

**Водгук афіцыйнага апенента
на дысертацыйную работу Кургузавай Аксаны Эдуардаўны
«Фармаванне і распаўсюджванне выпраменьвання ў рэлятывісцкіх
абалонках у дачыненні да гама-ўсплёскаў», прадстаўленую на суісканне
вучонай ступені кандыдата фізіка-матэматычных навук па
спецыяльнасці 01.04.02 – тэарэтычная фізіка**

1. Аднаведнасць зместу дысертацыі заяўленай спецыяльнасці і галіне навукі

Дысертацыя прысвечана даследванню пачатковага этапу выпраменьвання гама-ўсплёску на аснове дыфузійнага прыбліжэння ўраўнення пераносу выпраменьвання для плазменнай абалонкі, якая пашыраецца з рэлятывісцкай хуткасцю. Даследваліся межы прымянімасці дыфузійнага прыбліжэння ўраўнення пераносу выпраменьвання ў абалонцы, якая рэлятывісцкі пашыраецца; даследвалася залежнасць спектраў выпраменьвання рэлятывісцкай абалонкі ад пачатковага размеркавання энергіі па глыбіні ўнутры абалонкі, праводзілася параўнанне атрыманых спектральных індэксаў з назіральнымі тыповымі значэннямі для гама-ўсплёскаў; даследвалася залежнасць дыфузійных спектраў выпраменьвання рэлятывісцкай абалонкі, якая нераўнамерна пашыраецца, ад характару яе руху, працягласці і перыяду дзеяння ўнутранай крыніцы выпраменьвання, атрыманыя характарыстыкі спектраў параўноўваліся з назіральнымі тыповымі значэннямі для гама-ўсплёскаў. Дысертацыя адпавядае пунктам «Развіццё і прымяненне фундаментальных фізічных канцэпцый, тэорый, метадаў і мадэляў для апісання фізічных з'яў у рэчывах і палях» і «Агульная тэорыя адноснасці (АТА). Рэлятывісцкая астрафізіка. Касмалогія. Класічныя і квантавыя мадэлі гравітацыі па-за межамі АТА» пашпарта спецыяльнасці «01.04.02 – Тэарэтычная фізіка».

2. Актуальнасць тэмы дысертацыі

Тэма дысертацыі адпавядае прыярыцетным накірункам навуковых даследванняў Рэспублікі Беларусь. Работа выконвалася ў межах Задання 2.1.01 «Фізіка часціц і ядзерная спектраскапія ў шырокім дыяпазоне энергій. Апрацоўка новых даных, атрыманых на сучасных паскаральных устаноўках, тэлескопах і ў касмічных промнях, выпрацоўка прапаноў для новых эксперыментальных праектаў. Матэматычныя метады для мадэлявання праблем сучаснай фізікі і астрафізікі» ДПНД «Канвергенцыя-2025».

Даследванне пачатковага этапу распаўсюджвання выпраменьвання ў абалонцы, якая рэлятывісцкі пашыраецца, у тым ліку дыфузіі выпраменьвання, з'яўляецца актуальнай задачай, якая разглядаецца ў дадзенай рабоце. Актуальнасць тэмы абумоўлена тым, што да цяперашняга часу няма пэўнасці ў разуменні фізічных механізмаў звязаных з гама-ўсплёскамі. Працэсы, якія адбываюцца ўнутры рэлятывісцкай плазмы і пры

яе ўзаемадзеянні з асяроддзем, разнастайныя і да гэтага часу не зразумелыя канчаткова; універсальная мадэль, якая магла б апісаць фармаванне выпраменьвання гама-ўсплёску, адсутнічае.

3. Ступень навізны вынікаў, атрыманых у дысертацыі, і навуковых палажэнняў, якія выносяцца на абарону

Палажэнні, якія выносяцца на абарону, заснаваны на ўпершыню атрыманых выніках, сярод якіх трэба адзначыць наступныя:

1. Зроблен аналіз рашэння ўраўнення дыфузіі выпраменьвання ў рэлятывісцкай плазменнай абалонцы пры нулявых межавых і пастаянных пачатковых умовах і ўсталяваны межы прымянімасці дыфузійнага прыбліжэння: час распаўсюджвання выпраменьвання і глыбіня ў абалонцы звязаны так, што глыбіня залежыць ад часу па законе, бліжкім да квадратычнага.

2. Устанаўлена велічыня спектральнага індэксу ў вобласці нізкіх і высокіх энергій для імгненых і інтэграваных па часе спектраў выпраменьвання рэлятывісцкай раўнамерна пашыраюшайся плазменнай абалонкі ў залежнасці ад пачатковага размеркавання інтэнсіўнасці выпраменьвання ўнутры абалонкі па лінейным альбо квадратычным законах.

3. Прадэманстравана, што пры паскарэнні абалонкі паверхня, якая выпраменьвае фатоны з аднолькавым часам прыбыцця, павялічвае сваю плошчу, а пры запавольванні абалонкі – памяншае, у выніку чаго інтэнсіўнасць выпраменьвання таксама памяншаецца.

4. Устаноўлена, што у выпадку паскарэння (запавольвання) рэлятывісцкай плазменнай абалонкі з пачатковым лінейным размеркаваннем інтэнсіўнасці выпраменьвання ўнутры пік патоку выпраменьвання назіраецца на большай (меншай) частаце, а яго значэнне павялічваецца (памяншаецца) адносна атрыманага для абалонкі, якая рухаецца раўнамерна.

4. Абгрунтаванасць і дакладнасць высноў і рэкамендацый, сфармуляваных у дысертацыі

Дакладнасць высноў работы пацвярджаецца публікацыямі ў навуковых выданнях, якія рэцэнзуюцца, у якіх артыкулы прайшлі незалежную экспертызу, і апрабацыяй вынікаў дысертацыі, якія дакладваліся на міжнародных навуковых канферэнцыях. Атрыманыя ў рабоце выразы абгрунтоўваюцца матэматычнымі выкладкамі.

5. Навуковая, практычная, эканамічная і сацыяльная значнасць вынікаў дысертацыі

Атрыманыя ў дысертацыі вынікі ўяўляюць цікавасць з пункту гледжання развіцця фундаментальнай навукі ў галіне рэлятывісцкай астрафізікі, фізікі гама-ўсплёскаў. Яны спрыяюць разуменню працэсаў, якія прыводзяць да фармавання спектраў гама-ўсплёскаў, могуць

выкарыстоўвацца пры аналізе даных назіранняў, пры выкладанні адпаведных дысцыплін у вышэйшых установах адукацыі, падрыхтоўцы спецкурсаў.

6. Апублікаванасць вынікаў дысертацыі ў навуковым друку

Вынікі даследаванняў па тэме дысертацыі апублікаваны ў 12 работах, у тым ліку 5 артыкулаў у навуковых часопісах, якія рэцэнзуюцца і ўключаны ў спіс ВАК РБ, і 7 матэрыялаў і тэзісаў канферэнцый.

7. Адпаведнасць афармлення патрабаванням ВАК

Дысертацыя ўключае ў сябе змест, уводзіны, агульную характарыстыку работы, чатыры главы, заключэнне і спіс выкарыстаных крыніц. Поўны аб'ём дысертацыі складае 117 старонак. Дысертацыя змяшчае 50 малюнкаў. Бібліяграфічны спіс уключае 222 найменні. Дысертацыя і аўтарэферат аформлены ў адпаведнасці з патрабаваннямі ВАК. Тэкст аўтарэферата адпавядае зместу дысертацыі.

8. Заўвагі па дысертацыі

Заўвагі па Главе 1.

У падзеле 1.1.3. пераблытаны назвы рэчава, якое можа існаваць у кваркавых зорках. З пункту гледжання сучаснай тэорыі кваркавых зорак назва “кварк-глюонная плазма” не мае сэнсу, трэба ўжываць назву “кваркавая матэрыя” (quark matter). Далей на старонке 18 у дысертацыі назва “кваркавая матэрыя” пераблытана з назвай “дзіўная кваркавая матэрыя”, якая адпавядае дадзенаму зместу.

Заўвагі па Главе 2.

Падзел 2.2 змяшчае малюнак 3.4, які павінен мець нумар 2.4.

На старонке 47 уводзіцца параметр нарміроўкі часу t_0 , які далей выкарыстоўваецца ў лічбавых прыкладах, але лічбавыя значэнні t_0 адсутнічаюць.

У адпаведнасці з формулай (2.30) функцыя L не мае размернасці. Таму на малюнках функцыі J_0 і J_1 ужо аднарміраваны і не маюць размернасці.

Вынік з першага палажэння, “Трамежак часу, пры якім магчыма выкарыстанне дыфузійнага прыбліжэння, павялічваецца з глыбінёй ўнутры абалонкі, якая залежыць ад часу па законе, бліжкім да

квадратычнага”, атрыман з аналітычнага дыфузійнага рашэння пры нулявых межавых і пастаянных пачатковых умовах. Не зразумела ці гэты вынік залежыць ад пачатковых умоў. Таксама неабходна падкрэсліць, што абалонка рухаецца з пастаяннай хуткасцю.

Заўвагі па Главе 3.

У адпаведнасці з формуламі (3.1-3.5) параметр “а” мае размернасць 1/см, а параметр “b” безразмерны. Далей, на старонке 64 прыведзены лічбавы прыклад з $b=T_0$, дзе $T_0=1$ К. Трэба высветліць сэнс параметра T_0 . На малюнках 3.1-3.3 параметр “а” безразмерны.

У падзеле 3.1.1 інтэнсіўнасць J_1 безразмерная. У падзеле 3.1.2 таксама выкарыстоўваецца інтэнсіўнасць J_1 для знаходжання эфектыўнай тэмпературы T . Такім чынам, трэба высветліць размернасць пастаяннай Стэфана-Больцмана і эфектыўнай тэмпературы ў формулах (3.19-3.22)

Назва «час прыбыцця» (arrival time) адсутнічае ў артыкуле Белабародава [165], на які спасылаецца аўтар дысертацыі на старонке 68. Можна было спаслацца на іншы артыкул, напрыклад [90]: On the Interpretation of the Burst Structure of Gamma-Ray Bursts / R. Ruffini, C. L. Bianco, F. Fraschetti et al. // *ApJ*. — 2001. — Vol. 555. — P. L113–L116.

У падзеле 3.1.3 прыведзены імгненныя спектры для розных значэнняў часу прыбыцця t_a і пры розных параметрах абалонкі. Пры гэтым нічога не сказана пра час выхада выпраменьвання, які павінен мець значэнні, блізкія да часу дыфузіі. Такім чынам, не зразумела, што ўсе імгненныя спектры сапраўды адпавядаюць дыфузійнаму ражыму.

Інтэграваныя па часе спектры знаходзяцца па формуле (3.31) пры змяненні часу прыбыцця t_a ад $t_{\min} = 0,005$ да $t_{\max} = 10$ с з крокам 0,01 с. Не зразумела, як уплывае крок часу на сумаваны спектр, а таксама выбар дадзеных лічбавых значэнняў.

У падзеле 3.2.3 інтэграваныя па часе спектры атрымліваюцца з улікам рознай колькасці першых членаў сумы ў формуле (3.46). З малюнкаў 3.18 і 3.19 добра бачна, што лініі сыходзяцца да нейкага прыдэлу. Такім чынам, можна было павялічыць колькасць членаў у суме прыблізна да гэтага прыдэлу. Спектры, атрыманыя з малай колькасцю першых членаў сумы, фізічнага сэнсу не маюць.

Словазлучэнне “высокаэнергетычны спектральны індэкс”, якое ужываецца ў другім палажэнні і ва ўсёй дысертацыі не зусім удалае. Індэкс - гэта лічба, якая паказвае ступень (нахіл) размеркавання. Лепей выкарыстоўваць выраз “спектральны індэкс у высокаэнергетычнай вобласці”.

Заўвагі па Главе 4.

Малюнак 3.6 на старонке 96 мае нумар 4.8 у тэксце.

У падзеле 4.2.3 атрымліваюцца інтэграваныя па часе спектры, дзе замест часу прыбыцця t_a (як было ў Главе 3) ужываецца час выхада выпраменьвання t . Можна было дадаць час прыбыцця t_a , каб разумець мажлівасць назірання гэтых спектраў. Таксама можна было знайсці новы час дыфузіі для выпадка $\Gamma \neq \text{const}$ і паказаць, што ўсе спектры сапраўды адпавядаюць дыфузійнаму ражыму.

На старонке 97 напісана “...пры павелічэнні кроку змянення часу ў спектры з’яўляецца другі максімум на высокіх частотах. Гэта можа адпавядаць сітуацыі перыядычнага дзеяння крыніцы гама-ўсплёску”. Неабходна высветліць фізічны сэнс кроку змянення часу Δt , які аўтар звязвае з дзеяннем нейкай унутранай крыніцы выпраменьвання. Відавочна, што аболонка не можа імгненна ўключацца і выключацца, як лампачка.

9. Адпаведнасць навуковай кваліфікацыі вучонай ступені, на якую яна прэтэндуе

Азнямленне з тэкстам дысертацыі, аўтарэферата і апублікаваных артыкулаў дазваляе сцвярджаць, што суіскальнік валодае высокай навуковай кваліфікацыяй і заслугоўвае прысуджэння вучонай ступені кандыдата фізіка-матэматычных навук па спецыяльнасці 01.04.02 – тэарэтычная фізіка.

10. Агульнае заключэнне

Дысертацыйная работа Кургузавай Аксаны Эдуардаўны «Фармаванне і распаўсюджванне выпраменьвання ў рэлятывісцкіх абалонках у дачыненні да гама-ўсплёскаў», прадстаўленая на суісканне вучонай ступені кандыдата фізіка-матэматычных навук па спецыяльнасці 01.04.02 – тэарэтычная фізіка, з’яўляецца цэласнай скончанай працай, выкананай на высокім навуковым узроўні і па актуальнай тэматыцы. Дысертацыйная работа адпавядае патрабаванням Вышэйшай Атэстацыйнай Камісіі, якія прад’яўляюцца да

кандыдацкіх дысертацый. Аўтар заслугоўвае прысуджэння ступені кандыдата фізіка-матэматычных навук за наступныя вынікі:

1. Умовы прымянімасці дыфузійнага прыбліжэння да пераносу выпраменьвання ў плазменнай абалонцы, якая пашыраецца з пастаяннай рэлятывісцкай хуткасцю вызначаюцца часам распаўсюджвання выпраменьвання і глыбінёю ў абалонцы так, што глыбіня залежыць ад часу па законе, блізім да квадратычнага.

2. Нераўнамернае пачатковае размеркаванне інтэніўнасці выпраменьвання ўнутры рэлятывісцкай раўнамерна пашыраюшайся плазменнай абалонкі ўплывае на эфектыўную тэмпературу і імгненны спектр выпраменьвання абалонкі.

3. Інтэграваны па часе спектр выпраменьвання рэлятывісцкай плазменнай абалонкі, якая пашыраецца нераўнамерна, уяўляе спектр Банда са спектральнымі індэксамі, якія залежаць ад ступені нераўнамернасці руху абалонкі.

Афіцыйны апанент,
к.ф.-м. наук, дацэнт, с.н.с.
цэнтра «Квантавая оптыка і
квантавая інфарматыка»
Інстытута фізікі НАН Беларусі

М. А. Пракапеня

Я, Пракапеня Мікалай Алегавіч, даю згоду на публікацыю дадзенага водгуку ў адкрытым доступе на афіцыйным сайце Дзяржаўнай навуковай установы «Інстытут фізікі імя Б. І. Сцяпанавы Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі».

