

Резонансные процессы в активной среде

Д.А. Румянцев*, Д.М. Шленев** А.А. Ярков***

Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова, Россия

В работе рассмотрены различные квантовые процессы с учетом резонанса на виртуальном фермионе.

*E-mail: rda@uniyar.ac.ru

**E-mail:

***E-mail: a12l@mail.ru

1 Введение

2 Резонансные эффекты

Присутствие активной среды (магнитного поля и/или плазмы) приводит к изменению амплитуд микропроцессов, вследствие чего они могут приобретать резонансный характер. Возможны два типа резонанса: на виртуальном заряженном и виртуальном фотоне. Вследствие резонанса вклад микропроцессов в макроскопические характеристики астрофизических процессов, такие как светимость и скорость изменения количества частиц, может многократно увеличиваться.

В сильном магнитном поле поперечная составляющая импульса электрона квантуется. В таком случае энергия электрона определяется так называемым уровнем Ландау n и проекцией импульса вдоль магнитного поля p_z :

$$E_n = \sqrt{1 + p_z^2 + 2\beta n}, \quad (1)$$

где $\beta = B/B_c$, а $B_c = m_e^2 c^3 / e \hbar$. С другой стороны, проекция импульса вдоль постоянного магнитного поля, направленного по оси z , меняется непрерывно. В связи с квантованностью энергетических состояний, в квантовых процессах могут наблюдаться резонансы, связанные с переходами электрона между уровнями Ландау. Среди резонансных процессов особый интерес представляют одно-, двух- и трёхвершинные процессы, поскольку существенное влияние на характеристики астрофизических процессов будут оказывать только реакции, дающие лидирующие по константам связи вклады.

Одновершинные процессы, будучи в замагниченной среде, становятся кинематически разрешены. Особенностью данных процессов можно отметить жесткие кинематические ограничения. Одним из таких процессов является *процесс рождения фотона* $e \rightarrow e\gamma$, также называемый циклотронным или синхротронным излучением. При высоких магнитных полях излучение обусловлено переходами на более низкие уровни Ландау. Следует отметить, что при очень сильных магнитных полях, когда $\beta \sim 0.2$, электроны, находя-

щиеся на более высоких уровнях Ландау, переходят непосредственно на основной уровень, а не на соседний. С другой стороны обратный к процессу рождения фотона процесс поглощения фотона $e\gamma \rightarrow e$ приводит к переходу электрона на высшие уровни Ландау. Другой немаловажный квантовый процесс является *Процесс однофотонного рождения электрон-позитронной пары* $\gamma \rightarrow e^+e^-$. Особенностью данного процесса является то, что фотон эффективно распадается вблизи точек циклотронного резонанса, где поляризационный оператор фотона имеет сингулярности. Однако является подавленным в области ниже порога рождения $\hbar\omega = 2mc^2$.

Двухвершинные процессы. Типичным примером двухвершинного процесса является **комптоновский процесс** $e\gamma \rightarrow e\gamma$. Вблизи циклотронных резонансов сечение комптоновского рассеяния, без учета конечной ширины поглотения электрона, становится бесконечным. В таком случае промежуточный (виртуальный) электрон становится реальным, т.е. его закон дисперсии соответствует массовой поверхности, а комптоновский процесс становится одновершинным процессом. Процесс обратного комптоновского рассеяния может быть эффективным механизмом генерации жёсткого рентгеновского излучения сильно замагниченных нейтронных звёзд. Учёт резонансов в процессе комптоновского рассеяния необходим при построении моделей остывания магнитаров.

Большое магнитное поле может индуцировать новые взаимодействия частиц. Таким образом могут возникать такие фотон-нейтринные процессы, как *конверсия фотона в пару нейтрино-антинейтрино* $\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$ или *излучение фотона нейтрино* $\nu \rightarrow \nu\gamma$. Такие процессы имеют петлевую диаграмму с двумя виртуальными электронами и вершинами как слабого, так и электромагнитного взаимодействия. При плотностях порядка $\rho = 10^9$ г/см³ начинают возбуждаться высшие уровни Ландау виртуального электрона в *фотонейтринном комптоноподобном процессе* $\gamma e \rightarrow e\nu\bar{\nu}$, в результате чего он приобретает резонансный характер. Это может приводить к увеличению эффективности этой реакции, вследствие чего она, наряду с $\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$, может

играть важную роль в остывании нейтронных звезд.

Среди петлевых двухвершинных процессов особое место занимает поляризационный оператор фотона во внешнем поле. Именно он определяет изменение поляризационных и дисперсионных свойств фотона во внешней активной среде. При изучении резонансных эффектов в магнитном поле и плазме оказывается важным учёт радиационных поправок к массе фермиона, что сводится к расчёту массового оператора фермиона как ещё одной петлевой двухвершинной диаграммы.

Кроме этого, интерес представляют процессы с участием гипотетических частиц, таких как аксион – наиболее вероятный кандидат на роль холодной тёмной материи. Возможным механизмом генерации аксионов является резонансный процесс фоторождения на заряженных компонентах среды, $i \rightarrow f + a$.

Трёхвершинные процессы. Кроме того в остывании нейтронных звёзд также играет роль трёхвершинный *процесс двухфотонной аннигиляции* $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$. Среди электромагнитных процессов не менее интересным процессом является *процесс рождения электрон-позитронной пары* $\gamma e \rightarrow ee^+e^-$, который может быть достаточно эффективным для производства e^+e^- -плазмы, в то время, как стандартный механизм при аккуратном учете дисперсионных свойств фотонов становится невозможным. Данный процесс также интересен тем, что в нем наблюдаются резонансы как на виртуальном электроне, так и на виртуальном фотоне. С точки зрения формирования спектра нейтронных звёзд важным является учёт трёхвершинного *процесса расщепления фотона* $\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ и *процесса слияния фотонов* $\gamma\gamma \rightarrow \gamma$, которые выступают, как механизм изменения числа фотонов. При определенных условиях эти процессы могут конкурировать с комптоновским процессом.

3 Заключение

Список литературы