

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
проф. Жилінська О.І.



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ

**про виконану роботу у 2020 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок**

Генерація і еволюція первинних магнітних полів
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: Підтримка досліджень провідних та молодих вчених
Реєстраційний номер Проєкту: 2020.02/0062

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0062 «Генерація і еволюція первинних магнітних полів»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу **Підтримка досліджень провідних та молодих учених»** протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Тривалість виконання Проєкту
Початок – 02 листопада 2020 року;
Закінчення – 2022 рік.

Загальна вартість Проєкту, грн. 3 437 657,00

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 361 856,00
2-й рік 1 542 289,00
3-й рік 1 533 512,00

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту буде залучено 6 виконавців, з них:
доктори наук 2;
кандидати наук 2;
інші працівники 2.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

Субвиконавців до проєкту не залучено.

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Метою проєкту є самоузгоджений опис генерації електромагнітних полів в інфляційних моделях та їх подальшої еволюції в первинній ультрарелятивістській плазмі для пояснення спостережуваних великомасштабних магнітних полів у войдах.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

- 1) Побудувати самоузгоджену теорію ефекту Швінгера у Всесвіті, що розширюється, за допомогою квантових кінетичних рівнянь з урахуванням термалізації народжених частинок в присутності магнітного поля.
- 2) Вивчити кількісно вплив гелікальних магнітних полів на генерацію збурень кривизни, а також обчислити негаусові кореляції у спектрі первинних збурень.
- 3) Проаналізувати еволюцію гелікальних магнітних полів в ультрарелятивістській ферміонній плазмі з кіральною асиметрією.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Пояснення магнітних полів у Всесвіті одна з найважливіших задач сучасної космології. Магнітні поля, народжені у ранньому Всесвіті, природним чином є присутнім всюди, в тому числі і у войдах, і можуть послужити в якості зародкового поля для галактик та їх скупчень. Велика кореляційна довжина спостережуваних магнітних полів наводить на думку про те, що ці поля могли згенеруватися протягом найдавнішої стадії в історії Всесвіту – інфляції.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Згенеровані під час та після інфляції сильні електричні поля завдяки ефекту Швінгера народжують заряджені частинки, утворюючи ультрарелятивістську плазму. Ця плазма дуже ефективно екранує електричне поле, тому повинна самоузгоджено розглядатися разом з еволюцією електромагнітних полів і інфлатона. Такий самоузгоджений розгляд генерації заряджених частинок та еволюції плазми і електромагнітних полів є принципово новим підходом, який запропонований авторами проєкту.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Опис ефекту Швінгера пропонується здійснити з перших принципів, тобто із застосуванням методів квантової теорії поля у Всесвіті, що розширюється. Розглядаючи електричне та магнітне поля як зовнішні класичні великомасштабні поля, що залежать лише від часу, можна знайти часові залежності мод квантованого зарядженого поля і визначити з них такі спостережувані, як електричний струм, концентрація, тензор енергії імпульсу народжених заряджених частинок тощо.

5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

Із перших принципів було виведено систему з трьох квантових кінетичних рівнянь, які описують швінгерівське народження заряджених частинок електричним полем, а також їх подальшу еволюцію у Всесвіті, що розширюється. З аналізу ультрафіолетової асимптотики кінетичних функцій, було виділено розбіжні частини електричного струму і тензора енергії-імпульсу народжених частинок і знайдено відповідні контрчлени в дії, що скорочують ці розбіжності. Рівняння Власова для одночастинкової функції розподілу містить у правій частині доданок, що описує процес народження нових частинок – швінгерівське джерело. Воно є нелокальним у часі і в імпульсному просторі, тому що виражається через іншу кінетичну функцію, яка визначається з двох інших квантових рівнянь Власова. Ця самоузгоджена система рівнянь враховує немарківський характер процесу народження заряджених частинок змінним у часі електричним полем, а також ефекти квантової статистики.

У роботі [1] було застосовано формалізм градієнтного розкладу до опису генерації електромагнітних полів під час інфляції в моделі кінетичного зв'язку. На відміну від стандартного підходу, що оперує з окремими Фур'є-модами електромагнітного поля, в роботі [1] досліджувалися фізичні величини в координатному просторі, що включають усі фізично важливі моди одночасно. Хоча таких величин існує нескінченна кількість, на практиці для опису магнітогенезису під час інфляції достатньо взяти скінченну їх кількість. Було отримано систему рівнянь, що описують еволюцію електромагнітних величин у часі. Вона бере до уваги той факт, що кількість фізично важливих мод постійно зростає під час інфляції, а також дає можливість врахувати зворотну реакцію згенерованих електромагнітних полів на еволюцію Всесвіту. Показано, що запропонований формалізм є ефективним та збіжним. Результати досліджень опубліковано у статті

1. O.O. Sobol, A.V. Lysenko, E.V. Gorbar, and S.I. Vilchinskii, Gradient expansion formalism for magnetogenesis in the kinetic coupling model, *Physical Review D* **102**, 123512 (2020).

5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами

З огляду на те, що дослідження мають фундаментальний характер, науково-технічна продукція за результатами роботи проекту не передбачена.

5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проекту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)

Практична цінність отриманих результатів проекту для фізики, астрофізики і космології полягає в тому, що були обчислені характеристики згенерованих магнітних полів у первинній плазмі раннього Всесвіту.

5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проекту в суспільній практиці.

Отримано систему рівнянь, що описує самоузгоджену еволюцію інфлатона, масштабного фактора, електромагнітного поля, та народжених ним заряджених частинок у ранньому Всесвіті, яка може бути застосована для опису магнітогенезису у різних інфляційних моделях.

Анотований звіт не містить відомостей, заборонених до відкритого опублікування

Науковий керівник Проекту

професор кафедри квантової теорії поля фізичного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Горбар Едуард Володимирович