

УДК 621.384.8:539.163:539.128.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОМ МАСС-СПЕКТРОМЕТРЕ МИ 3305

Рязанцева Н.Н., Давыдов А.И. (ВНИИНМ им. А.А. Бочвара)

Термоядерные исследования из проектно-конструкторских разработок переходят к стадии экспериментальных работ: осенью 1992 г. впервые генерировала мощность до 2 МВт установка JET, проводится цикл пусконаладочных работ на ТСП (Т-14) [1, 2]. Контроль изотопного состава плазменного (топливного) газа, поступающего в разрядную камеру и отработавшего в ней, принципиально необходим на каждой термоядерной установке, испытываемой в энергетическом режиме. В топливном газе содержатся водородные молекулы вида T_2 , D_2 , H_2 , DT , HT , HD , 3He — продукт распада трития, может присутствовать 4He — изотоп гелия. Особенности изотопного анализа таких смесей рассматривались ранее [3]. Масс-спектрометрический метод анализа, разработанный для ТСП, описан в работе [4]. На JET предполагается применение специально разработанного омегатрона [5].

В А/О «Спектрон» совместно с ВНИИНМ им. А.А. Бочвара для анализа водородно-гелиевых смесей был создан и испытан опытный образец специализированного масс-спектрометра МИ 3305 [6], особенностью которого является возможность работы с радиоактивным изотопом водорода — тритием с учетом требований норм безопасности и утилизации отходов. Рабочая разрешающая способность 2500 (на уровне 10%-ной высоты пика с массовым числом 28) позволяет разделить в масс-спектре все дуплеты и триплеты, образованные основными и ассоциативными ионами водорода и гелия, кроме дуплета $^3He^+ - T^+$, для разделения которого требуется разрешение масс-спектрометра не менее $150 \cdot 10^3$ [3]. Рабочее разрешение 2500 дает возможность анализировать газовые смеси изотопов водорода в неравновесном состоянии, погрешность определения содержания изотопов водорода (D_2 , T_2) при этом не превышает 0,1%. Содержание i -го изотопа рассчитывается по формуле

$$C_i = \frac{K_i I_i + 0,5(I_i^{(1)} + I_i^{(2)} + \dots + I_i^{(n)})}{\sum_{j=1} K_j I_j}$$

где I_i — интенсивность основной линии масс-спектра i -го изотопа; $I_i^{(1)} \dots I_i^{(n)}$ — интенсивность линий атомарных и ассоциативных ионов; I_j — интенсивность линий изотопно-химического масс-спектра (в случае наличия водородсодержащих примесей); K_i , K_j — коэффициенты относительной чувствительности соответствующих изотопов.

Методическое и программное обеспечение масс-спектрометра МИ 3305 подробно описано в работах [6, 7].

Газовые смеси, предназначенные для измерения, приготавливались объемным методом. Содержание изотопов в них соответствовало возможному их содержанию в топливном газе на различных этапах технологического регламента в тритиевых системах термоядерных установок.

Перед измерением смесей проводилась калибровка масс-спектрометра по чистым газам (T_2 , D_2 , H_2 , 3He , 4He , Ag) и калибровочным смесям, составленным объемным методом на метрологически аттестованной установке. Чистоту газов аттестовывал поставщик. При приготовлении смесей ее контролировали хроматографическим и радиометрическим методами. Содержание основного изотопа в чистых газах составляло более 98,5% по объему. Коэффициент относительной чувствительности масс-спектрометра, определяемый по калибровочным смесям, оказался одинаковым для всех изо-

топов водорода. Его приняли за 1. Коэффициент относительной чувствительности изотопов гелия составил 2—3 в зависимости от режима напуска и откачки анализируемого газа.

Результаты определения изотопного состава водородно-гелиевых смесей обобщены в таблице. Каждая смесь анализировалась не менее чем из двух ампул, проводилось не менее трех-пяти напусков из каждой ампулы и при каждом напуске регистрировалось не менее трех масс-спектров.

Результаты измерения изотопного состава газовых смесей на масс-спектрометре МИ 3305

Номер смеси	Состав смеси	Результаты измерения, % по объему		Относительное расхождение, %
		МИ 3305	радиометрическим или хроматографическим методом [8]	
1	T ₂	92,00	92,60	<1
	D ₂	1,84		
	H ₂	6,13		
2	T ₂	51,31	50,47	<1
	D ₂	46,96		
	H ₂	0,65		
	³ He	0,97		
3	T ₂	39,32	39,45	<1
	D ₂	48,93		
	H ₂	6,10		
	³ He	5,66		
4	T ₂	9,7	9,8	1
	D ₂	82,61		
	H ₂	6,93		
	³ He	0,75		
5	T ₂	4,05	4,10	1
	D ₂	83,29		
	H ₂	6,10		
	³ He	5,87		
6	T ₂	0,93	0,98	5
	D ₂	49,16		
	H ₂	2,66		
	³ He	1,24		
	⁴ He	46,04		

Как видно из таблицы, относительные расхождения между измерениями на масс-спектрометре МИ 3305 и другими независимыми методами не превышают 1%, за исключением смеси с содержанием изотопов менее 1% по объему, когда расхождение достигало 5%.

Таким образом, результаты измерения на масс-спектрометре МИ 3305 изотопного состава водорода и гелия в диапазоне содержания трития в смесях от 1 до 90% по объему убедительно показали возможность их анализа с погрешностью, не превышающей требований технологического регламента тритиевых систем термоядерных установок. Специализированный масс-спектрометр МИ 3305 показал полную пригодность для работы в тритиевых технологических системах термоядерных установок.

Авторы выражают глубокую благодарность Американскому физическому обществу, выделившему грант на поддержку этой работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сообщение Евратома. — Атомная техника за рубежом, 1992, № 10, с. 29.
2. Азизов Э.А., Капышев В.К., Ривкис Л.А. и др. Система обеспечения тритием экспериментов с дейтерий-третийевой плазмой на установке ТСП. Докл. на 4-й Всес. конф. по инженерным проблемам термоядерных реакторов, 19—21 января 1988 г., Ленинград.

3. Алексеенко С.А., Аруев Н.Н., Мамырин Б.А. и др. Масс-спектрометрический анализ изотопов водорода и гелия. — Атомная энергия, 1981, т. 51, вып. 1, с. 27—31.
4. Капышев В.К., Милешкин Ю.А., Рязанцева Н.Н. и др. Методика определения изотопного состава водорода и гелия в тритиевой технологической системе установки ТСП. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез, 1991, вып. 4, с. 38—42.
5. Gentsch H. Inertes Zyklotronresonanz — Massenspektrometer (Omegatron). — Vak. Techn., 1987, Н. 6/7, S. 224—225.
6. Ненарокова В.Т., Масленников А.И., Рязанцева Н.Н. и др. Специализированный масс-спектрометр для анализа легких газов. — Вопросы атомной науки и техники. Сер. Радиационная техника, 1986, вып. 1(22), с. 39—41.
7. Масленников А.И., Ненарокова В.Т., Рязанцева Н.Н. Методическое и программное обеспечение масс-спектрометра МИ 3305. — Там же, 1986, вып. 1(22), с. 95—97.
8. Беловодский А.Ф., Гаевой В.К., Гришмановский В.И. Тритий. М.: Энергоатомиздат, 1985, с. 104—109.

Поступила в Редакцию 10.09.93

УДК 539.165.4(035.5)

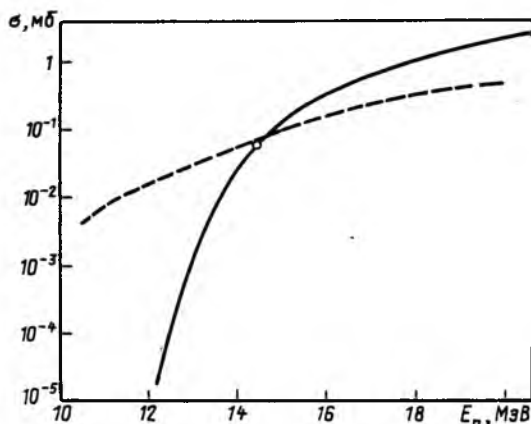
БИБЛИОТЕКА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА АКТИВАЦИИ И ТРАНСМУТАЦИИ

*Грудзевич О.Т., Зеленецкий А.В. (Институт атомной энергетики, Обнинск),
Игнатюк А.В., Пащенко А.Б. (ФЭИ)*

Развитие библиотек активационных данных вызвано потребностями расчетов активации конструкционных материалов и трансмутации радиоактивных отходов в ядерно-физических установках с высоким потоком нейтронов. Для удовлетворения этих потребностей современные библиотеки должны содержать данные о более 10 тыс. функций возбуждения реакций, вызванных нейтронами энергией до 20 МэВ. Такой большой объем данных, значительно превосходящих файлы общего пользования (ENDF/V, БРОНД, JENDL), обусловлен необходимостью знания сечений как на стабильных, так и нестабильных (даже короткоживущих) ядрах-мишенях.

Необходимость усовершенствования библиотек. Анализ современных версий активационных библиотек (REAC, EAF) показывает, что большинство сечений получено расчетным путем по упрощенным методикам с последующей нормировкой на систематики или экспериментальные данные при $E_n = 14,5$ МэВ. Такой подход может быть приемлемым только на первой стадии формирования библиотеки, дальнейшее ее совершенствование связано с применением строгих теоретических моделей для наиболее важных реакций [1], а затем для их все более широкого круга [2]. Кроме того, есть принципиальные доводы о необходимости использования строгих моделей, выявленные в результате специальных исследований [3, 4]. Это относится в первую очередь к реакциям на изомерных мишенях и реакциям, приводящим к образованию ядер-продуктов в изомерных состояниях.

На рис. 1 показано сравнение функции возбуждения реакции ${}^{64}\text{Zn}(n, t)$ из библиотеки EAF-3 [5] (программа THRESH) с результатами расчетов по статистической модели ядерных реакций в формализме Хаузера—Фешбаха—Молда-



Р и с. 1. Функция возбуждения реакции ${}^{64}\text{Zn}(n, t)$: —, - - - данные библиотеки ADL-3 и EAF-3 соответственно