

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ՏՄ 810.5.11

ЕФН-131(88)-80

А. Т. МАРГАРЯН

МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ В ТОНКИХ
СЛОЯХ ВЕЩЕСТВА

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

УДК.539.124.17

А.Т.МАРГАРЯН

МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ В ТОНКИХ СЛОЯХ
ВЕЩЕСТВА

Последовательные столкновения многократного рассеяния моделировались с помощью метода Монте-Карло. Функция распределения вероятности многократного рассеяния, полученная таким способом, справедлива и тогда, когда среднее число столкновений в слое вещества < 20 . Результаты этих расчетов сравниваются с распределением Мольера.

Ереванский физический институт

Ереван 1980

A.T.MARGARIAN

MULTIPLE SCATTERING IN THE SUBSTANCE THIN LAYERS

Successive collisions of multiple scattering were simulated by the Monte-Carlo method. The multiple scattering probability distribution function obtained in such means is valid also when the mean number of collisions in the substance layer is less than 20. These results are compared with the Moliere distribution.

Erevan Physics Institute

Erevan 1980

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФУ-431-(38) -80

А.Т.МАРГАРИН

МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ В ТОНИХ СЛОЯХ
ВЕЩЕСТВА

Ереван 1980

© *Ереванский физический институт, 1980*

Существуют четыре теории многократного рассеяния [1-4]. Из них наиболее популярна теория Мольера [4,5]. Функцию распределения вероятности $f(\theta, t)$ Мольер представил в виде степенного ряда следующим образом [5].

$$f(\theta, t) = \nu \alpha \nu \sum_{n=0}^{\infty} f^n(\nu) B^{-n}, \quad (1)$$

где

$$f^n(\nu) = n!^{-1} \int_0^{\infty} u \alpha u J_0(\nu u) \exp(-\frac{1}{4} u^2) \left[\frac{1}{4} u^2 \ln(\frac{1}{4} u^2) \right]^n \quad (2)$$

$$\nu = \theta / (\chi_c B^{1/2}) \quad (3)$$

$$\chi_c^2 = 0.1569 \{ z(z+1) \mathcal{Z}^2 / A \} \{ t / (P\nu)^2 \}. \quad (4)$$

Параметр B определяется из уравнения

$$B - \ln B = b, \quad (5)$$

где

$$b = \ln \Omega_0 \quad (6)$$

$$\Omega_0 = \frac{6702.33 (z+1) z^{1/3} \mathcal{Z}^2 t}{\beta^2 A (1 + 3.34 \alpha^2)} \quad (7)$$

J_0 - функция Бесселя нулевого порядка

Z - заряд первичной частицы

z - порядковый номер вещества

t - толщина слоя (г/см^2)

A - атомный вес

PV - импульс, умноженный на скорость первичной частицы (Мэв)

Физический смысл Ω_0 - среднее число столкновений в слое вещества толщиной t . Первые три члена ряда (I) описывают экспериментальные результаты с точностью $\approx 1\%$ [5-7]. Явный вид функции $f^{(0)}$, $f^{(1)}$ и $f^{(2)}$ приведен в работах [4,5].

Теория Мольера проверена в области энергии первичных частиц до 200 Гэв и для различных веществ [8]. Эта теория, как было указано еще Мольером, из-за статистического характера многократного рассеяния справедлива для толщин вещества, где $\Omega_0 \approx 20$. Как нам известно, в настоящее время отсутствуют как теоретические, так и экспериментальные работы о многократном рассеянии в тонких слоях вещества, где $\Omega_0 < 20$.

В настоящей работе последовательные столкновения многократного рассеяния моделировались с помощью метода Монте-Карло.

Функция распределения вероятности многократного рассеяния - $f(\theta, t)$, полученная таким способом, справедлива также при $\Omega_0 < 20$.

Моделирование проводилось со следующей последовательностью.

1. Длина свободного пробега λ разыгрывалась из распределения $e^{-\lambda/\lambda_{\text{ср}}}$. При вычислении среднего свободного пробега - $\lambda_{\text{ср}}$ использовалось выражение (4) для Ω_0 .

2. Полярный угол θ , полученный частицей после столкновения, разыгрывался из распределения

$$G(\theta) \sim \theta^{-4} \quad (8)$$

Минимальный угол определялся из соотношения

$$\theta_{\min} = \lambda / a \quad (9)$$

где λ - длина дебройловской волны заряженной частицы,
 a - ферми радиус атома.

$$a = 0.885 z^{-1/3} a_0 \quad (10)$$

a_0 - радиус Бора.

3. Азимутальный угол ψ разыгрывался из равномерного распределения в интервале $(0 \div 2\pi)$. Процесс повторялся до тех пор, пока частица не вышла из слоя вещества. Результаты расчетов при прохождении электронов с энергией 16,21 Мэв через фольгу из золота толщиной 4,08; 2,72; 2,04; 1,36; 0,68 и 0,34 мг/см² приведены на рис. I-6. По оси ψ положена интенсивность в единице телесного угла $J(\theta)$. Среднее число столкновений электронов с энергией 16,21 Мэв в слое толщиной 0,34 мг/см² - $\Omega_0 = 1,9$.

На этих же рисунках для сравнения приведены также результаты, соответствующие распределению Мольера. Эти результаты были получены методом Монте-Карло по схеме, описанной в работе [?], с учетом первых трех членов распределения (1). Распределение Мольера, полученное таким способом, хорошо воспроизводит экспериментальные результаты Хансона и др. [6] в широком интервале углов. Статистическая точность обоих Монте-Карло расчетов в худшем случае, при больших углах $\approx 5\%$.

Как видно, в случае $t = 4.08 \text{ мг/см}^2$; $\Omega_0 \approx 22$ (рис.1) имеет-
ся хорошее согласие между нашими расчетами и распределением
Мольера. Удовлетворительное согласие имеется также до толщины
 1.36 мг/см^2 (рис.2-4).

Для тонких слоев вещества, где $\Omega_0 \leq 5$, если наши вычисления
провести с интервалом изменения углов $\Delta \theta \sim \theta_{min}$ в
распределении появляются минимумы и максимумы, обусловленные
статистическим характером многократного рассеяния, т.е. флюктуа-
цией среднего числа столкновения Ω_0 . Однако, когда $\Delta \theta > \theta_{min}$,
функция распределения имеет гладкую спадающую форму. При этих
толщинах возникают трудности и в распределении Мольера, связан-
ные с вычислением B из уравнения (5). Действительно, как
видно на рис.7, уравнение (5) имеет 2 корня. Обычно часть
кривой, соответствующей $B < 1$, не используют, и при $b \leq 2 - \ln 2$,
 B определяют из следующего уравнения [7].

$$B = \frac{2}{2 - \ln 2} b \quad (II)$$

Так как распределение Мольера определяется параметром B
(ур.1), оно сильно зависит от способа вычисления B . На рис.5,6
приведены два распределения Мольера, в которых B определяется
по-разному. Крестики соответствуют значению B , определенному
из уравнения (II), точки — случаю, когда $B = B_0$ ($B_0 = 2,32$) при
 $B \leq B_0$. Как видно из этих рисунков, второй случай распреде-
ления Мольера с нашими результатами находится в лучшем согла-
сии. Скорость розыгрыша угла многократного рассеяния из распре-
деления Мольера не зависит от толщины слоя вещества и равняется
скорости вычисления угла нашим способом при такой толщине веществ-

ва, когда среднее число столкновений $\Omega_0 \sim 3$.

Скорость вычисления угла нашим способом линейно увеличивается с увеличением толщины слоя.

Таким образом, можно сделать вывод, что теория Мольера применима также при $\Omega_0 < 20$, с выбором значения $B = 2,32$, когда $B \lesssim 2,32$. Однако в тех случаях, когда требуются точные распределения, при $\Omega_0 < 10$, следует применять способ, описанный в этой работе.

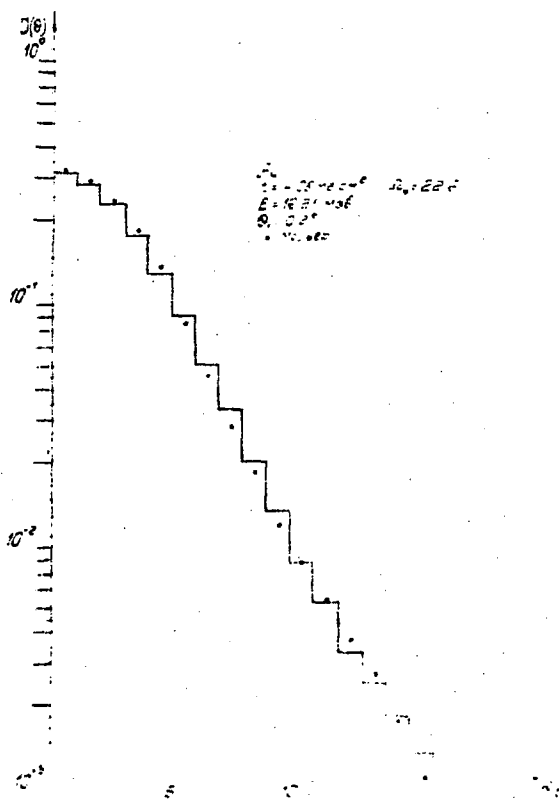


Рис. I

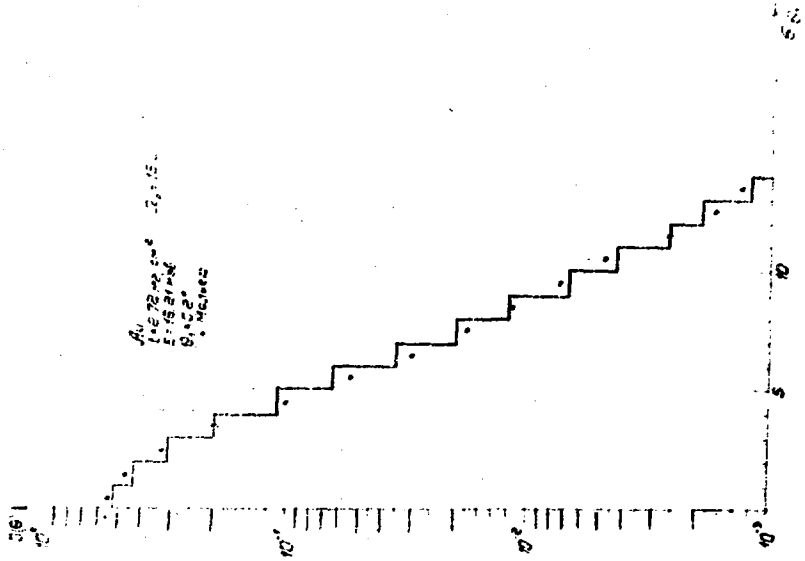


Рис. 2

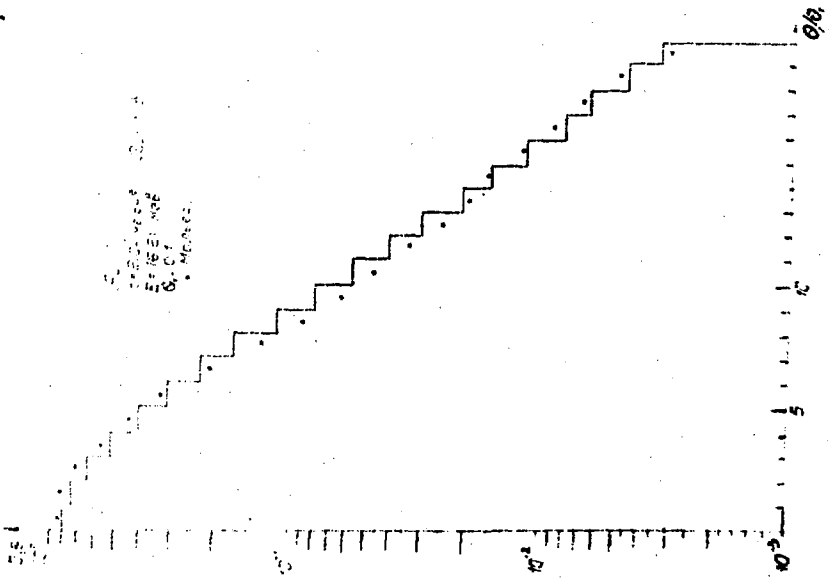


Рис. 3

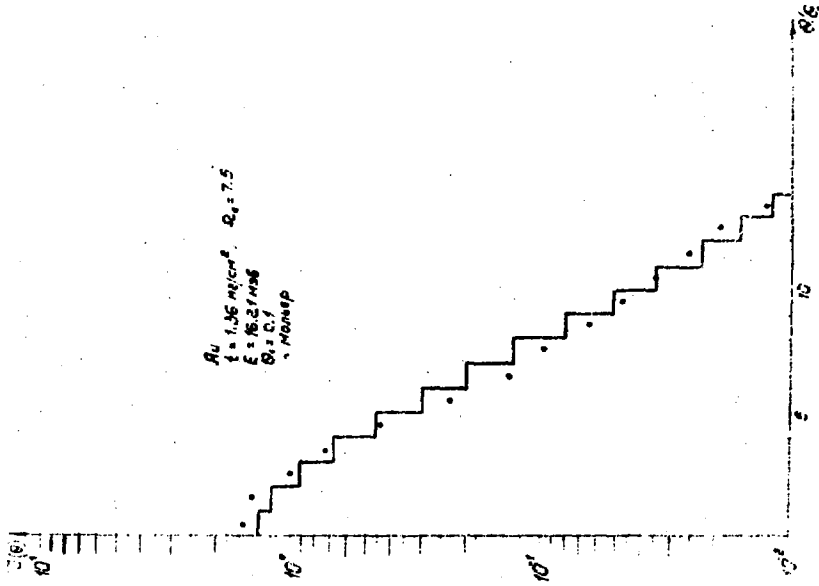


Рис.4

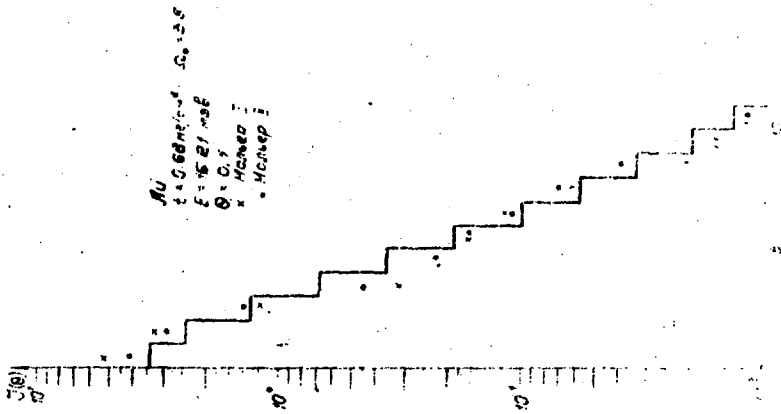


Рис.5

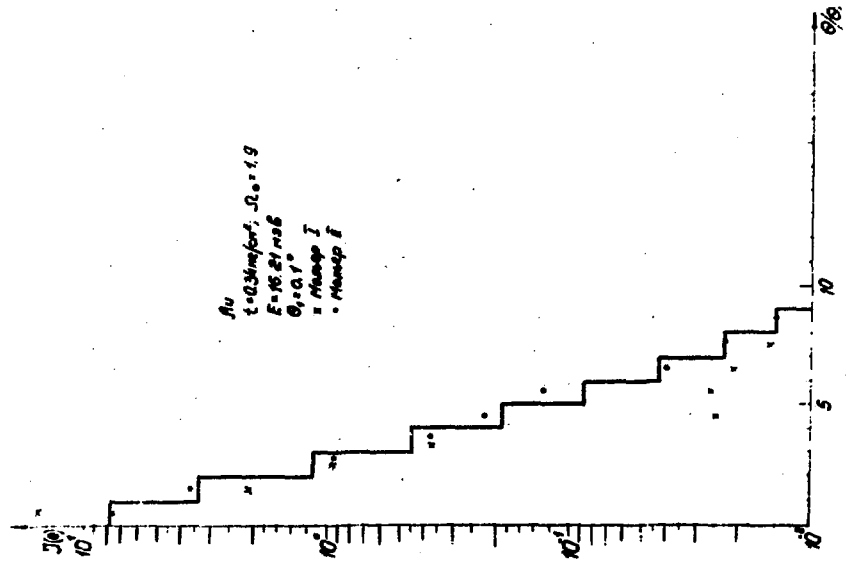


Рис.6

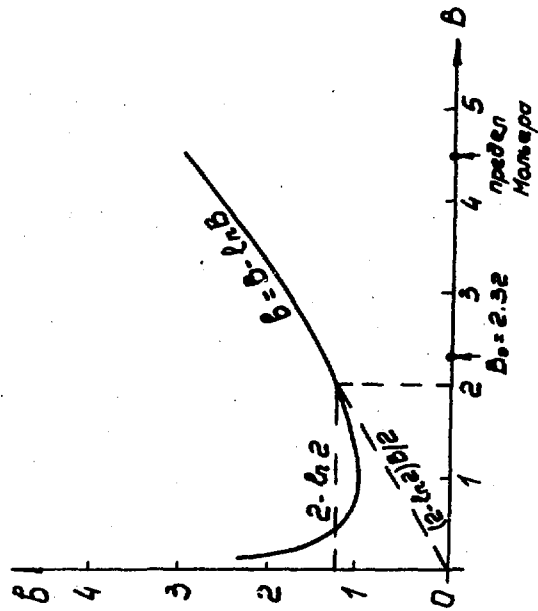


Рис.7

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1-6 Зависимость интенсивности в единице телесного угла $J(\theta)$ от θ при прохождении электронов с энергией 16.21 Мэв через фольги из золота толщиной 4.08; 2.72; 2.04; 1.36; 0.68 и 0.34 мг/см². Гистограммы соответствуют нашим расчетам, точки - распределению Мольера. На рис.5-6 приведены два распределения Мольера, соответствующие разным значениям параметра B .

Рис.7 Зависимость B от δ определяемой формулой $B - \ln B = \delta$.

ЛИТЕРАТУРА

1. E.J. Williams, Proc. Roy. Soc. A169, 531 (1939); Phys. Rev. 58, 292 (1940).
2. S.A. Goudsmith and J.L. Sandersol, Phys. Rev. 57, 24 (1940).
3. H. Snyder and P. Scott, Phys. Rev. 76, 220 (1949); W.T. Scott, Phys. Rev., 85, 245 (1952); H.W. Lewis, Phys. Rev. 78, (1950)
4. G. Moliere, Z. Naturf., 2a, 133 (1947); 3a, 78 (1948)
5. H.A. Bethe, Phys. Rev. 82, 1256 (1953)
6. A.O. Hanson et al., Phys. Rev., 94, 634 (1951)
7. R.L. Ford and W.R. Nelson, SLAC-210 (1978)
8. G. Shen et al., Phys. Rev. D20, N.7, 1584 (1979)

Рукопись поступила 25-го июня 1980 г.

Редактор Л.П. Мукаин

Тех. редактор А.С. Абрамян

Заказ 828

ВФ-05478

Тираж 299

Препринт ЕФИ

Формат издания 60 x 84/16

Подпись к печати 26/VI-80г. 1,0 уч. изд. л. Ц. 7 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер. Маркаряна 2



индекс 3624