

## Форум в России по нейтринным сигналам

С 7 по 14 октября 2015 г. САО РАН и Баксанская нейтринная обсерватория Института ядерных исследований (БНО ИЯИ РАН) провели международное совещание «Кварковый фазовый переход в компактных объектах и многоволновая астрономия: нейтринные сигналы, сверхновые и гамма-всплески» – первое в России научное мероприятие по этой теме. Совещание проходило в два этапа: первые три дня заседания – в поселке Нижний Архыз (Караево-Черкесская республика), где находится Обсерватория, а затем участники направились в поселок Терскол (Кабардино-Балкарская республика), где располагается Институт. На совещании присутствовали 52 участника – ученые из российских научных институтов, а также из Германии, Италии, Китая и Польши.

*Постер совещания.*

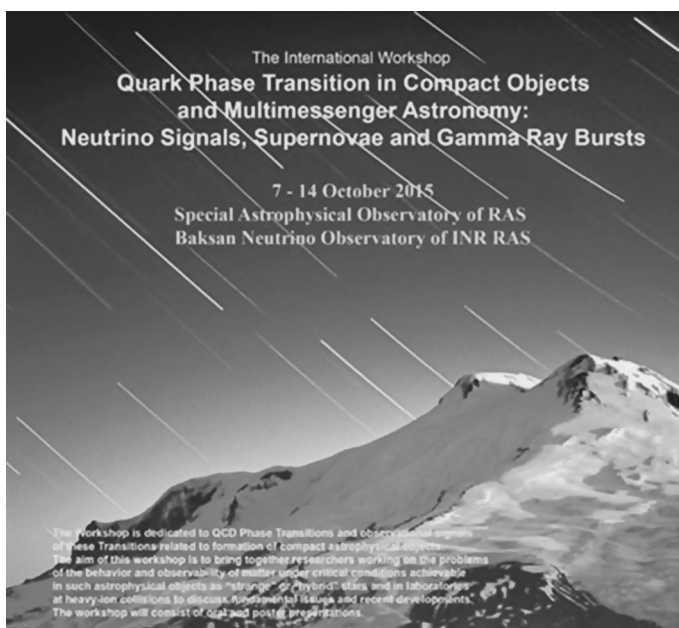
© Соколов В.В.

В 2012–2014 гг. по данной тематике уже проведены три специальных конференции в Европе и одна – в Китае.

На открытии с приветствием обратились директор САО РАН В.В. Власюк, заведующий лабораторией БНО ИЯИ РАН В.Б. Петков и ведущий научный сотрудник САО РАН В.В. Соколов. Совещание было посвяще-

но проблеме поведения и возможности наблюдения вещества в критических условиях; обсуждались фундаментальные вопросы, докладывали о последних достижениях, была выработана программа совместных исследований.

Астрономы и физики, изучающие вещество со сверхъядерной плот-





*Участники совещания у входа в лабораторный корпус САО РАН.*

ностью, хорошо осознают, что современная наука стоит на пороге открытия совершенно нового состояния вещества – кварк-глюонной плазмы, обнаружения кварковых звезд. Это новое направление в физике высоких энергий и в исследованиях компактных объектов – нейтронных звезд и коллапсаров – кандидатов в черные дыры звездных масс. Фазовый переход в состояние кварк-глюонной плазмы наверняка связан с самим механизмом взрывов массивных сверхновых, а энергия

такого перехода может быть источником космических гамма-всплесков. Сигналами перехода вещества в чисто кварковую материю могут быть нейтрино, которые наблюдаются на современных детекторах, в том числе и на российских – таких, как Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (Земля и Вселенная, 2011, № 1). Для регистрации сигналов фазового перехода совершенствуется аппаратура и на гравитационных детекторах: LIGO (лазерно-интерферометрическая гравитационно-волновая обсерватория, находящаяся в Ливингстоне, штат Луизиана и в Хэнфорде, штат Вашингтон) и VIRGO (франко-итальянский детектор гравитационных

волн, расположенный в Европейской гравитационной обсерватории в Пизе, Италия). Участие астрономов в программах по исследованию боксов локализации нейтринных событий (и, возможно, гравитационных) сейчас детально обсуждается (Земля и Вселенная, 2016, № 3, с. 36). На эту тему физики уже провели несколько международных семинаров и совещаний за рубежом.

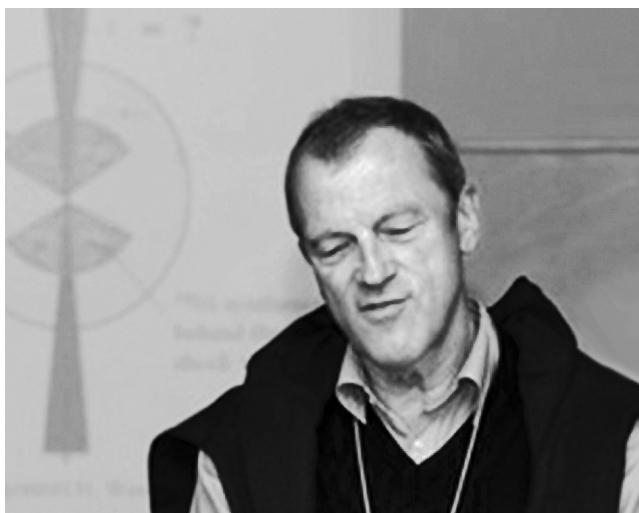
Проведение совещания в местах расположения двух уникальных российских институтов – САО РАН и БНО ИЯИ РАН – было продиктовано характером включенных в его программу вопросов, относящихся к наиболее актуальным проблемам современной астрофизики, в том чис-

*С докладом выступает Кристиан Шпиринг – сотрудник исследовательского центра DESY (Германия).*

---

ле к проблеме существования кварк-адронных фазовых переходов и состояния материи при высоких температурах и плотностях. Подобные условия достижимы только в астрофизических объектах – коллапсарах звездных масс – таких, как нейтронные звезды, образование которых связано с коллапсом и взрывом массивных и плотных ядер звезд с образованием сверхновых и выделением гамма-всплесков.

Хотя сверхновые активно исследуются уже давно, на нашем совещании впервые в России была сделана попытка подойти к этому вопросу с охватом всего наблюдательного диапазона, поскольку решение такого рода проблем требует развития методов, комбинирующих оптические астрономические наблюдения с экспериментами на нейтринных телескопах, на установках для регистрации космических лучей и детекторах гравитационных волн. Первая (и пока единственная) сверхновая, от которой было зарегистрировано нейтринное излучение – SN1987A – вспыхнула на расстоянии 50 кпк (163 тыс. св. лет) в сосед-



ней галактике Большое Магелланово Облако. На Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе впервые были зарегистрированы эти нейтринные сигналы, которые наблюдались и на других нейтринных обсерваториях Земли.

Организаторы совещания стремились к тому, чтобы в 38 представленных докладах тема была освещена как можно полнее. Были рассмотрены такие теоретические моменты, как моделирование сверхновых, протонейтронные и нейтронные звезды, уравнение состояния плотного вещества, остывание нейтронных звезд, нестабильные режимы, нуклеосинтез, взрывные переходы и кварк-глюонная плазма. Была затронута и наблюдательская сторона вопроса, к которой относятся оптическая, радио- и рентгеновская астро-

номия, гамма-всплески, гравитационные волны; обнаружение нейтрино, столкновения тяжелых ионов.

В частности, обсуждались экзотические свойства сжатого барионного вещества, гравитационные волны, сценарии происхождения гамма-всплесков, поиски нейтрино от массивных сверхновых, свойства компактных объектов – пульсаров и кандидатов в черные дыры, оптические наблюдения транзитных источников. Ученые затронули проблемы современного состояния больших проектов, направленных на поиски нейтрино и гравитационных волн. Речь шла о необходимости объединения усилий наблюдателей, работающих в разных диапазонах длин волн – оптика, гамма-излучение, рентген, нейтрино, гравитационные

волны (multi-messenger astronomy – всеволновая астрономия), а именно чтобы сигналы, которые поступают о каких-то новых событиях в нейтринной и гравитационной астрономии, тут же поступали для анализа и на оптические телескопы CAO РАН.

Остановимся на нескольких наиболее интересных выступлениях.

В докладе “Астрономия высокоэнергичных нейтрино – где мы сейчас и куда мы идем?” сотрудник исследовательского центра DESY (Немецкий электронный синхротрон, расположенный в Гамбурге и Цойтене) **К. Шпиринг** подчеркнул, что обнаружение астрофизических нейтрино приоткрыло новое наблюдательное окно во Вселенную. Внедрение новейшего поколения детекторов направлено на то, чтобы широко “распахнуть” это окно. Он описал результаты, полученные в экспери-

менте IceCube («Ледяной куб», нейтринная обсерватория, построенная на антарктической станции Амудсен-Скотт; расположена подо льдом, на глубине 1450–2450 м), рассказал о новых будущих детекторах размером в несколько кубических километров: KM3NeT в Средиземном море, GVD на озере Байкал и IceCube-Gen2 на Северном полюсе.

Доктор физико-математических наук **Д.К. Надёжин** (ИТЭФ, Москва) рассказал о современном статусе теории механизма взрыва сверхновых.

Профессор **В.Б. Петков** (БНО ИЯИ РАН) описал перспективы обнаружения кварковых фазовых переходов при вспышке нейтрино в галактических сверхновых с помощью сцинтилляционных детекторов размером порядка 20 кило-

Доктор физико-математических наук **В.Н. Ру-**

**денко** (ГАИШ МГУ) познакомил аудиторию с современным состоянием эксперимента по обнаружению гравитационных волн. В своем докладе он подчеркнул важность многоволновой астрономии в этом вопросе.

В докладе “Рентгеновские двойные и ультраяркие рентгеновские источники” сотрудник Варшавского университета **Г. Викторович** особо остановился на “проблеме пробела в распределении масс компактных источников” и рассказал об одном из вариантов ее возможного решения.

Китайский ученый из Пекинского университета **Жень Синь Сю** привел аргументы в пользу того, что, в отличие от обычного барионного вещества, содержащего  $u$ - и  $d$ -кварки, компактные звезды могут содержать вещество из кварков трех ароматов –  $u$ ,  $d$  и  $s$ .

Исследователь из университета китайского города Нанкин **Ю Йонг-Бо** предложил модель “впрыскивания энергии”, в которой двухкомпонентный джет и механизм микрофизических вариаций могут объяснить факт повторного оптического “поярчения” гамма-всплесков.



*На экскурсии на Большой подземный сцинтилляционный телескоп (BUST) Баксанской нейтринной обсерватории.*

Итальянский ученый **А. Драго** из университета Феррары в своем докладе описал два класса сценариев, в которых адронные звезды с массой, не превосходящей  $1,5 M_{\odot}$ , могут сосуществовать с кварковыми звездами (их масса может значительно превышать  $2 M_{\odot}$ ), а также те последствия, которые эти сценарии могут иметь для

длинных и коротких гамма-всплесков.

Программа совещания была очень насыщенной. Помимо научных заседаний и оживленных дискуссий, участники с большим интересом ознакомились с главными наблюдательными инструментами “принимающих” институтов – 6-м оптическим телескопом БТА и радиотелескопом РАТАН-600 в САО РАН

и Подземным сцинтилляционным телескопом в БНО ИЯИ РАН. С большим удовольствием был воспринят концерт ансамбля национального танца “Эльбрус”.

Подробную информацию о совещании можно получить по ссылке: [http://www.sao.ru/hq/grb/conf\\_2015/index-ru.html](http://www.sao.ru/hq/grb/conf_2015/index-ru.html).

*В.В. СОКОЛОВ,  
доктор физико-математических наук*

---

## Информация

---

### **Зародыши сверхмассивных черных дыр**

В центрах почти всех галактик находятся сверхмассивные черные дыры – объекты, масса которых измеряется миллионами и даже миллиардами солнечных. Но как именно сформировались эти гиганты? Согласно одной из версий, они возникли из образовавшихся после коллапса звезд первого поколения черных дыр, которые за последующие миллиарды лет активного поглощения вещества превратились в сверхмассивные. Но тут возникает проблема. К настоящему времени космические обсерватории смогли получить изображения первых галактик, возникших через несколько сотен миллионов лет после Большого взрыва (Земля и Вселенная, 2013, № 1, с. 76; 2015, № 5, с. 108).

В некоторых из них обнаружены сверхмассивные черные дыры. Проблема в том, что за такое короткое (по астрономическим меркам) время черные дыры не могут поглотить так много вещества, чтобы вырасти до таких размеров. Существуют альтернативные теории образования сверхмассивных черных дыр: в сверхплотной материи в момент Большого взрыва; с участием темной материи; вырастают из черных дыр массой  $10\text{--}100 M_{\odot}$  при коллапсе массивной звезды; из гигантских газовых облаков в ранней Вселенной. Последняя получила подтверждение.

Недавно коллектив итальянских астрофизиков, используя новый метод обработки данных: компьютерные модели черной дыры, глубокие обзоры неба и снимки космических обсерваторий “Чандра”, “Спитцер” и КТХ идентифицировал два внегалактических объекта, которые сформировались менее чем через 500 млн лет после Большого взрыва и имеют первоначальную массу вы-

ше  $10^5 M_{\odot}$ . По их мнению, они могут быть зародышами сверхмассивных черных дыр, образовавшихся при коллапсе газового облака. Один из них, OBJ29323 в созвездии Большой Медведицы, в 212 тыс. св. лет от нас, – источник рентгеновского излучения, обладающий необычным ИК-спектром (см. стр. 3 обложки). Скорость звездообразования в нем примерно  $2 \times 10^3 M_{\odot}$  в год, что невозможно. В то же время их спектр полностью совпадает с теоретическими характеристиками газового облака, где и происходит гравитационный коллапс. Пока нельзя утверждать, что найденные объекты действительно являются зародышами сверхмассивных черных дыр. Для того, чтобы прояснить их природу, потребуются многочисленные дополнительные наблюдения. Считается, что эти объекты свидетельствуют в пользу теории формирования сверхмассивных черных дыр из газовых облаков.

Пресс-релиз NASA,  
24 мая 2016 г.