УДК 539.101: 538.3

© 1998 р. І.А. Константинович

Чернівецький державний університет ім.Ю.Федьковича, Чернівці

ПОТУЖНІСТЬ ВИПРОМІНЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОНІВ, ЩО РУХАЮТЬСЯ З ПОСТІЙНОЮ ШВИДКІСТЮ У НЕПОГЛИНАЮЧОМУ ІЗОТРОПНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Методом сили самодії Лоренца знайдені вирази спектрально-кутового та спектрального розподілів потужності випромінювання Черенкова системи електронів, що рухаються з постійною швидкістю в непоглинаючому ізотропному середовищі.

The expressions of spectral-angular and spectral distributions of the Cherenkov radiation power of the system of electrons moving at a constant velocity in nonabsorbable isotropic medium are obtained using Lorentz's self-action method.

Метод сили самодії Лоренца, розвинутий у роботах [1-2], дозволяє дослідити потужність випромінювання електронів, що рухаються вздовж довільної траєкторії в непоглинаючому ізотропному середовищі.

У випадку руху вздовж довільної траєкторії функції джерел N невзаємодіючих електронів мають вигляд:

$$\vec{j}(\vec{r},t)=\sum_{l=1}^{N}\vec{V}_l(t)\rho_l(\vec{r},t),\qquad \rho(\vec{r},t)=\sum_{l=1}^{N}\rho_l(\vec{r},t),\quad(1)$$

де
$$\rho_l(t)=e\delta(\vec{r}-\vec{r}_l(t)).\quad(2)$$

Тут $\vec{j}(\vec{r},t)$ – густина струму, $\rho(\vec{r},t)$ – густина заряду.

Закон руху та швидкість l-го електрона цієї системи визначаються співвідношеннями [2]:

$$\begin{aligned}\vec{r}_l(t)&=\vec{r}_p(t+\Delta t_l)=x_p(t+\Delta t_l)\vec{i}+\\&+y_p(t+\Delta t_l)\vec{j}+z_p(t+\Delta t_l)\vec{k}\end{aligned},\quad(3)$$

$$\begin{aligned}\vec{V}_l(t)&=\vec{V}(t+\Delta t_l)=V_x(t+\Delta t_l)\vec{i}+\\&+V_y(t+\Delta t_l)\vec{j}+V_z(t+\Delta t_l)\vec{k}\end{aligned}.\quad(4)$$

Отриманий у роботі [2] спектрально-кутовий розподіл середньої потужності випромінювання системи N електронів, що рухаються вздовж довільної траєкторії у непоглинаючому ізотропному середовищі, визначається співвідношенням:

$$\begin{aligned}\overline{P}_N^{rad}&=\frac{e^2}{4\pi^2c^3}\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}dt\int_{-\infty}^{\infty}dt'\int_0^{\infty}d\omega\int_0^{2\pi}d\varphi\times\\&\times\int_0^{\pi}\sin\theta d\theta\mu(\omega)n(\omega)\omega^2\cos\left\{\frac{n(\omega)}{c}\omega\sin\theta\times\right.\\&\left.\times\left[\cos\varphi\left(x_p(t)-x_p(t')\right)+\sin\varphi\left(y_p(t)-y_p(t')\right)\right]\right\}\times\\&\times\cos\left\{\frac{n(\omega)}{c}\omega\cos\theta\left(z_p(t)-z_p(t')\right)\right\}\times\\&\times S_N(\omega)\cos\{\omega(t-t')\}\left\{\vec{V}(t)\vec{V}(t')-\frac{c^2}{n^2(\omega)}\right\},\end{aligned}\quad(5)$$

де фактор когерентності має вигляд:

$$S_N(\omega)=\sum_{l,k=1}^{N}\cos\{\omega(\Delta t_l-\Delta t_k)\}.\quad(6)$$

Розглянемо рух з постійною швидкістю вздовж осі OZ системи N невзаємодіючих електронів у непоглинаючому ізотропному середовищі. Якщо радіус-вектор та швидкість l-го електрона визначаються виразами:

$$\vec{r}_l(t)=V(t+\Delta t_l)\vec{k},\qquad \vec{V}_l=V\vec{k},\quad(7)$$

тоді із співвідношення (5) після деяких перетворень знаходимо формулу для спектрально-кутового розподілу потужності випромінювання Черенкова цієї системи у непоглинаючому ізотропному середовищі

$$\begin{aligned}\overline{P}_N&=\frac{e^2}{c^3}\int_0^{\infty}d\omega\int_0^{\pi}\sin\theta d\theta\mu(\omega)n(\omega)\omega S_N(\omega)\times\\&\times\eta\left(V-\frac{c}{n(\omega)}\right)\delta\left(\frac{n(\omega)}{c}V\cos\theta-1\right)\left(V^2-\frac{c^2}{n^2(\omega)}\right).\end{aligned}\quad(8)$$

Тут $\delta(x)$ - дельта-функція Дірака, $\eta(x)$- функція

Хевісайда, яка визначається виразом

$$\eta\left(V-\frac{c}{n(\omega)}\right)=\begin{cases}1, & V>cn^{-1}(\omega)\\ 0, & V<cn^{-1}(\omega)\end{cases}. \quad (9)$$

Як випливає з співвідношення (8), випромінювання Черенкова системи електронів, що рухаються з постійною швидкістю, відбувається під кутом θ до напрямку руху

$$\cos\theta=\frac{c}{n(\omega)V}. \quad (10)$$

Проінтегрувавши (8) по θ, знайдемо формулу для спектрального розподілу потужності випромінювання Черенкова системи електронів у непоглинаючому середовищі:

$$\overline{P}_N=\frac{e^2V}{c^2}\int_0^\infty d\omega\mu(\omega)\omega S_N(\omega)\times \times\eta\left(V-\frac{c}{n(\omega)}\right)\left(1-\frac{c^2}{n^2(\omega)V^2}\right). \quad (11)$$

Якщо часовий розподіл електронів вздовж траєкторії задається співвідношенням [2]

$$\Delta t_l=\Delta t l, \quad (12)$$

тоді фактор когерентності набуває вигляду [2]:

$$S_N(\omega)=\sin^2\left(\frac{N}{2}\Delta t\omega\right)\sin^{-2}\left(\frac{1}{2}\Delta t\omega\right). \quad (13)$$

При N=1 вираз (11) переходить у формулу для потужності випромінювання Черенкова окремого електрона в непоглинаючому ізотропному середовищі [3-4]:

$$\overline{P}=\frac{e^2V}{c^2}\int_0^\infty d\omega\mu(\omega)\omega\eta\left(V-\frac{c}{n(\omega)}\right)\left(1-\frac{c^2}{n^2(\omega)V^2}\right). \quad (14)$$

Формули (8), (11) дозволяють дослідити особливості спектру випромінювання Черенкова системи електронів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Константинович А. В.* Спектр випромінювання заряджених частинок, які рухаються в ізотропному ідеальному феродіелектрику // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 29: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.21-25.
2. *Константинович А. В.* Класична теорія випромінювання електрона. І. Потужність випромінювання системи електронів, які рухаються вздовж довільної траєкторії в ізотропному ідеальному феродіелектрику // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 32: Фізика. - Чернівці: ЧДУ, 1998. - С.3-7.
3. *Ситенко А.Г.* Излучение заряда, движущегося по оси канала в ферродиэлектрике // ЖТФ. - 1953. - **23**, №12. - С.2200-2204.
4. *Schwinger J., Tsai Wu-yang, Erber T.* Classical and Quantum Theory of Synergic Synchrotron Cherenkov Radiation // Annals of Physics. - 1976. - **96**, No. 2. - P.303-332.