

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ИОННОГО ЦИКЛОТРОННОГО РЕЗОНАНСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗНОСТИ МАСС ТРИТИЯ И ГЕЛИЯ-3

*Е.Н.Николаев, Ю.И.Неронов, М.В.Горшков,
В.Л.Тальрозе*

Измерен масс-спектр дублета ${}^3\text{He}^+ / {}^3\text{T}^+$, для разности их масс получено значение $\Delta M = 18573 \pm 4$ эВ.

В связи с проблемой определения массы покоя нейтрино повышенный интерес проявляется в последнее время к значению разности масс трития и гелия-3¹. Нами предпринята попытка измерения этой разности методом ионного циклотронного резонанса с преобразованием Фурье.

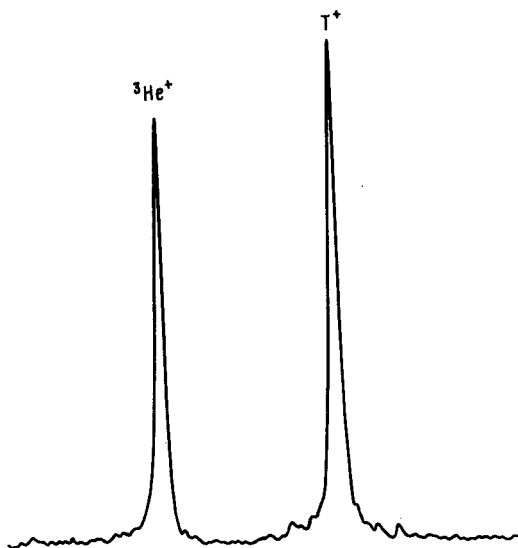
В этом методе² ионы радиочастотным импульсом раскручиваются в магнитном поле и регистрируется вызываемый циклотронным движением этих ионов сигнал, наводимый на электродах конденсатора, охватывающего область локализации ионов.

В качестве приборной основы использовался спектрометр ИЦР CMS-47 фирмы Spectrospin, который позволяет регистрировать массы от 12 до 3000 а.е.м. с погрешностью 10^{-6} . Можно было ожидать, что использование соответствующего накопления информации позволит измерять массы с еще большей точностью, опираясь на подходящие дублеты. Для упомянутой выше задачи „тритий – гелий-3” наиболее прямым подходом была бы регистрация атомно-ионного дублета ${}^3\text{He}^+ - \text{T}^+$. Между тем прибор CMS-47 не приспособлен для измерения масс, меньших 12 а.е.м. Для их регистрации нами были собраны радиоэлектронные модули, синтезирующие частоты, близкие к частотам циклотронного движения этих ионов в поле 4,686 Тл, и резонансно регистрирующие сигналы от ионов на этих частотах в интервалах между импульсами возбуждения. Чувствительность широкополосного предусилителя спектрометра CMS-47 не позволила регистрировать сигналы от ионов T^+ , поэтому он был модифицирован для резонансной регистрации, что увеличило отношение сигнал/шум на этой массе в ~ 30 раз.

Для получения масс-спектра в систему вводилась смесь ${}^3\text{He}/\text{T}_2$ в соотношении 1:100. Полное давление в высоковакуумной части установки контролировалось с помощью ионизационного манометра, прокалиброванного по N_2 . Общее давление в системе во время измерений составляло от $5,5 \cdot 10^{-9}$ до $8,0 \cdot 10^{-9}$ торр. Давление остаточных газов (в основном – компоненты воздуха) – от $2 \cdot 10^{-9}$ до $3 \cdot 10^{-9}$ торр. Напуск трития осуществлялся через палладиевый натекаль. Смесь ионизировалась электронами с энергией от 50 до 95 эВ. Время ионизации в каждом импульсе цикла составляло от 0,25 до 0,5 с. Амплитуда возбуждения – $\cong 30$ В при длительностях импульса возбуждения от 35 до 70 мкс. Длительность регистрации сигнала свободного циклотронного движения ионов составляла 0,3 с. Каждый спектр получался в результате накопления 200 спектров, соответствующих одному циклу ионизации – возбуждения – регистрации.

На рисунке приведен один из спектров, полученный с помощью преобразования Фурье от сигнала, наводимого свободно вращающимися в магнитном поле ансамблями ионов ${}^3\text{He}^+$ и T^+ . Несколько нам известно, единственная непосредственная регистрация этого дублета осуществлена Мамыриным и сотрудниками³ на приборе типа Мамырина – Смита с разрешающей силой $7 \cdot 10^{-6}$, но очень низкое отношение сигнала к шуму в спектрах (по их мнению, из-за β -распада трития) не позволило бы использовать спектры для определения разности масс. Разрешающая способность, полученная нами на этом дублете при вышеуказан-

ных условиях эксперимента, составляла от $3,5 \cdot 10^{-7}$ до $1,5 \cdot 10^{-7}$ и определялась затуханием сигнала, обусловленным столкновениями с атомами и молекулами напускаемой смеси. Однако, примененное накопление, как и ожидалось, позволило получить точность определения масс, значительно превышавшую величину разрешающей силы.



Спектр Фурье сигнала ионного циклотронного резонанса ионов ${}^3\text{He}^+$ и ${}^3\text{T}^+$. Разрешение 2000000

№ серии	Значение разности масс ионов ${}^3\text{T}^+$ и ${}^3\text{He}^+$, эВ	Число спектров в серии
1	18571 (7)	20
2	18574 (9)	20
3	18572 (8)	30
4	18557 (17)	30
5	18589 (13)	25
6	18577 (15)	17

В таблице приведены результаты обработки 6 серий, включающих в общей сложности 142 спектра, измеренных при различных значениях параметров, указанных выше. В скобках приведены стандартные ошибки σ_i для каждой серии. Результат обработки этих 6 серий по формуле:

$$\Delta M_{\text{ср}} \pm \sigma_{\text{ср}} = \left(\sum_{i=1}^6 \frac{1}{\sigma_i^2} \Delta M_i \right) / \left(\sum_{i=1}^6 \frac{1}{\sigma_i^2} \right) \pm \left(\sum_{i=1}^6 \frac{1}{\sigma_i^2} \right)^{-1/2}$$

дает значение разности масс 18 573 эВ при средней стандартной ошибке $\sigma_{\text{ср}} = 4$ эВ. При измерении разности масс, нами учтены известные для метода ионного циклотронного резонанса возможные систематические погрешности. Средние значения разности масс, получаемые в каждой серии не коррелируют со значениями параметров эксперимента, влияющих на динамику движения ионов в ячейке при их изменении в вышеуказанных пределах.

Имеющиеся в литературе достаточно поздние и полученные разными методами данные по этой разности масс разбросаны в пределах примерно 100 эВ ⁴⁻⁷. Наше значение близко к результатам Смита ⁵. Достигнутая нами точность показывает, что метод ионного циклотронного резонанса может быть использован для уточнения шкалы масс ядер в целом.

Авторы выражают благодарность Ю.В.Тарбееву за содействие в выполнении работы и Н.Ф.Мясоедову за предоставление образцов с малым содержанием трития .

Литература

1. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. УФН, 1981, 135, 45.
2. Lecture Notes in Chemistry, v. 31, Springer Verlag, 1982.
3. Мамырин Б.А., Алексеенко С.А., Аруев Н.Н. ЖЭТФ, 1981, 80, 2125.
4. Smith L.G., Wapstra A.H. Phys. Rev., 1975, C11, 1392.
5. Smith L.G., Koets E., Wapstra A.H. Phys. Lett., 1981, B102, 114.
6. Wapstra A.H., Bos K. ANDT, 1977, 19, 177.
7. Бодулинский В.К. и др. Вопросы атомной науки и техники,*сер. Ядерные константы, 1982, вып. 2, 31.

Институт химической физики
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
9 февраля 1984 г.