

**ЭЛЕКТРОННАЯ КОЛЛЕКЦИЯ НАУЧНЫХ ДАННЫХ  
ПО ФИЗИКЕ АТОМНЫХ ЯДЕР И ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ  
ЦДФЭ НИИЯФ МГУ**

И.Н.Бобошин, В.В.Варламов, С.Ю.Комаров, Н.Н.Песков, С.Б.Семи́н,  
М.Е.Степанов, В.В.Чесноков

Центр данных фотоядерных экспериментов  
Научно-исследовательский институт ядерной физики  
им. Д.В.Скобелевца  
Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
199992 Москва, Ленинские Горы, НИИЯФ МГУ, Россия  
Varlamov@depni.sinp.msu.ru

**ATOMIC NUCLEUS AND NUCLEAR REACTION PHYSICS  
SCIENTIFIC DATA DIGITAL COLLECTION OF MSU SINP CDFE**

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

Lomonosov Moscow State University  
Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics  
Centre for Photonuclear Experiments Data  
(Centr Danykh Fotoyadernykh Eksperimentov – CDFE)  
CDFE, MSU SINP, Leninskie Gory, 119992 Moscow, Russia

Nuclear data digital collection of the Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics Centre for Photonuclear Experiments Data consisted of several powerful relational databases are described shortly. The main digital collection parts contain all basic information (~ 150 Mb) on all known (~2500) stable and radioactive atomic nuclei and more than 1000000 data sets (~500 Mb) from more than 100000 publications with various parameters of nuclear reactions under photons, neutrons, many charged particles and heavy ions.

In addition to the main databases put upon the CDFE Web-site (<http://depni.sinp.msu.ru>) before two new scientific tools developed recently are described:

- the “Low Energy Isomer Transition Internal Conversion Probabilities” database;
- the on-flight calculator (not relational database because of great number of possible combinations) “Calculator for Nuclear Reaction Threshold and Energy Values”.

## Введение

Хорошо известно, в какой степени эффективность научных исследований и качество учебного процесса зависит от качества обеспечения их точной и надежной информацией. Количество такой информации непрерывно возрастает, а требования к ее точности и надежности – постоянно повышаются. В этой связи в течение уже длительного времени наблюдается стремительное развитие самых разнообразных информационных технологий, которые должны помогать ученым, преподавателям и студентам ориентироваться в интенсивных информационных потоках. Ярким примером таких передовых технологий являются развитые электронные коллекции, базы данных, снабженные гибкими и мощными поисковыми системами. Широкое распространение таких технологий способствовало созданию условий для проведения фундаментальных и прикладных исследований, организации учебного процесса на качественно новом уровне.

Появление “всемирной паутины” многократно ускорило это процесс: Интернет-версии обсуждаемых информационных технологий обеспечивают постоянный, оперативный и неограниченный доступ к самой свежей информации, облегчают решение задач по сбору и обобщению научной информации, предоставляют ученым, преподавателям и студентам практически неограниченные возможности представления своих результатов и обмена информацией, делают легко доступными огромные объемы информации.

Особую роль современные информационные Интернет-технологии играют в тех областях науки и техники, в которых отсутствие точных и надежных данных на стадиях разработки, создания и использования сложных и дорогостоящих установок чревато не только большими экономическими потерями, но и определенными угрозами здоровью людей и экологии окружающей среды. Таковыми прежде всего являются ядерная физика и многие смежные области науки и техники (ядерная энергетика, материаловедение, элементный анализ, методы неразрушающего контроля, экологический мониторинг, радиационные разделы медицины, биологии, химии, геологии и др.), использующие ядерные данные – информацию об атомных ядрах и ядерных реакциях.

Настоящая работа посвящена описанию электронной коллекции (системе реляционных баз данных) Центра данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ, созданной в рамках международной сети Центров ядерных данных (Nuclear Data Centres Network) [1] под эгидой Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Базы данных сформированы в соответствии с научными и образовательными задачами НИИ ядерной физики МГУ и Отделения ядерной физики физического факультета МГУ и активно используются для их решения.

## **1. Система реляционных баз данных по физике атомного ядра и ядерных реакций ЦДФЭ НИИЯФ МГУ**

Электронная коллекция ядерных данных ЦДФЭ, созданная ранее, представлена [2 – 6] в виде системы реляционных баз данных (Web-сервер ЦДФЭ (<http://depni.npi.msu.su/cdfe>)). Охватываются практически все основные информационные потребности научных исследований и учебного процесса в упомянутых выше (и многих других) областях науки и техники, использующих информацию об атомных ядрах и ядерных реакциях.

Раздел системы, относящийся к атомным ядрам, содержит все основные данные (около 150 Мб) обо всех (свыше 2500) известных к настоящему времени как стабильных, так и радиоактивных атомных ядрах. Раздел системы, относящийся к ядерным реакциям, включает в себя более 1000000 наборов данных (около 500 Мб) из более, чем 100000 публикаций, описывающих количественные характеристики разнообразных ядерных реакций. В дополнение к включенным ранее [5, 6] данным по реакциям под действием фотонов, заряженных частиц и тяжелых ионов в настоящее время этот раздел системы содержит также и огромное количество данных по реакциям под действием нейтронов.

Все разделы системы периодически обновляются и пополняются данными из новых экспериментов, а также оцененными (то есть подготовленными специалистами на основе совместного анализа результатов многих экспериментов) данными, совершенствуются поисковые системы существующих баз данных, создаются новые базы данных, разрабатываются оригинальные программы, обеспечивающие эффективное использование накопленных данных.

Достаточно подробное описание нескольких из основных реляционных баз данных ЦДФЭ

- “Параметры основных состояний ядер” (“Nucleus Ground State Parameters”): данные об атомных ядрах в целом (распространенности изотопов, массы, моменты, параметры деформации), характеристики основных состояний (спины, четности, времена жизни, изоспины, энергии первых изобар-аналогов);
- “Реляционная база данных по ядерной спектроскопии NESSY (ENSDF)” (“Relational Nuclear Spectroscopy Database Nessy (ENSDF)”): параметры возбужденных состояний ядер и альфа-, бета-, гамма-переходов между ними;
- “База данных по ядерным реакциям (EXFOR)” (“Nuclear Reaction Database (EXFOR)”): характеристики разнообразных ядерных реакций;
- “Параметры гигантского дипольного резонанса” (“Giant Dipole Resonance Parameters”): основные параметры гигантских дипольных резонансов в сечениях ядерных реакций под действием гамма-квантов;

- “Каталог ЦАЯД сечений реакций под действием заряженных частиц” (“CAJaD Charge Particle Reaction Cross Section Catalogue”);
- “Пороги основных фотоядерных реакций” (“Main Photonuclear Reaction Thresholds”): энергетические пороги 8 наиболее важных фотоядерных реакций на всех стабильных ядрах;
- “Указатель фотоядерных данных” (“Photonuclear Data Index”): справочно-библиографическая информация, опубликованная в периодической научной литературе с 1955 года по настоящее время, созданных ранее и составляющих основу его электронной коллекции, их содержания и возможностей соответствующих поисковых систем дано в работах [3 - 5].

Поисковые системы баз данных, разработанные (с использованием CGI-сценариев и языков программирования СИ++ и Perl) на основе адаптированной к Интернет СУБД MySQL, позволяют организовать быстрый поиск информации по многим признакам и/или их сочетаниям. В число таких признаков входят не только традиционные сведения о публикации, но и характеристики условий выполненного эксперимента (установка, методика, реакция, энергии налетающих и вылетающих частиц, углы вылета частиц-продуктов и т.д.) и экспериментальных результатов. Пользователь имеет возможность, просмотрев отобранные данные в графическом и табличном виде, используя стандартные средства Web-браузера, транспортировать их на свой компьютер.

В работе [5] были отдельно описаны оригинальные разработки по созданию не имеющей аналогов поисковой системы для основной международной “Базы данных по ядерным реакциям (EXFOR)”. Новая поисковая система имеет высокую эффективность поиска информации о реакциях в условиях как традиционных, так и нетрадиционных сочетаний кодов и признаков описания реакций. Основные принципы использования созданных баз данных для повышения эффективности не только информационного обеспечения научных исследований, но и самих исследований (традиционных и исследований, которые затруднены (или вообще невозможны) без подобных больших баз данных) также описаны достаточно подробно [6].

В последнее время электронная коллекция данных ЦДФЭ была дополнена базой данных по коэффициентам внутренней конверсии и интерактивным калькулятором порогов и энергий ядерных реакций.

## **2. База данных по коэффициентам внутренней конверсии**

В настоящее время электронная коллекция ЦДФЭ пополнена новой реляционной базой расчетных [7] данных по коэффициентам внутренней конверсии ядерных переходов, представляющих большое значение не только для ядерно-физических исследований, но и для разнообразных ра-

бот в области физики твердого тела, материаловедения и других. Это обусловлено тем обстоятельством, что строение внешних электронных орбит атома, определяется характером окружения изучаемого атома в молекуле или конденсированной среде, в которую помещен этот меченый изотопным ядром атом. Опорные данные о парциальных вероятностях конверсии в том случае, когда атом поставлен в фиксированные условия, дает возможность оценить характер и глубину перестройки электронной оболочки при взаимодействии атомов по спектрам электронной конверсии.

Новая реляционная “База данных по коэффициентам внутренней конверсии для малоэнергетичных изотопных переходов” (“Low Energy Isomer Transition Internal Conversion Probabilities”) была создана в сотрудничестве с Центром атомных и ядерных данных (ЦАЯД) РНЦ “Курчатовский институт”.

База данных содержит коэффициенты конверсии низкоэнергетичных ( $E_1 I_1 \rightarrow E_2 I_2$  ( $\hbar\omega = E_1 - E_2 \leq 3$  кэВ);  $I_1, I_2$  – спины соответственно начального и конечного состояний ядра) переходов с мультипольностями  $AL = E1 - E4$ ,  $M1 - M3$  ( $E$  – электрические,  $M$  – магнитные переходы) между внешними электронными оболочками ( $4p_{3/2} - 7d_{5/2}$ ) ядер  $^{90}\text{Nb}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{103}\text{Rh}$ ,  $^{110}\text{Ag}$ ,  $^{140,142}\text{Pr}$ ,  $^{153,159}\text{Gd}$ ,  $^{160}\text{Tb}$ ,  $^{165}\text{Tm}$ ,  $^{171}\text{Lu}$ ,  $^{183}\text{W}$ ,  $^{188}\text{Re}$ ,  $^{193}\text{Pt}$ ,  $^{201}\text{Hg}$ ,  $^{205}\text{Pb}$ ,  $^{236}\text{Pa}$ ,  $^{250}\text{Bk}$ .

Поисковая форма, расположенная на главной странице, приведена на Рис. 1. Для обеспечения условий эффективного поиска поисковая система разработана таким образом, что при заполнении любого последующего окна, предлагаются лишь варианты, соответствующие выбранному варианту заполнения предыдущего.

Результат поиска коэффициентов конверсии для переходов из всех (выбрано значение “All Shells” в поле “Shell” поисковой формы, в случае выбора конкретной оболочки выдается соответствующая строка полной таблицы) оболочек выбранного ядра иллюстрируется на Рис. 2.

### 3. Калькулятор значений энергетических порогов и энергий ядерных реакций

Основная “База данных по ядерным реакциям (EXFOR)” международной системы EXFOR, созданная в ЦДФЭ несколько лет назад, включала в себя первоначально лишь данные по фотоядерным реакциям. В этой связи сопровождавшая ее база данных по энергетическим порогам реакций включала в себя соответствующую информацию лишь по семи наиболее важным фотоядерным реакциям. Вследствие того, что затем в базу данных по реакциям были включены данные по реакциям под действием заряженных частиц и тяжелых ионов, а в самое последнее время – и нейтронов, возникла задача сопровождения этих данных информацией о порогах реакций и такого типа.

Поскольку число комбинаций типа “налетающая частица – ядро-мишень – вылетающие частицы” огромно, целесообразным представляется создание не базы данных, а специального вычислителя “на лету”.

Так как в базу данных ЦДФЭ “Параметры основных состояний ядер” ранее была включена самая полная и надежная информация [8] о всех массовых характеристиках (масса, дефект массы, энергия связи) всех известных в настоящее время стабильных и радиоактивных ядрах, на ее основе был создан универсальный интерактивный “Калькулятор значений энергетических порогов и энергий ядерных реакций” (“Calculator for Nuclear Reaction Threshold and Energy Values”), позволяющий удаленному пользователю в режиме “on-line” легко и быстро рассчитывать пороги и энергии любых (на любом ядре, под действием любых налетающих частиц или ядер и любых комбинаций вылетающих частиц) ядерных реакций.

Для расчета величин “порог реакции  $E_{thr}$ ” и “энергия реакции  $E_{react}$ ” любой ядерной реакции, которая может быть записана в виде “налетающая частица” + “ядро-мишень”  $\rightarrow$  “конечное ядро” + “вылетающая(ие) частица(ы)”, использовались следующие соотношения:

$$E_{thr} = [(SUM + M_1 + M_2) * (SUM - M_1 - M_2) / 2 * M_1] * c^2 \text{ и}$$
$$E_{react} = (M_1 + M_2 - SUM) * c^2,$$

где переменная  $M_1$  масса ядра-мишени,

$M_2$  масса налетающей частицы,

SUM сумма масс всех вылетающих частиц.

На Рис. 3 и 4 представлены соответственно страницы ввода (пример: реакция  ${}^7_3\text{Li}(\gamma, 2p\alpha)$ ) и вывода (порог и энергия заданной реакции с указанием масс всех участвующих в реакции частиц) данных калькулятора.

Несмотря на присутствие некоторых подобных расчетчиков на ряде Web-сайтов, по совокупности возможностей созданный интерактивный калькулятор аналогов не имеет.

## Литература

1. Ed. by V.G.Pronyaev. The Nuclear Data Centres Network. IAEA Nuclear Data Section, INDC(NDS)-401, IAEA, Vienna, Austria, 1999.
2. И.Н.Бобошин, А.В.Варламов, В.В.Варламов, Н.С.Марков, Д.С.Руденко, М.Е.Степанов, В.В.Чесноков. Базы научных данных по физике атомных ядер и ядерных реакций. “Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции”. Сборник докладов Второй Всероссийской научной конференции (Протвино, 26 – 28 сентября 2000 г.). ГНЦ ИФВЭ, Протвино, Россия. ISBN 5-88738-029-2, 2000, с. 39.
3. И.Н.Бобошин, В.В.Варламов, Е.М.Иванов, В.В.Чесноков. Справочная система по характеристикам основных состояний атомных ядер – новая

- реляционная база данных в Интернет. "Технологии информационного общества - Интернет и современное общество", Материалы Всероссийской объединенной конференции, Санкт-Петербург, 20 – 23 ноября 2001 г., ISBN 5-288-02999-7, МЦ СПбГУ, 2001, с. 15.
4. И.Н.Бобошин, В.В.Варламов, Е.М.Иванов, С.В.Иванов, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов, В.В.Чесноков. Реляционные базы данных об атомных ядрах и ядерных реакциях в Интернет для исследований в области ядерной физики и смежных областях науки и техники. Труды Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети Интернет". Новороссийск, 24 – 29 сентября 2001 г. ISBN 5-211-04521-1. Издательство Московского университета, Москва 2001, с. 19.
  5. В.В.Варламов, С.В.Иванов, Н.Н.Песков, М.Е.Степанов. Новая поисковая машина для экспериментальных данных по ядерным реакциям из международной системы EXFOR. Сборник трудов Третьей Всероссийской конференции по Электронным Библиотекам RCDL'2001. Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции. Петрозаводск, 11 – 13 сентября 2001 года. ISBN 5-9274-0055-8. КарНЦ РАН, 2001, с. 166.
  6. И.Н.Бобошин, А.В.Варламов, В.В.Варламов, Е.М.Иванов, М.Е.Степанов, В.В.Чесноков. Ядерно-физические исследования и электронные информационные ресурсы в Интернет. Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал – Смоленск: СГМА, 2000, Т. 3, URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-6-html/VARLAMOV/varlamov.htm>.
  7. Гречухин Д.П., Солдатов А.А. Ядерная физика, 23 (1976) 273.
  8. G.Audi, A.H.Wapstra. The 1995 Update to the Atomic Mass Evaluation. Nucl.Phys., A595 (1995) 409.

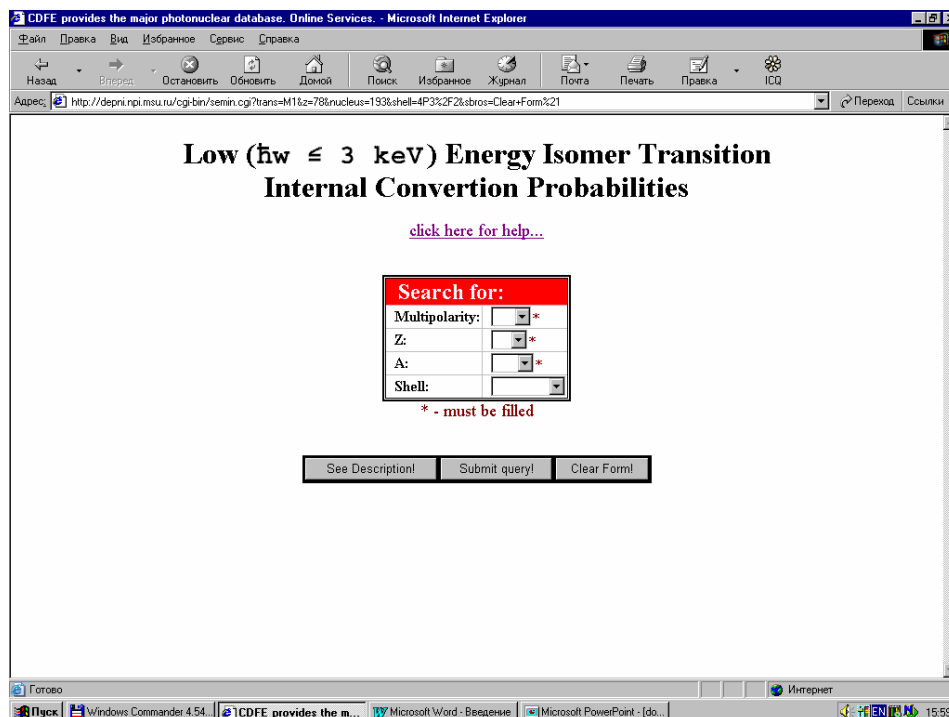


Рис.1. Главная страница поисковой системы базы данных (поисковая форма)

Low Energy Isomer Transition Internal Conversion Probabilities

78-Pt-193

Transition multipolarity E2

(XE)(4F5/2)(4F7/2)(5D3/2)(D5/2)(6S1/2)

[download text file](#)

| N, L, J | ħω (keV) | 1.630    | 1.633    | 1.636    | 1.639    | 1.642    | 1.645    | 1.648    | 1.651    | 1.654    | 1.657    | 1.660    |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4S1/2   | 712.6    | 4.519E+2 | 4.523E+2 | 4.527E+2 | 4.532E+2 | 4.536E+2 | 4.542E+2 | 4.544E+2 | 4.548E+2 | 4.553E+2 | 4.557E+2 | 4.561E+2 |
| 4P1/2   | 604.5    | 7.695E+4 | 7.695E+4 | 7.695E+4 | 7.695E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 | 7.696E+4 |
| 4P3/2   | 512.     | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 | 5.453E+4 |
| 4D3/2   | 333.1    | 8.855E+2 | 8.854E+2 | 8.852E+2 | 8.851E+2 | 8.850E+2 | 8.849E+2 | 8.847E+2 | 8.846E+2 | 8.845E+2 | 8.844E+2 | 8.842E+2 |
| 4D5/2   | 315.7    | 5.696E+2 | 5.695E+2 | 5.694E+2 | 5.692E+2 | 5.691E+2 | 5.690E+2 | 5.689E+2 | 5.688E+2 | 5.686E+2 | 5.685E+2 | 5.684E+2 |
| 4F5/2   | 85.26    | 2.127E+1 | 2.126E+1 | 2.126E+1 | 2.125E+1 | 2.125E+1 | 2.124E+1 | 2.123E+1 | 2.123E+1 | 2.122E+1 | 2.121E+1 | 2.121E+1 |
| 4F7/2   | 81.59    | 1.938E+1 | 1.937E+1 | 1.936E+1 | 1.936E+1 | 1.935E+1 | 1.935E+1 | 1.934E+1 | 1.933E+1 | 1.933E+1 | 1.932E+1 | 1.932E+1 |
| 5S1/2   | 108.5    | 9.679E+1 | 9.687E+1 | 9.695E+1 | 9.703E+1 | 9.711E+1 | 9.719E+1 | 9.727E+1 | 9.736E+1 | 9.744E+1 | 9.752E+1 | 9.760E+1 |
| 5P1/2   | 73.37    | 1.340E+4 | 1.340E+4 | 1.340E+4 | 1.340E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 | 1.341E+4 |
| 5P3/2   | 57.69    | 9.070E+3 | 9.070E+3 | 9.069E+3 | 9.069E+3 | 9.069E+3 | 9.069E+3 | 9.069E+3 | 9.069E+3 | 9.068E+3 | 9.068E+3 | 9.068E+3 |
| 5D3/2   | 10.98    | 8.054E+1 | 8.053E+1 | 8.052E+1 | 8.051E+1 | 8.050E+1 | 8.049E+1 | 8.047E+1 | 8.046E+1 | 8.045E+1 | 8.044E+1 | 8.043E+1 |
| 5D5/2   | 9.46     | 4.892E+1 | 4.891E+1 | 4.890E+1 | 4.889E+1 | 4.888E+1 | 4.887E+1 | 4.887E+1 | 4.886E+1 | 4.885E+1 | 4.884E+1 | 4.883E+1 |
| 6S1/2   | 8.07     | 8.408E+0 | 8.414E+0 | 8.421E+0 | 8.428E+0 | 8.435E+0 | 8.442E+0 | 8.448E+0 | 8.455E+0 | 8.462E+0 | 8.469E+0 | 8.476E+0 |

Рис.2. Иллюстрация результата поиска для переходов из всех оболочек выбранного ядра



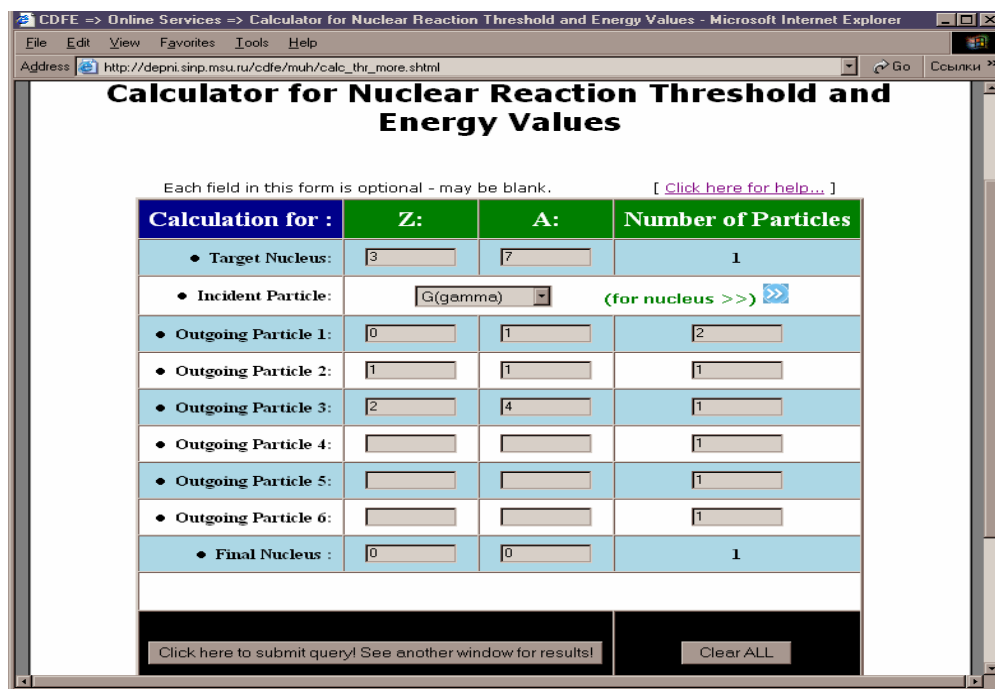


Рис. 3. Форма ввода данных в интерактивный калькулятор

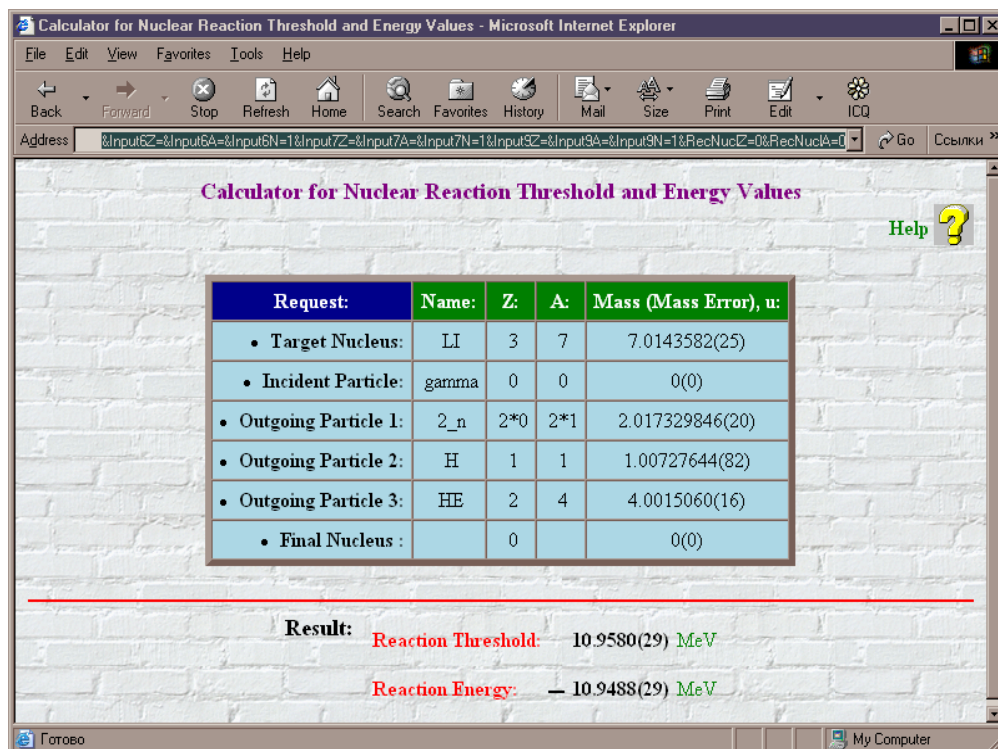


Рис. 4. Форма вывода данных интерактивного калькулятора