

## Дополнение к статье „Об излучении гармоник в рентгеновских лазерах на свободных электронах с изменяемым параметром дипольности ондуляторов“ (2021, том 91, вып. 12. с. 1881–1894)

© К. Жуковский

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет,  
119991 Москва, Россия  
e-mail: zhukovsk@physics.msu.ru

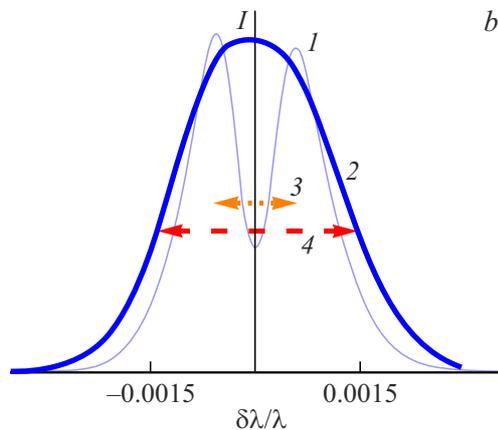
Поступило в Редакцию 3 марта 2021 г.  
В окончательной редакции 8 апреля 2021 г.  
Принято к публикации 13 апреля 2021 г.

Даны пояснения в отношении рассчитанных и построенных теоретически графиков спектральной плотности излучения некоторых рентгеновских лазеров на свободных электронах (ЛСЭ). Разъяснено, что представленные ранее графики спектральной плотности следует интерпретировать как оценочные в отношении ширины линий спектра, а не как представляющие реальные форму линии излучения ЛСЭ. Ключевые слова: лазер на свободных электронах, линия спектра, спектральная плотность излучения.

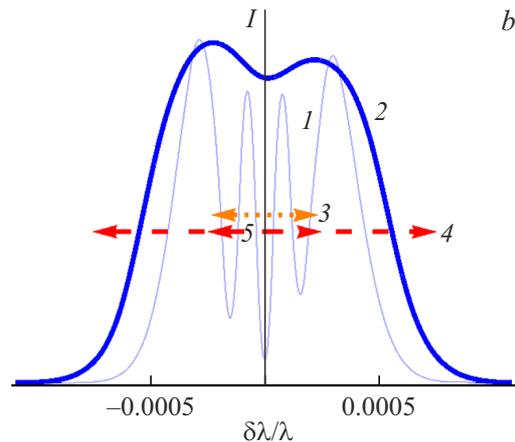
**Ключевые слова:** лазер на свободных электронах, линия спектра, спектральная плотность излучения.

DOI: 10.21883/JTF.2023.06.55613.pravka2

В работе [1] следует правильно понимать графики на рис. 1, *b*, 2, *b*, 4, *b* и 5, *b*. Рассчитанная нами теоретически и показанная на этих графиках синяя (в онлайн версии) осциллирующая линия не представляет форму спектральной линии ЛСЭ, как можно ошибочно подумать. Синяя осциллирующая линия дает представление о расщеплении и уширении спектральной линии излучения из-за конечной ширины пучка и связанных с этим бетатронных эффектов. С целью избежать недопонимания полученных результатов, их неверную трактовку и пояснить смысл рисунков в работе, мы представляем новые рисунки, где жирная синяя (в онлайн версии)

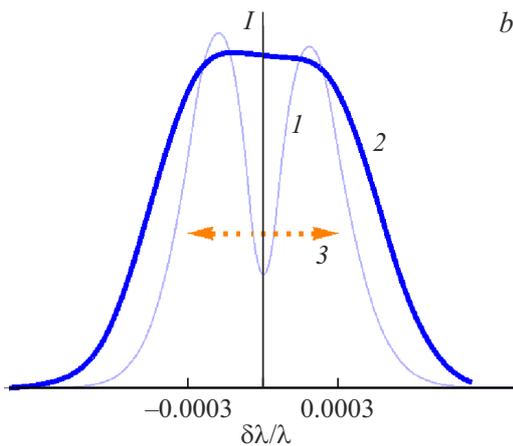


**Рис. 1. *b*** — спектральная плотность излучения  $\lambda = 11 \text{ nm}$  ЛСЭ FLASH 2 ЛСЭ FLASH2 с  $E = 757 \text{ MeV}$ ,  $\sigma_e = 0.5 \text{ MeV}$ ,  $I_0 = 600 \text{ A}$ ,  $\gamma\epsilon_{x,y} = 1.4 \text{ mm} \times \text{mrad}$ . 1 — расщепление линии, 2 — огибающая и оценка ширины линии спектра, 3 — стандартная оценка ширины линии излучения SASE, 4 — экспериментальная ширина линии.

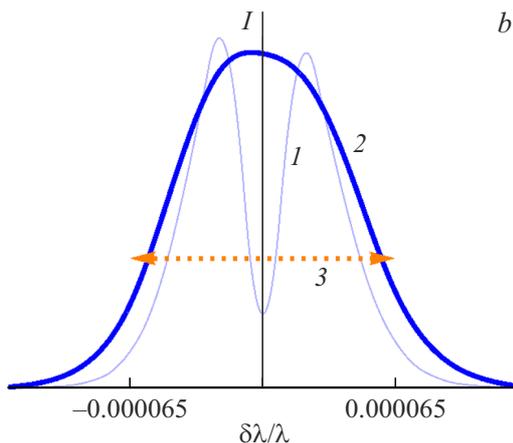


**Рис. 2. *b*** — спектральная плотность излучения  $\lambda = 0.1 \text{ nm}$  ЛСЭ SwissFEL с  $E = 5.8 \text{ GeV}$ ,  $I_0 = 2.0 \text{ kA}$ ,  $\sigma_e = 0.0125\%$ ,  $\gamma\epsilon_{x,y} = 0.2 \text{ mm} \times \text{mrad}$ . 1 — расщепление линии, 2 — огибающая и оценка ширины линии спектра, 3 — стандартная оценка ширины линии излучения SASE, 4 — максимальная экспериментальная ширина, 5 — минимальная экспериментальная ширина линии.

огибающая представляет рассчитанную нами ширину линии излучения ЛСЭ. В большинстве случаев это уширение превышает или не уступает ширине линии ЛСЭ SASE с самоусилением спонтанного излучения. На обновленных рисунках мы продемонстрировали рассчитанную нами таким образом спектральную плотность синей жирной огибающей линией, а расщепление внутри нее показано тонкой синей линией как и на соответствующих рисунках в [1]. Отметим, что согласие с экспериментально измеренными значениями спектральной плотности (красная штриховая линия (в онлайн



**Рис. 4.**  $b$  — спектральная плотность излучения  $\lambda = 0.378$  nm ЛСЭ LCLS-II  $E = 4$  GeV,  $I_0 = 700$  A,  $\sigma_e \approx 0.46$  MeV,  $\gamma_{e,x,y} = 0.45$  mm  $\times$  mrad. 1 — расщепление линии, 2 — огибающая и оценка ширины линии спектра, 3 — стандартная оценка ширины линии излучения SASE, нет экспериментальных данных о ширине линии.



**Рис. 5.**  $b$  — спектральная плотность излучения  $\lambda = 0.25$  nm ЛСЭ LCLS-II  $E = 4$  GeV,  $I_0 = 700$  A,  $\sigma_e \approx 0.46$  MeV,  $\gamma_{e,x,y} = 0.45$  mm  $\times$  mrad. 1 — расщепление линии, 2 — огибающая и оценка ширины линии спектра, 3 — стандартная оценка ширины линии излучения SASE, нет экспериментальных данных о ширине линии.

версии) со стрелками на концах) для практически всех рассмотренных в работе ЛСЭ, а также других основных ЛСЭ, действующих в мире, оказывается существенно лучше для теоретически рассчитанной нами ширины линии (жирная синяя огибающая), чем для стандартной оценки ширины линии SASE (оранжевая линия (в онлайн версии)), соответствующей спектральной плотности  $\delta\lambda/\lambda \approx \sqrt{\rho\lambda_u/L_s} \approx \rho$ , где  $\delta\lambda$  — ширина линии,  $\lambda$  — длина волны излучения ЛСЭ,  $\rho$  — параметр Пирса,  $\lambda_u$  — период ондулятора,  $L_s$  — длина насыщения ЛСЭ.

Автор заявляет о поддержке гранта МинОбрНауки 075-15-2021-1353.

## Список литературы

- [1] К. Жуковский. ЖТФ, **91** (12), 1881 (2021). DOI: 10.21883/JTF.2021.12.51752.51-21 [K. Zhukovskii. Tech. Phys., **67** (3), 221 (2022).]