

МОДЕЛЬ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРИВЕДЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ БЫСТРЫХ ЭЛЕКТРОНОВ В ДИСКРЕТНЫХ СЛОЯХ ОБЛУЧАЕМОЙ НИЗКОАТОМНОЙ СРЕДЫ

О.А. Акаткин, О.А. Кулиш, О.В. Петрова
Кубанский государственный университет, Краснодар

Разработана модель для аппроксимации не выражающихся в аналитической форме распределений приведенных энергетических потерь быстрых электронов на дискретных слоях облучаемой низкоатомной среды. Сравнены исходные числовые и аппроксимационные данные. Их значения хорошо совпадают.

Ключевые слова: быстрые электроны, низкоатомная среда, облучение, дискретные слои, приведенные потери энергии, распределения, моделирование

Введение

При оценке средних потерь энергии быстрых электронов в дискретных слоях облучаемой среды учитывают возможность их флуктуаций [1, 2]. Приведенные энергетические потери электронов, определяющие эти флуктуации, разыгрывают на тех же слоях среды из распределений Ландау, Симона или Блунка-Лейзеганга методами Неймана [3]. Так как в аналитической форме эти однотипные распределения не выражаются, то их задают многомерными таблицами, что создает определенные трудности при реализации этих методов [4]. Модель для аппроксимации таких распределений функциями, зависящими от параметров, устраняет эти трудности. Она рассмотрена применительно к распределениям Блунка-Лейзеганга.

Материал и методы

Рассчитывали распределения Блунка-Лейзеганга для дискретных слоев низкоатомной среды при облучении быстрыми электронами [5] по соотношениям:

$$f(\lambda) = \sum_{v=1}^4 c_{0v} \exp\left[-\frac{(\lambda - \lambda_v)^2}{c_{vv}}\right],$$

где $f(\lambda)$ – значения функций в распределениях, λ – приведенные энергетические потери, c_{0v} , c_{vv} , λ_v – постоянные.

В областях их определения $\{\lambda \in R \mid 0 \leq \lambda \leq \lambda_{\min}\}$ задавали реперные точки: $-\lambda_1$, λ_0 , $+\lambda_2$ и $+\lambda_3$ и соответствующие им значения функций: $f(\lambda_1)$, $f(\lambda_0)$, $f(\lambda_2)$ и $f(\lambda_3)$.

Аппроксимировали полученные распределения в подобластях $\{\lambda \in R \mid 0 \leq \lambda \leq \lambda_0\}$ функциями:

$$f_1(\lambda) = C(\lambda_0) \exp[-C(\lambda_1) \cdot \lambda^2], \quad (1)$$

а, в подобластях $\{\lambda \in R \mid \lambda_0 \leq \lambda \leq \lambda_{\min}\}$ функциями

$$f_2(\lambda) = C(\lambda_0) \exp[-C(\lambda) \cdot \lambda^2], \quad (2)$$

где $C(\lambda_0)$, $C(\lambda_1)$, $C(\lambda)$ – параметры.

Определяли значения параметров:

$$C(\lambda_0) = f(\lambda_0);$$

$$C(\lambda_1) = \ln[f(\lambda_0)/f(\lambda_1)]/\lambda_1^2 \quad (3)$$

$$C(\lambda) = C_4(\lambda - \lambda_3)^2 + C(\lambda_3)$$

при

Таблица 1

Значения коэффициентов C_l и C_m приближающих зависимостей $P(\lambda_j)$ для параметров и постоянных

	$P(\lambda_0)$	$P(\lambda_1)$	$P(\lambda_3)$	P_4
C_l	0,00068	0,00248	0,000024	0,00000216
C_m	0,139	0,172	0,016	0,0003312

Таблица 2

Значения параметров и постоянных $C(\lambda_j)$, аппроксимирующих соответствующие распределения, функций

$E, \text{ МэВ}$	$C(\lambda_0)$	$C(\lambda_1)$	$C(\lambda_3)$	C_4
10	0,146	0,197	0,0162	0,000353
20	0,153	0,222	0,0165	0,000374

$$C_4 = (C(\lambda_2) - C(\lambda_3)) / (\lambda_2 - \lambda_3)^2,$$

где $C(\lambda_2)$ и $C(\lambda_3)$ – параметры, C_4 – постоянные.

Параметры $C(\lambda_2)$ и $C(\lambda_3)$ находили по соотношениям (3) при замене значений λ_1 на λ_2 и λ_3 соответственно. Зависимости для найденных параметров и постоянных приближали функциями [6]:

$$P(\lambda_j) = C_l E + C_m, \quad (4)$$

где $P(\lambda_j)$ – параметр или постоянная с их индексом $j \in [0, 4]$, C_l и C_m – коэффициенты, E – энергия электронов.

Результаты и обсуждение

Получены функции, аппроксимирующие распределения Блунка–Лейзеганга для слоев органического стекла (ПММА) с $Z_{\text{эфф}}=6,24$, плотностью $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$, толщинами $\{\Delta t \in R \mid 0,017 \leq \Delta t \leq 0,05 \text{ см}\}$ при облучении электронами с энергиями $\{E \in R \mid 5 \leq E \leq 30 \text{ МэВ}\}$. В табл. 1 приведены значения коэффициентов приближающих зависимостей (4) для их параметров и постоянных.

По данным табл. 1 рассчитаны параметры и постоянные для функций, аппроксимирующих распределения Блунка–Лейзеганга для слоев ПММА толщинами $\Delta t = 0,024 \div 0,036$, см при облучении электронами с энергиями $E = 10 \div 20$ МэВ. В табл. 2 приведены их значения.

На рис. 1 приведен график распределения Блунка–Лейзеганга для слоя ПММА

толщиной $\Delta t = 0,024$ см при облучении электронами с энергией $E = 10$ МэВ при аппроксимации функцией, параметры и постоянные которой даны в табл. 2. Здесь же указаны численные значения функций в исходном распределении. Относительные погрешности их аппроксимации $\varepsilon < 5\%$ во всей области определения.

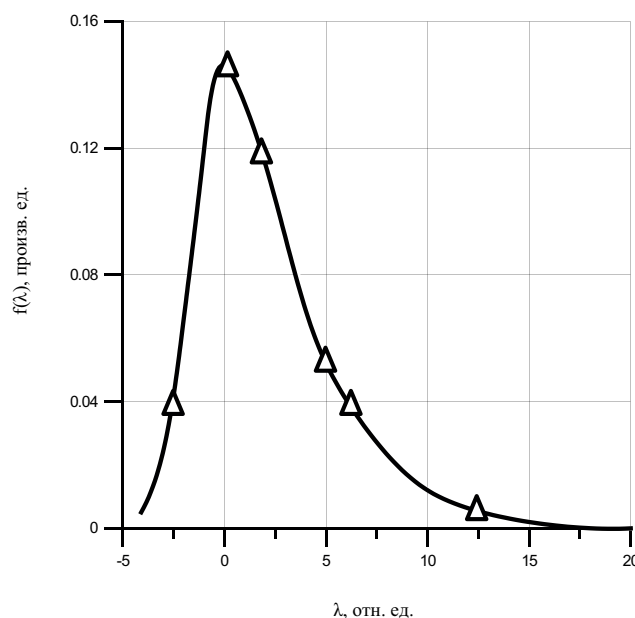


Рис. 1. Аппроксимированное распределение Блунка–Лейзеганга для ПММА ($\Delta t = 0,024$ см) при облучении электронами с энергией $E = 10$ МэВ; Δ – значение функции в исходном распределении

Заключение

Таким образом, при розыгрыше приведенных энергетических потерь быстрых электронов на дискретных слоях облучаемой низкоатомной среды методами Неймана вместо многомерных таблиц распределений Блунка–Лейзеганга можно использовать их аппроксимационную модель с целью получения результатов с достаточной для практических целей точностью. Модель найдет применение в радиационной физике и дозиметрии для оценки распределений доз, поглощенных в низкоатомных средах при облучении быстрыми электронами.

Список литературы

1. Бойко В.И., Скворцов В.А., Фортов В.Е., Шаманин И.В. Взаимодействие импульсных пучков заряженных частиц с веществом. – М.: Физматлит. 2003. 288 с.
2. Kawrakow I. Accurate condensed history Monte Carlo simulation of electron transport. I. EGSnrc, the new EGS4 version // Med. Phys. 2000. Vol. 27. P. 1684–1697.
3. Кольчужкин А.М., Учайкин В.В. Введение в теорию прохождения частиц через вещество. – М.: Атомиздат. 1978. 256 с.
4. Колесов В.В., Матусевич Е.С., Романцов В.П. и соавт. Моделирование неравномерных распределений поглощенной дозы в ткани при облучении β -частицами // Мед. физика. 2003. № 4. С. 33–41.
5. Баранов В.Ф. Дозиметрия электронного излучения. – М.: Атомиздат. 1974. 221 с.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. – М.: Мир. 1989. 540 с.

THE APPROXIMATION MODEL OF REDUCED ENERGY LOSSES DISTRIBUTION OF FAST ELECTRONS AT THE DISCRETE STRATUMS OF THE IRRADIATED LOW-ATOMIC MEDIUM

O.A. Akatkin, O.A. Culish, O.V. Petrova
Kuban State University, Krasnodar, Russia

The approximation model of distribution of reduced energy losses of fast electrons at the discrete stratum of the irradiated low-atomic medium which cannot be expressed in the analytic odds. Initial numerical and model data is compared. Its value well coincide.

Key words: *fast electrons, low-atomic medium, irradiation, discrete stratum, reduced energy losses, distribution, modelling*

E-mail: culish_olga@mail.ru