

# ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 2017 ГОДА

По физике — Р.Вайсс, Б.Бэриш, К.Торн

Нобелевская премия по физике в 2017 г., как и ожидалось, была присуждена «за решающий вклад в создание детектора LIGO и наблюдение гравитационных волн». Награду получили трое американских ученых — Райнер Вайсс, Барри Бэриш и Кип Торн, но реально в экспериментах принимали участие тысячи специалистов. Есть весомые основания отметить и вклад в общий успех отечественных физиков.

**Ключевые слова:** Нобелевская премия, гравитационные волны, оптический источник, многоканальная астрономия.

*Сегодня праздник у гравитации,  
Громко кричим «Ура!».  
Нынче не то, что вчера.  
Вышли уже из абстракции  
Волны гравитационные,  
Отныне вполне законные.*

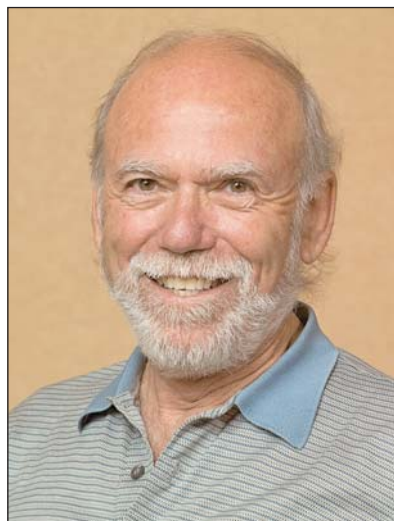
Наталья Ковба

Среди открытий, конкурирующих за высшую научную награду, в этом году был явный фаворит, и ожидания оправдались: Нобелевская премия по физике присуждена трем американским ученым: Райнеру Вайссу, Барри Бэришу и Кипу Торну — «за решающий вклад в создание детектора LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory) и наблюдение гравитационных волн». Вайсса и Торна по праву можно назвать «отцами-основателями» проекта LIGO, а Бэриш был его научным руководителем в 1994–2005 гг., во время строительства и начала работы детектора, и организатором коллаборации LIGO (1997).

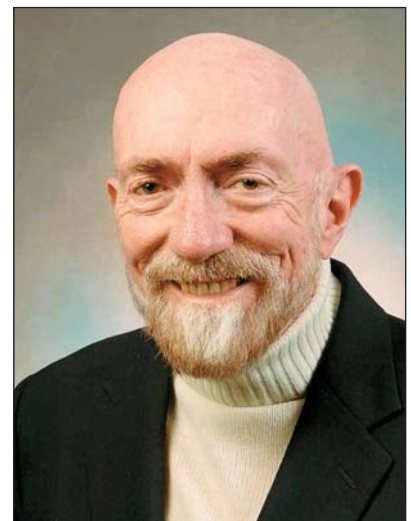
Хотя Райнер Вайсс (Rainer Weiss) и родился в Германии (в Берлине, 29 сентября 1932 г.), его образование и научная карьера целиком связаны с Соединенными Штатами. В 1955 г. он окончил Массачусетский технологический институт (МТИ), там же в 1962 г. защитил диссертацию. После непродолжительной отлучки (в Университет Тафтса в 1960–1962 г., затем в 1962–1964 гг. — в Принстонский университет, сотрудничество с которым по вопросам космологии продолжалось много лет) Вайсс вернулся в альма-матер, где и работает до сих пор (с 2001 г. — в качестве почетного профессора), участвуя в коллаборации LIGO со стороны МТИ.



Райнер Вайсс.



Барри Бэриш.



Кип Торн.

Область научных интересов лауреата весьма велика — это и экспериментальная атомная физика, и лазерная физика, и гравитационная, миллиметровая и субмиллиметровая астрономия (Вайсс — один из пионеров в измерении реликтового излучения Вселенной). Собственно, проект LIGO и был учрежден Вайссом — совместно с Кипом Торном и Рональдом Древером (профессор Калифорнийского технологического института Древер скончался в начале 2017 г.) — еще в начале 1980-х годов. Вайсс — член Американских физического и астрономического обществ, Американской академии искусств и наук, Американской ассоциации содействия развитию науки, Нью-Йоркской академии наук, лауреат множества премий, присуждаемых МТИ, НАСА, Американским физическим обществом и др.

Барри Бэриш (Barry C. Barish) родился 27 января 1936 г. в американском городе Омаха. Окончил в 1957 г. Калифорнийский университет (Беркли), в 1962 г. получил там докторскую степень, а с 1963 г. по настоящее время работает в Калифорнийском технологическом институте (Калтехе), будучи с 2005 г. почетным профессором. Входит в коллаборацию LIGO со стороны Калтеха — второго организатора проекта. Специалист по физике элементарных частиц, на заре своей научной карьеры он участвовал в нейтринных экспериментах Фермилаб по выявлению кварковой субструктуры нуклонов, которые были среди пионеров в обнаружении нейтральных токов, а затем инициировал новые работы по астрофизике частиц в Италии, на детекторе в Гран-Сассо (эксперимент MACRO), возглавлял группу по разработке будущего Международного линейного коллайдера (проект рассматривается сейчас правительством Японии). С 1994 г. стал главным исследователем проекта LIGO (с 1997 г. — директором), приложив массу усилий для завершения проектирования, получения финансирования и строительства детектора. Член Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук, Американской ассоциации содействия развитию науки, Американского физического общества (в 2011 г. был его президентом) и др.

Кип Торн (Kip S. Thorne), уроженец американского города Логан (дата рождения 1 июня 1940 г.), окончил Калтех в 1962 г., а в 1965 г. защитился в Принстонском университете. После двухлетней постдокторантской работы вернулся в Калтех и больше его не покидал (став профессором теоретической физики уже в 1970 г.). Его научные интересы сфокусировались на физике гравитации и астрофизике, с акцентом на релятивистских звездах, черных дырах и гравитационных волнах. В конце 1960-х — начале 1970-х годов заложил основы теории пульсации релятивистских звезд и гравитационных волн, которые те излучают, а в течение 1970–1980-х годов развил математический формализм для астрофизического анализа излучения гравитационных волн, работая вместе

с Владимиром Борисовичем Брагинским, Рональдом Древером и Райнером Вайссом над развитием новых технических идей и планов для их регистрации. Член Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук, Национального философского общества, иностранный член РАН (с 1999 г.), награжден многими премиями и медалями, в том числе Американского физического общества, Германского астрономического общества, швейцарского Общества Альберта Эйнштейна, ЮНЕСКО и др. Торн хорошо известен также как популяризатор науки — был он и автором журнала «Природа» (статьи 1977, 1984, 1988, 1991 гг., а в семи номерах 1994 г. даже публиковался перевод его книги «Черные дыры и искривление времени: дерзкое наследие Эйнштейна»).

Писать эту статью не совсем просто, поскольку читатели «Природы» оперативно получили информацию как о феномене гравитационных волн, самом их открытии и его истории\*, так и о принципах квантовых измерений и сложнейшей их технической стороне\*\*. Только что на страницах журнала обсуждалась вся совокупность данных о слиянии черных дыр, имеющих пока на основе четырех зарегистрированных гравитационно-волновых событий\*\*\*. Премия присуждена трем ученым, но реально сейчас в эксперименте принимают участие более 4 тыс. человек. Поэтому, чтобы не повторяться, сосредоточимся на вкладе отечественной науки, чему есть особое основание: мне самому удалось поучаствовать как в предсказании 30 лет назад типа источника гравитационных волн, который будет открыт первым, так и в открытии 17 августа 2017 г. сопутствующего электромагнитного излучения. Но прежде чем рассказывать о последних событиях, мы должны вспомнить тех, кто идейно и практически содействовал прямому детектированию гравитационных волн, дебютировавшему в 2015 г. [1].

Начать нужно с того, что сама идея наблюдать гравитационные волны (ГВ) с помощью света и конкретно лазерного излучения в интерферометре Майкельсона была высказана советскими физиками Михаилом Евгеньевичем Герцштейном и Владиславом Ивановичем Пустовойтом в 1962 г. [2]. Конечно, эта работа была инициирована заявлением пионера экспериментальной гравитационно-волновой физики — Джорджем Вебером, первым сообщившим о регистрации гравитационных волн на своем детекторе в Мэриленде (что впоследствии не нашло подтверждения). Значение эксперимента Вебера проглядывает даже в предпосланной статье [1] аннотации, которую стоит процитировать: «Показано, что чувствительность элек-

\* Руденко В.Н. След космической катастрофы: первая регистрация гравитационных волн. Природа. 2016; 4: 15–24.

\*\* Халили Ф.Я. Лазерная интерферометрия: за занавесом триумфа. Природа. 2016; 6: 54–61.

\*\*\* Черепанчук А.М., Чернин А.Д. Список Гинзбурга: гравитационные волны, черные дыры, темная энергия. Природа. 2017; 10: 4–20.



Авторы идеи гравитационно-волнового лазерного интерферометра советские физики М.Е.Герценштейн (1926–2010) и В.И.Пустовойт (р.1936) и один из ключевых создателей интерферометра LIGO — В.Б.Брагинский (1931–2016).

трехмеханических опытов по обнаружению гравитационных волн при помощи пьезокристаллов на 10 порядков хуже, чем по оценкам Вебера. В области малых частот возможно обнаружение гравитационных волн по смещению полос оптического интерферометра; оценена чувствительность метода». Собственно, сама статья и была в значительной степени посвящена полемике с Вебером — в ней сравнивались два принципиально различных подхода к регистрации ГВ. В одном на гравитационные волны должны были реагировать некие нерелятивистские тела (рабочим телом в установке Вебера был металлический цилиндр, сжатие которого измерялось пьезокристаллами), в другом — релятивистские объекты, например свет. Замечательно, что в этом соревновании разных подходов — твердотельного детектора и интерферометра — победил в итоге модернизированный интерферометр Майкельсона, который прямо упоминается в статье [2]. Итак, преуспевший метод обнаружения гравитационных волн основан на идее наших соотечественников — Герценштейна и Пустовойта.

Примерно в те же годы раскрылся удивительный талант одного из лучших физиков-экспериментаторов — Владимира Борисовича Брагинского, который уже отметился среди тех, на кого ссылались авторы [2]. Позже именно Брагинский установил так называемый квантовый предел чувствительности приемников ГВ [3], связанный с соотношением неопределенностей Гейзенберга, которое не позволяет сколь угодно точно измерить положение тела при конечном его импульсе. И он сам, и руководимая им команда физического факультета Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова приняли участие в создании первого «боевого» гравитационно-волнового интерферометра LIGO. Это второй

крупный вклад советских/российских ученых — уже в техническую реализацию детектора ГВ. Можно смело сказать, что без идей Брагинского нынешние нобелевские лауреаты могли бы и не дожить до открытия ГВ на установке LIGO.

К счастью, Владимир Борисович застал открытие гравитационных волн (и был среди авторов пионерной статьи [1]), но до присуждения Нобелевской премии ни Брагинский, ни Герценштейн не дожили. А здравствующего ныне Пустовойта Нобелевский комитет, к сожалению, в число лауреатов не включил. Вообще, если можно обойти русского ученого, комитет это с удовольствием сделает. Конечно, Владислав Иванович был тогда аспирантом, начинающим ученым. Но среди нобелевских лауреатов полно бывших аспирантов, а среди отмеченных работ — исследований, выполненных в аспирантуре (ближайший пример по теме — Алан Халс, аспирант Джозефа Тейлора: оба получили премию в 1993 г. за открытие двойного радиопульсара). Увы, подобный российский прецедент ограничивается лишь премией за открытие излучения Вавилова—Черенкова (Павел Алексеевич Черенков сделал его, будучи аспирантом Сергея Ивановича Вавилова).

Об открытии гравитационных волн мир узнал в год столетия их предсказания Альбертом Эйнштейном, датированного 1916 г. Мы же в Государственном астрономическом институте имени П.К.Штернберга МГУ получили информацию на полгода раньше — 16 сентября 2015 г., так как наша Глобальная сеть МАСТЕР (Мобильная Астрономическая Система Телескопов-Роботов)\* была при-

\* О рождении проекта МАСТЕР см.: *Литвинов В.М.* Гамма-всплески, русская деревня и первый робот-телескоп в России. Природа. 2006; 10: 26–32.

глашена в кооперацию для электромагнитной поддержки эксперимента LIGO/VIRGO в числе 70 установок со всего мира. Наша сеть телескопов превзошла все другие оптические телескопы по площади обзора гравитационно-волнового квадрата ошибок первого события LIGO GW150914, покрыв более его половины (около тысячи квадратных градусов), и подтвердила свой статус самой быстрой распределенной по земному шару оптической поисковой системы в мире.

В последние полгода моя лаборатория космического мониторинга МГУ в содружестве с семью университетами и обсерваториями мира приняла самое живое участие в эксперименте LIGO. Эти полгода — время беспрецедентных в истории астрономии обзоров и обработки в реальном времени изображений, полученных в Южном и Северном полушариях на сети оптических телескопов МАСТЕР\*. Благодаря уникальному распределению по поверхности Земли и параметрам телескопов МАСТЕР снова совершил самый обширный, быстрый и глубокий обзор квадратов ошибок LIGO, опередив все другие оптические системы, включая PanSTARR (проект Пентагона и НАСА), iPTF (программа Калтеха и Принстонского университета) и т.д.

Глобальная сеть МАСТЕР обнаружила попутно семь оптических вспышек, заведомо не связанных с гравитационными волнами. Это не удивительно. Честно говоря, я как теоретик и не ждал от источника ГВ никакого оптического излучения, о чем написал в первой нашей телеграмме. Но как наблюдатель я, конечно, не имел права отступить, и наш обзор стал самым значительным среди всех обсерваторий мира, участвовавших в программе оптической поддержки LIGO.

День первой регистрации ГВ в 2015 г. был для меня дважды счастливым, потому что тогда не просто были открыты гравитационные волны, но их источником оказались именно две черные дыры, слившиеся на наших глазах! Все дело в том, что как раз мы (профессор В.М.Липунов и его бывшие аспиранты К.А.Постнов и М.Е.Прохоров) предсказали (посчитали на Машине сценариев, придуманной Липуновым и В.Г.Корниловым в 1983 г.) в 1997 г. то, что первое событие, регистрируемое на гравитационно-волновых детекторах, будет слиянием черных дыр. Об этом я напомнил в первом сообщении о начале оптической инспекции МАСТЕРом вероятной области неба, в которой и находился источник ГВ.

История такова. В 1997 г. мы опубликовали (чтобы никто не прошел мимо, в трех статьях) важнейшее предсказание теории эволюции двойных звезд — первыми на интерферометрах типа LIGO должны наблюдаться сталкивающиеся черные дыры. В самых общих предположениях об эволюции двойных звезд мы посчитали с помо-

щью специального кода Машины сценариев предполагаемую частоту слияния нейтронных звезд (1987) и черных дыр (1997). Главная идея нашей Машины сценариев состояла в создании компьютерной модели Вселенной, где постоянно рождались искусственные двойные системы, жизнь которых развивалась согласно нашим, быть может, не очень точным (а точная модель никем не создана до сих пор), теоретическим представлениям об эволюции двойных звезд. Начальные параметры систем выбирались абсолютно случайно, методом Монте-Карло. Играя на этой компьютерной рулетке, мы прежде всего пытались найти такие параметры эволюции, которые самым оптимальным образом объясняли бы наблюдаемые в реальности стадии эволюции двойных систем. Так, в создаваемой искусственной Вселенной должны на определенном этапе обязательно присутствовать объекты типа Cyg X-1 (черная дыра с голубым сверхгигантом), а двойных радиопульсаров с черными дырами было бы мало (их не открыли до сих пор).

Идея расчета, который никто не смог правильно повторить за 30 лет, была простая, но технически очень сложно выполняемая (надо сказать, что Машина сценариев эволюции двойных звезд на десятилетие обогнала западные исследования в этой области). Мы «отпустили» все параметры эволюции — скорость отдачи при коллапсе, параметр общей оболочки, функцию распределения двойных по отношению масс и т.д. И получилось, что, как бы мы ни меняли параметры сценария эволюции двойных звезд, первыми сигналами на гравитационно-волновом детекторе LIGO станут гравитационные волны, порожденные сливающимися черными дырами! Имеет смысл дать русский перевод названия одной из упомянутых статей ([4]): «Первые детектируемые события LIGO: слияния черных дыр». На рис.1 представлен график из другой ([5]), который мы в шутку назвали головой динозавра. Видно, что при всех возможных значениях параметров (один из них,  $k_{\text{вн}}$  — доля массы звезды, уходящая в черную дыру, приведен на графике по горизонтальной оси) частота слияния черных дыр или черных дыр с нейтронными звездами оказывается выше, чем частота столкновения чистых двойных нейтронных звезд, под которые и строились гравитационно-волновые антенны в США и Италии.

Парадокс состоял в том, что черные дыры сливаются (сталкиваются) гораздо реже, чем нейтронные звезды. Но за счет того, что масса черных дыр примерно в 10 раз больше, горизонт детектора оказывается намного выше. На это впервые обратили внимание советские астрофизики А.В.Тутуков и Л.Р.Юнгельсон, о чем я тогда не знал, но догадался независимо. В Копенгагене, на очередной конференции, Кип Торн, всегда интересовавшийся нашей Машинной сценариев, спросил меня: «А как там черные дыры?». И тут я внезапно понял, что черные дыры важны для ГВ-антенн.

\* <http://observ.pereplet.ru/>

К тому времени у нас была самая продвинутая модель эволюции черных дыр в двойных системах (мы развивали космологическую модель гамма-всплесков как сливающихся нейтронных звезд или нейтронных звезд с черными дырами), и просто надо было приложить ее к будущим ГВ-детекторам. Я сразу же написал в Москву своим соавторам Постнову и Прохорову с просьбой срочно посчитать частоту событий черных дыр — так появилась «Голова динозавра». Мы видим черные дыры дальше! А это дает почти кубическую зависимость — и слияние черных дыр должно быть обнаружено первым. Я всегда, рассказывая об этом в популярных лекциях, добавлял, что может появиться первая двойная Нобелевская премия — за открытие гравитационных волн и черных дыр.

Наши расчеты положительно оценил нобелевский лауреат, знаменитый физик Ганс Бете: в одной из последних своих работ он писал: «Мы отмечаем качественный популяционный синтез Липунова и др. (1997). В частности, получен важный результат, что введенная авторами анизотропия коллапса (скорость отдачи при образовании черной дыры) увеличивает частоту слияний черных дыр в двойных системах. В то же время Цварт и Юнгельсон (1998) нашли, что черные дыры вообще не сливаются» [6]. Популяционным синтезом Бете занялся в конце жизни, пытаясь простыми аналитическими методами предсказать частоту слияний нейтронных звезд и черных дыр. А мы этот проект начали на 15 лет раньше, построив огромную Машину сценариев, которая и позволила произвести эти расчеты. В 2015 г. выяснилось, насколько они были правильные — они прекрасно подтвердились открытием 14 сентября. Таким образом, предсказание (расчет) частоты событий при планируемой чувствительности гравитационно-волновых детекторов — тоже в отечественной копилке.

Новая Нобелевская премия необычна по многим обстоятельствам. Первое, что бросается в глаза, — решимость Нобелевского комитета, проявленная в рекордно быстром признании заслуг ученых. Случай, невиданный в практике присуждения премий: прошло чуть более двух лет с момента самого открытия ГВ, к которому сначала многие отнеслись скептически (сохранялась некая неопределенность с погрешностью эксперимента). Конечно, уверенности придали еще три события слияния черных дыр, зарегистрированные за прошедшие два года. Но немалую роль здесь сыграло и открытие оптического излучения от столкновения нейтронных звезд 17 августа 2017 г. Знаю это по общению с «релятивистами». Некоторые сетовали, что, мол, от обнаруженных событий нет никакого другого подтверждения, кроме самих гравитационных волн! Недаром Торн, побывавший в гостях у Глобальной сети МАСТЕР в 2016 г., написал на доске пожелание, чтобы наши телескопы открыли оптический

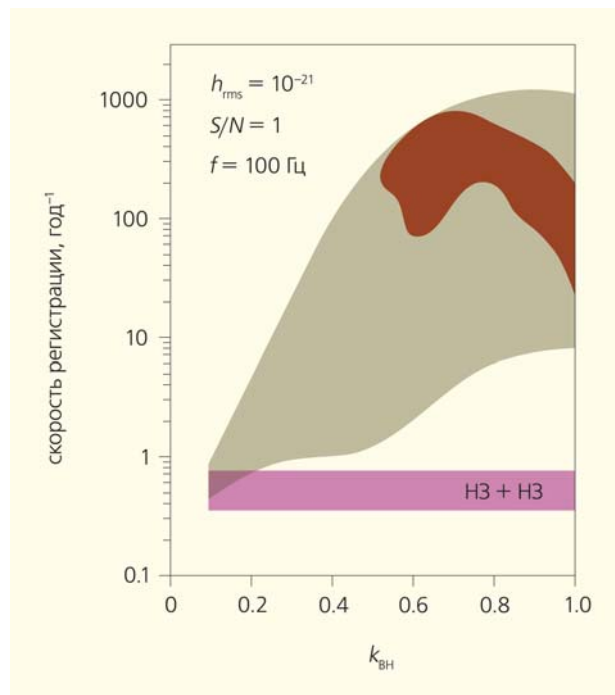


Рис.1. Ожидаемая скорость регистрации всплесков ГВ от слияния нейтронных звезд (НЗ) и черных дыр в зависимости от неизвестного пока параметра  $k_{ВН}$ . В зачерненную область, напоминающую голову динозавра, попадают предсказания частоты событий слияния черных дыр на интерферометре типа LIGO при оптимальных параметрах сценария эволюции двойных звезд. Серая область, отвечающая всевозможным параметрам и сценариям, достаточно велика, но всюду дает более высокую вероятность, чем для столкновения двух нейтронных звезд (полоса НЗ + НЗ).

двойник гравитационных волн. И МАСТЕРу это удалось: 17 августа 2017 г. наш прибор оказался среди нескольких телескопов, установленных в Южной Америке, которые независимо обнаружили первое оптическое изображение источника ГВ (вернее того, что от него — источника — осталось).

Примерно в полдень по всемирному времени (если быть точным, в 12:41:04.44) два детектора LIGO и детектор Virgo в Италии впервые зафиксировали гравитационно-волновой импульс от двух сталкивающихся нейтронных звезд, расположенных на расстоянии 120 млн св.лет. Через 2 с гамма-обсерватория НАСА Fermi (и впоследствии аппарат ЕКА Integral) зарегистрировала короткий импульс гамма-излучения — гамма-всплеск. Через 10 ч 15 мин российский телескоп-робот Глобальной сети МАСТЕР, расположенный в обсерватории Феликса Агуилара (Аргентина), первым начал съемку квадрата ошибок источника ГВ и получил сверхширокопольными камерами первое изображение галактики после произошедшего в ней столкновения нейтронных звезд. А еще через полтора часа (в 23 ч 59 мин) он натолкнулся на галактику NGC 4993, в которой нашел новый



Автор у доски с пожеланием для Глобальной сети МАСТЕР: «Желаю открытия оптического излучения от LIGO-источников!», которое оставил Кип Торн, посетивший нашу лабораторию в ГАИШ МГУ в 2016 г.

объект 17.5-й звездной величины (что по принятой шкале отвечает килоновой) — MASTER OT J130948.10-232253.3 (рис.2). В это время в Москве была глубокая ночь, и сначала об открытии объекта SSS17a в NGC 4993 в GCN заявила группа метрового телескопа Swore, установленного в Чили. Замечательно, что обнаруженный источник ни по поведению, ни по яркости, ни по спектру не был похож на любую из исследованных сверхновых. Полученные вскоре оптические спектры подтвердили: оболочка килоновой разлетается со скоростью 100 тыс. км/с (это треть скорости света!), что соответствует второй космической скорости на поверхности нейтронных звезд.

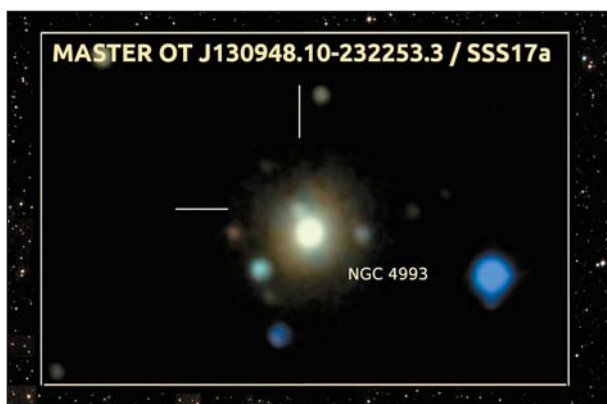


Рис.2. Килоновая GW 170817, обнаруженная телескопом-роботом МАСТЕР. Изображение получено в результате сложения и вычитания кадров, снятых в фильтрах B, V, R, I на телескопах МАСТЕРа. Поле зрения 2×2 квадратных градуса. Предел кадра 19.5. Диаметр 400 мм, светосила — 1:2.5.

Таким образом, 17.08.2017 астрономы и физики практически одновременно впервые наблюдали столкновение двух нейтронных звезд и его последствия в галактике NGC 4993 не только в гравитационно-волновом канале, но и в нескольких диапазонах электромагнитного излучения — гамма-, рентгеновском, ультрафиолетовом, оптическом и инфракрасном. В этом отношении столкновения нейтронных звезд информативнее, и значит, интереснее, чем слияние черных дыр, гравитационные волны от которого были зарегистрированы первыми (в таком событии излучения электромагнитных волн не происходит). Поэтому совершим небольшой экскурс в историю изучения нейтронных звезд, где тоже очевиден весомый вклад советских ученых.

Нейтронные звезды — первый класс астрономических объектов, существование которых было предсказано теоретически и подтверждено наблюдениями. Идею о том, что в природе должны существовать гигантские атомные ядра с массой больше солнечной и размером 10 км, Лев Давидович Ландау высказал еще в 1932 г., до открытия нейтронов британцем Джеймсом Чедвиком. Через два года, в 1934 г., американские астрофизики Вальтер Бааде и Фриц Цвикки дали им название — нейтронные звезды — и высказали предположение, что они рождаются в результате катастрофического коллапса (гравитационного сжатия), который, в свою очередь, сопровождается вспышкой сверхновой звезды. Ученые прямо указали на Крабовидную туманность, которая образовалась в результате вспышки сверхновой (наблюдавшейся китайскими астрономами в 1054 г.). Именно здесь, в Крабовидной туманности, через 35 лет был обнаружен самый молодой радиопульсар — быстро вращающаяся нейтронная звезда.

В 1966 г. Яков Борисович Зельдович и Игорь Дмитриевич Новиков нашли физический процесс, который мог бы сделать эти микроскопические по масштабам звезд объекты с радиусом порядка 10 км яркими источниками электромагнитного излучения. Этот механизм — падение окружающего вещества на нейтронную звезду — был вскоре предложен Иосифом Самуиловичем Шкловским как объяснение природы самого яркого рентгеновского источника Sco X-1. Почти в то же время Николай Семенович Кардашев и итальянский астрофизик Франко Пачини нашли еще один источник энергии замагниченной нейтронной звезды — запасенную во время коллапса ее вращательную

энергию. Так нейтронные звезды, родившиеся на кончике пера, стали научной гипотезой, прямо подтвержденной после открытия радиопульсаров (англичанином Энтони Хьюишем, Нобелевская премия 1974 г.) и рентгеновских пульсаров (американским физиком итальянского происхождения Риккардо Джаккони, Нобелевская премия 2002 г.).

После уже упоминавшегося открытия двойного радиопульсара австралийскими радиоастрономами Халсом и Тэйлором стало ясно, что во Вселенной идет процесс столкновения нейтронных звезд, поскольку время слияния этой двойной было меньше ее возраста.

Процесс столкновения двух нейтронных звезд — этих сверхтяжелых атомных ядер — напоминает столкновение элементарных частиц в коллайдерах, но выделяющаяся энергия в этом случае несравненно выше. Фактически столкновение нейтронных звезд наряду со слиянием черных дыр представляет собой самый мощный процесс во Вселенной, сопровождающийся гравитационно-волновым импульсом. Именно поэтому Торн, главный идеолог проекта LIGO, начал продвигать идею ГВ-детектора еще в 80-е годы.

Естественно, возник вопрос: как часто такие процессы идут во Вселенной? Говоря языком физики элементарных частиц, надо было рассчитать сечение самых мощных космических реакций.

Первые попытки оценить темп слияния нейтронных звезд в нашей Галактике, исходя из общих представлений об эволюции двойных систем вплоть до образования в них релятивистских звезд, оказались довольно приблизительными из-за большого числа трудно оцениваемых вероятностных коэффициентов. Полученные значения не вдохновляли: всего  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  слияний в год.

И здесь помогла наша Машина сценариев. Это случилось благодаря невиданной концентрации астрофизической мысли вокруг нашего выдающегося соотечественника Якова Борисовича Зельдовича. Да и сам будущий вдохновитель проекта Кип Степанович Торн (так его называли в группе Зельдовича) идею эту почерпнул на семинарах Якова Борисовича (сейчас — Общественный семинар астрофизиков имени Я.Б.Зельдовича), к которому он регулярно приезжал с 60-х годов. Здесь же Торн познакомился с Владимиром Борисовичем Брагинским, руководимая которым группа физиков физического факультета МГУ внесла, как уже упоминалось, неоценимый вклад в успех гравитационно-волнового эксперимента. Узнал Торн в один из своих визитов и о нашей новой разработке (мы усовершенствовали Машину сценариев) и попросил посчитать вероятность столкновения двойных нейтронных звезд.

Так появился первый расчет вероятности столкновения нейтронных звезд в нашей Галактике. Оказалось, что подобная коллизия должна случаться каждые 10 тыс. лет [7]. Следовательно, чтобы получить Нобелевскую премию за открытие гравитаци-

онных волн, надо выбрать дальность приема антенной, захватывающую область с 10 тыс. галактик, — ее радиус был оценен в 20 Мпк (60 млн св. лет). Тогда хотя бы раз в год удастся зарегистрировать ГВ. Но лучше, конечно, получить хотя бы несколько событий в год, для чего надо увеличить горизонт интерферометра до 40 Мпк.

Схожую оценку аналитическими методами позже получили американцы Д.Хиллс и Р.Веббинк [8] и советские астрофизики А.В.Тутуков и Л.Р.Юнгельсон [9]. Отметим, что в ряде зарубежных работ утверждалось, что темп слияний в 10–100 раз ниже.

На рис.3 показан весьма красноречивый график — зависимость частоты столкновения нейтронных звезд от радиуса горизонта чувствительности антенны. Легко видеть, что открытие столкнувшихся нейтронных звезд на расстоянии ~40 Мпк прекрасно согласуется с расчетами 1987 г.! А на рис.4 вероятность события показана в пространственных координатах: сценарии эволюции двойных звезд разыгрывались на карте галактического неба, построенной нами до расстояний в 50 Мпк еще в 1995 г. на основе модели локальной Вселенной и самого точного каталога галактик Тулли [10]. Только что открытое первое слияние нейтронных звезд попадает во вполне ожидаемое место. Интересно и другое совпадение. Полная скорость слияния на всем небе на этой карте равна трем событиям в год. А ведь LIGO обнаружила первое слияние, проработав всего треть года, — отличный прогноз!

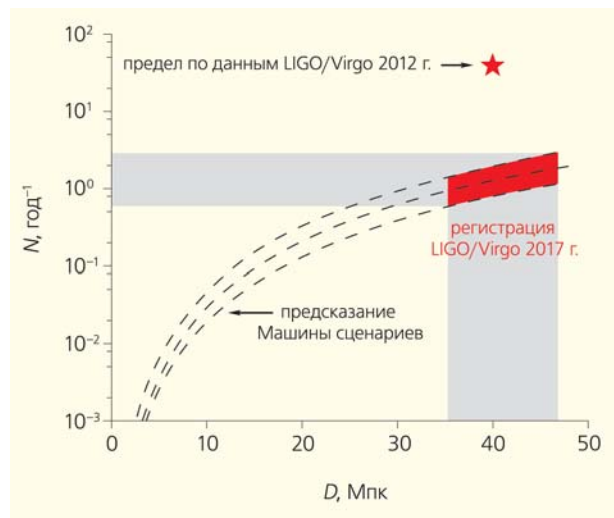


Рис.3. Темп слияния нейтронных звезд  $N$  в зависимости от горизонта чувствительности  $D$ . Три штриховыми линиями показаны расчеты Машины сценариев. Красная звездочка показывает оценку нижнего предела 2012 г., не противоречившую нашим предсказаниям. Вертикальная серая полоса — расстояние до галактики NGC4993 с соответствующей на сегодняшний день ошибкой  $41 \pm 5.8$  Мпк, горизонтальная — предсказание Машины сценариев (несколько событий в год) [12].

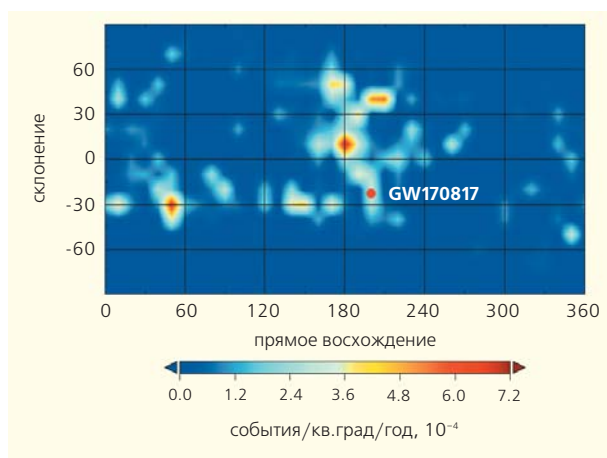


Рис.4. Ожидаемая частота столкновений нейтронных звезд на карте галактического неба, построенной нами в 1995 г. на основе модели локальной Вселенной с использованием самого точного каталога галактик Тулли до расстояний в 50 Мпк. Красный кружок показывает событие GW170817 в галактике NGC 4993 — первое зарегистрированное слияние нейтронных звезд.

Итак, день 17 августа 2017 г. может по-настоящему считаться днем рождения новой науки — гравитационно-волновой астрономии\*. Удалось сделать самое главное: локализовать место ГВ-события с астрономической точностью — лучше одной угловой секунды! В прошлом веке астрономия гамма-всплесков никак не могла появиться на свет почти 30 лет. Именно столько времени понадобилось физикам и астрономам, чтобы найти оптические двойники гамма-всплескам. В случае же гравитационных волн эта метаморфоза заняла всего два года, а если говорить о самом открытии — всего полдня. Почему так важна точная локализация? Потому что с момента установления точного места происшествя к новому явлению наконец может быть применен весь тысячелетний опыт старейшей из наук — астрономии (или, по крайней мере, опыт последнего столетия — самого бурного и революционного). Локализация позволила установить галактику, в которой произошла мощнейшая катастрофа. Ею оказалась галактика типа S0 под номером NGC 4993. Что это за галактика?

Замечательный российский астрофизик Игорь Дмитриевич Караченцев с соавторами посвятил немало времени исследованию этих немногих нетипичных галактик. С виду (особенно плашмя, как мы и видим NGC 4993) они напоминают спиральные галактики, правда с очень слабыми спиральями. Спирали формируются молодыми звездами, а здесь их практически нет! Получается, короткий

гамма-всплеск родился в галактике, где нет массивных звезд. Но сами нейтронные звезды, столкновение которых там наблюдалось, — продукт эволюции именно массивных звезд. Только последние жили миллиарды лет назад, и, следовательно, можно примерно установить биографию этой парочки.

Получается следующая картина: примерно 10 млрд лет назад, когда шло первичное бурное звездообразование, в галактике NGC 4993 возникла система из двух голубых звезд-сверхгигантов. Понадобилось не больше 100 млн лет, чтобы в системе прогремели два взрыва сверхновых, сопровождавшихся образованием нейтронных звезд, как это и предположили Бааде и Цвикки. Чудом система не распалась. Такие чудеса точно происходят в нашей Галактике раз в 10 тыс. лет, и как раз в результате столь редкого события образуется двойная нейтронная звезда — одна (а иногда и обе) становятся вначале радиопулсарами и довольно быстро, за 10 млн лет, замедляются и гаснут. Потом долгие миллиарды лет они сближаются. И только совсем недавно, примерно 100 млн лет назад, когда по Земле еще бегали динозавры, произошло катастрофическое слияние, сопровождавшееся мощным импульсом гравитационных волн, гамма-излучением, явлением килоновой, рентгеновским послесвечением и радиосвечением. Вот такой фейерверк позволяет всем отраслям астрономии нацеливаться на событие 17 августа прошлого года и на базе всего накопленного опыта сказать свое веское слово — не зря же 16 октября, в день пресс-конференции научного фонда США, когда было снято эмбарго, мы увидели сотни научных статей, посвященных этому феномену. Среди них появилась и одна публикация в Nature, в числе авторов которой вы найдете участников проекта МАСТЕР [11].

Она посвящена первому в истории определению постоянной Хаббла с помощью стакивающихся нейтронных звезд. Дело в том, что если получить ГВ-сигнал от сталкивающихся объектов, то автоматически находится расстояние до них. Почему? С одной стороны, амплитуда гравитационной волны в любой момент времени определяется массой вступивших в «реакцию» слияния звезд и расстоянием до них. С другой стороны, частота гравитационной волны — это удвоенная частота орбитального вращения, которая определяется только массами звезд (третий закон Кеплера) и расстояниями между ними. Из этих двух условий можно найти и массы, и удаление от Земли данного слияния. Таким образом, регистрируя ГВ от двойной системы, можно тут же определить расстояние до нее.

Но, если слияние сопровождается оптической вспышкой и известно, в какой галактике она происходит, можно измерить красное смещение и найти скорость удаления галактики от нас, а ис-

\* Случайное совпадение состоит в том, что в паспорте автора этой статьи, в графе дата рождения, стоит 17 августа 1952 г. Спасибо LIGO/Virgo за подарок к юбилею.



пользуя закон Хаббла, — и расстояние. И так, мы имеем два независимых уравнения для расстояния и постоянной Хаббла. Понятно, что из двух уравнений можно рассчитать последнюю.

Конечно, первое измерение оказалось не очень точным, но по мере работы интерферометров LIGO/Virgo и, соответственно, регистрации новых и новых событий слияния, мы будем иметь один из самых точных методов определения постоянной

Хаббла, важнейшей характеристики нашего мира. И это лишь одно из многих научных следствий нового открытия, удостоенного Нобелевской премии 2017 г.

© доктор физико-математических наук **В.М.Липунов**,  
заведующий лабораторией космического мониторинга  
Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова  
(Москва, Россия)

## Литература / References

1. *Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D. et al.* Observation of gravitational waves from binary black hole merger. *Phys. Rev. Lett.* 2016; 116: 061102. (Doi: 00319007/16/116(6)/061102).
2. *Герценштейн М.Е., Пустовойт В.И.* К вопросу об обнаружении гравитационных волн малых частот. *ЖЭТФ.* 1962; 43: 605–607. [*Gertsenshtein M.E., Pustovoit V.I.* On the detection of low frequency gravitational waves. *ЖЭТФ.* 1963; 16: 433–435.]
3. *Брагинский В.Б.* Классические и квантовые ограничения при обнаружении слабых воздействий на макроскопический осциллятор. *ЖЭТФ.* 1967; 53: 1434–1441. [*Braginskii V.B.* Classical and quantum restrictions on the detection of weak disturbances of a macroscopic oscillator. *ЖЭТФ.* 1968. 26: 831–834.]
4. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* First LIGO events: binary black holes mergings. *New Astronomy.* 1997; 2(1): 43–52.
5. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* Formation and coalescence of relativistic binary stars: the effect of kink velocity. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society.* 1997; 288(1): 245–259.
6. *Bethe H.A., Brown G.E.* Contribution of high-mass black holes to mergers of compact binaries. *Astrophys. J.* 1999; 517: 318–327.
7. *Lipunov V.M., Postnov K.A., Prokhorov M.E.* The sources of gravitational waves with continuous and discrete spectra. *Astronomy and Astrophysics.* 1987; 176: L1–L4.
8. *Hills D.L., Bender, P.L. Webbink R.F.* Gravitational radiation from the Galaxy. *Astrophys. J.* 1990; 360: 75–94.
9. *Tutukov A.V., Yungelson L.R.* Merging of binary white dwarfs neutron stars and black holes under the influence of gravitational wave radiation, *Monthly Notices of Royal Astronomical Society.* 1994; 268: 871–879.
10. *Lipunov V.M., Nazin S.N., Panchenko I.E. et al.* The gravitational wave sky. *Astronomy and Astrophysics.* 1995; 298: 677.
11. *Abbott B.P., Abbott R., Abbott T.D. et al.* A gravitational-wave standard siren measurement of the Hubble constant. *Nature.* 2017; 551(7678): 85–88.
12. *Lipunov V.M., Pruzhinskaya M.* Scenario Machine: fast radio bursts, short gamma-ray burst, dark energy and Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory silence. *MNRAS.* 2014; 440: 1193–1199.

## Laureates of the Nobel Prize in Physics 2017: Rainer Weiss, Barry C.Barish, Kip S.Thorne

V.M.Lipunov  
*Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)*

As expected the Nobel Prize in Physics of 2017 has been awarded «for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational wave». Three american scientists — Rainer Weiss, Barry C.Barish, Kip S.Thorne have become the laureates but really thousands of specialists are taking part in the experiment. There are a valuable reason to mention the contribution of Russian physicists.

**Keywords:** Nobel Prize, gravitaional waves, optical source, multi-messenger astronomy.

## По химии — Ж.Дюбоше, Й.Франк, Р.Хендерсон

Нобелевская премия по химии в 2017 г. присуждена за создание нового метода, возникшего на стыке органической химии, физики и молекулярной биологии, — криогенной электронной микроскопии (крио-ЭМ). Крио-ЭМ позволяет восстанавливать трехмерную структуру биологических макромолекул — вирусов, белков