

ВІДЗІВ

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Руденка Ігоря Валентиновича

«Народження частинок, генерація лептонної асиметрії та еволюція магнітних полів у ранньому Всесвіті»,

що представлена на здобуття наукового ступеню кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – «теоретична фізика»

Космологія раннього Всесвіту є наукою, яка переживає бурхливий розвиток протягом кількох останніх десятиліть, що пов'язано як з прогресом технологій астрофізичних спостережень, так і з успіхами фізики елементарних частинок. Незважаючи на значний прогрес у розумінні фізики процесів, що мали місце в перші миті існування Всесвіту, існує ряд проблем, які вдасться вирішити лише в рамках розширень стандартного космологічного сценарію та Стандартної моделі фізики елементарних частинок. Так, проблеми початкових умов сценарію Великого вибуху знаходять розв'язок в рамках інфляційної космології. Існує велика кількість різних моделей інфляції. З огляду на останні результати місії Planck, однією з найбільш успішних є модель Старобінського. Проте, процеси народження частинок в рамках даної моделі, які є ключовими на стадії попереднього розігріву Всесвіту, є недостатньо дослідженими у метриці Фрідмана-Робертсона-Уокера. В літературі прийнято проводити розрахунки цих процесів, як у стаціонарній метриці Мінковського, що може виявитись абсолютно некоректним з огляду на можливе виникнення ефектів параметричного резонансу в такій задачі.

Розширення Стандартної моделі фізики елементарних частинок трьома право-кіральними (стерильними) нейтрино – модель νMSM – було запропоновано для пояснення інших проблем фізики раннього Всесвіту. Так, νMSM дозволяє одночасно пояснити масивність нейтрино Стандартної моделі, лептонну/баріонну асиметрію Всесвіту та природу Темної матерії. Модель νMSM містить велику кількість нових параметрів, фіксація яких є ключовим фактором для експериментального відкриття правих нейтрино. Дослідження лептонної асиметрії в ранньому Всесвіті, яка генерується у розпадах двох важчих правих нейтрино, дає можливість визначити область дозволених значень для параметрів νMSM .

Ще однією актуальною проблемою космології є природа великомасштабних магнітних полів у галактиках та скупченнях галактик. Нещодавне відкриття ненульових магнітних полів в позагалактичному просторі свідчить про первинну природу зародкових магнітних полів, з яких еволюціонують галактичні поля під час формування структур. Останнім часом багато робіт в даній області присвячено моделі магнетогенезису, в якій космологічні магнітні поля з ненульовою спіральністю утворюються в первинній релятивістській плазмі з кіральною асиметрією. Такі магнітні поля можуть зберігати ненульову амплітуду достатньо довго, за рахунок ефективного механізму перекачування магнітної спіральності від короткохвильових до довгохвильових мод (які менше схильні до дисипації енергії)

– механізм інверсного каскаду. Проте, на даний момент не було проведено послідовного дослідження еволюції таких магнітних полів у випадку неоднорідної кіральної плазми в ранньому Всесвіті.

Описані проблеми є важливими задачами сучасної теоретичної фізики і забезпечують загальнонаукову і практичну актуальність виконаних у дисертації досліджень.

В роботі проводиться:

- дослідження процесів народження частинок на стадії попереднього розігріву у моделі інфляції Старобінського - аналізується можливість реалізації механізму параметричного резонансу в такій моделі, отримуються темпи народження частинок матерії (скалярних та спінових полів) у зовнішньому полі інфлатона, розглядається процес самозбурення інфлатона;
- розрахунок лептонної асиметрії, що генерується в адронних розпадах важких стерильних нейтрино моделі ν MSM, отримання обмежень на значення мас двох важких стерильних нейтрино, а також на кути змішування правих нейтрино з лівими. Для цього використовується вимога, що суттєва лептонна асиметрія має бути присутня у Всесвіті на початку народження найлегшого стерильного нейтрино (частинок Темної матерії);
- виведення повної системи рівнянь, що описують електродинаміку релятивістської неоднорідної кіральної плазми. За допомогою отриманих рівнянь чисельно моделюється еволюція магнітної спіральності та кіральної асиметрії в первинній плазмі.

Фактично, всі проведені в роботі дослідження є **новими**, а результати вперше публікувались в роботах, на основі яких написана дисертація.

Дисертація має вступ, три розділи, висновки, список цитованих джерел. Повний обсяг дисертації становить 153 сторінки тексту, враховуючи 18 рисунків і 1 таблицю. Кожен розділ включає ґрунтовний літературний огляд по тематиці проблеми, що розглядається в ньому. Це сприяє порозумінню змісту дисертації.

За матеріалами дисертації здобувачем було **опубліковано 5** статей у наукових фахових виданнях, індексованих у Web of Science і Scopus, зроблено доповіді на 6 конференціях та на наукових семінарах в українських наукових інститутах.

Практичне значення роботи, на мою думку, полягає у більш глибокому розумінні процесів народження частинок на стадії рехітінгу, що дає можливість проводити коректні розрахунки в задачах про розігрів Всесвіту, ентропію Всесвіту. Отримані обмеження на маси та кути змішування стерильних нейтрино вказують на напрямки експериментальних досліджень на прискорювачах з даної проблематики. Важливе практичне значення мають також отримані рівняння, які описують електродинаміку релятивістської неоднорідної кіральної плазми, оскільки вони дозволяють проводити подальші систематичні дослідження плазми в ранньому Всесвіті. Отриманий інверсний каскад магнітного поля у випадку неоднорідного кірального хімічного потенціалу є підтвердженням можливості пояснення зародкових магнітних полів за рахунок кірального магнітного ефекту в первинній плазмі.

Особистий внесок здобувача чітко визначено в текстах автореферату та дисертації. Вважаю його вагомим і таким, що задовольняє вимогам до кандидатських дисертацій МОН України.

На мою думку, до **основних результатів дисертаційної роботи**, отриманих дисертантом, можна віднести такі:

- Проведено систематичне виведення формул для ширин розпаду інфлатона в моделі зі слабким зв'язком, з врахуванням розширення Всесвіту. Доведено, що в цьому випадку можна користуватись формулами борнівського наближення;
- Досліджуючи генерацію лептонної асиметрії, отримано обмеження на параметри моделі ν MSM: кути змішування та маси стерильних нейтрино у випадках прямої та інверсної ієрархії мас активних нейтрино. Показано, що в досліджуваній моделі ефективне народження частинок Темної матерії може відбуватись лише у випадку прямої ієрархії;
- Отримано повну систему рівнянь, що описують первинну релятивістську плазму. Ці рівняння включають доданки до електричного та кірального струмів, пов'язані з неоднорідностями плазми, які вперше були отримані в роботі;
- За допомогою моделі, яка відтворює основні властивості отриманих рівнянь, досліджено еволюцію спіральних магнітних полів та кірального хімічного потенціалу в ранньому Всесвіті, з урахуванням неоднорідностей плазми. Показано, що неоднорідності не призводять до руйнування інверсного каскаду магнітної спіральності, а тому відповідні магнітні поля можуть слугувати зародковими полями.

Провівши аналіз дисертаційної роботи Руденка Ігоря Валентиновича можу зазначити, що окрім позитивних сторін, в ній також є і недоліки. Тому, слід зробити наступні **зауваження**:

1. Як відомо, при дослідженні процесів народження частинок в рамках моделей хаотичної інфляції (модель Старобінського належить до цього класу) ключову роль відіграє не скалярний потенціал, який входить в лагранжیان теорії, а ефективний потенціал, який враховує квантові поправки до скалярного потенціалу, обумовлені взаємодією інфлатонного поля з полями Стандартної Моделі. Ці поправки можуть суттєво вплинути на темп народження частинок. В дисертаційній роботі, нажаль, ці квантові поправки до потенціалу не враховано, що було б дуже бажано зробити;
2. При чисельному моделюванні інверсного каскаду в рамках helicity механізму генерації магнітних полів у ранньому Всесвіті бажано було враховувати взаємодію спірального поля з частинками космологічної плазми;
3. В дисертації досліджується еволюція лептонної асиметрії в моделі ν MSM, а також еволюція магнітної спіральності в ферміонній плазмі з кіральною асиметрією. Дуже цікаво і важливо вивчити взаємовплив цих процесів, тобто розглянути еволюцію магнітних полів у плазмі, в якій кіральна асиметрія є асиметрією між правими лептонами та лівими антилептонами і формується в адронно-лептонних розпадах стерильних нейтрино моделі ν MSM

Незважаючи на ці зауваження, загальна оцінка роботи є позитивною. З огляду на все вищеописане, зазначу, що дисертаційне дослідження Руденка Ігоря Валентиновича є **логічно завершеною працею**, що виконана на високому рівні і цілком відповідає всім вимогам МОН України, що висувуються до кандидатських дисертацій, а її автор Руденок Ігор Валентинович повністю заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – «теоретична фізика».

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
начальник відділу теоретико-групових властивостей
елементарних частинок, теорії ядра
і нелінійної механіки

Інституту теоретичної фізики ім. О.І.Ахієзера

Національного наукового центру

«Харківський фізико-технічний інститут»



Болотін Ю.Л.

Підпис Ю.Л. Болотіна засвідчую:

Зам. директора ІТФ ННЦ ХФТІ




О.С. Есаулов