

А.В. БЕРЕЗИН, В.Д. ЛЕВЧЕНКО, А.М. ФЕДОТОВ

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ВАКУУМА

Проведено моделирование сигнала поляризации вакуума для ряда стандартных постановок. Впервые приведено сравнение результатов моделирования сигнала фотон-фотонного рассеяния с новейшими аналитическими результатами. Исследовано влияние формы временной огибающей лазерных импульсов на величину сигнала.

A.V. BEREZIN, V.D. LEVCHENKO, A.M. FEDOTOV

National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

## MODELING SIGNALS OF POLARIZED VACUUM

A vacuum polarization signal is simulated for a number of standard tests. For the first time, the results of the photon-photon scattering signal simulation are compared with the latest analytical results. The influence of the laser pulse temporal envelope shape on the signal magnitude is investigated.

Учет флуктуаций квантового вакуума приводит к дополнительным слагаемым в эффективном лагранжиане электромагнитного поля. Эти слагаемые определяют нелинейные поправки к уравнениям Максвелла, которые позволяют рассматривать поляризованный внешнем полем вакуум как нелинейную среду. Такая среда может проявлять ряд потенциально наблюдаемых на эксперименте эффектов, в частности: двойное лучепреломление [1], генерация гармоник [2], фотон-фотонное рассеяние [3] и др. [4].

Описание сигналов поляризованного вакуума сопряжено с рядом трудностей, к которым можно отнести как саму нелинейную структуру поправок, затрудняющую аналитическое описание, так и необходимость учета формы реальных лазерных импульсов. Для разрешения указанных проблем все чаще применяется численное моделирование нелинейных уравнений Максвелла [5].

Мы провели моделирование ряда эффектов поляризованного вакуума (рис. 1) с помощью нового трехмерного кода, решающего нелинейные уравнения Максвелла. Код реализует схему метода решеточных уравнений Максвелла [6], адаптированную для учета нелинейной среды и использует локально-рекурсивный нелокально-асинхронный алгоритм (LRnLA) [7] для эффективного распараллеливания вычислений. Проведены стандартные тесты, верифицирующие работу кода. Впервые приведено сравнение сигнала эффекта фотон-фотонного рассеяния в численном моделировании с самыми новыми аналитическими результатами [3]. Исследовано влияние формы временной огибающей лазерных импульсов на величину сигнала.

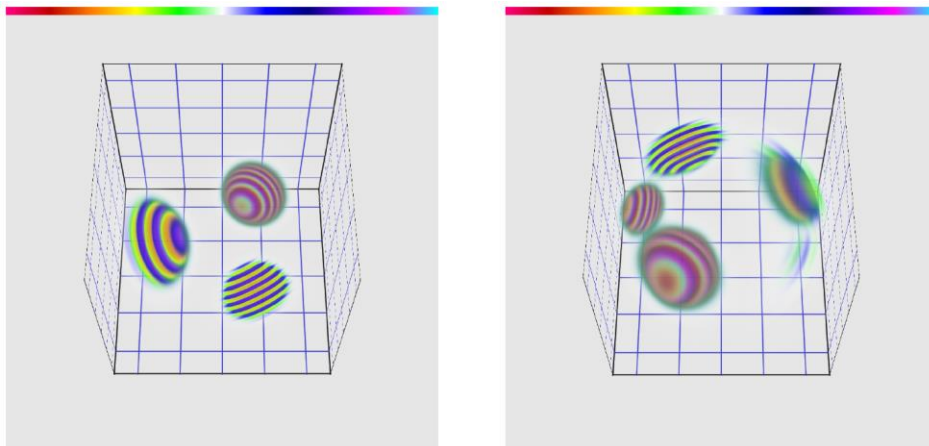


Рис. 1. Генерация сигнала поляризации вакуума при столкновении трех гауссовых лазерных импульсов: исходные положения импульсов (левая панель); излучение, генерируемое за счет эффекта фотон-фотонного рассеяния после столкновения импульсов (правая панель). Наблюдаемый дополнительный импульс (правая панель, слева по центру) соответствует детектируемому сигналу на утроенной частоте.

### Список литературы

1. Grismayer T. et al. // *New Journal of Physics*. 2021. Т. 23. №. 9. С. 095005.
2. Böhl P., King B., Ruhl H. // *arXiv preprint*. 2015. № 1503.05192.
3. Berezin A. V., Fedotov A. M. // *Physical Review D*. 2024. Т. 110. №. 1. С. 016009.
4. Fedotov A. et al. // *Physics Reports*. 2023. Т. 1010. С. 1-138.
5. Zhang Z. et al. // *Communications Physics*. 2025. Т. 8. №. 1. С. 224.
6. Березин А.В. и др. // *Изв. вузов. Радиофизика*. 2025. Т. 68, № 5-6. С. 482–495.
7. Levchenko V., Perepelkina A. // *Communications in Computational Physics*. 2023. Т. 33. №. 1. С. 214-244.