

Сверхсветовые источники электромагнитного излучения в астрофизике

И.В. Долженков¹, Н.А. Кравец¹, В.А. Кулешова^{2,*},
А.В. Солдатов¹, Е.С. Столмакова¹, А.В. Терехин¹, В.А. Терехин¹
¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

Россия, Нижегородская область, 607188, г. Саров

²Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в г. Саров.

Россия, Нижегородская область, 607328, г. Саров

(Поступила в редакцию 24.06.2024; подписана в печать 23.08.2024)

В докладе рассмотрен вопрос о моделировании в лабораторных условиях электромагнитного излучения, регистрируемого от астрофизических сверхсветовых источников. В частности, отмечена одна из теорий возникновения радиоизлучения пульсаров, предполагающая генерацию сверхсветовых источников в закручивающейся плазме звезды. В качестве лабораторного образца, потенциально способного имитировать такое излучение, предложено рассмотреть генератор сверхширокополосных электромагнитных импульсов (СШП ЭМИ), запатентованный ИОФ РАН и РФЯЦ-ВНИИЭФ. Отмечено, что для решения поставленной задачи, необходимо внести изменения в технологию изготовления экспериментальных образцов данного генератора. Приведены и проанализированы предварительные оценки характеристик генератора СШП ЭМИ модифицированной конструкции.

PACS: 52.72.+v

УДК: 537.5

Ключевые слова: пульсар, радиоизлучение, сверхсветовые источники электромагнитного излучения, лабораторное моделирование, эллиптический излучатель, уравнения максвелла, компоненты электромагнитного поля.

ВВЕДЕНИЕ

В современной астрофизике до сих пор существуют явления, не имеющие общепринятых, верифицированных физических моделей описания. Не редко это объясняется малым количеством данных от натуральных наблюдений.

Относительно новый и перспективный подход к исследованию таких явлений заключается в их моделировании на специальных установках с использованием потоков лазерной и электроразрядной плазмы. Данное направление исследований в мировом научном сообществе получило название «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика». Одна из задач «Лабораторной астрофизики» заключается в поиске возможностей моделирования радиоизлучения сверхсветовых источников астрофизической природы.

Известно, что предельной скоростью переноса материи и различных полей является скорость света в вакууме. Вместе с тем есть явления, в которых происходит перенос нематериальных объектов со сверхсветовой скоростью. Это фазовая скорость волн в плазме, различного вида маяковые «зайчики», точка пересечения волнового фронта и поверхности и т.п. Существует теория о том, что излучение пульсаров может быть объяснено генерацией сверхсветовых источников в закручивающейся плазме звезды. Впервые такое предположение было сделано В.Л. Гинзбургом и Б.М. Болотовским [1]. Позже сотрудник LANL Н. Ardavan с коллегами, развил эту гипотезу, рассмотрев для описания свойств электромагнитного излучения пульсаров зада-

чу об излучении сверхсветового поляризованного тока, движущегося по окружности [2].

Интересно отметить, что характерной особенностью спектра электромагнитного излучения пульсаров является его широкополосность. Поэтому актуальным для лабораторного моделирования излучения этих объектов является создание источника широкополосного излучения.

1. ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ СШП ЭМИ НА БАЗЕ ФОТОДИОДОВ С ЛАЗЕРНЫМ ИНИЦИИРОВАНИЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ АСТРОФИЗИКИ

1.1. Генератор СШП ЭМИ на базе фотодиода с лазерным иницированием

РФЯЦ-ВНИИЭФ и ИОФ РАН запатентован способ генерации сверхсветовых вакуумных токов, основанный на облучении коротко-импульсным лазерным излучением вакуумного диода, состоящего из фотоэмиссионного катода параболической или эллиптической формы и прозрачного анода [3, 4]. Схематично облик такого генератора (излучателя) представлен на рис. 1. Создаваемый ток электронов эмиссии распространяется вдоль поверхности диода со сверхсветовой скоростью и является источником сверхширокополосного электромагнитного излучения.

Стандартная технология изготовления экспериментальных образцов указанного генератора СШП ЭМИ предусматривает однородное нанесение фотоэмиссионного покрытия на всю внутреннюю поверхность катода. Чтобы получить сверхсветовой источник, аналогичный разработанному в LANL, достаточно нанести фотоэмиссионное покрытие в виде спиральной ленты (см.

* Ya.vitalia31-01@yandex.ru

рис. 2).

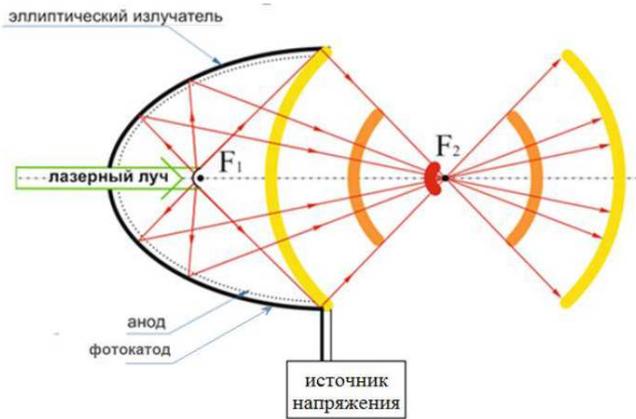


Рис. 1. Схема генерации ЭМИ в излучателе с эллиптической электродной системой: а — излучатель № 1, б — излучатель № 2

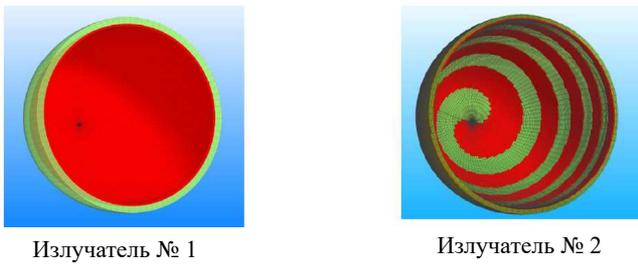


Рис. 2. Примеры нанесения фотоэмиссионного покрытия (окрашено красным цветом) на металлический катод (окрашен зеленым цветом) генератора: а — однородное нанесение на всю поверхность катода, б — в виде спиральной ленты (в данном случае с шириной и шагом 2 см)

Рис. 2. В РФЯЦ-ВНИИЭФ разработаны также расчетные методики [5, 6], позволяющие моделировать процессы генерации и распространения СШП ЭМИ в рабочем объеме рассматриваемого генератора и пространстве вокруг него

1.2. Расчетные характеристики генератора СШП ЭМИ на базе фотодиода с лазерным иницированием

Проанализируем полученные с использованием численного алгоритма [6] временные зависимости продольных и поперечных компонент электромагнитного поля в дальней волновой зоне эллиптических излучателей СШП ЭМИ, модельно представленных усеченными наполовину эллипсоидами вращения с диаметром выходной апертуры 24 см, длиной 18 см, величиной межэлектродного промежутка 1 см, нагружаемого напряжением 1000 кВ, и отличающихся друг от друга способом задания источников на внутренней поверхности эллипсоида (см. рис. 3 и 4).

В излучателе № 1 источники возбуждаются от апертуры осесимметрично, однородно, а в излучателе № 2 — по раскручивающейся спиральной ленте с шириной и шагом 2 см (см. рис. 2).

Компоненты электромагнитного поля посчитаны на расстоянии $R = 8F = 107.36$ см от внешнего фокуса F_2 эллипсоида для фиксированного угла $\varphi = 0^\circ$ и различных значений аксиального угла θ . Для излучателя № 2 помимо временных зависимостей компонент E_θ и H_φ представлены зависимости для компонент E_φ и H_θ .

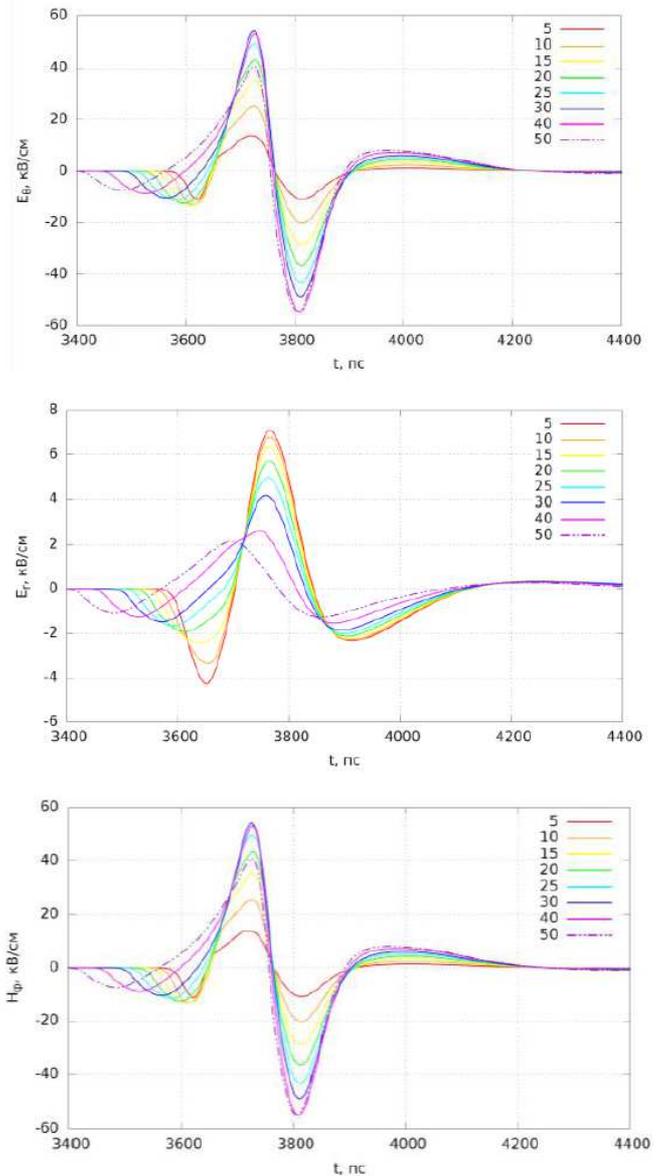


Рис. 3. Временные зависимости компонент выходного ЭМИ для излучателя № 1, рассчитанные на сфере радиусом $R = 107.36$ см с центром в точке F_2 при углах $\theta = 50; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500$ и угле $\varphi = 0^\circ$

Анализируя представленные данные, можно сделать следующие выводы:

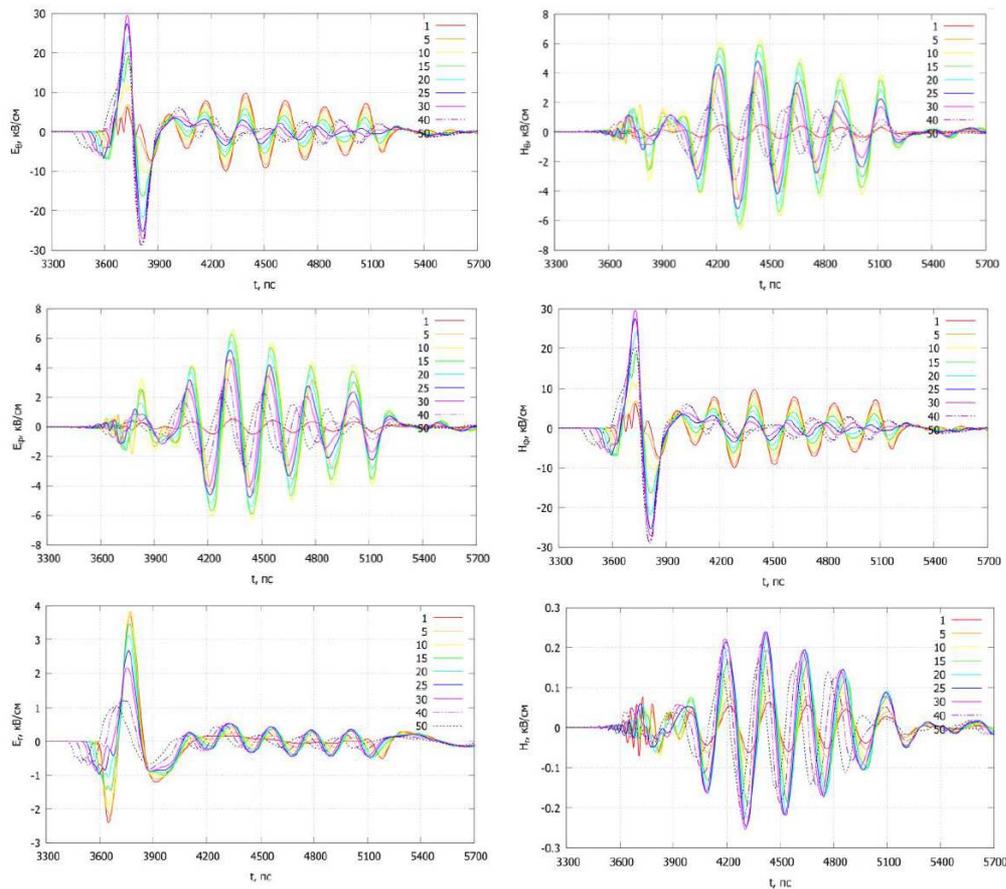


Рис. 4. Временные зависимости компонент выходного ЭМИ для излучателя № 2, рассчитанные на сфере радиусом $R = 107.36$ см с центром в точке F_2 при углах $\theta = 50; 100; 150; 200; 250; 300; 400; 500$ и угле $\varphi = 0^\circ$

1. для обоих вариантов излучателей $E_\theta = H_\varphi$, а для излучателя № 2 $E_\varphi = -H_\theta$. Это говорит о том, что на расстоянии $R = 8F$ от т. F_2 уже сформировалась пространственная картина излучения;
2. амплитудные значения продольной компоненты E_r электромагнитного поля примерно на порядок меньше амплитуд поперечных компонент E_θ, H_φ и в 2 раза меньше амплитуд компонент E_φ и H_θ , а компонентой H_r можно пренебречь, что также указывает на переход из ближней волновой зоны в дальнюю;
3. для обоих излучателей временные зависимости компонент E_θ, H_φ имеют ярко выраженную двухполярную структуру. Однако, в случае излучателя № 2 после импульса, содержащего большую часть излученной энергии, наблюдаются осцил-

ляции, связанные с отражениями формируемого излучения от внутренней поверхности эллипсоида. Амплитуда этих осцилляций может достигать до трети от амплитуды основного импульса в приосевой области и уменьшается при удалении от оси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлены предварительные оценки характеристик разработанного в РФЯЦ-ВНИИЭФ и ИОФ РАН генератора СШП ЭМИ, который потенциально может рассматриваться как прототип для создания установки, способной в лабораторных условиях моделировать излучение, регистрируемое от сверхсветовых источников астрофической природы.

Исследование выполнено в рамках направления № 10 «Экспериментальная лабораторная астрофизика и геофизика» научной программы Национального центра физики и математики.

[1] Болотовский Б.М., Гинзбург В.Л. // УФН. **106**. 577 (1972).

[2] Ardavan H. // Mon. Not. R. Astr. Soc. **268**. 361 (1994).

- [3] Патент № RU2175154C2. Генератор электромагнитных импульсов. *Бессараб А.В., Дубинов А.Е., Лазарев Ю.Н., Мартыненко С.П., Москаленко В.Е., Солдатов А.В., Терехин В.А.* Заявлено 15.11.1999. Опубликовано 20.10.2001.
- [4] Патент № RU2738959C1. Генератор электромагнитных импульсов. *Букин В.В., Гарнов С.В., Долматов Т.В., Терехин В.А., Трутнев Ю.А.* Заявлено 15.05.2020. Опубликовано 21.12.2020
- [5] *Голубев А.И., Долженков И.В., Солдатов А.В.* // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Математическое моделирование физических процессов». вып. 3. 3. (2008).
- [6] *Долженков И.В., Кравец Н.А., Солдатов А.В., Столмакова Е.С.* // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Математическое моделирование физических процессов». вып. 3. 42 (2021).

Super luminal sources of electromagnetic radiation in astrophysics

I.V. Dolzhenkov¹, N.A. Kravets¹, V.A. Kuleshova^{2,a}, A.V. Soldatov¹, E.S. Stolmakova¹, A.V. Terekhin¹,
V.A. Terekhin¹

¹FSUE «RFNC — VNIIEF»

Sarov, 607188, Nizhny Novgorod region Russia

²Lomonosov MSU Sarov Branch

Sarov, 607328, Nizhny Novgorod region Russia

E-mail: ^aYa.vitalia31-01@yandex.ru

The report discusses simulation of electromagnetic radiation recorded from astrophysical superluminal sources in laboratory conditions. In particular, we focus on one of the theories of radio emission origin from pulsars, which assumes the generation of superluminal sources in a swirling plasma star. A generator of ultra-wideband electromagnetic pulses, patented by the Institute of General Physics of the Russian Academy of Sciences and the Russian Federal Nuclear Center -VNIIEF is proposed to consider as a laboratory device potentially capable of simulating such radiation. It is noted that in order to solve the problem, it is necessary to make changes to the technology for manufacturing experimental units of this generator. Preliminary estimates of characteristics of the modified structure of the specified generator are described and analyzed.

PACS: 52.72.+v.

Keywords: pulsar, radio radiation, superluminal sources of electromagnetic radiation, laboratory modeling, elliptical emitter, Maxwell's equations, components of the electromagnetic field.

Received 24 June 2024.

Сведения об авторах

- Долженков Игорь Валерьевич — ст. науч. сотрудник; тел.: (831) 302-76-09, e-mail: IVDolzhenkov@vniief.ru.
- Кравец Наталья Анатольевна — ст. науч. сотрудник; тел.: (831) 302-87-16, e-mail: NAKravets@vniief.ru.
- Кулешова Виталия Алексеевна — e-mail: Ya.vitalia31-01@yandex.ru.
- Столмакова Евгения Сергеевна — науч. сотрудник; тел.: (831) 302-84-55, e-mail: ESStolmakova@vniief.ru.
- Солдатов Александр Васильевич — доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник; тел.: (831) 302-81-30, e-mail: AVSoldatov@vniief.ru.
- Терехин Антон Владимирович — нач. научно-исследовательской лаборатории; тел.: (831) 302-72-78, e-mail: AVTerekhin@vniief.ru.
- Терехин Владимир Александрович — доктор физ.-мат. наук, гл. науч. сотрудник; тел.: (831) 302-72-78, e-mail: VATerekhin@vniief.ru.