В.В. Варламов

Исследование систематических погрешностей фотоядерных экспериментов с помощью международной базы данных по ядерным реакциям

Рекомендуемая форма библиографической ссылки

Варламов В.В. Исследование систематических погрешностей фотоядерных экспериментов с помощью международной базы данных по ядерным реакциям // Научный сервис в сети Интернет: труды XIX Всероссийской научной конференции (18-23 сентября 2017 г., г. Новороссийск). — М.: ИПМ им. М.В.Келдыша, 2017. — С. 72-87. — URL: <http://keldysh.ru/abrau/2017/02.pdf> doi:[10.20948/abrau-2017-02](https://doi.org/10.20948/abrau-2017-02)

Размещена также [презентация к докладу](#)

Исследование систематических погрешностей фотоядерных экспериментов с помощью международной базы данных по ядерным реакциям

В.В. Варламов

*Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобелева
МГУ имени М.В.Ломоносова*

Аннотация. Представлен новый метод анализа и учета систематических погрешностей разных фотоядерных экспериментов. Рассматриваются данные по сечениям парциальных фотонейтронных реакций, расхождения между которыми достигают 100% величины, что ставит вопрос об их достоверности. Анализ таких данных проводится на основе использования объективных физических критериев достоверности данных – специальных отношений сечений реакций из международной базы данных (БД). Для учета систематических погрешностей экспериментальных данных разработан метод, совместно использующий только экспериментальные данные из БД, минимально зависящие от обсуждаемых систематических погрешностей, и положения комбинированной модели фотоядерных реакций, от них не зависящих. Установлено, что новые оцененные с использованием критериев достоверности сечения фотонейтронных реакций существенно расходятся с экспериментальными данными, что требует пересмотра (переоценки) многих физических эффектов.

Ключевые слова: международная база данных, фотонейтронные реакции, систематические расхождения, критерии достоверности, новые оцененные достоверные данные

1. Введение

Сечения различных фотоядерных реакций широко востребованы не только в области фундаментальных и прикладных ядерно-физических исследований, но и в разнообразных приложениях. Особый интерес вызывают реакции с образованием одного, двух, трех и большего числа нуклонов, а также некоторых их сочетаний, называемые парциальными. Они играют большую важную роль в процессах возбуждения и распада гигантского дипольного резонанса (ГДР) ядер, образования элементов во Вселенной, мониторингирования сталкивающихся частиц в современных коллайдерах, при решении многих химических, биологических, технических, медицинских и многих других проблем. В этой связи фотоядерные данные занимают заметное место в международной базе данных (БД) системы (EXFOR) по ядерным реакциям

[1-4], созданной и поддерживаемой Сетью Центров данных по ядерным реакциям Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) [5].

Сетевой Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) Научно-исследовательского института ядерной физики имени Д.В. Скобельцына Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова [6], решая задачи научного сервиса в Интернет – доступа разнообразных пользователей (исследователей, специалистов, студентов) к накопленным ранее данным и знаниям с целью их использования для получения новых данных и нового знания – кроме упомянутой БД по ядерным реакциям поддерживает (<http://cdfe.sinp.msu.ru>) несколько других БД (рис. 1), содержащих разнообразную информацию по ядерным реакциям, радиоактивным распадам, ядерно-спектроскопическую информацию и много других полезных для научных исследований ядерно-физических данных. Все БД функционируют в Интернет и широко используются не только в научных исследованиях, но и в учебном процессе подготовки специалистов достаточно широкого профиля, прежде всего на кафедре Общей ядерной физики Физического факультета МГУ [7].

Огромные информационные массивы электронных БД с гибкими системами поиска (Search Engine) позволяют не только проводить практически неограниченный поиск информации по большому числу реквизитов, но и открывают совершенно новые возможности работы с данными. При использовании таких БД оказывается возможным сформулировать к накопленной совокупности данных вопросы, для которых без БД не было никаких оснований. Поскольку для полученных на такие вопросы ответов тем более не было оснований, такие ответы представляют собой, по существу, новые данные, новую информацию и, в конечном счете, новое знание (путь от неизвестного к новому [8]). В первую очередь это относится к выявлению неизвестных ранее соотношений и закономерностей между данными, получению достоверных данных на основе взаимной оценки расходящихся данных, систематических погрешностей разных экспериментов, оценке результатов экспериментов, которые по тем или иным причинам не были (не могут быть) выполнены. Зачастую, даже относительно простая системная обработка известных результатов выявляет принципиально новую физическую информацию, которая ранее отсутствовала (по крайней мере, в явном виде), поскольку для ее выявления не было никаких оснований [8, 9].

Настоящий доклад посвящен использованию возможностей международной БД по ядерным реакциям [1-4] для решения давно и широко известной проблемы существенных расхождений результатов разных фотоядерных экспериментов, обусловленных проявляющимися в них неизвестными систематическими погрешностями. Наличие таких погрешностей и расхождений ставит под сомнение достоверность экспериментальных данных и, по существу, не позволяет использовать один из основных философских принципов («критерий истины – практика»).

Рис. 1. Фрагмент (начало) главной страницы сайта ЦДФЭ

Из сказанного следует необходимость его модификации: «критерий истины – хорошая практика». Очевидно, что для его реализации требуются объективные физические критерии хорошей практики – критерии достоверности данных, которые должны быть сформулированы на основе анализа совокупности известных данных.

2. База данных по ядерным реакциям (EXFOR) ЦДФЭ НИИЯФ МГУ

БД «База данных по ядерным реакциям (EXFOR)» [1-4] содержит огромное количество характеристик (выходы, сечения, функции возбуждения реакций, энергетические, угловые, зарядовые, массовые и другие распределения частиц-продуктов реакций, поляризации, анализирующие способности, корреляции и др.) ядерных реакций под действием различных налетающих частиц, в том числе и фотонов.

Поисковая система (Search Engine), разработанная в ЦДФЭ, позволяет осуществлять эффективный поиск данных по ядерным реакциям по большому числу как фактографических, так и справочно-библиографических признаков. Она предоставляет пользователю удобный доступ к искомым данным, представленным как в графическом, так и числовом (табличном виде), что ниже иллюстрируется примерами для конкретного одного из возможных конкретных запросов.

На рис. 2 представлен фрагмент (начало) поисковой системы БД «Данные по ядерным реакциям (EXFOR)» на главной странице сайта ЦДФЭ.

На рис. 3 приведен пример протокола результатов поиска по запросу «Target Nucleus - 40Ca, Incident particles - gamma, Outgoing Particle - neutron».

На рис. 4 приведена графическая информация, соответствующая выполненному запросу (в настоящем примере – энергетическая зависимость сечения реакции $^{20}\text{Ca}-48(\text{G},\text{N})^{20}\text{Ca}-47$).

На рис. 5. приведена числовая (табличная) информация об энергетической зависимости сечения реакции $^{20}\text{Ca}-48(\text{G},\text{N})^{20}\text{Ca}-47$, соответствующая выполненному запросу.

Разделы описываемой базы данных созданы и поддерживаются большим числом сотрудников (компиляторов и оценщиков) из 14 сотрудничающих Центров ядерных данных Сети из 9 стран (Австрия, Венгрия, Индия, Китай, Корея, Россия, США, Украина, Франция). Для этого широко используются специальные доступные всем участникам сотрудничества компьютерные программы, подготовленные в разных организациях, реализованные как Интернет-ресурсы, используемые для единообразия подготовки информации и повышения эффективности ее использования для решения разнообразных научно-технических задач.

File Edit View History Bookmarks Tools Help

CDFE => Online Services => ... x +

cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php Search

LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY, SKOBELTSYN INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS

CENTRE FOR PHOTONUCLEAR EXPERIMENTS DATA

[Online Services](#) | [Partners](#) | [Links](#) | [About](#) | [Team](#) | [Publications](#) | [Contacts](#) | [Russian](#)

CDFE => Online Services => Nuclear Reaction Database (EXFOR)

Nuclear Reaction Database (EXFOR)

[\[Direct Geometry \]](#)
[Inverse Geometry](#)

The source of data is the EXFOR fund prepared and maintained
 by the [Nuclear Reaction Data Centres Network](#).

Each field in this form is optional - may be blank. [\[Click here for help... \]](#)
[\[Click here for dictionary... \]](#)

Number ENTRY / SUBENTRY	<input type="text"/> M0025 - M0040 A0075002 - A0080010 C0128, L0028002	
<i>Reaction</i>		
Target Nucleus : Z (digits) or Chemical symbol (letters) and Mass number (digits)	Z or Symbol : <input type="text" value="20"/> A : <input type="text" value="48"/>	
Incident Particle :	<div> <input type="text" value="any"/> <input type="text" value="0 No incident particle - spontaneous decay"/> <input type="text" value="A Alphas"/> <input type="text" value="D Deuterons"/> <input type="text" value="E Electrons"/> <input type="text" value="G Gammas"/> </div> or Ions <input type="text"/> Sequence : Be-8,Pb-208,Li-7	
Inc-Source : Source of the incident particle beam	<div> <input type="text" value="any"/> <input type="text" value="A-BE Alpha-Beryllium"/> <input type="text" value="ARAD Annihilation radiation"/> <input type="text" value="ATOMI Atomic beam source"/> <input type="text" value="BRST Bremsstrahlung"/> </div>	
Outgoing Particle / Process :	<div> <input type="text" value="any"/> <input type="text" value="0 No outgoing particle"/> <input type="text" value="A Alphas"/> <input type="text" value="B- Decay Beta-"/> <input type="text" value="D Deuterons"/> </div> / <div> <input type="text" value="any"/> <input type="text" value="ABS Absorption"/> <input type="text" value="EL Elastic scattering"/> <input type="text" value="F Fission"/> <input type="text" value="INL Inelastic scattering"/> </div> or Sum (e.g., n + p) <input type="text"/>	
Product Nucleus : Z (digits) or Chemical symbol (letters) and Mass number (digits)	Z or Symbol : <input type="text"/> A : <input type="text"/>	
	<div> ☐ Angular correlation ☐ Angular distributions, general ☐ Angular distributions, partial reactions ☐ Double differential data ☐ Energy/momentum/mass correlation (photonuclear data) </div>	

Рис. 2. Фрагмент (начало) поисковой системы БД «Данные по ядерным реакциям (EXFOR)» на главной странице сайта ЦДФЭ

CDFE => Online Services => ... CDFE search engine.

Recordings from 1 to 14

Save
Look through selected data

Subent	First Author	Reference (+ NSR)	Target Nucleus	Inc-Source	Reaction *means combination	Final Nucleus	Quantity	Data type	Field of Measurement	Unit	Minimum	Maximum
☐ G0006002	G.J.O'Keefe+	J,NP/A,469,239,198707	20-CA-48		(G,X)	1-H-1	SIG	EXP	MEV		25	25
☐ G0006003	G.J.O'Keefe+	J,NP/A,469,239,198707	20-CA-48	BRST	(G,X)	0-NN-1	SIG	EXP	MEV		19.5	19.5
☐ M0636009	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,X)	0-NN-1	UNW,SIG,BRS	EXP	MEV		10.81	25.05
☐ M0636010	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,ABS)		SIG,BRS	EXP	MEV		10.81	25.11
☐ M0648023	B.S.ISHKHANOV+	RMSU- INP-2002-27/711,2002	20-CA-48	QMPH,ARAD	(G,ABS)		SIG	EVAL	MEV		10	40
☐ M0653003	V.A.Erokhova+	JIZV,67,1479,2003	20-CA-48	QMPH,ARAD	(G,ABS)		SIG	EVAL	MEV		10	40
☐ L0164002	J.R.Tompkins+	J,PR/C,84,044331,2011	20-CA-48	LCS	(G,N)	20-CA-47	SIG	EXP	MEV		9.3	15.3
☐ M0636006	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,N)*	20-CA-47	SIG,BRS	EXP	MEV		10.81	24.99
☐ M0636007	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,N)	20-CA-47	SIG,BRS	EXP	MEV		10.81	25.05
☐ M0636008	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,2N)	20-CA-46	SIG,BRS	EXP	MEV		17.26	25.05
☐ M0636002	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,P)*	19-K-47	DA,BRS	EXP	MEV		18.65	27.55
☐ M0636003	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,P)	19-K-47	DA,BRS/4PI	EXP	MEV		18.83	27.4
☐ M0636004	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,P)	19-K-47	PAR,DA,BRS	EXP	MEV		18.99	26.9
☐ M0636005	G.J.O'KEEFE+	J,NP/A,469,239,1987	20-CA-48	VPH	(G,P)	19-K-47	PAR,DA,BRS	EXP	MEV		19.08	26.98

Save
Look through selected data

Рис. 3. Пример протокола выдачи результатов поиска по запросу («Target Nucleus - 48Ca, Incident particles - gamma, Outgoing Particle - neutron») в БД «Данные по ядерным реакциям (EXFOR)»

Рис. 4. Графическая информация об энергетической зависимости сечения реакции 20-Ca-48(G,N)20-Ca-47, соответствующая обработанному запросу

File Edit View History Bookmarks Tools Help			
CDFE => Online Services => ... x http://cdfe....06&SOURCE=ON x +			
cdfe.sinp.msu.ru/cgi-bin/exf2htm?LINK=...			
SUBENT M0636006 20050609 M063600600001			
BIB 5 12 M063600600002			
REACTION ((20-CA-48(G,N)20-CA-47,,SIG,,BRS)+ M063600600003			
(20-CA-48(G,P)19-K-47,,SIG,,BRS)) M063600600004			
SAMPLE 1.67 kg powder (lab. grade) natural (abundance 0.187 M063600600005			
%) 48Ca target - cylindrical steel container 10.5 cm M063600600006			
in diameter and 13.3 cm long. M063600600007			
DETECTOR (NAICR) Three Nai(Tl) detectors. M063600600008			
METHOD (ACTIV) Residual radioactivity resulting from M063600600009			
reactions 48Ca(g,n)47Ca(b-, 4.546 day)47Sc and M063600600010			
48Ca(g,p)47K(b-, 17.5 sec)47Ca(b-)47Sc was measured. M063600600011			
ANALYSIS (PLA) The variable bin Penfold-Leiss method for M063600600012			
reaction cross section unfolding from the M063600600013			
experimental yield was used. M063600600014			
ENDBIB 12 M063600600015			
NOCOMMON 0 0 M063600600016			
DATA 3 34 M063600600017			
EN DATA DATA-ERR M063600600018			
MEV MB MB M063600600019			
10.81 4.93 2.24 M063600600020			
11.28 5.16 2.02 M063600600021			
11.78 7.29 2.13 M063600600022			
12.27 14.69 2.58 M063600600023			
12.50 12.11 1.57 M063600600024			
13.01 9.20 2.92 M063600600025			
13.57 12.67 3.03 M063600600026			
14.06 24.00 4.26 M063600600027			
14.56 20.86 3.81 M063600600028			
15.10 28.04 4.04 M063600600029			
15.63 41.05 4.49 M063600600030			
16.12 45.31 4.93 M063600600031			
16.62 41.27 7.40 M063600600032			
17.23 65.27 6.73 M063600600033			
17.46 66.06 5.27 M063600600034			
17.94 74.36 5.94 M063600600035			
18.37 81.73 6.31 M063600600036			
18.86 89.12 7.06 M063600600037			
19.08 86.63 5.90 M063600600038			
19.56 78.24 6.15 M063600600039			
20.04 62.29 7.14 M063600600040			
20.51 53.99 7.64 M063600600041			
20.70 50.25 6.23 M063600600042			
21.20 44.85 7.14 M063600600043			
21.40 47.26 6.06 M063600600044			
21.90 32.23 6.64 M063600600045			
22.09 26.50 5.90 M063600600046			
22.61 36.13 6.06 M063600600047			
22.81 30.81 5.40 M063600600048			
23.30 27.49 5.73 M063600600049			
23.51 24.17 5.23 M063600600050			
24.01 26.66 5.56 M063600600051			
24.48 23.50 5.56 M063600600052			
24.99 25.50 6.06 M063600600053			
ENDDATA 36 M063600600054			
ENDSUBENT 53 M063600699999			

Рис. 5. Числовая (табличная) информация об энергетической зависимости сечения реакции 20-Са-48(G,N)20-Са-47, соответствующая обработанному запросу

В качестве примеров могут быть приведены следующие Интернет-ресурсы:

- программа подготовки разделов БД EXFOR (EDITOR) в соответствии с согласованными правилами и словарями специальных кодов, (<http://www.vniief.ru/wps/wcm/connect/vniief/siteeng/partnership/cnpd/Developments/EXFOREEDITOR/>);
- программа проверки разделов БД правилам описания данных формата EXFOR, (<http://www.jcprg.org/exfor/tool/>);
- программа оцифровки информации, доступной только в графическом виде, (<http://www.vniief.ru/wps/wcm/connect/vniief/siteeng/partnership/cnpd/Developments/inpgraph/>);
- программа сравнения данных из разных работ на предмет устранения дублирования;
- многие другие программы, включающие программу проверки правописания текстов на английском языке, (<http://www.oecd-neo.org/janisweb/trans-checker/>).

В Интернет реализованы также специальные средства, например, программа «EXFOR COmpilation COntrol System» (COCOS – <https://www-nds.iaea.org/exfor-master/x4compil/>), позволяющие сотрудникам Сети ориентироваться в том, какие именно данные выбраны для компиляции, находятся в процессе обработки, требуют специального взаимодействия различных центров в связи с пересечением интересов и т.д., и т.п.

3. Достоверность экспериментальных данных из БД. Объективные физические критерии

Сечения (вероятности взаимодействия) реакций под действием γ -квантов, в которых образуется различное количество вылетающих частиц, называемых парциальными, представляют большой интерес с точки зрения не только изучения ГДР – мощного широкого ярко выраженного резонанса в сечении реакции фотопоглощения, но и большого количества разнообразных приложений. Подавляющее большинство данных такого типа было получено в двух лабораториях (Ливермор (США) и Сакле (Франция)). Давно и хорошо известно, что между результатами этих лабораторий имеются существенные (в некоторых случаях достигающие 100%) проявляющиеся для разных ядер поразному расхождению. Типичный пример таких расхождений приведен на Рис. 6 для случая ядра ^{159}Tb .

Причины подобных расхождений и способы их устранения обсуждались давно, рекомендации давались разнообразные, часто противоречащие друг другу. Создание обсуждаемой БД позволило системно подойти к наблюдаемым расхождениям. На рис. 7 приведена систематика отношений $R = (C/L)$ интегральных сечений, полученных в Сакле и Ливерморе.

Рис. 6. Сравнение данных по сечениям реакций на ядре ^{159}Tb , полученных в двух лабораториях (Ливермор, [10] – треугольники, Сакле, [11] – квадраты): а – $\sigma(\gamma, xn)$, б – $\sigma(\gamma, 1n)$, в – $\sigma(\gamma, 2n)$. Хорошо видно, что при близости $\sigma(\gamma, xn)$, $\sigma(\gamma, 1n)$ имеет существенно большую величину в Сакле, а $\sigma(\gamma, 2n)$ – в Ливерморе

Рис. 7. Отношения R интегральных сечений реакций, полученных в Сакле и Ливерморе для 19 ядер, исследованных в обеих лабораториях (квадраты – данные для реакции $(\gamma, 1n)$, треугольники – $(\gamma, 2n)$). Хорошо видно, что среднее значение $\langle R \rangle$ для $\sigma(\gamma, 1n)$ равно 1.2, тогда как для $\sigma(\gamma, 2n)$ – 0.8

Из приведенной систематики очевидно, что обсуждаемые расхождения связаны с систематическими ошибками, допущенными при определении этих сечений с использованием специального метода разделения фотонейтронов по множественности.

Такой вывод полностью подтверждается специально выработанными опять же с использованием возможностей БД объективными физическими критериями достоверности данных. Так, например, рассчитываемые по данным из базы переходные функции множественности – отношения $F_i = \sigma(\gamma, in)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, in)/[\sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots]$ отдельных конкретных сечений парциальных реакций с образованием различных чисел нейтронов к суммарному сечению реакции выхода нейтронов по определению не могут превышать абсолютных верхних пределов, равных 1.00, 0.50, 0.33, ... соответственно для $i = 1, 2, 3, \dots$. Превышение, например, отношением F_2 значения 0.50 означает, что в эксперименте часть нейтронов была необоснованно (ошибочно, недостоверно) перенесена из канала «1n» в канал «2n». Следует отметить, что в областях энергий, в которых $F_2 > 0.50$ наблюдаются физически запрещенные отрицательные значения сечений реакции $(\gamma, 1n)$, что понятно, поскольку именно из канала «1n» были столь же недостоверно извлечены те нейтроны, которые были перемещены в канал «2n».

Кроме того, поскольку в отношениях F_i представлены только сечения (нормированные вероятности, имеющие размерность площади) сечения разных реакций, эти отношения должны иметь положительные значения. Соответствующий типичный пример обсуждаемых расхождений (ядро ^{63}Cu) представлен на рис. 8.

При таком подходе соотношение между сечениями парциальных реакций рассчитывается с помощью положений современной комбинированной модели фотоядерных реакций [13], которые не зависят от особенностей экспериментального определения множественности нейтронов. При этом в качестве исходного материала для оценки достоверных данных используется сечение реакции выхода нейтронов $\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n) + 2\sigma(\gamma, 2n) + 3\sigma(\gamma, 3n) + \dots$, которое также не зависит от этих особенностей: $\sigma^{\text{оцен}}(\gamma, in) = F_i^{\text{теор}} \times \sigma^{\text{эксп}}(\gamma, xn)$.

В рамках нового подхода сечения реакций $(\gamma, 1n)$ и $(\gamma, 2n)$, а также, где возможно, и $(\gamma, 3n)$, свободные от обсуждаемых недостатков экспериментальных методов, оценены для ядер $^{63,65}\text{Cu}$, ^{75}As , ^{89}Y , $^{90-94}\text{Zr}$, ^{115}In , ^{127}I , $^{112-124}\text{Sn}$, ^{133}Cs , ^{159}Tb , ^{165}Ho , ^{181}Ta , $^{186-192}\text{Os}$, ^{197}Au , ^{208}Pb , ^{209}Bi . Характерные примеры сечений разных реакций, оцененных описанным способом для ядра ^{208}Pb , приведены на рис. 9.

Оцененные таким образом сечения парциальных фотонейтронных реакций существенно отличаются от соответствующих экспериментальных. Это требует пересмотра (нового анализа) многих физических эффектов, оценка которых ранее выполнялась с использованием экспериментальных сечений. Среди таких эффектов важно в первую очередь отметить:

- соотношение прямых и статистических эффектов в процессах распада по разным каналам высоковозбужденных ядерных состояний, которое непосредственно зависит от отношений $\sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, 1n)$;
- эффекты конфигурационного расщепления гигантского дипольного резонанса, прежде всего в легких ядрах, которые непосредственно зависят от $\sigma(\gamma, 1n)$ и $\sigma(\gamma, 2n)$;
- эффекты изоспинового расщепления ГДР в средних и тяжелых ядрах, которые определяются соотношениями сечений реакций (γ, p) и $(\gamma, 1n)$;
- исчерпывание дипольного правила сумм (верхняя граница величины гигантского дипольного резонанса), которое непосредственно связано с величиной сечения реакции $(\gamma, 2n)$.

5. Востребованность проекта в Интернет

Как показано выше, наличие существенных систематических расхождений между результатами разных экспериментов делает весьма сомнительным достоверность многих из их результатов. Предложенные физические критерии достоверности данных позволяют получить убедительные свидетельства того достоверны ли имеющиеся данные, и если «нет», какие достоверные приближения к ним могут быть получены.

Рис. 8. Переходные функции множественности нейтронов для ядра ^{65}Cu : экспериментальные (Ливермор, [12]) и теоретические ([13] — линии) функции множественности F_1 (а) и F_2 (б). Хорошо видны области энергий фотонов, в которых $F_1 < 1$ и, соответственно $F_2 > 0.50$. B_{np} , B_{2n} , B_{2np} отмечают энергетические пороги (энергии налетающих фотонов, начиная с которых реакция возможна) соответствующих реакций

Рис. 9. Сравнение экспериментальных (Ливермор, [14] – треугольники, Сакле [15] – квадраты) и оцененных ([16] – кружки) сечений фотонейтронных реакций для ядра ^{115}In . Хорошо видно, что оцененные сечения, удовлетворяющие критериям достоверности, существенно отличаются от экспериментальных сечений, этим критериям не соответствующих

«Хорошая практика» как критерий истины требует проведения экспериментов методами, альтернативными использованному методу сортировки вылетающих нейтронов по множественности. Таковыми могут быть эксперименты с прямой регистрацией вылетающих нейтронов при использовании техники совпадений. Истинно альтернативными являются эксперименты, использующие метод наведенной активности, то есть позволяющие идентифицировать парциальные реакции не по количеству вылетающих нейтронов, а по образующемуся в конечном состоянии ядру. Проведение таких экспериментов, к сожалению, также имеет определенные ограничения.

В ситуации фактического отсутствия достоверных экспериментальных данных возможным решением проблемы является использование оцененных данных, соответствующих критериям достоверности.

В этой связи востребованность оцененных описанным способом данных весьма высока. На рис. 10 и в Табл. приведена статистика посещений баз данных ЦДФЭ, полученная с помощью соответствующего Интернет-средства – Advanced Web Statistics – для двух месяцев 2017 года (марта и мая – с максимальным и минимальным количеством посещений, соответственно). Приблизительно половина из приведенных данных относится к «Базе данных по ядерным реакциям (EXFOR)».

Таблица. Статистика посещений баз данных ЦДФЭ за март и май 2017 года.

2017 год		
	март	май
Россия	18790	6169
Украина	3747	1271
Казахстан	2634	519
США	2017	854
Беларусь	1172	1248
Франция	429	389
Китай	798	239
Германия	377	–
Вьетнам	456	–
Австралия	–	283

Востребованность достоверных фотоядерных данных подтверждается значительным количеством ссылок на них в научной литературе, приглашением докладов оргкомитетами международных конференций, организацией МАГАТЭ Координационной исследовательской программы, посвященной обновлению и дополнению функционирующей в Интернет электронной библиотеки фотоядерных данных, оцененных ранее без учета объективных физических критериев достоверности.

Рис. 10. Статистика посещений баз данных ЦДФЭ за март и май 2017 года.

Работы проводились в Отделе электромагнитных процессов и взаимодействий атомных ядер НИИЯФ МГУ с поддержкой гранта РФФИ № 13-02-00124 и ведутся в настоящее время с поддержкой Исследовательского контракта № 20501 в рамках Координационного исследовательского проекта № F41032 МАГАТЭ. Автор выражает благодарность Б.С. Ишханову за полезные дискуссии, В.Н.Орлину за проведение теоретических расчетов, Н.Н. Пескову и М.Е. Степанову за помощь в получении и представлении данных.

Литература

1. N. Otuka, E. Dupont, V. Semkova, ...V.V. Varlamov,Nuclear Data Sheets, 120 (2014) 272
2. "База данных по ядерным реакциям (EXFOR)" ЦДФЭ НИИЯФ МГУ, URL—<http://cdfe.sinp.msu.ru/exfor/index.php>
3. IAEA Nuclear Data Section Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR), URL— <http://www-nds.iaea.org/exfor>
4. USA National Nuclear Data Center database CSISRS and EXFOR. Nuclear reaction experimental data, URL—<http://www.nndc.bnl.gov/exfor00.htm>
5. N. Otsuka, S. Dunaeva, "International Network of Nuclear Reaction Data Centres". INDC(NDS)—0401, IAEA, Vienna, Austria, 2010
6. И.Н. Бобошин, В.В. Варламов, С.Ю. Комаров, Н.Н. Песков, М.Е. Степанов, В.В. Чесноков. Материалы Всероссийской научной конференции "Научный сервис в сети ИНТЕРНЕТ: многоядерный компьютерный мир", Новороссийск, 24—29 сентября 2007 г., Изд-во Московского Университета, с. 318
7. В.В. Варламов, Э.И. Кэбин. Материалы XVII Всероссийской научно-методической конференции «Телематика'2010». 21 — 24 июня 2010 года, Санкт-Петербург. СПбГУИТМО, Санкт-Петербург, 2010, Том. 1. Секция А., стр. 137
8. В.В. Варламов, И.Н. Бобошин "Базы данных как метод исследования". Природа. 12 (2005). 29
9. В.В. Варламов, Н.Н. Песков, М.Е. Степанов. Материалы Международной суперкомпьютерной конференции «Научный сервис в сети Интернет: все грани параллелизма». Сборник трудов (23 — 28 сентября 2013 г., г. Новороссийск). —М., Изд-во МГУ, 2013, с. 489
10. R.L. Bramblett, J.T. Caldwell, R.R. Harvey, S.C. Fultz. Phys.Rev. 133 (1964) B869
11. R. Bergere, H. Beil, A. Veyssiere. Nucl.Phys. A121 (1968) 463
12. S.C. Fultz, R.L. Bramblett, J.T. Caldwell, R.R. Harvey. Phys. Rev. 133 (1964) B1149
13. B.S. Ishkhanov, V.N. Orlin, K.A. Stopani, V.V. Varlamov. Photonuclear Reactions and Astrophysics. In "The Universe Evolution: Astrophysical and Nuclear Aspects", Ed. by I. Strakovsky and L. Blokhintsev. Nova Science Publishers, New York, 2013, p. 113
14. S.C. Fultz, B.L. Berman, J.T. Caldwell, et. al. Phys. Rev. 186 (1969) 1255
15. A. Lepretre, H. Beil, R. Bergere, et. al. Nucl. Phys. A 219 (1974) 39
16. В.В. Варламов, В.Н. Орлин, Н.Н. Песков, М.Е. Степанов. Известия РАН, серия физическая, 77 (2013) 433