

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка,
доктору фізико-математичних наук,
професору кафедри ядерної фізики і високих енергій
фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
Плюйку Володимиру Андрійовичу

РЕЦЕНЗІЯ

кандидата фізико-математичних наук, доцента,
доцента кафедри ядерної фізики та високих енергій фізичного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Оніщука Юрія Миколайовича
на дисертацію Войцеховського Вадима Вадимовича на тему:
«Acceleration and propagation of ultra high energy cosmic rays in the Local Universe»
«Прискорення та поширення космічних променів надвисоких енергій
в Локальному Всесвіті»,
поданої до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії
з галузі знань 10 «Природничі науки»
за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

На рецензію одержано текст дисертаційної роботи загальним обсягом 143 сторінки. Дисертація складається з Вступу, 4-х розділів, Загальних висновків, Списку літератури, двох Додатків і містить 50 рисунків і 14 таблиць.

Актуальність теми дисертації. Пошук джерел космічних променів надвисоких енергій (КПНВЕ) і досі залишається однією з головних невирішених задач астрофізики високих енергій. Потенційно такими джерелами можуть бути активні ядра галактик, галактики зі спалахом зореутворення, магнетари, галактичні кластери, випадки приливних зривів та інші об'єкти.

Автор зосередився на аналізі фізичних процесів, які спричиняють генерації нетеплового радіо-, гама- та нейтринного випромінювання в потенційних класах цих джерел, що може непрямым чином свідчити про прискорення релятивістських частинок у відповідних об'єктах. Був обґрунтований вибір теми, показаний зв'язок з іншими науковими програмами і грантами, сформульована мета дослідження, наданий перелік основних задач дослідження, основних результатів та вказана наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, надана інформація про публікації та апробацію результатів, вказаний персональний внесок здобувача у отриманні результати.

У Вступі автор наголошує, що пошук джерел КПНВЕ і досі залишається однією з головних невирішених задач астрофізики високих енергій. Потенційно такими джерелами можуть бути активні ядра галактик, галактики зі спалахом зореутворення, магнетари, галактичні кластери, випадки приливних зривів та інші об'єкти. Був обґрунтований вибір теми, показаний зв'язок з іншими науковими програмами і грантами, сформульована мета дослідження, наданий перелік основних задач дослідження, основних результатів та вказана наукова новизна та практична значимість отриманих результатів, надана інформація про публікації та апробацію результатів, вказаний персональний внесок здобувача у отриманні результати.

У першому розділі автор надав огляд методів детектування космічних променів і сучасних типів детекторів, що використовувалися протягом останніх 30-ти років: AGASA,

HiRes, PAO, TA. Також були окреслені перспективи деяких майбутніх проєктів для підвищення чутливості детектування частинок надвисоких енергій (більше 10^{18} eV): K-EUSO, POEMA Nadir, GRAND UHECR, POEMA Limb. Далі були описані спектральні характеристики адронної компоненти космічного випромінювання в залежності від маси, хімічний склад, анізотропію. Детально описані можливі механізми прискорення заряджених частинок: механізм Фермі 2-го порядку, пов'язаний із прискоренням частинок і багатократним стохастичним відбиттям на магнітних площинах в зонах прискорення; вибухове дифузне прискорення та інші. Дана класифікація джерел утворення КПНВЕ: галактичних і надгалактичних. Приділена увага до підходів пошуку джерел КПНВЕ і проблем ідентифікації частинок.

У другому розділі автором використовуючи сучасні дані про космографію Локального Всесвіту було розглянуто низку джерел великомасштабної структури Всесвіту, від яких можна очікувати на Землі потоки КПНВЕ різної інтенсивності. Заряджені частинки рухаючись крізь міжгалактичний простір викривлюють свою траєкторію, а також взаємодіють з фоновим випромінюванням втрачаючи енергію та змінюючи початковий хімічний вміст. На основі аналізу довжин вільного пробігу та відхилення в магнітних полях було зроблено теоретичні оцінки кутів відхилення та послаблення потоку КПНВЕ від розглянутих джерел Локального Всесвіту. Отримані оцінки дозволили виділити потенційні астрофізичні джерела з оптичною товщиною щодо послаблення потоку КПНВЕ внаслідок енергетичних втрат.

У третьому розділі розглянуто скупчення галактик як резервуар космічних променів. Внаслідок великих розмірів та наявності магнітних полів, час виходу космічного променя зі скупчень галактик є більшим за габлівський час. Внаслідок цього заряджені частинки поширюються по всьому об'єму такого скупчення, переприскорюються, втрачають енергію на випромінювання, та повторюють цей цикл. Автором наведені результати чисельного моделювання породженого космічними променями нетеплового гама- та нейтринного випромінювання адронного походження від скупчень галактик Hercules (GC A2151), Coma (A1656). На основі отриманих результатів зроблено оцінку перспективи виявлення цього випромінювання вже існуючими (Fermi-LAT, LHAASO, IceCube) і майбутніми (CTA, IceCube-Gen2) наземними детекторами і зроблено висновок про можливість їх детектування.

У четвертому розділі автор розглядає можливі джерела високоенергетичних частинок і механізми їх прискорення, що стосуються області навколо Галактичного магнетара SGR1900+14. Автором показано, що цей магнетар є потенційним джерелом триплету КПНВЕ. Проведено моделювання нетеплового гамма-випромінювання від магнетара та побудовано теоретичні моделі еволюції цього об'єкта. В рамках побудованих моделей пов'язаних з магнетаром залишку Наднової/ магнетарно-вітрової туманності пояснено спостережні прояви даного магнетара у всіх діапазонах електромагнітного спектру, оцінено перспективи його спостережень та спостережень інших подібних транзієнтних об'єктів діючими та майбутніми гама-обсерваторіями та детекторами КПНВЕ.

У Висновках наведено перелік основних одержаних результатів

Наукова новизна отриманих результатів полягає наступному:

1. На основі аналізу довжин втрат енергії КПНВЕ та відхилення в магнітних полях було зроблено уточнені теоретичні оцінки характерних максимальних відстаней до джерел EHECR у Локальному Всесвіті..

2. Вперше проведено розрахунок зворотних траєкторій зареєстрованих Оже і ТА подій КПНВЕ в Галактичному (GMF) і позагалактичному магнітному полі (EGMF) і визначено потенційні джерела цих подій КПНВЕ в Локальному Всесвіті.

3. Вперше зроблено підвибірку радіогучного АГЯ з подібними спектральними індексами радіосинхротронного та рентгенівського зворотнього комптонівського випромінювання як сигнатури емісії багатохвильових лептонних струменів КПНВЕ.

4. Вперше обґрунтовано зв'язок галактичного магнетара SGR1900+1 з триплетом КПНВЕ, виявленим Оже та ТА КПНВЕ, і пояснено спостережуване багатохвильове випромінювання з області магнетара SGR1900+14 у рамках зв'язаного з магнетаром залишку Гіпернової.

Ступінь обґрунтованості наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації, підтверджується комплексністю проведених досліджень із застосуванням добре апробованих сучасних експериментальних методик, відтворюваністю результатів досліджень. Відомості про **особистий внесок** дисертанта повною мірою наведені в дисертації.

Повнота викладення наукових результатів в опублікованих працях. Список публікацій автора включає 8 посилань, з яких 6 в журналах із списку Scopus, причому одна робота в журналі з квантилем Q1 та ще одна з квантилем Q2. Робота пройшла гарну апробацію: автором було зроблено більше 10 доповідей за останні три роки на вітчизняних та міжнародних конференціях, регулярно робилися доповіді на семінарах в Україні і в Німеччині.

При вивченні дисертації виникають наступні **зауваження та побажання**:

1. На стор. 44 наявне незавершене речення “This phenomenon creates the so-called magnetic lensing effect, which significantly ...”
2. На стор. 50 не пояснене значення терміну FD-spectrum.
3. В першому оглядовому розділі описано значну кількість типів потенційних джерел, деякі з яких (наприклад tidal disruption events, gamma-ray bursts), не були розглянуті в наступних розділах.
4. Стиль викладення роботи: постійно зустрічається слово “ми” замість “я”. Зрозуміло, що пошукач повинен доповідати про власні результати. Тим більше це дивно бачити, тому що у вступній частині дисертації автор чітко виокремив свою частину у спільних наукових дослідженнях, проведених колективом авторів.

Однак, ці зауваження не торкаються основних положень та висновків дисертації, а тому не можуть істотно знизити загальну позитивну оцінку роботи, яка в цілому є завершеним науковим дослідженням.

Загальні висновки. Достовірність положень і висновків, наукова новизна і практична значимість отриманих результатів дають підстави вважати, що дисертаційна робота Войцеховського В.В. «Acceleration and propagation of ultra high energy cosmic rays in the Local Universe» («Прискорення та поширення космічних променів надвисоких енергій в Локальному Всесвіті») є завершеною і самостійною науковою працею, яка відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Вважаю, що Войцеховський В.В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент,
кандидат фіз-мат. наук, доцент,
доцент кафедри ядерної фізики та високих енергій
фізичного факультету
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Юрій ОНІЩУК