УДК 539.12.01

**УЧЁТ КОНЕЧНОЙ ШИРИНЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭЛЕКТРОНА В КОМПТОНОПОДОБНОМ ПРОЦЕССЕ В ЗАМАГНИЧЕННОЙ СРЕДЕ**

**А.А. Ярков1 , Д.А. Румянцев2, М.В. Чистяков2**

Научный руководитель – **Д.А. Румянцев**, доктор физ.-мат. наук, доцент

1Ярославское военное высшее училище противовоздушной обороны

2Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

*В работе вычислены коэффициенты поглощения фотона для кинематически разрешённых каналов в процессе комптоновского рассеяния в относительно сильном магнитном поле с учётом возможного резонанса на виртуальном электроне. Проведён сравнительный анализ полученных результатов с нерезонансным случаем. Рассмотрена аппроксимация резонансного пика дельта-функцией*

***Ключевые слова*** *комптоновское рассеяние, сильно замагниченная плазма, резонанс, уровни Ландау.*

**ACCOUNTING FOR THE FINITE WIDTH OF THE ELECTRON ABSORPTION IN COMPTON-LIKE PROCESS IN STRONGLY MAGNETIZED PLASMA**

**A.A. Yarkov1, D.A. Rumyantsev2, M.V. Chistyakov2**

Scientific Supervisor – **D.A. Rumyantsev,** Doctor of Physics and Mathematics, Associate Professor

1Yaroslavl Higher Military School of Air Defense

2P. G. Demidov Yaroslavl State University

*In the paper, the photons absorption rate in a relatively strong magnetic field in the Compton process taking into account the resonance on the virtual electron are calculated. A comparative analysis obtained result with a nonresonance case was carried out. The approximate of the resonance peak by the delta function is considered.*

***Keywords:*** *Compton scattering, strongly magnetized plasma, resonance, Landau levels.*

1. **Введение**

В настоящее время является установленным фактом, что наличие магнитного поля в широком классе астрофизических объектов представляет типичную ситуацию для наблюдаемой Вселенной. При этом масштаб индукции магнитного поля может варьироваться в очень широких пределах: от крупномасштабных ( кпк) межгалактических магнитных полей Гс , до полей, реализующихся в сценарии ротационного взрыва сверхновой Гс. При этом особый интерес представляют объекты с полями масштаба так называемого критического значения Гс (В работе используются естественная система единиц, где , — масса электрона, — масса фермиона, — заряд фермиона, — элементарный заряд). К ним, в частности, относятся изолированные нейтронные звезды, включающие в себя радиопульсары и так называемые магнитары, обладающими магнитными полями с индукцией от Гс (радиопульсары) до Гс (магнитары).

Анализ спектров излучения радиопульсаров и магнитаров свидетельствует также о наличии электрон-позитронной плазмы в их магнитосферах с концентрацией порядка значения концентрации Голдрайх–Джулиана [1]:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

где — период вращения нейтронной звезды.

Мы будем рассматривать реакцию комптоновского рассеяния возможного в условиях сильно замагниченных нейтронных звезд с учетом возможного резонанса на виртуальном электроне с учетом изменения поляризационных и дисперсионных свойств фотона.

1. **Коэффициент поглощения фотона в сильном магнитном поле**

В замагниченной плазме, в общем случае, фотон будет обладать эллиптической поляризацией и иметь 3 поляризационных состояния. В пределе и зарядово симметричной плазмы () векторы поляризации будут такими же, как и в чистом магнитном поле[[1]](#footnote-1) [1]

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

где и — импульсы начального и конечного фотонов.

Здесь и далее используются следующие обозначения: , , , и — обезразмеренный тензор поля и дуальный тензор соответственно.

Кинематический анализ с учетом дисперсионных свойств фотона показывает, что возможны 4 парциальных канала рассеяния фотона , , , .

Кроме того, из дисперсионных свойств фотона в магнитном поле следует, что фотон моды 2 в области нестабилен и может распадаться на пару. С другой стороны фотон моды 1 в области стабилен, что заведомо попадает в область резонанса . Следовательно, для изучения резонанса с учетом стабильности фотона достаточно рассмотреть каналы и .

Амплитуда с учётом конечной ширины поглощения электрона может быть получена из результатов работы [2] и представлена в следующем виде

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

— полная ширина поглощения электрона [3], — регулярная величина, и — импульсы начального и конечного электрона.

Определим коэффициент поглощения фотона согласно [2]:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

, . и — энергия начального и конечного электронов соответственно. и проведем численный анализ коэффициента поглощения в сравнении с -функциональным приближением, взятым из работы [4].

На рис. 1 показана вероятность рассеяния при температуре МэВ и величине магнитного поля и . Как видно из рис. 1 вероятность рассеяния для канала согласуется с соответствующими результатами для предела сильного поля и отсутствия резонанса, полученными в работе [2] вплоть до энергий начального фотона МэВ для поля и МэВ для поля . Поэтому результаты работы [2] нужно ограничить до соответствующих энергии начального фотона. Аналогичная ситуация наблюдается и для канала (см. рис. 2). Из рис. 2 наиболее ярко видно завышение коэффициента поглощения при малых энергиях начального фотона. Этот факт связан с тем, что в пределе сильного магнитного поля авторы работы [2] пренебрегали знаменателем в пропагаторе электрона. Следует отметить что при относительно малых температур -функциональная аппроксимация применима в значительно более узком диапазоне энергий фотона.

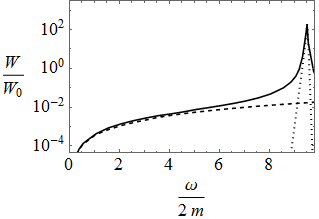
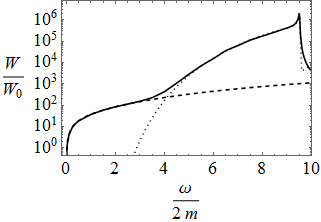


Рис. 1. Сравнительный анализ вероятности рассеяния, вычисленная с помощью формулы (8) (сплошная линия) и -функциональное приближение (пунктирная линия) при поле и температурах (слева) и (справа) для канала при угле между импульсом фотона и направлением магнитного поля — . Здесь .

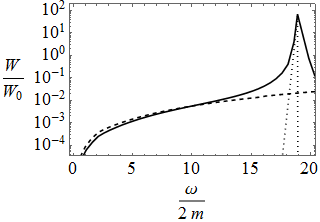
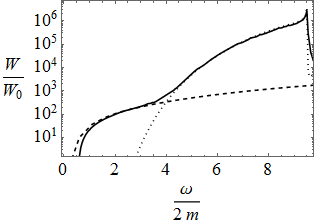


Рис. 2. То же, что и на рис. 1 для канала .

1. **Заключение.**

Вычислено сечение и проведено сравнение с имеющимися литературе результатами. Показано, что в случае высоких температур , когда резонанс оказывает эффект на коэффициент поглощения фотона раньше, чем предполагалось в работе [2] В частности для магнитного поля и температуры МэВ результаты работы [2] следует ограничить до энергий фотона МэВ.

Показано, что использование -функциональной аппроксимации резонансных пиков в области резонансов хорошо согласуется при температуре МэВ c полученными громоздкими численными расчетами. При температуре кэВ -функциональная аппроксимация работает хуже, так как пик становится уже и эффект резонанса наступает позже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Goldreich P., Julian W. H. Pulsar electrodynamics // Astrophys. J. 1969. Vol.

157. P. 869–880.

2. Chistyakov M. V., Rumyantsev D. A. Compton effect in strongly magnetized

plasma // Int. J. Mod. Phys. 2009. Vol. A24. P. 3995–4008.

3. Kuznetsov A. V., Mikheev N. V. Electroweak processes in external electromag

netic fields // New York: Springer-Verlag, 2003. 120 p.

4. Д.А. Румянцев, Д.М. Шленев, А.А. Ярков Резонаны в комптоноподобных процессах рассеяния во внешней замагниченной среде // ЖЭТФ., 152(3):483–494, 2017.

1. Символы 1 и 2 соответствуют и поляризациям в работе (Adler 1971), и — модам в работе (Mushtukov et al. 2016), и — модам в работе (Thompson et al. 1995). [↑](#footnote-ref-1)