

**ЭФФЕКТ ФАРАДЕЯ В ПОЛЕ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ**

Гусельников М.С. (ИТМО), Опарин Е.Н. (ИТМО)

Научный консультант – доктор физико-математических наук, доцент Цыпкин А.Н.
(ИТМО)

Введение. Сегодня область квантовых коммуникаций - одно из приоритетных направлений научно-технологического развития, вследствие высокой потребности государственных структур и бизнеса в предельно защищенных каналах связи [1]. Квантово-защищенные каналы представляют собой оптоволоконные кабели, сопряженные с различными оптическими устройствами: светоделителями, поляризаторами, Брэгговскими решетками и изоляторами. Последние необходимы в квантовых каналах для защиты от посторонней засветки, которая может быть использована нарушителями для атаки на техническую реализацию квантового канала [2]. Оптические изоляторы создаются на основе эффекта Фарадея, который заключается в индуцированном магнитооптической средой вращении плоскости поляризации падающей на среду волны. Угол поворота плоскости поляризации определяется постоянной Верде, которая зависит от дисперсии линейного показателя преломления. Так как в поле высокоинтенсивного излучения показатель преломления вещества меняется, то ожидается, что будет меняться и постоянная Верде. В связи с этим необходимо получить соотношение для нелинейной постоянной Верде, которое возможно численно оценить по известным экспериментальным данным, чтобы установить при каких значениях интенсивности падающего излучения постоянная Верде будет существенно меняться.

Основная часть. В настоящий момент в квантовых линиях связи наиболее распространен двухпроходный поляризационно-независимый изолятор Фарадея. Он представляет собой две секции, каждая из которых состоит из двух двулучепреломляющих призм, между которыми заключена Фарадеевская среда [3]. При прохождении изолятора в прямом направлении излучение произвольной поляризации разбивается на две взаимноортогональные компоненты, распространяющиеся относительно друг друга под некоторым малым углом. Длина Фарадеевской среды и приложенное к ней магнитное поле подобраны таким образом, чтобы угол поворота поляризации составил 45 градусов. После магнитооптической среды излучение попадает на вторую призму, вырезанную таким образом, что две волны с взаимноортогональными поляризациями вновь совмещаются и распространяются дальше.

При распространении излучения в обратном направлении изолятора (в котором может быть произведена потенциальная атака) падающая волна также распадается на две взаимноортогональные компоненты, но в базисе, составляющем угол 45 градусов относительно базиса прямого направления. В Фарадеевской среде каждая из компонент вновь испытывает вращение на 45 градусов, в результате чего формируется исходный поляризационный базис. Однако поляризованные таким образом компоненты разводятся следующей двулучепреломляющей призмой в разные стороны. Поэтому волны с разной поляризацией не совмещаются и не попадают обратно в оптическую систему. Если же вследствие нелинейности плоскость поляризации волн повернется на угол отличный от 45 градусов, то часть излучения пройдет в оптическую систему. В рамках настоящей работы необходимо оценить долю этого излучения.

В классической теории дисперсии отклик атомов вещества на электрическое поле падающего излучения описывается моделью Лоренца. При наличии магнитного поля в нее необходимо добавить выражение для силы Лоренца, а для учета нелинейности – нелинейные слагаемые удерживающего потенциала. Решая такое уравнение в циркулярных ортах, подобно тому, как это делается при описании линейного эффекта Фарадея [4], получаем, что

постоянная Верде в самом деле пропорциональна интенсивности падающего излучения, а коэффициент пропорциональности зависит от коэффициента нелинейного показателя преломления среды.

Выводы. Получено выражение, описывающее зависимость постоянной Верде от интенсивности падающего излучения. Показано, что нелинейная добавка к постоянной Верде зависит от коэффициента нелинейного показателя преломления, линейного показателя преломления и линейной постоянной Верде. Произведены оценки постоянной Верде для наиболее распространенного магнитооптического материала тербий-галлиевого граната. Показано, что для существенного изменения изоляции Фарадеевского изолятора за счет нелинейности необходимы интенсивности порядка 10^{13} Вт/см², при которых уже начинается плазмообразование. Таким образом показано, что нарушитель не сможет провести незаметную атаку на квантовый канал связи путем подачи высокоинтенсивного излучения на изолятор Фарадея в обратном направлении.

Список использованных источников:

1. Pirandola S., Andersen U. L., Banchi L., Berta M., Bunandar D., Colbeck R., Wallden, P. Advances in quantum cryptography //Advances in optics and photonics. – 2020. – №. 4(12). – С. 1012-1236.
2. Ponosova A., Ruzhitskaya, D., Chaiwongkhot P., Egorov V., Makarov, V., Huang, A. Protecting fiber-optic quantum key distribution sources against light-injection attacks //PRX Quantum. – 2022. – №. 4(3). – С. 040307.
3. Shirasaki M., Asama K. Compact optical isolator for fibers using birefringent wedges //Applied Optics. – 1982. – №. 23(21). – С. 4296-4299.
4. Чирцов А.С., Баранов К.Н., Богданов Б.В., Тучин В.С., Цветков А.Р., Шумигай В.С., Физическая оптика – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 207 с.