52 рождает молодые звезды в тысячи раз быстрее, чем наш Млечный Путь.

С того момента, как расположенная в Антарктиде обсерватория с телескопом South Pole Telescope (SPT) обнаружила галактику SPT0346-52, ее наблюдали самыми различными инструментами, как наземными, так и космическими. Данные телескопов ALMA показали, что галактика исключительно ярко светится в ИК-диапазоне. Это свидетельствует о бурном перераспределении достаточно горячих и плотных облаков вещества в процессе звездообразования, или, например, роста сверхмассивной черной дыры в центре галактики.

В новом исследовании астрономы во главе с Цзинчже Ма (Jingzhe Ma) из Университета штата Флорида в Гейнсвилле, США, наблюдая систему SPT 0346-52 при помощи рентгеновского космического телескопа НАСА «Чандра» (Chandra) и радиотелескопа Australia Telescope Compact Array Государственного объединения научных и прикладных исследований Австралии. Отсутствие рентгеновских и радиоволн позволило исследователям исключить из рассмотрения версию с центральной черной дырой и сделать выбор в пользу гипотезы стремительного звездообразования в этой галактике.

Чтобы определить настоящую причину, Брэндон Джонсон (Brandon Johnson) из Брауновского университета и его коллеги рассмотрели SPT0346-52

с помощью радиотелескопов австралийской обсерватории CSIRO, а также космического рентгеновского Chandra. В статье, опубликованной 9 декабря журналом Science Advances, ученые пишут, что ни в радио-, ни в рентгеновском диапазоне практически никакого излучения не обнаруживается, что позволило исключить вариант с черной дырой.

Композитное изображение галактики SPT0346-52 и ее окрестностей: синий цвет соответствует рентгену (Chandra, Чандра), зеленый – ближнему ИК (Hubble), красный и малиновый – ИК (Spitzer и ALMA). SPT0346-52 линзирована гравитацией расположенной между ней и нами

галактики.

Таким образом, мощное инфракрасное свечение галактики SPT0346-52 указывает на интенсивное звездообразование. Джонсон и его коллеги даже подсчитали темпы этого процесса: оказалось, в SPT0346-52 за год рождается порядка 4500 новых звезд, что является одной из самых больших скоростей звездообразования среди известных науке галактик. Для сравнения, в нашем Млечном Пути за год появляется только одна новорожденная звезда (солнечной массы). Возможно, такая картина была обычной для того далекого времени, в котором мы видим происходящее с галактикой SPT0346-52.



2016г 14 декабря 2016 года сайт AstroNews сообщает, что самая яркая из известных сверхновая звезда ASASSN-15lh на самом деле — черная дыра. Такую гипотезу высказала группа астрономов из нескольких обсерваторий, в том числе из Европейской южной обсерватории (ESO). Ученые предположили, что ASASSN-15lh это быстро вращающаяся черная дыра, а яркое свечение дает взрывающаяся рядом звезда, которая подошла слишком близко к черной дыре.

ASASSN-15lh была обнаружена 14 июня 2015 году в южном созвездии Индеец при помощи обзор неба All Sky Automated Survey for SuperNovae (ASAS-SN), расположенной на расстоянии примерно 4 миллиарда световых лет от Земли, и объявлена самой яркой сверхновой звездой из известных, ее яркость на своем пике была в 570 миллиардов раз ярче Солнца и в 20 раз ярче совокупного света, излучаемого галактикой Млечный Путь.

«Мы наблюдали за этим объектом 10 месяцев и пришли к выводу, что ASASSN-15lh вряд ли можно назвать сверхновой. Наши результаты указывают на то, что такое яркое свечение, вероятно, вызвано быстро вращающейся сверхмассивной черной дырой, которая уничтожила маломассивную звезду», — объяснил глава исследовательской группы Йоргос Лелудас (Giorgos Leloudas) из Центра космологии Института Вейцмана (Израиль).

Если ученые правы, и ASASSN-15lh представляет собой черную дыру, то гравитационные силы сверхмассивной черной дыры, расположенной в центре галактики, разрывали похожую на Солнце звезду, которая блуждала слишком близко. Это так называемое событие приливного разрушения (tidal disruption events, TDEs), которое до сих было зафиксировано в истории астрофизики всего десять раз. TDE-события представляют собой астрономические явления, которые происходят при подходе звезды близко к сверхмассивной черной дыре. При этом происходит разрыв светила под действием приливных сил со стороны черной дыры. Осколки разорванной звезды начинают падать на черную дыру, и из её окрестностей начинает вырываться мощное излучение, указывающее на событие TDE.

В рамках обзора неба intermediate Palomar Transient Factory (iPTF) 29 мая и 29 августа 2016 года были обнаружены два TDE получившие названия iPTF16axa и iPTF16fnl. Последующие дополнительные наблюдения этих объектов при помощи космической обсерватории НАСА «Свифт» (Swift) и наземных телескопов позволили глубже понять эволюцию этих объектов.

Как обнаружили исследователи, событие iPTF16axa было обнаружено через 49 суток после разрыва звезды. На кривой блеска события не отмечалось признаков цветовой эволюции с течением времени, и цветовая температура оставалась равной примерно 30000 Кельвинов. Кроме того, было обнаружено, что это событие TDE произошло в галактике с центральной черной дырой массой порядка 40 миллионов масс Солнца – одной из самых массивных центральных черных дыр галактик, для которых было засвидетельствовано участие в событии приливного разрыва звезды.

Родительская галактика события TDE iPTF16fnl (называемая Маркариан 950) содержит значительно менее массивную центральную черную дыру – ее масса не превышает двух миллионов масс Солнца. Эта черная дыра является наименее массивной черной дырой, принимающей участие в приливном разрыве, считая все известные TDE, наблюдаемые в оптическом диапазоне. Команда также отмечает, что iPTF16fnl демонстрирует мощное излучение в ультрафиолетовой части спектра, соответствующее температуре 19000 Кельвинов.

Для ASASSN-15lh все же все неоднозначно. Масса галактики предполагает, что сверхмассивная черная дыра в ее центре имеет массу по меньшей мере в 100 миллионов раз больше, чем Солнце. Черная дыра такой массы, как правило, не в состоянии сорвать звезду за пределами своего горизонта событий — границы, внутри которой ничто не в состоянии избежать ее гравитационного притяжения. Однако, если черная дыра является «черной дырой Керра» — быстровращающейся — ситуация меняется, и этот предел больше не применяется.

«Даже с учетом всех собранных данных мы не можем сказать со 100% уверенностью, что ASASSN-15lh — это событие приливного разрушения», — сказал Лелудас.

Свои наблюдения команда Лелудаса проводила при помощи нескольких наземных телескопов, включая Очень большой телескоп (Very Large Telescope, VLT) Паранальской обсерватории (Чили), телескоп New Technology Telescope, обсерватория Ла Силья, а также при помощи космического телескопа НАСА «Хаббл».

2016г 15 декабря 2016 года сайт AstroNews сообщает, что астрономы из Института астрономии (Institute for Astronomy, IfA) Гавайского университета, Бразилия, и Стэнфордского университета, США, разрешили давнюю загадку, связанную со скоростью вращения нашего светила.

Два десятилетия назад ученые открыли, что внешние пять процентов солнечного шара вращаются намного медленнее, чем остальная, внутренняя часть Солнца. Теперь в новом исследовании астрономы во главе с Джеффом Куном (Jeff Kuhn) из IfA описывают физический механизм, который объясняет замедление вращения внешних частей Солнца.

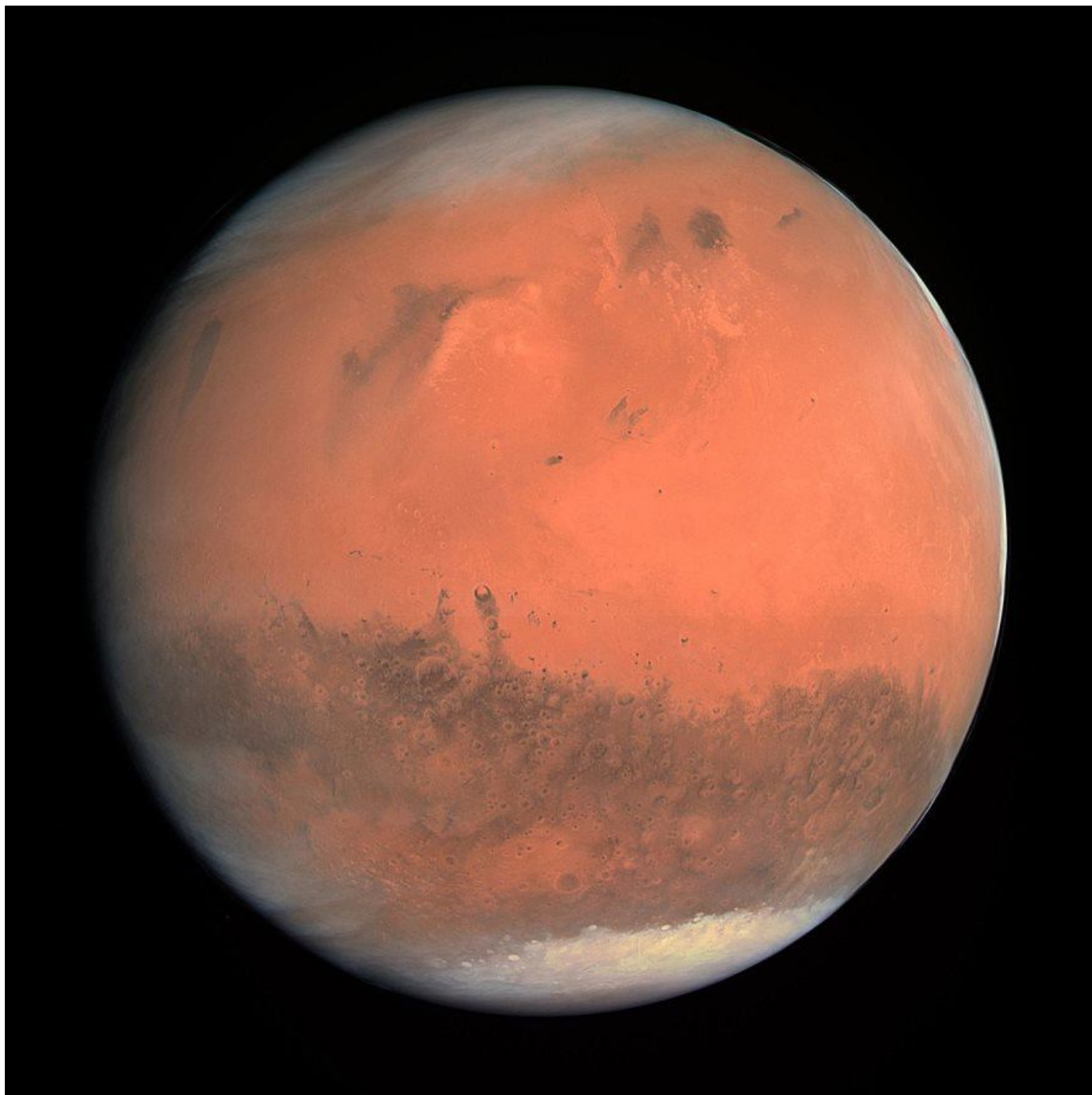
«Не то чтобы Солнце вообще остановилось в обозримом будущем, но мы открыли, что то же солнечное излучение, которое нагревает Землю, «тормозит» Солнце в соответствии с Общей теорией относительности Эйнштейна, заставляя его постепенно снижать скорость вращения, начиная с внешних слоев», - сказал Кун.

Солнце вращается вокруг своей оси с периодом примерно один месяц, однако характер этого вращения отличается от характера вращения вокруг своей оси Земли или другого твердого тела, поскольку скорость вращения Солнца изменяется с широтой и расстоянием от центра Солнца.

Команда использовала в своем исследовании данные, полученные при помощи инструмента Helioseismic and Magnetic Imager Обсерватории солнечной динамики НАСА, для измерения этого резкого спада скорости вращения внешней части Солнца, толщина которой составляет 15000 километров.

Исследование появится в январском выпуске журнала Physical Review Letters

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



Избранные астрономические события месяца (время всемирное - UT)

1 декабря - новолуние,

*1 декабря - покрытие Луной ($\Phi = 0,0+$)
Антареса (не видно из-за близости к Солнцу),*

2 декабря - Луна ($\Phi = 0,01+$) близ Меркурия,

*2 декабря - Луна ($\Phi = 0,01+$) проходит точку
максимального склонения к югу от небесного
экватора,*

*3 декабря - максимальная северная либрация
Луны по широте $6,6^\circ$,*

4 декабря - Луна ($\Phi = 0,14+$) близ Венеры,

*4 декабря - максимальная западная либрация
Луны по долготе $5,2^\circ$,*

*6 декабря - Меркурий в нижнем соединении с
Солнцем,*

*7 декабря - Юпитер в противостоянии с
Солнцем,*

7 декабря - Марс в стоянии с переходом к попятному движению,
8 декабря - покрытие Сатурна Луной ($\Phi = 0,47+$) при видимости в акватории Тихого океана,
8 декабря - Нептун в стоянии с переходом к прямому движению,
8 декабря - максимум действия метеорного потока Моноцеротиды ($ZHR = 2$) из созвездия Единорога,
8 декабря - Луна в фазе первой четверти,
9 декабря - покрытие Луной ($\Phi = 0,58+$) Нептуна при видимости в Сибири,
9 декабря - Луна ($\Phi = 0,63+$) в восходящем узле своей орбиты,
12 декабря - Луна ($\Phi = 0,90+$) в перигее своей орбиты на расстоянии 365360 км от центра Земли,
13 декабря - Луна ($\Phi = 0,95+$) близ Урана,
13 декабря - Луна ($\Phi = 0,96+$) проходит южнее рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в южных районах страны),
14 декабря - максимум действия метеорного потока Геминиды ($ZHR = 120$) из созвездия Близнецов,
14 декабря - Луна ($\Phi = 0,99+$) близ Юпитера,
15 декабря - полнолуние, 15 декабря - Луна ($\Phi = 0,99-$) проходит точку максимального склонения к северу от небесного экватора,
15 декабря - Меркурий в стоянии с переходом к прямому движению,
16 декабря - максимальная южная либрация Луны по широте $6,5^\circ$,
18 декабря - максимальная восточная либрация Луны по долготе $6,2^\circ$,
18 декабря - покрытие Луной ($\Phi = 0,89-$) Марса при видимости в северных районах страны,
18 декабря - Луна ($\Phi = 0,88-$) проходит близ рассеянного звездного скопления Ясли (M44),
20 декабря - Луна ($\Phi = 0,74-$) близ Регула,
21 декабря - зимнее солнцестояние,
22 декабря - максимум действия метеорного потока Урсиды ($ZHR = 10$) из созвездия Малой Медведицы,
22 декабря - Луна в фазе последней четверти,
22 декабря - Луна ($\Phi = 0,50-$) в нисходящем узле своей орбиты,
24 декабря - Луна ($\Phi = 0,37-$) в апогее своей орбиты на расстоянии 404486 км от центра Земли,
24 декабря - Луна ($\Phi = 0,33-$) близ Спики (покрытие при видимости в Юго-Восточной Азии),
25 декабря - Меркурий в максимальной западной (утренней) элонгации 22 градуса,
28 декабря - покрытие Луной ($\Phi = 0,06-$) Антареса (при видимости в акватории Тихого океана),
30 декабря - Луна ($\Phi = 0,01-$) проходит точку максимального склонения к югу от небесного экватора,

30 декабря - максимальная северная либрация Луны по широте $6,5^\circ$,
30 декабря - максимальная западная либрация Луны по долготе $4,8^\circ$,
30 декабря - новолуние.

Солнце до 18 декабря движется по созвездию Змееносца, а затем переходит в созвездие Стрельца. Склонение центрального светила 21 декабря в 09 часов 20 минут по всемирному времени достигает минимума ($23,5$ градуса к югу от небесного экватора), поэтому продолжительность дня в северном полушарии Земли минимальна. В начале месяца она составляет 7 часов 23 минуты, 22 декабря составляет 6 часов 56 минут, а к концу описываемого периода увеличивается до 7 часов 02 минут. Приведенные выше данные по продолжительности дня справедливы для **городов на широты Москвы**, где полуденная высота Солнца почти весь месяц придерживается значения 10 градусов. Наблюдать центральное светило можно весь день, но **нужно помнить, что визуальное изучение Солнца в телескоп или другие оптические приборы нужно обязательно (!) проводить с применением солнечного фильтра.** (рекомендации по наблюдению Солнца имеются в журнале «Небосвод» <http://astronet.ru/db/msg/1222232>).

Луна начнет движение по небу декабря при фазе $0,0$ в созвездии Скорпиона. В этом созвездии 1 декабря Луна ($\Phi = 0,0+$) покроет Антарес (не видно из-за близости к Солнцу). В этот же день при фазе $0,01+$ лунный серп перейдет в созвездие Змееносца, где 2 декабря при фазе $0,01+$ пройдет южнее Меркурия. В этот же день при фазе $0,02$ Луна перейдет в созвездие Стрельца. Здесь 4 декабря лунный серп при фазе $0,14+$ пройдет близ Венеры, а 5 декабря перейдет в созвездие Козерога. 7 декабря Луна при фазе $0,34+$ перейдет в созвездие Водолея, где 8 декабря покроет Сатурн при фазе $0,47+$ и при видимости в акватории Тихого океана. В созвездии Водолея Луна примет фазу первой четверти 8 декабря. 9 декабря Луна ($\Phi = 0,57+$) перейдет в созвездие Рыб, где при фазе $0,58+$ покроет Нептун при видимости в Сибири. В созвездии Рыб Луна пробудет до 11 декабря, когда при фазе $0,82+$ перейдет в созвездие Овна. 13 декабря яркий лунный диск ($\Phi = 0,95+$) пройдет севернее Урана, перейдя затем в созвездие Тельца. Здесь Луна при фазе $0,96+$ пройдет южнее рассеянного звездного скопления Плеяды (покрытие при видимости в южных районах страны). 14 декабря Луна ($\Phi = 0,98+$) пройдет близ Альдебарана, а при фазе $0,99+$ - близ Юпитера. В созвездии Тельца 15 декабря Луна примет фазу полнолуния, а затем перейдет в созвездие Близнецов, где пробудет до 17 декабря, когда при фазе $0,93-$ вступит в созвездие Рака. 18 декабря Луна ($\Phi = 0,88-$) будет наблюдаться близ Марса и рассеянного звездного скопления Ясли (M44), а 19 декабря при фазе $0,83-$ перейдет в созвездие Льва. Здесь 20 декабря Луна ($\Phi = 0,74-$) пройдет близ Регула, а 22 декабря лунный полудиск ($\Phi = 0,56-$) вступит в созвездие Девы. Здесь Луна примет 22 декабря фазу последней четверти, 24 декабря ($\Phi = 0,33-$) покроет Спику при видимости в Юго-Восточной Азии. 26 декабря Луна перейдет в созвездие Весов, уменьшив фазу до $0,22-$, а 27

декабря достигнет созвездия Скорпиона при фазе 0,1-. В этом созвездии 28 декабря Луна ($\Phi = 0,06$ -) второй раз за месяц покрывает Антарес (при видимости в акватории Тихого океана). 29 декабря Луна перейдет в созвездие Змееносца при фазе 0,04-, а при фазе 0,01- перейдет в созвездие Стрельца. Здесь 30 декабря Луна примет фазу новолуния и закончит в созвездии Стрельца свой путь по декабрьскому небу при фазе 0,01+.

Большие планеты Солнечной системы.

Меркурий движется попятно (15 декабря меняя движение на прямое) по созвездиям Змееносца и Скорпиона. 2 декабря близ Меркурия пройдет Луна. Быстрая планета 6 декабря проходит нижнее соединение с Солнцем и переходит с вечернего неба на утреннее. 25 декабря Меркурий достигнет максимальной западной элонгации 22 градуса. Блеск Меркурия после соединения увеличивается от +5m до -0,4m. Видимый диаметр Меркурия уменьшается от 10 до 6 угловых секунд. Фаза планеты после соединения увеличивается от 0 до 0,75 к концу месяца. В телескоп виден небольшой серп, переходящий в полудиск и овал.

Венера движется в одном направлении с Солнцем по созвездию Стрельца, 6 декабря переходя в созвездие Козерога, а в конце года - в созвездие Водолея. Планета находится на вечернем небе. 4 декабря близ Венеры пройдет Луна. Угловое расстояние планеты от Солнца за месяц увеличится 43,5 до 47 градусов к востоку от Солнца. Видимый диаметр планеты составляет 17 - 22", а фаза около 0,6 при блеске -4m. В телескоп наблюдается небольшой овал без деталей.

Марс перемещается в одном направлении с Солнцем (7 декабря меняя движение на попятное) по созвездию Рака близ рассеянного звездного скопления Ясли (M44). Загадочную планету можно найти на ночном небе. 18 декабря близ Марса пройдет Луна (покрытие). Блеск Марса увеличивается от -0,5m до -1 m, а видимый диаметр - от 11,6 до 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 ночном небе, 7 декабря вступая в противостояние с Солнцем. 14 декабря близ Юпитера пройдет Луна. Угловой диаметр самой большой планеты Солнечной системы составляет около 48" 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 вечером и ночью. 8 декабря Сатурн покрывается Луной. Блеск планеты составляет около +1m при видимом диаметре около 17". В небольшой телескоп можно наблюдать кольцо и спутник Титан,

а также другие наиболее яркие спутники. Видимый наклон колец Сатурна составляет около 5 градусов.

Уран (6m, 3,5") перемещается попятно по созвездию Тельца южнее звездного скопления Плеяды. Планета видна почти всю ночь. 13 декабря 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 попятно (8 декабря меняя движение на прямое) по созвездию Рыб, близ звезды лямбда Psc (4,5m). Планета видна вечером и ночью. 9 декабря Нептун покрывается Луной. Найти планету в период видимости можно в бинокль с использованием звездных карт [Астрономического календаря на 2024 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 8m движется по созвездию Орла. Вторая перемещается по созвездиям Стрельца, Козерога и Водолея при максимальном расчетном блеске около 8m. 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 8m. 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 8 декабря в максимуме действия окажутся Моноцеротиды (ZHR= 2) из созвездия Единорога. Луна в период максимума этого потока будет иметь фазу близкую к первой четверти и будет помехой для наблюдений. 14 декабря максимума действия достигнут Геминиды (ZHR= 120) из созвездия Близнецов. Мощный зимний поток с высоким радиантом. Луна в фазе полнолуния помешает наблюдениям. 22 декабря максимума действия достигнут Урсиды (ZHR= 10) из созвездия Малой Медведицы. Луна, в фазе близкой к последней четверти, будет помехой для наблюдений. Подробнее на <http://www.imo.net>.
Дополнительно в АК_2024 - <https://www.astronet.ru/db/msg/1905058>

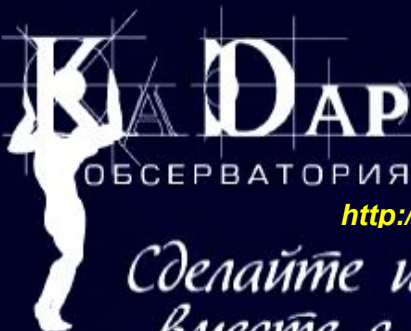
Ясного неба и успешных наблюдений!

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 № 12 за 2024 год** <http://www.astronet.ru/db/news/>

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 2024 год

<http://www.astronet.ru/db/msg/1905058>

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

**Комета Цзыцзиньшань-ATLAS
над Мексикой**

Daniel Korona

