

# Деятельность Центра ядерно-физических данных РФЯЦ-ВНИИЭФ по компиляции экспериментальных данных для международной библиотеки EXFOR. Программный комплекс EXFOR-Editor

*В Институте ядерно-радиационной физики РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1973 г. ведутся работы по компиляции экспериментальных данных, получаемых в реакциях взаимодействия заряженных частиц с легкими ядрами. В настоящее время этой деятельностью занимаются сотрудники Центра ядерно-физических данных (ЦЯФД), созданного в 1997 г. Представлены основные направления деятельности ЦЯФД, выделен вклад центра в развитие международной библиотеки экспериментальных ядерных данных EXFOR. Приведено подробное описание программного комплекса EXFOR-Editor, предназначенного для ввода, редактирования и записи в формате EXFOR данных по ядерным реакциям.*

Г. Н. Пикулина, С. М. Таова

## Введение

Центр ядерно-физических данных функционирует в РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1997 года [1]. В настоящее время ЦЯФД является одним из десяти тематических центров данных, действующих на территории России, в обязанности которого входит компиляция экспериментальных данных по реакциям взаимодействия заряженных частиц с ядрами. К основным направлениям деятельности центра также относятся: проведение работ по оценке сечений, развитие библиотеки экспериментальных и оцененных ядерных данных SaBa [2], разработка и адаптация существующих программных кодов для расчета сечений по ядерным моделям, создание программного обеспечения по обработке ядерных данных в формате EXFOR [3].

ЦЯФД входит в международное объединение центров данных по ядерным реакциям, действующее под эгидой МАГАТЭ (Nuclear Reaction Data Centre Network – NRDC) [4]. Основная цель международной сети заключается в распространении информации по ядерным реакциям среди мирового сообщества [5].

## *Компиляция экспериментальных данных*

Компиляция экспериментальных данных по ядерным реакциям для международной библиотеки EXFOR – одна из приоритетных задач центров данных, входящих в NRDC. На сегодняшний день библиотека EXFOR является крупнейшей электронной базой экспериментальных данных по взаимодействию нейтронов, заряженных частиц и гамма-квантов с ядрами. В библиотеке EXFOR хранятся экспериментальные данные по интегральным и парциальным сечениям, дифференциальные сечения (угловые распределения, коэффициенты Лежандра, спектры вторичных частиц, дважды дифференциальные сечения и пр.), выходы продуктов деления, выходы из толстых мишеней, резонансные параметры и пр. [6]. Кроме того, EXFOR является удобной и эффективной поисковой системой, которая позволяет не только находить и выбирать необходимую информацию, но и проводить различную обработку экспериментальных данных. К маю 2017 г. библиотека EXFOR включала данные по более чем 21 тысяче экспериментов, свыше 168 тысяч таблиц данных по различным реакциям, около 1,5 миллиона точек данных [7]. Ежегодно ее содержимое пополняется 500–700 работами (Entry) – результатами компиляций, выполняемых центрами ядерных данных [8].

Компиляция экспериментальных данных по взаимодействию заряженных частиц с ядрами ведется в РФЯЦ-ВНИИЭФ с 1973 г. Помимо результатов собственных экспериментов обрабатываются и записываются в соответствующем формате данные из доступных литературных источников. За время своей деятельности ЦЯФД передал в международную библиотеку EXFOR более двух тысяч работ [7].

В настоящее время ЦЯФД ответственен за компиляцию данных по ядерным реакциям, которые получают на российских экспериментальных установках.

## *Оценка сечений ядерных реакций*

Еще одним значимым направлением деятельности центра является проведение работ по оценке сечений ядерных реакций. В рамках этой деятельности осуществляется постоянное развитие библиотеки экспериментальных и оцененных данных по взаимодействию заряженных частиц с ядрами для термоядерных приложений SaBa (Sarov Base). Пользовательский интерфейс библиотеки представлен на рис. 1 (см. также цв. вкл.).

Библиотека SaBa – это программный продукт, который включает в себя собственно библиотеку оцененных и экспериментальных данных и набор процедур, позволяющих проводить соответствующую обработку этих данных. Библиотека создавалась на протяжении многих лет коллективом высококлассных специалистов. Первая версия библиотеки была передана в МАГАТЭ в 1999 г. В настоящее время библиотека содержит данные по полным и дифференциальным сечениям, а также скорости реакций взаимодействия изотопов водорода и гелия с легкими ядрами до азота включительно. Сейчас в библиотеке представлены данные для 129 каналов реакций. Оцененные данные охватывают энергетический диапазон от 0 до 20 МэВ. В ходе работ по созданию библиотеки SaBa был накоплен и систематизирован обширный экспериментальный материал – цифровые и графические данные по сечениям ядерных взаимодействий. Были разработаны методы оценки, основанные на описании совокупности экспериментальных данных сплайн-функциями.

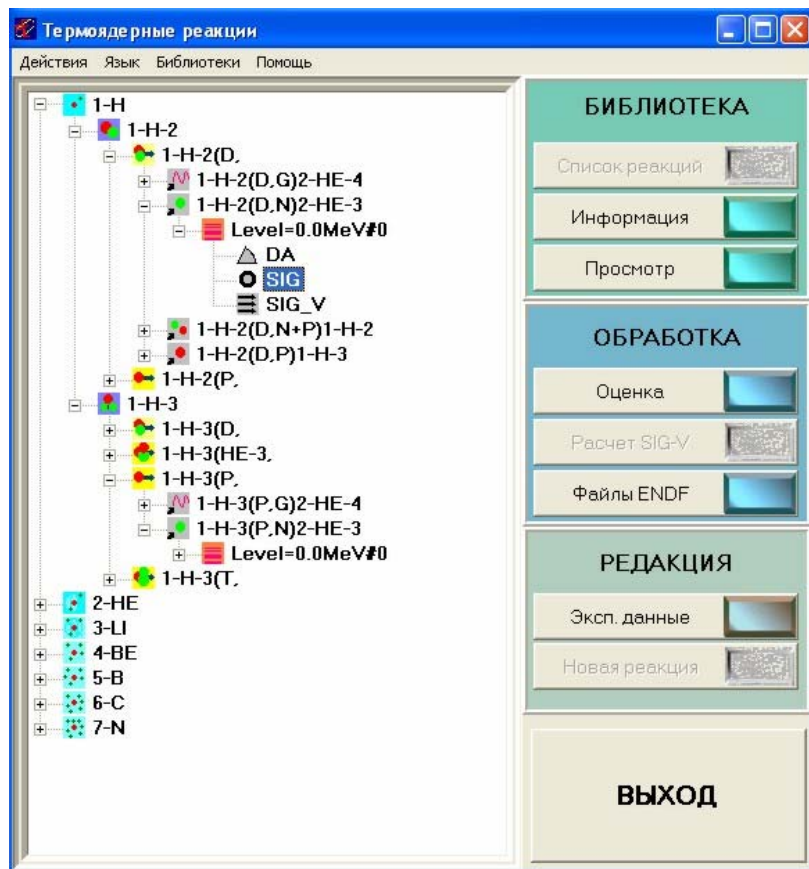


Рис. 1. Интерфейсная оболочка библиотеки SaBa

## Программный комплекс EXFOR-EDITOR

Компиляция экспериментальных ядерных данных заключается в выполнении следующих задач: поиск материала (анализ статей, книг, технических отчетов, диссертаций, трудов конференций), кодирование выбранной информации в соответствии с правилами библиотеки EXFOR, проверка на соответствие формату EXFOR – обеспечение достоверности и качества вводимых данных.

Формат библиотеки EXFOR был разработан в 1969 г. для обмена экспериментальными данными по ядерным реакциям. Он позволяет преобразовывать большое разнообразие числовых данных по ядерным реакциям, сопровождаемых пояснениями и библиографической информацией, для хранения в базе данных EXFOR [9].

Хорошо продуманная система словарей предоставляет возможность вводить новые типы данных и сопутствующую информацию в виде кодов, не меняя ни формата EXFOR, ни сервисного программного обеспечения. Заслуга разработчиков EXFOR заключается в создании гибкой структуры, которая успешно функционирует уже почти полвека.

Файл в формате EXFOR организован в виде вложенных повторяющихся текстовых блоков. При этом в нем имеются ограничения на длину строки, количество значений в строке таблицы числовых данных, позиции для задания определенных параметров. Чтобы компилировать ядер-

ные данные в формате EXFOR, требуется изучить 400 страниц руководства и хорошо ориентироваться в 41 словаре кодовых и ключевых слов EXFOR [9].

Таким образом, помимо знания сути происходящих физических процессов, специалист, занимающийся компиляцией данных для библиотеки EXFOR, должен уметь кодировать информацию в соответствии с правилами формата EXFOR, используя обозначения из постоянно обновляющихся словарей. Существенной помощью в решении этой трудной задачи является сервисное программное обеспечение, которое оптимизирует процесс компиляции данных и снимает ограничения со стороны формата за счет интерфейсных функций [10].

Программный комплекс EXFOR-Editor – это специализированное программное обеспечение для ввода и редактирования ядерных данных в формате библиотеки EXFOR, разработанное сотрудниками ЦЯФД. Оно учитывает жесткие требования и ограничения формата EXFOR и максимально автоматизирует и упрощает процесс ввода структурированной информации, сокращая число сопутствующих рутинных операций. Одной из целей разработки программного пакета являлось создание готового инструмента, достаточно простого в изучении и использовании, который эффективно и быстро помогает начинающим специалистам освоить компиляцию ядерных данных.

Программный комплекс EXFOR-Editor обрел популярность и у других центров данных по ядерным реакциям. Отклики и просьбы пользователей помогли сформировать и отладить программный пакет в его настоящей конфигурации.

В состав комплекса EXFOR-Editor, структурная схема которого приведена на рис. 2, помимо программных компонент, разработанных в ЦЯФД, входят библиотеки и программы, разработанные Секцией ядерных данных (СЯД – NDS) и Банком данных Агентства по ядерной энергии (Франция) (NEA DB). Программный комплекс EXFOR-Editor – это результат многолетнего плодотворного сотрудничества между ЦЯФД, СЯД МАГАТЭ и другими центрами данных по ядерным реакциям.



Рис. 2. Структурная схема программного комплекса EXFOR-Editor

Часто источником числовых данных по ядерным реакциям служат статьи из старых журналов, где результаты экспериментов представлены в виде графических зависимостей, причем табличные данные, по которым строились графики, не приводятся. Поскольку запросить числовые данные у авторов экспериментов уже невозможно, то единственный способ получения числовых данных – оцифровка приведенных в статьях графиков [11].

Для ввода числовых данных, получаемых при сканировании исходных документов или из файлов формата PDF, сотрудниками ЦЯФД в рамках программного комплекса EXFOR-Editor разработана программа InpGraph, основное окно которой показано на рис. 3. При помощи этой программы можно обрабатывать графические изображения форматов BMP, JPEG, JPG, TIF, EMF, WMF, полученные из буфера обмена или копированием выделенной области на экране. Основное достоинство программы InpGraph заключается в использовании специальной математической обработки оцифрованных данных для получения числовых значений в координатах физического эксперимента. Такая обработка позволяет оцифровывать графики плохого качества из старых журналов и вычислять ошибку оцифровки, в расчет которой включена также ошибка квантования, возникающая при дискретизации изображения [11].

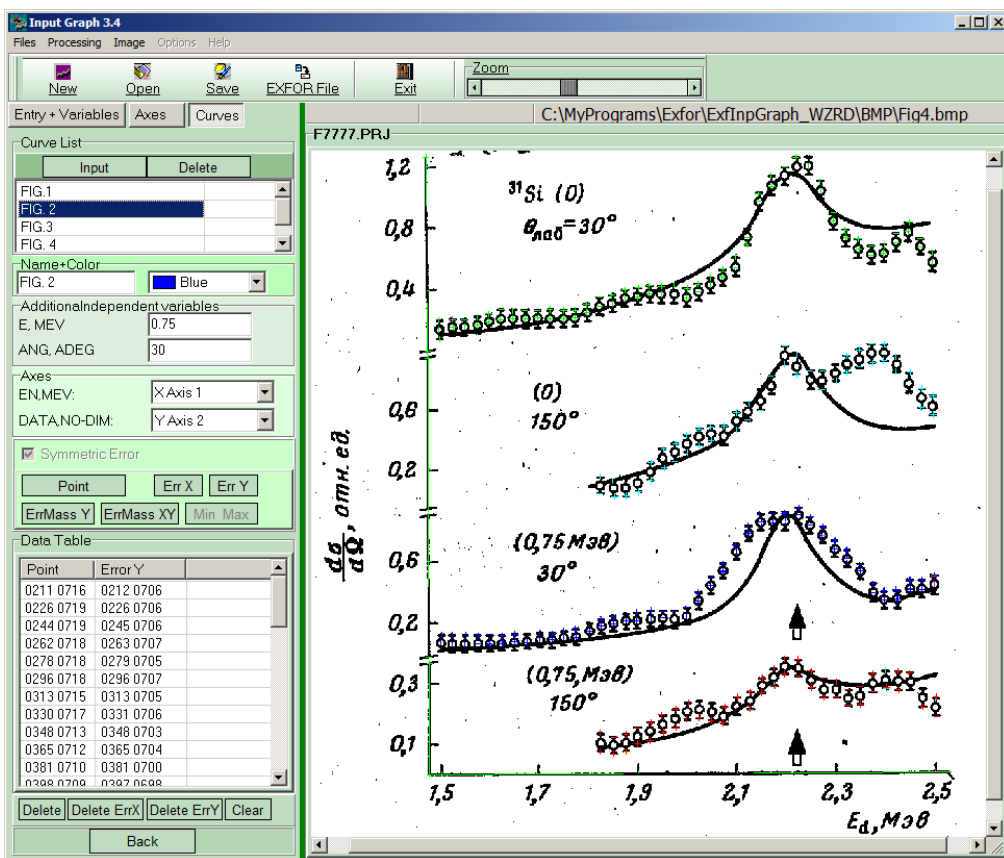


Рис. 3. Программа оцифровки InpGraph

Программа ExfData, являющаяся ядром комплекса EXFOR-Editor, представляет собой редактор, специально усовершенствованный для работы с файлами в формате EXFOR. В программе предусмотрено создание EXFOR-файлов при помощи шаблона или мастера. Такая возможность строго регламентирует структуру нового файла в соответствии с правилами EXFOR, что не только

облегчает работу начинающих специалистов в области компиляции, но и исключает внесение дополнительных ошибок опытными пользователями. Программа ExfData содержит специальные диалоговые окна для редактирования и ввода информации по ключевым словам. Для работы с числовыми данными предусмотрен режим электронной таблицы, в котором осуществляются ввод и редактирование числовых данных, манипулирование со строками и столбцами, проведение расчетов, сортировка значений по трем столбцам, экспорт и импорт таблиц данных. Пример диалогового окна для работы с числовыми данными приведен на рис. 4.

	EN	DATA	ERR-S
	EV	NO-DIM	NO-DIM
30593	5.85148E+5	8.64587E-1	2.39116E-2
30594	5.85769E+5	9.01063E-1	2.56409E-2
30595	5.86391E+5	9.00032E-1	2.57450E-2
30596	5.87014E+5	9.30548E-1	2.72495E-2
30597	5.87638E+5	9.56930E-1	2.86250E-2
30598	5.88264E+5	9.45731E-1	2.72255E-2
30599	5.88890E+5	9.44743E-1	2.69929E-2
30600	5.89517E+5	9.26036E-1	2.64979E-2
30601	5.90145E+5	9.53052E-1	2.67103E-2
30602	5.90775E+5	9.61092E-1	2.66831E-2
30603	5.91405E+5	9.05265E-1	2.51261E-2
30604	5.92036E+5	8.83946E-1	2.50784E-2
30605	5.92668E+5	9.01280E-1	2.51458E-2
30606	5.93302E+5	9.12619E-1	2.53758E-2
30607	5.93936E+5	9.92164E-1	2.74525E-2
30608	5.94571E+5	9.30434E-1	2.60093E-2
30609	5.95207E+5	9.39947E-1	2.58225E-2
30610	5.95845E+5	9.32514E-1	2.54408E-2
30611	5.96483E+5	9.46110E-1	2.62143E-2
30612	5.97123E+5	9.61050E-1	2.63754E-2
30613	5.97763E+5	9.64561E-1	2.68575E-2
30614	5.98404E+5	9.24619E-1	2.61528E-2
30615	5.99047E+5	9.45618E-1	2.70300E-2
30616	5.99690E+5	8.78297E-1	2.48048E-2

Selected Row: 30616

Current Subentry: 14324002

DATA: Import, Sort, Paste, Chart, Clear, Check

Column: Add, Insert, Copy, Delete, Rename, Move Left, Move Right, Calculations, Set Value, Set Precision

Row: Add, Insert, Copy, Delete, Move Up, Move Down

Undo: Undo Last Action

Table: Precision for Table, Clear Data Table, Export Data Table, Add Data Table, Cancel, EXFOR-Help, Help

Рис. 4. Работа с числовыми экспериментальными данными в табличном режиме

Основная задача при компиляции ядерных данных в библиотеку EXFOR заключается в обеспечении качества и достоверности вводимой информации [8]. В программном комплексе EXFOR-Editor предусмотрены контроль корректности ввода числовых значений, проверка на вхождение их в допустимый интервал, задание точности представления числовых значений, исключение числовых данных с совпадающими значениями по оси абсцисс и другим независимым переменным, прорисовка введенных данных в виде зависимостей на графике.

EXFOR-Editor осуществляет проверку орфографии в компилируемом файле, вызывает внешние программы для тестирования его на соответствие формату EXFOR. Для дополнительного контроля с помощью подгружаемой программы редактируемый файл может быть представлен на экране в пользовательском формате с расшифровкой всех кодовых и ключевых слов.

Таким образом, разработанная и отлаженная библиотека алгоритмов по вводу и обработке данных в формате EXFOR является базой, на которой строится и развивается EXFOR-Editor. Будущее развитие программного комплекса EXFOR-Editor заключается в создании и совершенствовании его отдельных модулей при постоянном, уже хорошо зарекомендовавшем себя базовом программном обеспечении с привычными для пользователя интерфейсом и функциональными возможностями.

### *Список литературы*

1. Таова С. М., Пикулина Г. Н. Центр ядерно-физических данных во ВНИИЭФ // Изв. РАН. Сер. Физическая. 2011. Т. 75, № 7. С. 1081–1083.
2. Пикулина Г. Н., Таова С. М., Дунаева С. А. Оптимизация и обеспечение достоверности формата ввода данных в международную библиотеку EXFOR с использованием программного комплекса EXFOR-EDITOR // Вестник Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». 2013. Т. 2, № 1. С. 125–128.
3. Zvenigorodskij A. G., Zherebtsov V. A., Lazarev L. M. et al. The Library of Evaluated and Experimental Data on Charged Particles for fusion application. Report IAEA-NDS-191. Vienna, 1999.
4. International Network of Nuclear Reaction Data Centres / Ed. by Otsuka N., Dunaeva S. // INDC (NDS) 0401. 2010. Rev. 5.
5. Секция ядерных данных МАГАТЭ [Электронный ресурс]. – <https://www-nds.iaea.org/nrdc>.
6. Секция ядерных данных МАГАТЭ [Электронный ресурс]. – [https://www-nds.iaea.org/public/exfor/x4compil/exfor\\_input.htm](https://www-nds.iaea.org/public/exfor/x4compil/exfor_input.htm).
7. Секция ядерных данных МАГАТЭ [Электронный ресурс]. – [https://www-nds.iaea.org/exfor/x4stat/exfor\\_stat.htm](https://www-nds.iaea.org/exfor/x4stat/exfor_stat.htm).
8. Otsuka N., Dupont E., Semkova V. et al. Towards a more complete and accurate experimental Nuclear Reaction Data Library (EXFOR): international collaboration between Nuclear Reaction Data Centres (NRDC) // Nuclear Data Sheets. 2014. Vol. 120. P. 272–276.
9. Schwerer O. EXFOR formats description for users (EXFOR Basics). IAEA NDS, 2008.
10. Forrest R. A., Zerkin V., Simakov S. Developments of the EXFOR database: possible new formats // Nuclear Data Sheets. 2014. Vol. 120. P. 268–271.
11. Дунаева С. А., Курякин А. В. Программное обеспечение по вводу, обработке и записи в формате EXFOR фактографических данных: препринт РФЯЦ-ВНИИЭФ № 43. – Саров: РФЯЦ-ВНИИЭФ, 1993.

## **Activities on Experimental Data Compilation Performed for the International Library EXFOR in RFNC-VNIIEF Center of Nuclear Physics Data. Software Package EXFOR-Editor**

G. N. Pikulina, S. M. Taova

*Since 1973 there have been being compiled in the Institute of Nuclear Radiation Physics of RFNC-VNIIEF the experimental data in the reactions of charged particle interactions with light nuclei. At present the staff of the Centre of Nuclear Physics Data (CNPD) established in 1997 engaged in compilation. In the article there are presented the CNPD main activities. The contribution of CNPD into the development of the international library of experimental nuclear data EXFOR is marked out. There is described in detail the software package EXFOR-Editor for editing and inputting nuclear reaction data into the EXFOR format.*