

Интерферометрическое исследование сверхзвуковой газовой мишени для лазерного ускорения электронов

С.А. Бычкова

*Новосибирский государственный технический университет
Институт лазерной физики СО РАН*

E-mail: sonya.bychkova@mail.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.216-217

В последние десятилетия ведется активное исследование различных режимов кильватерного ускорения электронов, что обусловлено перспективами создания ускорителей электронов нового поколения, более компактных и менее затратных по сравнению с традиционными линейными и циклическими ускорителями [1,2]. В ИЛФ СО РАН, в лаборатории физики лазеров сверхкоротких импульсов создается установка для лазерно-кильватерного ускорения электронов. Для процесса ускорения частиц необходимо контролировать параметры струи газа и лазерного излучения [3]. Поэтому распределение плотности газа в сверхзвуковой струе необходимо измерять с высокой точностью, обычно для этого используется интерферометрический способ. В данной работе анализируется точность интерферометрических измерений плотности газа интерферометрами Маха - Цендера и с бипризмой Френеля, сравниваются методы восстановления распределений плотности из интерферограмм, представлено интерферометрическое исследование и анализ характеристик сверхзвуковых струй азота, генерируемых двумя соплами Лавалья с разными критическими сечениями.

Звуковая струя азота создавалась звуковым соплом, помещенным в вакуумную камеру. Вакуумную камеру откачивали до 10^{-3} мбар. Сопло работало в импульсном режиме. CCD-камера регистрировала интерференционную картину и была синхронизована с клапаном. Импульсная струя работала под давлением 10 бар. Источником света для интерферометра служил Nd:YAG лазер непрерывного режима с длиной волны 532 нм и мощностью 100 мВт.

Восстановление фазовой картины струи выполнялось по двум интерферограммам: струи и фона, с использованием методов прямого и обратного преобразований Фурье для выделения фазовых искажений. Затем из восстановленной фазовой картины восстанавливалось распределение плотности газа в струе двумя способами: 1) с применением обратного преобразование Абеля и 2) с разложением радиальных распределений плотности по гипергауссовым функциям [3].

Для обработки интерферограмм, использовалась программа, написанная на языке программирования python.

Исследования интерферограмм сверхзвуковых и звуковых струй азота показали, что звуковые колебания, которым подвержен интерферометр Маха-Цендера, отсутствуют в интерферометре с бипризмой. Поэтому точность и воспроизводимость восстановления фазовой картины объекта в последнем случае возрастают. Сравнив два метода восстановления плотности газа в струе, выяснили, что методы, в пределах допустимой погрешности, дают одинаковый результат. Метод с разложением радиальных распределений плотности по гипергауссовым функциям позволяет получить полностью симметричное

распределение плотности газа осесимметричного объекта – струи. Исследовались сверхзвуковые струи азота, формируемые сверхзвуковыми соплами Лавалья с выходными диаметрами 1.5 и 1.7 мм, критическими диаметрами d_{cr} 350 и 750 мкм и углом раствора 14° . Изучение радиальных распределений плотности газа в сверхзвуковых струях (рис. 1.) показало, что струя, генерируемая соплом Лавалья с $d_{cr}=750$ мкм, в центральной области которой распределение плотности газа почти не меняется, лучше подходит в качестве мишени для изучения лазерного ускорения частиц.

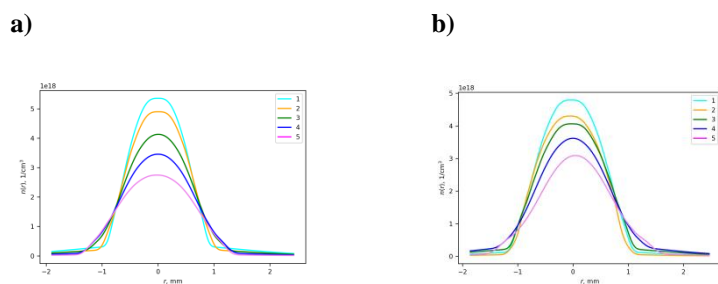


Рис. 1. Радиальные распределения плотности газа в сверхзвуковой струе на различных расстояниях от выхода сопел Лавалья с $d_{cr}=350$ мкм (a) и $d_{cr}=750$ мкм (b); расстояние от поверхности сопла (мм): 1 – 0, 2 – 0.32, 3 – 0.64, 4 – 0.97, 5 – 1.29.

Литература

- [1] E. Esarey, C. B. Schroeder, W. P. Leemans, *Rev. Mod. Phys.* **81**, 1229–1285 (2009).
- [2] F. Albert, A. G. R. Thomas, S. P. D. Mangles et al., *PFCF* **56**, 084015 (2014).
- [3] S.V. Avtaeva, K.V. Gubin, V.I. Trunov, P.V. Tudev, *JOSA A*, **36**(5), pp. 910-917 (2019).

Научный руководитель – док. физ.-мат. наук С.В. Автаева