

# Базы научных данных по физике атомных ядер и ядерных реакций

И.Н.Бобошин, А.В.Варламов, В.В.Варламов, Н.С.Марков,  
Д.С.Руденко, М.Е.Степанов, В.В.Чесноков

Центр данных фотоядерных экспериментов  
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. *Д.В.Скобельцына*  
Московский государственный университет им. *М.В.Ломоносова*  
199899 Москва, Россия

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема развития и совершенствования информационных технологий – общая для различных областей человеческой деятельности. Физические исследования в целом (ядерно-физические, в частности) – лишь одна из них. Состояние дел в этой области в течение последних лет характеризуется стремительным ростом объемов получаемой, анализируемой и используемой информации с одновременным повышением требований к ее точности и надежности. Это непосредственно связывает эффективность научных исследований с прогрессом в области информационных технологий. Организация различных компьютерных библиотек, баз и банков данных, развитие и совершенствование методов использования накопленных данных не только при анализе результатов выполненных экспериментов, но и при планировании и подготовке новых, а также при моделировании экспериментов, которые по тем или иным причинам не могут быть осуществлены, создают основу для проведения как фундаментальных, так и прикладных исследований на качественно новом уровне. Во многих случаях новые информационные технологии обработки данных позволяют получать новые физические результаты.

Данные по физике атомных ядер и ядерных реакций 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 др.).

Основными объектами ядерно-физических исследований являются особенности строения и свойства атомных ядер, представляющих собой систему сложным образом взаимодействующих частиц – нуклонов. Эта система может находиться в различных состояниях, лишь одно из

которых (основное) устойчиво, а остальные (возбужденные) возникают вследствие внешних воздействий на ядро в ядерных реакциях или их радиоактивных превращений (распадов), происходящих вследствие определенных внутриядерных процессов. Каждое из таких состояний ядер, процессы их перехода из одних состояний в другие путем испускания, например,  $\gamma$ -квантов, процессы превращения ядер из одних в другие в ядерных реакциях и радиоактивных распадах описываются достаточно большими наборами параметров и характеристик.

Создание и использование объемных баз и банков именно таких данных о ядрах и процессах их превращений является основной задачей международной сети Центров ядерных данных (Nuclear Data Centres Network) [1] под эгидой Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ).

## 1 МЕЖДУНАРОДНАЯ СЕТЬ ЦЕНТРОВ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ

Международная сеть Центров ядерных данных включает в себя организации Австрии, Венгрии, Китая, России, США, Украины, Франции, Японии. Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ принимает участие в этом сотрудничестве вместе с двумя другими российскими организациями (Центр ядерных данных (ЦЯД) ГИЦ <Физико-энергетический институт>, Обнинск) и Центр атомных и ядерных данных (ЦАЯД) РИЦ <Курчатовский институт>, Москва.

Область ответственности ЦДФЭ в этом международном сотрудничестве – сбор, систематизация, анализ и оценка данных по реакциям под действием  $\gamma$ -квантов, использование всех накапливаемых сотрудничеством ядерных данных для обеспечения потребностей в них заинтересованных специалистов и организаций, прежде всего российских. В настоящее время более 80 % международного фонда фотоядерных данных подготовлено в ЦДФЭ.

Путем согласованного объединения данных, подготавливаемых всеми участниками сотрудничества в соответствии с их областями ответственности, созданы и поддерживаются [2] три основных массива ядерных данных.

**Данные о ядерных реакциях системы EXFOR (EXchange FORmat).** Большой (~500 Мб) массив данных (выходы и сечения реакций, угловые, энергетиче-

©Вторая Всероссийская научная конференция  
ЭЛЕКТРОННЫЕ БИБЛИОТЕКИ:  
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ,  
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОЛЛЕКЦИИ  
26-28 сентября 2000г., Протвино

ские, массовые и зарядовые распределения их продуктов и многие другие) по ядерным реакциям под действием частиц (нейтроны, протоны, дейтроны, тритоны,  $\alpha$ -частицы, тяжелые ионы) и  $\gamma$ -квантов низких и средних энергий.

**Данные об атомных ядрах системы ENSDF (Evaluated Nuclear Structure Data File).** Полный (данные обо всех известных в настоящее время  $\sim 2500$  нуклидах) большой ( $\sim 140$  Мб) массив экспериментальных и оцененных (проанализированных и обработанных по совокупности экспериментальных) данных об уровнях (энергия, спин, четность, время жизни, квадрупольный момент, изоспин и др.) ядра и переходах (энергия, мультипольность, коэффициенты смешивания и ветвления и другие) между ними, а также об  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -радиоактивных распадах.

**Справочно-библиографическая информация системы NSR (Nuclear Structure References).** Большой ( $\sim 150$  Мб) и достаточно полный (полнота близка к 100 % для работ, опубликованных, начиная с 1962 года) массив справочно-библиографической информации о работах, послуживших источником данных для массивов EXFOR и ENSDF. Массив содержит также краткие описания (в кодах) условий выполненных экспериментов и полученных результатов.

Эти массивы используются организациями – участниками международного сотрудничества для создания разнообразных информационно – поисковых систем [3, 4], баз и банков данных [2], специализированных для решения определенных исследовательских и прикладных задач.

С целью обеспечения свободного и эффективного доступа пользователей, в том числе и удаленных, ко всем накапливаемым ядерным данным в Секции ядерных данных МАГАТЭ, Национальном центре ядерных данных США и ЦДФЭ НИИЯФ МГУ созданы соответствующие Web-серверы. В первых двух организациях через такие серверы реализованы также выходы на интерактивные <on-line service> системы, реализованные с помощью средств <Telnet> и <Internet> и предоставляющие пользователям широкие возможности по поиску в базах необходимых данных.

## 2 WEB-СЕРВЕР ЦЕНТРА ДАННЫХ ФОТОЯДЕРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НИИЯФ МГУ

В условиях низкоскоростных линий связи, характерных для России, возможности средств <Telnet> и <Internet> далеко не всегда могут быть использованы достаточно эффективно. Когда до нахождения собственно данных требуется последовательное прохождение большого количества промежуточных этапов, время их прохождения часто оказывается недопустимо большим. Для того, чтобы избежать трудностей такого характера, на первой очереди Web-сервера ЦДФЭ (<http://depni.npi.msu.ru/cdfe>) базы данных ЦДФЭ были размещены [2] с помощью гипертекстового представления (все документы были написаны только с использованием языка HTML) данных. Это представление данных имеет невысокие поисковые возможности, но вместе с тем и определенные преимущества. Так, пользо-

вателю, не знакомому с форматами баз данных, именно эта версия представления данных наиболее удобна. Более того, уступая развитым интерактивным системам по поисковым возможностям, гипертекстовое представление данных значительно сокращает количество обращений (<щелканий мышью>) пользователя к различным разделам гипертекста и обеспечивает тем самым существенно большую скорость поиска и отбора данных. Эксплуатация гипертекстовой версии сервера в течение периода около двух лет оказалась достаточно эффективной.

Определенный прогресс в развитии российских сетей за это время позволил создать новую версию сервера, на которой для основных баз данных с помощью возможностей СУБД MySQL и языка программирования Perl были реализованы эффективные поисковые системы. Некоторые возможности этих систем кратко описаны ниже.

В настоящее время на сервере размещены следующие базы ядерных данных ЦДФЭ:

- параметры [5] гигантского дипольного резонанса атомных ядер и сечения различных фотоядерных реакций: 1530 разделов с данными об энергиях, амплитудах, ширинах, формах, некоторых интегральных характеристиках гигантских резонансов в сечениях различных фотоядерных реакций, 1080 графиков сечений фотоядерных реакций и соответствующих им таблиц числовых значений, подготовленные на основе международного банка данных системы EXFOR;
- энергетические пороги [6, 7] основных фотоядерных реакций и распространенности абсолютного большинства (296) изотопов стабильных ядер;
- справочно-библиографическая информация и краткий реферат в кодах [7, 8] о более 5000 экспериментальных работ по фото- и электрорасщеплению ядер, реакциям радиационного захвата частиц, опубликованных за период с 1950 года по настоящее время;
- каталог сечений ядерных реакций под действием заряженных частиц, подготовленный совместно с ЦАЯД и включающий в себя свыше 11000 разделов международного банка данных системы EXFOR, содержащих результаты около 14000 измерений;
- реляционная база данных по ядерной спектроскопии NESSY (New ENSDF Search System), созданная [9] в ЦДФЭ на основе массива ENSDF.

Общий объем данных сервера, размещенных на приблизительно 5000 страницах гипертекста в настоящее время составляет около 30 Мб.

Страница <On-line Services> с выходом на базы данных Web-сервера ЦДФЭ приведена на Рис.1.

Блок-схема взаимной связи различных баз данных и структуры поиска данных в них приведена на Рис.2.

## 2.1 База данных (Giant Dipole Resonance Data) параметров гигантского дипольного резонанса атомных ядер и сечений различных фотоядерных реакций

### 2.1.1 Содержание базы данных

База данных содержит основные характеристики (Таблица 1) гигантских резонансов, наблюдаемых в сечениях различных фотоядерных реакций (Таблица 2) для большинства известных ядер.

Дополнительно в основную таблицу базы данных включена информация (библиографическая ссылка, а также фамилия и инициалы первого автора) о соответствующей публикации.

Восьмизначные номера столбца <EXFOR> Таблицы 1 (номера разделов SUBENT международной системы EXFOR), представляют собой <линки> на страницы (Рис.3) сервера с графической информацией о соответствующем сечении реакции.

### 2.1.2 Поиск, отбор и использование данных

#### Первая очередь (гипертекст).

Поиск в базах данных первой очереди сервера проводится с помощью ОСНОВНОГО МЕНЮ (Main Menu) системы. Предусмотрены возможности поиска по элементам (ядрам, изотопам) и реакциям.

Для поиска данных по элементам часть ОСНОВНОГО МЕНЮ системы организована в виде хорошо известной Периодической таблицы элементов. Выбор определенного элемента вызывает промежуточное меню системы, с помощью которого возможен выбор одной из основных баз данных сервера.

Для поиска данных по реакциям соответствующая часть ОСНОВНОГО МЕНЮ системы организована в виде полного списка реакций, данные для которых представлены на Web-сервере. Выбор определенной реакции также вызывает промежуточное меню, в котором предусмотрена возможность выбора баз данных сервера.

По результатам поиска пользователь получает возможность Web-средствами перекачать на свой компьютер соответствующую часть таблицы с данными. Предусмотрена возможность просмотра отобранных сечений реакций в графическом виде (<линк> - номер раздела системы <EXFOR> таблицы базы данных (Таблица 1)). График (файл <\*.gif>) может быть простым <щелчком мыши> перекачан на компьютер пользователя, где может обрабатываться (изменение формата, масштаба, объединение нескольких графиков и т.п.) средствами редактора Word.

Предусмотрена также возможность перекачки на компьютер пользователя соответствующей графику отобранного сечения реакции таблицы (файл <\*.src>) числовых значений энергии налетающих  $\gamma$ -квантов (в МэВ), сечения реакции и его погрешности (в мб).

#### Современная версия (поисковая система).

Специально разработанная поисковая система (Search Engine) сохраняет простоту и оперативность доступа к отобранным данным и их (график и числа) пересылки на компьютер пользователя предыдущей гипертекстовой версии базы данных.

Реализован быстрый и эффективный поиск данных по содержанию всех числовых и текстовых полей (за исключением поля полной ширины резонанса <FWHM>) основной таблицы базы данных (Таблица 1).

Поисковые формы этой системы представлены на Рис 4.

## 2.2 База (CAJAD Charge Particle Reaction Cross Sections Catalogue) данных по реакциям под действием заряженных частиц

База данных (каталог сечений ядерных реакций под действием заряженных частиц, подготовленный совместно с ЦАЯД (CAJAD)) содержит (Таблица 3) детальную информацию об основных параметрах сечений значительного количества ядерных реакций под действием заряженных частиц. Основой каталога служит соответствующий международный банк данных системы EXFOR, вследствие чего и поисковые формы базы данных образованы с использованием кодов и ключевых слов системы EXFOR.

Поиск данных осуществляется по содержанию всех столбцов основной таблицы базы данных за исключением столбцов <P> и <COMMENT>.

При задании минимального <EN-MIN> и максимального <EN-MAX> значений энергии налетающей частицы отбираются те наборы данных, в которых исследованный диапазон энергий хотя бы с одной стороны попадает в диапазон, заданный в запросе.

Доступ к числовым данным осуществлен аналогично тому, как это было сделано для базы данных (Giant Dipole Resonance Data) параметров гигантского дипольного резонанса атомных ядер и сечений различных фотоядерных реакций: <линк> - номер <NUMBER> раздела системы <EXFOR> таблицы базы данных (Таблица 3).

Поисковые формы этой системы представлены на Рис. 5.

## 2.3 Реляционная база данных по ядерной спектроскопии NESSY (New ENSDF Search System), созданная в ЦДФЭ на основе массива ENSDF

База данных NESSY (New ENSDF Search System), ориентированная на PC, создана [9] в ЦДФЭ на основе массива данных об атомных ядрах системы ENSDF и содержит все огромное количество данные об уровнях всех известных в настоящее время ядер и переходах между ними.

База данных NESSY не имеет аналогов по возможностям поиска информации, содержащейся в международном массиве ENSDF:

Таблица 1. Содержание основной таблицы базы данных параметров ГДР.

<b>EXFOR</b>	номер раздела (SUBENT) международного банка данных EXFOR
<b>NUCL</b>	исследованное ядро (символ)
<b>A</b>	исследованное ядро (массовое число)
<b>REACT</b>	исследованная реакция
<b>E-MAX</b>	энергия (в МэВ) максимума резонанса в сечении реакции
<b>SIG</b>	сечение (в мб) в максимуме резонанса в сечении реакции
<b>FWHM</b>	полная ширина (в МэВ) на половине высоты резонанса в сечении реакции
<b>E-INT</b>	энергия (в МэВ) верхнего предела интегрирования
<b>SIG-INT</b>	интегральное сечение (в МэВ*мб)
<b>SIG-INT-1</b>	первый момент (в мб) интегрального сечения
<b>REFERENCE</b>	ссылка
<b>AUTHOR</b>	фамилия и инициалы 1-го автора

Таблица 2. Реакции базы данных параметров ГДР.

G,ABS	реакция фотопоглощения	$[(\gamma,n)+(\gamma,p)+(\gamma,np)+(\gamma,2n)+(\gamma,d)+(\gamma,t)+\dots+(\gamma,F)]$
G,XN	полная фотонейтронная реакция	$[(\gamma,n)+(\gamma,np)+2(\gamma,2n)+3(\gamma,3n)+\dots+\nu(\gamma,F)]$
G,SN	реакция образования нейтронов	$[(\gamma,n)+(\gamma,np)+(\gamma,2n)+(\gamma,3n)+\dots+(\gamma,F)]$
G,1N	чисто одно-нейтронная реакция	$(\gamma,n)$
G,N	одно-нейтронная реакция	$[(\gamma,n)+(\gamma,np)]$
G,2N	двух-нейтронная реакция	$[(\gamma,2n)+(\gamma,2np)]$
G,3N	трех-нейтронная реакция	$[(\gamma,3n)+(\gamma,3np)]$
G,NP	нейтрон-протонная реакция	$(\gamma,np)$
G,1P	чисто одно-протонная реакция	$(\gamma,p)$
G,P	одно-протонная реакция	$[(\gamma,p)+(\gamma,np)]$
G,D	дейтронная реакция	$(\gamma,d)$
G,T	тритонная реакция	$(\gamma,t)$
G,HE-3	He-3 -частичная реакция	$(\gamma,^3\text{He})$
G,A	$\alpha$ -частичная реакция	$(\gamma,\alpha)$
G,F	реакция деления	$[(\gamma,f)+\nu(\gamma,nf)]$

Таблица 3. Содержание таблицы каталога сечений ядерных реакций под действием заряженных частиц.

<b>NUMBER</b>	номер раздела (SUBENT) международного банка данных EXFOR
<b>P</b>	специальный символ идентификации разных реакций в одном разделе
<b>NUCL</b>	исследованное ядро (символ)
<b>A</b>	исследованное ядро (массовое число)
<b>REACTION</b>	исследованная реакция
<b>NUCL-FIN</b>	конечное ядро исследованной реакции
<b>QUANTITY</b>	коды основных полученных результатов
<b>COMMENT</b>	комментарий к полученным результатам
<b>EN-UNIT</b>	единицы измерения энергии налетающих частиц
<b>EN-MIN</b>	минимальное значение энергии налетающих частиц
<b>EN-MAX</b>	максимальное значение энергии налетающих частиц

- отсутствие ограничений на условия запроса и формат выдаваемых данных;
- возможность составления цепочек запросов (данные, отображенные в результате одного запроса автоматически включаются в поисковое предписание для другого);
- возможность проведения логических и/или арифметических операций над данными в процессе обработки запроса и т.п.

Web-версия базы данных NESSY подготовлена с использованием возможностей СУБД MySQL и предназначена для эффективного поиска данных об уровнях ядер и переходах между ними.

Поисковые формы этой системы представлены на Рис.6,7.

### 3 ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ WEB-СЕРВЕРА ЦДФЭ

В настоящее время проводятся следующие работы по развитию как собственно баз данных, так и средств доступа к ним:

- пополнение информационного фонда основных баз данных, размещенных на сервере ЦДФЭ в настоящее время;
- реализация в Web версии базы данных NESSY всех поисковых возможностей ее PC-версии;
- разработка на основе СУБД MySQL при использовании языка программирования Perl поисковой системы (Search Engine) для базы данных справочно-библиографической информации по фото- и электро-расщеплению ядер;
- разработка поисковой системы для полной базы данных международной системы EXFOR.

### Список литературы

- [1] Ed. by *H.D.Lemmel*, The Nuclear Data Centres Network. IAEA Nuclear Data Section, INDC(NDS)-359, IAEA, Vienna, Austria, 1997.
- [2] *И.Н.Бобошин, А.В.Варламов, В.В.Варламов, Д.С.Руденко, М.Е.Степанов*. Базы ядерно-физических данных Центра данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ: гипертекстовое представление в среде WWW. Препринт НИИЯФ МГУ-99-26/584, -М., 1999.
- [3] *В.В.Варламов, Б.С.Ишханов, А.П.Черняев, В.В.Сургутанов*. Автоматизированная система научной информации по ядерной физике. Вестник МГУ. Физика, Астрономия, 27 (1986) 102.
- [4] *V. V. Varlamov, B.S.Ishkhanov*. Advanced Informational Technologies in Nuclear Physics Research. International School-Seminar on Automation and Computing in Science, Engineering and Industry (ACS'98), Moscow, 1998, p. 85.
- [5] *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, 1999.
- [6] *G.Audi, A.H.Wapstra*. The 1995 Update to the Atomic Mass Evaluation. Nucl.Phys., A595 (1995) 409.
- [7] *В.В.Варламов, В.В.Сапуненко, М.Е.Степанов*. Фотоядерные данные 1976–1995. Указатель. Издательство Московского университета, -М., 1996.
- [8] *T.Asami, T.Nakagawa*. Bibliographic Index to Photonuclear Reaction Data (1955–1992). JAERI-M-93-195, INDC(JPN) – 167L, JAERI, Japan, 1993.
- [9] *I.N.Boboshin, V. V. Varlamov*. The New ENSDF Search System NESSY: IBM/PC Nuclear Spectroscopy Data Base. Nucl.Instr. and Meth., A369 (1996) 113.

Рис. 1: Страница <On-line Services> с выходом на базы данных Web-сервера ЦДФЭ.

Рис. 2: Блок-схема взаимной связи различных баз данных и структуры поиска данных в них.

Рис. 3: Страница Web-сервера с выходом на числовую и графическую информацию из базы данных (Giant Dipole Resonance Data) параметров гигантского дипольного резонанса атомных ядер и сечений различных фотоядерных реакций.

Рис. 4: Поисковые формы базы данных (Giant Dipole Resonance Data) параметров гигантского дипольного резонанса атомных ядер и сечений различных фотоядерных реакций.

Рис. 5: Поисковые формы базы (CAJAD Charge Particle Reaction Cross Sections Catalogue) данных по реакциям под действием заряженных частиц.

Рис. 6: Поисковые формы базы данных NESSY для составления запроса на получение информации о схемах уровней ядер.

Рис. 7: Поисковые формы базы данных NESSY для составления запроса на получение информации о схемах уровней ядер и  $\gamma$ -переходов между ними.