

УДК 539.12.04

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ, ВОЗНИКАЮЩИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЗИТРОНОВ СО СРЕДОЙ

© 2021 г. Ф. Ф. Валиев*

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Санкт-Петербургский государственный университет”, Санкт-Петербург, Россия*

**E-mail: valiev07@list.ru*

Поступила в редакцию 20.11.2020 г.

После доработки 28.12.2020 г.

Принята к публикации 27.01.2021 г.

Полуклассический подход к расчету электромагнитных полей, формируемых при взаимодействии жесткого излучения с веществом, применен к задаче прохождения высокоэнергетичных позитронов через газовую среду. Приведены результаты расчетов изменений электромагнитных полей в оптическом диапазоне для воздуха при прохождении через него высокоэнергетичных позитронов.

DOI: 10.31857/S0367676521050264

Полуклассический подход и модель линейного тока [1, 2] применялись для расчета изменений электромагнитных полей в оптическом диапазоне, формируемых при взаимодействии электронов и гамма-квантов с жидкой, твердой и газовой средой [3–5]. В рамках этого подхода используется пособытийное рассмотрение формирования электромагнитных полей. Применение пакета GEANT [6] позволяет рассчитать траектории и скорости всех свободных заряженных частиц, возникающих в результате взаимодействия первичной и сопровождающих ее вторичных частиц со средой. Далее проводится расчет пространственно-временного распределения компонент электромагнитного поля, создаваемого заряженной частицей и возникающих при ее движении вторичных частиц в среде.

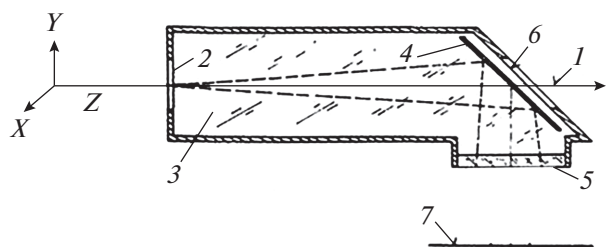


Рис. 1. Схема модельного эксперимента: 1 – пучок позитронов; 2 – входное окно установки; 3 – газовая мишень (цилиндр длиной 1 м); 4 – плоское зеркало; 5 – прозрачное окно; 6 – выходное окно установки; 7 – плоскость расположения детектора (фотоплёнки), регистрирующего электромагнитное излучение в оптическом диапазоне.

В данной работе полуклассический подход применен к расчету электромагнитных полей, формируемых при прохождении высокоэнергетичных позитронов в воздухе. Схема модельного эксперимента аналогична схеме реального эксперимента, выполненного в работе [7], и представлена на рис. 1. В модельном эксперименте в рамках пакета GEANT пучок позитронов с энергией 512 МэВ проходит через метровый слой воздуха. В качестве иллюстрации представлены рассчитанные траектории движения одиночного позитрона и сопровождающих его электронов (см. рис. 2а–2в, три одиночных позитрона).

На рис. 3 представлены траектории движения 5 позитронов и сопровождающих их электронов и фотонов на одном рисунке. На пути следования позитрона образуются электрон-ионные пары, вторичные фотоны, которые в свою очередь могут

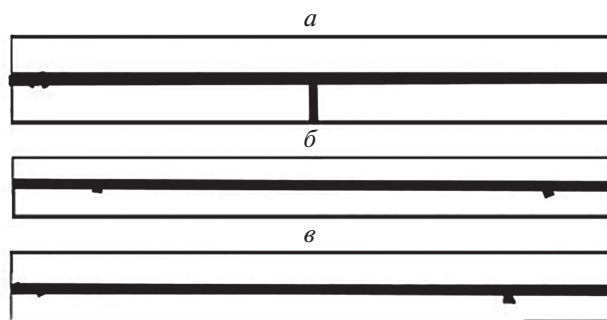


Рис. 2. Примеры траекторий движения одиночного позитрона и сопровождающих его электронов.

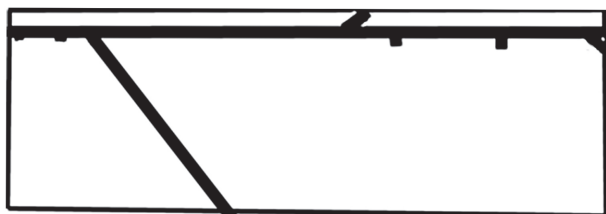


Рис. 3. Пример траекторий движения 5 позитронов и сопровождающих их электронов и фотонов на одном рисунке.

порождать вторичные частицы. Данные, полученные в результате работы программы моделирования, записываются в файл в формате: сорта частиц, скорости, координаты и времена, в которые происходили изменения скорости частицы. Далее проводился расчет электромагнитного поля в пространственно-временном представлении по формулам из работ [1, 2] под случайным образом выбранным углом ϕ и с шагом 0.05 градуса по углу θ в точке на плоскости детектирования.

Результат расчета изменения энергии электромагнитного поля в плоскости расположения позиционно-чувствительного детектора (фотопленки), полученное суммирование изменений энергии поля каждой из заряженных частиц, формируемых процессе взаимодействия позитронов с газовой средой, представлен на рис. 4. На рисунке виден пик в угловом распределении изменений энергий, при котором наблюдается максимум в кольцевом распределении. Угол, оцененный по формуле Тамма–Франка равен 1.32° . Полученный в нашем расчете угол меньше на 0.04° . Полученное небольшое уменьшение в значении угла, под которым наблюдается максимальное изменение энергии, по сравнению с оценкой угла по формуле Тамма имело место и в расчетах, проведенных в работах [3–5]. Отметим, что расчет выполнен в пространственно-временном представлении в рамках полуклассического подхода.

Результаты расчетов, проводимых по данной методике, согласуются с экспериментально наблюдаемыми результатами работы [7] и могут быть в последующем использованы при моделировании и

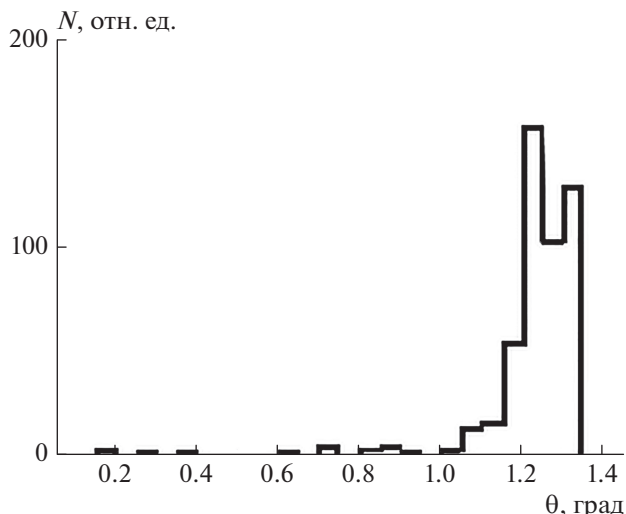


Рис. 4. Угловое распределение изменений энергии по результатам 500 разыгранных событий (N в относительных единицах).

конструировании детекторов для экспериментов в физике высоких энергий.

Работа выполнена с использованием оборудования ресурсного центра “Вычислительный центр СПбГУ”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Валиев Ф.Ф.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2011. Т. 75. № 7. С. 1056; *Valiev F.F.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2011. V. 75. No. 7. P. 1001.
2. *Борисов В.В.* Электромагнитные поля неустановившихся токов. СПб: СПбГУ, 1996.
3. *Валиев Ф.Ф. Панин Р.Б.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2016. Т. 80. № 8. С. 1039; *Valiev F.F., Panin R.B.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. No. 8. P. 951.
4. *Валиев Ф.Ф.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2019. Т. 83. № 9. С. 1257; *Valiev F.F.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2019. V. 83. No. 9. P. 1149.
5. *Валиев Ф.Ф.* // Изв. РАН. Сер. физ. 2020. Т. 84. № 8. С. 1109; *Valiev F.F.* // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. V. 84. No. 8. P. 917.
6. <http://geant4.web.cern.ch>.
7. *Ружичка Я.* Теоретические и экспериментальные исследования эффекта Вавилова–Черенкова. Дис. ... докт. физ.-мат. наук. Дубна: ОИЯИ, 1993. 212 с.

Formation of electromagnetic fields in the optical range arising as a result of interaction of positrons with a medium

F. F. Valiev*

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, 199034 Russia

**e-mail: valiev07@list.ru*

A method of calculating the electromagnetic fields in the optical range arising from the passage of high-energy positrons through a gaseous medium using a semiclassical approach is presented.