

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЦДФЭ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ ПО ТЕМЕ «ДЕЛЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР»

Современные информационно-коммуникационные технологии позволяют внедрять в учебный процесс высшей школы новые интерактивные методики решения практических задач на основе экспериментальных данных высокого качества, так называемых оцененных ядерных данных. Качество этих данных оценивается Организацией ядерных данных, затем формируются библиотеки ядерных данных (базы данных (БД)), которые хранятся в центрах ядерных данных. В настоящее время существует ряд центров, созданных по эгидой Международного агентства по атомной энергии, Агентства по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития, Японского агентства по атомной энергии, национальных лабораторий Соединенных Штатов Америки и Канады. Доступ к данным является свободным, любой пользователь в онлайн формате может извлечь необходимую численную информацию, зайдя на веб-сайт соответствующего центра [2].

Рассмотрим методы извлечения оцененных ядерных данных для решения задач ядерной физики с помощью реляционной базы «Деление ядер», расположенной на сайте Центра данных фотоядерных экспериментов Научно-исследовательского института ядерной физики им. Д. В. Скобельцына Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова [3].

Деление атомного ядра (расщепления тяжелого ядра на два осколка с близкими массами) – сложный для изучения и анализа процесс, так как в результате деления могут также возникнуть и другие продукты реакции: альфа-частицы, нейтроны и гамма-кванты. Как правило, деление ядер сопровождается вылетом 1-4 нейтронов. Деление бывает самопроизвольным или спонтанным и вынужденным, т. е. под действием других частицами (обычно нейтронов). Так как при делении тяжёлого ядра образуются более лёгкие ядра, в которых нуклоны связаны сильнее, то часть энергии в результате реакции высвобождается, образуя так называемую энергию деления $Q_{дел}$, которую возможно получить как экспериментально, так и теоретически [4].

На практических занятиях по теме «Деление атомных ядер» энергию деления $Q_{\text{дел}}$ выражают через энергии связи начального и конечных ядер. Энергия связи начального ядра $E_{\text{св}}(A, Z)$, состоящего из Z протонов и N нейтронов, определяется через массу ядра $M(A, Z)$ следующим соотношением:

$$E_{\text{св}}(A, Z) = (Zm_p + Nm_n - M(A, Z))c^2.$$

Деление ядра $X(A, Z)$ на 2 осколка $X_1(A_1, Z_1)$ и $X_2(A_2, Z_2)$ сопровождается образованием мгновенных нейтронов n . Если ядро $M(A, Z)$ разделилось на осколки с массами $M_1(A_1, Z_1)$, $M_2(A_2, Z_2)$ и энергиями связи $E_{\text{св}1}(A_1, Z_1)$, $E_{\text{св}2}(A_2, Z_2)$, то для энергии деления имеем выражение [4]:

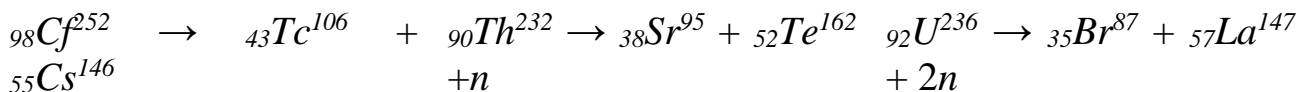
$$Q_{\text{дел}} = \{M(A, Z) - [M_1(A_1, Z_1) + M_2(A_2, Z_2) + (A - A_1 - A_2)m_n]\}c^2 = \\ = E_{\text{св}1}(A_1, Z_1) + E_{\text{св}2}(A_2, Z_2) - E_{\text{св}}(A, Z). \quad (1)$$

Причём

$$A = A_1 + A_2 + N_n, \quad Z = Z_1 + Z_2.$$

Используя численные табличные значения массы или энергии связи ядер, можно рассчитать энергию деления на основе формулы (1). Вычисления вручную проходят достаточно медленно, приводят к ошибкам в 10-100 доли процента и позволяют исследовать ограниченное число ядер.

Калькулятор «Деление ядер» дает возможность рассчитать энергию деления $Q_{\text{дел}}$ для всех атомных ядер, испытывающих спонтанное или вынужденное деление, с заданной точностью и в интерактивном режиме. Методика применения данного калькулятора состоит в следующем: на входной форме запроса (рисунок 1) необходимо задать численные значения количества протонов Z и нуклонов A в соответствующих полях для входных параметров «Ядро-мишень», «Выбираемый (пользователем) осколок», «Определяемый (программой) осколок» и «Мгновенная частица 1, сопровождающая деление». При этом в разделе «Налетающая частица» можно выбрать любую частицу, представленную в списке или оставить поле пустым, а входной параметр «Мгновенная частица 2, сопровождающая деление» заполняется в случае, если в реакции образуется более одной частицы. На рисунке 1 входная форма заполнена для реакции спонтанного деления изотопов калифорния ${}_{98}\text{Cf}^{252}$, тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$ [1] и урана ${}_{92}\text{U}^{236}$:



Каждое поле формы может быть пустым [Помощь]

Входные параметры:	Z:	A:	Число частиц
Ядро-мишень:	98	252	1
Налетающая частица:	Нет налетающих частиц (для ввода номера >>>)		
Выбираемый (пользователем) осколок:	43	106	1
Определяемый (программой) осколок:	55	146	1
Мгновенная часть 1, сопровождающая деление:			0
Мгновенная часть 2, сопровождающая деление: (если больше частей >>>)			0

Вычислить Очистить

Каждое поле формы может быть пустым [Помощь]

Входные параметры:	Z:	A:	Число частиц
Ядро-мишень:	90	232	1
Налетающая частица:	Нет налетающих частиц (для ввода номера >>>)		
Выбираемый (пользователем) осколок:	38	95	1
Определяемый (программой) осколок:	52	136	1
Мгновенная часть 1, сопровождающая деление:	0	1	1
Мгновенная часть 2, сопровождающая деление: (если больше частей >>>)			0

Вычислить Очистить

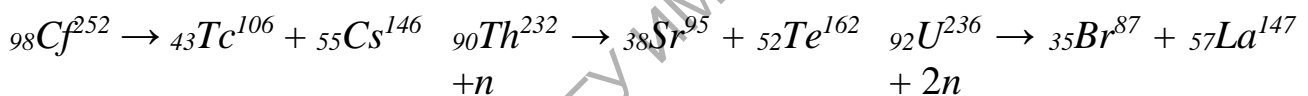
Каждое поле формы может быть пустым [Помощь]

Входные параметры:	Z:	A:	Число частиц
Ядро-мишень:	92	236	1
Налетающая частица:	Нет налетающих частиц (для ввода номера >>>)		
Выбираемый (пользователем) осколок:	35	87	1
Определяемый (программой) осколок:	57	147	1
Мгновенная часть 1, сопровождающая деление:	0	1	2
Мгновенная часть 2, сопровождающая деление: (если больше частей >>>)			0

Вычислить Очистить

Рисунок 1 – Входная форма запроса по определению энергии реакции спонтанного деления изотопов калифорния ${}_{98}\text{Cf}^{252}$, тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$ и урана ${}_{92}\text{U}^{236}$

При нажатии кнопки «Вычислить» калькулятор начинает свою работу. В результате на экране компьютера появляется выходная форма запроса (рисунок 2), которая содержит информацию о необходимых при вычислении характеристиках ядер, а также выдает численный ответ с заданной точностью и размерностью. Так для калифорния ${}_{98}\text{Cf}^{252}$ энергия деления $Q_{\text{дел}} = 211,429(72)$ МэВ, для тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$ энергия деления $Q_{\text{дел}} = 176,919(45)$ МэВ и для урана ${}_{92}\text{U}^{236}$ энергия деления $Q_{\text{дел}} = 167,009(51)$ МэВ. Анализируя полученные численные значения энергий деления можно сделать вывод, что в реакциях с образованием нейтронов часть высвобождающейся энергии уносится нейтронами.



Входные параметры:	Символ:	Z:	A:	Масса, u:
• Ядро-мишень:	Cf	98	252	252.0816258
• Выбираемый (пользователем) осколок:	Tc	43	106	105.914357
• Определяемый (программой) осколок:	Cs	55	146	145.940289

Результаты расчета:

Энергия реакции: 211.429(72) МэВ

Входные параметры:	Символ:	Z:	A:	Масса, u:
• Ядро-мишень:	Th	90	232	232.0380553
• Выбираемый (пользователем) осколок:	Sr	38	95	94.919358766
• Определяемый (программой) осколок:	Te	52	136	135.920101
• Мгновенная часть 1, сопровождающая деление:	n	0	1	0

Результаты расчета:

Энергия реакции: 176.919(45) МэВ

Входные параметры:	Символ:	Z:	A:	Масса, u:
• Ядро-мишень:	U	92	236	0
• Выбираемый (пользователем) осколок:	Br	35	87	86.920711
• Определяемый (программой) осколок:	La	57	147	146.928233
• Мгновенная часть 1, сопровождающая деление:	2_n	2*0	2*1	0

Результаты расчета:

Энергия реакции: 167.009(51) МэВ

Рисунок 2 – Выходная форма запроса по определению энергии реакции спонтанного деления изотопов калифорния ${}_{98}\text{Cf}^{252}$, тория ${}_{90}\text{Th}^{232}$ и урана ${}_{92}\text{U}^{236}$

Таким образом, использование калькулятора «Деление ядер» позволяет за одно практическое занятие с высокой точностью рассчитать необходимые численные значения для всех известных атомных ядер, подверженных делению, а также провести анализ и сравнение результатов. Данный подход при проведении занятий делает процесс обучения мобильным и интересным. Производительность занятия возрастает, студент должен проявить не только знания физики, но и способности использования интернет-технологий. В конечном счете, усвоение знаний происходит в рамках обобщения и систематизации, что позволяет достичь намеченного образовательного результата и ведет к совершенствованию умений и навыков.

Литература

1. Дерюжкова, О. М. Использование калькулятора «Деление ядер» на практических занятиях по ядерной физике / О. М. Дерюжкова, А. С. Парахневич // Прикладные вопросы точных наук: Материалы III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, преподавателей, посвященной 60-летию со дня образования Армавирского механико-технологического института (АМТИ, г. Армавир, Россия, 1-2 ноября 2019 г.) / науч. ред. Л. А. Горовенко; отв. ред. Е. В. Коврига. – Армавир: РИО АГПУ, 2019. – С. 320-322.
2. Дерюжкова, О. М. Физика атомного ядра. Решение задач с использованием банков ядерных данных : практическое руководство / О. М. Дерюжкова, А. С. Парахневич ; М-во образования РБ, Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2021. – 40 с.
3. Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ) [Электронный ресурс] / Центр данных фотоядерных экспериментов (ЦДФЭ). – Россия, 2003. – Режим доступа : <http://cdfe.sinp.msu.ru/index.ru.html>. – Дата доступа: 24.02.2022.
4. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. – 2-е изд. перераб. – Москва : Наука, 1980. – 729 с.