

ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертационную работу
Евгения Викторовича Аникина
“Туннелирование и многофотонный резонанс
в модели квантового нелинейного осциллятора”
представленную на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Диссертационная работа Е.А. Аникина посвящена исследованию простейшей модели нелинейного осциллятора с Керровской нелинейностью во внешнем поле. Эта модель рассматривалась теоретически во многих работах. Однако ряд вопросов, касающихся динамики и кинетики квантового осциллятора, оставался нерешённым. В частности, для исследования туннелирования между областями фазового портрета либо использовался квазиклассический подход, либо пертурбативно вычислялась только многофотонная амплитуда перехода. Полный анализ, учитывающий все порядки разложения теории возмущений или все порядки квазиклассического разложения, не проводился. Также не было изучено аналитически влияние туннелирования на кинетику и не был исследован профиль максимумов интенсивности, соответствующих многофотонным резонансам. Кроме того, не рассматривался вклад малых нелинейностей высшего порядка, в то время как он важен из-за резонансного характера туннелирования. И наконец, недостаточно изучены спектры флуоресценции системы.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и 6 приложений. Во введении проведено обоснование актуальности выбранной темы, определены цели и задачи диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость работы, сформулированы выносимые на защиту положения.

В первой главе проведён обзор известных теоретических результатов для модели классического нелинейного осциллятора в резонансном внешнем поле, подверженного действию случайной ланжевенской силы (шума). Рассмотрена классическая динамика без шума, показано наличие двух устойчивых состояний и гистерезиса в отклике на внешнее поле, рассмотрена структура фазового портрета системы. Также рассмотрена кинетика системы, подверженной действию шума и диссипации. Из-за шума амплитуда осциллятора становится случайной функцией времени, и становятся возможными флуктуационные переходы между стационарными состояниями. Уравнения Ланжевена переписываются в виде уравнения Фоккера-Планка на функцию распределения в фазовом пространстве, а из двумерного уравнения Фоккера-Планка выведено одномерное уравнение на функцию распределения, усреднённую по классическим траекториям.

Во второй главе автор рассматривает модель квантового нелинейного осциллятора во внешнем поле, рассматриваемая как изолированная система. Сначала модель рассмотрена в приближении среднего поля и анализируются состояния, соответствующие малым осцилляциям около классических устойчивых состояний. Затем получены выражения для волновых функций системы в

квазиклассическом пределе и показано, что для достаточно больших отношений расстройки и нелинейности собственные состояния описываются правилом квантования Бора–Зоммерфельда и могут быть отождествлены с дискретным набором траекторий на классическом фазовом портрете. Далее детально исследуется туннелирование между двумя вырожденными областями фазового портрета. После этого рассматриваются собственные состояния системы при точном многофотонном резонансе и вблизи него.

В третьей главе автор изучает кинетику квантового нелинейного осциллятора в резонансном внешнем поле, взаимодействующего с диссипативным окружением. Рассматривается квантовое управляющее уравнение для осциллятора, взаимодействующего с окружением. Обсуждаются его общие свойства, в частности, поведение решения на больших временах. Анализируется кинетика на основе балансного уравнения, справедливого при малых константах связи с окружением. Проводится вывод одномерного уравнения Фоккера Планка в квазиэнергетическом представлении. Также проводится вывод туннельного члена в уравнении Фоккера–Планка, который необходим, чтобы получить аналитические выражения для функций распределения вблизи многофотонного резонанса. Наконец, рассмотрено влияние нелинейностей высших порядков на кинетику.

В четвёртой главе изучаются спектры флуоресценции квантового нелинейного осциллятора, пропорциональные фурье-образу корреляционной функции операторов рождения и уничтожения. Продемонстрирована пороговая зависимость спектров от внешнего поля, и показано, что в окрестности порога спектр одновременно содержит две пары пиков, соответствующих двум устойчивым стационарным состояниям. Показано, что спектры в окрестности порога осциллирующим образом зависят от расстройки, что объясняется многофотонными резонансами. Обнаружено, что при нулевых числах заполнения резервуара спектр всегда симметричен относительно центральной частоты. В пределе слабой связи с окружением это объясняется условием детального баланса, выполненным в стационарном состоянии и проверенном численно.

В пятой главе вычислены и проанализированы спектры флуоресценции, полученные на основе подхода в главе 4. Рассмотрен кроссовер между пределами сильной и слабой связи с окружением. Проанализирована зависимость спектров от внешнего поля. Продемонстрирована пороговая зависимость спектров от внешнего поля. Обнаружено, что при нулевых числах заполнения резервуара спектр всегда симметричен относительно центральной частоты.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Диссертационное исследование Е.В. Аникина выполнено на высоком научном уровне. Особенно хотелось бы отметить тщательность приведенных расчетов и их глубокий физический анализ. Высокий уровень диссертации подтверждают публикации в авторитетных научных журналах (4 статьи в *Physical Review A* и одна — в *Lasers Physics Letters*).

К сожалению, текст диссертации Е.В. Аникина грешит недостатками:

1. Из текста диссертации неясно, что сделано до автора, а что самим автором.

2. В списке литературы к диссертации присутствует лишь одна (!) статья из списка 5 публикаций автора по теме диссертации. Тогда возникает естественный вопрос: а остальные заявленные статьи автора имеют ли хоть какое-нибудь отношение к диссертации?

Эта небрежность в тексте вызывает недоумение. Это тем более досадно, потому что результаты диссертации безусловно оригинальны и значительны.

Считаю, что диссертационная работа Е.В. Аникина соответствует специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Автореферат правильно отражает структуру и содержание работы.

Диссертационная работа “Туннелирование и многофотонный резонанс в модели квантового нелинейного осциллятора” полностью удовлетворяет требованиям “Положения о присуждении ученых степеней”, а ее автор Е.В. Аникин заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

Зав. каф. физики колебаний
физического факультета
Московского Государственного Университета
им. М.В. Ломоносова,
доктор физ.-мат. наук



Сергей Петрович Вятчанин
31 июля 2022 г.

Подпись С.П. Вятчанина удостоверяю
декан физического факультета
Московского Государственного Университета
им. М.В. Ломоносова,
доктор физ.-мат. наук, проф.



Николай Николаевич Сысоев
3 августа 2022 г.

Данные оппонента:

Адрес: 119991, ГСП-1, Москва Ленинские горы, МГУ им. М.В.Ломоносова, Дом 1, строение 2, Физический Факультет

Почта: svyatchanin@phys.msu.ru

Тел. 926 316 8271

Список работ оппонента по теме диссертации за последние 5 лет:

1. Vyatchanin S.P., Matsko A.B., “Broadband quantum back action evading measurements of a resonant force” *Physics Letters A*, том 424, с. 127849 (2022), <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2021.127849>, 2.57
2. Vyatchanin S.P., Nazmiev A.I., Matsko A.B. “Broadband dichromatic variational measurement” *Physical Review A*, том 104, № 023519, с. 023519-1-023519-9 (2021), <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.104.023519>, 3.99
3. Poplavskiy M.V., Matsko A.B., Yamamoto H., Vyatchanin S.P. “Diffraction losses of a Fabry-Perot cavity with nonidentical non-spherical mirrors” *Journal of optics*, том 22, № 11 (2020), <http://dx.doi.org/10.1088/2040-8986/abb58e>, 2.97
4. Karpenko A., Vyatchanin S.P. “Dissipative coupling, dispersive coupling, and their combination in cavityless optomechanical systems” *Physical Review A*, том 102, № 2, с. 023513-023513 (2020), <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.102.023513>, 3.99
5. Matsko A.B., Vyatchanin S.P., Lin Yi “On mechanical motion damping of a magnetically trapped diamagnetic particle” *Physics Letters A*, том 384, № 26, с. 126643 (2020), <http://dx.doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126643>, 2.57
6. Nazmiev A., Vyatchanin S.P. “Stable optical rigidity based on dissipative coupling” *Journal of Physics B*, том 52, с. 155401-155412 (2019), <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6455/ab1ecb>, 2.44
7. Matsko A.B., Vyatchanin S.P. “Electromagnetic-continuum-induced non-linearity” *Physical Review A*, том 97, с. 053824-1-053824-7 (2018), <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevA.97.053824>, 3.99
8. Poplavskiy M.V., Matsko A.B., Yamamoto H., Vyatchanin S.P. “On fundamental diffraction limitation of finesse of a Fabry-Perot cavity” *Journal of optics*, том 20, № 7 (2018), <http://dx.doi.org/10.1088/2040-8986/aac7d4>, 2.52
9. Vyatchanin S.P., Matsko A.B. “On sensitivity limitations of a dichromatic optical detection of a classical mechanical force” *Journal of the Optical Society of America B*, том 35, № 8, с. 1970-1978 (2018), <http://dx.doi.org/10.1364/JOSAB.35.001970>, 2.41
10. Matsko A.B., Vyatchanin S.P. “Standard quantum limit of sensitivity of an optical gyroscope” *Physical Review A*, том 98, № 6, с. 063821-1-063821-9 (2018), <http://dx.doi.org/10.1103/physreva.98.063821>, 3.99