

Открыто новое окно во Вселенную (российский вклад)

*Из всех услуг, которые могут быть
оказаны науке, введение новых идей –
самая важная.*

Дж. Дж. Томсон

В науке важную роль играет первоначальная оригинальная идея. В 1962 г. два советских физика Михаил Евгеньевич Герценштейн (1926–2010 гг., выпускник кафедры физики колебаний МГУ) и Владислав Иванович Пустовойт (выпускник Днепропетровского университета), опубликовали в "Журнале экспериментальной и теоретической физики" (Т. 43. № 2. С. 605–607) статью "К вопросу об обнаружении гравитационных волн малых частот". В ней для регистрации долгое время казавшихся неуловимыми гравитационных волн предлагался оригинальный оптический метод с использованием только что созданного лазера и классического интерферометра Майкельсона. Слово "лазер" в их статье было взято в кавычки, поскольку этот термин в 1962 г. еще не стал общепринятым. Нобелевскую премию "за фундаментальные работы в области квантовой электроники, приведшие к созданию генераторов и усилителей на основе принципа мазера-лазера" Н.Г. Басову, А.М. Прохорову и Ч. Таунсу (США) присудили только в 1964 г. Это позволило существенно

повысить чувствительность измерений, выбрать единственно правильный путь и решить поставленную задачу.

14 сентября 2015 г. участник проекта, сотрудник Университета Флориды профессор Сергей Клименко (выпускник Новосибирского госуниверситета, работавший в Институте ядерной физики



Нобелевские лауреаты А.М. Прохоров, Ч. Таунс (США) и Н.Г. Басов. 1964 г.

Сибирского отделения РАН) совершенно неожиданно получил экстренное электронное сообщение с установок LIGO (от англ. Laser Interferometry Gravitational wave Observatory – лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория; Земля и Вселенная, 2016. № 4) и сразу все понял: "первая ласточка прилетела" – "полезный сигнал принят"! Это была редчайшая удача, так как усовершенствованная методика (AdvLIGO) только что начала функционировать в новом, более чувствительном режиме. Отметим важную роль Сергея Клименко в разработке сложнейшей компьютерной программы для обработки результатов постоянного "прослушивания" Вселенной и подавления шумов различной природы мощности. С помощью его алгоритма анализа сигналов оказалось возможным выделять нужную информацию, что и позволило обнаружить гравитационные волны (Земля и Вселенная, 2014. № 4. С. 110; 2016. № 6. С. 36).

ЧТО ТАКОЕ ГРАВИТАЦИОННЫЙ ДЕТЕКТОР?

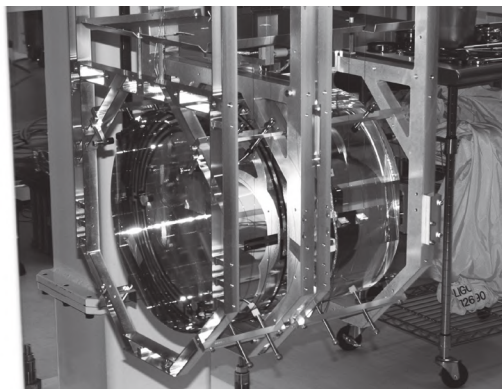
Вернемся к схеме интерферометра Майкельсона – основе лазерного детектора гравитационных волн. Каждый детектор представляет собой Г-образную конструкцию из двух тоннелей. Луч лазера расщепляется на два перпендикулярных луча, которые попадают в "свой" тоннель и, многократно отражаясь от зеркал, расположенных на расстояниях в 4 км от светоделителя, возвращаются и попадают на фотоприемник; при сложении этих лучей образуется картина из множества полос. Гравитационная волна вызывает колебания цилиндров, к которым прикреплены зеркала; это изменяет рисунок полос. Сигнал на выходе

Детектор гравитационных волн обсерватории LIGO.



Профессор Сергей Клименко – создатель алгоритма анализа сигналов гравитационных волн, возникших от слияния черных дыр или нейтронных звезд (на втором плане).

де детектора зависит от разности фаз в лучах, которая, в свою очередь, зависит от разности пройденных ими путей. Современные компьютеры позволяют обнаружить эти микроскопические (10^{-19} м) смещения (диаметр протона на 4 порядка больше!). Для того чтобы увеличить «набег» фазы, в каждом плече установлены дополнительные зеркала, образующие резонаторы Фабри–Перо; таким образом лучи 300 раз "пробегают" 4 км в каждом направлении, прежде чем попадают в фотоприемник. Диапазон частот, которые регистрируют детекторы LIGO, составляет от десятков герц до





Академик В.И. Пустовойт на пресс-конференции в ИКИ РАН. 16 октября 2017 г.

нескольких килогерц. Необходимо измерять очень малые колебания зеркал в этом диапазоне; следовательно, главной проблемой при разработке детектора является снижение всех видов шумов (именно поэтому зеркала подвешиваются на сложном, многоступенчатом фильтре, подавляющем эти колебания). Лучи света распространяются внутри труб, где поддерживается глубокий (10^{-9} мм рт. ст.) вакуум. Поскольку свет имеет квантовую природу и состоит из отдельных частиц – фотонов, существует особый вид флуктуаций – фотонный дробовой шум. Для уменьшения его влияния увеличивают интенсивность света в интерферометре: в детекторах второго поколения AdvLIGO, которые и привели к открытию, мощность лазера составляет от 15 до 100 Вт, а эффективная мощность внутри интерферометра (с учетом накопления в резонаторах и использования так называемой рециркуляции света) достигает одного мегаватта! Важнейшим фактором, ограничивающим чувствительность детектора, является броуновский шум – результат теплового движения атомов и молекул. Для его снижения были разработаны монолитные кварцевые подвесы зеркал.

Гравитационный детектор – сложное устройство, в котором использованы уникальные компоненты, в том числе созданные специально для него в раз-

личных (в том числе и российских) лабораториях мира. Достаточно сказать, что покрытие зеркал таково, что из каждого миллиона падающих фотонов "теряется" при отражении лишь один, настройку положения зеркал и других оптических элементов обеспечивают более 5 тыс. следящих систем, а для обработки поступающей информации (порядка терабайта в сутки) – 1000-процессорные группы компьютеров, объединенных высокоскоростными каналами связи, и глобальная распределенная вычислительная сеть. Волны обнаруживаются по смещению полос оптического интерферометра.

Существование гравитационных волн предсказал создатель общей теории относительности (ОТО) Альберт Эйнштейн в 1916 г., и ровно через 100 лет, в феврале 2016 г. было объявлено об их экспериментальном открытии. Сразу значительно вырос интерес общества (и особенно молодежи) к современной науке (радио, ТВ, пресса), и активные участники эпопеи – ученые – включились в эту кампанию. Так Кип Торн участвовал в создании научно-популярного фильма "Interstellar" (Межзвездный; 2014 г.), неожиданно ставшего бестселлером.

В России, к сожалению, успехи в этом направлении более скромные: директор Центра уникальных приборов и установок РАН академик В.И. Пустовойт в обстоятельной лекции "Лазерные интерферометры для непосредственного обнаружения гравитационных волн", прочитанной им перед студентами и преподавателями МИЭТ (г. Зеленоград) в апреле 2016 г., подробно остановился на обнаружении гравитационных волн: от формул Эйнштейна до новейших технологий и приборов (запись лекции: <https://youtu.be/ZLvNesxObIQ>).

Над обнаружением гравитационных волн в составе LIGO работали две группы российских ученых. Первая – из Московского университета, созданная на физическом факультете и руководимая долгие годы членом-корреспондентом РАН профессором Владимиром Борисовичем Брагинским (1931–2016). Он и его группа предложили концепцию зеркал для проведения эксперимента. Владимир Борисович хорошо понимал, что проведение полномасштабных работ по обнаружению гравитационных волн в то время в университете не представлялось возможным; он пошел по пути разработки методов и приборов регистрации сверхслабых сигналов, которые в конечном счете потребовались для обнаружения гравитационных волн. Приборы должны были обладать огромной чувствительностью и быть "малозумящими"; при этом был решен ряд важнейших проблем, направленных на максимальное повышение чувствительности гравитационно-волновых детекторов, выявление их термодинамических и квантовых ограничений. Результаты этих работ и были использованы при создании сверхчувствительных детекторов, позволивших провести регистрацию гравитационных волн.

В.Б. Брагинский предложил использовать в качестве "подвеса" для пробных масс вместо металлической кварцевую нить. На эту мысль его натолкнули опыты, проведенные в начале XX в. профессором Московского университета Петром Николаевичем Лебедевым: он использовал стеклянную нить в опытах по измерению давления света (прибор Лебедева хранится в музее физического

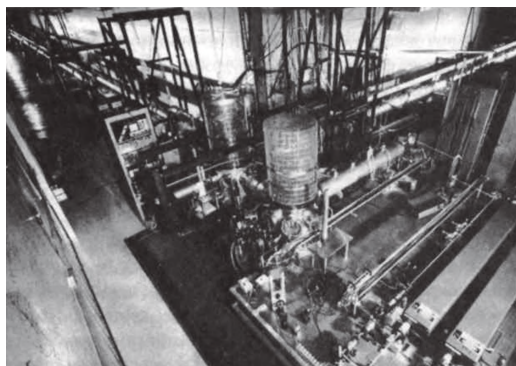
40-м прототип интерферометра по поиску гравитационных волн, созданный в Калифорнийском технологическом институте. Около 1989 г.



Член-корреспондент РАН В.Б. Брагинский и профессор К. Торн. 2000-е гг.

факультета и поныне). Нить из плавленого кварца оказалась не только лучше металлической, но и нити из сапфира, и по своим свойствам кварц вообще оказался наилучшим материалом. При кварцевых подвесах отсутствуют избыточные механические шумы, что особенно важно в случае, когда речь идет о сверхслабом сигнале.

Ученый предсказал существование нескольких физических эффектов, в част-





Выступает руководитель московской группы LIGO доктор физико-математических наук В.П. Митрофанов. МГУ, 2016 г.

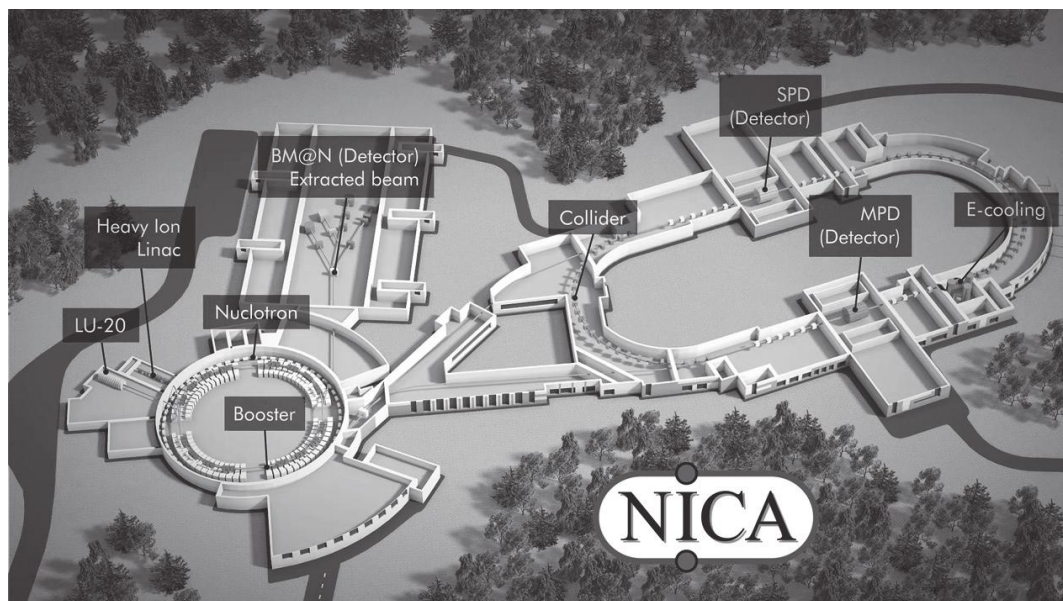
ности стандартного квантового предела (1967 г.), спин-квадрупольного гравитационного эффекта (1980 г.) и трение, порождаемое нулевыми колебаниями вакуума (1991 г.). Владимир Борисович начал сотрудничать с К. Торном с 1968 г. по инициативе последнего, когда ученый посетил Лабораторию гравитационных исследований на физическом факультете МГУ. Поначалу К. Торн не был убежден, что гравитационные волны можно зафиксировать, однако разговоры с В.Б. Брагинским, а также результаты исследований американского ученого Райнера Вайса, который в 1972 г. предложил искать гравитационные волны с помощью лазерного интерферометра, вдохновили К. Торна (спустя 10 лет после работы М.Е. Герценштейна и В.И. Пустовойта) на продолжение эксперимента!

В 1976 г. К. Торн решил начать опыт по поиску гравитационных волн в Калифорнийском технологическом институте. Владимир Борисович отказался переезжать в США и стал научным консультантом группы. Уже в 1983 г. был построен 40-метровый прототип будущего интерферометра. В это же время ученые из Массачусетского технологического института задумались о создании киломе-

тровых интерферометров. В 1984 г. исследователи из двух институтов – К. Торн, Р. Вайс и Р. Древер – объединились и решили создать LIGO (проект предложен в 1992 г.). Группа В.Б. Брагинского через несколько лет официально вошла в это объединение; членами этой группы (при участии профессора физического факультета Арсения Александровича Соколова – известного специалиста в области квантовой теории) была развита теория и разработаны новые методы квантовых измерений; установлен предел чувствительности в экспериментах с пробными свободными массами (стандартный квантовый предел) и было показано, что чувствительность гравитационной антенны с малой диссипацией близка к квантовому пределу. В МГУ под руководством нынешнего наставника московской группы LIGO профессора Валерия Павловича Митрофанова (ученика и сотрудника В.Б. Брагинского) и Леонида Георгиевича Прохорова были детально исследованы шумы от электрических зарядов на кварцевых зеркалах детекторов. Дело в том, что движущиеся заряды генерируют паразитные шумы, поэтому были найдены режимы медленного "растекания" зарядов, наиболее благоприятные для проведения измерений; при этом ученые обнаружили новую разновидность термодинамических шумов в зеркалах детектора.

Итак, фундаментальные открытия, сделанные замечательным российским ученым В.Б. Брагинским и его коллегами (квантовые пределы, способы квантовых измерений и квантовые флуктуации), оказались нужны и востребованы в проекте LIGO.

Долгое время экспериментаторы шли по неправильному пути: Дж. Вебер даже объявил об успешном наблюдении гра-



Модель ускорительного комплекса коллайдера мегапроекта NICA, создающегося на базе Лаборатории физики высоких энергий и Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Строительство идет, начиная с 2013 г. Представленные детекторы MPD и SPD предназначены для экспериментов в области релятивистской ядерной физики и изучения спина при столкновениях пучков ядер легких элементов.

витационных волн, используя подвешенный в вакууме полутонный алюминиевый цилиндр, который был увешан чувствительными датчиками колебаний. В.Б. Брагинский, однако, экспериментально показал ошибку в 6 порядков. Среди ученых стал расти скепсис, вспомнили слова А. Эйнштейна о невозможности обнаружения столь слабых сигналов, однако это не означало, что волн не существует в природе (как стали думать многие физики после ряда неудач). В 1973 г. американские физики, лауреаты Нобелевской премии по физике 1993 г. Рассел Халс и Джозеф Тейлор представили косвенное доказательство существования гравитационных волн. Такое заключение ими сделано после обнаружения двойного пульсара PSR B1913+16 из факта потери энергии пульсарами. При приближении звезд

друг к другу происходит изменение частоты, что и позволило судить о существовании гравитационных волн, но это было не прямое, а всего лишь косвенное свидетельство существования загадочных волн.

Будучи великолепным физиком-экспериментатором, В.Б. Брагинский создал научную школу, хорошо известную в нашей стране и за рубежом своими фундаментальными физическими исследованиями. Восхождение к "эвересту" современного эксперимента по детектированию гравитационных волн Владимир Борисович начал в 1955 г., работая над проблемами взаимной синхронизации клистронов и применением переходного излучения в СВЧ-электронике. В 1965 г. он первым обратил внимание на существование в экспериментах с пробными телами весьма значительного потенциального ре-

зерва чувствительности, когда трения в измерительном осцилляторе достаточно мало, так что время релаксации много больше времени измерения. В этом случае можно регистрировать изменение энергии в осцилляторе, значительно меньшее равновесной тепловой энергии, что и продемонстрировал В.Б. Брагинский в блестящих экспериментах. Ученый предсказал существование предела чувствительности координатных измерений квантового происхождения (теперь он называется стандартным квантовым пределом), предложил и обосновал принципы нового класса измерений – квантово-невозмущающих измерений.

Плодотворная научная и педагогическая деятельность Владимира Борисовича снискали ему заслуженное уважение в физическом сообществе. Он был награжден Золотой медалью им. П.Н. Лебедева, медалью Ф. Шиллера от Йенского университета (Германия), стал лауреатом международных премий – Фэйрчайлда (США) и Гумбольдта (Германия), почетным зарубежным членом Американской Академии искусств и наук, членом Европейской академии, иностранным членом Национальной академии наук США. Выдающийся ученый, профессор Кафедры физики колебаний физического факультета МГУ, член-корреспондент РАН В.Б. Брагинский ушел от нас на 85-м году жизни – зная, что триумфально воплотил в жизнь поставленные цели. Дело В.Б. Брагинского продолжается: 25 марта 2017 г. в Дубне был заложен первый камень сооружения коллайдера NICA (Nuclotron-based Ion Collider facility – коллайдер протонов и тяжелых ионов) – одного из международных мегапроектов, строящийся с 2013 г. на базе Лаборатории физики высоких энергий и Объединенного института ядерных исследований в Дубне. Работа ускорителя должна "пролить свет" на возникновение Вселенной, происходящие процессы в ней и природу гравитационных волн.

ВКЛАД НИЖЕГОРОДЦЕВ В ОТКРЫТИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Еще одна группа российских ученых – сотрудники Института прикладной физики (ИПФ) РАН (Нижний Новгород) – входит в объединение LIGO и работает под руководством Президента РАН академика А.М. Сергеева, члена-корреспондента РАН Е.А. Хазанова и других. Именно в этом городе возникла знаменитая на весь мир выдающаяся школа отечественной радиофизики. Базой послужила Нижегородская радиолоборатория (НРЛ), открытая в 1918 г. Научно-исследовательская деятельность НРЛ заложила основы радиосвязи, радиотехники, радиолокации, электроники, радиовещания, радио- и электронной промышленности, изучения ионосферы. В НРЛ были собраны первоклассные специалисты: М.А. Бонч-Бруевич, В.К. Лебединский, А.Ф. Шорин, Д.А. Рожанский, В.П. Вологдин, братья Б.А. и Г.А. Остроумовы, А.М. Кугушев, А.А. Пистолькорс, О.В. Лосев, С.И. Шапошников и другие. Кроме того, на дважды проведенных конгрессах Ассоциации физиков бывали Л.И. Мандельштам, Н.Д. Папалекси, В.А. Стеклов, О.Д. Хвольсон. На радиофизическом факультете Горьковского госуниверситета преподавал лауреат Нобелевской премии, научный сотрудник Московского физического института им. П.Н. Лебедева академик В.Л. Гинзбург (1916–2009; Земля и Вселенная, 2010, № 2).

В области теории колебаний (значение которой для физики и техники выходит далеко за пределы радиотехники) были достигнуты столь значительные успехи, что полученные результаты можно с полным правом отнести к числу наиболее ярких достижений советской физики. Выдающуюся роль в этих достижениях сыграли работы Л.И. Мандельштама, Н.Д. Папалекси и их научной школы. Достижения нижегородской школы – одного из мировых центров,

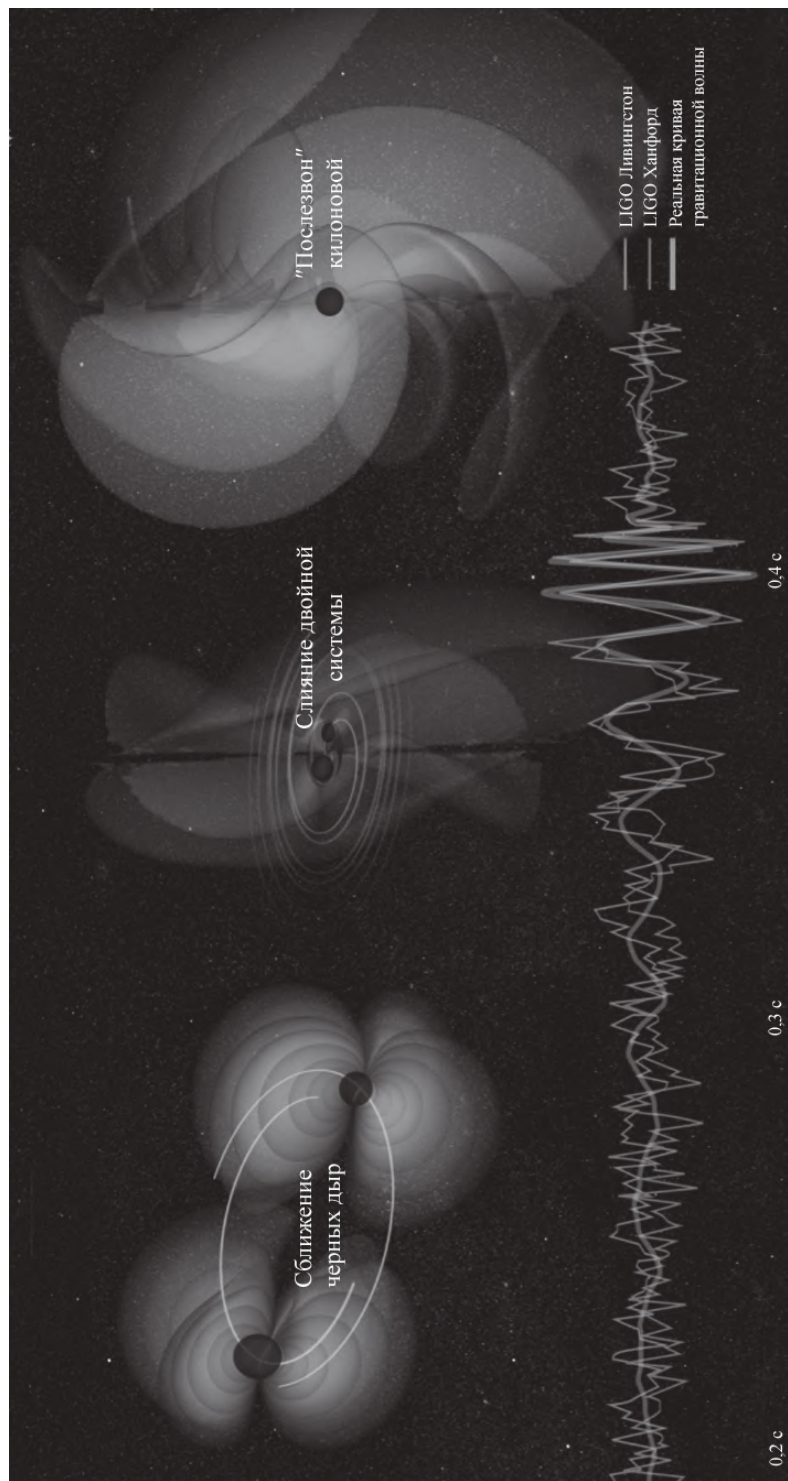
работающих в ведущих направлениях радиофизики, лазерной физики, нелинейной оптики, физики атмосферы и ионосферы – получили высокую оценку и признание как в нашей стране, так и за рубежом. Поэтому становится понятным значение Нижнего Новгорода в развитии самых передовых направлений в современной физике (в том числе и в уникальном проекте LIGO) – в особенности в будущем усовершенствовании и модернизации лазерно-оптической аппаратуры.

Наиболее существенным вкладом ИПФ РАН в создании детекторов LIGO является изобретение уникальных, уже упоминавшихся изоляторов Фарадея, работающих при большой мощности лазерного излучения. Поглощение излучения в магнитоактивной среде неизбежно приводит к ее нагреву и термонаведенным поляризационным и фазовым искажениям лазерного пучка. Был проведен анализ всех искажений лазерного пучка с точки зрения ухудшения параметров "изолятора" и определены механизмы и ключевые физические величины, отвечающие за различные виды искажений. Были предложены и осуществлены методы компенсации и подавления паразитных тепловых эффектов. Сотрудники ИПФ не только разработали и изготовили уникальные изоляторы Фарадея, но и установили их на детекторы LIGO. Без оптических изоляторов, которые изобрели в Институте прикладной физики РАН, "пространственно-временную рябь" не удалось бы зафиксировать.

В настоящее время в Нижнем Новгороде разрабатывается лазер для детектора гравитационных волн следующего поколения. В 2016 г. участникам проекта была присуждена престижная международная премия Грубера по космологии, а также Премия по фундаментальной физике, учрежденная российским бизнесменом Юрием Мильнером.

Наблюдения на установках LIGO (США) и Virgo (Италия) позволили позиционировать источник гравитационных волн в пределах обширного участка Южного полушария звездного неба размером в несколько сотен дисков полной Луны, содержащего миллионы звезд. 17 августа 2017 г. впервые в истории удалось осуществить одновременную регистрацию гравитационных волн, оптического и гамма-излучений, возникающих при слиянии системы нейтронных звезд массами 1,7 и 1,1 M_{\odot} ; в результате образовалась килоновая AT 2017gfo (GW170817) массой 2,8 M_{\odot} . Событие GW170817, произошедшее в линзообразной галактике NGC 4993 в созвездии Гидры (130 млн св. лет от нас), было зафиксировано двумя детекторами гравитационных волн LIGO и Virgo, космическими гамма-обсерваториями "Ферми" и "Интеграл", телескопами Европейской Южной Обсерватории (ESO), системой телескопов "МАСТЕР" (Земля и Вселенная, 2014, № 3, с. 109–110). О регистрации гравитационных волн было официально объявлено 16 октября 2017 г. в совместном пресс-релизе LIGO и Virgo, в этот же день прошла пресс-конференция в ИКИ РАН. Ранее были детектированы гравитационно-волновой всплески при слиянии сверхмассивных черных дыр: GW150914 (14 сентября 2015 г.), GW151226 (25 декабря 2015 г.), GW170104 (4 января 2017 г.) и GW170608 (8 июня 2017 г.).

Очередная, пятая по счету, регистрация гравитационных волн кардинально отличалась от предыдущих – на этот раз, анализируя полученный сигнал, стало ясно, что источником волн стало не столкновение черных дыр, а слияние нейтронных звезд. Благодаря его большей длительности специалисты успели "поймать" не только гамма-всплески, но и оптическое (а спустя некоторое время и радиоизлучение), что позволило впервые определить координаты произошедшего



Этапы слияния двух очень компактных объектов – черных дыр массами $30,5$ и $25,3 M_{\odot}$, в результате образовалась новая черная дыра массой $53,2 M_{\odot}$. Это событие (GW150914) произошло 14 сентября 2015 г. и создало гравитационные волны, которые были впервые зарегистрированы (на рисунке внизу) двумя наземными лазерными интерферометрами LIGO (США) и Virgo (Италия). Рисунок LIGO.



Пресс-конференция в ИКИ РАН: А.А. Лутовинов, В.И. Пустовойт, С.П. Вятчанин и В.П. Митрофанов. 16 октября 2017 г.

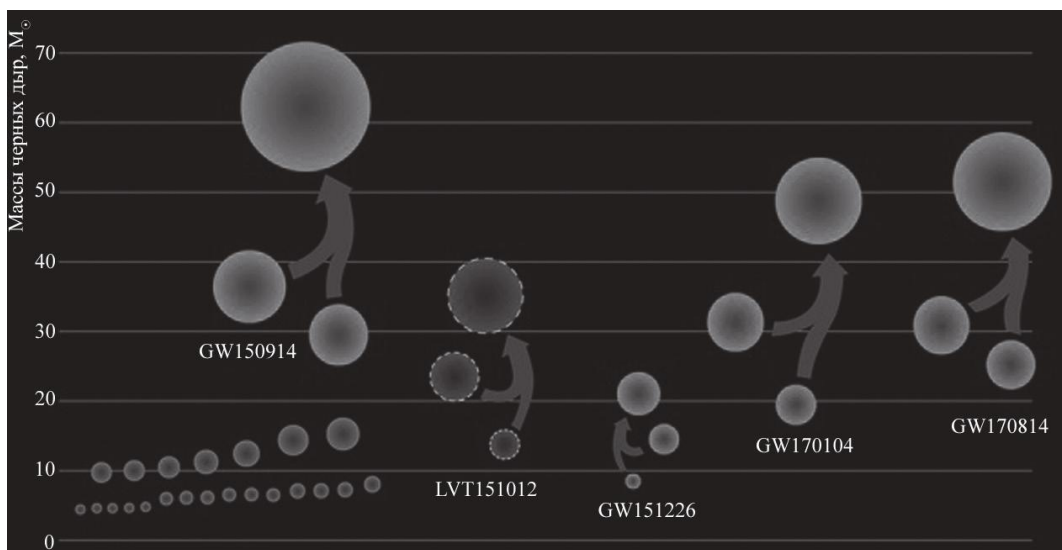


Схема слияния массивных черных дыр GW150914 (14 сентября 2015 г.), GW151226 (25 декабря 2015 г.), GW170104 (4 января 2017 г.) и GW170608 (8 июня 2017 г.).

события. Оценки расстояния до объекта, полученные как из анализа гравитационно-волновых данных, так и в результате других наблюдений, дали согласующиеся результаты: GW170817 находится на том же расстоянии от Земли, что и галактика NGC 4993 – в 130 млн св. лет. Таким образом, это – ближайший к нам из всех обнаруженных источников гравитационных волн и один из ближайших когда-либо наблюдавшихся источников гамма-всплесков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН

Гравитационные волны (ГВ) – "рябь" пространства–времени, распространяющиеся со скоростью света от слияния черных дыр (ЧД) или нейтронных звезд, надежно зафиксированы, а их характеристики определены. Отметим, что они стали следствием уравнений Общей теории относительности (ОТО) А. Эйнштейна, хотя о возможности распространения в пространстве "волн гравитации" писал еще А. Пуанкаре в 1905 г. Свойства ГВ-сигнала от сливающихся двойных ЧД находятся в согласии (с точностью до нескольких процентов) с ОТО. Следует отметить, что уже из существующих измерений получены новые ограничения на поправки к теории, которые невозможно было получить ранее, и новые феноменологические ограничения на возможную массу гравитона.

Полученные результаты наблюдений слияний ЧД привели к основному выводу: двойные ЧД существуют. Предложено несколько каналов их образования: естественная эволюция массивных двойных звезд; динамическое образование пар массивных ЧД в плотных звездных скоплениях; образование пар ЧД при несимметричном коллапсе ядра одиночных массивных быстровращающихся звезд; "экзотические" сценарии, включая образование пар первичных массивных ЧД (пока не исключены различные каналы образования наблюдавшихся источников); кроме массы компонент, измерения ГВ-сигнала при слияниях двойных ЧД позволяют поло-

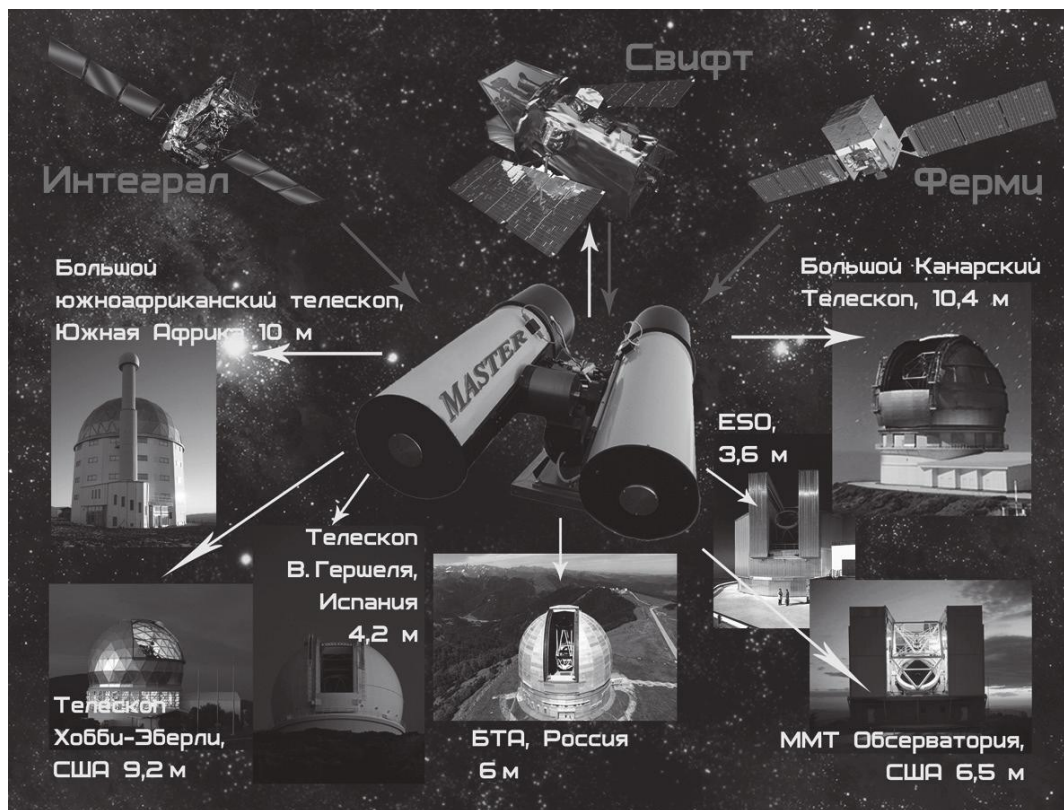
жить ограничения на собственные моменты вращения компонент – спи́ны.

Увеличение точности измерений ГВ при повышении чувствительности действующих и строящихся ГВ-интерферометров впервые позволит проверить тонкие эффекты образования горизонта событий при слиянии пары ЧД в одну вращающуюся ЧД, например, путем измерения ГВ-"звона" от горизонта событий (релаксацию возмущений при его образовании в виде излучения ГВ со специфической зависимостью амплитуды и частоты от времени).

Последнее детектирование события от слияния двойных нейтронных звезд (17 августа 2017 г.) дало положительный результат в рентгеновском, гамма-диапазонах и в оптике, что впервые позволило определить относительно точные координаты килоновой (GW170817) и зафиксировать запаздывание гамма-всплеска от прихода ГВ на 1,7 с. Множество наземных телескопов (в том числе в сети "МАСТЕР") зарегистрировали свечение уровня килоновой (порядка 10^9 светимости Солнца; Земля и Вселенная, 2018, № 3).

Таким образом, регистрация ГВ от астрофизических источников "открыла" совершенно новые возможности для измерения параметров остатков звездной эволюции – нейтронных звезд и черных дыр, исследования путей их образования и эволюции, а также проверки фундаментальных теорий гравитации. Впереди – новые, возможно, самые неожиданные открытия. «Редко случается, чтобы ученому выпадало быть свидетелем начала новой эры в науке. Это один из таких случаев!» – сказала сотрудница Астрофизического института Италии (INAF) астроном Елена Пиан.

Обнаружение гравитационных волн может иметь не меньшее значение, чем открытие радиоволн. Возможность регистрации гравитационных волн позволяет надеяться на реализацию некоторых глобальных замыслов. Открывается новое окно во Вселенную, приближающее ученых к разгадке многих космологических тайн, появляется возможность создания новой гравитационно-волновой астрономии.



Глобальная сеть телескопов-роботов «МАСТЕР» МГУ, созданная в 2011 г. под руководством профессора В.М. Липунова.

Возможно, возникнет новый вид связи. Будут созданы генераторы и приемники гравитационных волн. Ученые надеются, наконец, выяснить, что такое темная энергия и темная материя? Они собираются "поймать" волны от Большого взрыва. Возможно, им удастся создать и теорию "Всего" или теорию "Всеобщего объединения". Последняя должна соединить в одно целое все четыре фундаментальных физических взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, слабое и сильное.

Прямое экспериментальное обнаружение волн гравитации многие эксперты считают важнейшим научным достижением последних десятилетий и даже всего XXI в. 12 ноября 2017 г. на канале ОТР в передаче

"Гамбургский счет" известного российского ученого-астрофизика доктора физико-математических наук В.М. Липунова спросили: «С чем можно сравнить открытие гравитационных волн?» – «Пожалуй, с открытием связи электричества и магнетизма, после известных опытов Майкла Фарадея», – ответил профессор. И добавил: «Когда М. Фарадея спросили о практической пользе его открытия, он остроумно ответил, что не видит никакого практического применения...».

Статья подготовлена редакцией журнала на основе материалов ИКИ РАН