

Атомные ядра и ядерные реакции – новая интегрированная информационная система*

© И. Н. Бобошин, В. В. Варламов, С. Ю. Комаров,

Н. Н. Песков, М. Е. Степанов, В. В. Чесноков

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

Аннотация

На основе объединения информационных фондов и поисковых возможностей нескольких международных баз ядерно-физических данных в Центре данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) НИИЯФ МГУ создана интегрированная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям.

Новая система впервые реализует возможность работы с объединенным информационным фондом нескольких полных реляционных баз данных (БД). Единый интерфейс системы позволяет пользователю не только просматривать данные, соотносящиеся с результатами его конкретного поиска, но образовывать цепочки запросов к разным БД: работать с данными трех основных и нескольких дополнительных БД как с единой информационной системой. Такой подход позволяет более эффективно использовать накопленные информационные ресурсы и делает созданную 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.

1 Основные тенденции развития информационных систем

Данные по атомным ядрам и ядерным реакциям требуются для решения разнообразных проблем как фундаментальных, так и прикладных ядерно-физических исследований, а также многочисленных приложений и в других областях науки и техники, прямо или косвенно связанных с ядерной физикой. Стремительный рост объемов получаемой, анализируемой и используемой информации сопровождается одновременным повышением требований к ее точности и надежности, что непосредственно связывает эффективность научных исследований с прогрессом в области информационных технологий. Весьма характерным в настоящее время путем развития и совершенствования информационных технологий в различных областях человеческой деятельности, в том числе в области физических (ядерно-физических, в частности) исследований является создание больших (полных, репрезентативных) реляционных баз данных (БД).

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].

Одним из очевидных путей прогресса в области информационных технологий является объединение информационных и поисковых возможностей разных по содержанию, но близких по тематике БД в интегрированные системы. Оно позволяет

пользователю с минимумом затрат не только получить интересующий его конкретный набор данных, но и сформировать существенно более широкое представление об исследуемом объекте или процессе, об информации, сопутствующей данным искомого набора.

Созданная в ЦДФЭ НИИЯФ МГУ новая Универсальная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям объединяет данные из нескольких хорошо известных и широко используемых специалистами полных международных банков ядерно-физических данных, поддерживаемых международной сетью Центров ядерных данных (Nuclear Data Centres Network) [3] МАГАТЭ. Несмотря на наличие нескольких информационных систем сходного назначения (в частности – в Национальном центре ядерных данных США (Брукхэвен), Секции ядерных данных МАГАТЭ (Вена, Австрия), в университетах Беркли (США) и Лунда (Швеция)), новая система аналогов не имеет.

2 Международные банки ядерных данных как источники информации для интегрированной системы

С целью решения проблем эффективного информационного обеспечения ядерно-физических исследований в ЦДФЭ в 2003-2005 годах были созданы несколько больших реляционных БД. Они содержат огромное количество фактографической и справочно-библиографической информации по атомным ядрам и ядерным реакциям.

С точки зрения обсуждаемых проблем обеспечения информацией исследований по ядерной физике основными являются [4, 5] три размещенные на Web-сайте ЦДФЭ (<http://cdfc.sinp.msu.ru>) реляционные БД, основанные на известных специалистам международных информационных массивах:

“База данных по ядерным реакциям” системы EXFOR [6], содержащая информацию (более 250 тыс. работ, свыше 2 млн. наборов данных, ~ 500 Мб) о разнообразных характеристиках огромного количества ядерных реакций под действием фотонов, нейтронов, заряженных частиц и тяжелых ионов;

“База ядерно-спектроскопических данных” [7], созданная на основе массива экспериментальных и оцененных данных по структуре ядер ENSDF и включающая в себя практически всю опубликованную информацию (свыше 200 Мб) об уровнях и переходах между ними для всех известных (~ 3500) атомных ядер;

база данных “Публикации по ядерной физике” [8], созданная на основе массива NSR, включающего в себя справочно-библиографическую информацию (~ 200000 документов) по экспериментальным и по теоретическим работам, опубликованным с 1910 года (начиная с пионерских работ Э. Резерфорда).

Дополнительно используется оригинальная БД “Параметры основных состояний атомных ядер”, созданная в ЦДФЭ на основе нескольких менее известных и менее широко используемых массивов [9].

В силу независимого исторического развития связь между исходными информационными банками (фондами, массивами) EXFOR, ENSDF и NSR разработчиками не была предусмотрена: при их создании использовались различные форматы записи и кодировки однотипных данных, обозначения журналов, написания фамилий авторов и т.д. Однако в связи с тенденциями развития современных информационных систем, кратко отмеченными выше, такая связь с каждым годом становится все более необходимой для эффективной работы специалистов.

3 Основные принципы организации интегрированной информационной системы

3.1 Единый подход к организации различных БД

В настоящее время в ЦДФЭ созданы и постоянно доступны пользователям через сеть Интернет [4, 5] 8 реляционных БД и один интерактивный калькулятор (энергетических порогов фотоядерных реакций), который в определенном смысле тоже может рассматриваться как БД, так как по определенным запросам выдает пользователям необходимые данные.

При создании всех БД и их поисковых систем был использован единый подход (операционная система LINUX, система управления базами данных MySQL, Web-сервер “Apache”, технологии обработки запросов CGI, языки программирования C++, Perl и PHP).

Единый подход к созданию программного обеспечения всех реляционных баз данных Web-сервера ЦДФЭ дал возможность на их основе впервые построить не имеющую аналогов интегрированную систему информации по ядерной физике [4, 5] с объединенным интерфейсом, позволяющим существенно повысить эффективность, качество и оперативность работы с информацией всех БД. Система дает возможность эффективно и одновременно использовать как фонды данных, так и поисковые возможности интегрированных БД.

3.2 Объединенный интерфейс системы

Объединенный (единый) интерфейс [4] системы обеспечивает широкие и гибкие возможности одновременной работы с несколькими (в настоящее время – с тремя основными) БД Web-сервера ЦДФЭ (<http://cdfc.sinp.msu.ru>):

начиная, с рассмотрения ядерной реакции (EXFOR) как процесса проявления “внешних” свойств ядер, легко получить информацию и о



внутренних свойствах ядер, как ядра-мишени, так и конечного, участвующих в этой реакции;

начиная с рассмотрения информации о спектроскопических свойствах конкретных ядер (ENSDF), легко перейти к характеристикам ядерных процессов (реакций и радиоактивных распадов), в которых необходимые данные были получены;

в любом случае дополнить поиск конкретных данных ссылками (NSR) на соответствующие (и дополнительные) публикации, а кроме того, получить полный список публикаций, в которых содержатся дополнительные сведения об интересующих реакции и/или ядрах.

3.3 Основной принцип организации интегрированной системы - "перекрестные" поиска в ее объединенном информационном фонде

Конкретная реализация основного принципа "перекрестных" поисков в новой системе выглядит следующим образом.

Если пользователь начинает поиск необходимых данных с рассмотрения ядерной реакции (EXFOR) как процесса проявления "внешних" свойств ядер, то он легко может получить информацию и о внутренних свойствах как ядра-мишени, так и

CFDE search engine. - Microsoft Internet Explorer

Адрес: <http://cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/exfv3.cgi?entry=8&ztarg=50&atarg=8&inpart=G&inpart1=8&outp>

Recordings from 1 to 9

Subent	First Author	Reference (+ NSR)	Target Nucleus	Reaction *means combination	Final Nucleus	Quantity	Field of Measurement		
							Unit	Minimum	Maximum
<input type="checkbox"/> M0201012	M.G.DAVYDOV+	IAE,58,47,85	50-SN-112	(G,P)	49-IN-111-M/G	SIG/RAT_BRA	MEV	22	22
<input type="checkbox"/> M0607002	YU.I.SOROKIN+	I,YF,14,(6),1118,1971	50-SN-112	(G,P)*	49-IN-111	SIG	MEV	13.2	28.2
<input type="checkbox"/> M0607004	YU.I.SOROKIN+	I,YF,14,(6),1118,1971	50-SN-112	(G,P)*	49-IN-111	INT	MEV		28
<input type="checkbox"/> M0201013	M.G.DAVYDOV+	IAE,58,47,85	50-SN-118	(G,P)	49-IN-117-M/G	SIG/RAT_BRA	MEV	22	22
<input type="checkbox"/> M0616004	YU.P.GANGORSKY+	I,YF,62,1733,1999	50-SN-118	(G,P)	49-IN-117-M/G	SIG/RAT_BRA	MEV		24
<input type="checkbox"/> M0616005	YU.P.GANGORSKY+	I,YF,62,1733,1999	50-SN-120	(G,P)	49-IN-119-M/G	SIG/RAT_BRA	MEV		24
<input type="checkbox"/> M0616006	YU.P.GANGORSKY+	I,YF,62,1733,1999	50-SN-122	(G,P)	49-IN-121-M/G	SIG/RAT_BRA	MEV		24
<input type="checkbox"/> M0607003	YU.I.SOROKIN+	I,YF,14,(6),1118,1971	50-SN-124	(G,P)*	49-IN-123	SIG	MEV	19.6	26.4
<input type="checkbox"/> M0607005	YU.I.SOROKIN+	I,YF,14,(6),1118,1971	50-SN-124	(G,P)*	49-IN-123	INT	MEV		28

конечного ядра, участвующих в этой реакции. Так, например, при запросе информации по реакции (γ, p) для ядер с $Z = 50$), пользователю выдается выходная форма, в которой представлено краткое описание

ссылки “50-SN-112” позволяет получить для основного состояния данного изотопа ядра олова информацию о таких параметрах, как период полураспада $T_{1/2}$ (или ширина Γ) для нестабильного

A	$T_{1/2}$ or Γ or Abundance	J^π	Atomic Mass M, Micro-U	$\Delta_{A.M.}$ Micro-U	Mass Excess M-A, keV	$\Delta_{M.E.}$ keV	Nucleus Binding Energy, keV	$\Delta_{B.E.}$ keV	Ground State Isospin	First $T_{1/2}$ State Energy, keV
<input checked="" type="checkbox"/> 112	0.97%	1	111 904820.810	4.531	-88658.831	4.220	953529.315	4.223	6	13622.35
<input checked="" type="checkbox"/> All listed isotopes										

основных разделов каждой из подобранных системой работ.

Как и ранее (при работе с отдельной БД системы EXFOR), ссылка из раздела “Subent” выводит пользователя на фактографическую информацию, абсолютно во всех случаях представленную в виде таблицы числовых данных и во многих случаях – в виде графика.

В отличие от работы с отдельной БД, в выходной форме интегрированной системы дополнительная ссылка из раздела “Target Nucleus” выводит пользователя на БД “Параметры основных состояний ядер”, ссылка из раздела “Final Nucleus” – на БД “ENSDF”, а ссылка из раздела “Reference (+ NSR)” – на соответствующие документы БД NSR.

Так, для приведенного примера использование

ядра или распространенность в естественной смеси стабильного изотопа, значения спина и четности J^π , величину атомной массы изотопа, избытка массы, энергия связи, изоспин, энергия первого изобар-аналогового состояния.

Использование ссылки “Final Nucleus” той же выходной формы БД EXFOR, например, 49-IN-123, выводит пользователя на соответствующий раздел БД ENSDF, содержащий схему (энергия, спин-четность, период полураспада) уровней этого изотопа индия в числовом виде, а также – на данные в графическом виде и исходные экспериментальные данные (раздел “ENSDF Source”).

Библиографическая ссылка “Reference (+ NSR)” выходной формы БД EXFOR, например, J,YF,14,(6),1118,1971, приводит пользователя (см. следующую страницу) к разделам БД NSR, в

```

<KEYNO >1972SU02
<HISTORY >A19800630
<CODEN >JOUR PRVCA C5 1705
<REFERENCE >Phys. Rev. C5, 1705 (1972)
<AUTHORS >M. Sugawara, K. Shoda, T. Saito, H. Miyase, A. Suzuki, S. Oikawa, R. Bergere
<TITLE >Photoproton Reaction on Sn Isotopes
<KEYWORDS >NUCLEAR REACTIONS (+116), (+117), (+118), (+120), (+122), (+124)Sn(lg,p),(e
e,p),E < 24 MeV; measured J^pi(E,Ep). (+116), (+117), (+118), (+120), (+122), (+124)Sn deduced resonances; isobaric analogs.
<SELECTRS >T:116SN,A. T:117SN,A. T:118SN,A. T:120SN,A. T:122SN,A. T:124SN,A. R:(G,P),A. N:115IN,A. N:116IN,A. N:117IN,A. N:119IN,A. N:121IN,A. N:123IN,A. R:
(E,EP),A. N:115IN,A. N:116IN,A. N:117IN,A. N:119IN,A. N:121IN,A. N:123IN,A. M:DSIGMA,A. N:116SN,B. N:117SN,B. N:118SN,B. N:120SN,B. N:122SN,B. N:124SN,B.
D:RESONANCE,B. D:ANALOGS,B.
link to ENSDF

<KEYNO >1998GAZU
<HISTORY >A19990113
<CODEN >REPT JINR-P15-98-37,Gangrsky
<REFERENCE >JINR-P15-98-37 (1998)
<AUTHORS >Yu. P. Gangrsky, P. Zuzaan, N.N. Kolesnikov, V.G. Lukashchik, A. P. Tonchev
<TITLE >Isomeric Ratios in the Reaction (lg,p) at the Energies of the Giant Dipole Resonance
<KEYWORDS >NUCLEAR REACTIONS (+98)Mo, (+105)Ru, (+118), (+120), (+122)Sn(lg,p),E [?] 10 MeV bremsstrahlung, measured yields, isomeric ratios. Activation technique.
<SELECTRS >T:98MO,A. T:105RU,A. T:118SN,A. T:120SN,A. T:122SN,A. R:(G,P),A. N:97NB,A. N:104TC,A. N:117IN,A. N:119IN,A. N:121IN,A. M:YIELDS,A.
link to EXFOR

<KEYNO >1999GA45
<HISTORY >A19991117
<CODEN >JOUR YAFIA 62, No 10, 1733
<REFERENCE >Yad. Fiz. 62, No 10, 1733 (1999), Phys. Atomic Nuclei 62, 1615 (1999)
<AUTHORS >Yu. P. Gangrsky, P. Zuzaan, N.N. Kolesnikov, V.G. Lukashchik, A. P. Tonchev
<TITLE >Isomeric Ratios in (lg,p) Reactions at Giant-Dipole-Resonance Energies
<KEYWORDS >NUCLEAR REACTIONS (+98)Mo, (+100)Ru, (+118), (+120), (+122)Sn(lg,p),E=19-24 MeV bremsstrahlung, measured yields, isomeric ratios. Activation
technique, comparison with statistical model calculations.
<SELECTRS >T:98MO,A. T:100RU,A. T:118SN,A. T:120SN,A. T:122SN,A. R:(G,P),A. N:97NB,A. N:99TC,A. N:117IN,A. N:119IN,A. N:121IN,A. M:YIELDS,A.
link to EXFOR

```

которых имеется информация о той реакции 50-SN-112 (G,P), которая была запрошена в исходном запросе, естественно, включая и саму исходную работу.

Особенность созданной интегрированной системы заключается в том, что во многие ее

Подобным же образом интегрированная информационная система работает и при проведении первоначального поиска в БД ENSDF. По кодам документов БД NSR, которые представлены в любом документе БД ENSDF, осуществляется переход в БД NSR, после чего, в

ENSDF Source	Nucleus	Level energy	Spin-parity	Half-life
123.7	40-IN-123	0.0	9/2+	5.98 s (8)
123.7	40-IN-123	327.21 (4)	1/2-	47.8 s (5)
123.7	40-IN-123	688.55 (4)	(3/2-)	

документы, образованные на базе БД NSR, были введены ссылки “[link to EXFOR](#)” на разделы этой БД. Они позволяют пользователю вернуться в БД EXFOR, конкретно в ее выходную форму именно для той работы, для которой указана ссылка.

Интегрированность новой информационной системы заключается также и в том, что в эти же справочно-библиографические документы были включены и ссылки “[link to ENSDF](#)”. Наличие такой ссылки в работе, найденной в результате поиска данных по конкретной ядерной реакции, свидетельствует о том, что кроме данных по характеристикам обсуждаемой ядерной реакции (в рассматриваемом примере работы 1971SO14 – “реакция (γ, p) на ядре ^{112}Sn ” и многих других, также исследованных в этой работе), в ней были получены и спектроскопические данные. Ссылка “[link to ENSDF](#)” дает возможность пользователю прямо получить выходную форму БД ENSDF с этими данными, которая предоставляет пользователю информацию об имеющихся в рассматриваемой работе спектроскопических данных (в конкретном примере – для ядер ^{197}Pt и ^{197}Hg).

Следует отметить и наличие в большом количестве документов БД NSR ссылок “[link to full text document](#)”, предоставляющих пользователю доступ к полному тексту (в формате pdf) соответствующей публикации.

соответствии со сказанным выше, становятся возможными переходы в новые разделы БД ENSDF или в БД EXFOR.

Главная страница новой системы в настоящее время представляет собой комбинацию специализированных фрагментов полных поисковых систем образующих БД, в полной мере обеспечивающих описанную выше систему “перекрестных” поисков.

Разделы “Full Search” позволяют пользователю в случае необходимости, минуя поиск в новой интегрированной системе, выходить на полный поиск в каждой соответствующей образующей БД.

3.4 Основные принципы технической реализации интегрированной системы

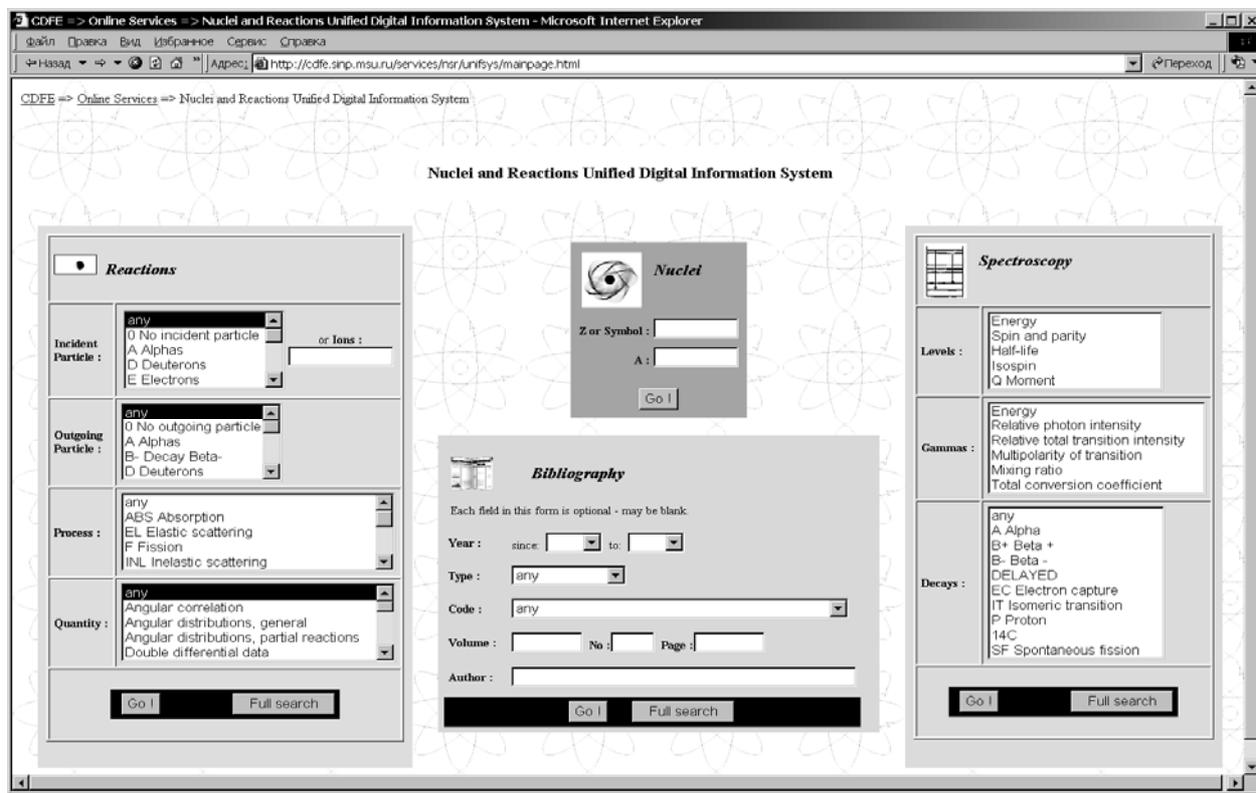
Программное обеспечение интегрированной информационной системы написано на языках программирования Perl и JavaScript с применением Html. Его основными компонентами являются главная форма html-страница (mainpage.html) и специальные программы предварительной обработки данных запроса (unisearch.js), выполнения запросов к отдельным базам данных (nsrsearch.cgi, exfV3.cgi, nesity.cgi) и обеспечения работы “перекрестных” поисков (nsr_desc.cgi, nsr_ensdf.cgi, exf_nsr.cgi и др.).

Титульная страница объединенного интерфейса

ENSDF Source	Nucleus	Reference	Experiment information
117.40	50-SN-117	1972SU02	117SN(E,E'P)
120.26	50-SN-120	1972SU02	120SN(E,E'P) IAR

представляет собой набор полей ввода параметров запросов к трем основным разделам информационного фонда – “Reactions”, “Bibliography” и “Spectroscopy”, дополненных полем ввода величин заряда и массового числа ядер “Nuclei”.

параметры) представляют собой html-теги, при активизации которых пользователем происходит передача запроса на Web-сервер и выполнение его с помощью соответствующей вспомогательной программы.



При окончании формирования пользователем запроса нажатие им одной из трех (в зависимости от того, с какого раздела информационного фонда он хотел бы начать свой поиск) кнопок “Go” запускает программу (unisearch.js) предварительной обработки запроса, связывающую параметры запроса по конкретному разделу фонда с параметрами ядра (ядер).

Сформированный полностью запрос посредством технологии CGI передается на Web-сервер и обрабатывается одной из программ выполнения запросов (nsrsearch.cgi, exfV3.cgi, nussy.cgi), соответствующей конкретно выбранному разделу информационного фонда системы. При этом связь с СУБД MySQL осуществляется на основе SQL-запросов с использованием интерфейса DBI. При работе каждой из указанных программ выполнения запросов происходит выборка искомой информации из соответствующей БД, вставка пояснительных “перекрестных” и ссылок на другие разделы системы и ее отображение в виде html-страниц.

Все используемые в интегрированной системе “перекрестные” ссылки (например, упоминавшиеся выше ссылки “[link to EXFOR](#)”, “[link to ENSDF](#)”, имеющиеся также ссылки [link to full text document](#) и другие, идентифицирующие начальное и конечное ядра реакций и многие другие

Подводя итоги, можно сказать, что в результате проделанной работы впервые создана информационная система по физике атомного ядра, объединившая в своем составе и связавшая друг с другом разнородные массивы ядерно-физической информации. Система предоставляет пользователю информацию о различных характеристиках собственно атомных ядер (масса, энергетические уровни, спины и четности состояний), во взаимосвязи с параметрами разнообразных ядерных процессов (возбуждение ядер, ядерные реакции и радиоактивные распады). При этом практически вся фактографическая информация обеспечена библиографическими ссылками на ее источники.

Возможность использования созданной информационной системы, к примеру, по схеме ядро $A \rightarrow$ процесс $X \rightarrow$ ядро $B \rightarrow$ процесс $Y \rightarrow$ и т.д. позволяет рассматривать ее как аналитический инструмент для научных исследований, а не только как справочную систему.

Особо стоит отметить, что информационная система, помимо использования ее профессионалами, может оказаться весьма полезной и в учебном процессе при подготовке будущих специалистов-физиков.

Литература

- [1] B. S. Ishkhanov, V. V. Varlamov Photonuclear Reactions: Modern Status of the Data. В *Ядерная физика*, том 67, страницы 1691 - 1701, 2004.
- [2] I. N. Boboshin, B. S. Ishkhanov, V. V. Varlamov. New Data on Nuclear Subshells Obtained from the Analysis of the Information from the International Database on Nuclear Structure ENSDF. В *Ядерная физика*, том 67, страницы 1872 - 1876, 2004,.
- [3] Ed. by V. G. Pronyaev. The Nuclear Data Centres Network in *IAEA Nuclear Data Section INDC(NDS)-401*, IAEA, Vienna, Austria, 1999.
- [4] И. Н. Бобошин, Д. Д. Бранец, В. В. Варламов, С. Ю. Комаров, Ли Чжон Чжу, Н. Н. Песков, М. Е. Степанов, В. В. Чесноков. Новая объединенная реляционная база фактографических и справочно-библиографических данных по структуре атомных ядер. Труды Шестой Всероссийской научной конференции RCDL'2004 "Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции", Пушино, Россия, 29 сентября – 1 октября 2004 г, Пушино, 2004, страницы 22 - 26.
- [5] И. Н. Бобошин, Д. Д. Бранец, В. В. Варламов, С. Ю. Комаров, Э. И. Кэбин, Ли Чжон Чжу, Н. Н. Песков, М. Е. Степанов, В. В. Чесноков. Новая интегрированная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям. Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет", Новороссийск, 20 – 25 сентября 2004 г. Издательство Московского университета, Москва, 2004, страницы 22 – 25.
- [6] База данных по ядерным реакциям системы EXFOR
<http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
- [7] База ядерно-спектроскопических данных
<http://cdfe.sinp.msu.ru/services/ensdfr.html>
- [8] База данных "Публикации по ядерной физике"
http://cdfe.sinp.msu.ru/services/nsr/Search_form.shtml
- [9] База данных "Параметры основных состояний атомных ядер"
<http://cdfe.sinp.msu.ru/services/gsp.en.html>

Atomic Nuclei and Nuclear Reactions – New Intergrated Informational System

I. N. Boboshin, V. V. Varlamov, S. Yu. Komarov,
N. N. Peskov, M. E. Stepanov, V. V. Chesnokov

The integrated digital system of information on atomic nuclei and nuclear reactions was created at the Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Centre for Photonuclear Experiments Data (Centr Danykh Fotoyadernykh Eksperimentov – CDFE) using the merging of data funds and unification of Search Engines of several international nuclear databases.

New system realizes at first time the opportunity of working with the combined several complete relational databases informational fund. Unified system interface allows to user not only to look through the data concerned results of concrete query but to produce the chain of queries to various databases: really to operate with data of three main and several additional databases (DB) similar to those of unified informational system. That allows one to use accumulated informational funds more efficiently and does it possible to treat the developed system of information on atomic nuclei and nuclear reactions not only as new kind of scientific and educational informational software only but as new scientific research analytical tool.

* Работа выполнялась в ЦДФЭ (Отдел электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер) НИИЯФ им. Д. В. Скобельцына МГУ им. М. В. Ломоносова и в разное время частично поддерживалась грантами РФФИ №№ 99-07-90015, 03-07-90431 и 04-02-16275, а также грантом Президента РФ № НШ-1619.2003.2 для поддержки ведущих научных школ РФ.