

УДК 537.531

DOI: 10.17223/00213411/64/4/132

*П.О. КАЗИНСКИЙ, В.А. РЯКИН***ИЗЛУЧЕНИЕ ЗАКРУЧЕННЫХ ФОТОНОВ В ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ ОНДУЛЯТОРАХ ***

Получены явные выражения для среднего числа закрученных фотонов, излученных заряженной частицей в эллиптическом ондуляторе, как в классическом приближении, так и с учетом квантовой отдачи. Показано, что для излучения, созданного частицей, движущейся вдоль эллиптической спирали с осью, совпадающей с осью, относительно которой определяется угловой момент закрученных фотонов, выполнено правило отбора: $m + n$ – четное число, где m – проекция полного углового момента закрученного фотона, а n – номер гармоники ондуляторного излучения. Это правило отбора обобщает известные правила отбора для излучения закрученных фотонов круговыми и плоскими ондуляторами и верно как в классическом режиме, так и после учета квантовой отдачи. Указан класс траекторий заряженных частиц, которые излучают закрученные фотоны, подчиняющиеся данному правилу отбора.

Ключевые слова: закрученный фотон, угловой момент, ондулятор, излучение.

Введение

К настоящему времени ондуляторы являются стандартным устройством для генерации мощного электромагнитного излучения с заданными свойствами в различных диапазонах частот. Известно, что круговые и плоские ондуляторы могут быть использованы в качестве ярких источников закрученных фотонов [1–7]. Свойства закрученных фотонов, излучаемых такими ондуляторами, подробно изучены в [1, 8–10]. В данной работе известные ранее результаты обобщаются на случай эллиптических ондуляторов, в которых заряженные частицы движутся по эллиптической спирали. Насколько нам известно, исследования свойств закрученных фотонов, излучаемых заряженными частицами в таких устройствах в недипольном режиме, ранее не проводились. Получим явные выражения для среднего числа закрученных фотонов, создаваемых эллиптическим ондулятором с учетом квантовой отдачи, испытываемой заряженной частицей за счет излучения фотона. В частности, будет доказано правило отбора: $m + n$ – четное число, где m – проекция полного углового момента закрученного фотона на ось ондулятора, а n – номер гармоники ондуляторного излучения. Данное правило отбора согласуется с правилами отбора, которым подчиняются закрученные фотоны, излученные в круговом и плоском ондуляторах [8–10].

Закрученные фотоны – это кванты электромагнитного поля, обладающие определенной спиральностью s , проекцией m полного углового момента на ось, вдоль которой распространяется фотон, проекцией k_3 импульса на эту ось и модулем перпендикулярной составляющей импульса k_{\perp} [11, 12]. Эти стационарные состояния образуют полный набор, являются собственными для оператора проекции полного углового момента на ось 3 и в параксиальном режиме, $k_{\perp}/|k_3| \ll 1$, обладают проекцией орбитального углового момента на эту ось, $l = m - s$. Такие состояния электромагнитного поля используются для создания оптических пинцетов; в микроскопии – для увеличения контрастности изображения; в телекоммуникации и квантовой криптографии, где проекция углового момента играет роль дополнительного квантового числа, несущего информацию; при изучении вращательных степеней свободы квантовых объектов за счет возбуждения закрученными фотонами недипольных переходов (см. обзоры [13–17]). Кроме того, изучение свойств излучения в базисе закрученных фотонов позволяет увидеть такие его свойства, которые сложно обнаружить в плосковолновом базисе фотонов, обычно используемом при описании излучения. На данный момент разработаны различные типы детекторов, позволяющие регистрировать закрученные фотоны и находить количество и квантовые числа закрученных фотонов, из которых состоит приходящее в детектор электромагнитное излучение [18–27]. Поэтому полученные в данной рабо-

* Работа поддержана грантом РФФИ № 20-32-70023.

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>