

УДК 524.83

Возможности использования процесса самофокусировки рентгеновских импульсов в плазме для передачи энергии на большие расстояния в космосе

Хачатуров Рубен Владимирович^(*)

rv_khach@yahoo.ie

ФИЦ ИУ РАН, Москва, Россия

Аннотация. Описана математическая модель процесса самофокусировки цилиндрических рентгеновских импульсов в плазме, учитывающая симметрию импульса относительно направления его распространения. Предложено использование метода множества эквивалентности для решения обратной задачи определения начальных параметров плазмы и импульса по форме прошедшего через нее цилиндрического рентгеновского импульса и динамике его максимальной интенсивности. Показано, что сфокусированные высококогерентные рентгеновские импульсы могут быть использованы для передачи энергии на большие расстояния в космосе.

Ключевые слова: математическое моделирование, рентгеновские импульсы в плазме, самофокусировка, передача энергии в космосе, обратные задачи, метод множества эквивалентности (ММЭ)

Введение. Рентгеновские лазеры и другие источники сверхкоротких рентгеновских импульсов высокой интенсивности получают все большее распространение в различных областях науки и технологии, поэтому математическое моделирование сложных процессов их взаимодействия с веществом становится все более необходимым. В данной работе описана математическая модель самофокусировки осесимметричных рентгеновских импульсов в плазме [1] и возможности использования этого явления и процесса для переноса энергии в пространстве нашей Вселенной [2–5] на большие расстояния.

Материалы и методы; результаты. В цилиндрической системе координат и безразмерных нормированных величинах математическая модель исследуемого процесса имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial z} - i\delta \left(\frac{\partial^2 A}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial A}{\partial \rho} - v n A \right) &= 0, \\ n \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \alpha V \frac{\partial V}{\partial \rho} \right) &= -\alpha \frac{\partial n}{\partial \rho} - n \left(\beta E + \gamma \frac{\partial |A|^2}{\partial \rho} \right), \\ \rho \frac{\partial n}{\partial t} &= -\alpha \frac{\partial (n V \rho)}{\partial \rho}, \\ \frac{\partial (E \rho)}{\partial \rho} &= \rho (1 - n). \end{aligned} \tag{1}$$

где $A(\rho, z, t)$ — амплитуда импульса; $V(\rho, z, t)$ — скорость свободных электронов плазмы; $n(\rho, z, t)$ — концентрация свободных электронов плазмы; $E(\rho, z, t)$ — напряженность э/м поля; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \nu$ — параметры модели, приведенные ниже в размерном виде; i — мнимая единица.

Система уравнений (1) дополняется следующими начальными и граничными условиями:

$$\begin{aligned} A(\rho, z > 0, t = 0) &= 0, \quad V(\rho, z > 0, t = 0) = 0, \\ E(\rho, z > 0, t = 0) &= 0, \quad n(\rho, z > 0, t = 0) = 1, \\ A(\rho, z = 0, t) &= \frac{1}{\cosh \rho} \exp \left[-(t - t_0)^2 / 2 \right], \\ \frac{\partial A}{\partial \rho}(\rho, z, t) \Big|_{\rho=0, \rho \rightarrow \infty} &= 0, \quad \frac{\partial n}{\partial \rho}(\rho, z, t) \Big|_{\rho=0, \rho \rightarrow \infty} = 0, \\ V(\rho, z, t) \Big|_{\rho=0, \rho \rightarrow \infty} &= 0, \quad E(\rho, z, t) \Big|_{\rho=0, \rho \rightarrow \infty} = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Параметры модели (1), (2) определяются следующим образом:

$$\alpha = \frac{V_0 \tau_p}{d}, \quad \beta = \frac{4\pi e^2 n_0 d \tau_p}{m V_0 \epsilon_0}, \quad \gamma = \frac{\pi e^2 \tau_p I_0}{m^2 \omega^2 c V_0 d}, \quad \delta = \frac{c^2 \tau_p}{2 d^2 \omega}, \quad \nu = \frac{\omega_p^2 d^2}{c^2}, \quad (3)$$

где $\omega_p^2 = \frac{4\pi e^2 n_0}{m}$ — плазменная частота; e, m — заряд и масса покоя электрона; n_0 — начальное значение концентрации свободных электронов плазмы; ϵ_0 — низкочастотная диэлектрическая проницаемость; I_0 — максимальная интенсивность входного импульса.

Как показали вычислительные эксперименты [1], в результате самофокусировки интенсивность рентгеновского импульса может увеличиться в десятки и даже сотни раз (рис. 1).



Пример результата самофокусировки рентгеновского импульса в плазме

Закключение. Сфокусированные в плазме лазерные импульсы рентгеновского излучения характеризуются высокой концентрацией энергии и слабым рассеянием, поэтому могут быть использованы для передачи энергии на большие расстояния в космическом пространстве.

Список источников

- [1] Хачатуров Р.В. Математическое моделирование самофокусировки осесимметричных рентгеновских импульсов в плазме. *ЖВМ и МФ*, 1999, т. 39, № 12, с. 2086–2097.
- [2] Хачатуров Р.В. Пятимерная модель Гипервселенной и возможные этапы освоения космического пространства. *Актуальные проблемы российской космонавтики. XXXV академических чтений по космонавтике: сб. тр.* Москва, Комиссия РАН, 2011, с. 277–278.
- [3] Хачатуров Р.В. Математическая модель Гипервселенной и ее применение для оценки возможностей освоения космического пространства. *Гагаринский сборник. Матер. XXXVIII общественно-науч. чтений, посв. памяти Ю.А. Гагарина: сб. тр.* Воронеж, Научная книга, 2011, с. 414–425.
- [4] Khachaturov R.V. Theoretical possibility of transferring matter between parallel universes in accordance with the Hyperuniverse theory. *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171, pp. 090001(1)–090001(6).
- [5] Khachaturov R.V. General structure of multidimensional closed time from the Hyperuniverse theory point of view. *AIP Conference Proceedings*, 2021, vol. 2318, art. no. 080003.