Доклады Академии наук СССР
1955. Том 103, № 3

ФИЗИКА

Х. Л. ЛЕВИАНТ, М. И. КОРСУНСКИЙ, Л. И. ПИВОВАР и И. М. ПОДГОРНЫЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОПЕРЕЧНИКОВ ПОТЕРИ ЭЛЕКТРОНОВ ИОНАМИ Li И Na В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИИ 80—250 КЭВ

(Представлено академиком Л. А. Арцимовичем 25 V 1955)

В 1949—1950 гг. были произведены измерения поперечников потери электронов при прохождении однозарядных ионов Li^+ и Na^+ через воздушную мишень. Исследования производились в интервале энергий от 80 до 250 кэв. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Источником ионов Li^+ служила паста типа $Li_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, а ионов Na^+ — $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, подогреваемая до соответствующей температуры. Пучок ионов, эммитируемый пастой, ускорялся в двухсекционной ускоряющей трубке, к которой был подключен регулируемый источник постоянного высокого напряжения до 250 кв. На выходе ускоряющей трубки получался хорошо сфокусированный пучок ионов интенсивностью от 10 до 80 μа.

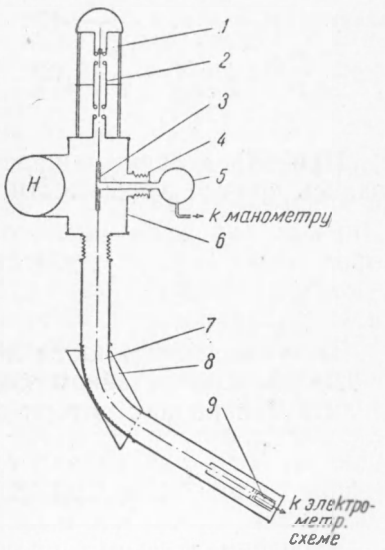


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. *1* — источник ионов, *2* — ускоряющая трубка, *3* — «газовая камера», *4* — система управления «газовой камерой», *5* — баллон с газом, *6* — вакуумная камера, *7* — камера анализатора, *8* — магнит анализатора, *9* — ловушка ионов

Воздушная газовая мишень создавалась в «газовой камере», выполненной в виде трубки длиной 20 см и диаметром 6 мм, из середины которой в обе стороны происходило истечение газа. Выбор «газовой камеры» круглого сечения позволил иметь одинаковую плотность мишени по сечению пучка и возможность точного определения эффективной плотности газа как в самой трубке, так и за ее пределами по давлению газа в центре трубки (1). Благодаря большому диффузионному сопротивлению в ней можно было получать значительные давления, при которых на пути пучка оказывалось до $2 \cdot 10^{16}$ молекул/см². Все измерения производились в диапазоне давлений, соответствующих изменению числа молекул на пути ионов от $3 \cdot 10^{13}$ до $2 \cdot 10^{16}$ молекул/см². «Газовая камера» юстировалась по ионному пучку.

Анализ состава пучка ионов, устанавливающегося после прохождения сквозь газовую мишень, производился магнитным масс-анализатором с углом поворота на 60° и средним эффективным радиусом $\rho = 30{,}6$ см. Разрешающая способность анализатора при щелях шири-

ной 6 мм составляла 1,5% от массы. Анализатор обладает фокусирующими свойствами; в фокусе его помещалось входное отверстие ловушки ионов. Чтобы исключить попадание в ловушку ионов, рассеянных от стенки камеры анализатора, вдоль стенки камеры устанавливалась алюминиевая зубчатая рейка и вход ионов в ловушку калимировался. Магнитный анализатор мог перемещаться и устанавливаться так, что пучок ионов проходил в плоскости симметрии, а края пучка не задевали стенок анализатора.

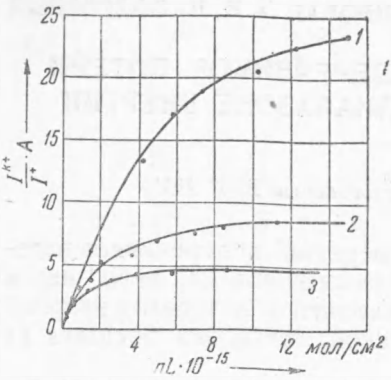


Рис. 2. Кривые зависимости $I^{k+}/I^{+} = f(nL)$ для ионов Na при энергии 175 кэв. $1 - \frac{I^{2+}}{I^{+}} \cdot 10^{2}$; $2 - \frac{I^{3+}}{I^{+}} \cdot 2 \cdot 10^{3}$; $3 - \frac{I^{4+}}{I^{+}} \cdot 2 \cdot 10^{4}$

Откачка газа из системы производилась паромасляным насосом производительностью 1000 м³/сек. Предельный вакуум в камере был $(2 \div 3) \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст.

Компоненты пучка измерялись по току на ловушку при помощи электрометрической схемы со струнным электрометром и набором калиброванных сопротивлений, позволяющей измерять токи в интервале $10^{-5} \div 10^{-12}$ а. Конструкцией ловушки с применением задерживающих потенциалов исключалось влияние вторичной электронной эмиссии.

В результате анализа состава пучка, прошедшего через «газовую камеру» было установлено образование 2- и 3-зарядных ионов Li (при работе с пучками Li^{+}) и 2-, 3-, 4- и 5-зарядных ионов Na (при работе с пучками Na^{+}), соответствующих процессам потери одного или одновременно нескольких электронов.

При определении поперечников потери и захвата электронов снимались кривые зависимости типа

$$\frac{I^{k+}}{I^{+}} = F_k(nL) \text{ при } v = \text{const}. \qquad (1)$$

Типичные зависимости для разных k и $v = 175$ кэв даны на рис. 2.

Дифференцированием таких кривых в точке $nL \to 0$ можно определить поперечник потери соответствующего числа электронов:

$$\sigma_{1k} = \left| \frac{d\,(N^{k+}/N^{+}}{d\,(nL)} \right|_{nL \to 0} = \frac{1}{k} \left| \frac{d\,(I^{k+}/I^{+})}{d\,(nL)} \right|_{nL \to 0}. \qquad (2)$$

Экспериментальные кривые вначале имеют линейный ход, соответствующий однократным взаимодействиям, что облегчало дифференцирование.

Приведенные на графике кривые показывают, что при большом давлении в газовой камере устанавливается равновесное состояние, соответствующее постоянству отношений компонент ($I^{k+}/I^{+} = \text{const}$).

Значения поперечников потери электронов σ_{1k} сведены в табл. 1. Как видно из таблицы, поперечники потери электронов растут с ростом энергии во всем исследуемом интервале. Поперечник потери одного или нескольких электронов больше для ионов с более сложной оболочкой Na, чем для Li. Указанные закономерности согласуются с другими экспериментальными работами (²).

Приведенные поперечники потери 2 электронов для Li и 5 электронов для Na оценены грубо в связи с малыми интенсивностями

Таблица 1

Процесс		v в кэв					
		85	135	175	215	235	250
		Поперечник 10^{-18} см^2					
$Li_7^+ \to Li_7^{++}$	σ_{12}	0,55	1,2	2,5	3,3	—	5,3
$Li_7^+ \to Li_7^{+++}$	σ_{13}	0,0003	—	—	—	—	~0,2
$Na^+ \to Na^{++}$	σ_{12}	5,0	12,0	20,0	28,0	—	—
$Na^+ \to Na^{+++}$	σ_{13}	0,087	0,56	1,2	2,0	3,5	—
$Na^+ \to Na^{++++}$	σ_{14}	—	0,0062	0,033	0,11	—	—
$Na^+ \to Na^{+++++}$	σ_{15}	—	—	—	—	~0,001	—

Таблица 2

Процесс	Выход ионов	v в кэв					
		85	135	175	215	235	250
$Li_7^+ \to Li_7^{++}$	$\frac{N^{2+}}{N^+}\cdot 10^2$	0,18	0,46	1,13	1,6	—	2,1
$Li_7^+ \to Li_7^{+++}$	$\frac{N^{3+}}{N^+}\cdot 10^2$	—	—	—	—	—	~0,0015
$Na^+ \to Na^{++}$	$\frac{N^{2+}}{N^+}\cdot 10^2$	3,0	7,0	12,0	14,5	—	—
$Na^+ \to Na^{+++}$	$\frac{N^{3+}}{N^+}\cdot 10^2$	0,011	0,06	0,15	0,25	0,26	—
$Na^+ \to Na^{++++}$	$\frac{N^{4+}}{N^+}\cdot 10^2$	—	0,0015	0,006	0,013	—	—

этих пучков. Остальные поперечники определены с погрешностью 25—30%, учитывающей точность измерения и пересчета давлений в «газовой камере», взаимодействие с остаточным газом вне камеры, точность измерения токов, компонент и точность графического дифференцирования и, в отдельных случаях, точность определения максимального отношения I^{k+}/I^{+}. При этом энергия пучка определялась по магнитному полю анализатора для линий основного пучка (Li^+ или Na^+) с точностью 1% при определении абсолютных значений энергии с точностью $\pm 5\%$.

Максимальный выход многозарядных ионов в процессе потери одного или нескольких электронов имеет место при установлении равновесия, соответствующего многократным столкновениям. Отношение числа многозарядных ионов к однозарядным при разных значениях энергии ионов, определенное из выражения

$$\left(\frac{N^{k+}}{N^+}\right)_{max} = \left(\frac{I^{k+}}{I^+}\right)_{max}, \qquad (4)$$

приведено в табл. 2. Как видно из таблицы, в указанном интервале энергий имеет место рост выхода многозарядных ионов всех зарядов с ростом энергий. При энергии 215 кэв число двухзарядных ионов Na достигает 15% от числа однозарядных.

Физико-технический институт
Академии наук УССР

Поступило
19 V 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] М. И. Корсунский, С. А. Векшинский, ЖЭТФ, 15, № 10, 593 (1945).
[2] Н. В. Федоренко, ЖТФ, 24, № 5, 769 (1954).