

ЭНЕРГИЯ



№ 3-4
апрель
1999г.

-штырь

— Это первая конференция в нашем институте, посвященная физике легких векторных мезонов ро-омега-фи и их возбужденных состояний. Идея провести ее возникла у нас чуть больше года назад. При этом мы руководствовались следующими соображениями: сейчас очень важный этап в развитии этой области физики, связанный с тем, что в Италии во Фраскати скоро начнет работать новая установка, так называемая Фи-фабрика. Последние двадцать пять лет история экспериментального исследования легких векторных мезонов была связана с работами на ВЭПП-2М. Это была самая продуктивная установка в области энергии до 1,4 ГэВ. За эти годы было проведено большое количество экспериментов, и самые точные данные получены именно в Новосибирске. На нынешнем этапе ситуация начинает меняться: создаются новые установки (во Фраскати, например, получена светимость, в несколько раз превышающая рекордную для ВЭПП-2М). Это означает, что нам уже давно пора задуматься о перспективах наших исследований, о том, что существующая установка требует улучшений. Научная тема конференции была связана с попыткой проанализировать проделанную работу и осознать, какие задачи пока не решены. Об-

ласть энергии от фи до пси представляется очень интересной и заманчивой для будущих экспериментов. Мы постарались пригласить

торой прозвучало сообщение об этом. Мы надеялись, что группа NA48, проводящая аналогичный эксперимент в ЦЕРНе, успеет под-

готовить результат, но этого, к сожалению, не случилось. О совместном эксперименте российских и японских коллег рассказал Юрий Куденко из ИЯИ. Наш давний друг и коллега из Питтсбурга — Джулия Томпсон сделала обзор экспериментов по изучению редких распадов каонов в Брукхейвене.

Весьма содержательным было заседание, посвященное изучению легких мезонов, на котором особый ин-

ВЭПП-2М: между прошлым и будущим

С 1 по 5 марта в нашем институте проходила конференция, по физике e^+e^- взаимодействия в области энергий от ϕ до J/ψ резонансов. О ее итогах наш корреспондент попросил рассказать Александра Евгеньевича Бондаря — заместителя председателя оргкомитета по проведению конференции.

ведущих экспертов, заинтересованных в потенциальных результатах в этой области науки. Состав конференции был весьма представительным. Было около тридцати пяти зарубежных участников и десять гостей из разных российских центров. Большая команда итальянских физиков приехала из Фраскати. Их доклады были посвящены ближайшим планам работ на трех детекторах, строящихся для Фи-фабрики. Очень интересным получилось заседание, посвященное нарушению ср-четности и распадам каонов. В докладе Питера Шанахана из Фермилаба был представлен результат по измерению эпсилон-штрих группой КТЭВ. Приятно, что наша конференция оказалась первой, на ко-

терес вызвали доклады Александра Зайцева (детектор VES в Протвино) и Микаэла Дозера (детектор Cristal Barrel в ЦЕРН). К сожалению, не смог приехать профессор Ху-Гоу-Фа из Пекина, однако профессор Олсен из Гавайского университета, который участвует в пекинских экспериментах, представил два доклада по работам на установке BES. На конференцию были приглашены несколько ведущих теоретиков, в частности, профессор Д.Гассер — известный специалист по киральной теории.

Если говорить о том, как был представлен ИЯФ, то следует отме-

Окончание на стр.2

Окончание. Начало на стр. 1

титель, что все доклады — а их было около пятнадцати — содержали интересные результаты, а о некоторых было сообщено впервые. Наша установка и два детектора (СНД и КМД-2), которые в настоящее время работают, до сих пор являются уникальными. Должен отметить новый результат сферического нейтрального детектора по наблюдению нового возбужденного состояния омега мезона, вызвавший широкую дискуссию на конференции и в кулуарах, и до сих пор некоторые из ее участников обращаются к нам с просьбой выслать более подробную информацию. Команда КМД-2 сообщила о первом прямом наблюдении полупетонного распада короткоживущего каона. Наши гости были приятно удивлены активностью и качеством результатов, полученных в нашем институте. В какой-то степени это была конференция детекторов ВЭПП-2М.

Основные научные результаты конференции таковы: физика в этой области актуальна и перспективна. Многие эксперименты, которые в настоящее время ведутся, нужны и их необходимо довести до завершения. Область несколько выше максимальной энергии ВЭПП-2М исследована слабо, и следует направить усилия на ее изучение, искать пути для достижения более высокой энергии. В настоящий момент ведется интенсивная дискуссия о возможностях создания новых установок или модернизации ВЭПП-2М с таким расчетом, чтобы расширить область исследуемой энергии. Эта конференция активизировала наши усилия в поисках возможных путей дальнейшего продвижения в этом направлении. В настоящий момент обсуждается несколько возможных вариантов. Прошедшая конференция способствовала более четкому осознанию цели будущих экспериментов. В этом плане конференция

оправдала свое назначение. Выработка конкретной программы института или отдельных установок требует очень тщательной проработки, особенно учитывая наши ограниченные финансовые ресурсы. Эти усилия должны быть направлены по наиболее рациональному пути. Научная программа конференции была настолько плотная, что мы испытывали определенные трудности с организацией культурной программы — просто не хватало време-

лучно: никого не потеряли, а гости, надеюсь, получили массу интересных впечатлений.

Конференция показала, что провести такую встречу нужно было значительно раньше, поскольку очень много сделано и получены очень интересные результаты. Пока еще не ясно, станет ли она традиционной — на сегодняшний день на этот счет нет общего мнения. Однако, совершенно определенно мы

должны задуматься о двух вещах. Во-первых, наши научные результаты достаточно весомы для того, чтобы можно было пригласить одну из периодических кон-

ференций по физике легких адронов в Новосибирск и взять на себя ответственность за ее проведение. Во-вторых, конференция показала огромный интерес к физике и активность молодых наших коллег. Для них это большой опыт. Не следует ли нам подумать об организации периодической школы для физиков, как делают другие институты? На мой взгляд, научной общественности института следует обсудить, будет ли полезной для наших физиков такая школа и есть ли энтузиасты, готовые эту идею претворить в

ВЭПП-2М: между прошлым и будущим

ни и сил. К тому же перелет некоторых из гостей сопровождался неожиданными осложнениями. Некоторым пришлось двое суток добираться до Новосибирска. Однако, кое что удалось. С большим успехом выступил квартет «Филармоника», желающие побывали на балете «Спартак». Наши молодые физики организовали вечернюю лыжную прогулку по освещенной трассе — она завершилась вполне благопо-



Фото В. Баева

Во время конференции наш корреспондент обратился к некоторым из её участников с просьбой ответить на вопросы.

- 1. Несколько слов о себе и о том физическом центре, который Вы представляете.*
- 2. Сколько раз Вы бывали в нашем институте и когда был последний визит в ИЯФ.*
- 3. С чем связано Ваше сотрудничество с нашим институтом, как долго оно продолжается и каковы его результаты на сегодняшний день.*
- 4. Ваше представление о дальнейших перспективах этого сотрудничества.*

Ринальдо Балдини — Фраскати, Италия

1. Член BABAR, участвовал в экспериментах во Фраскати ($\gamma\text{-}\gamma/2$, FENICE, DAFNE), DCI — в Орсе, FRAMM и ALEPH в CERN.
- 2 Это мой третий визит, ранее я был в ИЯФ в 1990 и 1996 году.
3. Обмен информацией по физике, в частности, измерение регенерации K_S и взаимодействие K_L на КМД-2, сотрудничаю с Е.Солодовым.
4. Надеюсь, что сотрудничество продолжится в двух областях: использование данных KLOE и КМД-2 и работа над совместным проектом, связанным с с- τ -фабрикой.

Джон Наполитано — профессор Ренселеровского политехнического института, США.

1 Я профессор физики Ренселеровского политехнического института в городе Троя, штат Нью-Йорк. Наша группа занимается изучением адронных возбуждений мезонов и барионов и их описанием в КХД. Большая часть наших экспериментов ведется в Национальной лаборатории Томаса Джеферсона (СЕВАФ).

Кунио Такамацу, университет Миязаки, Япония.

1. Я занимаюсь физикой высоких энергий, в частности, адронной спектроскопией. Четыре года тому назад я перешел из КЕК в Миязаки. В КЕК я занимался экспериментами на протонном синхротроне на 12 ГэВ. КЕК — это большая лаборатория, открытая для пользователей не только из японских университетов, но и для зарубежных лабораторий. Я продолжаю сотрудничать с КЕК, а также читаю лекции в Миязаки.
2. Это мой второй визит в Академгородок. Первый состоялся в 1990 году: я встречался с профес-

2. Это мой второй визит в ИЯФ, впервые я приехал летом 1988 года. В то время я работал в Аргоне и сотрудничал с С. Поповым, Д. Топорковым, Д. Николенко и Б. Войцеховским.

3. Хотя в настоящее время мы не ведем совместных экспериментов с ИЯФ, у нас много общих научных интересов. Результаты с КМД-2 и СНД имеют прямые следствия для моего участия в эксперименте по радиационным распадам ϕ -мезона в СЕВАФ. Другие работы ИЯФ, на-

Морис Бенаюн — университет

VI-VII, Париж.

1. Я член эксперимента BABAR, занимаюсь e^+e^- физикой при низких энергиях, спектроскопией легких мезонов, физикой τ -лептонов.
2. Это мой второй визит в ИЯФ, первый был в 1990 году.
3. Я сотрудничаю с В. Черняком (двухфотонная физика, распады Шармония), кроме того вместе с В. Иванченко, Б. Шварцем и С. Эйдельманом работаю над проблемами формфактора пиона, аннигиляции в три пиона, радиационными распадами, поиском треугольных аномалий в процессе $e^+e^- \rightarrow \pi^0\eta\gamma$.
4. Сотрудничество должно продолжаться по e^+e^- физике, а также по физике τ - лептона и модели векторной доминантности.

сором Н.Н. Ачасовым (Институт математики) и его коллегами, мы обсуждали проблемы адронной спектроскопии.

3. К сожалению, я не сотрудничаю с группами из ИЯФ. С 1988 года я взаимодействую с группой ИФВЭ из Протвино. Мы изучаем спектроскопию легких мезонов на детекторе GAMS, а также занимаемся поиском экзотических мезонов, глюболов и гибридов.

4. Мы надеемся продолжить эксперименты с GAMS в 1999-2001 году в ИФВЭ. Их цель — изучение состояний с большим спином и поиск экзотики. Эти заходы завершат первый этап сотрудничества.

пример, изучение спектроскопии векторных мезонов, важны для наших работ в зале Д СЕВАФ.

4. Мне бы очень хотелось продолжить научно-техническое сотрудничество с ИЯФ для работ в зале Д. Меня интересуют работы по методикам аэрогеля и CsI в ИЯФ. Я уверен, что такое сотрудничество окажется плодотворным.

— *Василий Семенович, установка ГОЛ-3-II в марте 1996 года еще только начинала работать. Удавалось ли в полной мере использовать высокие параметры пучка, полученные на этой установке, для достижения более высоких физических параметров плазмы?*

— Если кратко, то да. Действительно, на новой установке, которая вступила в строй в конце 1995 года, уже получены новые интересные результаты. Напомню, что нацеленная на получение плотной горячей плазмы, она отличается от предыдущей следующими важными параметрами. Во-первых, существенно, почти в два раза — до 12 метров, увеличена длина плазменного столба и соответственно магнитной системы. Во-вторых, на этой установке стал использоваться другой генератор пучка, У-2, созданный группой А.В. Аржанникова, который обеспечивает энергозапас инжектируемого пучка около 200 КДж, что примерно в три раза больше, чем было раньше на первой очереди установки ГОЛ-3. Такие существенные изменения в установке привели к необходимости решать заново некоторые «научно-технические» задачи.

— *Какие проблемы были решены за эти три года?*

— Первая — создание предварительной плазмы на длине 12 м. Был получен шнур плазмы длиной 12 м с плотностью от 10^{14} до $3,5 \times 10^{15}$ см⁻³. Никто до нас этого не делал. Создание такой плазмы было крайне необходимо для экспериментов с инъекцией пучка. При упомянутых параметрах инжектировать пучок на длину 12 метров можно только при наличии заранее приготовленной плазмы. Здесь же была решена и вторая проблема — транспортировка сильноточного пучка на столь значительную длину. Известно, что если пучок с токами в десятки килоампер инжектируется в плазму на

большую длину, то может развиваться довольно опасная макроскопическая неустойчивость пучка (неустойчивость Крускала-Шафранова). Опасность заключается в том, что если не создать условий для макро-

пускающие развития такой неустойчивости. Эта задача была решена следующим образом. Система создания предварительной плазмы устроена таким образом, что ток предварительного разряда в момент ин-

жекции пучка течет ему навстречу, кроме того есть еще некоторые особенности выходной системы приема пучка — и, в результате, осуществляется интенсивная компенсация пучкового тока. При инжектируемом токе пучка порядка 30 кА суммарный ток, состоящий из тока пучка и встречного тока в плазме составляет всего несколько килоампер, что существенно меньше порога неустойчивости, который для нашей установки составляет около 15 кА. Таким образом, были созданы условия для макроскопически стабильной транспортировки пучка на длину 12 м.

После решения этих двух задач были проведены эксперименты по изучению коллективного взаимодействия пучка с плазмой в новых условиях. Новым результатом стало то, что получена очень сильная релаксация пучка. Увеличенная длина плазменного столба сыграла свою роль: мы наблюдаем настолько сильную коллективную релаксацию пучка, что на выходе из плазмы его как такового фактически нет, он превращается в поток электронов с очень широким спектром, с интегральной потерей энергии пучка в плазме до 40%. Такого результата ранее не наблюдалось.

Следующий важный результат. Вследствие такой интенсивной релаксации пучка были получены существенно более высокие параметры плазмы. Впервые на открытых ловушках была получена электронная температура на уровне 2 кэВ (20 млн градусов). На первый взгляд, такая температура не должна была

В. Койдан

Время собирать научный урожай

«Построив установку ГОЛ-3-II, мы сделали очень хороший технический задел на несколько лет вперед, по меньшей мере, на ближайшие пять лет. Есть много интересных физических задач, которые мы можем и должны решать на этой установке.»

Три года назад, весной 1996 года, в «Энергии-Импульс» были опубликованы материалы, рассказывающие об исследованиях на установке ГОЛ-3. Это был период, когда только что завершилась очень большая работа по модернизации установки. Сегодня наш корреспондент беседует с доктором физико-математических наук, заведующим десятой лабораторией Василием Семеновичем Койданом.

скопически устойчивой транспортировки пучка, то возникает винтовая неустойчивость, и пучок может оказаться выброшенным на стенки. Если энергосодержание пучка невелико, то это не так уж страшно. Но при том энергосодержании пучка, с которым мы работаем, это может привести просто к разрушению стенки вакуумной камеры, в лучшем случае — внутрикамерного диагностического оборудования. В определенном смысле это аварийная ситуация. Чтобы этого не происходило, нужно создать условия, не до-

быть получена. В открытой системе при нагреве плазмы есть большие продольные потери энергии, и чем выше электронная температура, тем интенсивнее потери. Но в наших экспериментах проявился эффект подавления (на 2-3 порядка) продольной электронной теплопроводности в турбулентной плазме. Суть этого эффекта заключается в том, что пучок при взаимодействии с плазмой возбуждает в ней интенсивные ленгмюровские колебания, которые переводят плазму в состояние с высоким уровнем турбулентности. В результате эффективная частота столкновений плазменных электронов возрастает на два-три порядка и резко уменьшается теплопроводность плазмы вдоль магнитного поля, вдоль системы. Потери энергии из плазмы сильно замедляются, в результате интенсивность нагрева резко возрастает и температура плазмы получается очень высокой. Это тот редкий случай, когда турбулентность в плазме является весьма положительным фактором. Заметим, что речь идет о нагреве плазмы с плотностью 10^{15}см^{-3} и даже несколько большей. В получении этих результатов большая заслуга прежде всего группы А.В. Бурдакова. Это наиболее важные результаты, которые получены на новой установке.

Возвращаясь к вопросу о том, какие еще эксперименты проведены на установке ГОЛ-3-П, хочу добавить следующее. После того, как мы получили хорошие результаты по нагреву плазмы при плотности 10^{15}см^{-3} в однородной плазме длиной 12 метров, мы вернулись к экспериментам по двухступенчатому нагреву плазмы. Напомню суть этого метода. Пучок за счет коллективного торможения может нагревать плазму с плотностью только порядка 10^{15}см^{-3} . Для получения более плотной горячей плазмы (с плотностью $10^{16}-10^{17}\text{см}^{-3}$) нужно использовать метод двухступенчатого нагрева. При большой плотности плазмы пучок перестает релаксировать и начинает свободно проходить через плотную плазму, не теряя энергии. Такова особенность бес-

столкновительной релаксации пучка за счет возбуждения турбулентности. Плотная горячая же плазма нам необходима, чтобы подойти к экспериментам по изучению её многопробочного удержания, в том числе и плазмы с большим β (большим давлением). Таким образом, нужно научиться получать горячую плазму с плотностью $10^{16}-10^{17}\text{см}^{-3}$ и температурой до 1 кэВ. Этого можно достичь, если в первоначально нагретой «редкой» (10^{15}см^{-3}) плазме создавать сгустки плотной плазмы, в которой горячие электроны «редкой» плазмы, распространяясь вдоль магнитного поля, тормозились бы уже за счет обычных парных столкновений и нагревали бы плотный сгусток. Такие эксперименты мы уже проводили на первой очереди установки. Теперь же на новой установке нам удалось сгусток с плотностью $\sim 10^{16}\text{см}^{-3}$ нагреть до электронной температуры $\approx 0,5$ кэВ и, что очень существенно, нагреть ионную компоненту этой плазмы до температуры в несколько сот электрон-вольт (100-200 эВ). Это существенный шаг. Нужно двигаться дальше по оптимизации этого нагрева и получению еще более высоких параметров, чтобы можно было начинать эксперименты по изучению поведения такой плазмы в многопробочном магнитном поле. Мы как раз сейчас начинаем работать в этом направлении.

Параллельно за эти годы мы выполнили еще несколько работ. Проведено несколько экспериментов по взаимодействию горячего электронного потока с твердым телом. Это сделано в рамках контракта с ядерным центром в Карлсруэ (Германия) в связи с проблемой «большого срыва» в будущих токамаках, когда возможно выбрасывание горячей плазмы на твердые материалы дивертора. Здесь мы получили несколько интересных результатов, в частности, по механизму эрозии графита, по его распылению, размерам и массе графитовых пылинок, которые возникают при таком взаимодействии. Это очень важно с точки зрения будущих технологий термо-

ядерных реакторов. Результаты долаживались на нескольких международных встречах и вызвали большой интерес. Значительно продвинулась еще одна из работ, которую мы выполняем в рамках гранта РФФИ в течение многих лет, а именно, по исследованию возможности применения сгустка плотной горячей плазмы для получения мощной вакуумно-ультрафиолетовой вспышки и, в перспективе, создания импульсного ультрафиолетового лазера.

— В какой стадии находятся исследования по стеночному удержанию горячей плотной плазмы?

— Для проведения таких экспериментальных исследований мы стремимся, как я уже отмечал, получить плазму с большим давлением, с большим β , а затем и приступить к изучению механизма ее взаимодействия со «стенкой».

— В какой стадии находится проект использования ленточных пучков для генерации излучения миллиметрового диапазона?

— Этот проект получил поддержку по нескольким линиям и активно развивается (занимается им в основном группа А.В. Аржанникова). Ранее эти работы велись на генераторе пучка У-2 при использовании маломасштабного ленточного пучка. Последние два года в связи с тем, что генератор пучка У-3, который раньше использовался на первой очереди установки ГОЛ-3, освобожден, мы перевели работы по генерации миллиметрового излучения на этот генератор. Он был модернизирован специально для получения такого ленточного пучка, который был бы пригоден для проведения экспериментов по генерации излучения миллиметрового диапазона по схеме ЛСЭ. Они активно идут и уже есть очень интересные результаты. Сейчас работы ведутся с применением активного ондулятора и с использованием двух типов резонаторов: с одномерными и с двумерными дифракционными ре-

Окончание. Начало на стр 4.

шетками. Решается много задач как в техническом, так и в физическом плане: формирование нужного электронного пучка и его транспортировка в щелевом канале, генерация излучения длительностью в несколько микросекунд на уровне сотен МВт, повышение КПД преобразования энергии электронного пучка

магнитных катушек, которые делаются по заказу LHC. В свое время (1995 г.) эта система питания была сделана нами для выполнения контракта с BESSY. Сейчас же эта группа занимается усовершенствованием и расширением этой системы в связи с контрактом PSI. Здесь следует отметить особенно активную работу А.Г. Макарова и С.С. Перина.

В. Койдан

Время собирать научный урожай

ка в излучение, достижение генерации в очень узком спектральном диапазоне на длине волны 4 мм. Такие работы имеют многие интересные применения и вызывают интерес и поддержку международной научной общественности.

— *Модернизация установки ГОЛ-3 была проведена три года назад. Как долго вы ее собираетесь использовать в этом виде и есть ли планы очередной модернизации?*

— Сейчас нет необходимости проводить новую модернизацию: то, что сделано, нужно освоить с максимальной научной эффективностью. Мы сделали очень хороший научно-технический задел на несколько лет вперед, по меньшей мере, на ближайшие пять лет. Есть много интересных физических задач, которые мы можем и должны решить на этой установке. Кроме того, сейчас трудно сделать большую модернизацию.

— *Сейчас жизнь складывается так, что институт вынужден искать «дополнительные заработки». Я знаю, что и ваша лаборатория принимает участие в общеинститутских работах...*

— Да, это так, в прошлом году, например, одна из наших групп (группа В.В. Конюхова) много времени потратила на модернизацию системы питания для испытания

Хотелось бы отметить работу группы К.И. Меклера (15 МДж конденсаторная батарея) при проведении всех экспериментов. Нас постоянно и успешно поддерживает также во всей научно-технической деятельности конструкторское бюро В.С. Николаева.

— *Как изменился за последние три года кадровый состав коллектива Вашей лаборатории?*

— К сожалению, несколько высококвалифицированных сотрудников за это время ушло (главным образом, из-за низкого уровня зарплат). К счастью, мы приняли на работу несколько молодых способных выпускников НГУ и НГТУ. Они сейчас еще аспиранты (это бывшие наши студенты, мы их отбирали, воспитывали), но уже очень активно и успешно работают у нас. Опыта у них еще не хватает, но главное, что есть интерес и желание работать. По количественному составу лаборатория осталась на том же уровне. Постоянно приходят к нам студенты, мы с ними работаем, многие остаются у нас. Мы рады, что есть молодые люди, которые интересуются наукой, хотят работать в науке, и нужно их всячески поддерживать — и морально, и материально.

Беседовала И. Онучина.

Нынешний март бьет все рекорды. Столь низкая среднемесячная температура не характерна для первого месяца весны в нашей местности. Особенно морозным такой март казался на фоне по-весеннему теплого февраля. И все же как ни суровы были нынче мартовские ночи, яркое и уже высокое весеннее солнце тянуло людей в выходные дни из теплых уютных квартир на природу. В один из таких морозных дней, 8 марта, состоялся традиционный весенний детский лыжный праздник ИЯФ.

В этот день с раннего утра на лыжной базе ИЯФ закипела бурная жизнь. Первыми, как и положено, появились организаторы праздника: члены бюро и актив лыжной секции. Они оборудовали стартовый городок для участников предстоящих гонок. Валерий Ищенко, Вячеслав Поросев (оба Л.3-0) и моторист лыжной базы Владимир Блохин разметили и подготовили лыжную трассу к гонке, подготовили дрова для костра. Функции кострового и по совместительству видеоператора праздника выполнял заместитель председателя бюро лыжной секции Анатолий Путьмаков (Л.6). Сергей Крамаров (ОГЭ) приготовил вкусный чай для восстановления сил участников праздника.

Тем временем стали появляться и первые герои предстоявшего действия: кто вместе с родителями, кто с бабушкой или дедушкой, а кто и самостоятельно. Те, у кого не было своего лыжного инвентаря, шли в наш прокат, где им совершенно бесплатно предоставлялись лыжи, ботинки и палки. Кстати, нынешней зимой инвентарная база проката была существенно обновлена и расширена: закуплены новые пластиковые лыжи, ботинки. В этом большая заслуга администрации института в лице С.П. Агалакова, который с большим вниманием относится к нашим просьбам и всегда идет на встречу пожеланиям лыжников.

Но вернемся на праздник. Чем ближе было время старта, тем больше работы появлялось у судейской бригады. Уже не один десяток лет



многим детям развлечений. Сергей Крамаров оборудовал на крыльце лыжной базы канатную переправу, прокатиться на которой мог каждый желающий. Владимир Филиппов (Л.12) пригласил детей в импровизированный тир, где они состязались в стрельбе из лука. Каждый, попавший в цель, получал сладкий приз. Владимир Блохин катал девочек и мальчишек на санях за снегоходом — восторгу детей тут не было предела. Те, кто устал и проголодался, могли подкрепиться чаем с сухарями, печёной картошкой, погреться у костра. Взрослые спешили укрыться от холода на базе, а детей было трудно затащить туда: им пятнадцатиградусный мороз — не помеха!

участвует в проведении лыжных праздников в нашем институте Александр Жмака (Л.1-3). Вот и на этот раз на него легла основная забота по организации работы судей. Ему помогли Галина и Инна Бруяновы, Виктор Шарапов (МЭП) и Виталий Долгов (Л.9-0), судьи-«профессионалы», участвующие в проведении всех наших стартов.

Наконец, регистрация и приготовления остались позади. Первыми на дистанцию 500 метров ушли маленькие участники праздника. Самый младший из них, четырехлетний Артемий Боженко (на фото внизу), сын сотрудника Л.3-1 Артура Боженка, в этот день впервые встал на лыжи. В сопровождении папы он очень уверенно для дебюта преодолел дистанцию, заняв в итоге призовое место среди детей сотрудников ИЯФ. И кто знает, возможно, это его первые шаги на пути к большим победам на лыжне.

Вслед за самыми маленькими старт на дистанциях 1, 2 и 3 км принимали ребята постарше, от 7 до 15 лет. Накал борьбы согревал юных гонщиков на морозной лыжне, а за финишной чертой их встречали капитан сборной ИЯФ по лыжным гонкам Андрей Соколов (Л.3-

А.Васильев

На старте — юные лыжники

3) и его супруга, врач-педиатр, Ирина. К счастью, медицинская помощь никому из детей не потребовалась. Напротив, они покидали финишную зону веселыми, ведь удовольствие от прошедшей гонки было подкреплено большой плиткой российского шоколада, которые Андрей и Ирина вручали каждому финишировавшему участнику.

После окончания лыжной части праздника наступила очередь уже хорошо знакомых и любимых их с

Между тем судейская коллегия подвела итоги лыжных соревнований, и в холле лыжной базы состоялось награждение победителей и призёров гонок. Победителями в своих группах стали: Валентина Филатова (ФВЭ), Саша Карпу-

шов (Плазма), Александр и Алена Зинченко (Управление), Михаил Онучин (ФВЭ), Сергей Самсонов (Управление), Маша Кутювенко (ФВЭ) и Михаил Глуховченко (Ус-





А.Васильев
**На старте — юные
лыжники**

увидев утром столбик термометра на отметке «-20°C», Увы, над погодой мы не властны. Но высокая, даже несмотря на мороз, массовость мероприятия ещё раз подтвердила наше представление о необходимости таких празд-

мере газеты. Впрочем, оперативная техническая информация о результатах соревнований, как правило, доступна в электронном виде уже через нескольких часов после завершения соревнований.

Фоторепортаж с праздника

В. Кутовенко



корители). Имена остальных лауреатов можно найти в Internet и на сервере CSD. Каждый победитель и призёр получил грамоту, медаль и большую коробку конфет благодаря щедрой поддержке нашего праздника профкомом ИЯФ. Хочется поблагодарить от имени всего бюро секции профсоюзных лидеров ИЯФ С.Ю.Таскаева и Е.А.Недоярченко. Они всегда с большим вниманием относятся к нашим начинаниям и оказывают максимальное содействие в их реализации. У меня нет сомнений, что и в дальнейшем наше сотрудничество будет столь же эффективным.

И по традиции праздник завершился чаепитием на лыжной базе. Возбужденные дети живо делились с родителями и друзьями своими достижениями и впечатлениями. Знаю, что многие родители не рискнули вести детей на этот праздник,

привлекающих детей-сибиряков, а заодно и взрослых к регулярным лыжным прогулкам, к здоровому образу жизни. Поэтому приглашаем всех на наши праздники теперь уже в 2000 году.

К моменту выхода этого материала в свет уже будут известны результаты всех мартовских соревнований, в том числе и двух марафонов. Но о результатах этих гонок мы расскажем лишь в следующем но-

Наша семья и родственники выражают большую благодарность администрации института, лаборатории N7, всем службам и подразделениям, оказавшим помощь в организации похорон нашего любимого отца и мужа Сборщикова Евгения Анатольевича.

Дочь — Варвара Евгеньевна Карпович, жена — Екатерина Петровна Сборщикова.

\mathcal{E}, \vec{p} — SCIENCE

Аналоговое моделирование на установке «Спираль» в РНЦ «Курчатовский Институт» позволило предсказать существование антициклонических вихрей между рукавами спиральных галактик. Их поиск на крупнейшем в Европе шестиметровом телескопе САО РАН увенчался успехом. Гигантские антициклоны выявляют характер процесса самоорганизации, приводящего к формированию единой спирально-вихревой структуры галактики.

Пролог

Сейчас, когда это открытие состоялось с помощью самого крупного в Европе шестиметрового российского телескопа, трудно поверить, что всё началось с настольной установки с вращающейся «мелкой водой». Именно на ней были впервые обнаружены вихри между спиральными рукавами галактик.

Небольшая установка была создана в группе проф. М.В.Незлина в Курчатовском научном центре как раз для моделирования процесса генерации спиральных рукавов галактик и потому была названа «Спираль». На ней предстояло проверить возможность генерации спиральных волн плотности, вызванной гидродинамической неустойчивостью из-за присутствия наблюдаемых в половине галактических дисков скачков скорости вращения. Как показали численные расчеты Баева и Фридмана в газовых дисках галактик с такими скачками скорости гидродинамическая неустойчивость может оказаться более силь-

ной, нежели гравитационная, и служить причиной образования спиральных рукавов.

Такая точка зрения на природу возникновения спиральных рукавов

А.Фридман О. Хоружий

ПРЕДСКАЗАНИЕ И ОТКРЫТИЕ ГИГАНТСКИХ ВИХРЕЙ В ГАЛАКТИКАХ

в галактиках, высказанная одним из авторов этой статьи в 1972 г., отличалась от общепринятой «гравитационной» теории генерации спиральных рукавов, обязанной силам самогравитации. В гравитационной теории не учитывались наблюдаемые (и порой весьма значительные!) градиенты основных параметров диска.

Прежде всего на установке «Спираль» была проверена справедливость основных положений гидродинамической теории спиральной структуры. Для этого на установке был создан аналогичный наблюдаемому в галактиках скачок скорости вращения. Вращающаяся на установке «мелкая вода» описывается уравнениями двумерной газодинамики. В этом состоит динамическое родство вращающейся «мелкой воды» с газовым диском спиральных галактик, которое и послужило отправной идеей для моделирования.

Результаты модельного эксперимента на «мелкой воде» не только подтвердили правильность гидро-

динамической теории генерации спиральной структуры. Они привели к неожиданным и оригинальным решениям некоторых вопросов, связанных с такими особенностями спиральной структуры как «ветвление» рукавов и редко наблюдаемые «лидирующие» спирали. Также они дали и нечто принципиально новое. Между спиральными рукавами на «мелкой воде» были обнаружены антициклонические вихри (рис.1).

Тождественность

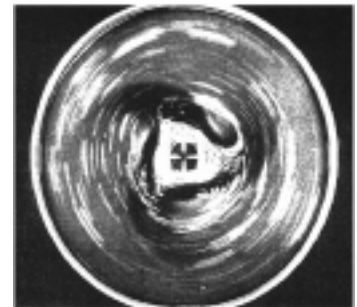


рис.1

уравнений для мелкой воды и газового галактического диска явилась основой для постановки модельных экспериментов. Количественное согласие результатов экспериментов и предсказаний теории по зависимости числа генерируемых спиралей от числа Маха на скачке скорости, экспериментальное подтверждение чисто астрономических гипотез о происхождении ветвлений и лидирующих спиралей — всех дисках спиральных галактик. Поэтому появление на поверхности мелкой воды антициклонов между спиральными рукавами, естественно, вызывало предположение о том,

что аналогичные вихри существуют в спиральных галактиках. А значит, задача состоит в их обнаружении.

Обнаружение антициклонов в галактике Mkr 1040

Зададимся вопросом: каким условиям должна удовлетворять спиральная галактика — первый кандидат на обнаружение вихрей?

Как видно из эксперимента, центры антициклонов находятся на скачке скорости, а структуры — спирали и вихри — вызваны гидродинамической неустойчивостью. Поэтому следовало найти галактику с большим скачком скорости вращения, который бы надежно вызывал эту неустойчивость. Кроме того, эта галактика должна быть «удачно ориентирована» в пространстве по отношению к наблюдателю. Поясним, что это значит.

Антициклоны, которые мы хотим обнаружить, в неподвижной относительно спиральных рукавов системе координат характеризуются наличием замкнутых линий тока в плоскости галактического диска с центрами на радиусе коротации. На этом радиусе скорость вращения диска относительно спиральных рукавов равна нулю. Отлична от нуля только возмущенная скорость газовых облаков, вызванная той самой неустойчивостью, которая образовала спиральные волны плотности и вихри. Если бы мы смогли измерить, например, только возмущенную азимутальную скорость, то для 2-х рукавной галактики мы бы увидели симметрично по обе стороны от центра на коротационной окружности две гипотетические точки, с внутренней и внешней стороны от каждой из которых возмущенные азимутальные скорости имеют противоположное направление.

Однако при наблюдениях для каждого облака мы измеряем с помощью доплеровского смещения только лучевую компоненту скорости, лежащую на прямой, соединяющей облако с телескопом. В об-

щем случае кроме азимутальной скорости в лучевую скорость вносят вклад еще две компоненты скорости облака: радиальная и z -ая (вдоль оси вращения). Вместе с тем, если бы газовый галактический диск был бы ориентирован к нам так, что азимутальные возмущенные скорости в окрестности центров вихрей оказались направленными вдоль луча зрения, а радиальная и z -ая — перпендикулярно к нему, то вклад последних в лучевую скорость был бы равен нулю. Мы бы измеряли только азимутальную скорость. Вклад z -ой компоненты скорости отсутствует, если мы наблюдаем диск практически с ребра ($i = \pi/2$). Вклад радиальной скорости в области центров вихрей отсутствует, если центры вихрей лежат практически на линии узлов — большой оси — галактики.

Именно этим условиям ориентации по отношению к наземному наблюдателю удовлетворяет галактика Mkr-1040, имеющая anomalously большой и резкий скачок скорости вращения. Угол наклона плоскости этой галактики к лучу зрения составляет $\sim 73^\circ$, что только на 17° отличается ее от вида с ребра. Как мы

линии узлов, т.е. там где локализованы вихри, составляет громадную величину — более 150 км/с, т.е. $\Delta V/V > 0,6$. Усредненная по азимуту скорость вращения имеет скачок $\Delta V/V \approx 0,3$. Что же касается радиального градиента скорости, то он также anomalously велик: $d \ln V/d \ln R \approx 3,1$, что соответствует очень сильной гидродинамической неустойчивости.

Вихри в солнечной окрестности

Как уже говорилось, для выявления галактических антициклонов необходимо найти поле скоростей в системе координат, вращающейся вместе со спиральным узором. В случае эксперимента на установке «Спираль» скорость вращения спиральных рукавов могла быть непосредственно измерена. Для реальных же галактик определение этой скорости представляет собой отдельную и очень нелегкую задачу. Дело в том, что характерные времена обращения галактических дисков составляют около 100 млн лет, поэтому за любое разумное время наблюдения невозможно зафиксировать величину смещения спиральных рукавов из-за их вращения.

Задача определения скорости вращения спирального узора эквивалентна нахождению радиуса коротации, т.е. расстояния от центра, где угловые скорости вращения галактического диска и спиралей равны. Если спиральная волна образуется в результате неустойчивости, вызванной скачком скорости, ее радиус коротации совпадает с положением скачка. Наличие в галактике Mkr-1040 anomalously резкого скачка на кривой вращения и заведомого выполнения условий гидродинамической неустойчивости снимало вопрос о положении радиуса коротации в этой галактике и облегчало выявление в ней гигантских антициклонов. Для большинства же внешних галактик вопрос о положении радиуса коротации остается открытым. Неудивительно поэтому, что следующей в списке кандидатов на обнаружение вихревых структур

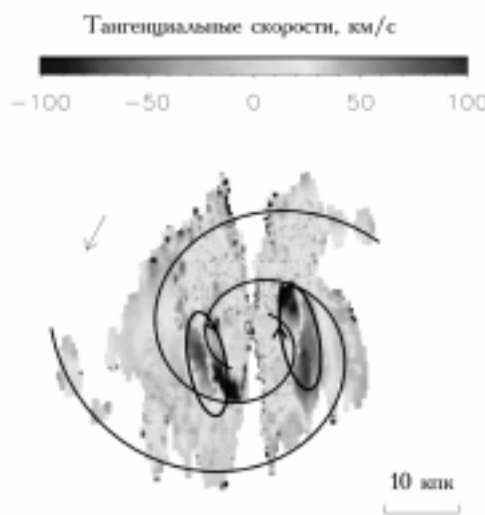


рис.2

видим из рис.2, центры антициклонов (последние отмечены сплошной линией со стрелкой) расположены недалеко от линии узлов.

Скачок лучевой скорости вдоль

стала наша собственная Галактика, для которой вопрос о положении радиуса коротации наиболее изучен.

Для определения радиуса коротации в этом случае используются данные о так называемом градиенте возраста звезд. Возраст оценивается по теории ядерного горения и цвету каждой звезды. Звездообразование происходит главным образом в спиральных рукавах, в связи с чем там наблюдается повышенная концентрация молодых, только что родившихся звезд. Поскольку угловая скорость вращения газового диска вокруг центра Галактики падает с удалением от центра, а спиральный узор вращается как единое целое с постоянной угловой скоростью, область диска внутри коротационной окружности обгоняет спиральные рукава, а вне ее — отстает от них. Звезды обладают «памятью» о газовом диске, из которого они образовались. Вследствие этого при расстоянии от центра галактики, меньшем радиуса коротации, звезды движутся быстрее, чем спиральные рукава, а при большем — медленнее. Таким образом, по мере старения звезды все удаляются от спиральных рукавов, причем в противоположных направлениях по разные стороны от коротационной окружности. В результате противоположным должно быть и направление градиента возраста звезд.

Такая особенность градиента возраста была обнаружена в окрестности Солнца, что указывает на положение радиуса коротации недалеко от орбиты Солнца вокруг центра Галактики. Недавние исследования поля лучевых скоростей цефеид в солнечной окрестности также показали, что в этой области азимутальная скорость спирального узора в Галактике совпадает со скоростью вращения диска. Таким образом, разные исследователи приходят к единому выводу о том, что Солнце

находится вблизи от радиуса коротации.

Помимо этого, наблюдаемая кривая вращения газового диска нашей Галактики имеет депрессию как раз в окрестности солнечной орбиты. На основании этих двух фактов один из авторов этой статьи (А.М.Ф) высказал предположение, что в окрестности галактической орбиты Солнца должны находиться центры гигантских антициклонов. Гипотеза была проверена на основании данных о лучевых скоростях 316 молекулярных облаков, 256 классических цефеид и 106 молодых открытых скоплений. Детальные исследования этих данных показали, что имеются систематические отклонения скоростей от модели чисто кругового движения, которые коррелируют с наблюдаемыми спиральными структурами.

На рис.3 показано модельное

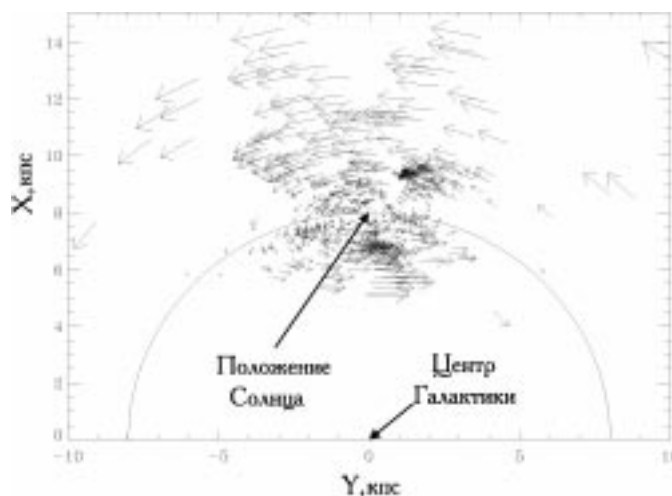


рис.3

поле скоростей в системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью, равной средней угловой скорости вращения звезд вблизи Солнца. Это поле скоростей имеет форму антициклона, центр которого лежит в солнечной окрестности.

Спирально-вихревая структура в галактиках

Обнаружение предсказанных ранее антициклонов в газовом диске Mkr~1040 и в солнечной окрестности нашей Галактики было вполне

закономерным. В обоих случаях наблюдаемая кривая вращения газового диска имеет область резкого падения (депрессии) на некотором радиусе. Присутствие такой области указывает либо на наличие скачка на реальной кривой вращения, что может приводить к развитию гидродинамической неустойчивости, либо на существование заметных локальных отклонений от кругового движения. Именно первый случай моделировался экспериментально на установке «Спираль», где вихревые структуры были впервые обнаружены.

Однако, как указывалось выше, галактика Mkr~1040 демонстрирует аномально большой скачок скорости, а в случае нашей Галактики скудность статистических данных приводит к величине ошибок, не дающих возможности ссылаться на существование здесь антициклона как на строго доказанный факт. В

таком случае обнаруженные антициклоны могли бы считаться некими особыми структурами, присущими лишь некоторым специфическим галактикам с резкими скачками скорости вращения и не являющимися непременным атрибутом любой спиральной галактики с волновой природой спиралей.

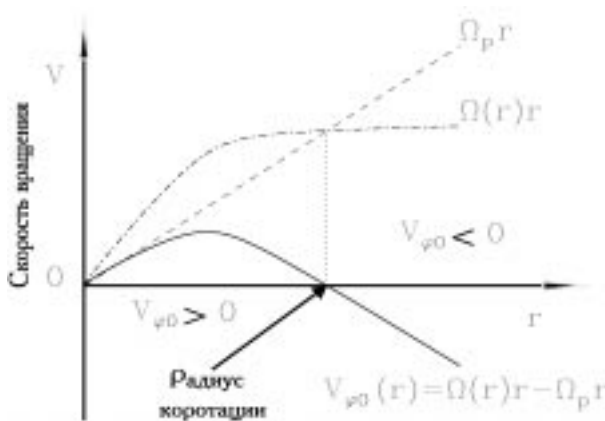
Простое качественное рассуждение показывает, что это не так, и газовые вихри — неотъемлемая принадле-

жность спиральных волн плотности вне зависимости от природы действующих в диске сил: самогравитации, гидродинамических либо приливных, вызванных, например, баром или спутником галактики.

Предположим, что в результате какого-либо коллективного механизма (неустойчивости) в диске галактики возникают возмущения скоростей и плотности. Пока амплитуды возмущений малы, их рост описывается линейной теорией неустойчивости. Тогда все возмущен-

ные величины можно легко выразить через одну, т.е. они пропорциональны друг другу. При этом поле возмущенных скоростей диска устроено так, что, перенося часть вещества из одних областей диска в другие, оно создает в одних местах сгущения в виде спиральных рукавов плотности, а в других — спиральные области пониженной плотности.

В результате дальнейшего роста амплитуды возмущенных величин плотность газа в спиральных рукавах может вырасти в несколько раз, сформировав нелинейную волну плотности, которую мы видим как спиральный рукав. Однако из наблюдений следует, что величины возмущенных скоростей в обоих дисках — газовом и звездном — оказываются значительно меньше скорости вращения. Рост возмущений приводит к стабилизации неустойчивости и спиральная волна становится квазистационарной. Особенности поля скоростей, вызванных такой волной, удобнее всего исследовать в системе отсчета, вращающейся с угловой скоростью спирального узора Ω_p (рис.4а). Эта вра-



щающаяся система координат замечательна прежде всего тем, что в ней спиральные рукава оказываются неподвижными, т.е. возмущенная поверхностная плотность диска σ и связанные с ней линейными соотношениями компоненты возмущенной скорости V могут быть записаны как функции, не зависящие от времени.

Поскольку диск галактики вращается дифференциально, его внутренняя часть (до радиуса коротации) будет вращаться быстрее, чем спиральный узор, а внешняя, наоборот, — медленнее (рис.4а). Наблюдатель, находящийся на радиусе коротации R_c , будет видеть, что угловые скорости диска по обе стороны от окружности коротации направлены в противоположные стороны. Для определенности ограничимся случаем двухрукавной галактики. При каждом значении радиуса возмущенная поверхностная плотность σ_ϕ четырежды (удвоенное число спиральных ветвей) меняет свой знак с изменением азимутального угла. Соответственно этому, радиальная скорость также четырежды меняет знак. В результате вблизи от коротации, где величина полной азимутальной скорости невелика, возникают замкнутые линии тока — вихри (рис.4б). Поскольку газ в них движется в на-

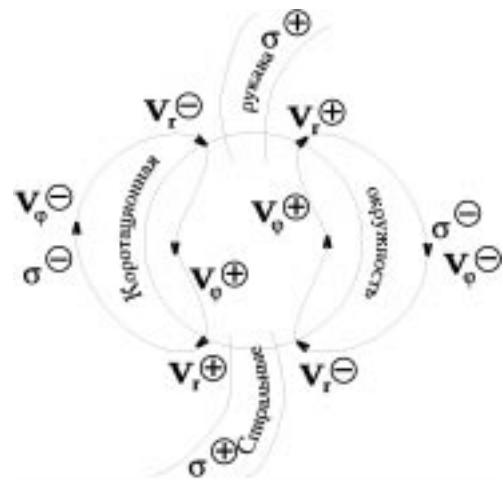
правлении, противоположном направлению вращения диска, они являются антициклонами.

Следует подчеркнуть, что эти антициклоны нельзя рассматривать как математическую особенность принятой модели вращения, в которой положение замкнутых траекто-

рий полностью определяется заданием угловой скорости системы отсчета. Только в области действительной коротации межзвездный газ в своем движении не пересекает спиральных ветвей, поэтому потоки газа (при условии малой дисперсии скоростей по сравнению со скоростью вращения) обречены там постоянно двигаться либо в окрес-

тности определенной спиральной ветви, либо между ветвями. Наличие вихревых движений в области коротации — это физическая особенность галактик.

Таким образом, во всем диске малые возмущенные скорости выполняют свою роль, собирая вещество в ярко светящиеся рукава, но сами никак не проявляются, будучи «задавленными» большой круговой скоростью диска. Только на радиусе коротации, где круговая скорость газа относительно спирали стано-



вится малой, возмущенные скорости проявляются в виде гигантских антициклонов. Это наглядно демонстрирует, что спирали и вихри суть разные проявления единого коллективного механизма, название которого — волны плотности.

Описанная выше качественная картина формирования антициклонов в дисках галактик основана только на одном предположении — о волновой природе спиральной структуры. Поэтому вихревые структуры должны быть универсальным атрибутом спиральных галактик вне зависимости от состава диска (газ или звезды) и механизма генерации волны плотности.

Окончание в следующем номере «Э-И».