

**ФИЗИКА ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И ТЕОРИЯ ПОЛЯ**

УДК 539.1.03

DOI: 10.17223/00213411/62/3/31

*В.С. МАЛЫШЕВСКИЙ, Г.В. ФОМИН, М.В. БУЛГАКОВА*

**ОСОБЕННОСТИ ЧЕРЕНКОВСКОГО И ПЕРЕХОДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
В ПОГЛОЩАЮЩЕЙ СРЕДЕ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ**

На основе уравнений макроскопической электродинамики рассмотрены спектрально-угловые характеристики электромагнитного излучения, возникающего при прохождении быстрых заряженных частиц через поглощающую среду конечных размеров. Исследовано изменение углового распределения излучения при переходе через порог излучения Вавилова – Черенкова, проанализирован вклад возникающего переходного излучения при высоких энергиях частиц и спектральные характеристики излучения Вавилова – Черенкова в рентгеновском диапазоне частот.

*Ключевые слова:* переходное излучение, излучение Вавилова – Черенкова, рентгеновское излучение.

**Введение**

Открытые в работах [1, 2] эффекты излучения Вавилова – Черенкова и переходного излучения ускоренных зарядов при их прохождении через вещество в последнее время получили серьезный импульс для дальнейших исследований. Появившиеся технические возможности ускорения многозарядных ионов поставили новые задачи в этой области, возникающие, в частности, при конструировании эффективных черенковских детекторов [3–6]. Для решения таких проблем необходим учёт многих особенностей взаимодействия заряженных частиц и электромагнитного излучения с веществом, таких, как торможение, поглощение или конечные размеры среды. В литературе эти вопросы неоднократно обсуждались в качестве различных предельных случаев, в частности при сверхвысоких энергиях частиц или в жесткой спектральной области и пр. (см., например, [7, 8]). Ниже рассматривается влияние этих процессов на спектрально-угловые характеристики возникающего электромагнитного излучения на основе уравнений макроскопической электродинамики без использования каких-либо асимптотических приближений. Такой подход позволяет, в частности, проследить за изменением углового распределения излучения при переходе порога излучения Вавилова – Черенкова, а также проанализировать возникающий при этом вклад переходного излучения.

**Основные уравнения**

Пусть скорость заряженной частицы направлена перпендикулярно границе раздела двух сред, а именно вакуума и среды. Направим ось  $z$  параллельно постоянной скорости частицы  $\mathbf{v}$  и обозначим заряд частицы до влета в среду через  $Z_1e$ . Полагая, что магнитная проницаемость среды  $\mu = 1$ , запишем уравнения Максвелла для потенциалов слева, то есть в вакууме:

$$\Delta A - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c} Z_1 e v \delta(\mathbf{r} - \mathbf{v}t), \quad \Delta \varphi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -4\pi Z_1 e \delta(\mathbf{r} - \mathbf{v}t). \tag{1}$$

При записи уравнений Максвелла в среде будем полагать, что поля создаются, во-первых, током заряда  $Z_1$ , движущимся с такой же скоростью, как и в вакууме. Тогда справа от поверхности раздела в среде с комплексной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  можно записать

$$\Delta A - \frac{\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 A}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{c} Z_1 e v \delta(\mathbf{r} - \mathbf{v}t), \quad \Delta \varphi - \frac{\epsilon}{c^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = -\frac{4\pi}{\epsilon} Z_1 e \delta(\mathbf{r} - \mathbf{v}t). \tag{2}$$

Решения уравнений (2) будем искать, разлагая все величины в интегралы Фурье. Тогда фурье-компоненты напряженностей электрических полей в первой (слева, то есть в вакууме) и второй (справа) средах запишутся в следующем виде:

$$\mathbf{E}_1(\mathbf{k}, \omega) = \frac{iZ_1 e}{2\pi^2} \left[ \frac{\omega \mathbf{v}}{c^2} - \mathbf{k} \right] \frac{\delta(\omega - \mathbf{k} \mathbf{v})}{\mathbf{k}^2 - \omega^2 / c^2} + \mathbf{E}'_1(\mathbf{k}, \omega) \delta(\mathbf{k}^2 - \omega^2 / c^2); \tag{3}$$

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>