

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛЬКУЛЯТОРА ПОРОГОВ И ЭНЕРГИЙ РЕАКЦИЙ ЦДФЭ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПО ЯДЕРНОЙ ФИЗИКЕ

Парахневич А.С., Дерюжкова О.М.

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,  
г. Гомель, Беларусь, [alina6970768@mail.ru](mailto:alina6970768@mail.ru), [dom@gsu.by](mailto:dom@gsu.by)

Под эгидой Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) идет создание актуальных и полных банков и баз данных в области ядерной физики. По инициативе Секции ядерных данных МАГАТЭ, как ведущего мирового форума научно-технического сотрудничества в области мирного использования ядерных технологий, в НИИЯФ МГУ (Москва, Россия) был организован Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ). В настоящее время ЦДФЭ – участник широкой международной Сети Центров ядерных данных. Основными задачами участников сети (в том числе и ЦДФЭ, ответственного за данные по реакциям под действием фотонов) является создание полных баз данных (БД) по свойствам атомных ядер и характеристикам ядерных реакций и их эффективное использование для решения широкого класса задач прикладных и фундаментальных исследований для разработки различных практических приложений.

*Web*-сайт Центра данных фотоядерных экспериментов НИИЯФ МГУ – система реляционных баз ядерных данных. В настоящее время на *Web*-сайте ЦДФЭ пользователям свободно предоставляются несколько реляционных БД, содержащих большое количество информации, описывающей многие основные свойства ядер и процессы их превращения друг в друга в ядерных реакциях и радиоактивных распадах (рисунок 1).

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ, НИИ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ, ОЭПВАЯ

### 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
<p>Все об атомных ядрах и ядерных реакциях. Числовые данные, графическая информация и библиография</p> 	<p><b>Универсальная электронная система информации по атомным ядрам и ядерным реакциям</b> [описание] Последнее обновление: 6 мая 2014</p>
<p>Распространенность, изотоп, атомная масса, избыток массы, энергия связи, спин, четность, момент, деформация, мода распада: основное и метастабильное состояния.</p> 	<p><b>Параметры основных и изомерных состояний атомных ядер</b> [описание] Последнее обновление: 15 июня 2011</p>
<p>Ядерные реакции. Различные характеристики (международный фонд данных EXFOR). Налетающая частица: фотон, нейтрон, любая заряженная частица, тяжелый ион.</p> 	<p><b>База данных по ядерным реакциям (EXFOR)</b> [описание] Последнее обновление: 25 октября 2017</p>
<p><b>Параметры ядерных уровней:</b> Параметры ядерных уровней: Энергия, спин, четность, время жизни, мода, распад, метастабильное состояние, изоспин, момент количества движения, спектроскопический фактор и т.д.</p> 	<p><b>Полная реляционная база ядерно-спектроскопических данных "Relational ENSDF"</b> [описание]</p>

[Базы данных](#)  
[Партнеры](#)  
[Банк программ \(служба программного обеспечения\) OECD NEA DB](#)  
[Ссылки](#)  
[Контакты](#)  
[О нас](#)  
[Сотрудники](#)  
[Публикации](#)  
[English Pages](#)

Рисунок 1 – Главная страница *Web*-сайта ЦДФЭ

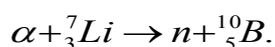
Основными из реляционных баз ядерных данных ЦДФЭ являются следующие:

- «Параметры основных состояний ядер»: современные данные (массовые, энергетические и другие), описывающие атомные ядра в целом;
- «База данных по ядерным реакциям (*EXFOR*)»: огромное количество различных характеристик ядерных реакций под действием налетающих фотонов, нейтронов и заряженных частиц;
- «Полная реляционная база ядерно-спектроскопических данных (*Relational ENSDF*)»: вся информация (энергии, спины, четности, времена жизни, коэффициенты ветвления и смешивания, вероятности переходов, уникальные данные об изоспинах ядерных состояний, квадрупольных моментах и деформациях ядер и многие другие) об уровнях всех известных в настоящее время (~3500) атомных ядер и переходах между ними;
- «Карта параметров формы и размеров ядер»: данные о квадрупольном моменте  $Q$ , параметре квадрупольной деформации  $\beta_2$  и зарядовых радиусах  $r$  большого числа ядер;
- «Публикации по ядерной физике. База данных “*NSR*”» – справочно-библиографическая информация по экспериментальным и теоретическим ядерно-физическим работам из международного массива *NSR*;
- 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, в том числе и известного 15-ти томного издания;
- «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» – реляционная БД, основанная на использовании самых современных и надежных данных о массах атомных ядер, которая позволяет быстро и точно рассчитывать значения важных характеристик всех возможных ядерных реакций на любых ядрах-мишенях, под действием различных налетающих частиц и для произвольных комбинаций вылетающих частиц, а также в наглядной графической форме представлять зависимости энергий отделения одного и двух нейтронов или протонов.

Для каждой БД кроме доступа к содержанию организован доступ к разделу “[описание]”, в котором даны краткие сведения о БД. Помимо указанных основных баз данных имеются и некоторые другие, а в разделах “Партнеры” и “Ссылки” приведены гиперссылки на *Web*-сайты других организаций, на которых также имеются электронные ресурсы, содержащие полезную ядерно-физическую информацию [1].

Единый подход к созданию программного обеспечения всех реляционных баз данных *Web*-сервера ЦДФЭ дает возможность на их основе построить не имеющую аналогов интегрированную систему информации по ядерной физике с объединенным интерфейсом, позволяющим существенно повысить эффективность, качество и оперативность работы с информацией всех БД. Система позволяет эффективно и одновременно использовать как фонды данных, так и поисковые возможности интегрированных БД [2].

Рассмотрим работу реляционной базы данных «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» при решении задач по ядерной физике. Она дает возможность рассчитать энергетические пороги и энергию любых ядерных реакций, происходящих под действием любых налетающих частиц и для любой комбинации образующихся продуктов. Продемонстрируем возможности БД на примере реакции, идущей под действием  $\alpha$ -частицы:



С помощью калькулятора найдем энергию и энергетический порог данной реакции. Энергия реакции  $Q$  – это кинетическая энергия, выделяющаяся или поглощающаяся в процессе реакции. Порог ядерной реакции  $E_{\text{пор}}$  – минимальная кинетическая энергия

падающей частицы, в данном случае  $\alpha$ -частицы, при которой начинается эндотермический процесс ( $Q < 0$ ).

Формула для вычисления энергии рассматриваемой реакции через известные дефекты масс ядер  $\Delta$  имеет вид:

$$Q = \Delta(\alpha) + \Delta({}_3^7\text{Li}) - \Delta(n) - \Delta({}_5^{10}\text{B}) + 931.5(A(\alpha) + A({}_3^7\text{Li}) - A(n) - A({}_5^{10}\text{B}))$$

Порог ядерной реакции определяется формулой:

$$E_{\text{пор}} = |Q| \left( 1 + \frac{m_1}{m_2} \right),$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы начальных ядер.

На рисунке 2 приведена поисковая или входная форма БД «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» для определения энергии и порога ядерной реакции. В выпадающем меню как налетающая частица по умолчанию выбирается  $\alpha$ -частица, как ядро-мишень указывается ядро с  $Z = 3$  и  $A = 7$  ( ${}_3^7\text{Li}$ ), как вылетающая частица 1 – ядро с  $Z = 0$  и  $A = 1$  ( $n$ ), вылетающая частица 2 – ядро с  $Z = 5$  и  $A = 10$  ( ${}_5^{10}\text{B}$ ). На форме расположены кнопки, которые позволяют вычислить порог и энергию реакции по заданным входным параметрам, а также очистить форму для введения новых параметров.

**4. Пороги и энергии реакций**

Каждое поле формы может быть пустым [ [Помощь...](#) ]

Входные параметры:	Z:	A:	Число частиц
Ядро-мишень:	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="1"/>
Налетающая частица:	<input type="text" value="4He"/> (для ввода ионов >>) <input type="button" value="»"/>		
Вылетающая частица 1:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0"/>
Вылетающая частица 2: (если больше частиц >>) <input type="button" value="»»"/>	<input type="text" value="5"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="0"/>
Ядро-продукт реакции:	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="Вычислить"/> <input type="button" value="Очистить"/>			

Рисунок 2 – Поисковая форма БД «Калькулятор порогов и энергий ядерных реакций» для определения энергии и порога реакции  $\alpha + {}_3^7\text{Li} \rightarrow n + {}_5^{10}\text{B}$

Представлена также и выходная форма запроса (рисунок 3), которая несет информацию о необходимых при вычислении характеристиках ядер, а также выдает численный ответ с соответствующей размерностью и заданной точностью.

Использование данного калькулятора значительно уменьшает затраты времени на получение численных результатов для любой частицы, нежели решение задачи по ядерной физике вручную. При этом точность решения гораздо выше, а погрешности сведены к минимуму.

### Калькулятор энергий реакций

Входные параметры:	Символ:	Z:	A:	Масса, u:
• Ядро-мишень:	Li	3	7	7.016004548
• Налетающая частица:	альфа-частица	2	4	0
• Вылетающая частица 1:	n	0	1	0
• Вылетающая частица 2:	B	5	10	10.01293699
• Ядро-продукт реакции:		0	0	0

Результаты расчета: **Порог реакции:** 4.38069 МэВ  
**Энергия реакции:** -2.78899 (39) МэВ

Рисунок 3 – Выходная форма запроса по определению порога и энергии реакции  $\alpha + {}_3^7\text{Li} \rightarrow n + {}_5^{10}\text{B}$

Студентам на современном этапе развития образования постоянно требуется новый объем информации более высокого качества, что и предоставляют реляционные базы ядерных данных. Информационные технологии дают возможность пользователям любых Вузов из любых стран обращаться к системе реляционных баз данных НИИЯФ МГУ для решения конкретных задач ядерной физики при выполнении практических, курсовых и дипломных работ.

#### Список литературы

1. Варламов, В.В. Физика ядра и банки ядерных данных: учебное пособие / В.В. Варламов, Н.Г. Гончарова, Б.С. Ишханов. – М.: Университетская книга, 2010. – 246 с.
2. Атомные ядра и ядерные реакции – новая интегрированная информационная система / И.Н. Бобошин [и др.] // Труды седьмой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции», RCDL'2005. – Ярославль, 2005. – 7 с.