



ICRANet

*International Center for Relativistic Astrophysics Network*

**Отзыв на автореферат диссертации Кургузовой О.Э.**

«Формирование и распространение излучения в релятивистских оболочках применительно к гамма-всплескам», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Постановка задач, полученные результаты и список публикаций соискательницы свидетельствуют о научной зрелости и достаточном уровне для присуждения ученой степени кандидата наук. Укажу лишь не несколько моментов, которые, на мой взгляд, требуют внесения изменений в текст диссертации и автореферата.

**По главе 1:**

Обзор литературы хорош, основные источники упомянуты. К сожалению, в обзоре среди перечисленных механизмов излучения отсутствует тепловой механизм, исследованию свойств которого, собственно, и посвящена диссертация. Кроме того, совсем не упоминается излучение высоких энергий, наблюдаемое начиная с 2019 года такими обсерваториями как MAGIC, HESS, LHAASO.

**По главе 2:**

Вывод уравнения диффузии в релятивистской расширяющейся оболочке дан в кандидатской диссертации Сивцова. Основной новый результат соискательницы – это уточнение условия применимости диффузионного приближения, вытекающего из условия слабого отклонения от изотропии.

Легко проверить, что условие применимости диффузионного приближения, выраженное ур. (6) для времени диффузии, заданного ур. (5) совпадает с условием фотонной тонкости оболочки, см. ур. (29) в статье Ruffini, Siutsou, Vereshchagin, *ApJ* 772 (2013) 11. Иными словами, диффузионное приближение на этот момент времени хорошо работает лишь для тонкого слоя вблизи внешней границы оболочки. Для более ранних моментов времени это условие еще более жесткое, см. ур. (5). Однако, источником излучения является как раз внешняя часть оболочки вблизи границы, см. Begue, Siutsou, Vereshchagin, *ApJ* 767 (2013) 139, так что это условие самосогласовано, как показано в цитируемых работах. Замечу, что в автореферате параметр  $\Delta$  не определен.

Не проясненным остается часть первого положения, выносимого на защиту: «Прамежак часу, пры якім магчыма выкарыстанне дыфузійнага прыбліжэння, павялічваецца з глыбінёй ўнутры абалонкі». В задаче речь идет о пространственной диффузии, соответственно, формулировка, на мой взгляд, должна содержать следующее утверждение: «Размер области пространства, в которой применимо диффузионное приближение, растет квадратично со временем».

**По главе 3:**

Важным представляется результат, выраженный уравнением (15), а именно минимальное число членов ряда  $n$ , необходимое для учета в сумме для потока излучения, например в ур. (7). Интересно, что для практических целей вычисления спектров число  $n$  оказывается намного меньше, т.е.  $10^4$  (см. рис. 3) в сравнении с  $10^7$ , полученным из ур. (15).

**По главе 4:**

Диффузия излучения в релятивистской оболочке, движущейся не с постоянной скоростью, является важной, но в то же время, сложной задачей. Хотя вывод ур. (3) не содержит ограничения  $\Gamma = \text{const}$ , само понятие фотонно-тонкой оболочки, излучение которой формируется в результате диффузии фотонов, было введено для оболочки, движущейся с постоянной скоростью. Решение ур. (3) дается формулой (7). Неясно,



ICRANet

*International Center for Relativistic Astrophysics Network*

получено ли решение, описываемое формулой (4.12) в диссертации, подстановкой  $\Gamma \rightarrow \Gamma(t)$  в ур. (3). Складывается впечатление, что в решении, описываемом формулой (3.10) в диссертации, полученном при условии  $\Gamma = \text{const}$ , просто произведена замена  $\Gamma \rightarrow \Gamma(t)$ .

Замечу, что при  $\Gamma(t)$  в ур. (3) зависимость коэффициента диффузии от времени оказывается иной, нежели в случае  $\Gamma = \text{const}$ . В частности, для закона (17) коэффициент диффузии будет зависеть от времени с показателем степени  $2-2s$ . Зависимость от времени исчезает в случае  $s=1$ , т.е. случае радиационного ускорения оболочки с  $\Gamma$ , пропорциональным радиусу. Этот случай рассматривался в работе Ruffini, Siutsou, Vereshchagin, ApJ 772 (2013) 11. Более общий случай с законом (17) рассматривался в работе Vereshchagin, IJMPD 23 (2014) 1430003 для  $s>0$ . Было показано, что диффузия в этом случае не является определяющей, а излучение испускается в момент, когда оболочка становится прозрачной, а именно в фотонно-толстом режиме, причем спектр излучения практически не отличается от теплового.

Наконец, вопросы вызывает свободное использование параметров модели, в частности, времени активности источника, который в данной работе изменяется в широких пределах «ад 1 с да 15000с». Поскольку модель базируется на работе Ruffini, Siutsou, Vereshchagin, ApJ 772 (2013) 11, поясню этот момент. Время активности связано с толщиной оболочки соотношением  $\Delta t = l/c$ . При этом само диффузионное приближение ограничено условием фотонной тонкости, т.е.  $\Gamma^4 l \ll \tau_0 R_0$ . Нужно убедиться, что при росте  $\Delta t$  до рассматриваемых величин параметры модели удовлетворяют условию фотонной тонкости.

Судя по всему, длительность времени, к которому апеллирует соискательница, соответствует лабораторному времени, ур. (5). Однако оболочка приближается к наблюдателю с ультрарелятивистской скоростью, так что длительность сигнала для него будет  $\Delta t / \Gamma^2$ , т.е. порядка секунды, а никак не 15000 с, как предполагается в работе. Никаких других времен наблюдатель не может измерить, поэтому следовало бы пользоваться только «временем прибытия» сигнала.

Сложно также понять утверждение «Пры павелічанні кроку змянення часу ў спектры з'яўляецца другі максімум на высокіх частотах. Гэта можа адпавядаць сітуацыі перыядычнага дзеяння крыніцы гама-ўсплёску.» Для моделирования периодических всплесков требуется вначале построить соответствующую гидродинамическую модель, в рамках которой следует прояснить будет ли излучение формироваться в диффузионном режиме.

В связи со сказанным выше, положение 3, на мой взгляд, недостаточно подтверждается результатами работы.

Несмотря на указанные выше замечания, считаю, что Кургузова О.Э. заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

16 февраля 2026

Д. ф.-м. наук,  
Верещагин Г.В.