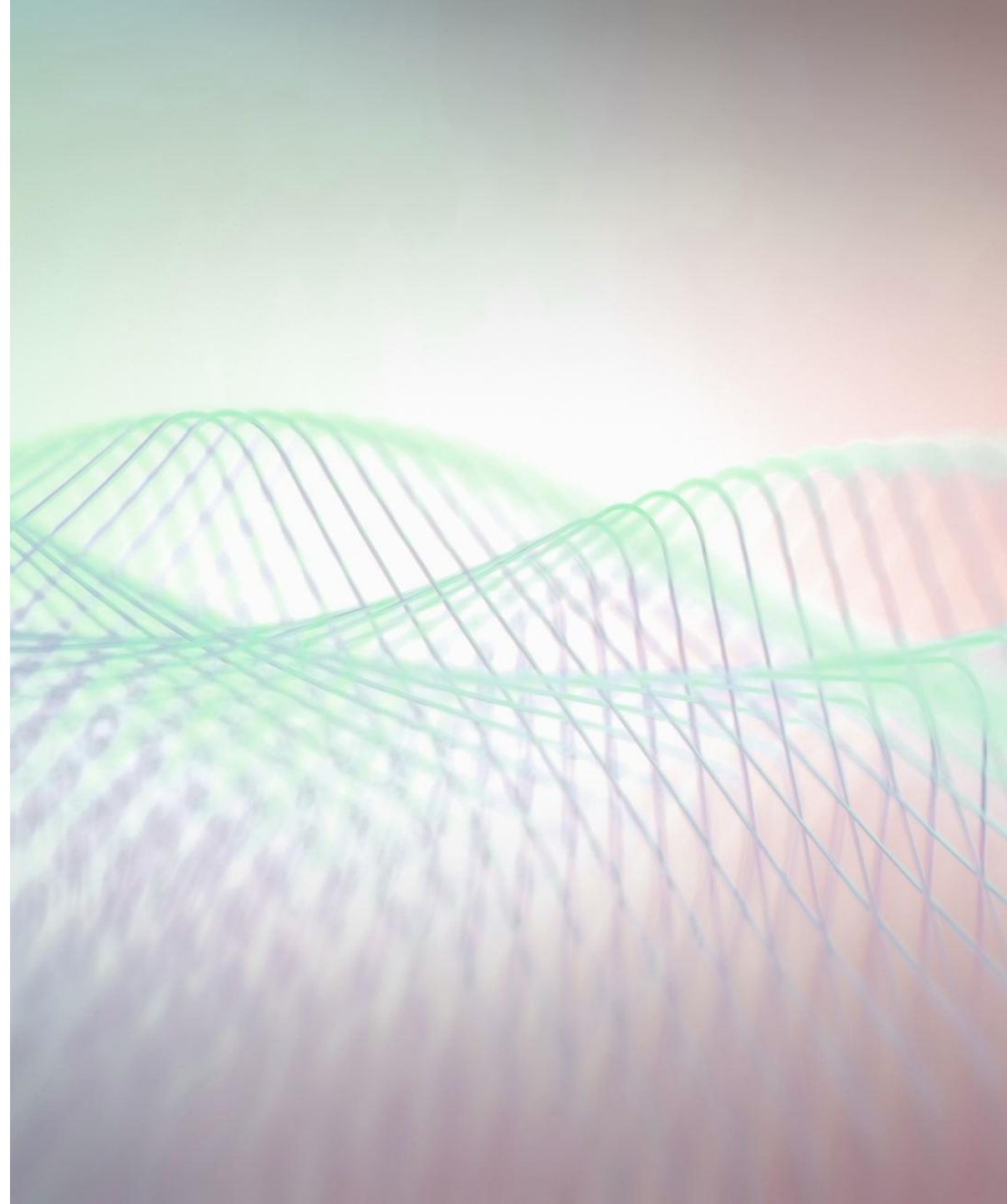

Глюболи як потенційні кандидати на роль темної матерії

ВИКОНАЛА РОДІНА МАРІЯ

УЧЕНИЦЯ 10 КЛАСУ ЛІЦЕЮ 33 М. КИЄВА



Мета: Розглянути глибоко як
цікаву альтернативу існуючим
гіпотезам щодо природи частинок
темної матерії

Об'єкт дослідження: Глюболи– гіпотетичні зв'язані стани глюонів, що не містять кварків.

Предмет дослідження: Потенційні властивості глюболів (нейтральність щодо кольорового заряду, значна маса, слабка взаємодія з електромагнітним випромінюванням, переважно гравітаційна взаємодія) як кандидатів на роль частинок темної матерії.

Завдання дослідження:

Проаналізувати проблему невловимої темної матерії та її значення для сучасної космології

Охарактеризувати основні властивості гіпотетичних частинок темної матерії

Описати глюони, їхні характеристики та властивості у контексті сильної взаємодії.

Розглянути глюболи як зв'язані стани глюонів, детально проаналізувати їхні теоретично передбачувані властивості.

Порівняти ключові властивості глюболів з необхідними характеристиками частинок темної матерії.

Сформулювати висновки щодо потенціалу глюболів як кандидатів на роль частинок темної матерії

Невловима темна матерія

Сучасна космологічна модель, що базується на Стандартній Моделі елементарних частинок, не може повністю пояснити низку астрофізичних спостережень. Однією з ключових проблем є значна розбіжність між передбачуваною масою Всесвіту, яка ґрунтується на кількості видимої (баріонної) матерії, та масою, необхідною для пояснення гравітаційних ефектів, зокрема кривих обертання галактик, гравітаційного лінзування та великомасштабної структури Всесвіту [1]. Це призвело до гіпотези про існування невидимої, небаріонної складової – темної матерії. За сучасними даними, темна матерія становить близько 22% загальної енергії-маси Всесвіту [2]. Її існування підтверджується численними незалежними спостереженнями, такими як аномальні криві обертання галактик, ефекти гравітаційного лінзування, особливості великомасштабної структури Всесвіту та анізотропія космічного мікрохвильового фонового випромінювання. Проте фундаментальна природа темної матерії залишається однією з найважливіших загадок сучасної фізики.

Основні властивості гіпотетичних частинок темної матерії включають:

Слабка або відсутня електромагнітна взаємодія: Темна матерія не поглинає, не відбиває і не випромінює електромагнітне випромінювання, що робить її невидимою для електромагнітних телескопів.

Наявність великої маси: Гравітаційна взаємодія є основним проявом темної матерії, що свідчить про її значну масу.

Слабка негравітаційна взаємодія: Для пояснення формування великомасштабної структури Всесвіту передбачається слабка взаємодія частинок темної матерії між собою та зі звичайною матерією через інші фундаментальні сили, окрім гравітації (хоча існують моделі, що передбачають лише гравітаційну взаємодію).

Глюони, їх характеристика та властивості

Звичайна баріонна матерія складається з атомів, які, у свою чергу, складаються з ядер та електронів. Ядра атомів містять протони та нейтрони, які є композитними частинками, що складаються з фундаментальних частинок – кварків, утримуваних разом сильною взаємодією, носіями якої є глюони. Маса кварків є відносно невеликою, однак маса протонів та нейтронів значно перевищує суму мас їхніх складових кварків. Основна частина маси адронів (баріонів та мезонів) виникає завдяки енергії зв'язку глюонів усередині них, що яскраво демонструється відомою формулою Ейнштейна $E=mc^2$, де маса $m = E/c^2$. Таким чином, безмасові глюони, завдяки своїй енергії, роблять значний внесок у масу протонів та нейтронів. Крім того, глюони не лише зв'язують кварки всередині них, але й опосередковують взаємодію між самими протонами та нейтронами (залишкова сильна взаємодія, або ядерна сила).

Скорочена характеристика глюонів:

Відсутність взаємодії з фотонами: Не взаємодіють з фотонами. Відсутність цієї взаємодії робить їх невидимими

Велика енергія та маса: Глюони мають велику енергію, що, згідно з відомою формулою Ейнштейна $E = mc^2$, призводить до значної маси.

Здатність взаємодіяти між собою: Оскільки глюони самі мають кольоровий заряд, вони здатні взаємодіяти між собою (притягуватись, відштовхуватись)

Кольоровий заряд: Є носіями сильної взаємодії завдяки наявності кольорового заряду (на відміну від електричного). Саме ця властивість забезпечує взаємодію між кварками та іншими глюонами.

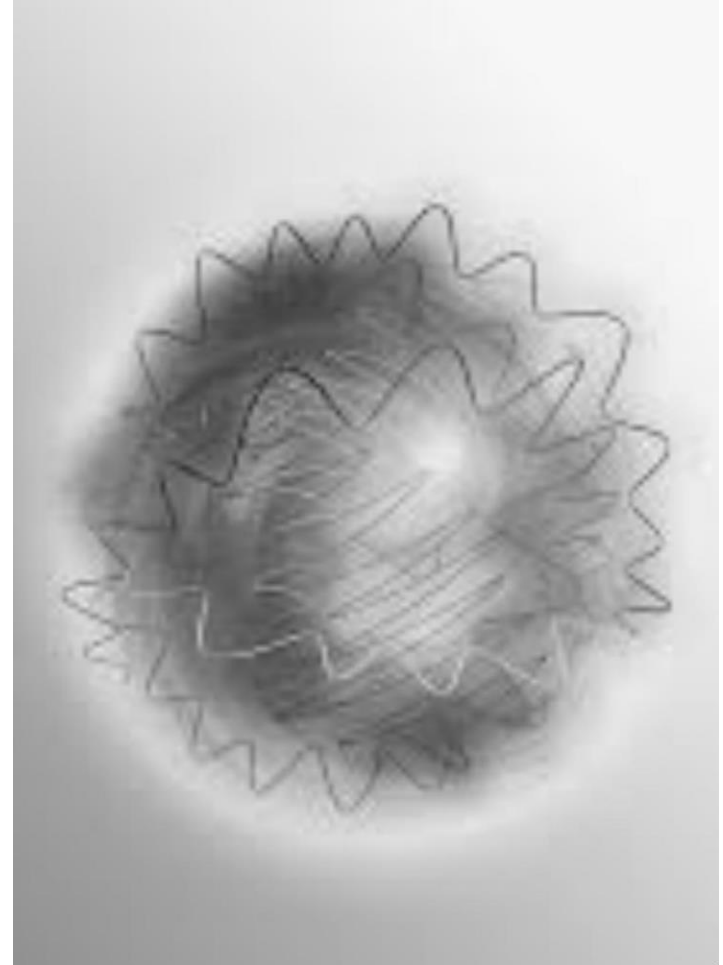
Відсутність електричного заряду: Глюони не мають електричного заряду, що зумовлює їхню нездатність безпосередньо взаємодіяти з фотонами (носіями електромагнітної взаємодії).

Глюболи: зв'язані стани глюонів

Як зазначалося вище, глюони можуть притягуватись один до одного завдяки своїй здатності до самовзаємодії.

Квантова хромодинаміка (КХД) передбачає існування безкваркових зв'язаних станів глюонів, які отримали назву глюболи (від англійського «glueball» – клейка куля).

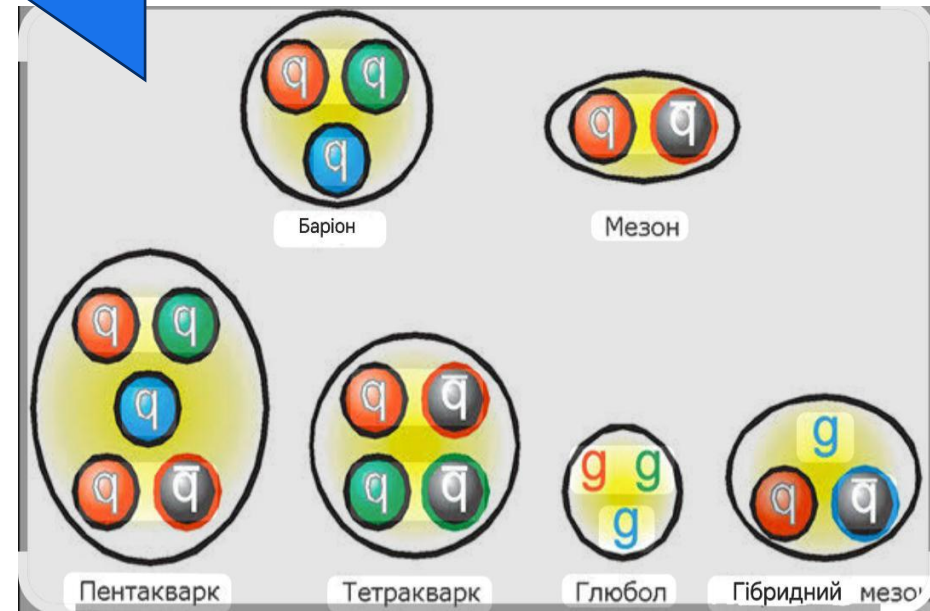
Глюболи є нейтральними частинками щодо кольорового та електричного зарядів і мають значну масу, що виникає переважно з енергії їхнього зв'язку. Розглянемо детальніше їхні властивості, які роблять їх потенційними кандидатами на роль частинок темної матерії.



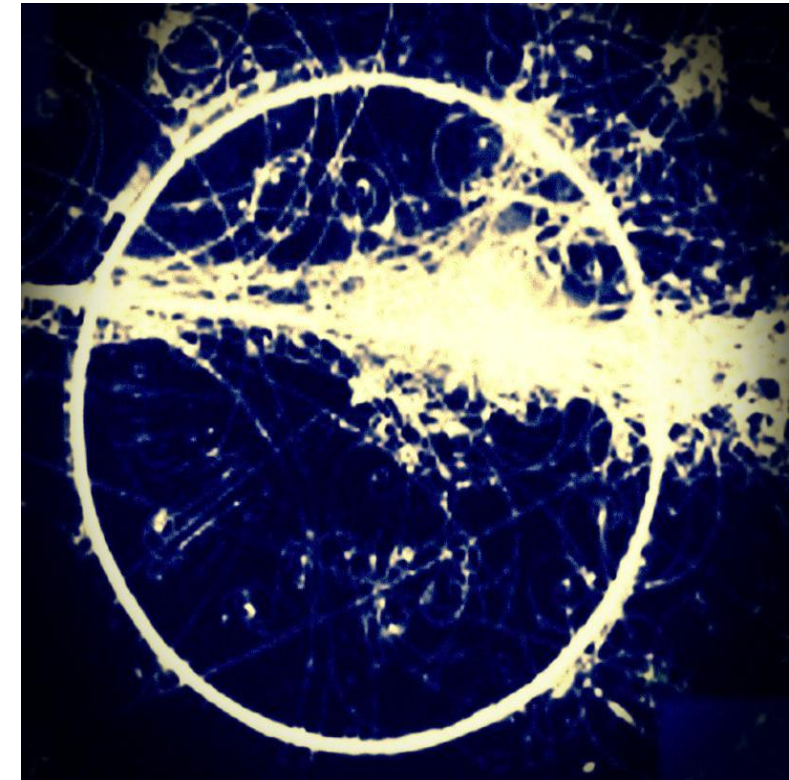
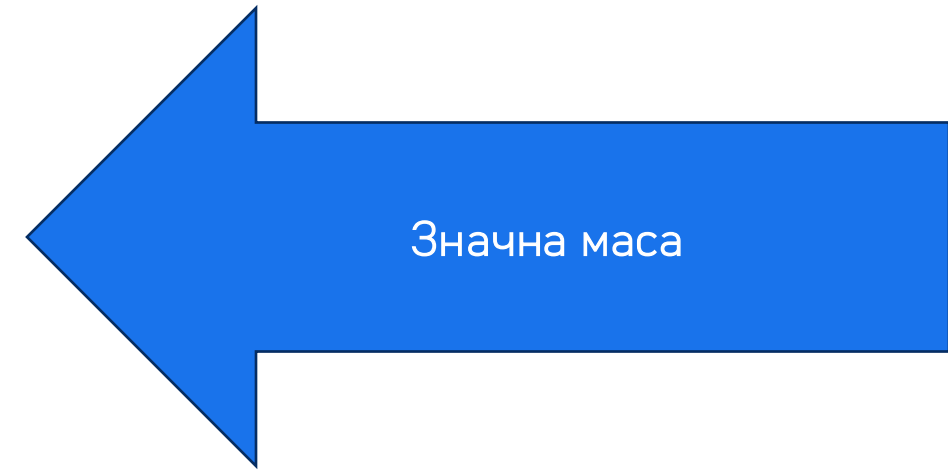
Основні характеристики глюболів як потенційних кандидатів на роль частинок темної матерії:

- Нейтральність щодо кольорового заряду:
Глюболи є кольорово-синглетними станами, що означає відсутність у них чистого колірового заряду. (Це пояснюється тим, що глюони з'єднуються за правилом «колір-антиколір»).
Завдяки цьому вони не беруть безпосередньої участі у сильній взаємодії з іншими кольорово зарядженими частинками (кварками та глюонами) на великих відстанях, що може пояснити їхню слабку взаємодію зі звичайною баріонною матерією.

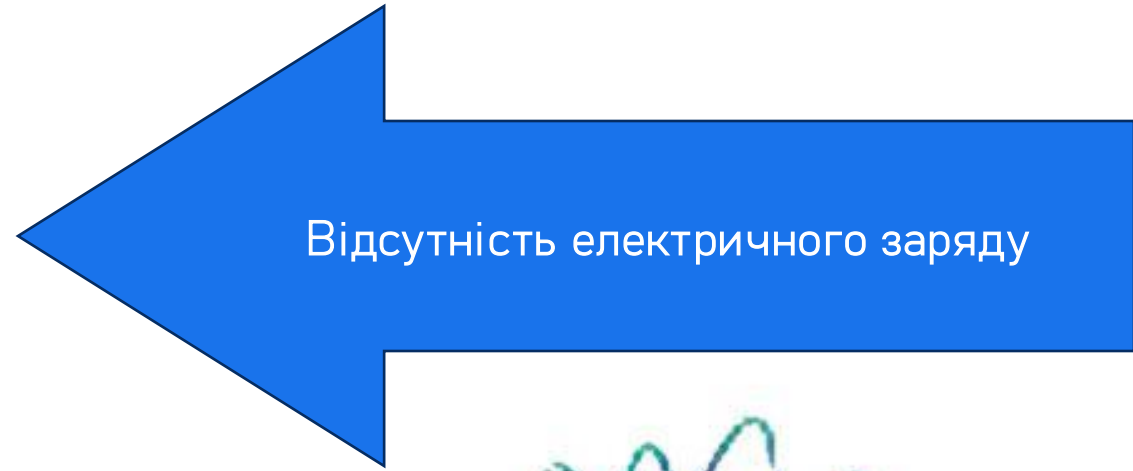
Нейтральність щодо кольорового заряду



- **Значна маса:** Подібно до протонів та нейтронів, маса глюболів виникає переважно за рахунок енергії самовзаємодії глюонів усередині зв'язаного стану. Хоча точне передбачення маси глюболів є складним завданням непертурбативної КХД, теоретичні розрахунки на ґратці КХД передбачають існування найлегшого скалярного глюбола з масою в діапазоні від 1 до 2 GeV/c^2 [3]. Існують також передбачення щодо існування більш масивних глюболів з різними спінами та парностями.



- Відсутність електричного заряду. Оскільки глюони не несуть електричного заряду [2], їхні зв'язані стани – глюболи – також є електрично нейтральними.



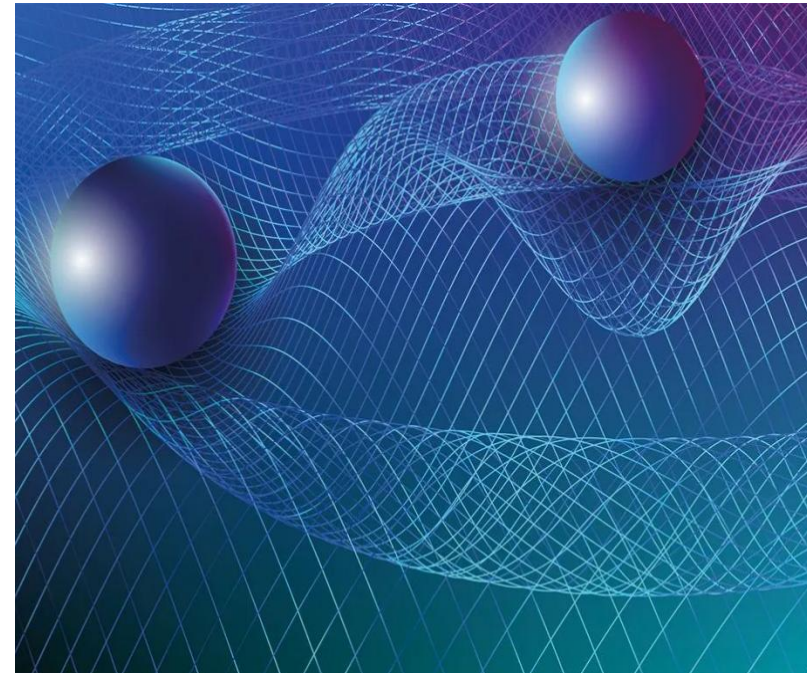
- **Слабка взаємодія з електромагнітним випромінюванням:** Через відсутність електричного заряду глюболи не взаємодіють з електромагнітним полем на прямому рівні. Так взаємодія з фотонами можлива лише через петльові діаграми з віртуальними кварками, що робить цю взаємодію надзвичайно слабкою. Через це глюболи є невидимими, що узгоджується з однією з характеристик темної матерії.

Слабка взаємодія з
електромагнітним випромінюванням



- Переважно гравітаційна взаємодія: За відсутності значних інших фундаментальних взаємодій, гравітація залишається основною силою, через яку глибоки можуть проявляти себе, що відповідає ключовій характеристиці темної матерії.

Переважно гравітаційна взаємодія:



Порівняння характеристик і властивостей частинок темної матерії та глюболів

Характеристика та властивості	Частинки темної матерії	Глюболи
Видимість	Невидимі	Невидимі
Маса	Велика маса	Велика маса
Взаємодії (крім гравітаційної)	Відсутні	Майже відсутні (через їхню нейтральність)
Взаємодія з електромагнітним полем	Відсутня	Відсутня (не мають електричного заряду)

Таким чином, можна зробити висновок, що глюболи є ідеальними претендентами на роль частинок темної матерії. І вони цілком можуть бути її складовими. Але, на жаль, вони не досліджені і не вивчені достатньо через те, що їх виявити є складною задачею.

По-перше через їхнє нетривале існування, а по-друге через те, що вони майже не несуть ніякої взаємодії. Через це вони поки що перебувають в статусі «гіпотетичних частинок».

Незважаючи на це, було проведено численні експерименти. Одним з останніх став експеримент колаборації BESIII, в результаті якого було виявлено частинку $X(2370)$. Виміряні маса та парність спіну $X(2370)$ узгоджуються з теоретичними передбаченнями для найлегшого псевдоскалярного глюбола[4].

Тому поки що, ідея про те, що темна матерія складається з глюболів є лише гіпотезою, яка в майбутньому буде доведена або навпаки спростована.

Висновок:

В ході роботи було проаналізовано проблему невловимої темної матерії, охарактеризовано її частинки; описано глюони, їхні властивості та характеристики, а також розглянуто їхні зв'язані стани – глюболи як складові темної матерії. Проведене порівняння ключових властивостей гіпотетичних частинок темної матерії та теоретично передбачуваних характеристик глюболів демонструє значну схожість. Нейтральність щодо кольорового та електричного зарядів, значна маса та переважно гравітаційна взаємодія роблять глюболи перспективними кандидатами на роль складової темної матерії. Подальші теоретичні дослідження властивостей глюболів, зокрема їхньої стабільності та можливостей негравітаційної взаємодії, а також розробка методів їхнього експериментального пошуку є важливими кроками для підтвердження або спростування цієї гіпотези.

Використанні джерела

- [1] Бертрам, Б. (2012). Темна матерія: спостереження, теорії та експерименти. Кембриджський університетський прес.
- [2]https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%B0_%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8E
- [3] Мейєр, Х. Б., & Робінс, М. Дж. (2004). Маса скалярного глюбола на ґратці КХД. Фізичні листи В, 590(1-2), 87-92.
- [4] <https://surl.li/jclirk>
- <https://surl.li/pblrke> (English version)
- <https://surl.li/qjkytw>
- <https://www.livescience.com/ultra-rare-odderon-particle-detected.html>
- <https://phys.org/news/2024-05-evidence-glueballs-beijing-spectrometer-iii.html>
- Зображення були використанні завдяки Google-сервісу

Дякую за допомогу у роботі:

- Своїм батькам:

Родиній Вікторії та Родіну Владиславу

- Оргкомітету конкурсу

74% DARK ENERGY

22% DARK MATTER

ДЯКУЮ ЗА
УВАГУ!!!

Events / 0.015 GeV/c²

