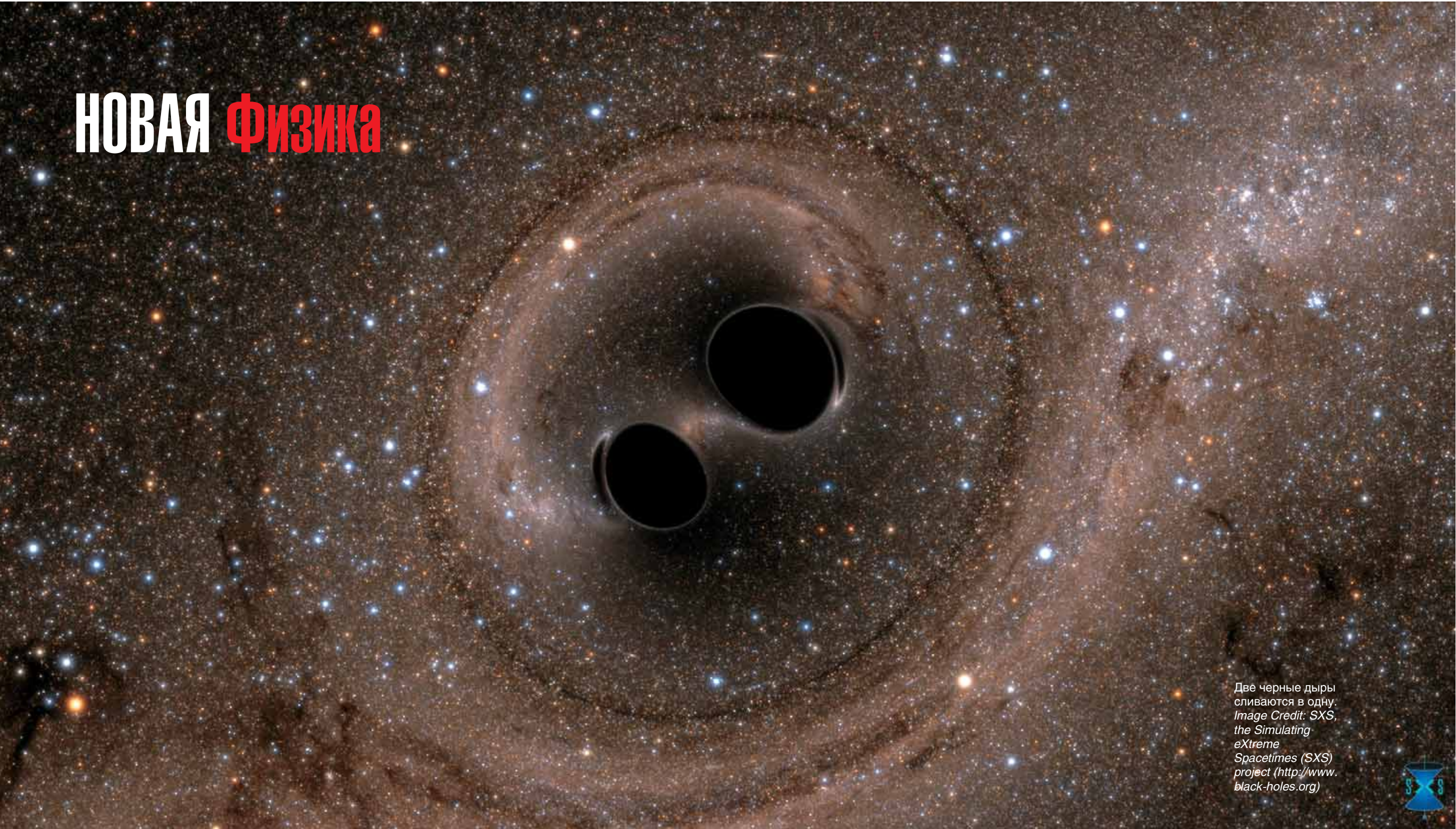




НОВАЯ **Ф**ИЗИКА



Две черные дыры сливаются в одну.
Image Credit: SXS, the Simulating eXtreme Spacetimes (SXS) project (<http://www.black-holes.org>)



Увидеть, услышать, узнать ВСЕЛЕННУЮ



Планетарная туманность «Бабочка»
(по новому каталогу – NGC 6302).
Снимок с космического телескопа
«Хаббл», 2009 г.
Credit: NASA / ESA / Hubble

В последние десятилетия исследования в физике элементарных частиц ознаменовались триумфом так называемой Стандартной модели – объединенной теории электромагнитного и слабого взаимодействий, которая выдержала многочисленные и с годами все более точные экспериментальные проверки. Недавнее открытие бозона Хиггса на Большом адронном коллайдере (БАК) в ЦЕРНе стало очередной яркой демонстрацией мощи этой теории. В свою очередь, сильные взаимодействия прекрасно описываются квантовой хромодинамикой, и проблемой является лишь проведение расчетов в рамках этой теории при низких энергиях. К сожалению, до сих пор не существует квантовой теории гравитационного взаимодействия, как впрочем нет и экспериментально наблюдаемых эффектов квантовой гравитации. По этой причине существующая теоретическая картина мира неполна и в экспериментах должны наблюдаться отклонения от вычислений в рамках этих моделей, и должны существовать процессы, которые отсутствуют в Стандартной модели и квантовой хромодинамике. Такие явления принято называть Новой физикой. К ним можно отнести: заметное превышение экспериментального значения аномального магнитного момента мюона над теоретическим предсказанием, существование нейтринных осцилляций; проблемы, связанные со спектрами сильновзаимодействующих частиц и характером взаимодействий между ними.

Проект Новосибирского государственного университета, посвященный этой проблематике, или как его еще называют – стратегическая академическая единица (САЕ) «Новая физика» является одной из крупных «жемчужин» научного «ожерелья» университета



БЛИНОВ Владимир Евгеньевич – доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института ядерной физики им. Г. И. Будкера СО РАН (Новосибирск), профессор кафедры электрофизических установок и ускорителей Новосибирского государственного технического университета, профессор кафедры физики элементарных частиц Новосибирского государственного университета. Автор и соавтор более 500 научных публикаций

Ключевые слова: Стандартная модель, элементарные частицы, новая физика, ускорители элементарных частиц, Большой адронный коллайдер, БАК, нейтрино, мюон, темная материя.

Key words: Standard Model, elementary particles, new physics, particle accelerator, The Large Hadron Collider, LHC, neutrino, muon, dark matter

© В.Е. Блинов, 2016

В рамках существующих моделей не удастся объяснить экспериментально наблюдаемый состав Вселенной: почему она состоит из материи, а антиматерия практически отсутствует, какова природа темной материи и темной энергии.

Поиск в рамках САЕ «Новая физика» ведется параллельно несколькими способами. Заметная часть усилий вкладывается в астрофизику элементарных частиц: это нейтринные эксперименты, поиск темной материи, изучение природы космических лучей и другие исследования. Однако до сих пор основным источником информации по физике элементарных частиц являются эксперименты на ускорителях, в частности на ускорителях со встречными пучками, так называемых коллайдерах.

Прецизионная проверка Стандартной модели в основном базируется на экспериментах, выполненных на коллайдерах, ускорительных и реакторных источниках нейтрино. При этом из астрофизических наблюдений следует, что известные формы материи, описываемые Стандартной моделью, составляют только около 4% массы Вселенной, остальные 96% составляют темная материя (22%) и темная энергия (74%). Существование темной материи, состоящей из нерелятивистских частиц неизвестной природы, не вызывает сомнений, но их регистрация является очень сложным делом, и эта задача до сих пор не решена. О свойствах частиц темной материи известно очень мало. Они могут быть как очень тяжелыми – и тогда для их рождения нужно строить коллайдеры с еще более высокой энергией, так и совсем легкими. Например, частицами темной материи могут быть теоретически предсказанные

САЕ «НОВАЯ ФИЗИКА» В НГУ

САЕ «Новая физика» включает в себя три блока подразделений физического факультета: научный, прикладной и образовательный. Научный блок представлен «Междисциплинарным центром физики элементарных частиц и астрофизики», который включает в себя 13 лабораторий, ведущих фундаментальные исследования по физике элементарных частиц, астрофизике и космологии. В прикладной блок САЕ входит Отдел атмосферных исследований и лаборатории: электронно-лучевой сварки, радиоуглеродных методов анализа, электронно-лучевых технологий и бор-нейтронозахватной терапии. Лаборатории этого блока работают над прикладными задачами и должны в перспективе обеспечить привлечение в бюджет САЕ внешнего финансирования, необходимого для работы САЕ после того, как прекратится финансирование по программе 5-100. Учебный блок сформирован из пяти кафедр физического факультета: физики элементарных частиц, физики ускорителей, физико-технической информатики, радиофизики, физики плазмы и англоязычной аспирантуры по направлению «Астрофизика».

Восемнадцать лабораторий, пять кафедр физического факультета НГУ, входящих в состав САЕ, участвуют в тринадцати больших международных научных проектах – экспериментах в области физики высоких энергий, астрофизики и физики космических лучей, ведут исследования и подготовку специалистов по следующим направлениям.

Астрофизика, космология и космические лучи. Теоретические исследования свойств темной материи и темной энергии, возможности их прямого экспериментального наблюдения. Ведется создание двухфазного криогенного лавинного детектора в аргоне для регистрации темной материи. Участие в эксперименте *DarkSide-20K* (Гран-Сассо, Италия) по поиску темной материи. Также теоретически исследуется гравитационная неустойчивость в моделях модифицированной гравитации, проводится анализ

наблюдательных проявлений объектов из антиматерии, физики сверхновых и ее приложение к космологическим проблемам.

Эксперименты на электрон-позитронных коллайдерах. Участие в проведении экспериментов и обработке данных с детекторов BaBar (США), BELLE (Япония), BESIII (КНР). Программа исследований включает изучение свойств фундаментальных фермионов – тау-лептона, очарованного с- и прекрасного b-кварков, CP-нарушения.

Эксперименты на адронных коллайдерах. Участие в экспериментах ATLAS, CMS и LHCb на Большом адронном коллайдере в Европейском центре физических исследований (CERN) и подготовка экспериментов с детектором PANDA на ускорительно-накопительном комплексе FAIR (ФРГ). Основные физические задачи – изучение свойств бозона Хиггса и поиск новых физических явлений (вне рамок Стандартной модели), таких как суперсимметричные частицы, исследование свойств с- и b-кварков, CP-нарушения.

Поиск новых физических явлений в экспериментах с мюонными пучками. Участие в эксперименте COMET на ускорительно-накопительном комплексе J-PARC (Япония) по поиску процесса конверсии мюона в электрон при взаимодействии с атомными ядрами и в эксперименте MEG в PSI (Швейцария) по поиску распада мюона на фотон и электрон. В Стандартной модели вероятность этих процессов настолько мала, что их нельзя наблюдать экспериментально. Таким образом, обнаружение этих реакций однозначно означает открытие новой физики за рамками Стандартной модели. Участие в подготовке двух экспериментов в Национальной лаборатории им. Э. Ферми (США). Первый эксперимент Mu2e – поиск процесса конверсии мюона в электрон при взаимодействии с ядрами, второй эксперимент g-2 посвящен прецизионному измерению магнитного момента мюона. Эта величина рассчитывается теоретически в рамках Стандартной модели. Отклонение экспериментального результата от расчета будет указывать на присутствие новой физики, т. е. неизвестных фундаментальных частиц и взаимодействий.

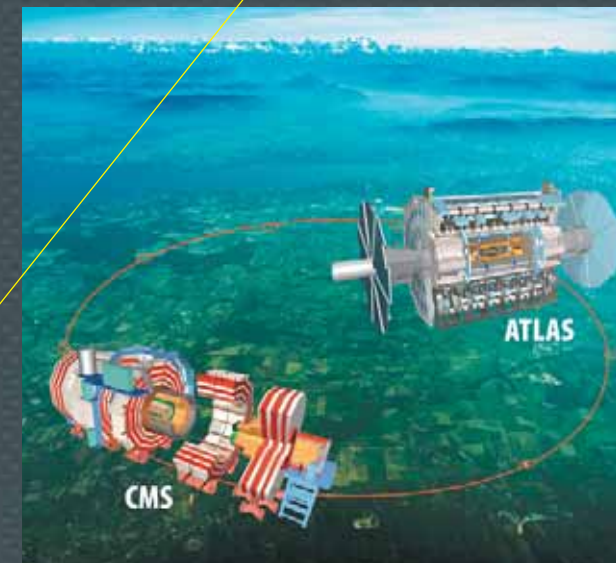
Разработка новых детекторов и коллайдеров. Создание уникального «черенковского» детектора на основе фокусирующего аэрогеля, позволяющего с высокой точностью измерять скорости частиц, что дает возможность определить их типы при анализе экспериментальных данных. Такой детектор планируется, в частности, использовать в эксперименте PANDA.

Разработка нового поколения коллайдеров высоких энергий – лептонных ускорительно-накопительных комплексов сверхвысоких энергий (линейные и циклические коллайдеры на энергию более 1 ТэВ в системе центра масс) в которых будут сталкиваться электрон-позитронные, электрон-фотонные, фотон-фотонные и мюон-антимюонные

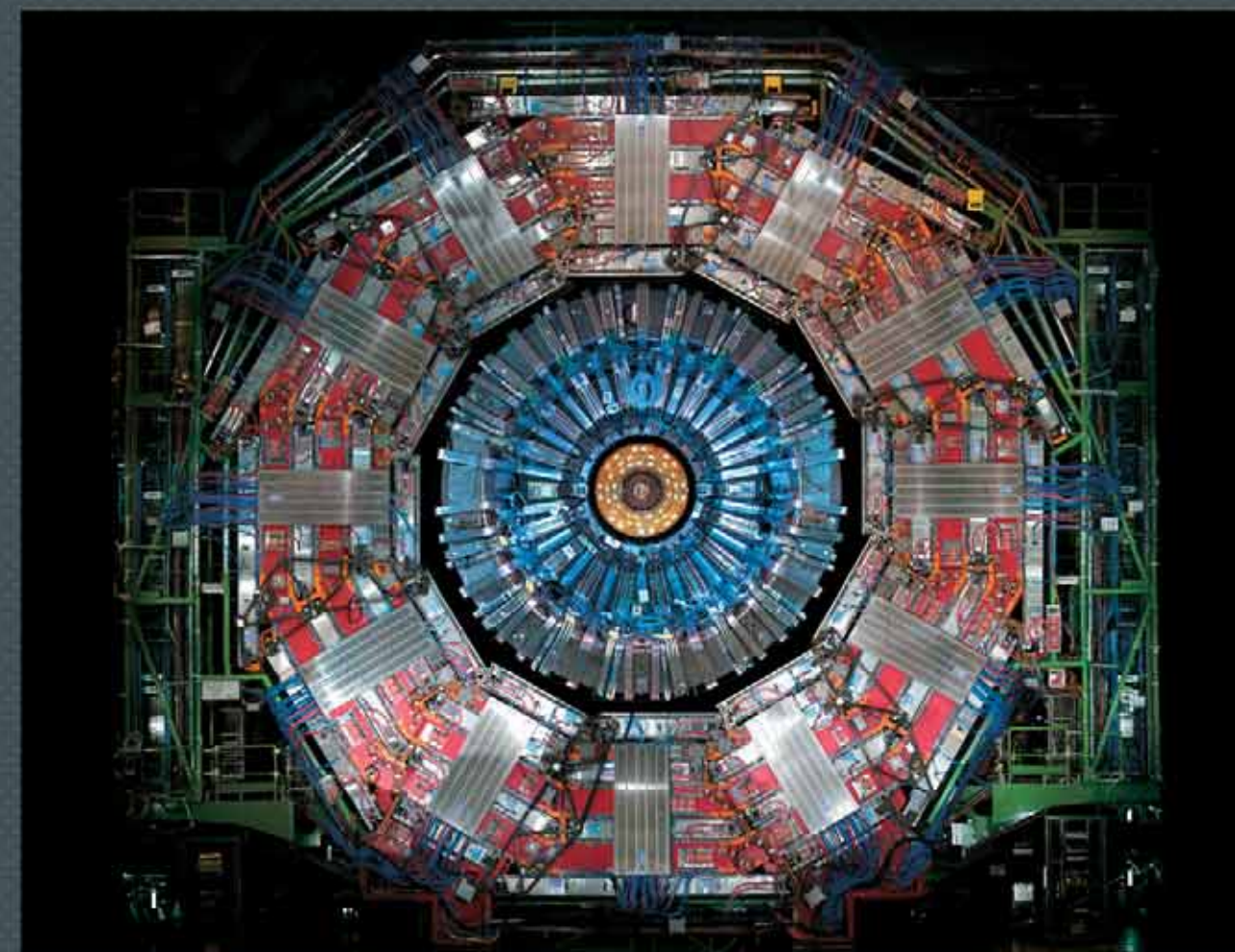
пучки (международные проекты ILC, CLIC, FCC-ee, CEPC и др.). На таких установках можно будет выполнить прецизионные эксперименты по изучению свойств W, Z и H бозонов и проверке Стандартной модели.

Промышленные ускорители. Ускорители заряженных частиц являются не только важнейшим инструментом исследования в физике элементарных частиц, они широко используются для экспериментов в других областях знаний и в промышленности. Например, накопители электронов – источники синхротронного излучения применяются для исследований в химии, биологии, физике ударно-волновых процессов и экстремальных состояний вещества, материаловедении и т. д. Ускорители являются ключевым элементом радиационных технологий, востребованных в промышленности, медицине, экологии и др.

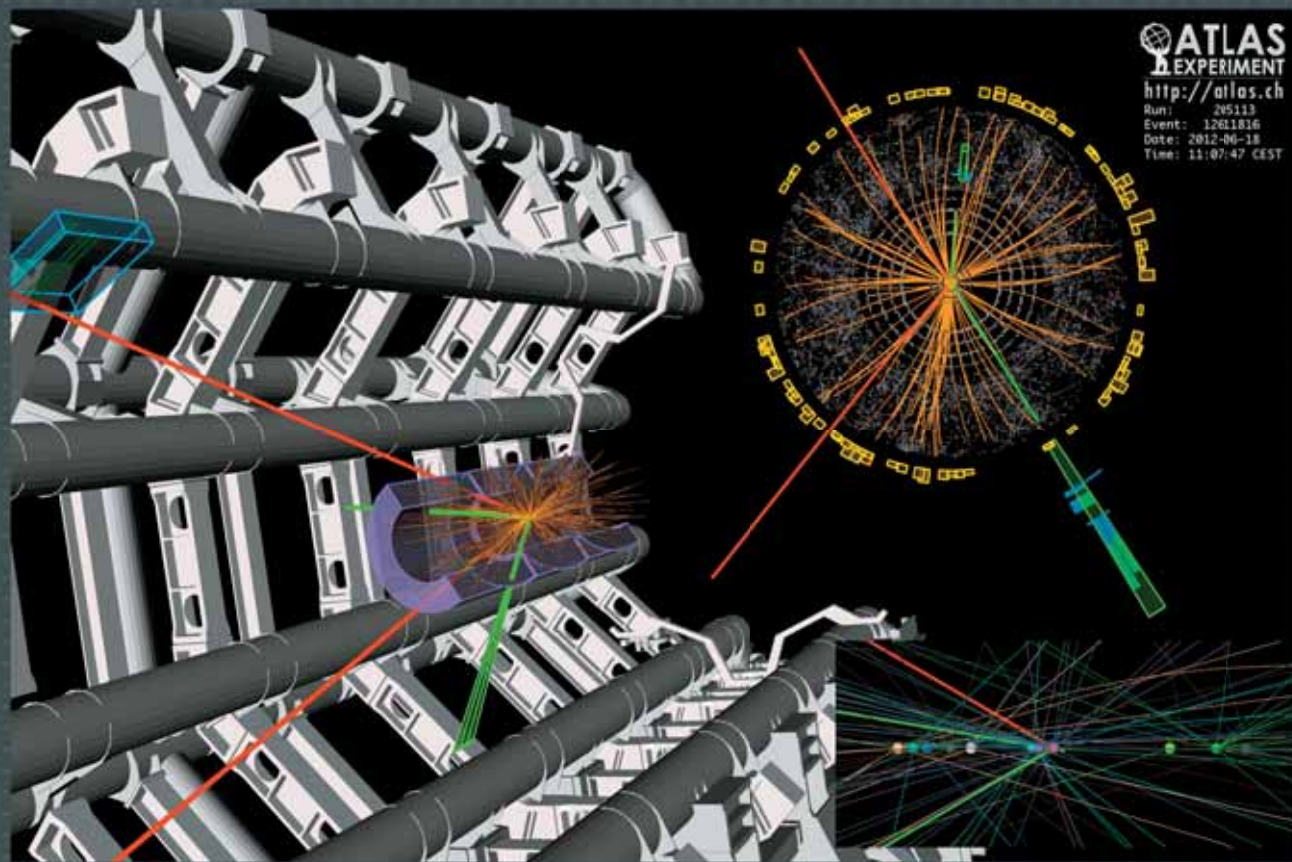
Схема расположения детекторов ATLAS и CMS на кольце Большого адронного коллайдера. © CERN



Поперечное сечение раскрытого детектора CMS. Видны блоки чувствительных элементов детекторов и магниты



НАВКА из первых рук <https://scfh.ru/papers/uvidet-uslyshat-uznat-vseleennyuy/>



стерильные нейтрино или аксионы. Подходящие кандидаты на роль частиц темной материи есть и среди гипотетических суперсимметричных частиц, которые пытаются обнаружить в экспериментах на Большом адронном коллайдере в ЦЕРНе. В настоящее время ведется несколько экспериментов по прямой регистрации частиц темной материи космического происхождения с помощью подземных детекторов, но их результаты пока противоречивы. Однако детально исследовать и понять природу частиц темной материи возможно лишь на ускорителях, энергия которых достаточна для рождения таких частиц. В этих условиях поиск кандидатов на частицы темной материи необходимо вести по всем возможным направлениям исследований.

По сути физика элементарных частиц, астрофизика и космология имеют одну общую цель – изучение Вселенной, поиск ответов на самые фундаментальные вопросы: как возникла Вселенная, из чего она состоит и какие законы природы ею управляют. Процесс познания невозможно остановить, но методы проведения исследований могут быть различными. При этом очевидно, что правильной стратегией является проведение взаимодополняющих друг друга исследований во всех перспективных областях, поскольку предсказать, где именно нас ожидает открытие, невозможно!

Распад частицы, предположительно бозона Хиггса, с массой 122,6–123,9 ГэВ на два электрона и два мюона. Событие зарегистрировано детектором ATLAS 18 июня 2012 г. Треки мюонов изображены красным, треки электронов – зеленым. © CERN

Исторически сложилось, что в СО РАН не проводились исследования по астрофизике и космологии, и, как следствие, в НГУ не готовили специалистов по этим бурно развивающимся научным направлениям. Создавая САЕ «Новая физика», мы хотели исправить этот пробел и организовать в НГУ как научные исследования, так и образование (в магистратуре и аспирантуре) по направлениям астрофизика и космология, используя наши сильные позиции в физике элементарных частиц.

Работа в этом направлении началась в НГУ еще до начала программы 5-100. В 2011 г. НГУ получил мегагрант правительства РФ, и на физическом факультете была создана лаборатория космологии и элементарных частиц под руководством профессора университета Феррары (Италия) Александра Дмитриевича Долгова. Лаборатория занимается поиском темной материи, решением проблемы темной энергии, барионной асимметрии Вселенной и подготовкой специалистов

по космологии и астрофизике. Строится детектор для обнаружения частиц темной материи. Как ни удивительно, но физика элементарных частиц – наука о том, как устроен мир на самых маленьких расстояниях, и астрофизика – наука о том, как устроен мир на предельно больших расстояниях, тесно связаны между собой. Для объяснения свойств и состава Вселенной необходимы знания из физики элементарных частиц, а для построения квантовой теории гравитации требуются экспериментальные данные, которые можно получить только из астрофизических экспериментов, так как построить на Земле ускоритель с энергией, при которой будут наблюдаться квантовые эффекты гравитации, невозможно. Кроме этого, в последние годы в астрофизических экспериментах активно используются методики и детекторы, разработанные для проведения экспериментов по физике элементарных частиц. Сообщества ученых из этих областей все теснее сотрудничают и, как следствие, обмениваются идеями, методиками исследований. В последние годы никого уже не удивишь переходом специалистов из физики элементарных частиц в астрофизику. Так как ИЯФ СО РАН традиционно силен в физике элементарных частиц, мы планируем на этой базе в рамках САЕ «Новая физика» развить в НГУ исследования по направлению астрофизика и космология.

Подавляющее число экспериментов по физике элементарных частиц и астрофизике проводится в рамках международных коллабораций. Это связано с тем, что физика элементарных частиц и астрофизика одними из первых вступили в фазу глобализации – бюджеты этих экспериментов столь значительны, что требуют участия нескольких стран для их наполнения. Кроме концентрации средств, для успеха таких экспериментов требуется концентрация ученых со всего мира для поддержания сложнейшего оборудования в работоспособном состоянии, обработки полученных данных и публикации результатов исследований. Замечу, что вступление и работа в международных коллаборациях – не такое легкое дело, как считают люди, привыкшие работать по узкой тематике в составе малых групп. Вступить в коллаборацию трудно, туда принимают далеко не каждую группу, а работать там еще труднее. Для принятия в коллаборацию требуется убедить совет в том, что группа имеет достаточный опыт работы в подобного рода экспериментах и квалификацию, и показать, что она может дать для успеха эксперимента. Нужно постоянно вносить вклад в обеспечение

Эксперимент NOvA по поиску превращений мюонного нейтрино в электронное нейтрино. 14 000-тонный детектор в Аш Ривер (Миннесота). Image credit: Fermilab



работы эксперимента, заниматься анализом данных. Время, требуемое для получения одного результата, в зависимости от квалификации человека колеблется от года до трех лет. Подготовленная научная статья подвергается жесткому многоуровневому внутреннему рецензированию и только после этого направляется в редакцию журнала.

Одной из изюминок образовательной деятельности САЕ «Новая физика» является англоязычная аспирантура по направлению астрофизика и космология. Благодаря этому в НГУ появится полный цикл подготовки специалистов. Решение сделать аспирантуру англоязычной преследует две цели: обучение студентов из западных стран, а также китайских студентов в рамках совместного китайско-российского университета, созданного НГУ и Хэйлунцзянским университетом, и подготовка молодых российских ученых для работы в международных коллаборациях. В аспирантуре преподают ведущие российские и иностранные специалисты. На сегодняшний день в ней проходят обучение восемь студентов, к 2018 г. планируем увеличить их количество до 11 человек.

Конечной целью создания САЕ «Новая физика» является организация на физическом факультете Новосибирского государственного университета междисциплинарного научно-образовательного института мирового уровня по направлению астрофизика, космология и физика элементарных частиц. Соответственно, институт будет заниматься проведением фундаментальных научных исследований и подготовкой кадров в этих областях знаний.



Набор телескопов для поиска темной материи обсерватории Cerro Tololo, Чили. Image credit: Fermilab

Литература

Рубаков В. А., Горбунов Д. С. Введение в теорию ранней Вселенной. М.: 2008. 552 с.

Троицкий С. В. Нерешенные проблемы физики элементарных частиц // УФН. 2012. № 182. С. 77–103.