

КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ МАЯТНИКА КАПИЦЫ

П.А. Головинский, В.А. Дубинкин

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Исследованы квантовые состояния маятника Капицы в рамках эффективного потенциала, полученного методом усреднения по быстрым осцилляциям. Дана аналитическая оценка спектра энергий стабилизированных состояний с помощью модельного потенциала. Для низших состояний перевернутого маятника получено выражение для спектра в виде энергий гармонического осциллятора, уточненных по теории возмущений. Найдены туннельные поправки к энергиям резонансных состояний в двух ямах эффективного потенциала. Проведено сравнение результатов расчетов структуры колебательных и вращательных спектров маятника Капицы квазиклассическим методом и с помощью численного алгоритма Нумерова.

Ключевые слова: стабилизация Капицы, двухъямный потенциал, квантовые состояния, энергетический спектр, квазиклассическое описание.

Введение

П.Л. Капица в 1951 г. провел систематическое исследование необычных особенностей равновесия жесткого маятника, когда его точка подвеса вибрирует с высокой частотой [1]. Достаточно быстрая вибрация делает верхнее положение устойчивым [2, 3]. Это явление, объясненное с помощью аналитического метода Капицы [4], основанного на асимптотическом разделении быстрых и медленных переменных [5], нашло широкое применение в различных областях классической и квантовой физики.

Динамика нелинейных классических механических систем в высокочастотных полях описывается эффективным не зависящим от времени гамильтонианом. Он получается при последовательном разложении решения по обратным степеням частоты и позволяет исследовать движение в присутствии быстро осциллирующих полей в рамках теории, разработанной для автономных систем [6]. Нелинейная система может быть стабилизирована шумом, так что верхняя точка равновесия маятника становится устойчивой, даже когда шум белый, и простой эффект маятника Капицы не реализуется [7]. Устойчивое вертикальное положение перевернутого маятника возникает и в случае точки подвеса, подвергнутой совместному воздействию высокочастотных гармоник и стохастических сил [8]. Эффект стабилизации за счет вибрации был распространен на сложные упругие системы [9–13], а применение этого подхода к движению заряженных частиц в электромагнитных волнах привело к представлению о силе Миллера [14, 15] и созданию оптического пинцета [16–18].

Явления, подобные эффекту Капицы, возникают в немеханических системах, например, при рассмотрении нелинейного уравнения Шредингера с периодически меняющимся коэффициентом дисперсии для стабилизации импульсов в волоконно-оптических системах [19], а в структурах с поперечным распределением показателя преломления, периодически модулируемого по продольной координате, проявляется ограничение света вследствие динамического захвата [20, 21]. Теория стабилизации на основе метода усреднения допускает обобщение на случай мнимого осциллирующего потенциала. При высокой частоте в нем образуется связанное состояние, способное обеспечить устойчивость оптического резонатора с переменной отражательной способностью [22]. С помощью эффекта Капицы за счет амплитудной и фазовой модуляции достигается стабилизация неустойчивой ветви резонаторных солитонов [23].

Квантовая динамика в высокочастотном поле, как и классическая, описывается эффективным не зависящим от времени гамильтонианом [24, 25]. Этот эффективный гамильтониан определяет состояния, а также величину самого низкого резонанса в модели атомной ловушки [26], экспериментальная реализация которой достигается при сочетании статической конфигурации с внешним переменным электрическим полем [27]. Такое осциллирующее поле захватывает частицы, поскольку в одномерной яме эффективного потенциала всегда существует связанное состояние [28, 29]. Построенные на этом принципе экспериментальные установки с ультрахолодными атомами являются удобным инструментом исследования квантовых систем, далеких от равновесия. В них

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала
«Известия высших учебных заведений. Физика»
осуществляется на платформе
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>