



КАПЛЯ МОСКВИЧ Нейтронные звезды

КАК ПОНЯТЬ
ЗОМБИ ИЗ КОСМОСА

CoRpus

ЭЛЕМЕНТЫ 2.0



Книжные проекты
Дмитрия Зимина

Поклонники Карла Сагана оценят
этот портрет нового научного
направления — многоканальной
астрономии. **PUBLISHERS WEEKLY**

Элементы 2.0

Катя Москвич

**Нейтронные звезды. Как
понять зомби из космоса**

«Издательство АСТ»

2020

УДК 52
ББК 22/6

Москвич К.

Нейтронные звезды. Как понять зомби из космоса /
К. Москвич — «Издательство АСТ», 2020 — (Элементы 2.0)

ISBN 978-5-17-137602-4

Представьте себе сферический объект диаметром всего километров двадцать, но при этом в два-три раза массивнее нашего Солнца. Таковы нейтронные звезды, загадочные и удивительные. Они делают шестьсот оборотов в секунду, причем их вращение столь регулярно, что в недалеком будущем они, вероятно, будут играть роль галактической навигационной системы, направляющей людей к другим мирам. Научная журналистка Катя Москвич приглашает читателей в путешествие по обсерваториям всего мира и по просторам Вселенной. Она рассказывает о многоканальной астрономии, о пульсарах, магнетарах, феерических вспышках сверхновых и о многих других потрясающих объектах и событиях в нашей Вселенной. Это книга о “зомби из космоса” — о жизни звезд после смерти. В формате PDF A4 сохранен издательский макет книги.

УДК 52
ББК 22/6

ISBN 978-5-17-137602-4

© Москвич К., 2020
© Издательство АСТ, 2020

Содержание

Пролог	7
Глава 1	10
Конец ознакомительного фрагмента.	25

Катя Москвич

Нейтронные звезды. Как понять зомби из космоса

Моим сыновьям Тиму и Гаю

Памяти Фрица Цвикки

ЭЛЕМЕНТЫ 2.0

**KATIA MOSKVITCH
NEUTRON STARS
THE QUEST TO UNDERSTAND THE ZOMBIES OF THE COSMOS**

Перевод с английского

Инны Кагановой и Татьяны Лисовской

Издание осуществлено при поддержке “Книжных проектов Дмитрия Зимина”
Published by arrangement with Harvard University Press



© 2020 by the President and Fellows of Harvard College

© И. Каганова (пролог, гл. 1–5, благодарности), Т. Лисовская (гл. 6–9, эпилог), перевод на русский язык, 2023

© А. Бондаренко, художественное оформление, макет, 2023

© ООО “Издательство АСТ”, 2023

Издательство CORPUS ®



Эта книга издана в рамках программы “Книжные проекты Дмитрия Зимина” и продолжает серию “Библиотека фонда «Династия»”. Дмитрий Борисович Зимин – основатель компании “Вымпелком” (*Beeline*), фонда некоммерческих программ “Династия” и фонда “Московское время”.

Программа “Книжные проекты Дмитрия Зимина” объединяет три проекта, хорошо знакомых читательской аудитории: издание научно-популярных книг “Библиотека фонда «Династия»”, издательское направление фонда “Московское время” и премию в области русскоязычной научно-популярной литературы “Просветитель”.

Подробную информацию о “Книжных проектах Дмитрия Зимина” вы найдете на сайте ZIMINBOOKPROJECTS.RU

Пролог

“Я собирался рассказать вам нечто потрясающее. В вашей карьере это станет самым важным событием”, – сообщил мне Мэтью Бейлз, астроном из Технологического университета Суинберна в Австралии, 6 сентября 2017 года, предлагая подвезти меня домой. Теплый вечер, только что закончилась бесконечно длинная конференция, проходившая вблизи Манчестера в обсерватории Джодрелл-Бэнк в Англии. Здание, где проходили заседания, расположено поблизости от величественного телескопа *Lovell*. Конференция посвящалась пятидесятой годовщине открытия радиопульсаров – далеких, быстро вращающихся космических объектов, источников мощного излучения. Их обнаруживают по всплескам радиоволн, рентгеновского и гамма-излучения, которые регистрируют телескопы. Пульсары – это нейтронные звезды, то есть маленькие, но невероятно плотные и невероятно намагниченные объекты, образующиеся из остатков звезд с массой, в два-три раза превышающей массу нашего Солнца, после феерической вспышки сверхновой.

Знаменательно, что конференция проходит в Англии. Дело в том, что в 1967 году пульсары были открыты именно в Англии молодой ирландкой Джоселин Белл, магистрантом Кембриджского университета. Я смотрю на радиотелескоп. В лучах быстро заходящего солнца он приобрел красноватый оттенок и возвышается над нами, как гигантский психоделический гриб.

Бейлз знает, что я научный журналист, жаждущий новостей. Я всегда ищу интересные темы. Но теперь все не совсем так, как обычно. Бейлз хочет что-то рассказать, очень хочет, но почему-то не может. Произошло нечто очень важное, по-настоящему важное. В твиттере гуляют слухи, что зарегистрировано столкновение двух нейтронных звезд. Если это правда, значит, ученым удалось “захватить их с поличным” и, возможно, наблюдать нечто большее, чем просто пульсации нейтронных звезд. Новость еще не стала достоянием широкой публики и в ближайшие недели вряд ли станет. Но если слухи подтвердятся, это открытие, похоже, позволит ответить на многочисленные вопросы, относящиеся к этим загадочным объектам, о которых мы так мало знаем. Оно может помочь понять, например, происхождение коротких, но невероятно мощных гамма-всплесков и даже подтвердить общую теорию относительности Альберта Эйнштейна.

Однако, если новость известна пяти тысячам человек, сохранить секрет – большая проблема. Весь день одновременно с официальными докладами слышался приглушенный гул – ученые обсуждали предполагаемое открытие. Новость нависла над участниками конференции как грозовая туча, готовая пролиться в любой момент.

Этим вечером я несколько часов провела с Бейлзом в деревенском пабе в нескольких минутах езды от Джодрелл-Бэнк. В зале стоял запах пива и сырых дрожжей, который, казалось, тонким слоем покрывал стены. Разговор шел странный: Бейлз осторожно, не говоря ничего конкретно, намекал, что вот-вот станет известно нечто, что изменит историю астрофизики. Как и другие ученые, он не забывал о запрете LIGO¹ – обсерватории, которая руководила всеми детекторами, первыми зафиксировавшими это событие. А я старалась использовать все свои журналистские приемы, чтобы выведать больше. Однако мне пришлось довольствоваться большим количеством “возможно” про “вероятное”, но “не доказанное” событие. И все же, распрошавшись с Бейлзом, я сразу набрала номер Майка Мойера, редактора *Quanta Magazine*.

¹ *Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*, “лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория”. – Здесь и далее, если не указано иное, прим, перев.

“Майк! Произошло что-то важное. Ты знаешь о гуляющих в твиттере слухах о возможном слиянии нейтронных звезд? Похоже, что это правда. Мы должны сразу заняться этой историей”.

На самом деле слияние нейтронных звезд – это катастрофическое столкновение в дальнем космосе двух невероятно плотных, массивных, но очень маленьких объектов. Открытие стало золотым дном для астрономов и позволило найти решения для большого числа космических загадок, и каждое такое решение можно считать большим научным успехом. Мы теперь знаем, откуда берется большинство тяжелых элементов. Но гораздо важнее появление многоканальной астрономии – нового подхода к наблюдению Вселенной – и возобновившийся интерес к классу таких примечательных объектов, как нейтронные звезды.

Моя цель – познакомить вас с этими удивительными и загадочными объектами, а также с людьми и местами, связанными с решением поражающих воображение загадок, которые они ставят перед нами. Только представьте себе сферу, диаметр которой всего двадцать километров, а масса – в пару-тройку раз больше массы нашего Солнца. Этот объект делает шестьсот оборотов в секунду, причем его вращение столь регулярно, что, возможно, в недалеком будущем нейтронные звезды будут играть роль галактической навигационной системы, направляющей людей к другим мирам. Более популярные черные дыры затмили нейтронные звезды. Пришло время вытащить их из пыльных сундуков астрофизики.

Чтобы написать эту книгу, я объехала весь мир, побывала в отдаленных местах, где радиотелескопы, большие и маленькие, слушают Вселенную. Вместе со мной вы увидите безлюдный марсианский ландшафт пустыни Атакама в Чили, побываете в джунглях Пуэрто-Рико. Мы окажемся в Карру – засушливом регионе Южно-Африканской Республики, заглянем в отдаленный уголок Австралии – страны кенгуру, ядовитых змей и белых какаду, прогуляемся по болотистой сельской местности в Нидерландах, по промокшей под дождем деревенской Англии, по полям вблизи города Пиза в Италии. В горах Западной Вирджинии вас ждет округ Покахонтас, а в Британской Колумбии – поразительная, утопающая в садах и виноградниках долина Оканаган.

Путешествие не ограничится обсерваториями: сквозь пространство и время вы отправитесь к окраинам нашей Галактики и дальше, в межгалактические просторы. Вы узнаете, что нейтронные звезды рождаются тогда, когда умирают звезды размером в несколько наших Солнц. Их смерть сопровождается невероятно мощным взрывом – вспышкой сверхновой. Вы поймете, к чему ведет космическая катастрофа – столкновение двух нейтронных звезд, при котором возбуждается такая мощная гравитационная волна, что ее можно зарегистрировать на Земле. Вы узнаете, где произошла самая яркая из когда-либо наблюдавшихся вспышек электромагнитного излучения. Такая вспышка по крайней мере на короткое время затмевает в гамма-лучах всю видимую с Земли часть Вселенной.

Благодаря работе замечательных ученых, с которыми вы встретитесь на страницах этой книги, вы узнаете, что быстро вращающиеся нейтронные звезды – пульсары – излучают радиоволны и как эти волны удастся обнаружить. Вам станет известно, как ученые обнаруживают нейтронные звезды в центре остатков сверхновых или останков взорвавшихся сверхгигантов, которые в старые времена назывались “звезды-гости”. Вы познакомитесь с входящими в двойные

системы “миллисекундными пульсарами”, вращающимися со скоростью порядка тысячи оборотов в секунду, но при этом так сильно связанными со своими “компаньонами”, что эта система не разрушается. Вы узнаете о магнетарах, обладающих самым мощным магнитным полем в природе, и о радиопулсарах, у которых внезапно происходит сбой частоты вращения, или “глитч”, помогающий астрономам исследовать странные физические явления, происходящие внутри нейтронных звезд.

Наконец, вы узнаете о недавно открытых быстрых радиовсплесках, коротких импульсах, которые астрономы все еще пытаются объяснить. Вполне вероятно, что они генерируются нейтронными звездами. Множество радиотелескопов работает без остановки, чтобы узнать чуть больше об этих загадочных вспышках в далеком космосе. Но, даже когда ответ на этот вопрос будет получен, книгу о нейтронных звездах нельзя будет считать оконченной, ведь так много еще предстоит открыть в нашей Галактике и за ее пределами. Поэтому, выходя на улицу, неважно, в залитом огнями городе или в безлюдной пустыне, не забудьте посмотреть вверх. Невооруженным глазом нейтронных звезд вы не увидите, но будете знать, что они есть, что они вращаются где-то, посылая нам радиоволны и возмущая пространство-время. Жизнь – это гораздо больше, чем мы видим вокруг себя. И в этом ее красота.

Посмотрите вверх!

Глава 1

Столкновение, которое сотрясло космос

Это случилось утром 17 августа 2017 года. Всю ночь Марика Бранчези, итальянский астроном, доцент Научного института Гран-Сассо, провела в госпитале живописного городка-крепости Урбино в центре Италии. Она устала. Роды у ее младшей сестры Марилисы шли сложно и долго, и Марика хотела быть рядом. Наконец на свет появился здоровый мальчик, которого назвали Ной. Время дорого: Марика решила, что пора уходить. Новоиспеченная тетя поздравила и поцеловала на прощанье сестру, улыбнулась маленькому Ною и отправилась домой отдыхать.

Во время каникул Урбино выглядел абсолютно пустым. Отец Марики забрал ее у госпиталя и отвез домой, петляя по узким улочкам с домами из белого кирпича. Казалось, исходящий от них жар усиливает духоту. Наконец Марика с отцом подъехали к небольшому, окруженному тенистым садом дому, где жила ее семья. Это был день рождения ее мужа Яна. Ян только начал готовить обед, а их дети, двухлетний сын Диего и его восьмимесячный брат Дамиан, спокойно играли в саду.

Бранчези включила лэптоп. Она очень устала, но хотела еще кое-что сделать по работе. Будучи членом международного сообщества ученых, работающих с LIGO, лазерно-интерферометрической гравитационно-волновой обсерваторией, базирующейся в Соединенных Штатах, и детектором гравитационных волн *Virgo* в Италии близ Пизы, она знала, что всего три дня назад приборы зафиксировали сигнал от столкновения двух далеких черных дыр.

Такие открытия бывали и раньше: после последней модернизации детектор LIGO пять раз регистрировал подобные события. Астрономы впервые наблюдали слияние черных дыр 14 сентября 2015 года, всего через несколько дней после повторного включения LIGO. Теперь благодаря LIGO наконец появилась возможность непосредственно наблюдать гравитационные волны – рябь пространства-времени, обусловленную катастрофическими столкновениями невероятно плотных объектов в далеком космосе. Эта расходящаяся волнами рябь охватывает Землю наподобие волн от камня, брошенного на спокойную поверхность пруда. Наблюдение гравитационных волн подтвердило правоту Альберта Эйнштейна, предсказавшего почти сто лет назад, что гравитация может создавать волны, распространяющиеся по Вселенной со скоростью света. 3 октября 2017 года Кип Торн, Райнер Вайсс и Барри Бэриш, трое из четырех ученых, стоявших у истоков проекта LIGO, получили Нобелевскую премию по физике за то, что сделали возможной регистрацию гравитационных волн¹. (Рональд Древер, еще одна ключевая фигура при разработке технологии LIGO, умер за полгода до того, как были объявлены лауреаты Нобелевской премии за 2017 год.)

Однако Бранчези была немного разочарована. Хотя слияние черных дыр – событие, безусловно, интересное, на самом деле она надеялась, что LIGO зарегистрирует нечто другое. Бранчези искала следы столкновения двух объектов, еще более таинственных, чем черные дыры, – небольших, сверхплотных, быстро вращающихся ядер массивных звезд, ядерное горючее которых уже выгорело – и они “сколлапсировали” под действием собственной гравитации. К сожалению, всего неделя отделяла LIGO от остановки на два года для проведения следующей запланированной модернизации, но до сих пор удалось обнаружить только слияние черных дыр. Это, конечно, немало, но для Бранчези недостаточно.

“Все готово, к столу!” – позвал Ян из сада. “Еда для мамочки!” – радостно повторил за ним Диего. Бранчези закрыла лэптоп и присоединилась к семейству. Покончив с салатом, она подхватила Дамиана и взяла за руку Диего, намереваясь уложить их спать. Измученная бессонной ночью, она надеялась, что и ей наконец удастся отдохнуть. Именно тогда звякнул ее

телефон, оповещая о новом сообщении: ее просили присоединиться к телефонной конференции, срочно организованной коллегами по сообществу LIGO.

Никаких шансов отдохнуть в этот день у Бранчези уже не осталось. На самом деле ей не удалось выспаться и в ближайшие десять дней. От прочитанного у Бранчези перехватило дыхание. Только что два детектора LIGO одновременно с *Virgo* зарегистрировали именно то, чего она так ждала: сигнал недвусмысленно указывал на то, что на расстоянии около 130 миллионов световых лет от Земли столкнулись две нейтронные звезды. Хотя нейтронные звезды не такие плотные объекты, как черные дыры, их столкновение оказалось достаточно сильным, чтобы привести к высвобождению огромной энергии и запустить гравитационную рябь, разошедшуюся во все стороны по пространству-времени.

А теперь рябь наконец добралась до Земли². Бранчези на мгновение закрыла глаза. Если бы LIGO не модифицировали два года назад, эти возмущения, невероятно ослабленные за время путешествия, занявшего 130 миллионов лет, дошли бы до Земли и прошли бы никем не замеченные. Ничего нового ученые не узнали бы. В этот раз благодаря Бранчези и еще небольшой группе астрофизиков, астрономов и физиков, изучающих гравитационные волны, они были готовы к этой столь маловероятной встрече.

Она посмотрела на сыновей. Диего уже слышал от своих родителей множество историй о черных дырах, скоро его мама добавит еще несколько о нейтронных звездах. Бранчези знала, что если это наблюдение подтвердится, то слияние, теперь известное как GW170817, вполне может стать определяющим моментом в ее карьере, кульминацией ее десятилетних усилий по объединению исследователей из самых разных областей для совместной работы.

Любые приходящие из космоса сигналы могут быть “посланниками”. Например, от нашего Солнца исходит не только свет, но и непрерывающийся поток почти безмассовых частиц, так называемых нейтрино³. С помощью многоканальной астрономии удалось подтвердить всего три события, произошедшие за пределами нашего Млечного Пути. В 1987 году с использованием оптических телескопов и при участии нейтринных обсерваторий была обнаружена сверхновая. В 2018 году оптическим телескопам и детектору нейтрино *IceCube* в Антарктике удалось идентифицировать источник космических нейтрино⁴. Им оказался блазар – объект высокой светимости, связанный со сверхмассивной черной дырой в центре галактики, расположенной в четырех миллиардах световых лет от нас. Однако переломным моментом стало обнаружение и наблюдение в 2017 году гравитационно-волнового всплеска GW170817. Это и был проект, на который столько сил положила Бранчези. В этот раз физики зафиксировали проходящие через Землю пульсации пространства-времени и немедленно оповестили астрономов. Астрономы направили к источнику этих слабых пульсаций свои оптические, радио- и все другие возможные телескопы, предназначенные для приема электромагнитного излучения различных длин волн, чтобы зафиксировать весь спектр сигналов, иначе говоря, посланников космического катаклизма.

Очень важно, что это историческое столкновение и находящаяся в стадии становления многоканальная астрономия помогли ученым получить представление об устройстве и эволюции этих удивительно странных объектов нашей Вселенной – нейтронных звезд⁵.

Благодаря своей работе Бранчези уже в следующем году попала в список самых влиятельных людей 2018 года по версии журнала *Time*⁶.

Но даже до получения результатов, уже в Урбино, стоя в своем нагретом летним солнцем саду днем 17 августа 2017 года, она знала: это событие навсегда останется в науке будущего и в исторических книгах.

За одиннадцать миллиардов лет до открытия

Посмотрите как-нибудь ночью на полную Луну. Затем представьте себе, что вы поставили на ней ручкой точку, диаметр которой составляет менее 1 % от диаметра Луны. Поскольку поперечный размер Луны примерно 3476 километров, диаметр нарисованной точки будет около 20 километров. Это чуть меньше диаметра Чикаго, если представить себе, что этот город свернулся в плывущий в космосе шар. Средний размер нейтронной звезды именно такой.

Нейтронная звезда – это то, что осталось от звезды, масса которой изначально составляла от восьми до пятнадцати² масс Солнца. За миллионы лет ядерное топливо выгорает, и массивная материнская звезда постепенно умирает. Этот процесс заканчивается феерическим взрывом – вспышкой сверхновой. Можно ожидать, что в среднем в галактике размером с наш Млечный Путь гибель звезды происходит примерно раз в пятьдесят лет. В огромной пустой Вселенной нейтронная звезда могла бы показаться совсем незначительным объектом, если бы не ее невероятная плотность, превышающая плотность воды примерно в сто триллионов раз. В плотном объекте внутри очень малого объема зажато очень большое количество вещества. Нейтронная звезда – это самый плотный из известных нам объектов, состоящих из обычного вещества. Если к массивной нейтронной звезде добавить еще немного вещества или если две нейтронные звезды столкнутся, коллапс звезды продолжится, что приведет к образованию черной дыры. Диаметр нашего Солнца – порядка 1,4 миллиона километров, но его масса примерно равна массе крохотной нейтронной звезды, поперечный размер которой составляет всего 20 километров. Представьте себе вишенку на торте, которая весит миллиард тонн!⁷

При такой безумной плотности эти таинственные зомби-звезды еще и носятся в пространстве, быстро вращаясь вокруг своей оси со скоростью как минимум один оборот в секунду. У некоторых нейтронных звезд вблизи магнитных полюсов формируются узконаправленные потоки электромагнитного излучения – джеты. Поскольку нейтронные звезды вращаются, их излучение в виде всплесков радиоволн можно обнаружить, когда один из джетов направлен в сторону Земли. Можно сказать, что быстро вращающаяся нейтронная звезда чем-то напоминает непрерывно светящийся вращающийся маяк, тогда как кораблям в море, или в нашем случае астрономам, видны только отдельные вспышки. Такие нейтронные звезды называют пульсарами, и обычно видят именно их. Вспышки многих пульсаров столь регулярны, что недавно пульсары предложили использовать для независимой проверки атомных часов, определяющих международное атомное время⁸.

Астрономы считают, что, хотя пока удалось открыть около трех тысяч радиопулсаров, только в нашей Галактике их число может достигать ста миллионов⁹. И все же до сих пор мы знаем о них очень мало.

Правда, до того, как 17 августа 2017 года в 14 часов 41 минуту по местному времени Марика Бранчези в городе Урбино получила сообщение о слиянии нейтронных звезд в соседней галактике, мы знали о радиопулсарах еще меньше¹⁰. Наконец у человечества появился шанс лучше понять, что представляют собой эти странные объекты.

По-видимому, две нейтронные звезды, замеченные LIGO и *Virgo*, образовались около 11 миллиардов лет назад. Тогда Вселенная была еще молодой, ни Земли, ни Солнечной системы не существовало, а обычные звезды объединялись в скопления. Две звезды, каждая из которых была примерно в десять раз массивнее Солнца, умерли одна за другой. По космическим масштабам они находились не слишком далеко друг от друга, и их оставшиеся ядра массой чуть

² Верхняя граница массы предков нейтронных звезд пока известна плохо. Она может достигать и шестидесяти масс Солнца. – Прим. науч. ред.

больше одной солнечной массы (массы Солнца) начали по спирали приближаться друг к другу под действием взаимного гравитационного притяжения. Этот танец предопределил их судьбу. Обращаясь вокруг общего центра масс, они сминали ткань пространства и времени, наподобие того, как оставляет вмятины шар для боулинга, катаясь по натянутой простыне, которую держат за четыре угла. Деформация пространства-времени, вызванная нейтронными звездами, привела к появлению ряби – гравитационных волн, распространяющихся по Вселенной¹¹.

За сто тридцать миллионов лет до открытия

Пока две нейтронные звезды двигались по спирали друг к другу, Вселенная эволюционировала и расширялась, образовывались новые галактики и рождались новые звезды. Около 130 миллионов лет назад эти нейтронные звезды подошли настолько близко друг к другу, что каждая из них стала причиной появления приливов и отливов на поверхности другой, вроде тех, за которые в земных океанах ответственна Луна. Эти приливные эффекты, растягивая и сжимая звезды, разрушали их.

Несколько позже произошла космическая катастрофа: нейтронные звезды наконец столкнулись и взорвались. Часть выброшенного при взрыве вещества не потеряла связь с тем, что сохранилось от этой пары, и из “мусора” вокруг остатка сверхновой образовался так называемый аккреционный диск. Это, в свою очередь, привело к формированию из вещества аккреционного диска мощной струи – джета, распространяющегося по Вселенной со скоростью, близкой к скорости света, и излучающего в рентгеновском, оптическом и радиодиапазонах. Кроме того, джет стал источником короткой и невероятно сильной вспышки гамма-излучения – наиболее мощного из известных электромагнитных событий.

Какой-то части выброшенной массы удалось преодолеть силу притяжения остатка сверхновой, сформировав очень горячее и быстро расширяющееся облако, напоминающее увеличивающийся в размере пончик. Это облако было настолько богато нейтронами, что запустилась реакция образования элементов тяжелее железа, таких как золото, серебро и платина. По оценкам астрономов, масса тяжелых элементов в этом облаке составляла примерно десять тысяч масс Земли. Только чистого золота там было 236 секстиллионов (то есть 236 и хвост из двадцати одного нуля) тонн, что равно сорока массам Земли. Радиоактивный распад всех этих тяжелых элементов генерирует свет – оптическое излучение, обусловленное радиоактивным послесвечением, которое называют “килоновая”¹².

При слиянии двух нейтронных звезд плотность новообразованного тела резко увеличивается. Вероятнее всего, такая объединенная нейтронная звезда становится слишком массивной, чтобы продолжать существовать, она коллапсирует внутрь себя и образует черную дыру. Очень важно, что слияние значительно усиливает гравитационную рябь, которая была до столкновения. Гравитационные волны становятся невидимыми посланниками великого и ужасного соударения, и они, обладая энергией двухсот миллионов Солнц, со скоростью света разбегаются во всех направлениях.

Когда это все происходило, на Земле начинался меловой период и динозавры населяли материки и океаны. Только в августе 2017 года гравитационная рябь достигла нашего мира и прикоснулась к чувствительной аппаратуре LIGO и *Virgo*. В течение этих 130 миллионов лет гравитационные волны,двигающиеся, согласно предсказанию Эйнштейна, со скоростью света, то есть около 300 тысяч километров в секунду, стали существенно слабее. До нас дошли и другие сигналы этого космического события, а именно – свет и радиоволны, распространяющиеся с той же скоростью. Когда мы что-то видим в космосе, мы наблюдаем прошлое. Даже свету, идущему от Солнца, требуется восемь минут двадцать секунд, чтобы дойти до нас. Если

Солнце внезапно исчезнет (хотя этого не должно случиться при нашей жизни), потребуются именно эти восемь минут, чтобы мы узнали о произошедшем событии.

Когда детекторы LIGO и *Virgo* зафиксировали гравитационную волну, они разослали автоматические уведомления. Эти уведомления получили несколько так называемых первых респондентов, работа которых состояла в оценке всех возможных кандидатов, отмеченных программой. Стало ясно, что получены сенсационные данные: сила сигнала указывала на два объекта, массы которых попадали в интервал, соответствующий массам нейтронных звезд – другими словами, меньше масс черных дыр. Теоретически это означало, что столкновение должно также сопровождаться электромагнитным излучением. И действительно, ровно через две минуты после регистрации LIGO и *Virgo* сигналов гравитационных волн космический гамма-телескоп *Fermi* зафиксировал интенсивную вспышку гамма-излучения. За несколько минут удалось оповестить более широкий круг участников сообщества LIGO/*Virgo*, включая Бранчези, что стало началом очень долгой исторической телеконференции.

За сто лет до открытия

Помните рассказ об Исааке Ньютоне, которого ударило по голове яблоко – и тогда он внезапно догадался, как действует сила тяготения? Считается, что озарение снизошло на Ньютона именно так, но это не совсем точно, хотя он действительно наблюдал, как в саду его усадьбы Вулсторп в графстве Линкольншир с дерева падают яблоки. Возможно, и три с лишним века спустя эта яблоня все еще растет в том же саду. Ньютона занимал вопрос: почему яблоки всегда падают на землю? Раздумывая на эту тему, он построил теорию всемирного тяготения. Эта работа опубликована в 1687 году. В соответствии с теорией Ньютона, сила тяготения – это сила, действующая на все материальные тела во Вселенной и зависящая как от массы, так и от расстояния. Согласно Ньютону, все без исключения частицы вещества притягиваются друг к другу с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними¹³. Закон всемирного тяготения Ньютона в неизменном виде господствовал до тех пор, пока не появился Эйнштейн.

Для Эйнштейна – служащего швейцарского патентного бюро, который занимался физикой в свободное время, – сила притяжения вообще силой не была. Он утверждал, что на самом деле это искривление пространства и времени, или пространства-времени, включающего в себя четыре связанные между собой размерности: три пространственные (вверх-вниз, вправо-влево, вперед-назад) плюс еще одна – время. Согласно общей теории относительности, опубликованной наиболее полно в 1916 году, то, что мы воспринимаем как силу тяготения, на самом деле есть следствие кривизны пространства-времени. Массивные объекты, такие как звезды и планеты, изгибают и скручивают его ткань, создавая горы и впадины, хребты и плоскогорья, заставляющие близлежащие объекты двигаться в пространстве-времени зигзагообразно, поднимаясь и опускаясь.

Хотя кажется, что Солнце, притягивая к себе Землю, заставляет нашу планету обращаться вокруг него, это просто означает, что движение Земли определяется искривлением пространства-времени вокруг гораздо более массивного Солнца.

Кроме того, Эйнштейн математически показал, что любая не идеально сферически симметричная ускоряющаяся масса искривляет пространство-время и служит источником гравитационных волн, распространяющихся по Вселенной со скоростью света. Гравитационные волны возникают, даже если просто помахать рукой, но в этом случае они слишком малы и их нельзя заметить. Чтобы деформация пространства-времени была измеримой, требуется невероятно большое количество энергии. Такое, как при катастрофических космических событиях, в которых принимают участие столь массивные объекты, как черные дыры и нейтронные звезды, обращающиеся друг относительно друга, а затем сталкивающиеся на скорости,

равной одной трети скорости света. Согласно Эйнштейну, подобное столкновение приводит к возбуждению гравитационных волн большой энергии, которые, распространяясь, “омывают” планеты, звезды и все, что встретят на своем пути. Они несут с собой информацию об источнике, вызвавшем их появление, и, возможно, даже о природе гравитации. В своих более поздних работах Эйнштейн несколько раз возвращался к этой ряби на пространстве-времени, но десятки лет гравитационные волны существовали только теоретически¹⁴.

В 1974 году астрономы Рассел Алан Халс и Джозеф Хотон Тейлор – младший из Массачусетского университета в Амхерсте косвенным образом доказали существование гравитационных волн. Они заметили, что в системе двух гравитационно связанных нейтронных звезд орбитальный период, то есть время, которое требуется звездам, чтобы совершить оборот вокруг общего центра масс, постепенно уменьшается. Два тела постепенно сближаются, двигаясь навстречу неизбежному столкновению, поскольку, по мысли Халса и Тейлора, система теряет энергию в форме гравитационных волн. Сейчас такую систему называют пульсаром Халса – Тейлора. В 1993 году эти ученые получили за свою работу Нобелевскую премию¹⁵.

Однако прямым свидетельством существования гравитационных волн результаты Халса и Тейлора не были. Требовалось экспериментальное подтверждение, а для этого ученым необходимо было новое, необычайно точное оборудование. Результат: два работающих вместе детектора-близнеца LIGO – один в Хэнфорде, штат Вашингтон, другой в Ливингстоне, штат Луизиана. Каждый из детекторов использует интерференцию двух лучей лазера, что позволяет невероятно точно измерять расстояния. Обсерватория, которая эксплуатируется Массачусетским и Калифорнийским технологическими институтами, находится в ведении научного сообщества LIGO – группы, состоящей из тысячи ученых из университетов шестнадцати разных стран. В восьмидесятых годах об идее создания LIGO впервые заговорили Райнер Вайсс, Кип Торн и Барри Бэриш, но поскольку требовалось преодолеть бюрократические барьеры и добиться значительного финансирования, которое необходимо для реализации больших научных проектов, до начала строительства прошло еще десять лет. Наконец в 2002 году LIGO приступила к работе¹⁶.

А еще через пять лет, в 2007 году, к ним присоединился третий детектор – *Virgo*. Он расположен вблизи итальянского города Пиза и финансируется Европейским Союзом¹⁷. Поскольку ученым потребовалась помощь *Virgo* для определения точного местоположения первого наблюдавшегося слияния нейтронных звезд, я решила отправиться туда. Мной руководило стремление ближе познакомиться с удивительной аппаратурой этого детектора. Ее появление – результат изобретательности человека, который стремится узнать больше о самых захватывающих тайнах космоса и медленно, но неуклонно, шаг за шагом, продвигается вперед.

Я начала с Пизы и, конечно, поднялась на наклонную, правда, все-таки устоявшую башню. Хотя задержалась я там недолго: наклон башни в четыре градуса сыграл с моим мозгом злую шутку, и я быстро почувствовала, что меня укачивает. Пизанская башня еще известна как место, где проведен, пожалуй, самый известный эксперимент, относящийся к силе тяжести. Возможно, этого эксперимента никогда и не было: историки сходятся на том, что итальянский ученый Галилео Галилей никогда не сбрасывал с башни две сферы с разными массами. Это был только мысленный эксперимент. И все же я инстинктивно глянула вниз. Кто знает, может, кому-то захотелось повторить “подвиг” Галилея, и я увижу сброшенные на землю предметы. Правда, чтобы не вызывать у посетителей искушения повторить известный эксперимент, сбрасывая с башни все подряд, теперь, перед тем как подняться, надо обязательно сдать на хранение все свои сумки.

Но на самом деле я здесь не для того, чтобы увидеть башню. Всего в двадцати минутах езды на машине от Пизы, в красивой сельской местности Тосканы есть деревня Санто-Сте-

фано-а-Мачерата, а рядом с ней – необычная научная достопримечательность: две невысокие полуцилиндрические галереи длиной по три километра каждая. Сверху галереи выкрашены в немыслимый голубой цвет со светлофиолетовым оттенком и почти сливаются с небом. (“Цвет перванш”, – слышу я слова другого посетителя, и он прав.) Расположенные в поле под прямым углом друг к другу, галереи с небольшими мостиками над ними тянутся до виднеющегося вдали горного хребта. Летящему над ними дрону они будут видны как гигантская латинская буква *L*. Это интерферометр *Virgo*, входящий в Европейскую гравитационную обсерваторию. Интерферометр назван так в честь скопления галактик *Virgo* (“Дева”). Это скопление, состоящее из примерно 1500 галактик, расположено в созвездии Дева, на расстоянии около 50 миллионов световых лет от Земли.

Строительство *Virgo* началось в 1996 году. Детектор находится в ведении научно-исследовательской группы ученых из Франции, Италии, Нидерландов, Польши и Венгрии, хотя примерно половина операционных расходов приходится на Францию и Италию. По словам сопровождавшего меня физика-экспериментатора Валерио Воски, это не самое подходящее для детектора место. *Virgo* находится слишком близко и к Средиземному морю, и к городу Пиза – источникам сейсмических возмущений, создающих помехи. Чтобы уловить невероятно слабый сигнал от идущих к нам из космоса гравитационных волн, очень важно минимизировать подобный шум. Однако, когда *Virgo* только планировался, важнее было отыскать достаточно большой участок земли для постройки интерферометра с длиной плеча три километра. Чтобы выкупить землю для строительства, финансирующим проект французскому Национальному центру научных исследований и итальянскому Национальному институту ядерной физики пришлось договариваться с большим числом фермеров.

Окончательная стоимость работ, завершившихся в 2003 году, составила около 250 миллионов евро (для сравнения: стоимость двух близнецов-детекторов LIGO – порядка 600 миллионов евро). За последние несколько лет после регистрации гравитационных волн число посетителей, желающих взглянуть на этот “прибор”, резко возросло. Директор Европейской гравитационной обсерватории Ставрос Кацаневас рассказывает: “В 2015 году у нас побывало около тысячи человек, в 2016-м уже две тысячи, а сейчас, в 2019-м, восемь тысяч посетителей. Нам все труднее и труднее с этим справляться!” В самом деле, в день моего посещения я сама видела три группы, приехавшие на припаркованных рядом туристических автобусах: две группы школьников и одна – студентов университета.

Быстро осмотрев информационный центр для посетителей, я в сопровождении многочисленных, снующих в траве ящериц направилась к одной из двух полуцилиндрических галерей и вошла внутрь. В обеих галереях размещены длинные, идентичные, очень хорошо экранированные трубы диаметром 120 сантиметров, где установлены приборы, работающие в сверхвысоком вакууме. Детекторы *Virgo* и LIGO должны регистрировать волны в частотном диапазоне от 10 до 10000 герц (10 кГц), и принципы их работы очень схожи. Когда я вошла в небольшое помещение в месте соединения труб, меня попросили ступать очень осторожно, чтобы во время работы не слишком сотрясать пол. Здесь находится лазер, луч которого разделяется пополам. Каждая из “половинок” луча точно в одно и то же время посылается в дальний конец каждого из перпендикулярных плеч, где попадает на зеркало. Зеркала *Virgo* присоединены к специальному подвесу (его прототип демонстрируется у входа в главное здание). Это очень чувствительный механизм, гасящий, насколько возможно, любые возмущения, способные раскачать зеркало. Их источниками могут быть как, например, землетрясение, так и проходящий мимо трактор. Это удивительно простая система, состоящая из подвешенных один под другим грузов, которые компенсируют любые возмущения.

“Это похоже на эксперимент, который мы предлагаем провести детям, – говорит мне Боски. – Если наполнить водой бутылку и подвесить ее, затем добавить снизу еще одну бутылку, ниже еще одну и так далее, то, начав раскачивать всю эту конструкцию, вы увидите,

что из самой нижней бутылки не выльется ни капли воды, даже если сверху отклонение очень сильное”.

Система LIGO, где больше активных элементов, несколько отличается от системы *Virgo*.

Луч лазера падает на зеркало и отражается обратно. Это повторяется четыреста раз: за счет многократных отражений пройденное лучом расстояние увеличивается с 3 до 1200 километров. Когда наконец происходит воссоединение двух лучей, ученые анализируют результат. Если гравитационных волн не было, то лучи возвращаются в то место, где они разделились, точно в одно и то же время, – и значит, интерференции нет. Однако, если через детектор проходит гравитационная волна, имеет место локальное, очень небольшое возмущение пространства-времени, которое люди ощутить не могут. Близнецы-детекторы LIGO и *Virgo* могут воспринимать только волны очень высокой, пропорциональной длине их плеч частоты.

Е[ри прохождении гравитационной ряби одна из двух галерей или чуть удлиняется, или чуть укорачивается. Е[ри этом разница длин меньше, чем одна десятитысячная диаметра такой субатомной частицы, как протон. Когда одно из плеч становится короче, другое становится длиннее, а затем они меняются ролями. Величина удлинения или сокращения плеча зависит от амплитуды волны – максимального смещения из положения равновесия, или, иначе говоря, расстояния от положения равновесия до гребня волны. Изменение длины пути лазерного луча приводит к тому, что отраженный свет движется слегка не в фазе со светом источника. Иначе говоря, время возвращения каждого из двух лучей к источнику слегка различается¹⁸.

Затем ученые тщательно измеряют амплитуду и частоту сдвига фаз, что позволяет изучать свойства гравитационной волны. Когда зарегистрированный сигнал анализируется с учетом результатов, полученных на других детекторах, ученые могут определить местоположение источника этих волн – далекой космической катастрофы, вызвавшей возмущение пространства-времени. Чем больше детекторов будет установлено в разных точках по всему миру, тем точнее будет результат. Сегодня определение местоположения всех источников гравитационных волн включает координацию данных детектора *Virgo* и двух детекторов LIGO. Вскоре им на помощь придут сходные детекторы в Японии³ и Индии, что позволит гораздо точнее определять местоположение источников.

Новое поколение детекторов, таких как *Einstein Telescope* и *Cosmic Explorer*, должно быть гораздо чувствительнее *Virgo* и LIGO. Сейчас эти проекты находятся в стадии разработки, но планируется, что плечи расположенного под землей детектора *Einstein Telescope* будут десятикилометровой длины, а детектора колоссальной наземной обсерватории *Cosmic Explorer* — сорокакилометровой длины. Эти детекторы будут настолько чувствительны и точны, что смогут регистрировать гравитационные волны, исходящие от начавших сближение нейтронных звезд, которых еще миллионы лет отделяют от слияния и образования пульсара, такого, какой по косвенным признакам обнаружили Халс и Тейлор.

За семнадцать лет до открытия

После запуска LIGO и *Virgo* прошло около десяти лет, но результатов не наблюдалось. С самого начала ученые считали, что подобное возможно, и поэтому всегда существовали планы существенной модернизации детекторов. В 2010 году и LIGO, и *Virgo* были остановлены. После пяти лет и 620 миллионов потраченных долларов гравитационный телескоп *Advanced LIGO* (“усовершенствованный LIGO”) приступил к наблюдениям. Его тестирование началось в феврале 2015 года, а официальный старт наблюдательного цикла был дан 18 сентября 2015-го.

³ Японский детектор KARGA (*Kamioka Gravitational Wave Detector*, “детектор гравитационных волн Камиока”) вступил в строй в феврале 2020 года. – Прим. науч. ред.

Теперь чувствительность двух новых установок LIGO стала примерно в четыре раза выше, чем в исходном варианте.

Первая модернизация *Virgo* прошла в 2011 году, и его чувствительность увеличилась в десять раз. А затем его остановили опять, чтобы еще раз существенно усовершенствовать. Так *Virgo* превратился в *Advanced Virgo* — детектор, начавший сбор данных в августе 2017 года. До этого наблюдения самостоятельно вели два детектора LIGO.

Модернизация и предшествующие годы усилий окупались сполна еще до того, как формально (*Advanced*) LIGO запустили повторно. 14 сентября 2015 года LIGO, еще не отлаженный полностью, вошел в историю. Детектор LIGO уловил гравитационный сигнал, источником которого служило столкновение двух черных дыр звездных масс — или, говоря по-научному, “слияние двойной черной дыры” — на расстоянии около 1,3 миллиарда световых лет от Земли. Сообщение об этом сенсационном открытии (которому предшествовало множество слухов в социальных сетях) было сделано через несколько месяцев, и февраля 2016 года, и слова “регистрация”, “гравитационные волны”, “LIGO” и “Эйнштейн” замелькали в прессе, они доминировали в неформальных разговорах ученых и даже на семейных обедах. В следующем году Вайсс, Торн и Бэриш разделили Нобелевскую премию, присужденную им за это открытие.

Однако Марика Бранчези уже строила планы, существенным образом расширявшие рамки научного значения первого зарегистрированного слияния черных дыр. В 2012 году, вернувшись в Италию после краткосрочной научной работы в Соединенных Штатах, она получила грант на проект, казавшийся в то время почти невероятным. Бранчези хотела убедить коллег, занятых (тогда только теоретически) вопросом обнаружения гравитационных волн, начать взаимодействие с астрономами, которые работают более традиционными методами и исследуют весь электромагнитный спектр излучения — свет, рентгеновские и гамма-лучи.

Таким образом, рассуждала она, как только будут обнаружены гравитационные волны, появится возможность наблюдать их источники и другими методами, перехватывая различных дальних космических “посланников”, сигнализирующих об одном и том же событии. Позже этот подход назовут многоканальной астрономией.

Однако в то время многие астрономы сомневались, что вообще когда-либо удастся наблюдать гравитационные волны непосредственно. “Идея совместной работы астрономов и исследователей гравитационных волн казалась им странной”, — говорит Бранчези. Дело не в том, что ученые не верили в существование гравитационных волн — в этом мало кто сомневался. Они должны существовать. Структура уравнений Эйнштейна требует их наличия, так что все были согласны с тем, что мощный катаклизм должен возмущать пространство-время и служить источником гравитационной ряби.

Но Бранчези в первую очередь интересовали не сами гравитационные волны. Она хотела выяснить, что еще можно узнать о событиях, которые их вызывают. LIGO и *Virgo* были ей нужны, чтобы зарегистрировать волну и приблизительно определить место, откуда та пришла. Тогда телескопы, ведущие наблюдение в электромагнитном спектре, смогут сразу развернуться в нужном направлении и проверить, можно ли увидеть что-нибудь еще. Если астрономы непосредственно за гамма-вспышкой зафиксируют послесвечение, соответствующее космической катастрофе, которая предположительно вызвала гравитационную волну, у них будет доказательство того, что гравитационное возмущение распространяется со скоростью света. Это будет подтверждением предсказания, сделанного Эйнштейном сто лет назад. У них также будет возможность исследовать природу источника гравитационной волны, его окружение и механизмы, благодаря которым высвобождается такая невероятно большая энергия. Интенсивность электромагнитного излучения черных дыр крайне низка: после коллапса чрезвычайно массивных звезд остаются только гравитационные поля, и никакая материя не может выйти за их пределы, чтобы излучать свет. Поэтому черные дыры — не слишком подходящий объект для оптических телескопов.

А что, если это будут нейтронные звезды? В 2010 году астрофизик Брайан Метцгер из Колумбийского университета пришел к выводу, что столкновение этих объектов большой плотности будет сопровождаться не только возмущением пространства-времени и возбуждением гравитационных волн, но и образованием килоновой. Это вспышка, яркость которой порядка одной сотой яркости сверхновой, и ее должно быть видно с помощью оптического телескопа. Согласно его расчетам, килоновая образуется в горячем облаке радиоактивных осколков – вещества, выброшенного при столкновении и в результате радиоактивного распада тяжелых элементов, синтезированных при слиянии. В довершение всего, столкновение приведет и к кратковременной вспышке гамма-излучения – короткому гамма-всплеску (SGRB, *Short Gamma-Ray Burst*).

Тогда послесвечение гамма-вспышки должно быть видно в радио-, рентгеновском, а в конце концов даже в оптическом диапазоне, что позволит астрономам точно узнать, куда и когда следует смотреть.

Непросто собрать вместе ученых, работающих в разных областях науки. В этом случае задача оказалась особенно сложной: гравитационные волны все еще оставались только на бумаге, а оптические наблюдения – наука, существовавшая с древних времен. “Астрономы скептически отнеслись к возможности увидеть электромагнитное проявление гравитационных волн. Они считали, что зарегистрировать гравитационные волны слишком сложно, – говорит Бранчези. – Многие были настроены довольно пессимистически”. Обычно исследователи вынуждены бороться за время работы на мощных телескопах, так зачем же тратить эту ценную возможность на поиск побочного эффекта невероятно слабых волн, когда никто не гарантирует, что их вообще удастся обнаружить? Бранчези вспоминала конференции, в которых она принимала участие, где ощущала себя абсолютно беспомощной, поскольку астрономы смотрели на нее невидящими глазами или не смотрели вообще.

До того, как в 2012 году начались консультации по этому вопросу, около года ушло на обсуждения и обмен электронными письмами. Затем Бранчези, которая к тому времени стала сопредседателем группы, отвечавшей за мониторинг электромагнитного излучения, и несколько ее коллег, тоже веривших в многоканальную астрономию, на различных мероприятиях стали вести переговоры со многими астрономами. Одного за другим они уговаривали их присоединиться к сообществу LIGO/*Virgo* и подготовиться к возможной в будущем регистрации прохождения гравитационных волн. “Марика всегда говорила, что это действительно то, во что стоит вкладывать время и силы. Она убеждала нас: информация, полученная с помощью LIGO и *Virgo*, достоверна и надежна, на нее всегда можно рассчитывать, – говорит астрономом из Университета Квинс в Белфасте Стивен Смартт. – Марика оказалась великолепным посредником, умела добиться того, чтобы сотрудники LIGO понимали, чего хотим мы, а мы понимали научное содержание информации, которую получали от LIGO”.

Сегодня международное научное сообщество LIGO насчитывает около тысячи двухсот ученых, работающих более чем в сотне научных учреждений из восемнадцати стран, и еще пятьсот человек входят в сообщество *Virgo*. Эти две организации работают в тесном контакте, сотрудничают более чем с двумя тысячами астрономов из тридцати пяти научных центров в одиннадцати странах. Расчет Бранчези оказался абсолютно точным.

Еще в 2012 году ученые из обсерватории LIGO настояли на том, что всякий астроном, присоединившийся к сообществу, должен подписать меморандум о сотрудничестве. Он должен согласиться с тем, что любые результаты наблюдений сначала становятся известны только членам сообщества и широко не распространяются. Это нужно для того, чтобы у всех было достаточно времени закончить свои измерения, проанализировать их, а затем опубликовать одновременно со всеми¹⁹. Ученые проявляли все больший интерес к подобным исследованиям, особенно после того, как наконец заработал детектор *Advanced LIGO*. Но даже после регистрации слияния нескольких черных дыр лишь немногие считали, что обнаружить гравитационные волны

тационные волны от слияния нейтронных звезд удастся до 2020 или 2021 года, когда после очередной модернизации чувствительность LIGO и *Virgo* поднимется на более высокий уровень.

Тем не менее ученые, согласившиеся принять участие в исследованиях по многоканальной астрономии, были готовы действовать. Когда в сентябре 2015 года *Advanced LIGO* начал первый наблюдательный сеанс, на чеку были около восьмидесяти групп в разных уголках мира. Всего через несколько дней поступила информация о первом открытии – слиянии черных дыр, и сразу более двухсот телескопов развернулись туда, где это произошло. Они ничего не увидели – черные дыры свет не излучают. (Хотя есть теоретическая возможность того, что слияние двойных черных дыр может сопровождаться электромагнитным излучением.) Но главное, стало понятно: для получения информации о космическом событии астрономическое сообщество может координировать работу разных приборов – лазерных интерферометров LIGO и *Virgo*, детекторов высокоэнергетических нейтрино обсерватории *IceCube* под толщей антарктического льда и всех телескопов, способных улавливать любое электромагнитное излучение от любого внеземного источника. Бранчези рассказывает: “Наблюдение слияния черных дыр показало, что астрономы подготовились к таким исследованиям”. Теперь “поимка” гравитационного сигнала, сопровождаемого электромагнитным излучением, стала просто вопросом времени. Итак, они заняли выжидательную позицию, причем большинство считало, что ждать придется около десяти лет.

Две недели до открытия

Обычно август – месяц тихий, во всяком случае для ученых, работающих в Северном полушарии. Многие из них, как и все остальные, предпочитают уехать в это время на неделю или две куда-нибудь к морю или в горы. А в августе 2017-го и работу LIGO планировалось приостановить почти на два года. Близился к концу его второй наблюдательный сеанс, продолжавшийся с конца предыдущего года.

Однако *Virgo* только приступил к работе после очередной модификации, присоединившись наконец 1 августа к двум детекторам LIGO. Исследователи группы *Virgo* торопились завершить модернизацию своего детектора, чтобы хоть несколько недель поработать совместно с LIGO. Когда 14 августа три детектора первый раз работали одновременно, они зарегистрировали восьмое по счету слияние двойной черной дыры, и именно эти данные Бранчези анализировала тем жарким днем в Урбино²⁰. Оставалось всего около двух недель до конца сеанса наблюдений, который планировался на 25 августа. Команды LIGO и *Virgo* начали сворачивать работы. Они были измучены как лихорадочной рутинной еженедельных, а часто и ежедневных телеконференций с членами сообщества, так и круглосуточными сменами, позволявшими отслеживать события в реальном времени. В течение нескольких месяцев, когда автоматические оповещения приходили даже среди ночи, Бранчези должна была сразу оценить, надо ли проводить дальнейшие наблюдения.

С начала августа Бранчези, готовясь к третьему наблюдательному сеансу, мысленно уже была в будущем: в 2019 году впервые после модернизации все три детектора будут достаточно долго работать совместно. Днем 16 августа на международном семинаре по гравитационным волнам выступила астрофизик Самая Ниссанке, коллега Бранчези из Амстердамского университета. В своем докладе она говорила о перспективах многоканальной астрономии. Ниссанке сказала слушателям, что в 2020-х годах наблюдение слияния нейтронных звезд будет достаточно рутинным событием. После выступления к ней подошел коллега из Индии Бала Айер, член INDIGO – консорциума индийских физиков, специалистов по поиску гравитационных волн. Его интересовало, когда это произойдет впервые. Ниссанке предложила пари: до конца

2019 года интерферометры зафиксируют слияние нейтронных звезд. Потребуется чуть больше двух лет. А ровно через день, проснувшись, узнала, что ее предсказание уже сбылось.

День открытия: 17 августа 2017 года

Когда гравитационная волна проходит через Землю, детектор фиксирует крошечную разницу во времени возвращения отраженных лазерных лучей. Тогда компьютерные программы LIGO и *Virgo* автоматически загружают эту информацию в специальную базу данных о кандидатах в гравитационно-волновые события. Сразу после полудня 17 августа 2017 года системы LIGO отметили именно такое событие, выдав предупреждение, что это может быть слияние двух нейтронных звезд. Вероятность ложной тревоги была исключительно мала: суммарная масса двух объектов составляла только 2,7 массы Солнца, что гораздо легче черной дыры звездной массы, но прямо соответствует известным значениям масс двойных нейтронных звезд (системы, состоящей из двух гравитационно связанных нейтронных звезд в процессе слияния). Программа, кроме того, сигнализировала, что с вероятностью 100 % это событие доступно для наблюдения в электромагнитном спектре.

Согласно расчетам системы, слияние произошло сравнительно близко от Земли – на расстоянии примерно 130 миллионов световых лет. Большая удача, поскольку в тот момент чувствительности LIGO не хватило бы для регистрации события на большем расстоянии. Волна дошла до *Virgo* в 12:41:04 по всемирному координированному времени⁴ и на 22 миллисекунды позже до детектора LIGO в Ливингстоне, штат Луизиана. Еще через три миллисекунды она коснулась плеч детектора в Хэнфорде, штат Вашингтон²¹.

Коди Мессик, физик из Университета штата Пенсильвания, был первым человеком, получившим в тот день предупреждение LIGO. Он оказался одним из так называемых первых респондентов – его работа состояла в проверке сигналов, сообщавших о возможных кандидатах на столкновение черных дыр или нейтронных звезд. В случае подтверждения ему следовало оповестить остальных участников астрономической команды. Было начало девятого, он только проснулся и планировал взять на день отпуск: что-то произошло с шеей. В 8:43, добравшись до телефона, он увидел предупреждение LIGO – прошло ровно две минуты после того, как волна накрыла Землю. Сначала Мессик почувствовал досаду, поскольку сигнал, похоже, уловил только детектор в Хэнфорде – обычно алгоритмы LIGO оповещают в реальном времени только о тех событиях, которые регистрируют оба детектора. Однако система пометила возможное слияние как очень значительное событие, что и привлекло его внимание. Он написал руководителю своей диссертационной работы Чаду Ханну. Тот немедленно ответил, что предупреждение послал и телескоп *Fermi*, ровно через 1,7 секунды после прихода гравитационной волны он зарегистрировал в том же месте короткий двухсекундный гамма-всплеск. Было ли это оптическим аналогом слияния тех же двух космических объектов – другими словами, наблюдением того же события в электромагнитном спектре?

Сразу же Ханн и еще не снявший пижаму Мессик устроили телеконференцию с магистрантами своего университета, чтобы проверить данные на предмет ошибок. Все быстро согласились, что ничего очевидно неправильного в сигнале нет, и решили оповестить остальных членов сообщества LIGO/*Virgo*. Это поручили сделать Мессике, поскольку, вспоминает он, Ханна “так трясло от волнения, что печатать он не мог”. На какое-то мгновение они были единственными в мире людьми, которые знали, что произошло.

Именно сообщение Мессика высветилось на телефоне Бранчези, когда она уже собиралась прилечь после долгой ночи, проведенной в госпитале с сестрой и ее новорожденным

⁴ Всемирное координированное время (UTC) – стандарт, по которому ученые проверяют часы. Отличается на целое число секунд от атомного времени и на дробное число секунд от всемирного времени.

сыном. В считанные минуты к телеконференции присоединились другие участники. Возбуждение охватило всех, но второй детектор в Ливингстоне не отметил это событие, поэтому было много сомневающихся. Как потом оказалось, причина крылась в сбое системы: какая-то техническая ошибка (возможно, покачивание зеркала) привела к появлению шума, замаскировавшего сигнал от гравитационной волны. Однако, когда на диаграммы посмотрели невооруженным глазом, стало очевидно, что сигнал на самом деле был зарегистрирован: он длился около шести минут, тогда как сбой, заставивший программу игнорировать волновой сигнал, продолжался всего несколько миллисекунд. Теперь данные подтвердили оба детектора LIGO.

Тем временем ученые из группы *Virgo* тоже поняли, что их прибор зафиксировал исторический сигнал – слабый, но не оставляющий сомнений. “Люди были так возбуждены, что не могли остановиться и во время телеконференции всё говорили и говорили, – рассказывает Бранчези. – Это было какое-то безумие”.

Вскоре в разговор включились астрономы со всего света. “Хотя я знал, что делать этого не следует, я отошел на минутку, чтобы позвонить жене и отцу. Мне не терпелось сообщить им эти потрясающие новости”, – рассказывает Мессик. Онлайн-чат телеконференции разрывался от требований разослать во все оптические обсерватории GCN-циркуляр, чтобы немедленно начать последующие наблюдения. (GCN-циркуляр – информация о местоположении гамма-всплеска, которую направляют всем заинтересованным лицам и организациям, если вспышку обнаруживают различные космические аппараты.) Бранчези и ее коллеги потратили десять лет на создание “многоканального” сообщества, и вот теперь их работа готова была принести плоды.

Всего через сорок минут после того, как LIGO и *Virgo* зарегистрировали гравитационный сигнал, в 13:21:42 по всемирному координированному времени, GCN-циркуляр попал в электронные почтовые ящики астрономов, разбросанных по всему миру. Чтобы увидеть последствия космического катаклизма, случившегося в далеком прошлом, за считанные часы пришли в действие телескопы-роботы, развернулись обзорные телескопы²². Наступила эра многоканальной астрономии.

Очень скоро началось состязание в скорости: астрономы по всему миру бросились к системам управления телескопами. Они хотели первыми увидеть столкновение в оптическом диапазоне. Хотя и не все были на низком старте. Наблюдательный сеанс LIGO подходил к концу, и Райан Фоли из Калифорнийского университета в Санта-Крузе решил, что может расслабиться. Он спокойно пил пиво со своим партнером в копенгагенском парке Тиволи, когда неожиданно получил сообщение от Дэйва Колтера – коллеги, вернувшегося домой в Калифорнию. Прочтя сообщение, Фоли немедленно извинился перед своим другом, попрощался и бросился к велосипеду. Ему не терпелось начать последующие наблюдения с помощью метрового телескопа *Henrietta Swope* в обсерватории Лас-Кампанас в Чили. Пять часов ушло на сопоставление начальных координат, предоставленных LIGO и *Virgo*, и как можно более точное определение местоположения события. Через одиннадцать часов после прихода гравитационной волны команда Фоли идентифицировала яркую вспышку в ближней инфракрасной области спектра в той точке неба, которую определили детекторы гравитационных волн. После этого Фоли отправил короткое сообщение своей коллеге Джесс Макайвер, просто сообщив: “Думаю, я нашел”. Получив первое оптическое изображение, команда Фоли выиграла гонку. Впоследствии оптический аналог этого гравитационного события назвали *Swope Supernova Survey 2017a* (SSSi/a)²³.

Но и другие не слишком отстали. Особенно загруженными оказались телескопы в горах чилийской пустыни Атакама. Отключившись от столь многолюдной телеконференции с обсерваторией LIGO, Бранчези бросилась звонить своим коллегам из GRAWITA. Это объединение, входящее в итальянский Национальный институт астрофизики, было образовано специально для того, чтобы дополнять данные LIGO наблюдениями в разных областях электромагнитного

спектра – радио-, оптическом, ближнем инфракрасном и рентгеновском диапазонах, а также в интервале частот, соответствующих гамма-излучению²⁴.

Всего через тринадцать часов после прихода гравитационной волны астрономы GRAWITA, направив на место события телескоп REM в обсерватории Ла-Силья в пустыне Атакама, получили в оптическом диапазоне изображение взрыва при столкновении нейтронных звезд.

Несколько команд слегка задержались на старте. Уже прошло около часа после оповещения Мессика, а гарвардский астроном Эдо Бергер все еще сидел у себя в кабинете, пытаясь не заснуть на скучном и монотонном заседании кафедры. Крепкий кофе из университетского кафетерия не помогал. Когда его мобильный телефон зазвонил, он отключил звук. Тогда начал звонить телефон у него на столе. Коллеги прервали заседание, и Бергер поднял трубку: “Что случилось?”

Бергер слушал, и его брови поднимались все выше и выше. Он положил трубку, объявил, что совещание окончено, и буквально вытолкнул всех из кабинета. В течение следующих нескольких минут Бергер быстро просмотрел поток сообщений и электронных писем, включая первое официальное автоматическое предупреждение LIGO с оценкой координат события, выглядевшего как столкновение двух нейтронных звезд. Похоже, LIGO зарегистрировал его ровно в тот момент, когда Бергер забирает свой кофе.

Благодаря “многоканальным” усилиям Бранчези и ее сторонников Бергер, как другие ученые и около семидесяти телескопов по всему миру, готов был действовать. Пришло время внимательно “присмотреться” к последствиям слияния нейтронных звезд. Поскольку космический телескоп *Fermi* оповестил о зарегистрированном всплеске гамма-излучения, Бергер знал: есть очень большая вероятность того, что это событие будет заметно и на других длинах волн. Сейчас ему нужна его команда, и быстро.

Кейт Александер только проснулась у себя в квартире в Бостоне. Она заканчивала аспирантуру и в команде Бергера отвечала за наблюдения в радиодиапазоне. Еще в постели Кейт увидела сообщение LIGO. Затем она увидела сообщение Бергера, где в строке “Тема” стояло: “Встречаемся у меня в кабинете через пять минут!” Три минуты на душ – и бегом в кампус. В десять, ровно через два часа после регистрации слияния, она вбежала в кабинет Бергера.

План разработали совместно с несколькими коллегами: чтобы определить местоположение и приступить к изучению источника, они используют оптический телескоп. Предлагалось следить за радиоактивным свечением килоновой, то есть облаком выброшенных при взрыве осколков нейтронных звезд. В этом облаке должны присутствовать тяжелые элементы, созданные, а затем выброшенные при столкновении. Они видны во всем электромагнитном спектре. “Мы были очень возбуждены и старались не дать возбуждению помешать нам делать то, что следовало”, – рассказывала Александер.

При любых наблюдениях в электромагнитном спектре, надеетесь ли вы зарегистрировать видимый свет, радиосигналы или сигналы любых других длин волн, важно знать, в какую точку неба следует направить телескоп. К счастью, с помощью *Virgo* стало возможно определить местоположение источника сигнала. Без *Virgo* “окно ошибки” – вероятная область, в которой расположен источник сигнала, – было бы слишком велико для каких-либо целенаправленных оптических наблюдений. Все же координаты, предоставленные LIGO и *Virgo*, не могли настолько сузить область поиска, чтобы была возможность определить хотя бы галактику, где произошло столкновение. Они только указывали, что событие произошло в определенной области неба, площадь которой примерно в сто пятьдесят раз превышает площадь полной Луны.

Чтобы сузить окно наблюдения, Александер, Бергер и их коллеги прежде всего выбрали прибор для наблюдений – мощную оптическую камеру DEC am (*Dark Energy Camera*, “камера темной энергии”), установленную на телескопе *Victor M. Blanco* в Чили.

Управляя этой камерой из Гарварда, они быстро, снимок за снимком, осмотрели очень большую область неба. Им понадобился час, чтобы обнаружить галактику на расстоянии 130 миллионов световых лет, в которой они заметили яркий источник, раньше там не виденный, – галактику NGC 4993 в созвездии Гидра. Бергер говорит, что это напоминает крестик, очень точно отмечающий нужное место. Позже выяснилось, что их команда определила точное местоположение источника через несколько минут после SWOPE, а затем к финишу пришли телескопы обзорного проекта DLT40, входящие в обсерваторию Лас-Кумбрес в Панаме, VISTA из Паранальской обсерватории в Атакаме, MASTER в России и многие другие.

Взволнованный Бергер позвонил Метцгеру – человеку, теоретически предсказавшему существование килоновой в 2014 году. Волнение Метцгера описать трудно, особенно после того, как он обнаружил, что светимость и цвет килоновой точно совпадают с его расчетами. Это означало, что идет радиоактивное затухание тяжелых элементов, синтезированных во время слияния. Цвет облака радиоактивных осколков ярко-голубой – значит, оно, как кончики языков пламени газовой плиты, невероятно горячее. Несколько дней облако постепенно гасло, а телескопы по всему миру внимательно отслеживали все его оттенки. По мере остывания выброшенного материала облако из синего постепенно становилось темно-красным. Астрономы смогли детально изучить спектр (химические “отпечатки пальцев”) килоновой. Стало понятно, что многие тяжелые элементы, включая золото, платину и серебро, образуются при таких столкновениях. Так была решена загадка возникновения этих элементов.

Команда Бергера хотела получить еще и фантастические снимки килоновой в диапазоне более коротких длин волн. Чтобы провести измерения в ультрафиолетовом диапазоне, они подали заявку на работу с космическим телескопом “Хаббл”. Каждая длина волны “сообщает” что-то новое, и астрономы в тот момент пытались получить всю возможную информацию. Обычно, чтобы получить доступ к телескопу “Хаббл”, требуется позаботиться об этом заранее и ждать несколько недель. Но ситуация была экстраординарной, и время выделили из “резерва директора”. Заявка содержала всего два абзаца. По словам Бергера, это, возможно, самая короткая из всех когда-либо написанных заявок. В ней просто говорилось, что их группа впервые обнаружила электромагнитное излучение, сопровождающее слияние двойной нейтронной звезды, и им нужно иметь возможность увидеть его в ультрафиолетовом свете. Заявку одобрили, и Бергер с сотрудниками получил возможность провести наблюдения всего через пять дней после обнаружения гравитационных волн. А еще через девять дней космический рентгеновский телескоп *Chandra*

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.