

*Письма в ЖЭТФ, том 12, стр. 432 – 436*

*5 ноября 1970 г.*

## **ИЗМЕРЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ И ИОНИЗАЦИИ АТОМНЫХ СИСТЕМ**

*В.Б.Леонас, А.В.Сермягин*

Дифференциальные сечения рассеяния атомных систем, как известно, дают наиболее подробную информацию о характере их взаимодействия. В настоящей работе с целью исследования взаимодействия на малых расстояниях сближения (интервал энергий взаимодействия  $1 - 100 \text{ эв}$ ) определены дифференциальные сечения упругого рассеяния и ионизации, а также потенциалы взаимодействия для следующих систем:  $\text{He} - \text{He}$ ,  $\text{Ne} - \text{Ne}$ ,  $\text{Ar} - \text{Ar}$ ,  $\text{Kr} - \text{Kr}$ ,  $\text{Xe} - \text{Xe}$ ,  $\text{N}_2 - \text{N}_2$ .

Дифференциальные сечения получены из измерений углового распределения  $I(\alpha)$  — тока частиц, рассеянных в подвижный детектор при различных углах его отклонения от оси пучка  $\alpha$  и начальных энергиях пучка. В этих измерениях использовался метод и установка, подробно описанные в [1]. Наряду с нейтральными, в рассеянном потоке были обнаружены частицы с изменившимся зарядовым состоянием, и поэтому в измерениях регистрировался не только нейтральный ток  $I^0(\alpha)$ , но и ток  $I^+(\alpha)$ , возникший при рассеянии ионов. Для устранения различий в эффективности регистрации детектором ионов и нейтралов первый диод электронного умножителя был заземлен.

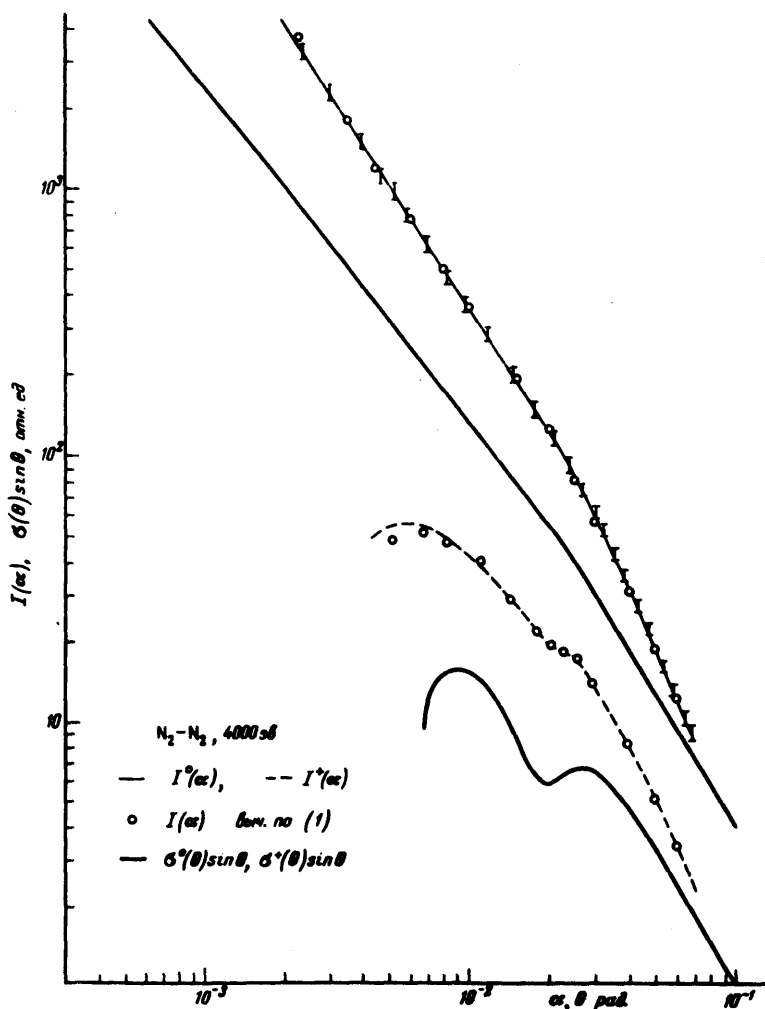


Рис. 1

По аналогии с определением потока частиц, рассеянных в интервале углов  $\theta + \theta + d\theta$ , для тока, перехватываемого детектором, предельные углы попадания в который заключены в диапазоне  $\theta_{min}(\alpha) + \theta_{max}(\alpha)$ , можно записать следующее выражение

$$I(\alpha) = 2\pi n \ell l_0 \int_{\Delta\theta(\alpha)} f_{\alpha}(\theta) \sigma(\theta, E) d\cos\theta. \quad (1)$$

Здесь  $I$  — начальная интенсивность моноэнергетического пучка,  $n$  — плотность,  $l$  — длина мишени. Функция  $f_{\alpha}(\theta)$  в (1) описывает нормированную к единице эффективность регистрации рассеянных на угол  $\theta$  частиц пучка при данном положении  $\alpha$  детектора. Подробное описание метода вычисления  $f_{\alpha}(\theta)$  дано нами в [2]. При известной  $f_{\alpha}(\theta)$  можно провести обращение выражения (1), получив таким образом по измеренным  $I^{\circ}(\alpha)$  и  $I^{+}(\alpha)$  соответственно дифференциальные сечения упругого рассеяния  $\sigma^{\circ}(\theta, E)$  и ионизации  $\sigma^{+}(\theta, E)$ . Это обращение осуществлялось нами с помощью ЭВМ БЭСМ-4. Типичные результаты процедуры обращения показаны для случая  $N_2 - N_2$  на рис. 1.

Для определения потенциала взаимодействия  $U(r)$  правильнее использовать полное дифференциальное сечение, восстановленное из величины  $I^{\circ}(\alpha) + I^{+}(\alpha)$  в предположении, что функции отклонения  $\theta(b)$  частиц обоих видов одинаковы. Вычисление  $U(r)$  проводилось на ЭВМ с помощью метода, предложенного Фирсовым [3]. Полученные значения могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью  $U = A \exp(-ar)$ ; параметры  $A$ ,  $a$  и соответствующие им диапазоны исследованных расстояний приведены в таблице. Энергии взаимодействия, найденные в настоящей работе, хорошо согласуются с определявшимися ранее [4].

система	$A, эв$	$a, \text{Å}^{-1}$	$\Delta r, \text{Å}$	$b_n, \text{Å}$	$\sigma_{01}(4000), \text{Å}^2$
He — He	542	7,05	0,20 — 0,35	0,51	0,28
	212	4,30	0,35 — 1,50	—	—
Ne — Ne	4550	4,51	0,60 — 1,35	1,19	3,60
	44000	6,20	1,35 — 1,80	—	—
Ar — Ar	2540	3,56	0,80 — 2,20	1,44	2,20
Kr — Kr	4800	3,49	1,00 — 2,25	1,65	—
	668	2,60	2,20 — 3,00	—	—
Xe — Xe	7150	3,46	1,20 — 1,80	—	—
	1635	2,64	1,80 — 3,30	—	—
$N_2 - N_2$	4120	3,37	0,80 — 2,00	1,66	2,56
	8200	3,72	2,00 — 2,80	—	—

Данные таблицы могут представить интерес в связи с исследованиями порогов процесса оптического возбуждения в ион-атомных столкновениях [5]. В частности, пороговым энергиям работы [5] могут быть сопоставлены более достоверные расстояния квази-пересечения  $r_0$  (например, для  $K^+ - Ar$  ( $K^+ \equiv Ar$ ) вместо  $r_0 = 1 \text{ Å}$  работы [5] более оправдано значение  $r_0 = 0,8 \text{ Å}$ ; соответственно, сечение процесса должно быть уменьшено в 1,5 раза).

Значительный интерес представляют впервые полученные здесь дифференциальные сечения атом-атомной ионизации. Для систем He — He,  $N_2 - N_2$  на рис. 2 показаны зависимости вероятности потери электрона быстрой частицей  $P$  от прицельного расстояния  $b$  ( $P = \sigma^{+}(\theta) / [\sigma^{\circ}(\theta) + \sigma^{+}(\theta)]$ ) а  $\theta(b)$  принималась одинаковой для частиц обоих сортов). В предпоследнем столбце таблицы приведены пороговые значения  $b_n$ , показанные на рис. 2 стрелками.

Абсолютные значения  $P(b)$  зависят от скорости (рис. 2); более того, в случае  $\text{Xe} - \text{Xe}$  в исследованном диапазоне углов (хотя и соответствующем тому же интервалу энергий взаимодействия  $1 - 100 \text{ эВ}$ ) не удалось зарегистрировать появления ионов. В предположении одинаковых  $\theta(b)$  энергия взаимодействия у порога ионизации  $U(b_n)$  четко коррелирует с потенциалом ионизации:  $U(b_n) = E_u$ . Обращает внимание наличие структуры в зависимостях  $P(b)$ . Система  $\text{N}_2 - \text{N}_2$  в этом отношении наиболее замечательна; по величинам  $U(b)$  можно полагать, что повторное возрастание  $P(b)$  связано, по-видимому, с открытием канала двукратной ионизации быстрых частиц. По измеренным  $\sigma^+(\theta, E)$  можно экстраполировать ход  $\sigma^+(\theta)$ , оценить полные сечения  $\sigma_{01}$  ионизации, измерявшиеся ранее рядом авторов (библиографию см. в [6]); сравнение их (для  $E_\lambda = 4000 \text{ эВ}$ ) с данными последнего столбца таблицы обнаруживает разумное согласие.

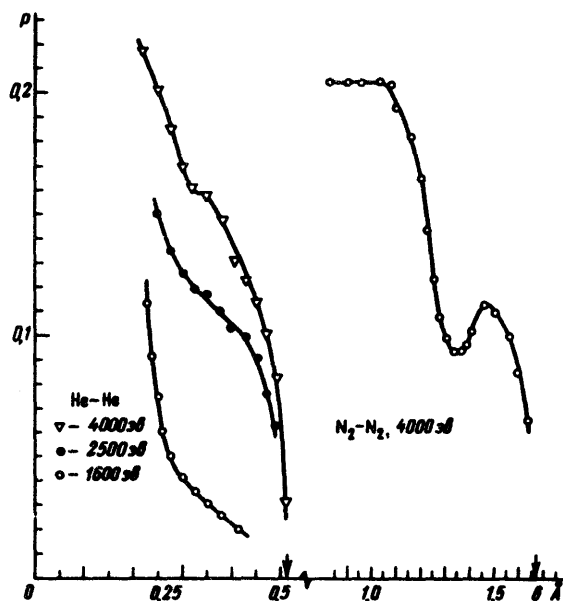


Рис. 2

Полученные в настоящей работе зависимости  $\sigma^+(\theta, E)$ ,  $P(b)$  могут позволить критически оценить различные теоретические подходы к описанию процесса ионизации в атомных столкновениях и выбрать наиболее адекватный.

Авторы выражают благодарность Б.М.Смирнову за обсуждение результатов настоящей работы.

Институт космических исследований  
Академии наук СССР

Поступила в редакцию  
12 сентября 1970 г.

#### Литература

- [1] Ю.Н.Беляев, Б.Б.Леонас, А.Б.Сермягин. *У И.С.Р.Е.А.С. Abstr. of papers* 643, Изд. Наука, Л., 1967.
- [2] А.П.Калинин, Б.Б.Леонас, А.В.Сермягин. *Вестник МГУ, сер. физ.* №1, 1971 (в печати).
- [3] О.Ф.Фирсов, *ЖЭТФ*, 24, 279, 1953.
- [4] В.Б.Леонас, А.Б.Сермягин. *ЖТФ*, 37, 1547, 1967.

- [5] В.Б.Матвеев, С.В.Габашев, Е.М.Дукельский. ЖЭТФ, 57, 1533, 1969.
- [6] R.C.Amme, P.O.Haugstjaa. Phys. Rev., 177, 230, 1969.
-