

P2-2001-253

В. С. Барашенков, А. Б. Пестов, М. З. Юрьев*

**ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ ПРОДОЛЬНЫМИ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ**

Направлено в журнал «Радиотехника и электроника»

*Промышленная группа «Интерпром», Москва

В литературе, обычно издаваемой за счет авторов, можно встретить утверждения о передаче сигналов с помощью продольных электромагнитных волн, то есть волн с неравными нулю компонентами A_3 и A_4 векторного потенциала электромагнитного поля и электромагнитной силой, направленной вдоль направления их распространения. Существуют проекты соответствующих устройств, требующие по мнению их авторов экспериментальной проверки. Вместе с тем, с точки зрения классической, основанной на уравнениях Максвелла электродинамики, все попытки наблюдать продольные волны, казалось бы, заведомо обречены на неудачу.

Действительно, инвариантность уравнений электродинамики по отношению к калибровочным преобразованиям потенциала $A_\nu \rightarrow A_\nu + \partial f / \partial x^\nu$, где $f(\mathbf{x}, t)$ — любая функция пространственно-временных координат¹, удовлетворяющая уравнению $\partial^2 f / \partial x_\nu \partial x^\nu = 0$, позволяет выбрать эту функцию таким образом, чтобы скалярная компонента потенциала A_4 была равна нулю. При этом условие Лоренца для поля вдоль направления от генерирующего его заряда к детектору, принимает вид

$$\partial A_\nu / \partial x_\nu = \partial A_k / \partial k = \partial A_x / \partial x = 0,$$

благодаря чему из волнового уравнения

$$\partial^2 A_\mu / \partial x_\nu \partial x^\nu = 0$$

для продольной компоненты A_x (компоненты вдоль выбранного направления) получаем

$$\partial^2 A_x / \partial x^2 - \partial^2 A_x / \partial t^2 = -\partial^2 A_x / \partial t^2 = 0.$$

¹Как обычно, будем предполагать, что греческие индексы принимают значения от 1 до 4, а латинские — от 1 до 3. По повторяющимся индексам предполагается суммирование.

Таким образом, в области между зарядом и детектором электрическое поле плоской волны $E = -\partial A_x / \partial t$ является постоянным и поэтому никакого излучения продольных волн не происходит.

Конечно, при этом сразу же возникает вопрос, а насколько точны уравнения Максвелла и нельзя ли их обобщить таким образом, чтобы стало возможным излучение продольных и скалярных волн? Может быть существуют явления за пределами изученной нами электродинамики, где такие волны могут проявляться? Например, запрет на излучение продольных волн можно было бы устранить, если отказаться от калибровочной инвариантности, предположив, что фотон имеет отличную от нуля массу покоя. Однако для этого пока нет ни экспериментальных, ни теоретических оснований. Другая возможность – ввести в уравнения электродинамики нелинейные члены, однако сравнение предсказаний максвелловской электродинамики с опытом демонстрирует согласие с точностью до сотых долей процента вплоть до расстояний $\sim 10^{-16}$ см, поэтому нелинейные добавки (взаимодействие электромагнитных волн между собой) крайне малы.

Продольные волны будут излучаться, если допустить, что время, как и пространство, является многомерным и в нашем мире существуют дополнительные временные направления, скрытые от нашего наблюдения, поскольку окружающая нас часть вселенной эволюционирует вдоль определенной временной траектории и поэтому отсчитываемое вдоль нее время воспринимается нами как одномерное. В рамках многовременного формализма, после наложения условия Лоренца, остаются нетрансверсальные компоненты электромагнитного поля [1],[2]. Тем не менее, обсуждаемая гипотеза, хотя и не противоречит эксперименту, но пока не имеет экспериментального подтверждения [3].

В рамках квантовой теории поля вопрос о продольных и скалярных волнах приобретает несколько другое содержание, чем в классической теории. Несмотря на рассмотренный запрет излучения волн с

продольной поляризацией, электромагнитный потенциал с такой поляризацией все же можно использовать для передачи информации, если вспомнить, что этот потенциал включает в себя также скалярную, кулоновскую часть. С квантовой точки зрения она возникает благодаря обмену взаимодействующих зарядов виртуально испускаемыми и поглощаемыми фотонами с различной, в том числе с продольной и скалярной поляризацией.

Представим себе, что в нашем распоряжении имеются два заряда, один из которых можно передвигать, а второй прикреплен к пружине динамометра. Перемещение первого заряда будет фиксироваться изменениями показаний динамометра, а порожденные изменениями скоростей зарядов волны с поперечной поляризацией могут быть устранены экранированием или сделаны неизмеримо малыми при достаточно медленном перемещении генерирующего заряда. Такое устройство будет передавать информацию в том числе и за счет продольной и скалярной компонент электромагнитного поля. Очень малые смещения заряда-детектора на больших расстояниях можно попытаться фиксировать, используя, например, резонансные устройства, разработанные для измерения смещений $\sim 10^{-21} - 10^{23}$ см в детекторах гравитационных волн.

Как было отмечено Ю. М. Широковым с соавторами, в принципе можно зафиксировать на макроскопических расстояниях передачу даже единичных виртуальных фотонов, если воспользоваться для этого мёссбауэровским излучением при возбуждении виртуальными фотонами уровней двух взаимодействующих атомов [4].

Передачу информации на большие расстояния целиком за счет продольного электромагнитного поля можно осуществить с помощью макроскопического квантового эффекта, обусловленного изменением фазы волновой функции заряженной частицы при ее движении во внешнем электромагнитном поле. В отличие от классической теории, где движение частицы зависит лишь от электрического и магнитного по-

лей \mathbf{E} и \mathbf{H} , квантовое уравнение Шредингера содержит все четыре компоненты потенциала A_ν и движение частицы чувствительно к виду A_ν , в том числе его продольной компоненты, даже, когда электрическое и магнитное поля исчезают, $E = H = 0$, в рассматриваемой области. С таким случаем мы встречаемся, когда электрическое и магнитное поля локализованы в какой-либо пространственно ограниченной области – например, внутри соленоида или волновода. Вне этой области векторный потенциал $\mathbf{A} = (A_1, A_2, A_3)$ обязан быть отличным от нуля, поскольку в силу теоремы Стокса интеграл $\oint \mathbf{A} d\mathbf{r}$ по замкнутому контуру, который охватывает рассматриваемую область, равен магнитному потоку сквозь этот контур.

Как известно, вокруг очень длинного (в пределе бесконечного) соленоида, питаемого постоянным током J , электрическое и магнитное поля равны нулю, в то время как их векторный потенциал \mathbf{A} отличен от нуля:

$$\mathbf{E} = \mathbf{H} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{A}(\mathbf{r}) \equiv (0, A_\varphi, 0), \quad A_\varphi = \Phi/2\pi r,$$

где $\Phi = \pi R^2 H_{\text{вн}} = 4\pi R^2 nJ$ – поток постоянного магнитного поля $H_{\text{вн}}$ внутри соленоида радиуса R , n – число витков с током на единицу его длины, r – расстояние от оси соленоида (в цилиндрических координатах).

Если электрон огибает соленоид, то при перемещении его из точки \mathbf{r}_1 в точку \mathbf{r}_2 происходит "набег" фазы его волновой функции

$$\Psi(\mathbf{r}_1, t_1) \equiv \rho(\mathbf{r}_1, t_1) e^{i\varphi} \rightarrow \rho(\mathbf{r}_2, t_2) e^{i(\varphi + \Delta\varphi)},$$

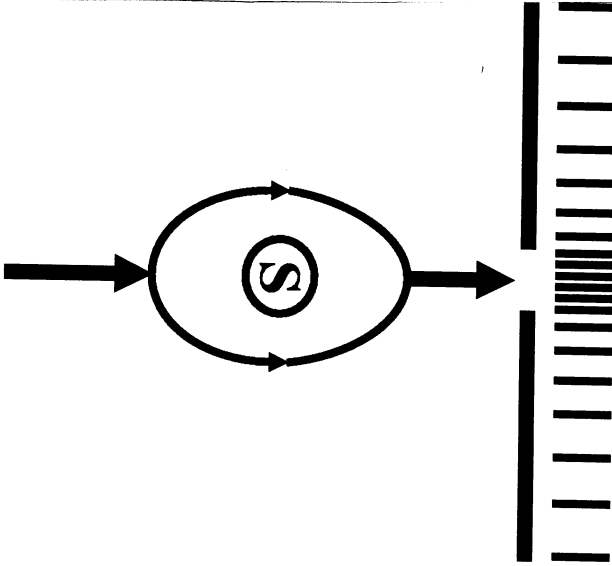
где

$$\Delta\varphi = \frac{e}{\hbar c} \int_{r_1}^{r_2} \mathbf{A} d\mathbf{r}.$$

Отсюда следует, что, расщепив пучок электронов в точке \mathbf{r}_1 на два пучка, огибающих соленоид с разных сторон (по и против движе-

ния часовой стрелки, см. рисунок), и снова соединив пучки в точке \mathbf{r}_2 , получим для разности их фаз следующее выражение

$$\Delta\varphi_1 - \Delta\varphi_2 = \frac{e}{\hbar c} \oint \mathbf{A} d\mathbf{r} = \frac{4\pi e R^2 n J}{\hbar c}.$$



При сложении пучков 1 и 2 в плоскости наблюдения возникает интерференционная картина, если пучки обошли соленоид с разных сторон.

Так как разность фаз не равна нулю, то на опыте будет наблюдаться интерференционная картина при суперпозиции рассматриваемых пучков электронов. Модулируя величину тока в соленоиде J , в принципе можно передавать информацию на весьма значительные расстояния, регистрируя вызываемые этой модуляцией сдвиги интерференционной картины. Излучение волн с поперечной поляризацией, сопровождающее модуляцию тока, можно устранить экранировкой или сделать очень слабым за счет достаточно медленного варь-

рования тока. При этом передача информации будет происходить в известном смысле скрытым образом, поскольку, в отличие от передачи сигналов путем варьирования интенсивности электронного пучка, в рассматриваемом случае продольное электромагнитное поле в окружающем соленоид пространстве все время остается ненаблюдаемым обычными средствами детектирования.

Экспериментально эффект изменения интерференционной картины был наглядно продемонстрирован Мёлленштедтом с сотрудниками (см., например, [5]).

С аналогичным влиянием продольного поля на процессы рассеяния заряженных частиц связан также известный эффект Ааронова-Бома [6],[7].

Как видим, хотя электромагнитные волны с продольной поляризацией существуют лишь в виртуальных состояниях, однако в определенных случаях с их помощью можно осуществить принципиально новый способ передачи информации на большие расстояния. Не оказывая силового воздействия, изменения продольного векторного потенциала A , тем не менее, позволяют с очень больших расстояний фиксировать изменения электромагнитного поля внутри пространственно изолированной системы – например, внутри волновода. Это один из примеров макроскопического проявления квантовых явлений, невозможных с точки зрения классической физики ².

²Отметим, что непротиворечивое описание виртуальных электромагнитных волн, которые соответствуют фотонам с продольной и скалярной поляризациями, представляет собой сложную задачу, требующую привлечения так называемой индефинитной метрики. Стандартный формализм максвелловской теории приводит к трудностям из-за отсутствия явной релятивистской инвариантности, тогда как в явно релятивистски инвариантном случае возникают парадоксы, связанные с появлением частиц обладающих отрицательной энергией [8]

Список литературы

1. E.A.B. Cole. *Nuovo Cimento A*, 1980, **60** 1; *B*, 1985, **85** 105.
2. V.S. Varashenkov, M.Z. Yur'iev. *Nuovo Ciment B*, 1997, **112** , 117.
3. V.S. Varashenkov. *Found. Phys.* 1998, **28** 485.
4. Ю.М. Широков, Н.А.Розанов, М.Л. Харахан. Труды международного совещания по нелокальной квантовой теории поля. ОИЯИ Р2-3590, Дубна, 1967, с.170.
5. В. Буквель *Сверхпроводимость*. Мир, Москва, 1975.
6. Y. Aharonov, D. Bohm. *Phys. Rev.* 1959, **115**, 485.
7. G.N. Afanasiev. *Topological effects in quantum mechanics*. Kluger acad. publishing, Dordrecht, 1999.
8. А. И. Ахиезер, В. Б. Берестецкий *Квантовая электродинамика*. М., Физматгиз, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
3 декабря 2001 года.

Барашенков В. С., Пестов А. Б., Юрьев М. З.

P2-2001-253

Передача информации
продольными электромагнитными волнами

В электродинамике Максвелла существование продольных волн запрещено так называемой калибровочной инвариантностью. Однако эти волны присутствуют в виртуальных квантовых процессах, и с их помощью можно передавать информацию на макроскопические расстояния, используя, например, эффект изменения фазы волновой функции электрона внешним полем соленоида, приводящий к смещению интерференционной картины. При этом связь осуществляется таким образом, что остается скрытой от обычных средств наблюдения.

Работа выполнена в Лаборатории информационных технологий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2001

Перевод авторов

Barashenkov V. S., Pestov A. B., Yuriev M. Z.

P2-2001-253

Transmission of Information
by Longitudinal Electromagnetic Waves

In Maxwell electrodynamics longitudinal wave irradiation is strongly forbidden by the so-called gauge invariance. However, these waves are present in virtual quantum processes and they can be used to transfer information at macroscopic distances by the displacement of the interference picture due to the change of the phase of electron wave function. The transmission can be carried out so that it will be hidden for usual observation.

The investigation has been performed at the Laboratory of Information Technologies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2001

Редактор М. И. Зарубина. Макет Н. А. Киселевой

Подписано в печать 15.01.2002
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,37
Тираж 425. Заказ 53063. Цена 37 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области