

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

доктора фізико-математичних наук,
професора кафедри ядерної фізики та високих енергій фізичного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Аушева Володимира Єгоровича
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 зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 287 найменувань, одного додатку і містить 50 рисунків та 12 таблиць.

Дисертаційна робота В.В. Войцеховського присвячена дослідженню актуальних проблем сучасної астрофізики частинок, а саме високоенергетичної компоненти космічних променів. Безпосередньо предметом дослідження авторів є пошук джерел космічних променів надвисоких енергій, тобто, більше 10^{18} еВ, а також аналізу фізичних процесів у космічних об'єктах, які генерують потоки нейтрино, фотонів і радіопроменів і можуть бути відповідальними за прискорення спостережуваних ультра-релятивістських частинок. Для цього автором проведено дослідження механізмів прискорення космічних променів в скупченнях галактик, активних ядра галактик та магнетарах.

У Вступі автор обґрунтував вибір теми, показав зв'язок з іншими науковими програмами і грантами, сформулював мету дослідження, а саме: дослідження впливу міжгалактичного і міжзоряного середовища на поширення космічних променів надвисоких енергій від потенційних джерел, ідентифікація таких джерел, дослідження можливостей прискорення частинок у скупченнях галактик і магнетарах на основі аналізу вторинного нетеплового гамма-випромінювання та нейтринного випромінювання. Сформульовано перелік

основних задач дослідження, основних результатів та вказана практична значимість одержаних результатів. Дана інформація про публікації та апробацію результатів.

У першому розділі автор дав огляд основної техніки детектування космічних променів, яка використовувалась в останні три десятиліття (зокрема AGASA, HiRes, а також Pierre Auger Observatory і Telescope Array (TA)) і дав коротку характеристику майбутніх проєктів (JEM-EUSO, POEMMA). Також наведено основні характеристики космічних променів (хімічний склад, енергетичний спектр, потоки і т.д.), перелік механізмів прискорення і розглянуто проблеми пошуку джерел частинок ультрависоких енергій (відхилення в магнітних полях, енергетичні втрати).

Другий розділ присвячено детальному розгляду природи і джерел ультрарелятивістських частинок. Використовуючи модель екстра-галактичного магнітного поля EGMF і енергетичні втрати, автор провів розрахунки для можливих джерел в суперкластерах Virgo, Perseus-Pisces та Great Attractor. Також в цьому розділі автор розраховував зворотну траєкторію руху заряджених частинок і по результатам вимірів Auger та TA подій було сформовано перелік можливих джерел (Табл. 5 і 6), хоча для більш точного визначення потрібно значно покращити статистику вимірювань.

В третьому розділі розглянуто галактичні кластери як резервуар космічних променів. Автором проведено моделювання очікуваного нетеплового гамма випромінювання і нейтрино від кластерів Hercules (GC A2151), Coma (A1656). На основі отриманих результатів проведено оцінку перспективи виявлення цього випромінювання вже існуючими (Fermi-LAT, LHASSO, IceCube) і планованими на майбутнє (CTA, IceCube-Gen2) наземними та космічними детекторами і зроблено висновок про можливість їх детектування.

В четвертому розділі автор розглядає можливі джерела високоенергетичних частинок і механізми їх прискорення, що стосуються області навколо магнетара SGR1900+14. Високоенергетичне нетеплове випромінювання гама квантів енергією >100 MeV, а також їх надвисокоенергетична компонента енергією >100 GeV, використовується для зондування процесу прискорення. Автор провів симуляцію процесів і зробив висновок, що випромінювання з цієї області було ініційоване спочатку вибухом наднової близько 2000 років тому (описано в китайських хроніках) на відстані 12.5 кілопарсек. Вказано на три можливі типи джерел (виділивши конкретні індивідуальні джерела) і вважають найбільш прийнятною адронну та лептонну модель випромінювання для опису випромінювання при довжинах хвиль від радіохвиль до гама випромінювання. Хоча на даний час ще бракує експериментальних даних для побудови повністю кількісної моделі процесів, що супроводжуються прискоренням частинок, і визначення характеристик джерел гама-випромінювання, в роботі дається задовільний опис випромінювання в широкому діапазоні хвиль і вказано на зв'язок триплета, спостережуваного колабораціями Auger і TA, із магнетаром SGR1900+14. У Висновках наведено перелік основних одержаних результатів.

Список публікацій включає 8 посилань, з яких 6 в журналах із списку Scopus, причому 2 роботи в журналах з квартилями Q1 та Q2. Робота пройшла гарну апробацію: автор мав в останні три роки більше 10 виступів на вітчизняних та міжнародних конференціях, регулярно робив доповіді на семінарах в Україні і в Німеччині.

Робота чітко структурована, написана і оформлена дуже добре (я не знайшов жодної опіски). Однак до стилю викладення є невелике зауваження: при представленні результатів дисертації автор часто вживає слово 'ми' замість 'я'. Оскільки дисертація повинна базуватись на власних результатах автора, хоча й одержаних у співавторстві, потрібно підкреслити вирішальну роль автора в результатах, які виносяться на захист. В певній мірі автор це зробив, вказавши у Вступі свій особистий внесок в кожну публікацію.

Однак вказаний недолік суттєво не впливає на цінність дисертаційної роботи та її наукову значимість. Слід зауважити, що керівник дисертаційної роботи проф. Б. І. Гнатик і його група є одним з лідерів досліджень в цій галузі в Україні і має високий міжнародний авторитет, про що свідчать численні публікації в провідних зарубіжних фахових журналах, а представників цієї дослідницької групи В.В. Войцеховський, як свідчить дисертаційна робота, сформувався як фахівець найвищої кваліфікації.

Підсумовуючи вищевикладене, вважаю, що дисертаційна робота "Acceleration and propagation of ultra high energy cosmic rays in the Local Universe" є завершеним науковим дослідженням, містить великий обсяг нових актуальних результатів, що базуються на сучасних моделях, а обґрунтовані висновки мають наукову і практичну цінність. За об'ємом і глибиною виконаних досліджень, новизною, важливістю і вагомістю одержаних результатів дисертація повністю 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 Вадим Вадимович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Доктор фізико-математичних наук,
професор кафедри ядерної фізики і високих енергій
Київського Національного університету
імені Тараса Шевченка

В.Є. Аушев