

3. Геленов, А. А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебн. пособие / А. А. Геленов, Т. И. Соченко, В. Г. Спиркин. – 4-е изд., стереотипное. – М.: Академия, 2015. – С. 110–126.

4. Сырбаков, А. П. Топливо и смазочные материалы: учебн. пособие / А. П. Сырбаков, М. А. Корчуганова; Томский политехн. ун-т. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2015. – 159 с.

5. Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости: ГОСТ 25371–2018. – Взамен ГОСТ 25371–97 (ИСО 2909–81); введ. Респ. Беларусь 01.12.19. – Минск: Госстандарт, 2019. – 11 с.

Нгуен Куанг Шан

(БГУ, Минск)

Науч. рук. **И. Д. Феранчук**, д-р физ.-мат. наук, профессор

МЕТОД ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ МОДУЛИРОВАННОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ

Введение. Рассчитан спектр эквивалентных фотонов периодически модулированного сгустка электронов на выходе из ондулятора рентгеновского лазера на свободных зарядах и показано, что он содержит когерентный состав, позволяющий получать дополнительные рентгеновские импульсы.

Выражение для потока энергии электронов Π . Выражения для электромагнитных полей ($\hbar = c = 1$):

$$\begin{aligned}\vec{E}(\vec{r}, t) &= \sum_a^N \vec{E}_a(\vec{r}, t); \quad \vec{H}(\vec{r}, t) = \sum_a^N [\vec{v}_a \vec{E}_a(\vec{r}, t)]; \\ \vec{E}_a(\vec{r}, t) &= -\frac{ie_0}{2\pi^2} \int d\vec{k} \frac{\vec{k} - \vec{v}_a (\vec{k} \vec{v}_a)}{k^2 - (\vec{k} \vec{v}_a)^2} e^{i\vec{k}(\vec{r} - \vec{v}_a t - \vec{r}_a)}.\end{aligned}\tag{1}$$

На ось z можно разбить Π на две части:

$$\Pi = \Pi_{sp} + \Pi_{coh}$$

Для некогерентный потока Π_{sp} получается обычное выражение:

$$n_{sp}(\omega) = N \frac{2e_0^2}{\pi\omega} \ln\left(\frac{m\gamma}{\omega}\right); \quad |\vec{k}_\perp - \vec{\theta}_a| \approx \omega\gamma^{-1}. \quad (2)$$

Когерентная составляющая спектральной плотности псевдофотонов принимает вид:

$$n_{coh}(\omega) \approx \left| \frac{(1 - e^{iL\omega})}{(1 - e^{id\omega})} \right|^2 e^{-\omega^2 \sigma_c^2 / 2d^2} \times \\ \times N^2 \frac{e_0^2}{2v\pi\omega} \frac{d^2}{L^2} [-e^{a^2\gamma^{-2}} Ei(-a^2\gamma^{-2})(1 + \gamma^{-2}a^2) - 1], \quad (3)$$

Чтобы прояснить смысл выражений (2) и (3), воспользуемся значениями следующих параметров:

$$\gamma^{-1} = \frac{0.511}{6.7 \times 10^3} \approx 8 \times 10^{-5}, \quad k \approx 10^{10} m^{-1}, \quad N \approx 1nC \approx 6 \times 10^9, \quad \frac{2\pi^2 \sigma_c^2}{d^2} \approx 0.3, \\ \sigma_a = 10^{-4}, \quad \sigma_b = 2 \times 10^{-7} m, \quad z = L = 4.3 \times 10^{-6} m, \quad d = 6.28 \times 10^{-10} m, \\ a^2\gamma^{-2} = 6.4 \times 10^{-9} \times 0.5[1.6 \times 10^{-7} \times 10^{-8} + 4 \times 10^{-10} \times 10^{-19}] \approx 0.03.$$

Число псевдофотонов по формуле (2) равно:

$$N_{sp} = N \frac{2e^2}{\pi} \ln \frac{m\gamma}{\omega} \frac{\Delta\omega}{\omega} \approx 10^9 \times 10^{-5} \approx 10^{-4},$$

Между тем, для когерентной компонента, по формуле (3):

$$N_{coh} = N^2 \frac{e^2}{2} \frac{1}{\omega_0 L} \approx 3.6 \times 10^{19} \times \frac{1}{137} \frac{1}{8 \times 10^4} \approx 4.5 \times 10^{12}.$$

На рисунке 1 приведено сравнение спектральных плотностей потока некогерентных и когерентных псевдофотонов.

Метод, описанный в этой работе, также используется в калибровке Кулона для расчета распределения электронов [1, 2].

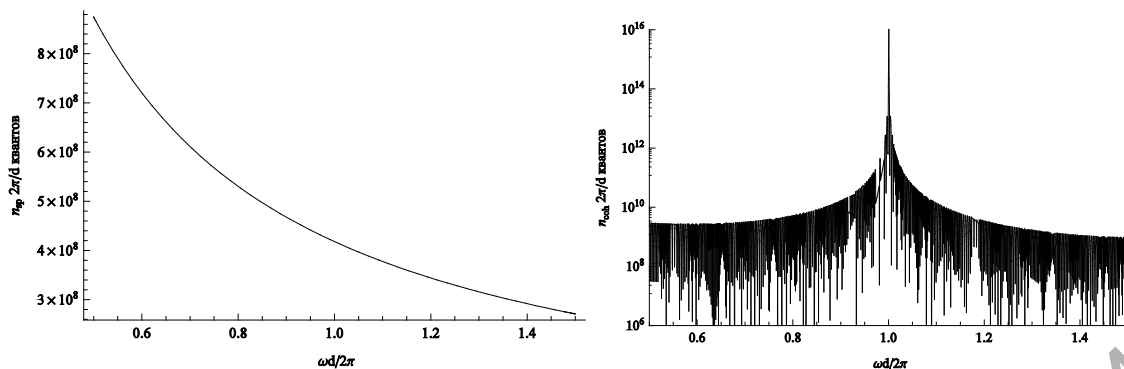


Рисунок 1 – Спектральная плотность распределения псевдофотонов модулированного пучка: а – некогерентных; б – когерентных в логарифмическом масштабе

Закключение. Результаты данной работы связаны с исследованием возможности получения когерентного рентгеновского излучения при прохождении относительно заряженного электронного пучка через кристалл. В последнее время появилось много исследований, связанных с высокоэнергетическим спектром резонансного рентгеновского излучения [3, 4], которые демонстрируют возможность получения дополнительных импульсов излучения с большим углом отклонения по сравнению с направлением движения электрона в лазерной трубке.

Литература

1. Radical increase of the parametric x-ray intensity under condition of extremely asymmetric diffraction / O. Skoromnik, V. Baryshevsky, A. Ulyanenko, I. Feranchuk // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2017. – Vol. 412. – P. 86–92.
2. Фурс, А. Н. Потенциалы электромагнитного поля произвольного распределения зарядов и токов в калибровке Кулона / А. Н. Фурс // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. – 2017. – Т. Physics, № 1. – P. 43–51.
3. Skoromnik, O. Parametric x-ray radiation in the smith-purcell geometry for non-destructive beam diagnostics / O. Skoromnik, I. Feranchuk, D. Lu // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. – 2019. – Vol. 444. – P. 125–134.
4. Benediktovitch, A. Quantum theory of superfluorescence based on two-point correlation functions / A. Benediktovitch, V. P. Majety, N. Rohringer // Phys. Rev. A. – 2019. – Vol. 99, №. 1. – P. 013839 (18 pp.).