

УДК 535.015

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИЙ ВАНЬЕ-ШТАРКА В ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМАХ И ВЛИЯНИЕ КЕРРОВСКОЙ НЕЛИНЕЙНОСТИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГЕНЕРАЦИИ

Вербицкий А.В. (ИТМО)

Научный руководитель – доцент, доктор физико-математических наук Юлин А.В. (ИТМО)

Введение. Состояния Ванье-Штарка (ВШ) продолжают привлекать внимание ученых в самых разных областях, например, в перовскитах, в физике конденсированного состояния и в квантовых технологиях. Первоначально эти состояния были определены как собственные моды заряженной частицы, движущейся в периодической системе, которые локализованы под действием электрического поля [1]. Интерференция различных состояний ВШ может приводить к периодическому движению квантовой частицы, то есть к так называемым блоховским колебаниям (БК) [2].

Описанные явления также могут наблюдаться и в оптических системах, где роль внешнего электрического поля может выполнять, например, модулированный показатель преломления. С экспериментальной точки зрения исследование оптических состояний ВШ является более простой задачей, которая может иметь, в том числе, и практические применения. Следует особо отметить, что оптические системы позволяют реализовать явление БК в нелинейном режиме. В частности, при когерентном возбуждении одномерного массива нелинейных микрорезонаторов периодической последовательностью достаточно мощных импульсов возможно возникновение стохастических БК [3].

Известно, что некогерентная накачка приводит к появлению в резонаторах эффективного линейного усиления, что позволяет реализовать лазерный эффект [4]. В случае если резонансная частота линейно зависит от индекса резонатора, рабочими модами лазерной системы могут быть состояния ВШ [5]. При возбуждении одного состояния ВШ лазерное излучение является монохроматическим. Преимуществом такой системы является возможность перестройки частоты излучения геометрическим смещением области накачки. При этом поле рабочей моды может быть локализовано в достаточно большом числе резонаторов, что позволяет увеличить полную мощность генерации. Следует также упомянуть, что тонкая подстройка частоты генерации в таких системах может быть осуществлена созданием градиента температуры в цепочке резонаторов.

Целью настоящей работы является исследование устойчивости лазерной генерации на модах ВШ при наличии зависимости собственных частот индивидуальных резонаторов от интенсивности электромагнитного поля в них (наличия керровской нелинейности).

Основная часть. С помощью численных методов решаются следующие задачи:

- 1) Задача о стационарных режимах при накачке одного резонатора.
- 2) Задача об анализе устойчивости решений.

Результаты выполнения указанных задач могут являться основой для исследования динамики систем с более сложными профилями диссипации.

Для представленных задач выбираются нелинейные потери, которые располагаются либо в резонаторе с накачкой, либо во всех резонаторах. Это можно реализовать за счёт дополнительных поглотителей в системе. Кроме того, керровская нелинейность считается мгновенной, что соответствует мгновенному отклику.

Выводы. Продемонстрированы режимы стационарной генерации в нелинейной оптической системе блоховского типа. Проведён анализ полученных решений. Показано, что керровская нелинейность приводит к дестабилизации одночастотной генерации.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, госзадание 2019-1246.

Список использованных источников:

1. Wannier G.H. Elements of solid state theory // Cambridge University Press. – 1959. – С. 190–193.
2. Bloch F. Uber die Quantenmechanik der Elektronen in Kristallgittern // Z. Phys. – 1929. – Т. 52. – № 7-8. – С. 555–600.
3. Verbitskiy A., Yulin A., Balanov A. G. Chaotic Bloch oscillations in dissipative optical systems driven by a periodic train of coherent pulses // Physical Review A. – 2023. – Т. 107. – № 5. – С. 053519.
4. Zhang Q., Shang Q., Su R., Do T.T.H., Xiong Q. Halide perovskite semiconductor lasers: materials, cavity design, and low threshold // Nano Letters. – 2021. – Т. 21. – № 5. – С. 1903–1914.
5. Verbitskiy A., Yulin A. Excitation of Wannier-Stark states in a chain of coupled optical resonators with linear gain and nonlinear losses // arXiv preprint arXiv:2307.02841. – 2023.