

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

Международная конференция по космологии и астрофизике высоких энергий "Зельдович-90", Москва, 20 – 24 декабря 2004

А.А. Вихлинин, Р.А. Сюняев, Е.М. Чуразов

PACS numbers: 01.10.Fv, 95.30.-k, 98.80-k

В 2004 году исполнилось бы 90 лет академику Якову Борисовичу Зельдовичу — ученому, уникальному по широте научных интересов. Зельдович внес огромный вклад в становление и развитие самых разных областей физики — начиная от работ по созданию советского ядерного оружия и теории горения и заканчивая исследованиями в области физики элементарных частиц и астрофизики. Многие из его идей привели к революционным прорывам в этих областях физики и определили наиболее приоритетные направления развития современной науки.

Целый ряд научных симпозиумов и конференций по химии, астрофизике и космологии, прошедших в 2004 г., были посвящены 90-летию Якова Борисовича Зельдовича. Одна из таких конференций была проведена с 20 по 24 декабря 2004 г. в Институте космических исследований РАН. Тематика конференции — космология и астрофизика высоких энергий. Это те области физики, которые особенно интересовали Якова Борисовича в шестидесятые, семидесятые и восьмидесятые годы. В космологии и астрофизике имя Зельдовича известно всем: и признанным специалистам, и студентам, делающим первые шаги в науке. Достаточно назвать такие результаты, как формирование первых нелинейных структур во Вселенной (так называемые "блины" Зельдовича), спектр Зельдовича – Гаррисона начальных возмущений во Вселенной, искажения спектра и простран-

ственного распределения космического микроволнового излучения, включая предсказание акустических пиков типа тех, что были обнаружены в баллонных экспериментах БУМЕРАНГ и МАКСИМА-1 и детально изучаются сейчас спутником WMAP, свечение черных дыр за счет разогрева падающего на них газа и множество других фундаментальных основ современной астрофизики. Многие из идей, высказанных Зельдовичем много лет назад, из красивых теоретических предсказаний стали мощнейшими практическими инструментами современной науки.

Конференция, проведенная в ИКИ РАН, собрала ведущих космологов и астрофизиков из разных стран мира, для которых идеи и работы Зельдовича сыграли немалую роль в их научной карьере. Но целью конференции было не только отдать дань уважения Я.Б. Зельдовичу, вклад которого в космологию и астрофизику трудно переоценить, но и обсудить самые последние достижения в этих областях науки. Научный комитет конференции (в его состав, в частности, входили ведущие российские ученые, коллеги и ученики Зельдовича) из более чем 200 поданных заявок отобрал около 50 устных докладов, которые можно было уместить в пятидневный формат конференции, и выбрал более 50 стендовых докладов.

Конференция открылась обзором новейших результатов, полученных двумя самыми "молодыми" орбитальными обсерваториями — СПИТЦЕР и ГАЛЛЕКС. Обсерватория им. Лаймана Спитцера по исследованию инфракрасного излучения космических объектов, запущенная в 2002 г., заключала работы по программе "великих" обсерваторий NASA. Научный руководитель проекта Т. Сойфер (Калифорнийский технологический институт) показал уникальные изображения и спектры внегалактических объектов, дающих мощное инфракрасное излучение. Большинство таких объектов представляют собой области интенсивного звездообразования.

Следует заметить, что исследование процессов звездообразования и тесно связанная с этим проблема образования галактик — одно из бурно развивающихся направлений астрофизики. Наряду с инфракрасным излучением, индикатором интенсивного звездообразования является мощное ультрафиолетовое излучение моло-

А.А. Вихлинин. Институт космических исследований РАН,
117997 Москва, ул. Профсоюзная 84/32, Российская Федерация
Тел./Факс (095) 333-33-77, (095) 333-53-77
E-mail: vikhlinin@iki.rssi.ru

Р.А. Сюняев, Е.М. Чуразов. Институт космических
исследований РАН,
117997 Москва, ул. Профсоюзная 84/32, Российская Федерация,
Тел. (095) 337-37-73
E-mail: sunyaev@hea.iki.rssi.ru, sunyaev@mpa-garching.mpg.de
churazov@hea.iki.rssi.ru

Max Planck Institute for Astrophysics, Garching,
Karl-Schwarzschild-Str. 1, Postfach 1317
D-85741 Garching, Germany

Статья поступила 10 февраля 2005 г.,
после доработки 1 марта 2005 г.

дых и массивных звезд, на исследование которого нацелена обсерватория ГАЛЛЕКС (английская аббревиатура от названия "Обсерватория для изучения эволюции галактик"). Разительный контраст изображений спиральных галактик в ультрафиолетовом диапазоне, показанных лидером проекта ГАЛЛЕКС К. Мартином (Калтех), и инфракрасными снимками обсерватории им. Спитцера лишний раз подчеркивает громадный прогресс наблюдательной астрономии в этих двух диапазонах длин волн и означает, что в ближайшие годы можно ожидать кардинальных сдвигов в изучении процесса звездообразования во Вселенной.

Большой блок докладов был посвящен исследованию реликтового фонового излучения. Именно эти исследования на сегодняшний день являются поставщиками наиболее точных сведений о космологических параметрах нашей Вселенной: постоянной Хаббла, вкладах темной материи и темной энергии в среднюю плотность вещества во Вселенной и т.п. Лидеры двух важнейших проектов — Л. Пэйдж (Принстон, спутник WMAP) и А. Ридхед (Калтех, наземный интерферометр CBI на высоте 5 км в Чили) сделали обзор результатов анализа измерений углового спектра флуктуаций реликтового фона, позволяющих говорить о процентной точности в измерении многих фундаментальных характеристик Вселенной и ставить вопрос об использовании тонких теоретических предсказаний для построения все более точной и подробной картины ее эволюции. Дальнейший качественный рывок в этом направлении будет связан с запуском европейской обсерватории ПЛАНК и наземными экспериментами, такими, как, например, проект QUIET. Новым результатам, которых можно ожидать от реализации этих проектов, были посвящены доклады К. Горского и Ч. Лоуренса (Лаборатория реактивного движения, Калтех). Изучение взаимодействия реликтового фона с горячим газом, заполняющим скопления галактик (эффект Зельдовича–Сюняева), также остается одним из важнейших направлений исследований (Р. Кнайсл, Кавендишская лаборатория, Кембридж). Для этого на Южном полюсе, в Чили, на Гавайях, в Калифорнии и Великобритании строятся специальные сверхчувствительные телескопы и интерферометры.

Львиная доля информации, поставляемой измерениями реликтового фона, напрямую относится к одному фиксированному моменту в истории Вселенной — эпохе рекомбинации вещества, происшедшей вблизи красного смещения $z \sim 1000$, детально исследованной в 1968 г. Я.Б. Зельдовичем, В.Г. Куртом и Р.А. Сюняевым. Однако современные измерения настолько точны, что позволяют достаточно надежно проэкстраполировать наши представления о Вселенной вплоть до очень ранней стадии ее расширения (так называемой стадии инфляции). Стадия инфляции, к сожалению, пока недоступна для прямых астрономических наблюдений, но она является предметом интереснейших теоретических исследований, которые были довольно подробно представлены в программе конференции. Доклад Л.П. Грищука был посвящен генерации гравитационных волн на стадии очень ранней Вселенной. А.А. Старобинский сделал обзор современных теоретических представлений о формировании первичных флуктуаций плотности материи. Различные аспекты теории инфляционной стадии и связанной с этим проблемы природы "темной энергии" обсуждались в докладах Д. Подольского,

Ф. Перротты и А. Каменщика. В докладе А.Д. Долгова рассматривались "космологические" пределы на массу нейтрино, которые можно получить сегодня, используя идею Я.Б. Зельдовича и С.С. Герштейна.

Измерения реликтового фона не только позволяют приоткрыть дверь в изучение самых ранних стадий Большого взрыва. Они фактически фиксируют начальные условия последующей эволюции Вселенной от малых первичных возмущений до нелинейных структур различной массы, соответствующих знакомым объектам в сегодняшней Вселенной — звездам, галактикам и скоплениям галактик. Исследование этой эволюции — одна из приоритетных задач как чисто теоретической (М. Камионковский, Калтех), так и "компьютерной" астрофизики, ставящей целью максимально достоверно воспроизвести ключевые эпизоды истории Вселенной после первичной рекомбинации вещества. Особенно слабо изученной остается эпоха между первичной рекомбинацией на красном смещении $z \sim 1000$ и образованием первых объектов — квазаров и первого поколения звезд вблизи $z \approx 10$. Основная возможность исследования данной эпохи — наблюдение излучения нейтрального водорода на линии 21 см, сдвинутой из-за красного смещения в область метровых радиоволн. Доклад А. Лозба (Гарвард) был посвящен тому, какой гигантский объем информации потенциально можно извлечь из таких наблюдений, которые станут технически возможными в ближайшем будущем. Образование первых галактик и квазаров, дающих мощное ультрафиолетовое излучение, привело к реионизации основной доли вещества во Вселенной. В докладе Н. Гнедина приведены результаты впечатляюще точного компьютерного расчета этого процесса, а С.П.Ох (Университет Калифорнии, Санта Барбара) обсуждал возможности наблюдательного исследования первого поколения астрономических объектов.

Тема "компьютерной" астрофизики была продолжена в докладе А. Кравцова, который рассмотрел процесс образования скоплений галактик на поздних стадиях эволюции Вселенной. Высокое совершенство численных методов и мощность современных суперкомпьютеров позволяют достичь того, что основные свойства "виртуальных" и настоящих скоплений отлично согласуются. Обладая надежной теорией процесса формирования скоплений, выверенной компьютерными расчетами, можно использовать данные наблюдений реальных объектов для космологических измерений, хорошо дополняющих результаты исследований реликтового фона, о чем шла речь в докладе А. Вихлинина. Для космологических измерений необходимо обеспечить отсутствие систематических ошибок в определении основных характеристик скоплений. То, как правильно определить их интегральную температуру, обсуждалось в докладе П. Маццотты (Университет Рима, Тор Вергата).

Скопления галактик также являются ареной интересных астрофизических процессов. Радиационное охлаждение межгалактического газа дает материал для аккреции на сверхмассивную черную дыру центральной галактики. Процесс аккреции сопровождается выделением энергии в виде излучения и релятивистских выбросов, в свою очередь взаимодействующих с остывающим газом. В докладах К. Джонс и У. Формана (Гарвард) были представлены полученные в обсерваториях ЧАНДРА и

ХММ-НЬЮТОН рентгеновские изображения, показывающие красивые структуры, образовавшиеся в результате данного процесса. Слияние скоплений галактик приводит к формированию мощных ударных волн, сопровождающихся различными нетепловыми процессами (генерацией межгалактического магнитного поля, ускорением релятивистских частиц и т.п.). Наблюдения этих явлений в рентгеновском и радиодиапазонах были представлены в докладе М. Маркевича, обнаружившего отставание облака обычного вещества, движущегося со сверхзвуковой скоростью через скопление галактик, от комка темной материи, локализованного методами гравитационного линзирования. Ф. Дюрре (Институт астрофизики, Париж) представила результаты наблюдений двух скоплений спутником ХММ-НЬЮТОН, а А. Финогенов обсуждал, как процессы слияния могут повлиять на глобальные наблюдательные параметры скоплений. Теоретические результаты анализа генерации магнитных полей в разреженной астрофизической плазме обсуждались М.Медведевым. Следующим важным этапом экспериментального исследования межгалактического газа в скоплениях галактик станет запуск японского спутника ASTRO-E2 (доклад члена Императорской академии Японии Я.Танаки), который будет использовать криогенику и болометры и позволит получать рентгеновские спектры высокого разрешения (до 6 эВ в диапазоне 0,5–10 кэВ) и исследовать движения газа на различных масштабах.

Обсуждению компактных релятивистских объектов — нейтронных звезд и черных дыр — было посвящено несколько секций. Речь шла о наблюдательных проявлениях этих объектов, например переменности и спектрах рентгеновского излучения (М. Гильфанов; М. ван дер Клис, Амстердамский университет; Л. Титарчук), о формировании двойных нейтронных звезд (Э. ван ден Хойвел, Амстердамский университет) и о методах поиска черных дыр в оптическом диапазоне (А.М. Черепашук). Центральную роль в исследовании релятивистских объектов играет физика дисковой аккреции вещества на черные дыры (Н.И. Шакура). Интересно, что схожие идеи в значительной мере используются в теории образования планет из газопылевых облаков (Р. Рафиков). Свойства различных типов рентгеновских двойных систем обсуждались в докладах А. Лутовинова, К. Постнова и Ю. Путанена (Университет Оулу), а наблюдательные проявления одиночных нейтронных звезд (радиопульсаров различного возраста) — в докладе Ю. Шибанова. Обзор современного состояния рентгеновских наблюдений нейтронных звезд и набор нерешенных проблем был представлен иностранным членом РАН И. Трюмпером (Институт внеземной физики общества Макса Планка), а физика ядерного горения свежесформировавшегося вещества на поверхности нейтронных звезд рассматривалась в докладах В. Симоненко и Д. Яковлева.

На конференции также поднималась тема нетепловых процессов в релятивистских струях, формирующихся в наиболее экзотических астрофизических объектах (Е. Дерришев, В. Кочаровский). Релятивистские выбросы веще-

ства являются одним из характерных наблюдательных проявлений сверхмассивных черных дыр в центрах многих галактик. Слияние галактик может приводить к появлению "двойных" систем, состоящих из двух сверхмассивных черных дыр. В докладе А. Лобанова обсуждалась возможная связь между эволюцией подобных систем и наблюдаемой активностью черных дыр.

Отдельная секция была выделена для обсуждения наиболее свежих результатов орбитальной гамма-обсерватории ИНТЕГРАЛ, 25 % наблюдательного времени которой принадлежит российским ученым. На конференции был сделан обзор основных результатов обсерватории (С. Гребенев) и более подробно затронуты несколько важных тем. Наблюдения линии аннигиляции позитронов на энергии 511 кэВ показывают (Е. Чуразов), что в нашей Галактике аннигилирует около 10^{43} позитронов в секунду, причем аннигиляция происходит в сравнительно холодном ($\sim 8000^\circ$), частично ионизованном газе. Центральным и до сих пор нерешенным вопросом является происхождение этих позитронов. Другим ярким результатом стало измерение светимости сверхмассивной черной дыры в динамическом центре Галактики во время вспышки, произошедшей несколько сот лет назад, по отражению жесткого рентгеновского излучения от гигантского молекулярного облака Sgr B2 (М. Ревнивцев). Наконец, обсерватория зафиксировала уникальный гамма-всплеск со светимостью на три порядка ниже канонического значения (С. Сазонов), что позволяет говорить об открытии новой популяции гамма-всплесков. Обзор современного состояния исследований космических гамма-всплесков был дан в докладах Р.Л. Аптекаря и Р. Вайерса (Амстердамский университет).

Прогресс в создании современных детекторов рентгеновского излучения позволяет надеяться на качественно новый уровень измерения поляризации жесткого излучения в ближайшем будущем. О том, какие задачи смогут решить подобные телескопы, шла речь в докладе Ю.Н. Гнедина. Поляризация, но уже в радиодиапазоне, и эффект Зельдовича – Варшавовича обсуждались и в докладе Л.И. Матвеевко, посвященном супермазерному излучению молекулы воды в плотных облаках межзвездного газа. О том, что дал космологии проект РАТАН-600, и дальнейших перспективах развития этого направления рассказал Ю.Н. Парийский.

Наконец, фундаментальным проблемам гидродинамики, играющим важнейшую роль не только в астрофизике, но и во всей физике, были посвящены доклады Г.С. Голицына и В.Е. Захарова.

В короткой заметке трудно перечислить все темы, затронутые на конференции. Полные тексты докладов можно найти на Интернет-странице Института космических исследований РАН <http://hea.iki.rssi.ru/Z-90>. По общему мнению участников, вся конференция продемонстрировала продолжающееся бурное развитие космологии и астрофизики высоких энергий и ту огромную роль, которую играли и продолжают играть идеи, высказанные Яковом Борисовичем Зельдовичем.