

РЕФЕРАТЫ

МАССЫ ЛЕГКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ОПРЕДЕЛЕННЫЕ ИЗ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

В настоящее время расчет ядерных реакций производится с достаточной степенью точности, что позволяет применить их для вычисления масс элементов, участвующих в реакциях. При таких расчетах предполагается справедливость законов сохранения массы-энергии и импульса, против применимости которых не имеется никаких определенных доказательств.

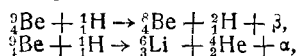
Исследуя разрушение лития протонами и дейтонами, Олифант, Кемптон и Резерфорд¹ установили, что в этом случае, если пользоваться масс-спектрографическими данными для масс легких элементов, получается согласие с законами сохранения, т. е. массы участвующих в реакциях частиц, вычисляемые из этих реакций, совпадают с таковыми, полученными масс-спектрографически. Однако в случае ядерных реакций на бериллии выяснилось, что вычисляемые из этих реакций массы легких элементов существенно отличаются от масс тех же элементов, известных из масс-спектрографических измерений. Это обстоятельство заставило как-то пересмотреть вопрос о массах легких элементов. В своей последней работе Олифант, Кемптон и Резерфорд² детально исследовали ядерные реакции, происходящие при облучении бериллия протонами и дейтонами, а также бора протонами.

По масс-спектрографическим данным бериллий состоит из единственного изотопа, масса которого по измерениям Бейнбриджа равна 9,0155. Исследуя с помощью ионизационной камеры, соединенной с линейным усилителем, испускаемое при облучении бериллия протонами излучение, Резерфорд и другие³ показали, что это излучение состоит из частиц двух сортов. Они частицы несут двойной заряд, другие — одиночный, при этом и те и другие присутствуют приблизительно в одинаковом количестве и имеют один и тот же пробег около 7,4 мм воздуха при нормальных условиях. При этом было установлено, что при рассматриваемых ядерных реакциях не испускается γ -излучения.

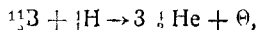
Для исследования природы частиц было произведено их отклонение в электрическом и магнитном поле. Эти опыты показали, однако, что оба сорта частиц полями отклоняются одинаково и поэтому не могут быть разделены (по отклонению частиц можно было установить, что они несут положительный заряд). Характер кривой, изображающей зависимость отклонения частиц от величины поля, приблизительно тот же самый, что и в случае α -частиц полония. На основании этого можно думать, что частицы с двойным положительным зарядом являются α -частицами. Сравнивая отклонение исследуемых частиц с отклонением α -частиц полония в том же электрическом поле, авторы вычислили энергию однозарядных и двухзарядных частиц по известной энергии полониевого излучения. Для частиц с одним зарядом получилась энергия, равная $0,55 \cdot 10^6$ eV, для частицы с двумя зарядами — $1,1 \cdot 10^6$ eV. Применением одного магнитного поля было установлено, что наблюдаемое отклонение соответствует следующей скорости:

- а) для протона — $1,40 \cdot 10^8$ см/сек
- б) для дейтона — $0,70 \cdot 10^8$ см/сек
- с) для α -частицы — $0,70 \cdot 10^8$ см/сек

Сопоставлением измерений, полученных с электрическим и магнитным полем, авторы нашли для скорости среднее значение $0,73 \cdot 10^9$ см/сек. Поэтому можно считать установленным, что частица с одиночным зарядом представляет собой ${}^2\text{H}$, а частица с двойным — по всей вероятности ${}^4\text{He}$. Это подтверждается еще и тем обстоятельством, что скорость, рассчитанная по величине пробега (7,4 мм), равна для ${}^2\text{H}$ $0,77 \cdot 10^9$ см/сек и для ${}^4\text{He}$ $0,80 \cdot 10^9$ см/сек, что довольно хорошо согласуется с приведенными выше значениями. Совокупность всех этих данных приводит авторов к установлению следующих реакций:



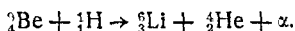
где α и β — энергия, освобождаемая в этих реакциях. Отметим здесь, что ${}^8_4\text{Be}$ до сих пор в природе не встречался. Если во второе уравнение подставить масс-спектрографические данные, то для пробега α -частиц получается значение, равное 2,4 см, что находится в резком противоречии с опытом, дающим для пробега величину 7,4 мм. Несогласие с масс-спектрографическими данными получается также в случае реакции, происходящей с бором при облучении его протонами. Исследуя поглощение продуктов разрушения, Олифант и Резерфорд показали в одной из своих более ранних работ, что реакция в этом случае происходит по следующей формуле:



При этом энергия Θ , освобождаемая в реакции и измеренная по энергии α -частиц (γ -излучение в заметном количестве не присутствует), составляет около $9 \cdot 10^6$ эВ [последние данные тех же авторов ($8,5 \pm 0,6$). 10^6 эВ], в то время как по известным масс-спектрографическим данным для В, Н и He для Θ получается значение $11,4 \cdot 10^6$ эВ. Такое большое расхождение лежит далеко за пределами возможных ошибок.

Существует еще целый ряд фактов³, как, например, неустойчивость ядра ${}^9\text{Be}$, указывающих на то, что в значениях масс, определенных масс-спектрографически, имеется какая-то ошибка. Для выяснения вопроса о возможной ошибке нужно обратить внимание на то обстоятельство, что в случае разрушения лития протонами освобождаемая в реакции энергия, рассчитанная по масс-спектрографическим данным, хорошо согласуется с экспериментальными данными, полученными при изучении этих реакций. При этом необходимо отметить, что массы ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$, ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$, участвующих в этих реакциях, все определены прямо или косвенно по отношению к ${}^4\text{He}$, в то время как массы ${}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}$ и ${}^{11}\text{B}$, участвующих в реакциях, в которых наблюдается противоречие с масс-спектрографическими данными, определены непосредственно или через ${}^{12}\text{C}$ относительно ${}^{16}\text{O}$. Это сопоставление приводит к заключению, что искомая ошибка должна иметься в отношении ${}^4\text{He}$: ${}^{16}\text{O}$. Определенная из этого не совсем точного отношения единица массы давала бы для других элементов суммарную ошибку, которой, возможно, и объясняются расхождения между масс-спектрографическими данными и данными, полученными из ядерных реакций. Олифант, Кемптон и Резерфорд² допускают существование этой ошибки, не делая никаких предположений о том, от каких причин она возникает. Они полагают эту ошибку для ${}^4\text{He}$, определенного по отношению к ${}^{16}\text{O}$, разной 4 х. Тогда для всех элементов сообразно с методом определения их масс можно установить величину ошибки в единицах х. В следующей таблице приведены результаты для всех элементов включительно до ${}^{12}\text{C}$.

Для определения численного значения х Резерфорд и другие воспользовались хорошо известной ядерной реакцией



Энергия α , освобождаемая в этой реакции, известна из экспериментальных данных, поэтому из этого уравнения можно вычислить х, если ввести в него массы с поправками, заимствованными из третьего столбца табл. 1.

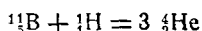
ТАБЛИЦА 1

Элемент	Масса, определенная масс-спектрографически	Оцененная ошибка	Исправленная масса по данным		
			Резерфорда и других	Бете	Асто-на
^1_0H	1,0080	$+x$	$1,0083 \pm 0,0003$	$1,0085 \pm 0,0005$	
^1_1H	1,0078	$+x$	$1,0081 \pm 0,0001$	$1,00807 \pm 0,00007$	1,0081
^2_1H	2,0136	$+2x$	$2,0142 \pm 0,0002$	$2,01423 \pm 0,00015$	2,0148
^3_1H	—	—	$3,0161 \pm 0,0003$	$3,01610 \pm 0,00033$	
^3_2He	—	—	$3,0172 \pm 0,0003$	$3,01699 \pm 0,00046$	
^4_2He	4,0022	$+4x$	$4,0034 \pm 0,0004$	$4,00336 \pm 0,00023$	4,0041
^6_3Li	6,0145	$+6x$	$6,0163 \pm 0,0006$	$6,01614 \pm 0,00050$	
^7_3Li	7,0146	$+7x$	$7,0170 \pm 0,0007$	$7,01694 \pm 0,00048$	
^9_4Be	9,0155	$-5x$	$9,0138 \pm 0,0005$	$9,0135 \pm 0,0007$	
$^{10}_5\text{B}$	10,0135	$+2,5x$	$10,0143 \pm 0,0003$	$10,0146 \pm 0,0010$	
$^{11}_5\text{B}$	11,0110	?	11,0110 —	$11,0111 \pm 0,0011$	
$^{12}_6\text{C}$	12,0036	$-3x$	$12,0027 \pm 0,0003$	$12,0037 \pm 0,0006$	12,0048

ТАБЛИЦА 2

Реакция	Энергия по экспериментальным данным	Энергия, рассчитанная по масс-спектрографическим данным	Энергия, рассчитанная по исправленным массам
$^6\text{Li} + ^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + ^3\text{He}$	0,0038 ₅	0,0038	0,0039
$^6\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow 2 ^4\text{He}$	0,0236 ₀	0,0238	0,0236
$^6\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow ^7\text{Li} + ^1\text{H}$	0,053 ₅	0,0057	0,0055
$^7\text{Li} + ^1\text{H} \rightarrow 2 ^4\text{He}$	0,0182 ₅	0,0184	0,0183
$^7\text{Li} + ^2\text{H} \rightarrow 2 ^4\text{He} + ^1\text{n}$	0,0156	0,0150	0,0161
$^9\text{Be} + ^1\text{H} \rightarrow ^8\text{Be} + ^2\text{H}$	0,00051	$^8\text{Be} = 8,0092$	$^8\text{Be} = 8,0071$
$^9\text{Be} + ^1\text{H} \rightarrow ^6\text{Li} + ^4\text{He}$	0,0022	0,0066	0,0022
$^9\text{Be} + ^2\text{H} \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$	0,0077 ₄	0,0123	0,0077
$^9\text{Be} + ^2\text{H} \rightarrow ^8\text{Be} + ^3\text{H}$	0,0048	0,0047	0,0047
$^9\text{Be} + ^2\text{H} \rightarrow ^{10}\text{Be} + ^1\text{H}$	0,0051	$^{10}\text{Be} = 10,0162$	$^{10}\text{Be} = 10,0149$
$^9\text{Be} + ^2\text{H} \rightarrow ^{10}\text{B} + ^1\text{n}$	0,0053	0,0076	0,0054
$^9\text{Be} + \hbar\omega \rightarrow ^8\text{Be} + ^1\text{n}$	-0,0016	-0,0017	9,0017
$^{11}\text{B} + ^1\text{H} \rightarrow 3 ^4\text{He}$	0,0090	0,0123	0,0088
$^{11}\text{B} + ^1\text{H} \rightarrow ^8\text{Be} + ^4\text{He}$	0,0091	0,0074	0,0086
$^{10}\text{B} + ^1\text{n} \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$	0,0021	0,0047	0,0022
$^{12}\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + ^1\text{n}$	0,0028 ₅	$^3\text{He} = 3,0163$	$^3\text{He} = 3,0172$
$^2\text{H} + ^2\text{H} \rightarrow ^3\text{H} + ^1\text{H}$	0,0042 ₅	$^3\text{H} = 3,0152$	$^3\text{H} = 3,0161$

Для x получается следующее значение: $x = 0,000314$ единицы массы, составляющее приблизительно $1/4000$ астоновской единицы массы. В четвертом столбце табл. 1 приведены исправленные массы элементов, полученные с этим значением x . Бете³ для установления исправленных масс воспользовался другим путем. Приняв массу ^4He равной 4,00216, он вычислил из реакции



массу ^{11}B и затем, пройдя через ряд промежуточных ядерных реакций (7 реакций), мог определить массу ^{16}O по отношению к вышеуказанному значению массы ^4He . Для ^{16}O получилось значение, равное 15,9952. Най-

денное отсюда отношение ${}^4\text{He}:{}^{16}\text{O}$ отличается от раньше принимавшегося значения на $3/10000$. В пятом столбце табл. 1 приведены массы элементов, полученные при учете этой поправки. Как показывает таблица, данные Бете довольно хорошо совпадают с данными Резерфорда и других.

Подтверждением правильности введенных поправок служит то обстоятельство, что энергии ядерных реакций, рассчитанные по новым, исправленным массам, находятся в лучшем согласии с экспериментальными данными, чем энергии, рассчитанные по масс-спектрографическим данным. Это можно видеть из табл. 2.

Недавно Астон⁴ произвел измерения масс некоторых элементов с помощью нового метода. Предварительные данные этих измерений приведены в шестом столбце табл. 1. Их точность не больше 1 на 10 000. Как нетрудно видеть из таблицы, между новыми и старыми данными Астона имеется большая разница и именно в ту сторону, как это следует из данных Олифанта, Кемптона и Резерфорда.

В заключение отметим, что введение поправок к массам элементов разрешает вопрос о неустойчивости ядра бериллия. По масс-спектрографическим данным бериллий является неустойчивым, так как его масса ($9,0155$) оказывается больше массы двух α -частиц и нейтрона ($8,0043 + 1,0080 = 9,0123$). Однако экспериментальными исследованиями неустойчивость бериллия не подтверждается. По исправленным данным бериллий является устойчивым элементом — его масса ($9,0135$) меньше массы двух α -частиц и нейтрона ($8,0068 + 1,0083 = 9,0151$).

Л. Грошев

ЛИТЕРАТУРА

1. Oliphant, Kempton, Rutherford, Proc. Roy. Soc., 149, 406, 1935.
 2. Oliphant, Kempton, Rutherford, Proc. Roy. Soc., 150, 241, 1935.
 3. Bethe, Phys. Rev. 47, 633 1935.
 4. Aston, Nature, 135, 541, 1935.
-