## МОНТЕ КАРЛО РАСЧЕТЫ ДЕТЕКТОРА ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

### А. Л. АВАКЯН, Р. А. АСТАБАТЯН, А. Л. ВИШНЕВСКАЯ, К. Ж. МАРКАРЯН, В. Я. ЯРАЛОВ

Описана методика расчета числа зарегистрированных фотонов в детекторе переходного излучения. Результаты расчетов в пределах 20-30% согласуются с имеющимися экспериментальными данными.

В работах [1, 2] исследован детектор переходного излучения, в котором радиатор окружен десятью пропорциональными счетчиками с натянутыми вдоль оси радиатора анодами. Радиатор вакуумно изолирован от объема счетчиков поливтиленовым кожухом толщиной 100 мкм. Диаметр радиатора составлял 6 см. длина — 190 см. а диаметр медного корпуса, в котором были собраны пропорциональные счетчики, — 40 см. Рабочим газом служила смесь 90% Ar + 10%  $CH_4$  при атмосферном давлении.

В пропорциональных счетчиках детектора регистрировались те фотоны РПИ, которые рассеивались в радиаторе или, поглощаясь в медных фольгах, образовывали характеристическое излучение.

В настоящей работе описана методика расчета такого детектора. Расчеты проводились для радиаторов двух типов. Первый состоял из 85 брусков пенопласта со средней плотностью  $\rho = 0,04$  г/см<sup>3</sup> и длиной 2 см, между которыми была расположена медная фольга толщиной 6 мкм. Второй радиатор представлял собой брусок пенопласта со средней плотностью  $\rho = 0,04$  г/см<sup>3</sup>. В работе [3] выполнены расчеты для второго типа радиатора со средней плотностью  $\rho = 0,09$  г/см<sup>3\*</sup>.

В представленных в настоящей работе расчетах использовались экспериментально измеренные спектры РПИ, образованного в пенопласте [4, 5], а для учета вклада РПИ от медных фольг использовались теоретические спектры [6]. Известно, что взаимодействие  $\gamma$ -квантов с энергией  $\hbar \omega < 1$  МэВ с веществом слагается из следующих процессов:

1)фотовффекта, при котором атом поглощает квант и испускает влектрон; возбужденный атом переходит в основное состояние, испуская характеристическое излучение или влектроны Оже;

 когерентного или томсон-рэлеевского рассеяния, при котором фотон отклоняется атомными электронами без потери энергии;

 некогерентного или комптоновского рассеяния, при котором фотон рассеивается атомными электронами и передает ему момент и энергию.

Дифференциальное сечение рассеяния у-квантов на атоме (с учетом связи электронов в атоме) имеет вид [7]

$$d_{e} \sigma = Z d_{e} \sigma_{K-H} S + d_{e} \sigma_{\text{томсон}} F^{2}, \qquad (1)$$

\* В работе [3] на стр. 11 вместо 0,04 г/см<sup>3</sup> надо читать 0,09 г/см<sup>3</sup>.

72

где  $Zd_e \sigma_{K-H}$  — выражение для сечения некогерентного рассеяния,  $d_e \sigma_{\text{томсон}} F^2$  — выражение для сечения когерентного рассеяния, Z — атомный номер вещества, S — функция некогерентного рассеяния, F — атомный формфактор (отношение амплитуды излучения, рассеянного атомом, к амплитуде излучения, который рассеял бы один электрон) [8].

Расчеты проводились по следующей схеме. По вероятности рождения квантов РПИ на единице длины радиатора разыгрывались места их образования. Далее методом Неймана разыгрывалась энергия образованных квантов РПИ. С помощью массовых коэффициентов поглощения [9] разыгрывался пройденный путь РПИ у-квантов до взаимодействия. Далее на основе использования сечений взаимодействий [9] методом случайных испытаний определялся вид взаимодействия.

Если квант РПИ вызывает фотоэффект в медных фольгах или рассеивается в радиаторе, то, имея вероятность образования характеристического излучения [10] и разыгрывая угловое и энергетическое распределения, можно проследить за у-квантом до его поглощения или вылета за пределы детектора.

Отметим, что если при онередном взаимодействии у-квант не поглотился и не вылетел за пределы детектора, то розыгрыш всех процессов повторялся заново. Зарегистрированными считались те события, в которых у-квант поглощался в газе счетчиков.

На рис. 1, 2 приведены зависимости полного числа фотонов от энергии первичного электрона  $E_{e}$ , вычисленные соответственно для первого





и второго типов радиаторов. Кружками обозначены экспериментальные данные, сплошные линии соответствуют расчетам. Из рисунков следует, что экспериментальные результаты в пределах  $20 \div 30\%$  согласуются с расчетными. Существенный вклад в расхождение, по-видимому, дают ошибки в экспериментально измеренных дифференциальных спектрах РПИ. [3, 4] и ошибки табличных значений массовых коэффициентов поглощения [9]. Отметим, что аналогичные расчеты для детектора РПИ, несколько отличающиеся от описанных выше, были выполнены в работе [11]. В указанной работе также отмечается удовлетворительное согласие экспериментальных результатов с расчетами.

Расчетные дифференциальные спектры зарегистрированных у-квантов при разных энергиях  $E_e$  приведены на рис. 3 и 4 соответственно для первого и второго типов радиаторов. Сплошные линии соответствуют.  $E_e = 1,0$  ГэВ, пунктирные —  $E_e = 2,0$  ГэВ, а точечные —  $E_e = 3,0$  ГэВ

Из рис. З видно, что в окрестности значения  $\hbar\omega = 8$  кэВ наблюдается узкий пик, обусловленный характеристическим излучением меди, причем примерно 80% зарегистрированных фотонов находятся в пределах этого пика. Установление такого, жесткого порога уменьшит вклад от фона и шумов усилителя.





Рис. 4. Дифференциальные спектры зарегистрированных у-квантов для радиатора второго типа при разных  $E_e$ .

Распределения числа фотонов для первого и второго типов радиаторов при разных энергиях  $E_e$  приведены соответственно на рис. 5 и 6. Сплошные линии соответствуют  $E_e = 1,0$  ГэВ, пунктирные —  $E_e = 2,0$  ГэВ, а точечные —  $E_e = 3,0$  ГэВ.

Вышеупомянутые расчетные кривые соответствуют случаю, когда заряженная частица пролетала вдоль оси радиатора. Очевидно, что практический интерес представляет случай, когда частицы летят не по оси, а по всей площади сечения радиатора.

74

На рис. 7 приведены зависимости полного числа зарегистрированных фотонов от энергии  $E_e$  для радиатора диаметром 50 см, когда частица пролетала вдоль оси радиатора (сплошная линия) и на расстоянии 20 см



Рис. 7. Зависимость числа фотонов для радиатора первого типа с днаметром 50 см от  $E_e$ , когда частица пролетает вдоль оси радиатора (сплошная линия) и на расстоянии 20 см от оси (пунктирная линия).

от оси (пунктирная кривая). Из рисунка видно, что число зарегистрированных фотонов слабо зависит от места прохождения частицы через радиатор.

1.0

0.5

1

Ee([38)

Из сравнения рис. 2 и 7 следует, что увеличение диаметра радиатора приводит к уменьшению числа зарегистрированных фотонов, что объясняется поглощением фотонов. Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность М. П. Лорикяну за постановку задачи и ценные советы, А. Ц. Аматуни за постоянное внимание, а также А. Г. Ахперджаняну и Ю. Л. Маргаряну за полезные обсуждения.

Ереванский физический институт

Поступила 10. VII. 1980

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- 1. М. П. Лорикян. ПТЭ, № 3, 73 (1971).
- 2. Р. А. Астабатян и др. ПТЭ, № 2, 75 (1980).
- 3. М. П. Лорикян, К. К. Шихляров, В. Я. Яралов. Научное сообщение ЕФИ-31 (73).
- 4. А. И. Алиханян и др. Письма ЖЭТФ, 17, 453 (1973).
- 5. А. И. Алиханян н др. ЖЭТФ, 65, 1330 (1973).
- 6. А. Л. Авакян. Кандидатская диссертация, Ереван, 1978.
- 7. Альфа, бета и гамма-спектроскопия. Под ред. К. Зигбана, т. 1, стр. 75, Атомиздат, М., 1979.
- 8. А. Гинье. Рентгенография кристаллов, Физматгиз, М., 1961.
- 9. О. Ф. Немец, Ю. В. Гофман. Справочник по ядерной физике, Изд. Наукова думка, Киев, 1975.
- Экспериментальная ядерная физика, Под редакцией Э. Сегре, т. III, стр. 272, Изд. ИЛ, М., 1961.
- 11. А. И. Алиханян н др. ПТЭ, № 5, 51 (1972).

#### ԱՆՑՈՒՄԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ԴԵՏԵԿՏՈՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ ՄՈՆՏԵ ԿԱՌԼՈՅԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

#### Ա. Լ. ԱՎԱԳՑԱՆ, Ռ. Ա. ԱՄՏԱԲԱՏՑԱՆ, Ա. Լ. ՎԻՇՆԵՎՍԿԱՑԱ, Կ. Ժ. ՄԱՐԳԱՐՑԱՆ, Վ. Ցա. ՑԱՐԱԼՈՎ

Նկարագրված է անցումային ճառագայիման դետեկտորում գրանցված ֆոտոնների իվի հաշվարկի մեիոդը։ Հաշվարկների արգյունջները 20—30%-ի սահմաններում համաձայնեցվում են եղած փորձարարական արդյունջների հետ։

### MONTE CARLO CALCULATIONS OF TRANSITION RADIATION DETECTOR

# A. L. AVAKYAN, R. A. ASTABATYAN, A. L. VISHNEVSKAYA, K. Zb. MARKARYAN, V. Ya. YARALOV

A technique for the calculation of the number of photons registered in a transition radiation detector is described. The calculated results agree within  $20 \div 30\%$  with available experimental data.