

НОВАЯ КАРТА (БАЗА ДАННЫХ) КВАДРУПОЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ АТОМНЫХ ЯДЕР*

© И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, С. Ю. Комаров, В. Н. Орлин, Н. Н. Песков,
В. В. Чесноков

Центр данных фотоядерных экспериментов
Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д. В. Скобельцына
Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

Аннотация

С использованием нескольких надежных международных источников данных по квадрупольным моментам и параметрам деформации атомных ядер в Центре данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ создана новая база данных – поисковая графическая система “Карта квадрупольных деформаций атомных ядер”. Новая система позволяет проводить быстрый, удобный поиск и многосторонний анализ данных по параметрам деформации, как для конкретного ядра, так и для целой области ядер на конкретной ветви нуклидов.

При работе с Картой деформаций пользователь быстро получает необходимую информацию о деформации атомных ядер в наглядной понятной визуальной форме, что повышает эффективность исследования и сокращает время анализа полученных данных.

На сегодняшний день система содержит информацию о параметрах деформации свыше 600 ядер, причем находящихся не только в основных, но во многих случаях и в возбужденных состояниях.

1 Введение

В течение ряда лет в ЦДФЭ НИИЯФ МГУ были созданы несколько больших (полных, репрезентативных) реляционных баз данных (БД) по атомным ядрам и ядерным реакциям (Рис. 1). Такие данные требуются для решения многих проблем фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований, а также разнообразных приложений и в других областях науки и техники,

прямо или косвенно связанных с ядерной физикой (радиационные разделы химии, биологии, геологии, биофизики, медицины, экологии и многие другие). Разнообразные БД и развитые методы использования накопленной в них информации при анализе результатов выполненных и при планировании и подготовке новых экспериментов, а также при моделировании экспериментов, которые по тем или иным причинам не могут быть осуществлены, создают хорошую основу для проведения современных научных исследований на качественно новом уровне. Это позволяет не только существенно повысить уровень информационного обеспечения проводимых исследований, но во многих случаях получать новые физические результаты [1, 2]. Созданные в ЦДФЭ реляционные базы ядерно-физических данных и, объединяющая основные из них Универсальная электронная система информации [3, 4], предоставляют пользователям удобный и эффективный доступ к информации из нескольких хорошо известных специалистам и активно используемых широким кругом пользователей полных международных банков ядерно-физических данных, поддерживаемых международной сетью Центров ядерных данных (Nuclear Data Centres Network) [5] МАГАТЭ.

С точки зрения информационного обеспечения фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований одной из основных БД является полная реляционная “База ядерно-спектроскопических данных (<http://cdfe.sinp.msu.ru/services/ensdfr.html>)”. Она включает в себя всю опубликованную к настоящему времени информацию (~ 200 Мб) об уровнях и переходах между ними для всех (~ 3500) известных в настоящее время атомных ядер из международного массива экспериментальных и оцененных данных по структуре ядер ENSDF (энергии, спины, четности, времена жизни, мультипольности, коэффициенты ветвления и смешивания, вероятности переходов, значения параметра $\log ft$ распадов и многие другие).

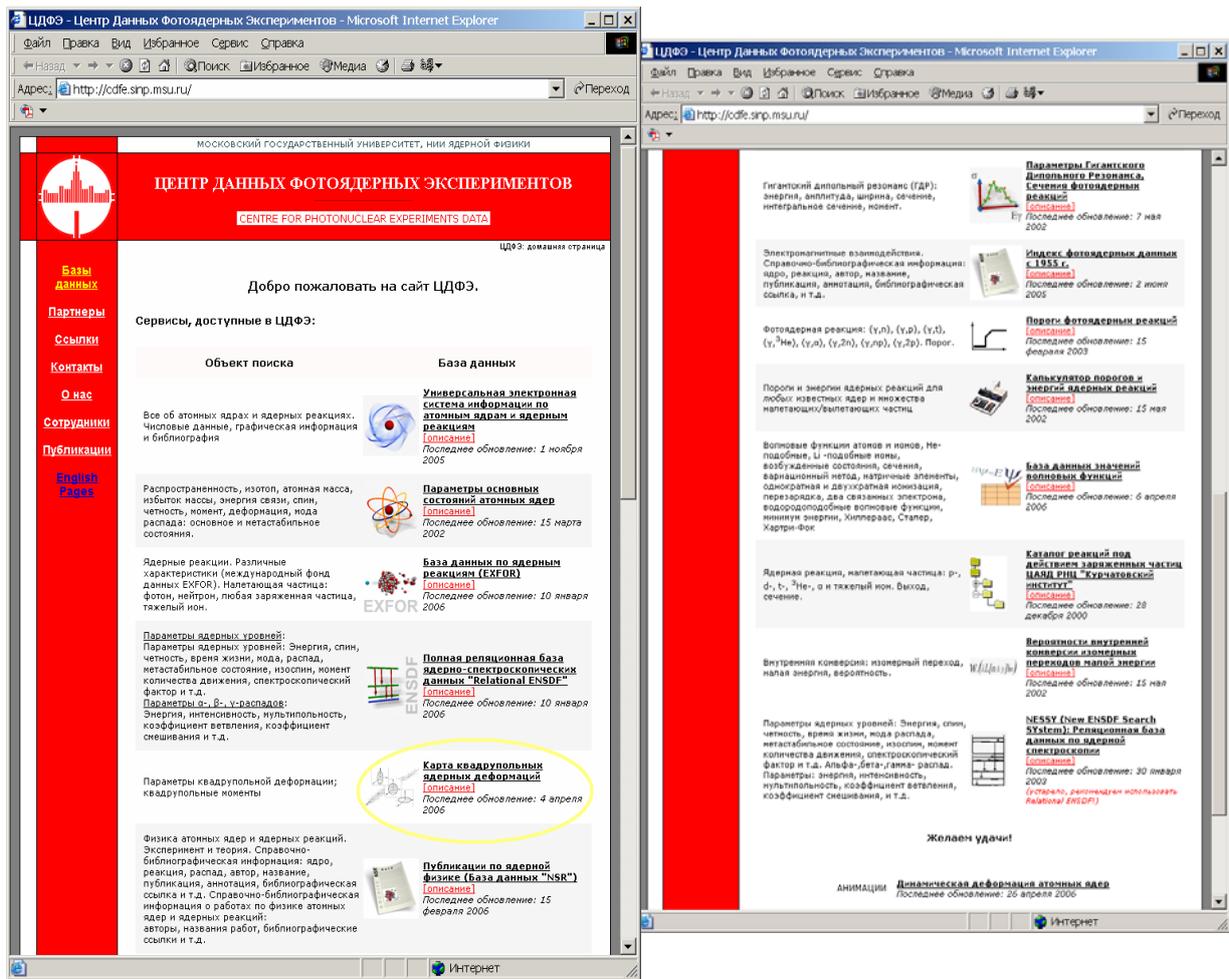


Рис. 1. Главная страница Web-сервера ЦДФЭ НИИЯФ МГУ.

В последнее время в результате специально проведенных в ЦДФЭ работ эта БД “Relational ENSDF” была дополнена абсолютно уникальными данными об изоспинах ядерных состояний, квадрупольных моментах Q и параметрах β_2 квадрупольной деформации ядер. Их уникальность заключается в том, что хотя эти данные и содержатся в исходном массиве ENSDF, однако лишь в его неформализованных разделах, вследствие чего другими информационными системами аналогичного назначения пользователям эта информация не предоставляется. В настоящее время эти ядерно-физические характеристики включены в созданную ранее БД “Relational ENSDF” и используются в ней наравне со всеми остальными: в любом сочетании обеспечивается их участие в формировании поисковых предписаний, а также присутствие (при необходимости, отмеченной пользователем) в выходных формах всех возможных запросов.

Особое значение имеют [2, 6] полные систематики данных о квадрупольных моментах Q ядер и параметрах β_2 их квадрупольной деформации. Рис. 2 дает наглядное представление о том, как может изменяться форма ядра в

зависимости от значения его внутреннего квадрупольного момента Q . При $Q = 0$ квадрупольная деформация ядра отсутствует, и ядро является сферическим. При положительных значениях момента Q ядро называется вытянутым (слева), при отрицательных – сплюснутым (справа).

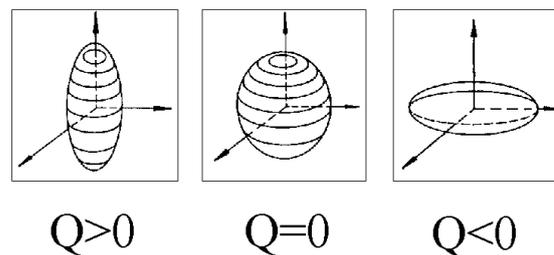


Рис. 2. Возможные варианты формы атомных ядер.

Общие сведения о форме атомного ядра, а также информация о том, как изменяется эта форма при переходе ядра из основного состояния в различные возбужденные состояния, в последнее время вызывают все больший интерес. Этот повышенный интерес, прежде всего, связан с развитием исследований новых видов взаимодействий между

нуклонами (протонами и нейтронами) ядра, находящимися на оболочках с различными квантовыми характеристиками.

Обнаружено, что некоторые виды такого взаимодействия оказывают влияние не только на форму ядра, но и на формирование целого ряда его свойств и признаков, которые ранее считались принадлежащими лишь некоторым особо выделенным ядрам. В силу этой особенности такие выделенные ядра, у которых число протонов и/или число нейтронов равняется одному из 7 следующих – 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126 – были названы магическими. Новые виды протон-нейтронного взаимодействия приводят, в конечном счете, к тому, что вполне определенные свойства “магичности” [2, 6] обнаруживаются у существенно большего, чем считалось ранее, числа ядер (прежде всего среди ядер, удаленных от зоны β -стабильности).

Для облегчения просмотра и анализа данных по

квадрольным моментам и параметрам деформации атомных ядер в ЦДФЭ была разработана новая база данных – поисковая графическая система “Карта квадрупольных деформаций атомных ядер (<http://cdfe.sinp.msu.ru/services/defchart/defmain.html>)”.

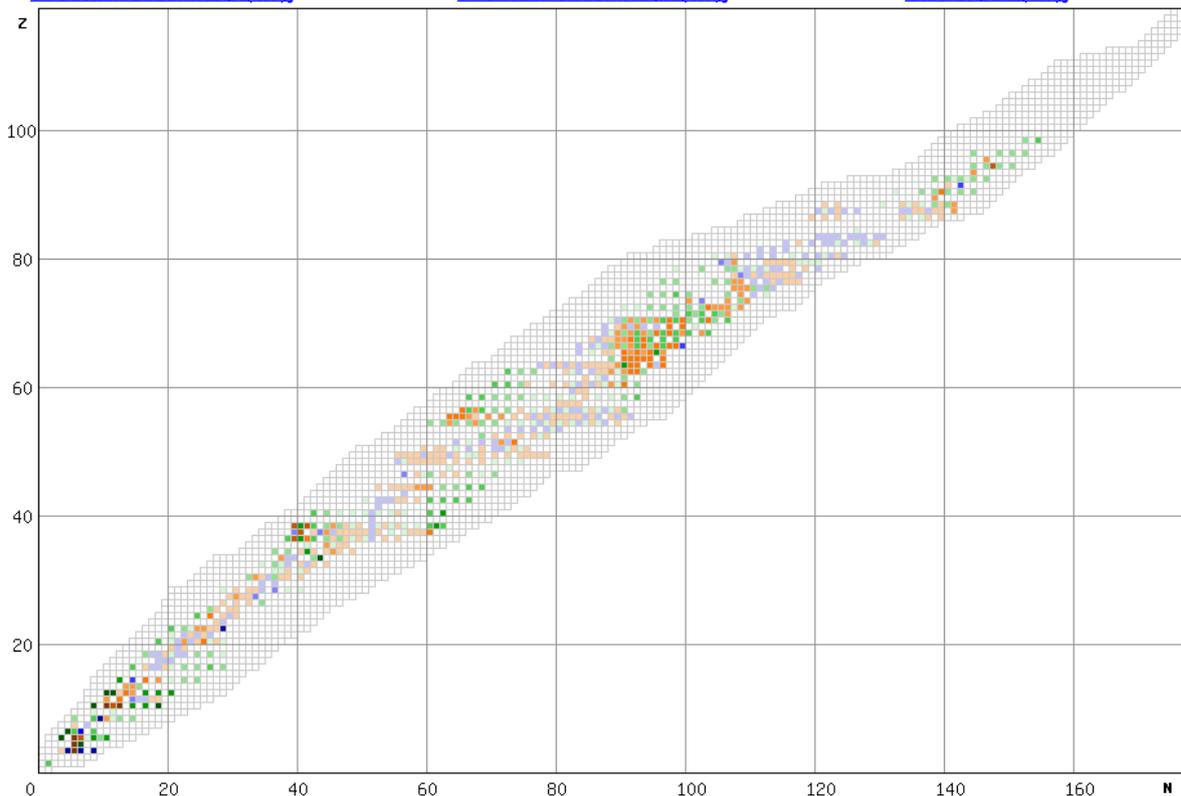
Электронная Карта позволяет в удобной графической форме (по аналогии с хорошо известными картами нуклидов) получить числовую информацию о различных параметрах квадрупольной деформации атомных ядер (квадрупольный момент Q и параметр квадрупольной деформации β_2). Для увеличения эффективности поиска ветвь нуклидов может быть представлена в различном масштабе.

Внешний вид главной формы (defmain.html) новой поисковой графической системы приведен на Рис.3.

Chart of Nuclear Quadrupole Deformations

Each data source is optional - may be blank:

- | | | |
|---|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> 1. Quadrupole deformation parameters $\beta_2(B(E2))$ <input checked="" type="checkbox"/> from reduced transition probabilities. [S.Raman, C.W.Nestor, P.Tikkanen, At.Data Nucl.Data Tables 73, 1 (2001)] | <input checked="" type="checkbox"/> 2. Quadrupole deformation parameters $\beta_2(Q_{mom})$ <input checked="" type="checkbox"/> from the electric quadrupole moment values. [N.J.Stone, At.Data Nucl.Data Tables 90, 75 (2005)] | <input checked="" type="checkbox"/> 3. Calculated quadrupole deformation parameters β_2 -calc. [B.S.Ishkhanov, V.N.Orlin, Yad.Fiz. 68, 1407 (2005)] |
|---|---|--|



Fast Search:

Z: A: N:

Рис. 3. Главная страница поисковой графической системы Карты деформаций.

2 Принципы представления данных Карты деформаций

2.1 Основные источники информации

Карта деформаций фактически представляет собой совокупность трех карт, поскольку содержит данные, взятые из трех независимых источников (по умолчанию на карте представлены данные сразу из всех трех использованных источников информации; при необходимости, отображение данных каждого типа может быть отключено с помощью кнопок панели, расположенной над картой).

Следует особо отметить, что все использованные данные ранее были доступны лишь в печатном виде публикаций в журналах или размещенного на Web-сайте Секции ядерных данных МАГАТЭ файла в формате "*.pdf". Карта деформаций фактически представляет собой новую не имеющую аналогов коллекцию обсуждаемых данных в электронном виде.

При создании Карты деформаций были использованы следующие данные:

1) параметры квадрупольной деформации β_2 , рассчитанные [8] (авторитетная международная систематика) с использованием экспериментальных значений приведенной вероятности перехода $V(E2)^\uparrow (0^+ \rightarrow 2^+)$ между состояниями ядра с указанными значениями спина-четности J^π по формуле

$$\beta_2 = \frac{V(E2)^\uparrow}{R_2^2} \quad (1)$$
 где R_2 - радиус ядра; в качестве исходных данных для получения адаптированных величин $V(E2)^\uparrow$ были использованы результаты экспериментов по кулоновскому возбуждению и резонансной флуоресценции;

2) данные о статических квадрупольных моментах Q ядерных состояний [9] (авторитетная международная компиляция) и специально полученные с их помощью параметры квадрупольной деформации β_2 ;

3) параметры квадрупольной деформации ядер β_2 , рассчитанные [10] на основе модели, суть которой состоит в нахождении равновесной формы ядра из условий минимизации суммы одночастичных энергий. При этом в теоретическую модель были внесены некоторые изменения, главное из которых состоит в том, что диффузность деформированного потенциала Вудса-Саксона определялась из соотношения $a_1(\theta, \varphi) = a_1 R(\theta, \varphi) / R_1$, где a_1 , R_1 и $R_1(\theta, \varphi)$ - параметры, описывающие соответственно сферический и деформированный потенциалы [10]. Такой выбор параметра диффузности обеспечивает однозначность потенциала при $r > 0$, а также гарантирует сохранение конгруэнтности эквипотенциальных поверхностей и заключенного внутри них объема при деформации потенциала. Рассматривался

только случай аксиально-симметричного потенциала ($a_1(\theta, \varphi) = a_1(\theta)$, $R_1(\theta, \varphi) = R_1(\theta)$).

Для организации всей приведенной выше информация из указанных трех источников в виде Карты деформаций она была преобразована из текстового формата в таблицу "deformations" базы данных под управлением СУБД MySQL и оптимизирована для наилучшего быстродействия (все наборы данных были проиндексированы, для обеспечения их уникальности использовалась специально разработанная система ключей). При этом, для каждого типа данных применялся свой программный модуль ("convdef1.pl", "convdef2.pl", "convdef3.pl" соответственно).

Созданная электронная таблица "deformation" содержит 1922 набора данных, полученных для 1439 ядер, в том числе, из указанных выше источника 1) - 329 ядер, 2) - 562 ядра и 3) - 548 нуклидов.

В дальнейшем планируется поддержание и обновление Карты деформаций за счет появления более современных компиляций данных обсуждаемого типа или подготовки соответствующих новых массивов данных и в электронном виде.

2.2 Принцип представления данных Карты деформаций в координатах Z - N

Данные Карты деформаций представлены в удобной графической форме, аналогичной форме представления информации на хорошо известных специалистам так называемых Картах нуклидов - блоки информации, описывающие многообразные спектроскопические свойства (параметры уровней, гамма-линии их распада, моды распада, времена жизни и др.) отдельных ядер, располагаются в пространстве координат "число протонов Z" - "число нейтронов N" (Рис. 3).

При этом каждому ядру соответствует специальным образом окрашенный квадрат - блок информации для конкретного ядра (Z,N), содержащий данные о квадрупольных моментах Q и параметрах β_2 их квадрупольной деформации этого ядра.

2.3 Масштабирование данных

С целью обеспечения быстрого и удобного доступа к различным областям данных в Карте используются 4 уровня масштаба, существенно облегчающие выбор интересующей пользователя области значений Z и N. Кроме того, предусмотрены панели быстрого поиска "Fast Search" и (при других масштабах) "Nucleus Search" для задания значений заряда Z и числа нейтронов N (или массового числа $A = Z + N$) конкретного, искомого пользователем, ядра. Представление об используемых масштабах отображения данных дают Рис. 3 - 5.

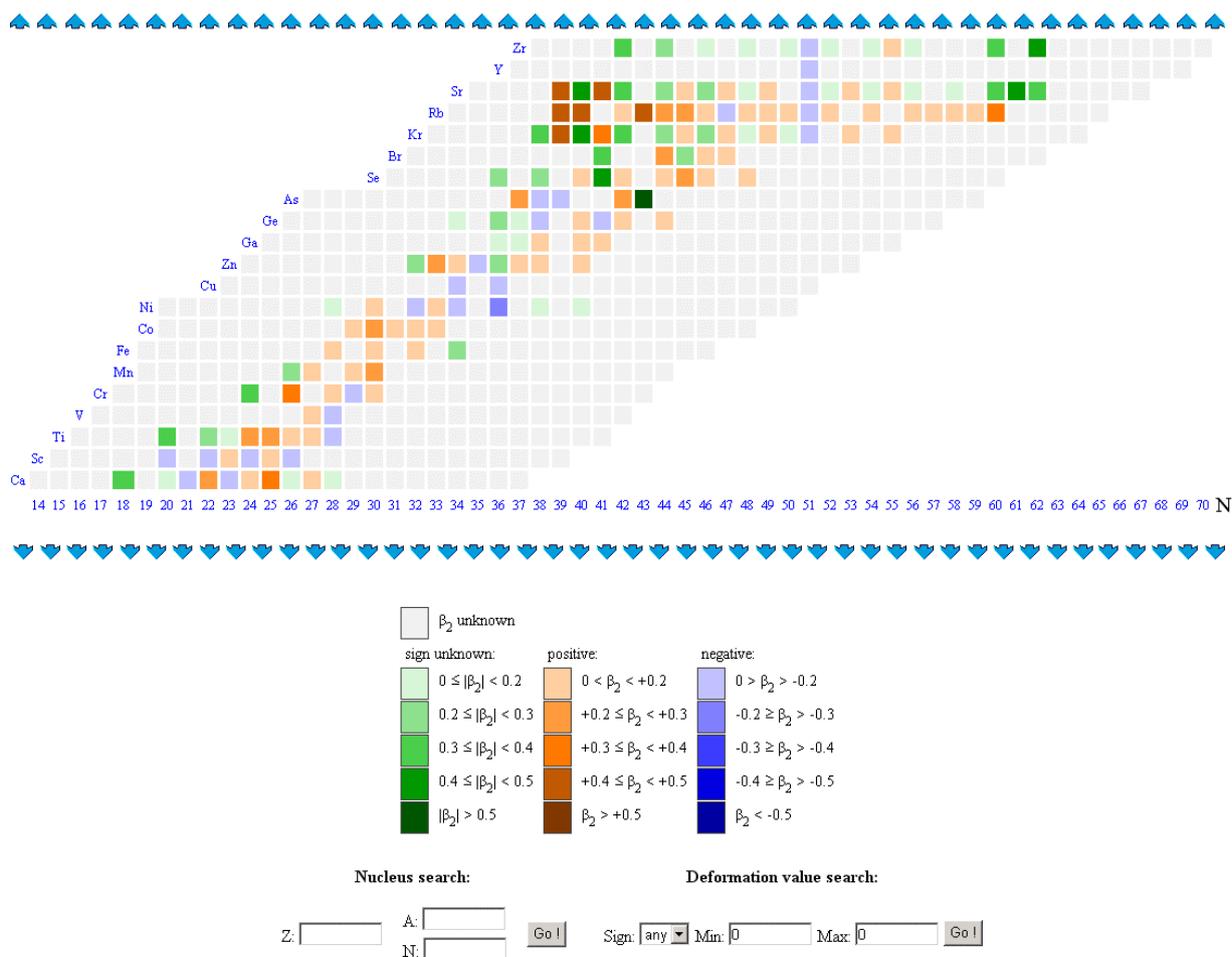


Рис. 4. Промежуточный уровень масштаба Карты деформаций.

Работа с системой заключается в выборе на ветви нуклидов Карты при самом мелком исходном масштабе сначала искомого диапазона значений (Z, N), а затем, при самом крупном масштабе, самого искомого ядра с последующим открытием таблицы его физических параметров (Рис 5).

Дополнительное удобство выбора нужного диапазона ядер обеспечивается специальной системой небольших стрелком, расположенных сверху и снизу, по отношению к Карте деформаций. Нажатие на стрелки этого ряда приводит к сдвигу видимой области ядер на 7 значений заряда Z вверх или вниз по ветви карты.

2.4 Принципы графического представления данных

С целью облегчения поиска и идентификации данных для ядра (или группы ядер), имеющих определенную деформацию (и соответствующую ей форму), в системе применена специальная расцветка элементов системы по типу традиционной расцветки географических карт. Так, коричневым цветом (“горы”) обозначены ядра с положительной деформацией, то есть вытянутые, синим (“моря”) – ядра с отрицательной деформацией, то есть сплюснутые, зеленым

(“равнины”) – ядра с деформацией неизвестного знака или нулевой. Используемые 5 градаций каждого цвета идентифицируют параметры деформации по абсолютной величине – наибольшему значению соответствует более интенсивный цвет. Такой принцип представления обсуждаемой физической информации дает возможность пользователю “на лету” обнаруживать ядра характерной формы – сильно или, напротив, незначительно вытянутые или сплюснутые.

Для еще более эффективного анализа определенных закономерностей некоторой выбранной области ядер предусмотрена панель “Deformation value search”. В данной панели возможно задание знака и диапазона значений параметра деформации β_2 . При нажатии кнопки “Go!” на Карте останутся окрашенными только ядра, имеющие деформацию, параметры которой находятся в заданном диапазоне.

После выбора ядра на самом крупном масштабе Карты в дополнительном окне (Рис. 5) приводятся все (соответствующие выбранному (выбранным) ранее источнику (источникам) информации) значения квадрупольных моментов Q и параметров квадрупольной деформации β_2 с указанием значений энергии, а также спина-четности состояний

атомного ядра, к которым они относятся. Информация приводится в виде таблиц (в соответствии с источниками данных).

2.5 Оригинальные печатные источники данных

Для обеспечения быстрого доступа пользователя к оригинальному источнику данных по параметрам деформации для конкретного ядра был использован метод, специально разработанный ранее для объединения информационных фондов различных баз данных в

Универсальной электронной системе информации [3] (интегрированной информационной системе [4]).

По кодам документов международной справочно-библиографической БД “NSR”, которые представлены в таблице выходных данных Карты (“NSR Reference, Рис. 5), осуществляется переход в созданную ранее, а затем интегрированную в Универсальную электронную систему БД “NSR”. Тем самым, пользователю не только предоставляется документ этой системы, детально описывающий соответствующую публикацию, но

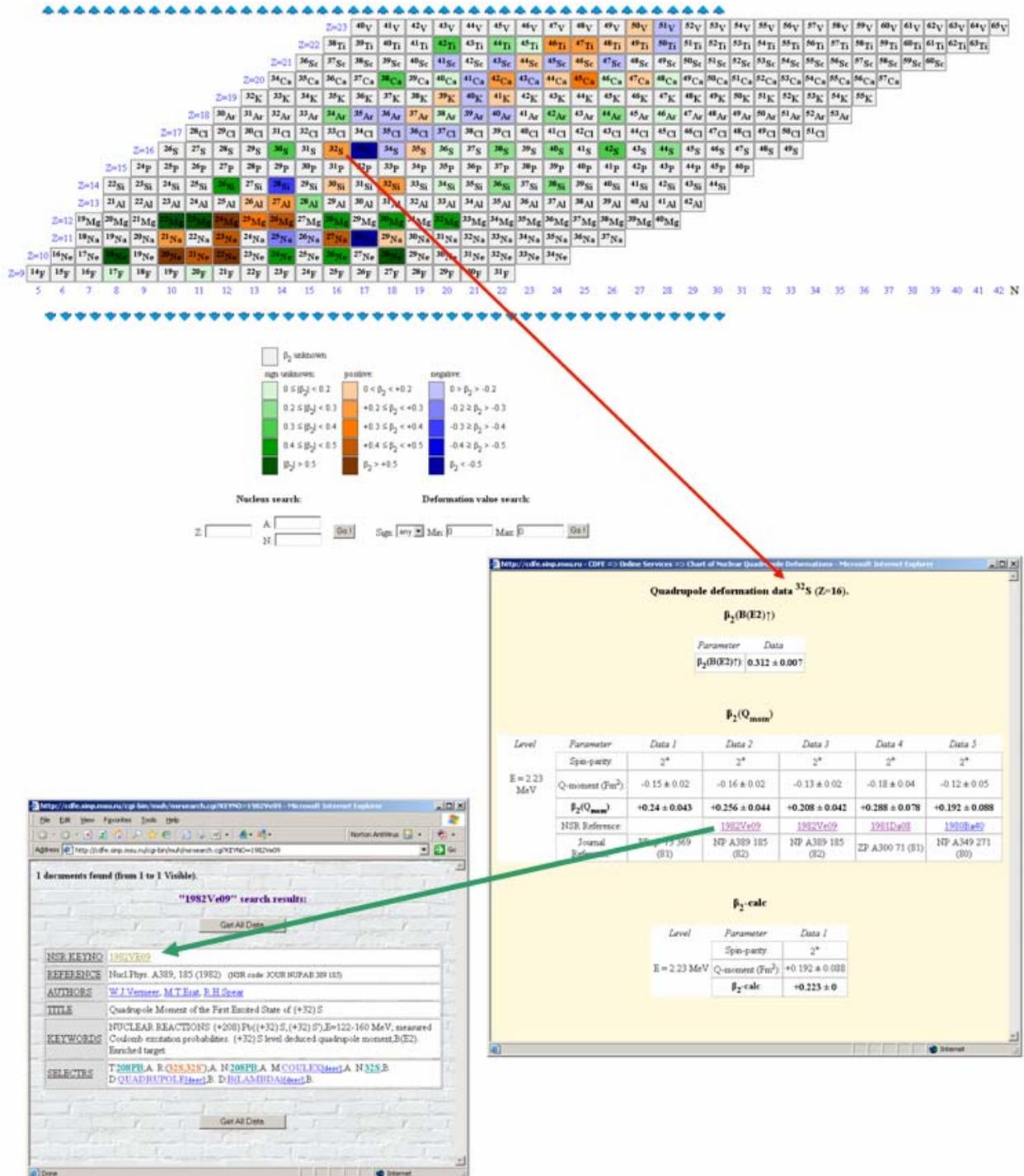


Рис. 5. Самый крупный масштаб Карты деформаций, блок параметров ядра ^{32}S (выбранного для примера) и документ БД NSR – полная библиографическая ссылка для одного из результатов.

также – все возможности, заложенные в Универсальной электронной системе информации по эффективному поиску информации во всех других БД, которые эта интегрированная система объединяет.

Было показано [3, 4] что эта интегрированная система впервые реализует возможность работы сразу с объединенным информационным фондом нескольких полных международных ядерно-физических БД. Единый интерфейс системы позволяет пользователю не только просматривать информацию, соотносящуюся с результатами его конкретного поиска, но накладывать на результат

поиска определенные ограничения: работать с данными основных (а впоследствии - и дополнительных) БД как с единой информационной системой. Такой подход позволяет более эффективно использовать накопленные информационные ресурсы и делает созданную Универсальную электронную систему информации по атомным ядрам и ядерным реакциям, по существу, не только новым инструментом информационного обеспечения научных исследований и учебного процесса, но и новым аналитическим средством научных исследований.

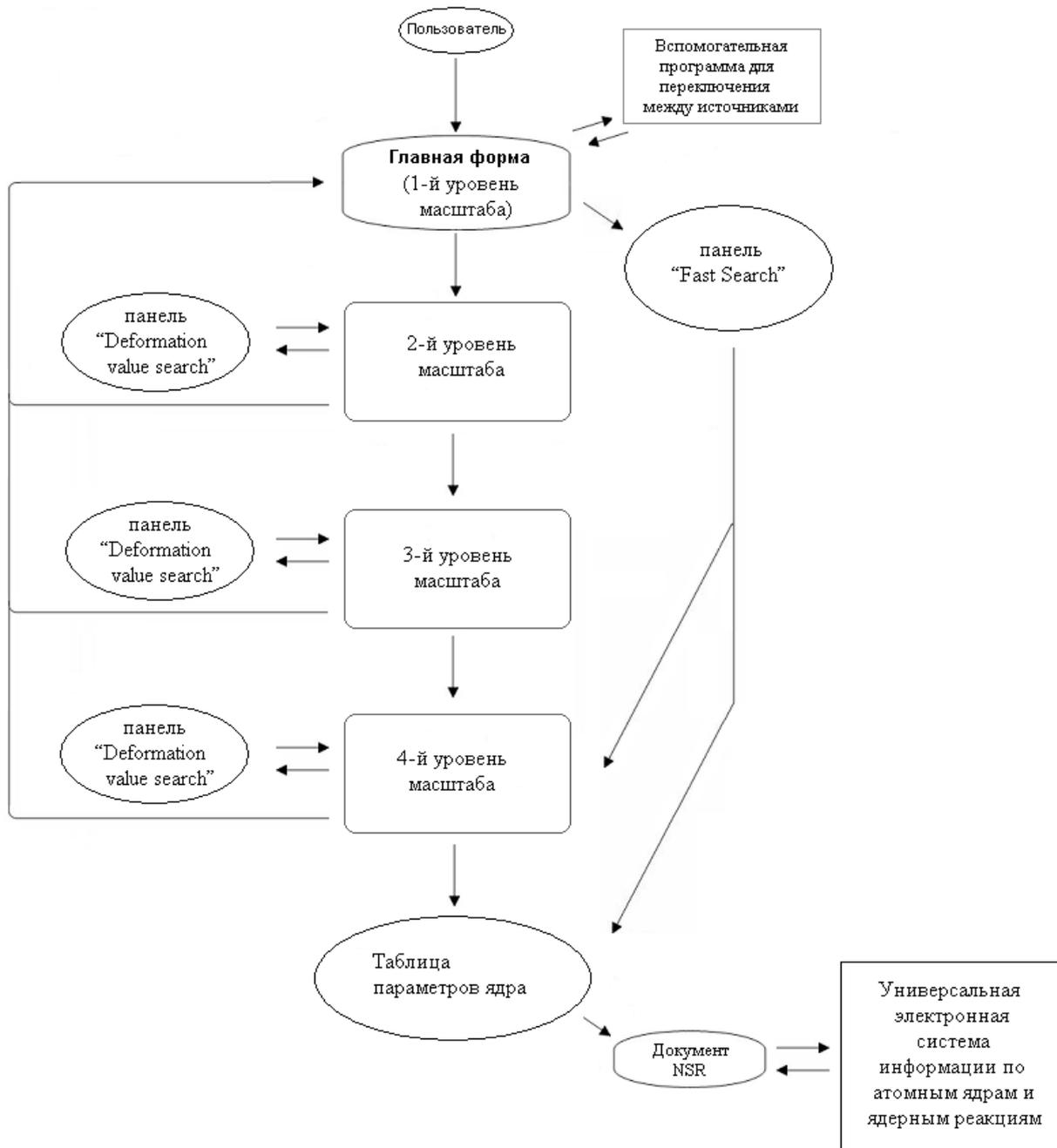


Рис.6. Общая блок-схема программного обеспечения системы графического представления данных Карты деформаций.

3 Принципы организации программного обеспечения Карты деформаций

3.1 Программные средства

Для обеспечения поиска данных по базе данных и отображения полученной информации используются небольшие программы, написанные на языке Perl (Рис. 6).

На главной странице пользователь выбирает число источников и предварительный диапазон ядер. При нажатии на ветку нуклидов, запрос пересылается на сервер, в программный модуль “chartpol.cgi”, где происходит выбор нужного изображения Карты, созданного вспомогательными модулями, и вставка его в html-страницу.

Далее, при выборе пользователем более крупных масштабов карты - 3-го и 4-го уровней (Рис. 6), запрос предварительно обрабатывается модулем “tmdef.js,” а затем пересылается на сервер, в программное ядро системы (“chartnucl.cgi”). В файле “chartnucl.cgi” происходит разбивание входных параметров запроса, обращение посредством библиотеки DBI в таблицу данных “deformations” СУБД MySQL, получение результатов из базы данных, построение html-таблицы, изображающей фрагмент ветви нуклидов, и вывод этой таблицы на экран.

Обработка запроса с панелей “Fast Search”, “Nucleus Search” и “Deformation value search” также выполняется сначала программой “tmdef.js”, а потом “chartnucl.cgi”.

Построение таблицы физических параметров атомных ядер происходит с помощью модуля “defcard.cgi”. При этом снова выполняется запрос в базу данных MySQL, и на его основе происходит создание html-страницы с данными по искомому нуклиду (Рис. 5) и гиперссылками в информационную систему NSR (“nsrsearch.cgi”).

3.2 Вспомогательные модули

Построение ветви нуклидов для мелких масштабов (1 и 2 уровней) происходит статически с помощью дополнительных программных модулей (“chartpng.pl,” “pallete.pm”) при использовании информации базы данных. При этом происходит формирование графических изображений Карты и последующая их вставка в директорию “defchart”.

Для подсветки выделенных ядер, а также для преобразования параметров поиска каждой ядерной ячейки используются небольшой программный модуль, написанный на языке JavaScript (“tmdef.js”). Параметры цветовой гаммы ядер находятся в таблице стилей (“chartnucl.css”).

Специальная кнопка (вопросительный знак желтого цвета) в правом верхнем углу главной страницы Карты (Рис. 3) является ссылкой на документ справки (“defhelp.html”), представленный в русском и английском вариантах (русско-язычный вариант – “defhelp_ru.html”).

Библиотечный модуль “parcheck.pm” выполняет функции безопасности, отсеивая неприемлемые варианты запросов к программным модулям системы.

4 Дальнейшее применение электронной системы

При создании описанной Карты деформаций было разработано новое универсальное программное обеспечение, которое может эффективно использоваться для столь же наглядного представления широкого круга характеристик объектов (и процессов). В частности, в Центре данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ разработанное новое программное обеспечение в настоящее время используется для создания еще нескольких Карт ядерных данных.

Одной из новых разработок является Карта основных характеристик (спин-четность) энергетических уровней ядер, имеющих вполне определенную природу. Описанное выше цветовое и графическое представление данных должно позволить достаточно легко и систематически исследовать целый ряд эффектов структуры ядер [11], для которых в настоящее время требуется просмотр огромного количества разнородной информации из различных источников.

Другой является Карта основных параметров так называемого гигантского дипольного резонанса (ГДР) – мощного максимума, наблюдаемого в сечениях различных реакций под действием гамма-квантов. Для всех ядер, для которых ГДР был исследован [12], дифференцированные по величине данные о его энергетическом положении и амплитуде приводятся также в координатах (Z,N) ядра. Описанные возможности Карты по поиску ядер, обладающих определенными свойствами, должны будут существенно повысить эффективность поиска ядер – кандидатов для использования огромного количества прикладных исследований, в которых используются фотоядерные реакции на ядрах различных материалов и веществ, сопровождающиеся испусканием различных частиц-продуктов.

В заключение следует отметить, что разработанное при создании описанной Карты деформаций новое универсальное программное обеспечение может очень эффективно использоваться для столь же наглядного представления широкого круга характеристик объектов (и процессов) и не относящихся к области ядерной физики. Необходимым условием для такого использования является лишь наличие между соответствующими параметрами объектов и процессов отношений, аналогичных описанным выше - двухпараметрическое расположение на некоторой плоскости и дискретность абсолютных значений.

Литература

- [1] I. N. Boboshin, B. S. Ishkhanov and V. V. Varlamov. Ядерная физика, 67 (2004) 1691.
- [2] I. N. Boboshin, B. S. Ishkhanov and V. V. Varlamov. Ядерная физика, 67 (2004) 1872.
- [3] И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, В. В. Вязовский, С. Ю. Комаров, Н. Н. Песков, М. Е. Степанов, В. В. Чесноков. Универсальная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям в среде Интернет. Труды Всероссийской научной конференции “Научный сервис в сети Интернет: технологии распределенных вычислений”. Новороссийск, 19 – 24 сентября 2005 г. ISBN 5-211-05141-6. Издательство Московского университета, Москва, 2005, с. 156.
- [4] И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, С. Ю. Комаров, Н. Н. Песков, М. Е. Степанов, В. В. Чесноков. Атомные ядра и ядерные реакции - новая интегрированная информационная система. Труды Седьмой Всероссийской научной конференции “Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции”, Ярославль, Россия, 04 – 06 октября 2005 г, ISBN 5-8397-0400-8, Издательство Ярославского государственного университета, 2005, с. 56.
- [5] Ed. by V. G. Pronyaev. The Nuclear Data Centres Network. IAEA Nuclear Data Section, INDC(NDS)-401, IAEA, Vienna, Austria, 1999.
- [6] О. В. Беспалова, И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, Т. А. Ермакова, Б. С. Ишханов, Е. А. Романовский, Т. И. Спасская. Известия РАН, серия физическая, 69 (2005) 123.
- [7] О. В. Беспалова, И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, et.al., Izvestiya RAN, seriya fizicheskaya 70 (2006) 661.
- [8] S.Raman, C.W.Nestor, P.Tikkanen. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 78, 1 (2001).
- [9] N.J.Stone. Atomic Data and Nuclear Data Tables, 90, 75 (2005).
- [10] Б.С.Ишханов, В.Н.Орлин. Ядерная физика, 68, 1407 (2005).
- [11] О.В.Беспалова, И.Н.Бобошин, В.В.Варламов, Т.А.Ермакова, Б.С.Ишханов, Е.А.Романовский, Т.И.Спасская, Т.П.Тимохина. Известия РАН, серия физическая, 70 (2006) 694.
- [12] A.V.Varlamov, V.V.Varlamov, D.S.Rudenko, M.E.Stepanov. Atlas of Giant Dipole Resonances. Parameters and Graphs of Photonuclear Reaction Cross Sections. INDC(NDS)-394, IAEA NDS, Vienna, Austria, 1999.

New Chart (Database) of Atomic Nuclei Quadrupole Deformations

I. N. Boboshin, V. V. Varlamov, S. Yu. Komarov,
N. N. Peskov, V. N. Orlin, V. V. Chesnokov

The new database – Graphical Search Engine “Chart of Atomic Nuclei Quadrupole Deformations” was produced at the Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Centre for Photonuclear Experiments Data using several reliable international sources of data on quadrupole moments and parameters of deformation. New system allows to one carry out the fast and convenient search and many-parameter analysis of the deformation data both for definite concrete nucleus and wide nuclei region for various nucleon lines.

Working with the Chart of deformations user can receive all needed information on atomic nucleus deformation in clear understandable visual form that increase the research efficiency and decrease the data obtained analysis time.

At this time the Chart of deformations includes the data for about 600 nuclides not only for ground, but in many cases for excited states of nuclei.

♣ Работа выполнена в Лаборатории анализа ядерных данных (Центр данных фотоядерных экспериментов) Отдела электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д.В.Скобельцына Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, была поддержана грантом Президента РФ для научных школ N НШ-1619.2003.2 и в разное время частично - грантами РФФИ N 99-07-90015, N 03-07-90431.