

В. В. Ритарева

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПЫТА РЕЗЕРФОРДА

Эксперименты Резерфорда по альфа-рассеянию были первыми экспериментами, в которых отдельные частицы систематически рассеивались и обнаруживались. Чтобы свести к минимуму потери альфа-излучения при рассеянии от молекул воздуха, эксперимент проводился в довольно хорошем вакууме, при этом металлический ящик вакуумировался через трубку. С помощью диафрагмы пучок альфа-частиц был направлен нормально на рассеивающую фольгу. Вращая микроскоп, можно было наблюдать альфа-частицы, рассеянные в разных направлениях, на экране.

В 1909 году Ханс Гейгер и Эрнст Марсден обнаружили отклонение альфа-частиц на большие углы при их прохождении через тонкую золотую фольгу. На углы более 90° рассеивалась одна из 8000 альфа-частиц. Иногда наблюдался отскок альфа-частиц назад.

Для объяснения полученных результатов Резерфорд в знаменитой статье, опубликованной в 1911 году, предложил планетарную модель атома, в этой модели почти вся масса атома сосредоточена в крохотном, по сравнению с размерами атома, сверхплотном ядре. По результатам обработки статистики рассеяний, он, в этой же статье, приводит расчёты размера ядра атома золота, и его результат всего на 20 % отличается от современного значения [1].

Дифференциальное сечение рассеяния альфа-частицы $\frac{d\sigma}{d\Omega}$, которое характеризует вероятность рассеяния, как функцию угла рассеяния θ , является достаточно информативной величиной, определяемой в эксперименте. Отклонения альфа-частиц от первоначального направления обусловлены действием кулоновского поля отталкивания со стороны атомных ядер. В случае рассеяния альфа-частицы с энергией E и зарядом Z_1 на точечном рассеивающем центре с зарядом Z_2 дифференциальное сечение рассеяния, согласно Резерфорду, имеет вид [2]:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4 * E} \right)^2 \frac{1}{\sin^4 \frac{\theta}{2}} \quad (1)$$

Воспользуемся формулой (1) для моделирования рассеяния альфа-частиц на тяжелых ядрах золота ${}_{79}\text{Au}$ и кремния ${}_{14}\text{Si}$.

Для моделирования опыта Резерфорда методом Неймана был использован программный комплекс Wolfram Mathematica. Метод Неймана (метод отбраковки) основан на следующей теореме из математической статистики и теории вероятностей.

Пусть ξ – случайная величина, с плотностью распределения $p(x) \leq c$ (некоторое положительное число) на интервале $a < x < b$.

Если γ_1 и γ_2 – независимые случайные величины и $\xi' = a + \gamma_1(b - a)$, $v' = c\gamma_2$, то случайная величина ξ , определяемая условием $\xi = \xi'$, если $v' < p(\xi')$, имеет плотность вероятности равную $p(x)$.

Исходя из этой теоремы метод получения значений случайной величины ξ с плотностью распределения $p(x) \leq c$ на интервале (a, b) состоит в следующем:

1. Получаем пару значений γ_1, γ_2 с помощью стандартного генератора;
2. С их помощью строим два случайных числа $\xi' = a + \gamma_1(b - a)$, равномерно распределенное на интервале (a, b) , и $v' = c\gamma_2$, равномерно распределенное на интервале $(0, c)$;
3. С помощью чисел ξ' и v' проверяем выполнение условия $v' < p(\xi')$
4. Если условие $v' = c\gamma_2$ выполняется, то считаем, что значение случайной величины ξ равно ξ' , если условие не выполняется, то повторяем процедуру начиная с шага 1.

Код программы для золота ${}_{79}\text{Au}$:

(*Очистка переменных*)

Clear[a, b, F, p, pn, n, data, q1, q2];

(*Ввод данных*)

a := 0.01; b := π ; n := 1000;

Z1 := 2; Z2 := 79;

e := 1.44; E := 5

(*Формула дифференциального сечения рассеяния*)

$$pn[\theta] := \left(\frac{Z1 * Z2 * e}{4 * E} \right)^2 * \frac{1}{\text{Sin} \left[\frac{\theta}{2} \right]^4}$$

F[θ] = Integrate[pn[θ], { θ , a, b}];

p[θ] = pn[θ]/F[θ];

$\xi[\gamma_1] := a + \gamma_1 * (b - a)$;

$v[\gamma_2] := p[a] * \gamma_2$;

(*Создаем список data*)

data = { };

Do[

Label[begin];

$\gamma_1 = \text{RandomReal}[]$;

```

γ2 = RandomReal[ ];
If [v[γ2] < p[ξ[γ1]], AppendTo[data, ξ[γ1]], Goto[begin]];
, {i, 1, n, 1});
c = Max[data];
(*Проверка с помощью гистограммы*)
q1 = Plot[p[x], {x, a, c}, PlotRange → All]
q2 = Histogram[data, Automatic, PDF]
(*Визуализация графиков*)
Show[q2, q1]

```

Результаты моделирования при трех значениях энергии бомбардирующей ядро-мишень альфа-частицы представлены на рисунках 1–2.

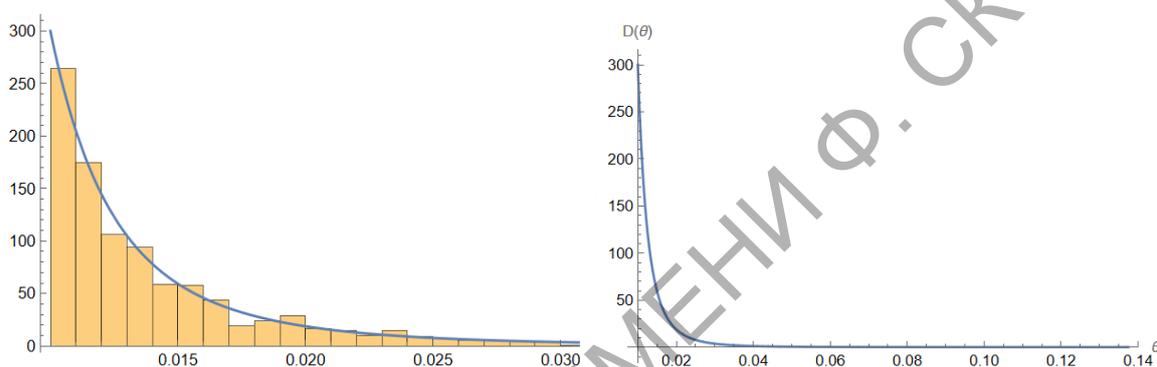


Рисунок 1 – Графики зависимости $D(\theta)\Phi\text{м}^2$ для золота при $E = 5$ МэВ

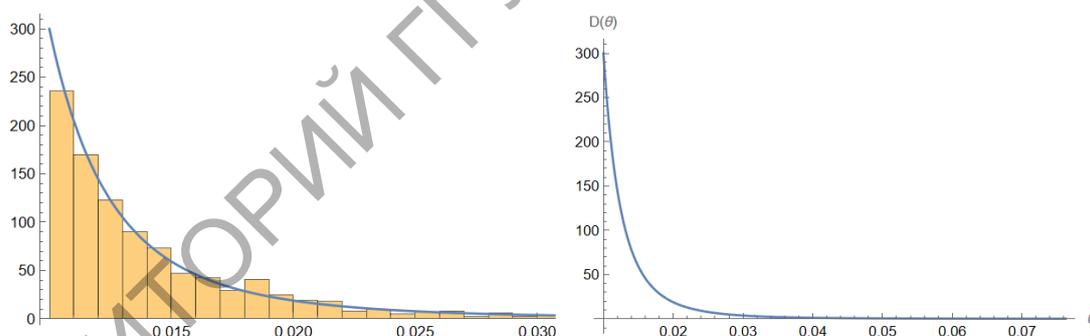


Рисунок 2 – График зависимости $D(\theta)\Phi\text{м}^2$ для кремния при $E = 5$ МэВ

Анализ графиков на рисунках позволяет сделать вывод, что из-за малого размера ядра-мишени, с ростом θ , альфа-частицы двигаются практически прямолинейно, лишь изредка сталкиваясь с ядрами. Во всех случаях рассеяния и на тяжелых, и на легких ядрах в области $\theta < 0,04$ наблюдается хорошее согласие экспериментальных результатов с теоретическими данными.

Таким образом, программа, разработанная для моделирования опыта Резерфорда, является инструментом для исследования поведения атомов и помогает углубить понимание их структуры. Она может использоваться для обучения студентов, проведения научных исследований и разработки новых материалов.

Литература

1. Резерфорд, Э. Строение атома и искусственное превращение элементов. Избранные научные труды / Э. Резерфорд. – Отв. ред. Г. Н. Флеров ; сост. и ред. перевода Ю.М.Ципенюк. – М. : Наука, 1972. – 63 с.
2. Савельев, И. В. Курс общей физики: учебное пособие / И. В. Савельев. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 50 с.

Д. В. Синегрибов

(ГГУ имени Ф. Скорины, ГГТУ имени П. О. Сухого, Гомель)

Науч. рук. **В. В. Андреев**, д-р физ.-мат. наук, профессор

АНАЛИЗ АСИММЕТРИИ ЭФФЕКТОВ ТЯЖЕЛЫХ КАЛИБРОВОЧНЫХ БОЗОНОВ НА ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ КОЛЛАЙДЕРАХ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Введение

Электрон-позитронный коллайдеры ILC и CLIC активно обсуждаются как важный компонент будущих экспериментов в физике высоких энергий. Интригующим вопросом современной физики элементарных частиц является наличие новых частиц за пределами Стандартной модели (СМ). Точные измерения на ILC и CLIC позволят оценить различные характеристики новых тяжелых частиц. Энергия столкновений $\sqrt{S_{ILC}} = 0,5, 1$ ТэВ и $\sqrt{S_{CLIC}} = 3$ ТэВ.

Работа посвящена разработке метода обнаружения интерференционных эффектов новых нейтральных промежуточных бозонов в процессе электрон-позитронной аннигиляции в мюонную пару с помощью асимметрии вперед-назад A_{FB} на будущих электрон-позитронных коллайдерах CLIC и ILC.

Асимметрия вперед-назад

Амплитуды для процесса $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ могут быть получены с помощью диаграмм Фейнмана (рисунок 1):