

ЭНЕРГИЯ



№ 5-6
май
1999г.

-штырь



*Первого мая 1999 года
Андрею Михайловичу
Будкеру
исполнился бы
восемьдесят один год.*

Фото В. Новикова.

В течение последних двадцати лет наш институт занимается изготовлением сверхпроводящих вигглеров, которые в большинстве зарубежных и отечественных физических центрах снискали себе славу самых надежных и эффективных. Наш корреспондент попросил Николая Александровича

Мезенцева рассказать о том, что нового в этой области: лаборатория 8-12, которую он возглавляет, непосредственно изготавливает известные во всем мире вигглеры.

— Николай Александрович, в начале расскажите, пожалуйста, что собой представляет вигглер.

— Вигглер — это специальный магнит, у которого поперечное магнитное поле меняет знак вдоль оси, по которой летят релятивистские заряженные частицы, и предназначен для генерации синхротронного излучения. В зависимости от назначения и напряженности магнитного поля они бывают нормально проводящие, т.е. изготовленные из нор-

мально проводящих материалов, и сверхпроводящие. Магниты, изготовленные из сверхпроводящих ма-

Ияфовские вигглеры не просто хорошие, а очень хорошие

териалов, как правило, могут достигать значительно больших напряженностей магнитного поля. Такое устройство устанавливается на электронный или позитронный накопитель так, что пучок заряженных частиц, проходя сквозь такой магнит по извилистой траектории, сбрасывает часть своей энергии в виде синхротронного излучения (СИ) в направлении своего движения. Спектр этого излучения может сильно отличаться от СИ из поворотных магнитов. Часто используется 3-х полюсный вигглер, у которого один полюс имеет сильное магнитное поле и используется для генерации излучения, а остальные два

для согласования орбиты пучка заряженных частиц. Такой вигглер часто называют «шифтером» от английского слова shift (что означает сдвигать) и используется для сдвига спектра СИ для данного накопителя в более жесткую часть спектра по сравнению со спектром из поворот-

ных магнитов. Сверхпроводящий 3-х полюсный вигглер («шифтер») является хорошим и достаточно дешевым средством для улучшения потребительских характеристик старого накопителя, который используется как источник СИ. Сейчас в мире насчитывается уже несколько десятков электронных накопителей, которые используются как источники СИ, у большинства из которых спектр излучения лежит в области вакуумного ультрафиолета и мягкого рентгена. Накопитель, используемый как источник СИ, является сложным и дорогим оборудованием. Его изготовление обходится в

Окончание на стр.2

Окончание. Начало на стр.1

десятки, а то и сотни миллионов долларов, поэтому реальный путь получения качественно новых потребительских характеристик, которые могут продлить жизнь давно существующим накопителям как инструменту для научных исследований, это постройка сверхпроводящего вилггера.

Наш институт разрабатывает такие устройства уже более 20 лет, начиная с 1978 года. Всё началось с 20 полюсной сверхпроводящей «змейки» (так тогда мы называли многополюсный вилггер, но название это не прижилось) с полем 3.5 Тесла. Такое устройство было впервые в мире сделано в ИЯФ для генерации мощного синхротронного излучения и поставлено на накопитель ВЭПП-3 в сотрудничестве с лабораторией Л.М.Баркова. Создание такой «змейки» было тогда необходимо для проведения экспериментов в лаборатории Л.М. Баркова по поиску сверхтяжёлых элементов с помощью жесткого синхротронного излучения, а в нашей лаборатории возник большой интерес к использованию жесткого синхротронного излучения для медицинской диагностики, в частности к цифровой разностной ангиографии. В 1979 году «змейка» была установлена на накопитель ВЭПП-3 и пучок жесткого рентгеновского излучения мощностью около 1 кВт был выведен в канал СИ. Поставка этой «змейки» позволила увеличить яркость накопителя ВЭПП-3 как источника СИ в 200 раз в области энергий фотонов 15-20 кэВ. В настоящее время кроме нашего института есть ещё две фирмы, которые могут создать конкуренцию при изготовлении сверхпроводящих вилггеров — это АКСЕЛ в Германии и Оксфорд Инструментс в Англии. Эти фирмы могут изготавливать вилггеры с полем 6 Тесла и меньше, в то время как наш институт производит магниты 7.5 Тесла из ниобий-титанового провода, и недавно был испытан вилггер на поле в 10 Тесла с использованием провода из ниобий-олова. В текущем году институт изготавливает

2 вилггера: 7 Тесла вилггер для BESSY-2 (контракт с Германией) и 10 Тесла вилггер для SPring-8 для источника медленных позитронов по гранту МНТЦ (Международного научно-технического центра). Магнитная система вилггера для BESSY-2 была испытана в конце марта этого года в присутствии

Ияфовские вилггеры не просто хорошие, а очень хорошие

представителей центра BESSY-2 и получено поле 7.55 Тесла вместо 7.25 Тесла согласно контракту. Основным заказчиком сверхпроводящего вилггера для BESSY-2 является ПТБ — лаборатория стандартов, поставившая своей целью иметь абсолютный источник излучения с хорошо известными характеристиками. Для того, чтобы удовлетворить предъявляемые к этому источнику требования, большое внимание при проектировании было уделено поперечной однородности поля в центральном полюсе, а также был разработан в лаб.6 и установлен в полюса вилггера специальный высокоточный измеритель поля на основе датчика ЯМР, который позволяет измерять поле с точностью 0.000001. На этих вилггерах мы научились работать в режиме замкнутых токов, при этом стабильность поля можно сделать лучше, чем 0.000001, время жизни замкнутого тока в магните составляет один год и три месяца. Сверхпроводящий вилггер для накопителя SPring-8 также был успешно испытан с получением максимального поля 10.14 Тесла и поэтому параметру у нас нет конкурентов, кто мог бы сделать подобный вилггер. Накопитель SPring-8 с энергией электронов 8 ГэВ является одним из самых современных и ярких источников СИ в мире, который уже

почти год успешно работает. Поставка вилггера с рекордно высоким полем 10 Тесла на этот накопитель создаст мощный поток жесткого рентгеновского излучения мощностью в 100 кВт с энергиями фотонов до 5 МэВ и с максимальной интенсивностью излучения в области 0.5 МэВ. Работа по изготовлению вилггера поддерживается грантом МНТЦ, конечной целью которого является создание источника медленных позитронов высокой яркости, используя жесткую часть спектра СИ с энергией фотонов более 1 МэВ для создания электрон-позитронных пар на специальной мишени с последующим замедлением позитронов в модуляторе. Проект близок к завершению — магнит собран и испытан, заканчивается сборка криостата. Летом планируем провести в институте 3-х месячные испытания одновременно вилггеров для Японии и Германии. После испытаний в институте оборудование будет поставлено в Германию в октябре и запущено к середине декабря, а испытания на территории SPring-8 планируются на январь 2000 года. Кроме рекордных полей и высокоточных датчиков измерения магнитного поля в этих машинах применены многие другие новшества, которые до этого не применялись в нашем институте. Вместо жидкого азота будут использоваться специальные холодильники, которые будут закуплены у компаний SUMITOMO и Leybold для охлаждения экранов криостата до температур 20 и 80 градусов Кельвина. Для предотвращения испарения жидкого гелия будут установлены специальные холодильники-реконденсоры, которые будут конденсировать испарившийся гелий и возвращать его в криостат. Для уменьшения теплопритоков в криостат используются токовводы из высокотемпературных сверхпроводников и подвески из кевлара — полимера, который имеет прочность на разрыв такую же как у стали, а теплопроводность в десятки раз меньшую.

— Где работают сейчас ияфов-

ские вигглеры и сколько всего их было изготовлено?

— Как я уже говорил первый сверхпроводящий вигглер был сделан в 1978 году совместно с лабораторией Л.М.Баркова. Второй вигглер с полем 4.5 Тесла был изготовлен для Курчатовского института для накопителя Сибирь-1 при участии группы В.Н.Корчуганова в 1985 году, в 1986 году лаборатория Ю.М.Шатунова изготовила 5-полюсный вигглер с полем до 8 Тесла, который работает и по сей день. В 1994 году ИЯФ получил контракт на изготовление сверхпроводящего вигглера с полем 7.5 Тесла для корейского накопителя PLS. Успешное завершение контракта нас вдохновило, к нам стали поступать предложения на изготовление вигглеров с сильным полем. В прошлом году вигглер на 7 Тесла (максимальное поле 7.5 Тесла) был запущен в центре СИ штата Луизиана (CAMD LSU), и сейчас этот центр получил крупное финансирование на строительство станции протеиновой кристаллографии и для медицинских приложений. Итого пока сделаны 7 вигглеров, из которых 4 для иностранных центров.

— *Спрос на ияфовские вигглеры сохраняется?*

— Спрос есть, поскольку старых накопителей много и всем хочется их как-то улучшить при этом не тратя больших финансовых средств. Вигглеры постоянно совершенствуются и отличаются друг от друга параметрами. Нельзя сказать, что спрос на вигглеры устойчив и скорее всего этот спрос приходится создавать, объясняя обладателям накопителей с низкой энергией как они будут счастливы, если поставят у себя вигглер с сильным полем. Сейчас уже есть несколько потенциальных заказчиков, которые уже почти созрели для покупки вигглера в ближайшем будущем. Мы надеемся, что у нас продолжится сотрудничество в этой области с немцами, японцами и американцами.

— *У каждого устройства есть предельный срок действия, как долго работают вигглеры и насколько они надежны?*

— У нас есть пока один долгожитель — это вигглер на ВЭПП-2, который работает уже более 12 лет, и с годами его параметры только улучшаются. Мы надеемся, что вигглеры, которые мы делаем сейчас, будут также долгожителями. Первый вигглер ВЭПП-3, к сожалению, был уничтожен пожаром.

— *Какие лаборатории принимают участие в работах по изготовлению вигглеров?*

— В работах по изготовлению вигглеров участвуют лаборатории 8-12 (Мезенцев Н.А.), 6-0 (Медведко А.С.), 6-1 (Купер Э.А.), 1-4 (Анашин В.В.) — всего около 15 человек. Группа Боровикова В.М. (Л6-0) ведет разработку и изготовление источников питания, датчиков срыва сверхпроводимости и т.д. Работы по созданию датчиков измерения магнитного поля с помощью ЯМР и электроники успешно ведет Карпов Г.В. (Л6-0), причем датчики ЯМР работают при низких температурах не на жидких, как обычно, а на твердых телах — порошки различных металлов (медь, алюминий) с размером зёрен в несколько микрон, покрытых тонким слоем тефлона. Основная работа по расчетам, намотке катушек, сборке и испытанию оборудования производится в секторе 8-12. Все расчёты магнитных полей и оптимизация распределения токов в обмотках для получения максимального поля проводит Михаил Федурин, он же участвует в проведении магнитных измерений и проводит анализ измеренных данных. Виталий Шкаруба является основным мотором при изготовлении обмоток, сборке вигглера и проведении всяческих измерений. Максим Кузин обеспечивает управление вигглером при испытаниях от компьютера, подготавливая программное обеспечение для взаимодействия оператора с системами вигглера через электронику связи. Организация работы по намотке катушек, сборке и испытанию оборудования

лежит на инженерах Бобылеве Б.В. и Дизендорфе Э.А. Техническую поддержку всех работ в лаборатории ведут лаборанты высокого разряда Поздеев А.И., Гургуца И.Б., Тойкичев Ю.А. Совершенно незаменимым человеком в критических ситуациях является Валерий Хлестов, который умеет находить выход из тупиковых ситуаций, возникающих при работе с цехом и при сборке и запуске оборудования. Очень много и хорошо помогают в нашей работе сотрудники криогенной станции во главе с Ю. В. Кузьмицким. Проектирование сверхпроводящих магнитов, криостатов и вспомогательного оборудования ведет группа конструкторов в составе В.К. Журба, О.А.Ли, А.В.Ситников, опыт и мастерство их растёт с каждым новым вигглером и, что особенно хотелось бы отметить, это их высокую ответственность и изобретательность.

Надо отметить значительное улучшение работы цеха. За последнее время существенно сократились задержки с изготовлением оборудования с их стороны, большая заслуга в этом основных изготовителей вигглера — технолога Гагариной С.Г., нач. цеха Моргунова В.Г., мастера механиков Стрельникова В.В., мастера слесарей Семенову В.Г., нач. производства Чиркова Б.Ф., слесаря Скареднова Н.И. Каждый ответственно подходит к выполнению работы с пониманием того, что только хорошо выполненная работа может дать нам перспективу на будущее.

— *Каждый вигглер — это «штучное изделие»?*

— Каждый накопитель имеет свои особенности. Чтобы «врезать» вигглер в уже существующую машину, нужно много учесть и специально подстраиваться. Кроме самого магнита в криостате мы поставляем на накопитель вакуумные камеры и другое необходимое оборудование, которое тоже должно быть сделано не менее качественно. Многие современные технологии у нас в институте достаточно хорошо освоены, так, сейчас нам не стыдно за наши вакуумные камеры.

КЕК — это японская национальная лаборатория по физике высоких энергий. Она расположена примерно в 70 км к северу от Токио и в 8 км от центра научного городка Цукуба. Лаборатория была основана в 1971 году. В 1997 году, после объединения с Институтом ядерных исследований и Мезонной лабораторией Токийского Университета, лаборатория получила новое название — Организация ускорителей высоких энергий. Однако после реорганизации японцы, со свойственным им консерватизмом, сохранили известную уже во всем мире аббревиатуру — КЕК. Лаборатория занимает площадь более 1.5 кв.км, а общая площадь всех помещений более 160 тыс. кв. м. Персонал КЕКа составляют около 700 человек, из которых половина — научные сотрудники. КЕК был основан под эгидой Министерства образования, науки и культуры (Монбушо), как межуниверситетская исследовательская организация, в которой будут вести свои исследования в области физики высоких энергий сотрудники, студенты и аспиранты всех японских университетов. В последние годы заметно желание руководства КЕК приобрести статус международной лаборатории, нечто вроде азиатского ЦЕРНа. На сегодняшний день в состав КЕКа входят: Институт исследований ядра и частиц (IPNS), Института изучения структуры материалов (IMSS), Лаборатория ускорителей и прикладных исследований, а также инженерный отдел и администрация. Основными ускорительными установками, на которых базируются исследовательские программы, являются протонный синхротрон с энергией 12 ГэВ (PS), фотонная фабрика и электрон-позитронный коллайдер Тристан-В или В-фабрика. PS был построен в 1977 году. С 1978 года и по сей день на нем ведутся физические эксперименты. Совсем недавно было завершено строительство специального нейтринного канала, пучок нейтрино из которого пройдя сквозь

толщу земли 500 км должен попасть в подземную лабораторию Камиоканде, где установлен гигантский водяной детектор для регистрации этих частиц. Этот проект направлен на раскрытие одной из самых интригующих загадок современной физики — существуют ли осцилляции

Б. Шварц

КЕК: сотрудничество и перспективы

нейтрино. Фотонная фабрика — это накопительное кольцо электронов с энергией 2.5 ГэВ и большим числом каналов синхротронного излучения. Область исследований, проводимых на фотонной фабрике как государственными, так и частными лабораториями, простирается от фундаментальных проблем физики твердого тела и биохимии до прикладных проблем материаловедения и микроэлектроники.

История взаимоотношений ИЯФ и КЕК уходит «в глубь веков». Старожилы ИЯФ, например, могут вспомнить нынешнего директора IPNS, проф. С.Ямада, который в 1973 году, будучи ещё молодым аспирантом, провел девять месяцев в лаборатории А.П.Онучина, изучая пропорциональные камеры, и даже вместе со всеми выезжал копать картошку в подшефный совхоз. При встрече в КЕК он с удовольствием вспоминал свою работу в ИЯФ и демонстрировал знание русского языка, который не забыл за много лет. Однако реальное сотрудничество с этой японской лабораторией началось лишь в 90-е годы. В этой статье я хотел бы сосредоточиться только на одном проекте — детектора BELLE для В-фабрики, работа над которым ведется с 1993 года. В 1998 году этот детектор был полностью собран и начал работать. За мечу сразу, что совместная работа ведется и по другим направлениям

— в 1996-97 годах был успешно выполнен контракт на поставку 900 корректирующих магнитов для накопителя TRISTAN-B, изготовлено несколько однокоординатных детекторов синхротронного излучения, физики ИЯФ участвуют в работах по проекту японского линейного коллайдера (JLC). В 1995 году во время визита генерального директора КЕК профессора Х.Суговара в ИЯФ было подписано Соглашение о сотрудничестве, в рамках которого ведутся совместные работы как в области физики элементарных частиц, так и в области ускорительной физики. Официальное название проекта, о котором пойдет речь, «Изучение CP-нарушения в распадах В-мезонов». Нарушение CP или, по-простому, зарядово-пространственной четности, было открыто в 1964 году в распадах нейтральных К-мезонов и до настоящего времени нигде, кроме как в К-мезонных распадах, не наблюдалось. Это явление вызвало вначале заметное замешательство теоретиков, так как было совершенно непонятно, зачем оно нужно природе. Можно вспомнить, что при проектировании и строительстве ВЭПП-2М в начале 70-х годов, одной из главных его задач (а может быть и самой главной) считалось исследование CP-несохраняющих распадов каонов в предельно чистых и симметричных условиях, которые обеспечивает методика встречных пучков. Насколько я помню, А.М.Будкер высказывал подозрение, что в обычных экспериментах с фиксированной мишенью может существовать какой-то незамеченный фон или влиять на результат изначальная несимметрия эксперимента (и мишень, и пучок состоят из вещества). Правда, последний аргумент теоретики всегда решительно отвергали. С развитием теории эволюции Вселенной (Модель Большого взрыва) стало понятно, что несохранение CP-чётности не просто курьез, а чрезвычайно важный закон природы, без которого во Вселенной к на-

стоящему моменту не осталось бы вещества, включая и нас с вами. Модель японских физиков М.Коба-яши и Т.Маскава, выдвинутая в 1973 году, позволила описать СР-нарушение в рамках современной теории электро-слабых взаимодействий. Тем не менее здесь остаётся ещё много загадок и изучение этого явления — сейчас одна из самых актуальных задач физики элементарных частиц. Вот почему в этом году в обстановке жесткой конкуренции начинаются эксперименты сразу на двух установках со встречными электрон-позитронными пучками, предназначенных специально для изучения упомянутого эффекта в распадах В-мезонов. Одна из этих установок находится в КЕК, а другая — в СЛАК (США). История нашего участия в проекте BELLE началась в апреле 1992 года в солнечной Калифорнии, в Стенфордском университете, где на конференции по В-фабрикам мы встретились с руководителем калориметрической группы из КЕК д-ром Масаки Фукушимой. Он проявил большой интерес к нашим работам с кристаллами CsI, и мы договорились о встрече в Новосибирске. Действительно, летом того же года М.Фукушима приехал в Новосибирск. После многочисленных обсуждений и экскурсии по институту он предложил нам принять участие в проекте детектора для В-фабрики в КЕК. Одним из очень важных и дорогих элементов детектора (в последствии он получил имя BELLE) должен был стать электромагнитный калориметр с высоким энергетическим и пространственным разрешением, предназначенный для регистрации гамма-квантов и электронов. Калориметр BELLE состоит из 8736 счетчиков, каждый из которых содержит сцинтилляционный монокристалл йодистого цезия (CsI) массой около 5 кг, два кремниевых фотодиода для регистрации сцинтилляционной вспышки и предварительный усилитель сигнала с фотодиодов, размещенный на заднем торце кристалла. Полная масса кристаллов составляет около 40 тонн. На сегодняшний день это

самый большой кристаллический калориметр в мире. К этому времени в нашем институте был уже накоплен большой опыт использования таких кристаллов в экспериментах по физике вы-соких энергий и, что может быть ещё важнее, было налажено эффективное взаимодействие с производителями кристаллов — Харьковским НПО «Монокристалл». В это время уже начал работать калориметр КМД-2 (около 2.4 т кристаллов), было завершено производство кристаллов для торцевого калориметра детектора КЕДР (3.5 т), получены практически все 3.8 тонны кристаллов для калориметра детектора WASA (Упсала, Швеция) и начато изготовление счетчиков для него. Таким образом, предложение японских коллег было весьма привлекательным, давая возможность заработать заметное количество денег для института и, одновременно, реализовать наши методические разработки и идеи. Первоначально предполагалось, что ИЯФ поставит около одной трети необходимого количества кристаллов, основная же часть их должна была поступить из Китая (Шанхайский институт кристаллов) и небольшую долю предполагалось закупить у французской фирмы «Крисматек». Было впечатление, что наши японские коллеги, наслышавшись о ситуации в России, были совсем не уверены, что ИЯФ в состоянии выполнить этот заказ, да и из нас никто бы не дал голову на отсечение, ручаясь за это. Жизнь, однако, расставила всё по своим местам. У китайцев на разработку технологии ушло примерно три года, в то время как из ИЯФ кристаллы шли достаточно регулярно, хотя и медленнее, чем планировалось. В результате наш институт поставил в КЕК около 2/3 всех кристаллов. Работы по сотрудничеству с КЕК возглавил А.Е.Бондарь и, в значительной степени, благодаря его усилиям и энергии удавалось в течение четырёх лет преодолевать все трудности и регулярно поставлять кристаллы в КЕК.

В 1995 году проект BELLE был включен в Программу научно-тех-

нического сотрудничества между РФ и Японией, принятую межправительственной российско-японской комиссией по НТС. В начале работа представлялась нам следующим образом: получаем из Харькова кристаллы после станочной обработки, при необходимости доводим размеры до указанных в ТУ (конечно, это было возможно только, если начальные размеры были больше номинальных, но харьковчане старались делать кристаллы немного в «+»), затем боковые грани обрабатываются для получения максимального световыхода при минимальной неоднородности. Готовые кристаллы покрываются отражателем из пористого тефлона и помещаются в контейнер из алюминизированного лавсана, после чего упаковываются в ящики и отправляются в КЕК. Довольно скоро стало понятно, что необходимо заниматься и сырьем для производства кристаллов. Дело в том, что единственный в бывшем СССР завод, на котором производится необходимая для производства кристаллов соль йодида цезия особой чистоты, находится в Новосибирске. К сожалению, харьковчанам не удалось наладить оперативный контакт с заводом редких металлов (НЗРМ), да и завод не смог самостоятельно организовать транспортировку соли в Харьков. Естественные попытки использовать железную дорогу провалились. Отправленный контейнером груз примерно 2 месяца колесил по бесконечным стальным магистральям нашей необъятной Родины, прежде чем достиг пункта назначения. Любознательный читатель легко вычислит, что, двигаясь со средней скоростью 30 км/час, наш контейнер мог за это время обогнуть Землю по экватору. Строго говоря, мы не можем исключить этого, так как все наши обращения к железнодорожникам с целью установления хотя бы приблизительных координат груза остались безрезультатными. Так как мы были связаны жесткими сроками контракта, доставку соли в Харьков взял на себя ИЯФ.

Окончание в следующем номере.



Обладатель Кубка ИЯФ Алексей Васильев.

Следуя устоявшейся многолетней традиции в третье воскресенье марта состоялся юбилейный XXV Новосибирский сверхмарафон. Эта гонка входит в зачёт Кубка марафонов России и поэтому вызывает большой интерес не только у жителей нашего города, но и у иногородних участников. Вот и в этом году на старт вышло несколько человек из соседних областей.

Несколько слов о дистанции гонки. Она представляет собой 35-ти километровый круг с перепадом высот 765 метров, высота максимального подъёма 58 метров. Мужчинам предстояло преодолеть два круга, женщинам — один. Можно себе представить, какого напряжения моральных и физических сил, какого мужества требует эта гонка от её участников! Приятно отметить, что таковых в нашем институте нашлось 19 человек: 16 мужчин и 3 женщины.

Погода в день гонки словно смилостивилась над её участниками: стоял приятный, лёгкий морозец, а всю светившее солнышко придавало гонщикам дополнительные силы. Сама лыжня, несмотря на обильные снегопады и большую протяжённость трассы, тоже была в неплохом состоянии, в чём заслуга инициативной группы организаторов — Геннадия Асташкина (Оп. з-д), Валерия Ищенко и Владимира Кононова (оба из ИЯФ), которые всю зиму поддерживали дистанцию в хорошем состоянии.

С самого старта вперёд ушла группа участников, в которой оказался и сотрудник лаб. 3-1 Алексей Васильев, он сумел продержаться среди лидеров до самого конца гонки и занял высокое 3-е место! Хочу заметить, что такого успеха Алексей добивается уже второй год подряд, что, несомненно, говорит об отличной физической подготовке и незаурядных способностях спортсмена.

Победу же в сверхмарафоне одержал Игорь Кулюкин, сотрудник УВДТ. Кроме Алексея Васильева, хороших результатов добились также и другие спортсмены нашего института, занявшие призовые места в своих возрастных группах, это: Александр Самсонов (I место), Владимир Кононов (I место), Владимир Бруянов (II место). Необходимо также отметить и заведующего лаб. 3-2 А.П. Онучина, который оказался самым старшим участником гонки, дошедшим до финиша! Всего же до финиша добрались 21 женщина и 51 мужчина.

Хочется выразить признательность заместителю председателя лыжной секции Анатолию Путьмакову и Владимиру Чужбинину, которые сняли видеofilm об этой гонке (кстати, посмотреть его могут все желающие).

Всего лишь через неделю после сверхмарафона состоялся Мемориал Соболева-Терлецкого, который проводится под эгидой ИЯФ. Эта гонка стоит особняком в лыжном календаре и по существу имеет статус областного уровня. Поэтому подготовка к ней началась ещё за месяц до старта. Оргкомитет, возглавляемый Валерием Дмитриевичем Ищенко, проделал огромную работу: нужно было найти спонсоров, закупить продоволь-

А.Соколов — капитан сборной ИЯФ по лыжам

Лыжный сезон позади

Весна в этом году выдалась неласковой. По-зимнему суровые морозы продержались практически до самого конца марта. Но даже такая суровая погода не могла удержать спортсменов-лыжников и истинных любителей лыжных прогулок дома. Этому способствовал и очень насыщенный календарь лыжных соревнований, из которых стоит выделить два старта — несомненно, являющихся украшением лыжного сезона. Речь идет о двух марафонах — Новосибирском сверхмарафоне и Мемориале Соболева-Терлецкого.

ствии, сформировать бригады, обслуживающие соревнования, подготовить специальную технику для прокладки лыжных трасс.

Накануне старта шла активная подготовка лыжных трасс и стартовой поляны. Весь день тракторист Александр Самсонов и моторист Владимир Блохин на специальном ретраке и снегоходе «Буря» «накатывали» дистанцию. Благодаря этому старт прошел без каких-либо неприятных происшествий, хотя одновременно вышло 137 участников! Сама дистанция была проложена по 10-ти километровому кольцу, которое участникам, в зависимости от пола и возраста, предстояло пройти от 3-х до 5-ти раз. Каждый раз, завершая очередной круг, гонщики проходили мимо



Анна Гусева на дистанции 10 километров.

пункта питания, где не покладая рук трудилась бригада «кормильцев» в составе: Сергея Крамарова, Вячеслава Поросева, Валентины и Марии Кутювенко. Выпив стаканчик теплого морса или бульона, гонщики с новыми силами продолжали движение к финишу, где их встречала судейская бригада, возглавляемая Владимиром Лагутиным и Виктором Шараповым. Несмотря на большое число участников, судейская бригада отработала четко и слаженно, не допуская грубых ошибок.

В долгой и упорной борьбе победу в гонке опять одержал Игорь Кулюкин, который, победив в обоих Новосибирских марафонах, доказал, что является на сегодня сильнейшим марафонцем города.

Хочется отметить и ияфовских лыжников, прежде всего, Александра Самсонова, которому не хватило всего лишь мгновенья для того, чтобы попасть в десятку сильнейших. Кроме него отличился и Владимир Кононов, который вновь занял первое место в своей возрастной группе.

Всем победителям возрастных групп были вручены ценные призы, предоставленные постоянным спонсором наших соревнований ОАО «Белон», а также фирмой VIP и её директором Владимиром Ивановичем Прокопенко. Материальную поддержку оказал этим соревнованиям и профсоюзный комитет нашего института, за что мы очень благодарны его председателю С.Ю. Таскаеву.

Следующая за марафоном неделя была, пожалуй, даже перенасыщена стартами. В среду, 31 марта состоялась традиционная ияфовская вечерняя гонка. Она пользуется большой популярностью не только среди лыжников ИЯФа, но и всего города. Но в этом году массовость превзошла все ожидания — на старт вышло 99 человек! Дистанция проходила по ияфовской 5-ти километровой освещённой трассе: мужчины бежали два круга, женщины и дети — один.

Гонка получилась не легкой — трасса была влажной, а скорости — не особенно большими. У женщин победила представительница СКА Юлия Костенко, у мужчин — студент ФФ НГУ Константин Видьма. Среди ияфовских спортсменов лучшими были Ольга Лит-

винова (Лаб. 6) и Александр Самсонов (управление). Хочется отметить также и ияфовских победителей в возрастных группах: Вячеслав Сунцов (ОГЭ), Валерий Ищенко (ФВЭ) и Владимир Кононов (управление).

На той же неделе, в субботу 3 апреля состоялась ияфовская эстафета с женским этапом. На старт вышли семь команд от разных подразделений ИЯФ. Особо хочется отметить команды ФВЭ

свободным стилем по системе Гундарссона. Победу в своих возрастных группах одержали Алексей Васильев, Александр Самсонов, Валерий Ищенко и Владимир Кононов.

На этом лыжный календарь ИЯФ был исчерпан. Настало время подводить итоги сезона и награждать победителей. Первенство по итогам сезона определяется по трем номинациям: лучший лыжник по итогам Кубка ИЯФ, самый стабильный лыжник по итогам Кубка Шехтмана и лучшая команда по итогам командного Кубка ИЯФ. В этом сезоне победили следующие спортсмены: обладателем Кубка ИЯФ стал Алексей Васильев (ФВЭ), Кубка Шехтмана — Владимир Кононов (управление) и командный Кубок завоевала команда физики высоких энергий, в чём немалая заслуга её капитана Валерия Ищенко. Более подробную информацию о всех вышеперечисленных соревнованиях и итогах Кубков вы можете найти в Интернете по адресу: <http://www.inp.nsk.su/ski-inp/>



Победители семидесятикилометрового сверхмарафона (слева направо) И. Кулюкин, 1 место — УВДТ, А. Максимов, 2 место — УВДТ, А. Васильев, 3 место — ИЯФ.

и НКО, которые участвовали в эстафете двумя составами. С первого этапа развернулась борьба за лидерство между командами управления, НКО, плазмы и ФВЭ. Казалось, что больше уже никто не сможет вмешаться в неё. Но неожиданно сборная Лаб.6-ОГЭ усилиями семейного тандема Ольги и Леонида Литвиновых сумела обойти несколько команд и выйти к концу третьего этапа на второе место. На последнем этапе развернулась упорная борьба за первое место между представителем управления Владимиром Кононовым и сборной Лаб.6-ОГЭ Вячеславом Сунцовым. В результате победу одержала сборная команда Лаб.6-ОГЭ, второе место за управлением, а третьим финишировал представитель команды ФВЭ.

На следующий день в воскресенье лыжники ИЯФ закрывали сезон. В виду загруженности календаря на совместном совещании бюро лыжных секций ИЯФ и СО РАН было решено провести в один день закрытие лыжного сезона ИЯФ и СО РАН. Для того, чтобы сделать соревнования более интересными, было решено в 9 часов провести гонку на 5 км классическим стилем, а затем в 11 часов гонку на 10 км

В заключение хотелось бы немного поделиться впечатлениями о прошедшем лыжном сезоне. Прежде всего нужно отметить рост числа людей, участвующих в соревнованиях и просто катающихся на лыжах в своё удовольствие. Чтобы это почувствовать, можно было прийти на лыжную базу в любой их выходных дней. Практически всегда, кроме разве что самых морозных дней, на лыжне было много гуляющих поодиночке или целыми семьями и компаниями людей. Автомобильная стоянка возле базы не вмещала приезжающих сюда со всех концов города автомашин. Пожалуй, уже можно сказать, что лыжный спорт пережил кризис и сейчас постепенно начинает возрождаться. В наше трудное время это не может не радовать. Ведь для России, а тем более для Академгородка, он всегда был спортом номер один.

К счастью, администрация и профсоюзный комитет нашего института понимают важность занятий спортом и всемерно поощряют это. Хочется верить, что в будущем сезоне наше сотрудничество продолжится и будет ещё более тесным. Мы очень на это надеемся.

Фоторепортаж В. Кутювенко.



Для начала решено было провести встречу с профессиональным стилистом-визажистом Анной Горелухиной (она представляет Дом красоты Академгородка). Аню попросили рассказать о том, как правильно выбрать цветовую гамму одежды, и показать, как сделать наиболее выигрышный макияж. Выглядеть хорошо женщинам хочется всегда, но весной почему-то особенно. А чтобы добиться полной неотразимости, нужно прежде всего знать к какому типу — весеннему, летнему, осеннему или зимнему — относится ваша внешность. Для этого необходимо провести тестирование, которое поможет выяснить какие цвета — теплые или холодные — и какие оттенки наилучшим образом подчеркивают вашу индивидуальность. Эти особенности в первую очередь учитывают стилисты, разрабатывая имидж для своих моделей. С помощью набора специально подобранных шарфов, пригласив желающих прямо из зала, Аня Горелухина продемонстрировала в чём состоит различие теплых и холодных цветов, рассказала о характерных особенностях каждого типа внешности, показав это на конкретных примерах. Судя по тому, как заинтересованно обсуждали

Быть или не быть

женскому клубу в ИЯФ?

Вступила в свои права весна — а это, как известно, время перемен. Идея создания в нашем институте женского клуба, робко витавшая в воздухе, обрела силу и нашла своих сторонников, вернее, сторонниц.

присутствовавшие на этой встрече женщины к какой цветовой гамме относится внешность участниц «эксперимента», эта тема актуальна для многих из них.

После того, как с помощью специалиста, разобрались в основах цветотипов, перешли к следующему, не менее интересному действию:

Аня показала как правильно, с учетом особенностей лица, наложить дневной макияж. С одной стороны, это процесс сугубо индивидуальный, с другой — требующий не только навыков, но и определенных знаний и правил. Каждая женщина по собственному опыту знает, что такое удачно подобранный макияж и как от него зависит весь внешний облик. Поэтому вопросов задавали множество на каждом этапе этого в высшей степени ответственного процесса. И стилист-визажист отвечала на каждый из них очень подробно, давала советы, как сделать лучше в каждом конкретном случае. А в том, что советы эти правильные и им можно следовать, женщины убедились, наблюдая, как симпатичная модель, которую Аня пригласила из зала, становится ещё моложе и привлекательнее, как под умелыми руками её лицо приобретает все большую выразительность. Встречу предполагалось закончить в течение часа, однако едва хватило двух —

женщины интересовались мнением специалиста о качестве отечественной косметики, в изобилии появившейся на прилавках, консультировались по поводу своих проблем.

Эта встреча показала, что идея создания в нашем институте женского клуба вполне жизнеспособна и даже актуальна — несмотря на



Фото Г. Хлестовой.

напряженный ритм нашей жизни и все её сложности, потребность в общении сохраняется. Инициаторами создания такого клуба выступают редакция «Энергии-Импульс» и профком. Чтобы клуб «задышал», нужны инициативные люди, готовые непосредственно участвовать в решении организационных вопросов, и нужны интересные идеи, темы для проведения очередных клубных встреч. Со всеми предложениями обращайтесь в редакцию «Э-И», телефон 49-80.

Э, \vec{p} — SCIENCE

А. Фридман О. Хоружий

Предсказание и открытие гигантских вихрей в галактиках

Окончание. Начало в «Э-И» N3-4

Положение центров стационарных вихрей

Итак, мы показали, что гигантские антициклонические вихри являются полноправной составляющей крупномасштабной структуры спиральных галактик. Однако интерес к галактическим вихрям вызван не только фактом их существования, но и той уникальной информацией, которую можно получить из анализа этих структур. Замечательное свойство гигантских антициклонов — зависимость положения их центров (относительно спиральных рукавов) от механизма образования волновых структур (см. рис.5).

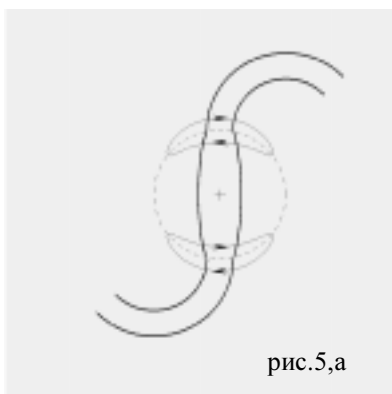


рис.5,а

Причину такой зависимости легко понять уже из общих соображений. Действительно, существование стационарных некруговых движений требует определенного баланса сил. На распределение последних в свою очередь оказывает существенное влияние распределение плотности — спиральный узор,

и то, какие силы — самогравитации или давления, — преобладают. Чтобы понять общие закономерности, задающие азимутальное положение вихрей относительно спиральных рукавов, рассмотрим уча-



рис.6,а

стки, где газ движется строго радиально (рис.6а). Распределение удельного (на единицу массы) углового момента, определяемого в нулевом приближении скоростью вращения диска ($M = \Omega R^2$), неоднородно по радиусу. В результате переход газовой частицы на другой радиус требует изменение ее момента, т.е. азимутальные силы, действующие на частицу, должны её «подкручивать» или наоборот «притормаживать» в зависимости от того, движется она в сторону увеличения или уменьшения момента вращения диска. На рисунке показано направление сил, действующих на частицу для случая, когда момент вращения растет с радиусом.

Азимутальная сила F_ϕ , действующая на частицу газа, определяется угловыми составляющими градиентов давления P и гравитационного потенциала Φ , вызванных волной

плотности, а также, возможно, внешней приливной силой $F_{\text{внеш}}$, действующей на газ при наличии у галактики спутника или сильного бара.

Следовательно, если преобладающими являются силы давления, баланс сил, необходимый для стационарного существования антициклонического вихря, будет достигаться при расположении его центра в максимуме возмущенного дав-

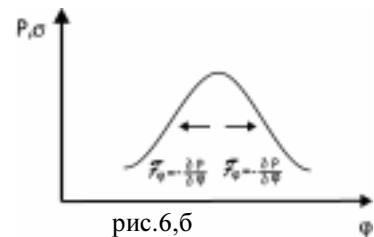
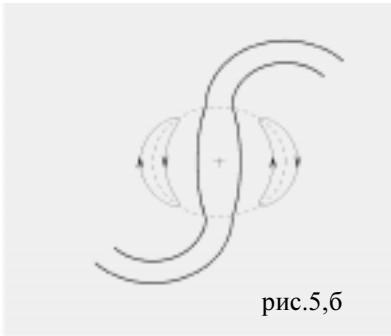


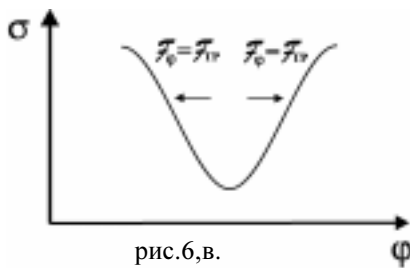
рис.6,б

ления (рис.6,б). Поскольку положение максимума давления в спиральной волне совпадает с положением максимума плотности, это означает расположение вихря на спиральном рукаве (рис.5,а). Та же закономерность хорошо известна в метеорологии: с антициклонами в земной атмосфере связаны области повышенного давления, а с циклонами — пониженного. Если плотность газа на некотором участке диска возрастет, его остальные части будут испытывать дополнительное гравитационное притяжение к этому участку, т.е. возмущенная гравитационная сила направлена в сторону увеличения плотности (рис.6,в). Следовательно, в случае гравитационной природы спиральной волны и преобладании сил самогравитации цен-

тры антициклонов должны располагаться в минимуме плотности, т.е.



между спиральными рукавами (рис.5,б). Если же в области коротации существенное влияние оказывают внешние приливные силы, центры антициклонов не совпадают ни с максимумом, ни с миниму-



мом плотности (рис.6,в).

При убывании удельного момента вращения в области коротации с удалением от центра (это возможно при очень резком падении угловой скорости вращения) направление азимутальной силы, необходимой для стационарного существования антициклона, меняется на противоположное по сравнению с изображенным на рис.6,а. Соответственно обратным будет и расположение центров вихрей относительно спиральных рукавов

Имеющиеся к настоящему времени сведения о закономерностях проявления галактических антициклонов полностью согласуются с результатами приведенного выше анализа. Лабораторное моделирование на мелкой воде проводилось для случая, когда в области радиуса коротации наблюдалось резкое падение скорости вращения, что соответствует случаю убывающего с радиусом углового момента $dM/dR <$

0. Поэтому вихревые структуры наблюдались между спиральными. Численное моделирование показало, что и в газовых галактических дисках с кривыми вращения, имеющими резкий скачок угловой скорости, вихревые структуры находятся между спиральными рукавами плотности. Именно между спиральными рукавами были обнаружены антициклоны в галактике Mkn ~1040. Численное моделирование гидродинамической неустойчивости, приводящей к генерации спиральных волн в дисках с достаточно плавными кривыми вращения, показало, что вихревые структуры возбуждались одновременно со спиральными рукавами и располагались на них.

Задача о замкнутых бананоподобных траекториях звезд в гравитационном поле спиральной волны, соответствующих вихревым структурам в звездном диске, была рассмотрена Контопулосом. Согласно его работе, при малых амплитудах спирального гравитационного потенциала в дисках, момент которых растет с радиусом, вихревые структуры должны находиться между спиральными. Таким образом, положение вихрей в звездных и газовых самогравитирующих дисках совпадает.

Естественно может возникнуть такой вопрос. Если вихревые структуры существуют во всех галактиках, где имеются спиральные волны плотности, и их обнаружение даёт столь ценную информацию о динамических свойствах галактики, почему мы можем назвать лишь один-два объекта, где указание на существование таких структур следует из наблюдений? Причина — в несоизмеримости усилий обнаружения вихревых структур по сравнению со спиральными. В первом случае необходимо решить целый комплекс задач как чисто наблюдательных, так и связанных с методами обработки полученных данных. В частности, необходимо определить такой важный фундаментальный параметр, как радиус коротации спирального узора.

Если спиральная структура обязана своим появлением гидродина-

мической неустойчивости на скачке скорости, положение радиуса коротации совпадает с положением скачка. Однако, если кривая вращения галактики гладкая, радиус коротации не может быть найден независимо. Было показано, что в последнем случае для его определения и обнаружения гигантских антициклонов требуется восстановить поле полного (трекомпонентного) вектора скорости в газовом диске галактики.

Как определить три компоненты скорости из одной наблюдаемой?

Проблема восстановления полного вектора скорости связана с тем, что в астрономии для далёких объектов мы можем напрямую определять скорость только по доплеровскому смещению в наблюдаемых спектральных линиях. Таким образом можно узнать только одну компоненту скорости — вдоль луча зрения. Для восстановления всех трех компонент скорости нужна модель.

Исследования полей скоростей спиральных галактик показали, что возмущенные скорости в спиральных рукавах значительно меньше круговых. Это позволяет успешно применять для анализа линейную теорию.

В соответствии с линейной теорией в дисках галактик должны возникать волны плотности с фиксированным значением азимутального числа m . При этом можно показать, что все три компоненты скорости должны давать вклады в различные Фурье-гармоники наблюдаемой лучевой скорости. Основная идея восстановления поля полного вектора скорости очень проста: определить из наблюдений коэффициенты Фурье поля лучевой скорости и, используя простейшие алгебраические соотношения, найти все три компоненты скорости газа в галактике. В рамках той же теории оказывается, что фазовые соотношения между различными компонентами скорости скачком меняют свой характер в области коротации. Поэтому восстановление всех трёх компонент скорости автоматически ре-

шает проблему определения радиуса коротации спирального узора.

Вклады различных составляющих скорости газа в галактике в азимутальные Фурье-гармоники наблюдаемой лучевой скорости распределены следующим образом:

– систематическая скорость галактики дает вклад в нулевую гармонику наблюдаемой скорости;

— скорость чисто кругового движения — в коэффициент при косинусе первой гармоники;

– радиальные и азимутальные компоненты скорости вносят вклад в гармоники $(m-1)$ и $(m+1)$;

– вертикальная скорость даёт вклад в m -ю гармонику.

Таким образом, если галактика имеет чистую m -рукавную структуру, то в наблюдаемом по лучу зрения поле скоростей кроме нулевой и первой гармоники должны присутствовать гармоники $(m-1)$, m и $(m+1)$. В действительности, если структура не чисто m -рукавная, но соответствующая мода преобладает, можно ожидать преобладания указанных гармоник в наблюдаемом поле лучевых скоростей. Это дает наблюдательный тест основных предположений, используемых в методе восстановления поля скоростей.

Вышесказанное позволяет сразу решить задачу по восстановлению трех компонент скорости из наблюдаемого поля лучевой скорости для галактик с числом рукавов $m \geq 3$. Как легко видеть, здесь отличными от нуля являются восемь коэффициентов ряда Фурье, которых оказывается достаточно для определения на каждом радиусе восьми неизвестных функций: $V_s, V_{\text{rot}}, C_r, C_\phi, C_z, F_r, F_\phi, F_z$ (C_i и F_i — амплитуда и фаза соответствующей компоненты скорости). В случае двухрукавной галактики для тех же восьми неизвестных функций имеется только семь коэффициентов ряда Фурье: вклады кругового движения и возмущенных скоростей в плоскости диска в косинус первой гармоники интерферируют между собой. Требуется

ещё одно уравнение, связывающее между собой неизвестные функции.

Было предложено четыре независимых друг от друга способа восстановления трех компонент скорости для двухрукавных галактик. В первых двух использованы соотношения между фазами неизвестных функций, получаемых из уравнений гидродинамики лишь при одном предположении: возмущение имеет вид волны с азимутальным числом $m = 2$. Третий способ предполагает плавное поведение амплитуд возмущенных скоростей. Четвертый заключается в использовании кривой вращения, получаемой из распределения масс в галактике. Остается единственный вопрос: дадут ли различные, независимые друг от друга способы один и тот же результат для реальных галактик?

Обнаружение антициклонов в спиральных галактиках

Хотя все физические теории опираются на экспериментальную базу, теория и эксперимент развиваются, как правило, не синхронно. В нашем случае это проявилось в том, что наблюдательная задача по поиску вихревых структур была поставлена раньше, чем появились технические предпосылки её выполнения.

Первые попытки анализа полей скоростей газа в галактиках с целью поиска вихрей были предприняты по имеющимся данным, по одномерному распределению скоростей газа при различных ориентациях щели спектрографа относительно оси галактики. Но этот подход был обречён на неудачу: для решения поставленной задачи требовались оценки скоростей газа с точностью до нескольких километров в секунду (при скорости вращения газового диска галактики 200—300 км/с) для многих тысяч точек диска. Только в последние годы ситуация изменилась. В САО РАН (при сотрудничестве с французскими коллегами из Марсельской обсерватории) был создан высокоточный оптический прибор — сканирующий интерферометр, основой которого является хорошо известный в оптике интер-

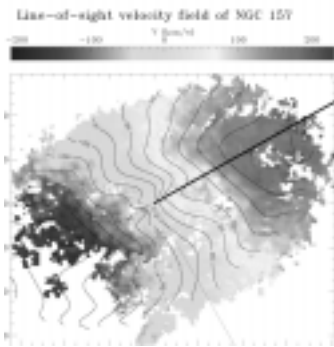
ферометр Фабри-Перо. Параллельно была выполнена кропотливая работа по составлению пакетов программ как для предварительной машинной обработки «сырых» наблюдательных данных, так и для анализа полученного поля скоростей газа. Это и позволило в конечном счёте добиться успеха.

К настоящему времени проведена обработка полей лучевой скорости и восстановление полного вектора скорости около десяти спиральных галактик. Среди них NGC~157, NGC~6148, NGC~1365, NGC~3893 и др. Во всех случаях независимые способы дали согласующиеся друг с другом результаты. Это позволило выйти на совершенно другой уровень доказательности полученных результатов. В астрономии невозможно «потрогать» изучаемые объекты или поставить на них эксперименты, как это делается в физике (за исключением ближайших объектов солнечной системы). Совпадение между собой результатов двух независимых друг от друга способов анализа наблюдательных данных может служить доказательством корректности используемой модели. В данном случае имеет место совпадение предсказаний четырёх независимых способов.

При ошибке определения одной скорости порядка 15 км/с и использовании более 10000 определений скоростей удалось детектировать амплитуды скоростей в спиральных рукавах — 20-30 км/с с точностью 2-5 км/с.

Восстановление скоростей позволяет решить сразу две классические задачи: определить радиус коротации и дать прямое доказательство волновой структуры наблюдаемых спиральных рукавов. Этот же метод позволил решить также ряд новых задач. Одной из важнейших является обнаружение новых структур в галактиках — гигантских антициклонов.

На рис.7,а,б для двух галактик NGC~157 и NGC~3893 приведены поля лучевых скоростей газа, а на рис.8,а,б — восстановленные на их



основании поля скоростей в плоскости газового диска в системе координат, вращающейся с угловой скоростью спирального узора. Если сам спиральный узор является стационарным или квазистационарным, то данное поле скоростей также будет стационарным, или достаточно медленно изменяющимся со временем. Как видно из этих рисунков, в обоих случаях вблизи радиуса коротации наблюдаются два хорошо выраженных антициклона. Именно такие антициклонические вихри были предсказаны на основании лабораторных экспериментов на мелкой воде. Центры антицикло-

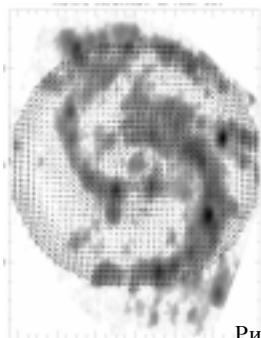


Рис.8а

нов находятся на радиусе коротации. Чтобы получить представление о расположении антициклонов относительно спиральных рукавов, на рис.~8 представлены также поля яркости соответствующих галактик, развернутые так, как если бы мы смотрели на галактику перпендикулярно плоскости диска. В обоих случаях центры антициклонов находятся между спиральными рукавами. Последнее означает, что для

данных галактик силы самогравитации в газе превышают силы гидродинамического давления. Обратим внимание на то, что скорости газа в спиральных ветвях направлены до радиуса коротации — в направлении к центру, после радиуса коротации — от центра галактик. Именно такое поведение скоростей и предсказывается теорией волн плотности.

Анализ, подобный представленному выше, пока может быть проведён лишь для очень небольшого числа галактик. Но он наглядно продемонстрировал большие возможности, которые открывает метод исследования фурье-компонент азимутального распределения лучевой скорости, когда для этого имеется достаточный массив наблюдательных данных.

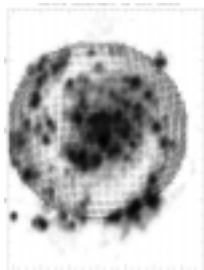


Рис.8б точный массив наблюдательных данных.

Очевидно, неверно было бы утверждать, что проблема спиральной структуры таким образом решена. Удалось лишь построить надежный «мостик» между наблюдениями и теорией. И теперь одна из первоочередных задач — построение компьютерных моделей, позволяющих описывать как наблюдаемое распределение яркости, так и распределение скорости в дисках спиральных галактик.

Заметим, что найденные нами структуры — гигантские антициклоны, можно назвать «линейными», поскольку они возникают при сколь угодно малой амплитуде возмущений, вызванных волной плотности. Имеющаяся в настоящее время точность наблюдений позволяет уверенно определять в некоторых случаях возмущения скорости на порядок меньшие по величине, чем амплитуды линейных колебаний — т.е. уже сейчас можно исследовать достаточно тонкие нелинейные возмущения скоростей. Это позволяет приступить к исследованию нелинейных процессов. Среди интерес-

ных явлений, предсказываемых нелинейной теорией галактических дисков, можно упомянуть аккреционный акустический дрейф и трехмерную крупномасштабную конвекцию, вызываемую квазистационарными волнами плотности. Наблюдательное подтверждение этих явлений представляет непростую задачу. Вместе с тем бурный прогресс техники наблюдений позволяет надеяться, что на открытие этих нелинейных потоков и структур понадобится меньше, чем семь лет, прошедших с момента предсказания гигантских антициклонов в галактиках до их обнаружения.

Эпилог

На этом заканчивается история предсказания и открытия гигантских антициклонов в спиральных галактиках. Несмотря на единство спирально-вихревой структуры, открытия спиралей и вихрей разделяют полтора столетия. Всё это время спирали блистают как «надводная часть айсберга», поражая астрономов многообразием и динамичностью своих форм. Вихри оказались «подводной» частью того же «айсберга», обнаружить которую не могли многочисленные телескопы на самых различных длинах волн. И одна из причин этого — в необходимости самого этапа предсказания на уровне лабораторного и численного моделирования, аналитического исследования, когда выявлялась природа и место локализации этих скрытых структур, а также методов проведения и обработки наблюдений.

В ходе многолетних усилий наблюдателей, интерпретаторов, теоретиков по поиску вихревых структур удалось на порядок повысить разрешающую способность 6 м телескопа САО при определении поля скоростей газовых дисков галактик и создать оригинальный метод восстановления из наблюдаемой лучевой скорости трехмерного поля скоростей. Анализ последнего позволяет теперь получить «динамический портрет» спиральных галактик, о чём мы не могли и мечтать в то время, когда приступали к этим исследованиям.