Лазерные источники ультрарелятивистских электронов, гамма-излучения и частиц высоких энергий

DOI: 10.34854/ICPAF.2023.50.2023.1.1.010

1,2Андреев Н.Е.

1Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия, andreev@ras.ru
2Московский физико-технический институт (НИУ), г. Долгопрудный, Россия

Интенсивные пучки фотонов и частиц в МэВ диапазоне энергий являются эффективными инструментами во многих областях исследований, таких как создание и диагностика вещества в экстремальных состояниях в экспериментах по УТС, ядерная физика и материаловедение, а также в медицинских и биофизических приложениях. Рассмотрены различные процессы лазерно-плазменного ускорения электронов, начиная с механизма кильватерного ускорения в режиме самомодуляции лазерного импульса [1]. Этот режим генерации ультрарелятивистских электронов лежит в основе создания платформы для диагностики сжатого вещества мишени в ряде крупных лабораторий, ведущих исследования в области термоядерного синтеза с инерционным удержанием [2, 3].

В настоящее время обсуждается более эффективная концепция создания источников γ-излучения и нейтронов, основанная на генерации релятивистских электронов в режиме прямого лазерного ускорения. Лазерные системы ПВт класса мощности, которые могут генерировать субпикосекундные и фемтосекундные импульсы, сфокусированные до ультрарелятивистской интенсивности, являются хорошими кандидатами для создания сильноточных пучков ультрарелятивистских электронов в протяженной плазме с плотностью, близкой к критической [4, 5], что подтверждено в экспериментах [6, 7]. В этих экспериментах, где полимерные аэрогели низкой плотности, изготовленные в ФИАН [8], использовались для создания плазменных мишеней, была зарегистрирована генерация ультрарелятивистских электронов, гамма-излучения и нейтронов с рекордными эффективностями преобразования энергии лазерного импульса в энергию вторичных источников [9].

Получены и проанализированы зависимости параметров лазерно-генерируемых сгустков электронов и жесткого излучения от интенсивности лазерного излучения и плотности плазмы для субпикосекундных и фемтосекундных лазерных импульсов с учетом текущих и будущих экспериментов [5, 10, 11]. Разработанный подход указывает на возможность значительного увеличения эффективности существующих кДж лазерных систем ПВт класса, используемых для исследований в области термоядерного синтеза с инерционным удержанием, и может быть применен для повышения эффективности широкого класса вторичных лазерных источников, таких как, источники электронов, позитронов, бетатронного и тормозного излучения, протонов и нейтронов различного назначения.

Литература

1. Андреев Н.Е., Горбунов Л.М. УФН. 1999. Т.169. № 1. С.53-56.
2. Joshi C. <https://www.orau.gov/stri/ssap2021/HEDP_Feb17/HEDP_Feb17_3.00pm_Joshi.pdf>
3. Albert F., Lemos N., Shaw J. L. et al., Nucl. Fusion. 2018. 59(3). 032003.
4. Pugachev L.P., Andreev N.E., Levashov P.R., Rosmej O.N. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2016. V. 829. P. 88–93.
5. Andreev N.E., Popov V.S., Rosmej O.N., et al. Quantum Electronics. 2021. 51. 1019–1025.
6. Rosmej O.N., Andreev N.E., Zaehter S., et al., New J. Phys. 2019. V. 21. P. 043044.
7. Rosmej O.N., Gyrdymov M., Günther, et al. Plasma Phys. Control. Fusion. 2020. 62, 115024.
8. Borisenko N.G., Khalenkov A.M., Kmetik V., et al. Fusion Sci. Technol. 2007. 51. 655–64.
9. Günther M.M., Rosmej O.N., Tavana P., et al. Nat Commun, 2022. V. 13. P. 170.
10. Rosmej O.N., Shen X.F., Pukhov A., et al. Matter Radiat. Extremes. 2021. V. 6, P. 048401.
11. Andreev N.E., Umarov I.R., Popov V S. Quantum Electronics. 2022. in press.