

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.Ломоносова**

---

**Научно-исследовательский институт ядерной физики  
имени Д.В.Скобельцына**

В.В.Варламов, Б.С.Ишханов

**ИГОРЬ БОРИСОВИЧ ТЕПЛОВ  
И РАЗВИТИЕ В НИИЯФ МГУ НОВЫХ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Препринт НИИЯФ МГУ № 2008-4/840

Москва 2008

**В.В.Варламов, Б.С.Ишханов**

**ИГОРЬ БОРИСОВИЧ ТЕПЛОВ  
И РАЗВИТИЕ В НИИЯФ МГУ  
НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Препринт НИИЯФ МГУ № 2008-4/840

Аннотация

Описана важная роль, которую сыграл Игорь Борисович Теплов в становлении и развитии в НИИЯФ МГУ новых информационных технологий в области обработки ядерных данных. Показано, что сочетание огромных массивов данных о ядрах, реакциях и распадах и развитого программного обеспечения для их обработки создает возможности для их превращения из средств информационного обеспечения исследований в новый оригинальный инструмент самих научных исследований.

**V.V.Varlamov, B.S.Ishkhanov**

**e-mail: varlamov@depni.sinp.msu.ru**

**IGOR BORISOVICH TEPLOV  
AND DEVELOPMENT IN THE SINP OF  
NEW INFORMATIONAL TECHNOLOGIES  
IN THE FIELD OF NUCLEAR-PHYSICAL DATA PROCESSING**

Preprint MSU SINP № 2008-4/840

Abstract

The important role played by Igor Borisovich Teplov in foundation and development in the MSU SINP of new informational technologies in the field of nuclear-physical data processing. It is shown that combination of great funds of data on nuclei and nuclear reactions and decays with advanced software for that information processing gives to one possibilities for their transformation from the instrument of research informational support to the real original instrument of scientific research themselves.

**В.В.Варламов, Б.С.Ишханов**

**ИГОРЬ БОРИСОВИЧ ТЕПЛОВ  
И РАЗВИТИЕ В НИИЯФ МГУ  
НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Хорошо известно, что основные научные интересы Игоря Борисовича Теплова были связаны с изучением механизмов ядерных со сложными частицами. Им и его учениками были созданы оригинальные методики для исследования таких реакций в широких энергетических и угловых областях вылетающих частиц. Глубокая физическая интуиция И.Б.Теплова, стремление видеть основные тенденции в развитии эксперимента обусловили его глубокий интерес не только к экспериментальным исследованиям и теоретическим расчетам, но и развитию новых информационных технологий в области ядерной физики.

Именно благодаря этой интуиции Игорь Борисович почти 20 лет тому назад активно поддержал идею создания в НИИЯФ Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ). Соответствующее предложение поступило в НИИЯФ из Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в связи с возникшей необходимостью включить в сферу деятельности международного сообщества работы по сбору, анализу, оценке, интерпретации и распространению фотоядерных данных. Такие работы применительно к нейтронным данным, ориентированные, прежде всего, на потребности ядерной энергетики, были начаты в США более 50 лет тому назад. Позднее в связи с появлением широкого круга проблем, связанных, в первую очередь, с необходимостью переработки ядерных отходов, такие работы начали проводиться на международном уровне и в области данных о реакциях под действием заряженных частиц и тяжелых ионов. Впоследствии научным сообществом была осознана необходимость включения в сферу этой деятельности и данных под действием фотонов низких и средних энергий.

Обращение Секции ядерных данных МАГАТЭ к НИИЯФ базировалось на большом опыте в проведении экспериментальных исследований электромагнитных взаимодействий, которые к тому времени были выполнены в Отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер (тогда – Сектор фотоядерных реакций) на базе уникального по своим параметрам циклического электронного ускорителя – бетатрона с максимальной энергией 30 МэВ. Реализация на этом ускорителе оригинальной, не имевшей аналогов системы изменения энергии электронов, создание целого ряда уникальных высокоэффективных детекторов различных частиц, разработка совместно с факультетом ВМиК МГУ прогрессивной автоматизированной системы обработки экспериментальных данных, основанной на новейших математических методах, проведение целого ряда оригинальных теоретических исследований процессов взаимодействия  $\gamma$ -квантов с ядрами сделали НИИЯФ одним из лидеров такого рода исследований не только в СССР, но и в мире.

Организация в НИИЯФ Центра по обработке фотоядерных данных, включенного в международное сотрудничество, открывала принципиально новые возможности для проведения не только электромагнитных, но и ядерно-физических исследований в целом на качественно новом современном уровне. Это было обусловлено, с одной стороны, подключением к новому направлению работ с ядерно-физической информацией квалифицированных и авторитетных специалистов, а с другой – доступом специалистов Центра, а через него и специалистов института и МГУ в целом ко всем фондам международного сотрудничества в области ядерной физики.

С современных позиций можно отметить, что сочетание огромных массивов данных о ядрах, реакциях и распадах, накапливаемых мировым сообществом в электронном виде, и развитого программного обеспечения для их обработки способствует их превращению из средств информационного обеспечения исследований микромира в новый оригинальный инструмент самих исследований. Возникает возможность формулировать вопросы, которые без таких новых информационных технологий просто не приходили бы исследователям в голову, и, следовательно, при определенных условиях получать ответы, которые также никому в голову не приходили. А такие ответы являются, по существу, новыми данными, новой информацией, а, в конечном счете, и новым знанием. Но 20 лет тому назад такую перспективу могла рисовать только физическая интуиция Игоря Борисовича. В то время все компьютерные расчеты проводились в НИВЦ МГУ на ЭВМ БЭСМ-4 и БЭСМ-6, а в экспериментальном Секторе фотоядерных реакций имелся лишь один штатный программист. Но Игоря Борисовича активно поддержали и другие видные ученые – один из мировых лидеров тех лет в исследованиях электромагнитных процессов профессор Валериан Григорьевич Шевченко, признанный авторитет в области работ с информацией академик Андрей Николаевич Тихонов, ректор МГУ Анатолий Алексеевич Логунов. Именно благодаря их поддержке удалось оснастить вновь созданный ЦДФЭ (тогда – Группа анализа фотоядерных данных) современной в то время ЭВМ ЕС-1022, что



являлось неперенным условием участия в работах международного сообщества по обработке ядерных данных. Только благодаря личной поддержке Игоря Борисовича удалось впервые в НИИЯФ (главный вычислитель института - ЭВМ ЕС 1040 - был запущена много позднее) в кратчайший срок подготовить на площадях экспериментального отдела помещение для ЭВМ, запустить ее в эксплуатацию и организовать работоспособный коллектив сотрудников.

Невозможно переоценить вклад, внесенный на этапе становления Центра Валерием Викторовичем Сургутановым. Счастливым совмещая в себе качества квалифицированного физика и талантливого программиста, он разработал те решения, которые были положены в основу программного обеспечения для создания всех автоматизированных информационных систем Центра. Огромный вклад в установку, запуск и последующую практически безаварийную в течение многих лет эксплуатацию ЭВМ ЕС-1022 внесли высококвалифицированный инженер электроник Юрий Васильевич Кузнецов и специалист широкого профиля Людмила Федоровна Сопова. Особо следует отметить участие в организации и становлении работ по сбору, анализу и оценке фотоядерных данных известных специалистов в области электромагнитных взаимодействий доктора физ.-мат. наук Игоря Михайловича Капитонова и кандидата физ.-мат. наук Ольги Петровны Шевченко.

Позднее именно Игорь Борисович стал инициатором включения ЭВМ ЦДФЭ в сеть коллективного пользования ЭВМ МГУ с возможностью использования центральных процессоров больших ЭВМ НИВЦ и ВМиК МГУ. Под его руководством в конце 80-х годов во главе с ЦДФЭ была создана Система Центров ядерных данных Минвуза СССР, в которую вошли несколько специализированных организаций из Москвы, Ростова-на-Дону и Саратова. В ЦДФЭ были созданы разнообразные автоматизированные информационные

системы, с помощью которых удовлетворялись запросы на ядерно-физическую информацию сотрудников, студентов и аспирантов МГУ, а также большого количества сторонних организаций (как внутри страны, так и за рубежом). Регулярно в Издательстве МГУ публиковались информационные бюллетени «Фотоядерные данные», было выпущено большое количество различных сборников и аналитических обзоров.

Период известных проблем конца 80-х и начала 90-х годов совпал со сменой поколений вычислительной техники, что создало вначале практически непреодолимые проблемы с переориентированием больших информационных систем ЦДФЭ с ЕС ЭВМ на малые ЭВМ типа ДВК и «Электроника», а затем – на персональные компьютеры, в течение долгого времени не обладавшие достаточными ресурсами. Решения огромного количества чрезвычайно трудных технических проблем в то время были найдены благодаря активности, настойчивости и высочайшей квалификации в области компьютерных методов обработки информации кандидата физ.-мат. наук Владимира Викторовича Сапуненко. Сохранению достаточно эффективного функционирования ЦДФЭ в тот период также способствовала активная поддержка со стороны Игоря Борисовича. Стремительный прогресс техники и создание Интернет в 90-х годах позволили преодолеть многочисленные аппаратные и кадровые проблемы и организовать деятельность ЦДФЭ по обработке ядерных данных на качественно новом уровне.

В настоящее время ЦДФЭ НИИЯФ функционирует в рамках Сети центров ядерных данных МАГАТЭ, в которую входят 13 организаций из 9 стран (Австрия, Венгрия, Китай, Корея, Россия, США, Франция, Япония, Украина). Термин «фотоядерный» в названии центра соответствует его специализации и основным обязательствам в международном сотрудничестве – сбор, систематизация, анализ, оценка и распространение данных по реакциям с налетающими фотонами низких и средних энергий. На период начала 2008 года свыше 80 % данных по реакциям под действием фотонов, включенных в международный фонд, подготовлено в ЦДФЭ. Однако в последние годы ЦДФЭ специализируется на создании больших (полных) реляционных баз самых разнообразных ядерно-физических данных, находящих широкое применение в фундаментальных и прикладных научных исследованиях, а также в учебном процессе подготовки специалистов достаточно широкого профиля. На Web-сервере ЦДФЭ (<http://cdfe.sinp.msu.ru>) пользователям предоставляются 10 реляционных баз данных – БД, из которых основными являются:

- «БД по ядерным реакциям» в международной системе EXFOR - огромное количество характеристик (выходы, сечения, функции возбуждения реакций, энергетические, угловые, зарядовые, массовые и другие распределения частиц-продуктов реакций, поляризации, анализирующие способности,

ЦДФЭ - Центр Данных Фотоядерных Экспериментов - Microsoft Internet Explorer

Адрес: <http://cdfe.sinp.msu.ru/>

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, НИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ, ОЗНАЧА

## ЦЕНТР ДАННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

CENTRE FOR PHOTONUCLEAR EXPERIMENTS DATA

ЦДФЭ: домашняя страница

Добро пожаловать на сайт ЦДФЭ.

Сервисы, доступные в ЦДФЭ:

Объект поиска	База данных
Все об атомных ядрах и ядерных реакциях. Числовые данные, графическая информация и библиография	<b>Универсальная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 1 ноября 2007
Распространенность, изотоп, атомная масса, избыток массы, энергия связи, спин, четность, момент, деформация, мода распада: основное и метастабильное состояния.	<b>Параметры основных свойств атомных ядер</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 15 октября 2004
Ядерные реакции. Различные характеристики (международный фонд данных EXFOR). Налетающая частица: фотон, нейтрон, любая заряженная частица, тяжелый ион.	<b>База данных по ядерным реакциям (EXFOR)</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 7 марта 2008
<b>Параметры ядерных уровней:</b> Параметры ядерных уровней: Энергия, спин, четность, время жизни, мода распада, метастабильное состояние, изоспин, момент количества движения, спектроскопический фактор и т.д. <b>Параметры <math>\alpha</math>, <math>\beta</math>, <math>\gamma</math>-распадов:</b> Энергия, интенсивность, мультиплетность, коэффициент ветвления, коэффициент сшивания и т.д.	<b>Полная реляционная база ядерно-спектроскопических данных "Relational ENSDF"</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 10 января 2006
Параметры квадрупольной деформации; квадрупольные моменты	<b>Карта квадрупольных ядерных деформаций</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 13 ноября 2006
Физика атомных ядер и ядерных реакций. Эксперимент и теория. Справочно-библиографическая информация: ядро, реакция, распад, автор, название, публикация, аннотация, библиографическая ссылка и т.д. Справочно-библиографическая информация о работах по физике атомных ядер и ядерных реакций: авторы, названия работ, библиографические ссылки и т.д.	<b>Публикации по ядерной физике (База данных "NSR")</b> <a href="#">[Описание]</a> Последнее обновление: 1 ноября 2007
Гигантский дипольный резонанс (ГДР): энергия, амплитуда, ширина, сечение, интегральное сечение, момент.	<b>Параметры Гигантского Дипольного Резонанса, Сечения фотоядерных реакций</b> <a href="#">[Описание]</a>

- корреляции и др.) ядерных реакций под действием самых различных налетающих частиц – фотонов, нейтронов, заряженных частиц и тяжелых ионов;
- «База ядерно-спектроскопических данных» в международной системе ENSDF - вся информация (энергии, спины, четности, времена жизни, мультипольности, коэффициенты ветвления и смешивания, вероятности переходов, значения параметра  $\log ft$  распадов, абсолютно уникальные данные об изоспинах ядерных состояний, квадрупольных моментах и деформациях ядер и многое другое) об уровнях всех известных в настоящее время (~ 3500) атомных ядер и переходах между ними;
  - БД «Параметры основных состояний ядер» - самые современные данные (распространенности стабильных изотопов или времена жизни нестабильных, атомные массы, дефекты масс, энергии связи, спины, четности, изоспины основных состояний ядер, энергии первых изобар-аналогов и др.) по атомным ядрам в целом;
  - БД «Публикации по ядерной физике» - справочно-библиографическая информация по экспериментальным и теоретическим ядерно-физическим работам из международного массива NSR (Nuclear Science References);
  - БД «Параметры гигантского дипольного резонанса, сечения фотоядерных реакций» - данные по характеристикам (энергия максимума, амплитуда в максимуме, ширина резонанса, интегральные сечения и моменты и другие) гигантских дипольных резонансов, наблюдаемых в сечениях ядерных реакций под действием  $\gamma$ -квантов;
  - БД «Индекс фотоядерных данных с 1955 г.» – коллекция справочно-библиографической информации об экспериментальных работах, посвященных исследованию электромагнитных взаимодействий ядер, основанная на данных многих компиляций;
  - «Карта квадрупольных ядерных деформаций» - данные о квадрупольном моменте  $Q$  и параметре квадрупольной деформации  $\beta_2$  большого числа атомных ядер, в последнее время БД дополнена полной систематикой данных о зарядовых радиусах ядер;
  - «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций», основанный на использовании самых современных и надежных данных о массах атомных ядер, позволяет быстро и точно рассчитывать значения важных характеристик любых (на любых ядрах-мишенях, под действием любых налетающих частиц и для любого количества любых комбинаций вылетающих частиц) ядерных реакций; в наглядной графической форме позволяет представлять зависимости энергий отделения одного и двух нейтронов или протонов.

Для каждой БД создана мощная и гибкая поисковая система, позволяющая проводить отбор данных по огромному количеству признаков и их сочетаний. Базы данных ЦДФЭ постоянно доступны пользователям Интернет, число посещений которых, зарегистрированное, например, за последние 5 лет, составляет около 400 тысяч. Анализ таких посещений показывает, что фондами ЦДФЭ активно пользуются сотрудники не только научных, но и коммерческих организаций из России и бывших республик СССР, а также большого числа зарубежных государств, в первую очередь, США, Франции, Японии, Германии и других.

Поисковые и предсказательные возможности созданных БД позволяют существенно повысить эффективность научно-исследовательских работ специалистов. При этом экспериментаторы, напрямую используют фонды созданных БД, а теоретики, которым доступ к массивам экспериментальных данных, а также данных проанализированных и оцененных в условиях снижения влияния систематических погрешностей, имеют возможности для разработки и тестирования различных моделей ядерных взаимодействий. Созданные БД широко используются и в учебной работе по подготовке студентов и аспирантов, в частности, в интерактивном учебном курсе «Ядерная физика в Интернете». По результатам таких работ защищено свыше 30 дипломных работ, 6 кандидатских и одна докторская диссертации, выполнено значительное количество публикаций, сделано большое количество докладов на конференциях.

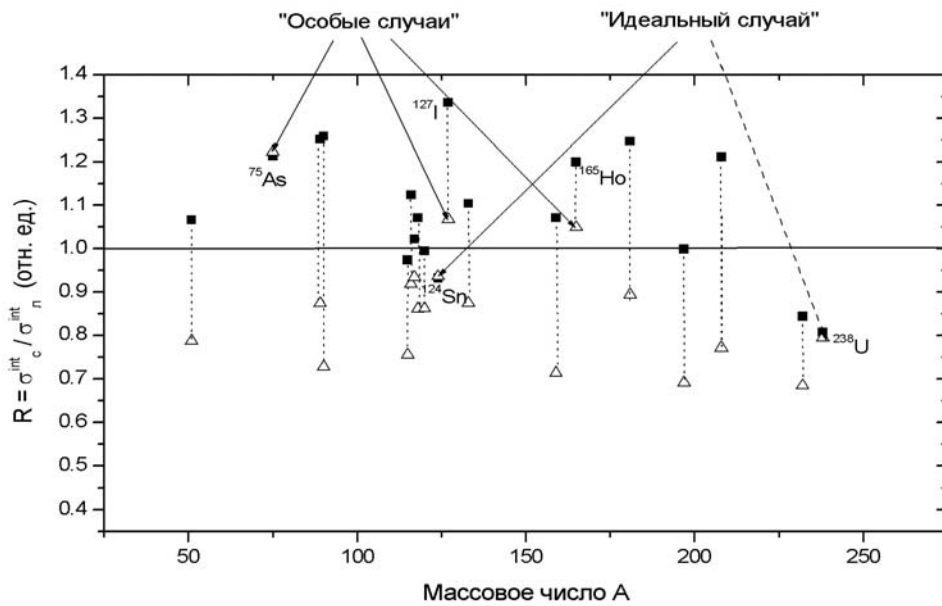
В последние годы опыт по разработке и применению БД ЦДФЭ был использован в рамках международного сотрудничества «НИИЯФ, Россия – Лаборатория Джефферсона, США» для создания новой уникальной БД по характеристикам процессов электро- и фоторождения мезонов на нуклонах и атомных ядрах, изучаемым в рамках коллаборации CLAS. Эта БД также обладает мощными поисковыми и предсказательными возможностями, а кроме того позволяет пользователям проводить работы не только с опубликованной информацией, но и с первичными данными различных экспериментов, оснащена оригинальными графическими, в том числе «3D» – возможностями. Большой вклад в работы международной коллаборации в это направлении внесен кандидатом физ.-мат. наук Михаилом Евгеньевичем Степановым и программистом Виталием Владимировичем Чесноковым.

Как отмечалось выше, каждая из созданных реляционных БД, по существу, представляет собой новое эффективное средство научных исследований. Во многих случаях они позволяют получать новую физическую информацию. Развитые БД и гибкие поисковые системы позволяют с единых позиций анализировать всю совокупность определенного типа данных, и по результатам такого анализа выявлять новые систематические закономерности по результатам многих экспериментов. Кроме того, они дают возможность оценивать с разумными точностью и надежностью результаты экспериментов, которые по тем или иным причинам не были проведены (например, путем решения определенных систем линейных уравнений, в которые неизвестные результаты входят вместе с некоторыми известными) и т.д. Это позволяет получать так называемые оцененные данные, свободные от многих, прежде всего, систематических, погрешностей, характерных для результатов экспериментов разных типов. В свою очередь, эти новые (неизвестные ранее) закономерности известных данных и/или сами новые данные представляют собой основу для получения новых знаний. Одним из первых системных исследований такого типа, позволивших получать оценки характеристик различных, в том числе и многочастичных фотоядерных реакций, стала кандидатская диссертационная работа доктора физ.-мат. наук Александра Петровича Черняева. Один из основных ее результатов подтвердил впервые на основе экспериментальных данных по фоторасщеплению двух изотопов лития открытый ранее в НИИЯФ эффект конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса.

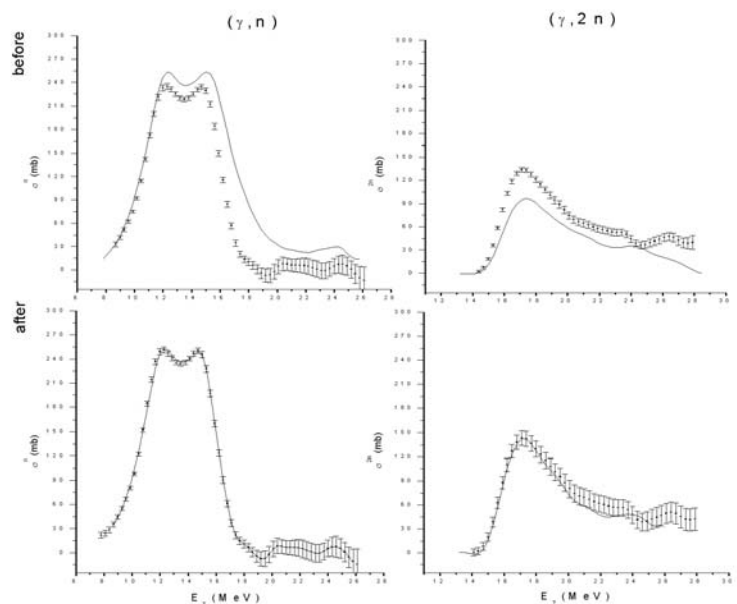
С помощью БД по ядерным реакциям, предоставляющей пользователям возможность анализа фотоядерных данных в зависимости от условий их получения, были решены многие давние и хорошо известные специалистам проблемы существенных систематических расхождений сечений фотоядерных реакций, полученных в экспериментах с тормозным  $\gamma$ -излучением и квазимоноэнергетическими аннигиляционными фотонами. Совместно со специалистами Физического факультета МГУ (профессор Юрий Петрович Пытьев) были выполнены исследования по выявлению зависимости формы сечения реакции в таких экспериментах от эффективно достигаемого энергетического разрешения, предложены методы учета этого обстоятельства, приведения результатов различных экспериментов к единой интерпретации и, тем самым, получения новых точных и надежных согласованных между собой данных. Основные результаты в данной области исследований связаны с работами кандидатов физ.-мат. наук Михаила Евгеньевича Степанова, Николая Геннадьевича Ефимкина, Дмитрия Сергеевича Руденко.

Системный анализ данных по сечениям фотонейтронных реакций с вылетом различного числа нейтронов также позволил выяснить причины наблюдаемых значительных расхождений по абсолютной величине сечений парциальных реакций, полученных в различных экспериментах, и разработать метод их учета и взаимного согласования данных друг с другом. Результаты работ кандидата физ.-мат. наук Николая Николаевича Пескова и программиста Сергея Юрьевича Комарова позволили по существу снять проблему известных расхождений результатов таких экспериментов. Суть проблемы и основные результаты выполненных исследований заключаются в следующем.

Сечения полной фотонейтронной реакции  $(\gamma, xn)$ , полученные на пучке квазимоноэнергетических фотонов в Ливерморе (США), имеют абсолютные величины в среднем на 12% меньшие по сравнению не только с большинством данных, полученных в других лабораториях на пучках тормозного  $\gamma$ -излучения, но и с данными, также полученными на пучке аннигиляционных фотонов в Саклэ (Франция). Такое рассогласование может быть скорректировано весьма просто дополнительной нормировкой. В то же время расхождения сечений парциальных реакций  $(\gamma, n)$  и  $(\gamma, 2n)$  оказываются существенно более сложными. Систематика отношений  $R$  интегральных сечений обеих парциальных реакций свидетельствует о том, что сечения реакций  $(\gamma, n)$  заметно (20 - 30 %) больше в Саклэ (на рисунке эти данные (квадраты) ■ расположены в области  $R > 1$ ), тогда как сечения реакций  $(\gamma, 2n)$ , напротив, заметно (10 - 40 %) больше в



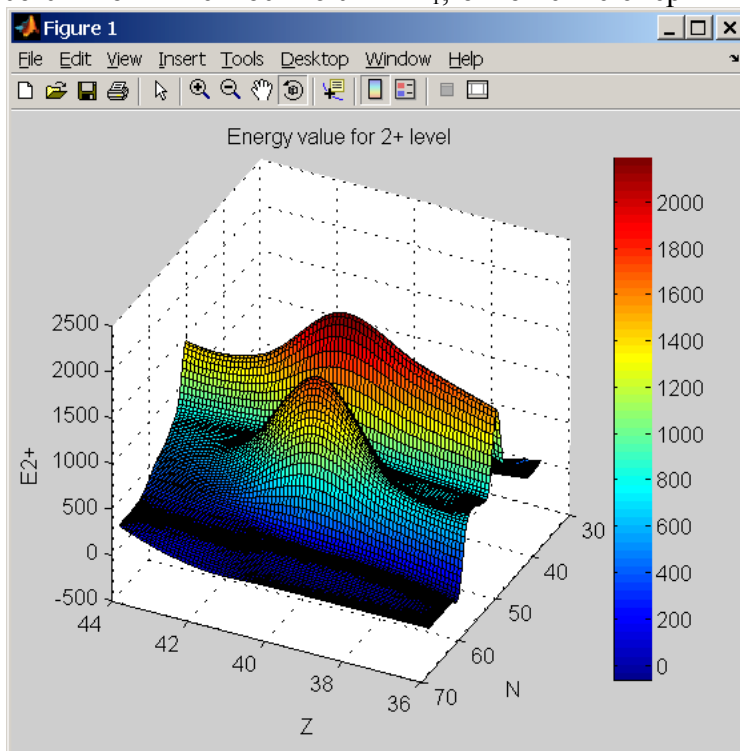
Ливерморе (соответствующие данные (треугольники  $\Delta$ ) расположены в области  $R < 1$ ). Такие рассогласования могут быть определены и исключены с помощью специальных методов, позволяющих взаимно скорректировать сечения парциальных реакций, полученные в разных лабораториях, на основании более точной информации о полных сечениях реакций. Взаимная корректировка данных обеих лабораторий, выполненная для 19 ядер, изученных одновременно и в Ливерморе и в Саклэ -  $^{51}\text{V}$ ,  $^{75}\text{As}$ ,  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{116,117,118,120,124}\text{Sn}$ ,  $^{127}\text{I}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{165}\text{Ho}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ , позволила привести их к согласию не только друг с другом, но и с имеющимися данными по сечениям парциальных реакций, полученными в экспериментах иного типа, выполненных на пучках тормозного  $\gamma$ -излучения.





Наличие в ЦДФЭ не только фотоядерных данных, но и информации из других ядерно-физических фондов международного сотрудничества позволяет аналогичные работы по систематическому исследованию результатов разных экспериментов проводить и для данных иного типа, прежде всего, для данных по ядерной спектроскопии. Это в первую очередь обусловлено уникальными свойствами не имеющей аналогов по мощности и гибкости поисковой системы, созданной для таких данных в ЦДФЭ, в основном, усилиями кандидатов физ.-мат.наук Игоря Николаевича Бобошина и Николая Николаевича Пескова. Наиболее интересные результаты в данном направлении были получены в ходе совместных с ОНТИ НИИЯФ исследований свойств одночастичных состояний атомных ядер. Создание уникального метода совместного анализа дополняющих друг друга результатов экспериментов по нуклонному подхвату (информация о количестве нуклонов на определенных подоболочках) и срыву (информация о количестве вакансий на подоболочках) для одного и того же ядра позволило с высокой точностью и надежностью исследовать энергетические положения и заселенности как протонных, так и нейтронных подоболочек большого числа четно-четных ядер  $^{42-54}\text{Ca}$ ,  $^{50-62}\text{Cr}$ ,  $^{54-58}\text{Fe}$ ,  $^{58-64}\text{Ni}$ ,  $^{84-88}\text{Sr}$ ,  $^{90-96}\text{Zr}$ ,  $^{112-124}\text{Sn}$ . Такие данные дали возможность уточнить известные и получить новые характеристики многих ядерных состояний, изучить многие свойства ядер, удаленных от зоны стабильности, в том числе классических магических ядер, установить определенные закономерности в проявлении свойств новых магических ядер (имеющих многие свойства, типичные для классических магических ядер, но не предусмотренных традиционной оболочечной моделью).

С помощью системного изучения поведения в ядрах, соседних с некоторыми исследуемыми ядрами, специфических параметров «магичности» (энергия первого уровня со спином и четностью  $J^\pi = 2^+_1$ , отношение энергий первых уровней с  $J^\pi = 4^+_1$  и  $J^\pi = 2^+_1$ ,

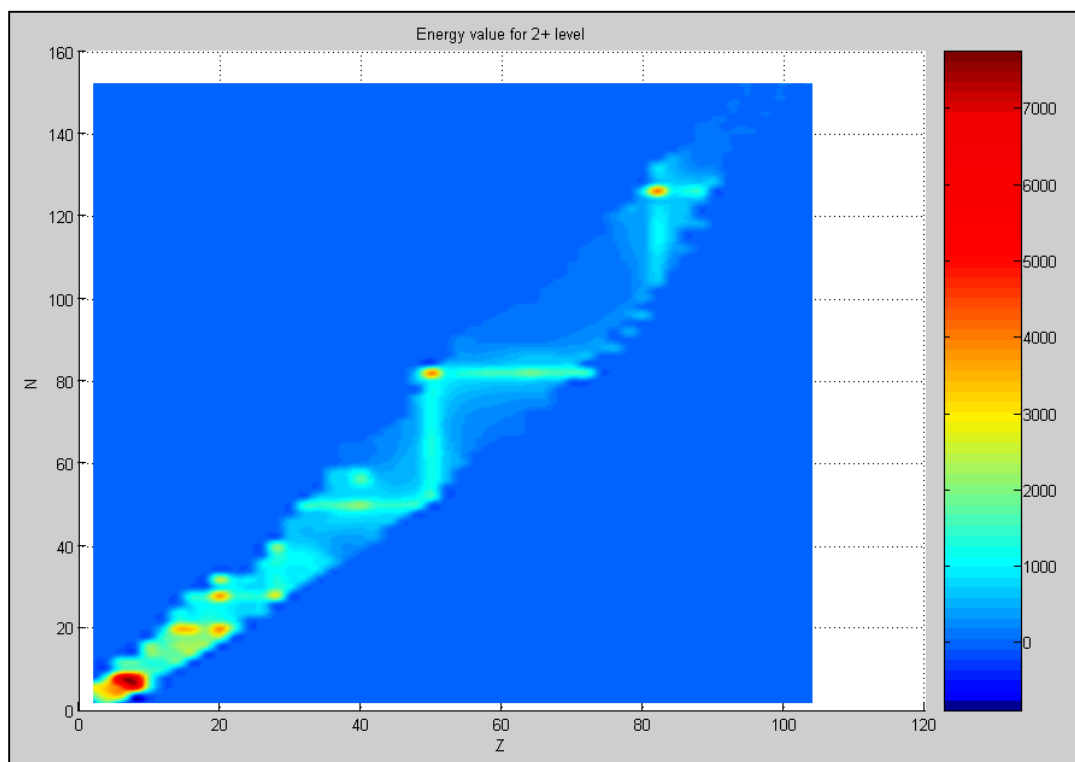


параметр  $\beta_2$  квадрупольной деформации, энергии отделения одного и двух нуклонов), выполненного с помощью совместного использования нескольких созданных БД, было выявлено новое неизвестное ранее дважды магическое ядро  $^{96}\text{Zr}$  ( $Z = 40$ ,  $N = 56$ ).

Было установлено, что для этого ядра характерны не только типичное для классических магических ядер резонансное поведение параметров «магичности», но и весьма специфическая структура заполненных протонной и нейтронной подоболочек вблизи границы Ферми. С помощью созданных БД было установлено,

что аналогичные свойства имеет и довольно большое количество других ядер -  $^{14}\text{C}$ ,  $^{14,24,28,40,48}\text{O}$ ,  $^{26,28,30}\text{Si}$ ,  $^{30,32}\text{S}$ ,  $^{52,54}\text{Ca}$ ,  $^{90,92,94,96}\text{Sr}$ ,  $^{92,94,98}\text{Zr}$ . Общие закономерности в структуре верхних (вблизи границы Ферми) оболочек таких ядер свидетельствуют в пользу существования некоторого дополнительного взаимодействия между заполненными протонными и нейтронными оболочками, возможно связанного с эффектами протон-нейтронного спаривания.

Следует отметить, что на принципиальную возможность существования таких ядер указывали еще классики ядерной физики. В различных курсах ядерной физики, начиная с 50-х годов, приводились таблицы известных к тому времени значений энергии первого  $2^+$ -уровня – основного параметра «магичности». Однако основное внимание уделялось резонансному поведению этого параметра лишь для классических магических ядер. Только после создания базы ядерно-спектроскопических данных оказалось возможным поставить вопрос о систематическом изучении признаков появления и исчезновения как традиционной, так и новой «магичности». На карте значений энергии первого  $2^+$ -уровня все 7 (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) классических магических чисел весьма ясно представляются характерными прямыми линиями для соответствующих  $Z_{\text{класс. маг.}}$  и  $N_{\text{класс. маг.}}$ .

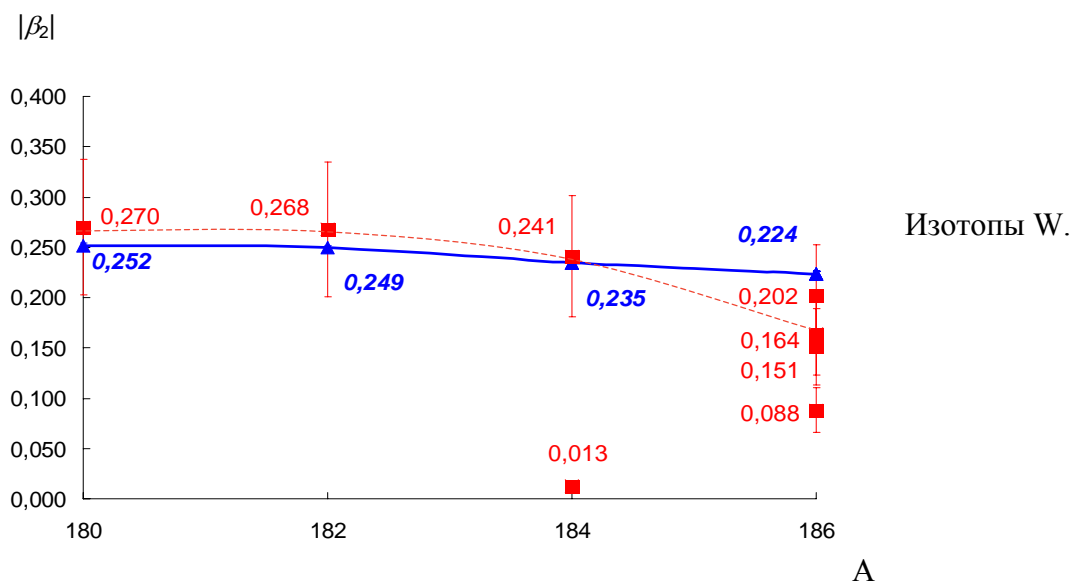


Все характерные отличия от соседних ядер оказываются наиболее выраженными у дважды магических ядер, у которых числа и протонов и нейтронов являются магическими. Наиболее известными из них являются ядра  ${}^4\text{He}$  ( $Z = 2, N = 2$ ),  ${}^{16}\text{O}$  ( $Z = N = 8$ ),  ${}^{40}\text{Ca}$  ( $Z = N = 20$ ),  ${}^{48}\text{Ca}$  ( $Z = 20, N = 28$ ),  ${}^{208}\text{Pb}$  ( $Z = 82, N = 126$ ). Заметное возрастание значений энергии  $E(2^+_1)$  для таких ядер также хорошо видно в местах пересечения линий  $Z = Z_{\text{класс. маг.}}$  и  $N = N_{\text{класс. маг.}}$ .

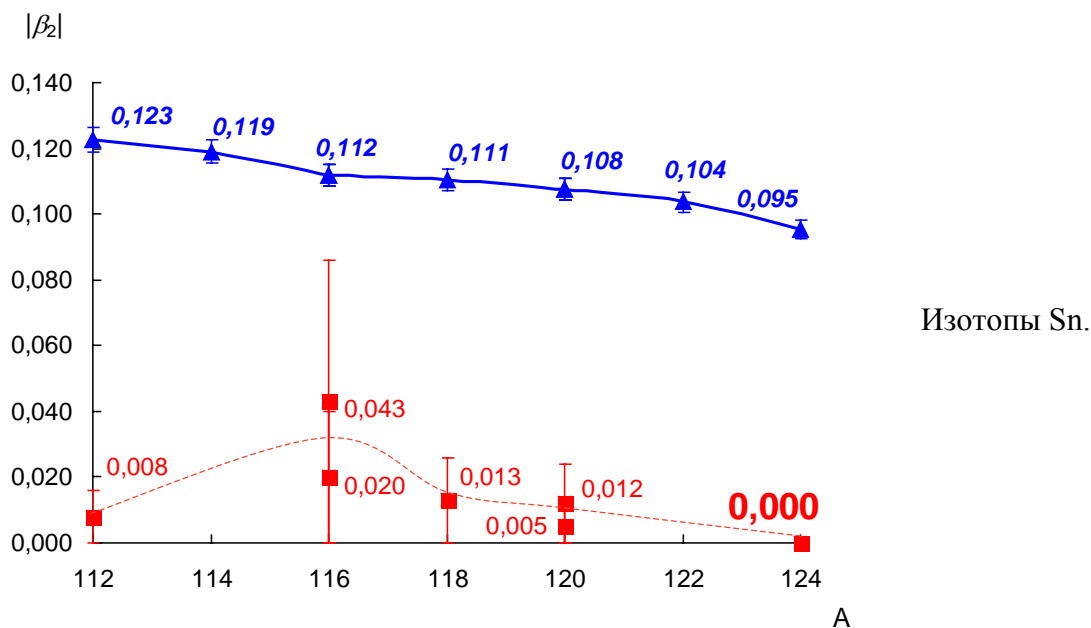
Вместе с тем на карте хорошо видны и некоторые области – «острова магичности» – ядер, также выделяющихся по величине энергии  $E(2^+_1)$  среди своих соседей и располагающиеся вне упомянутых линий «магичности», например, области вблизи ( $Z = 14 - 16, N = 14 - 16$ ), ( $Z = 20, N = 32 - 34$ ) и ( $Z = 38 - 40, N = 56 - 58$ ). Наличие таких «островов магичности» свидетельствует о том, что заметное возрастание энергии  $E(2^+_1)$  наблюдается и у некоторых ядер, не предусмотренных классической моделью оболочек. В отличие от ситуации для классических магических ядер, оно происходит не для всех изотопов или изотонов некоторых линий, а лишь для определенных пар нуклонов - по существу такие «новые магические» ядра являются дважды магическими. Было установлено, что у таких ядер не только наблюдаются большие значения энергии  $E(2^+_1)$ , но и проявляются другие свойства, характерные для магических ядер с замкнутыми оболочками. В печати достаточно широко обсуждаются свойства «новых магических» ядер, хотя правильнее было бы говорить о ядрах, обладающих некоторым набором свойств, характерных для магических ядер.

С помощью новой Карты ядерных деформаций (БД о квадрупольных моментах и параметрах квадрупольной деформации ядер) были выявлены неизвестные ранее систематические расхождения данных о параметрах квадрупольной деформации ядер. Были проанализированы данные, полученных традиционными, но разными способами – из приведенной вероятности переходов  $V(E2; 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$  из основного состояния ядра в первое состояние с  $J^\pi = 2_1^+$  и из квадрупольных моментов ядер.

Установлено, что все известные в настоящее время атомные ядра достаточно четко разделяются на две группы. Для ядер одной из них (Ti, Cr, Sr, Zr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Hf, W, Os, Ra) оба указанных значения параметра квадрупольной деформации в пределах погрешностей совпадают.



Для ядер второй группы (C, Si, Ar, Ca, Fe, Ni, Zn, Ge, Se, Kr, Mo, Ru, Pd, Cd, Sn, Te, Ba, Yb, Pt, Pb) значения параметра квадрупольной деформации, полученные с помощью приведенных вероятностей указанных переходов, оказываются по абсолютной величине существенно больше значений, полученных с помощью квадрупольных моментов.



Такие расхождения могут свидетельствовать о проявлении в ядрах второй группы такого явления, как динамическая деформация ядра, связанная с колебаниями его поверхности не только в возбужденных состояниях, но и в основном состоянии.

Все сказанное является наглядным проявлением тех особых (специфических) свойств, которыми обладают современные полные (репрезентативные) БД. В отличие от широко распространенного мнения они являются, по существу, не только (не столько!) «складами готовой продукции» предыдущих исследований, а гибкими и мощными инструментами (средствами) современных исследований. Вследствие обладания вполне очевидными предсказательными возможностями такие БД способны давать ответы на многие вопросы (в том числе, в будущем, на такие, которые пока не заданы) относительно характеристик объектов окружающей действительности и процессов, с ними происходящих (в рассмотренных случаях – атомных ядер и ядерных реакций). При этом оказывается, что во многих случаях получение таких ответов – новых данных, нового знания - не требует проведения новых сложнейших и дорогостоящих экспериментов. Более того, в некоторых случаях такие ответы – результаты всего лишь специальной обработки информации из уже имеющихся БД – сами могут поставить перед исследователями вопросы, ответы на которые не могут быть получены в рамках современных представлений о природе физических эффектов, а, следовательно, инициировать развитие, модификацию этих представлений.

По существу, в этом и заключается главный прогрессивный эффект использования в области ядерно-физических исследований новых информационных технологий, у истоков зарождения и развития которых в НИИЯФ стоял и которые активно и всесторонне поддерживал Игорь Борисович Теплов.

**Владимир Васильевич Варламов  
Борис Саркисович Ишханов**

**ИГОРЬ БОРИСОВИЧ ТЕПЛОВ  
И РАЗВИТИЕ В НИИЯФ МГУ  
НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ОБЛАСТИ ОБРАБОТКИ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ**

Препринт НИИЯФ МГУ № 2008-4/840

Работа поступила в ОНТИ 16.04.2008