Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 4

ФИЗИКА

А. В. ДУБРОВИН и Г. В. БАЛАБИНА

ПРИМЕНЕНИЕ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ С НЕОДНОРОДНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС АТОМОВ

(Представлено академиком А. П. Александровым 18 II 1955)

Для определения масс атомов обычно используются масс-спектрографы и масс-спектрометры с двойной фокусировкой. Применение двойной фокусировки вызвано двумя обстоятельствами. Во-первых, недостаточная монохроматичность большинства существующих типов ионных источников препятствует реализации высокой разрешающей силы, необходимой для разрешения дублетов. Во-вторых, наличие начальных кинетических энергий у ионов, которые образовались в результате диссоциации молекул, приводит к систематическим ошибкам при определении масс.

Первая причина не является принципиальной. В результате удачного выбора конструкции и режима ионного источника можно получить ионы, достаточно однородные по энергиям, и в этом случае обойтись без двойной фокусировки. Однако при этом для измерения масс могут быть использованы лишь ионы, не имеющие начальных кинетических энергий (или ионы, начальные кинетические энергии которых очень малы).

В работах ([1],[2]) было показано, что применение неоднородного аксиально симметричного магнитного поля в масс-спектрометрах дает возможность получить высокую разрешающую силу, достаточную для разрешения дублетов, и правильно идентифицировать сорта ионов.

Нами исследовалась возможность применения масс-спектрометра с неоднородным магнитным полем, разработанного и построенного в Институте физических проблем АН СССР, для измерения масс атомов,

Используемый нами прибор, как уже кратко сообщалось в работе ([1]), имел следующие данные: угол отклонения ионного пучка 180°; магнитное поле неоднородное, усеченное, с показателем неоднородности $n = 0{,}82$; радиус прибора 152,5 мм; фокусное расстояние 450 мм; выходная щель ионного источника и входная щель приемника по 0,05—0,06 мм; увеличение дисперсии и разрешающей силы за счет применения неоднородного поля 5,5.

Мы применяли ионный источник с электронным пучком, направленным перпендикулярно к системе ионных щелей (см. рис. 1)*. Такой источник дает достаточно монохроматичный пучок ионов ([1]).

Было выяснено, что режим работы влияет на разрешающую силу масс-спектрометра. Поэтому напряжения на электродах источника тщательно подбирались с целью получения максимальной разрешающей силы. В результате был выбран следующий режим.

Напряжения между электродами: $А - Н$ (электрод, фокусирующий электронный пучок — нить) — 9 в; $Б - Н$ (энергия электронов) +140 в;

*Конструкция источника разработана в Институте физических проблем АН СССР.

$Г - Н$ (напряжение электронной ловушки) +210 в; $В - Б$ (вытягивающее напряжение) —3,8 в; $Б - Д$ (фокусирующее ионное напряжение) +140 в; $Б - Е$ (ускоряющее ионное напряжение) +1960 в.

Токи на электроды: полная электронная эмиссия 8,5 ма; ток на электронную ловушку ($Г$) 0,26 ма; ток на электрод $В$ 0,26 ма.

В указанном режиме была достигнута разрешающая сила по ширине линий на половине высоты 11000 (см. рис. 2).

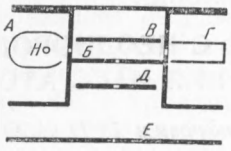


Рис. 1. Схематический чертеж ионного источника

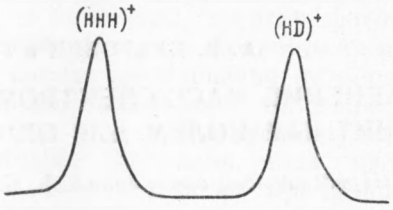


Рис. 2. Дублет массы 3 HHH^+—HD^+. $\Delta m = 1{,}55 \cdot 10^{-3}$ масс. единиц

Для измерения масс прибор был оборудован системой прецизионной развертки и автоматической записи масс-спектральных линий. Для развертки по ускоряющему ионному напряжению использовался спиральный реохорд, тщательно откалиброванный при помощи потенциометра. Реохорд приводился в движение электромотором, стабильность числа оборотов которого специально проверялась.

Ионные токи регистрировались при помощи электронного самописца, включенного на выход электрометрической схемы. Из предварительных экспериментов выяснилась необходимость учета изменения силы тока электромагнита за время записи мультиплета. Поэтому был введен непрерывный контроль силы тока электромагнита при помощи потенциометра.

Измерялся триплет массы 3 HHH^+— HD^+— He^{3+}.

Одна из записей триплета приведена на рис. 3. Из обработки триплета, зная массы двух ионов, можно определить массу третьего иона.

При расчетах мы исходим из того, что при малых монотонных изменениях силы тока магнита (меньше чем 10^{-4}) напряженность магнитного поля пропорциональна силе тока. Отсюда получаем следующее соотношение

$$\frac{m}{e} = k\frac{I^2}{V},$$

где m/e — отношение массы иона к его заряду; k — коэффициент пропорциональности; I — сила тока, питающего электромагнит; V — энергия ионов.

Составляя подобные соотношения для всех трех компонент триплета, получаем формулу:

$$\frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} = \frac{1 + \frac{\Delta V_2}{V_1}\frac{\Delta V_3}{V_1} - \frac{2\Delta I_3}{I_1}}{1 + \frac{\Delta V_3}{V_1}\frac{\Delta V_2}{V_1} - \frac{2\Delta I_2}{I_1}},$$

где m_1 — масса иона HHH^+; m_2 — масса иона HD^+; m_3 — масса иона He^{3+}; ΔV_2 — разность ускоряющих напряжений ионов HD^+ и HHH^+; ΔV_3 — разность ускоряющих напряжений ионов He^{3+} и HHH^+; ΔI_2, ΔI_3 — изменение силы тока магнита за время между записью линии иона HHH^+ и, соответственно, ионов HD^+ и He^{3+}; I_1 — сила тока магнита в момент записи линии иона HHH^+; V_1 — энергия ионов HHH^+.

V_1 можно определить из известного дублета $HHH^+ - HD^+$ по формуле

$$V_1 = \frac{\Delta V_2}{\frac{m_1 - m_2}{m_2} + \frac{m_1}{m_2}\frac{2\Delta I_2}{I_1}}.$$

Записи производились со стороны легких масс к тяжелым и обратно. Разности ускоряющих напряжений ионов (ΔV_2, ΔV_3) определялись из расстояний между линиями триплета (см. рис. 3). Расстоя-

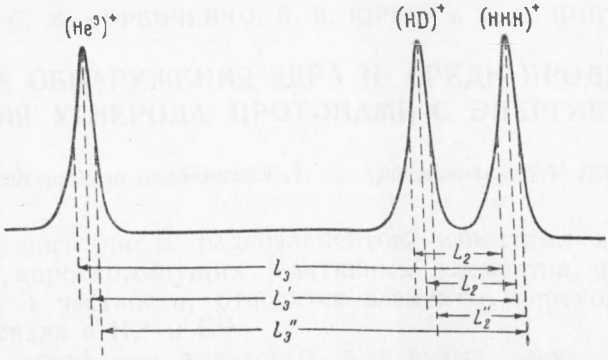


Рис. 3. Триплет массы 3 $HHH^+ - HD^+ - He^{3+}$

ние между линиями измерялось как по положению максимумов линий (L_2', L_3'), так и по расстоянию между подобными точками, отсчитываемыми на половине высоты линий (L_2, L_3 и L_2'', L_3''). Для этих же точек отсчитывалось соответствующее значение силы тока электромагнита.

Из каждого триплета получалось три ряда значений для ΔV_2, ΔV_3, ΔI_2, ΔI_3, I_1, V_1. Всего было проведено три независимых серии измерений. В результате обработки 39 триплетов была получена следующая средняя величина:

$$\frac{m_1 - m_3}{m_1 - m_2} = 4{,}8047 \pm 0{,}0045.$$

Используя эту величину и известные табличные данные для m_1 и m_3 [3], можно определить массу He^3

$$M_{He^3} = 3{,}016986 \pm 10 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, полученные результаты показывают, что масс-спектрометр с неоднородным полем пригоден для точных измерений масс атомов.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность за ценные указания и помощь проф. Н. Е. Алексеевскому, а также В. И. Чекину и В. Н. Шеляпину за помощь в эксперименте.

Институт физических проблем им. С. И. Вавилова
Академии наук СССР

Поступило
2 II 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Н. Е. Алексеевский, Г. И. Косоуров, Г. П. Прудковский, С. И. Филимонов, ДАН, 100, № 2, 229 (1955). [2] Н. Е. Алексеевский, В. Л. Тальрозе, В. Н. Шеляпин, ДАН, 93, № 6, 997 (1953). [3] Б. С. Джелепов, Л. Н. Зырянова, Усп. физ. наук, 48 в. 4, 465 (1952).