

## Рецензія

на дисертацію на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 104 Фізика та астрономія

Мінаєва Павла Євгенійовича «Динаміка кварк-глюонної плазми в присутності  
сильних магнітних полів у стандартній моделі елементарних частинок»

Загальноприйнятими в сучасній фізиці є уявлення про Великий вибух – сингулярність на початку існування Всесвіту. У той же час подальша еволюція Всесвіту, особливо її ранні етапи, залишається темою для дискусій. Ці дослідження – мейнстрім сучасної фізики високих енергій. У процесі охолодження та розширення раннього Всесвіту відбулася ціла низка фазових переходів: електрослабкий фазовий перехід з утворенням скалярного конденсату і набуттям маси частинками за механізмом Гітса та фазовий перехід деконфайнменту за значно менших температур. Сучасна теорія фундаментальних взаємодій, базована на стандартній моделі елементарних частинок Вайнберга–Салама–Глешоу, пройшла півсторічне випробування часом і чудово підтверджена експериментами на Великому Гадронному Колайдері. У фазовому переході деконфайнменту виникла баріонна асиметрія, пояснення якої потребує врахування додаткових чинників. Зокрема, це наявність магнітного поля, породжуваного вільними кварками, які були присутні у кварк-глюонній плазмі. Цей стан матерії став доступним для дослідження завдяки сучасним прискорювачам, де КТП виникає під час ядро-ядерних зіткнень. Дисертація П. Мінаєва присвячена впливу сильних магнітного та хромагнітного полів на фазову структуру сильновзаємодіючої матерії, критичну точку і характер фазового переходу деконфайнменту, а також можливим розширенням стандартної моделі для кращої відповідності експериментальним результатам. Усе це визначає її актуальність.

Робота над дисертацією велась у рамках держбюджетних науково-дослідних робіт, які виконувались на кафедрі теоретичної фізики Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара: «Нові стани матерії та ефективні взаємодії в експериментах на Великому гадронному колайдері» (№ держреєстрації 0119U100767, термін виконання 01.01.2019 – 31.12.2021) і «Дослі-

дження процесів в екстремальних умовах у Всесвіті та сучасних фізичних експериментах» (№ держреєстрації: 0122U001398, термін виконання 01.2022 – 12.2024). Внесок молодого вченого у виконання завдань тем був вагомим: опубліковано 5 статей, у тому числі 2 – в закордонних, індексованих у Scopus і WoS, тезах 12 міжнародних наукових конференцій. Таким чином, результати дисертації широко апробовані. Дисертант виявляв велику самостійність, у нього чимало одноосібних публікацій. Усі результати, що винесені на захист, отримані здобувачем особисто.

Назвемо нові наукові результати, викладені в дисертації:

- досліджено можливість генерації магнітних і хромомагнітних полів при фазовому переході деконфайнменту за рахунок кваркових петель, причому показано можливість за високої температури такого процесу в усьому об'ємі плазми;
- досліджено вплив магнітних полів на електрослабкий фазовий перехід і показано неможливість фазового переходу першого роду у стандартній моделі за присутності полів;
- оцінено напруженості магнітних та хромомагнітних полів, що генеруються у кварк-глюонній плазмі та при електрослабкому фазовому переході, обґрунтовано необхідність враховувати вплив генерованих полів на всіх етапах еволюції Всесвіту;
- отримано оцінку температури деконфайнменту як температури зникнення спонтанного намагнічування – вона значно нижча за оцінену без магнітних полів, пов'язана з ними зміна перерізів процесів розсіяння може бути зафіксована в експериментах;
- для дводуплетного розширення стандартної моделі досліджено параметричний простір і комп'ютерними методами знайдені можливі маси нових частинок, кандидатів на частинки темної матерії, за фіксованої маси найлегшого нейтрального бозона.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, мають велике практичне значення, оскільки можуть бути використані для дослідження властивостей матерії, яка виникає в ядро-ядерних та протон-протонних зіткненнях, шляхом аналізу впливу зміни відповідних параметрів моделі на кінцеві спостережувані

фізичні величини. Суттєву роль у такому впливі відіграють магнітні поля в об'ємі кварк-глюонної плазми. Розуміння процесів у ній наближає подолання найглибших питань устрою Всесвіту, зокрема, проблеми баріогенезису.

Дисертант виявив блискуче володіння методами квантової теорії поля, наукову ерудицію, глибоке знання математичного апарату, програмування, вправне використання комп'ютерних методів дослідження та презентації його результатів. Сам виклад і оформлення зробленого були роботою величезного обсягу. Зрозуміло, що в роботі є невеликі огріхи мовного характеру: різне в різних місцях написання тих самих термінів і прізвищ. На мій погляд, варто використовувати сучасні можливості української абетки для точнішого передання іноземних прізвищ і запозичених слів: Глешоу, Гігс, глюон. Моє зауваження ніяк не знижує наукової цінності дисертації, представленої до захисту.

Враховуючи актуальність, новизну та обґрунтованість отриманих автором наукових результатів, вважаю, що дисертаційна робота «Динаміка кварк-глюонної плазми в присутності сильних магнітних полів у стандартній моделі елементарних частинок» повністю відповідає всім вимогам пп. 14, 15 та 16 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12.01.2022, а її автор, Мінаєв Павло Євгенійович, заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

Рецензент

кандидат фізико-математичних наук,

доцент кафедри теоретичної фізики

факультету ФЕКС ДНУ

Вчений секретар



Сергій ЛЯГУШИН

Тетяна ХОДАНЕН