

Фотонное эхо, формируемое линейкой циклотронных осцилляторовВ.Н. Корниенко^{1,*}, А.П. Привезенцев², В.А. Черепенин¹¹*ИРЭ им.В.А.Котельникова РАН. Россия, 125009, Москва, ул. Моховая, д. 11, стр. 72*²*Челябинский государственный университет. Россия, 454136, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, д. 129*

Методами вычислительного эксперимента исследовано формирование периодической последовательности импульсов, генерируемой линейкой активных циклотронных осцилляторов при воздействии на нее внешнего короткого электромагнитного импульса.

PACS: 84.40.-x.

УДК: 537.5.

Ключевые слова: вычислительный эксперимент, фотонное эхо.

Эффект фотонного эха, заключающийся в переизлучении с некоторой временной задержкой падающего на систему атомов светового импульса, известен достаточно давно [1, 2]. Он широко используется в спектроскопии [3], так как параметры импульса эха (в частности, время задержки) позволяют судить о структуре энергетических уровней (зон).

Интересное теоретическое описание рассматриваемого явления дано в [4], где показано, что этот эффект – линейный. В [5] были рассмотрены энергетические характеристики отклика системы возбужденных линейных осцилляторов, обладающих дискретным набором частот, на короткий падающий импульс. Как и следовало ожидать (согласно [4]), в такой системе формируется периодический отклик. При этом суммарная энергия последовательности излученных импульсов не превышает поглощенной осцилляторами энергии падающего поля. Если же осцилляторы являются нелинейными, то можно ожидать, что суммарная энергия излученного ими поля будет превосходить поглощенную.

Целью данной работы является исследование характеристик электромагнитного поля, формируемого несколькими широкополосными ансамблями циклотронных осцилляторов, расположенных на прямолинейном отрезке заданной длины.

Рассмотрим двумерную прямоугольную область пространства, границы которой являются прозрачными для поля излучения. В центральной части расположено несколько широкополосных ансамблей циклотронных осцилляторов, каждый из которых представлен набором заряженных частиц, движущихся в однородном магнитном поле, направленном перпендикулярно рассматриваемой области. В начальный момент времени частицы обладают конечной кинетической энергией, причем распределение частиц по частоте вращения имеет линейчатый характер. Расстояние между спектральными линиями одинаково. Для каждой частоты частицы равномерно распределены по фазе вращения. Центры циклотронных орбит частиц каждого ансам-

бля совпадают. Центры всех ансамблей расположены на отрезке прямой, длина которого существенно превосходит максимальную длину волны, соответствующую минимальной частоте вращения. В дальнейшем такое расположение частиц будем называть линейкой ансамблей. При описанных условиях рассматриваемая система в начальный момент времени имеет нулевой суммарный дипольный момент и не излучает.

Пусть под некоторым углом к нормали линейки ансамблей падает короткий (длительностью в один период) импульс электромагнитного излучения, спектральная ширина которого перекрывается линейчатым спектром каждого из ансамблей. Исследуем динамику поля, формируемого собственно заряженными частицами.

В данном случае определить динамику поля можно путем решения самосогласованной системы уравнений, включающей в себя уравнения Максвелла в пространственно-временном представлении и уравнения движения заряженных частиц. Построение решения будем проводить при помощи численных методов, используя алгоритм, описанный в [5].

Зададим, не ограничивая общности, следующие значения параметров. Величина ведущего магнитного поля 21 кГс, диапазон распределения частиц по начальным кинетическим энергиям – от 100 до 500 кэВ, суммарный ток одного ансамбля 5 А, центральная частота падающего импульса 40 ГГц, его амплитуда 1 Гс.

Проведенный вычислительный эксперимент показал, что линейка ансамблей формирует две последовательности импульсов фотонного эха, отличающихся направлением распространения. Направление первой совпадает с направлением распространения падающего импульса, направление второй соответствует направлению зеркально отраженной от линейки волны.

На рис. 1 показана зависимость энергии поля, рассчитанной по всей области моделирования, от времени. Значения нормированы на энергию подающего импульса. Период следования импульсов составил 1,5 нс, что соответствует исходно заданному расстоянию между спектральными линиями ансамбля (~ 670 МГц).

Таким образом, в рассмотренной системе формируется периодический отклик (фотонное эхо), суммарная энергия которого существенно превосходит энер-

*E-mail: korn@cplire.ru

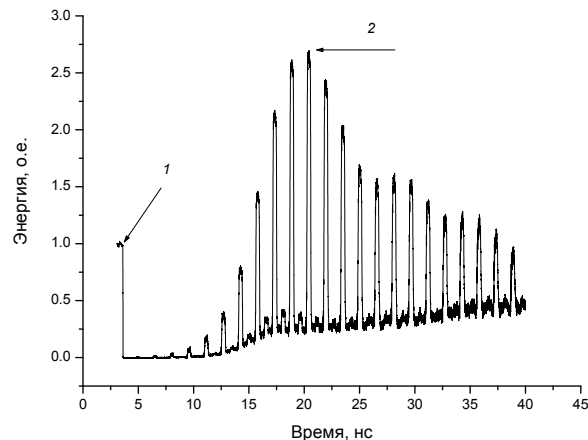


Рис. 1: Зависимость энергии электромагнитного поля от времени. 1 — падающий импульс, 2 — импульсы фотонного эха

гию падающего электромагнитного импульса.

-
- [1] *Kurnit N.A. et al.* Phys. Rev. Letters. **13**. P. 567. (1964).
 [2] *Hill R.M., Kaplan D.E.* Phys. Rev. Letters. **14**. No 26. P.1062. (1965).
 [3] *Манькин Э.А., Самарцев В.В.* Оптическая эхоспектроскопия (М.: Наука, 1984).
 [4] *Дубецкий Б.Я., Чеботаев В.П.* Письма в ЖЭТФ. **41**, Вып.6. С.267. (1985).
 [5] *Корниенко В.Н., Привезенцев А.П., Черепенин В.А.* Журнал радиоэлектроники. № 10. (URL <http://jre.cplire.ru/jre/oct13/10/text.html>). (2013).
 [6] *Корниенко В.Н., Черепенин В.А.* Радиотехника и электроника. **48**, № 6. С.758. (2003).

Photon echo formed by the line of the cyclotron oscillators

V. A. Cherepenin¹, V. N. Kornienko^{1, a}, A. P. Privezentsev²

¹*Kotelnikov's Institute of Radioengineering and Electronic RAS. Moscow 125009, Russia*

²*Chelyabinsk State University. Chelyabinsk 454136, Russia*

E-mail: ^akorn@cplire.ru

The formation of a periodic sequence of pulses generated by the line of the active cyclotron oscillator when exposed to an external short electromagnetic pulse was investigated by the methods of computational experiment.

PACS: 84.40.-x.

Keywords: computer simulation, photon echo.

Сведения об авторах

1. Корниенко Владимир Николаевич — канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник; тел.: (495) 629-72-79, e-mail: korn@cplire.ru.
2. Привезенцев Алексей Павлович — докт. физ.-мат. наук, профессор; тел.: (3512) 424674, e-mail: pap@csu.ru.
3. Черепенин Владимир Алексеевич — чл.-корр. РАН, заместитель директора; тел.: (495) 629-72-79, e-mail: cher@cplire.ru.