

РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационния труд за присъждане на научната степен "доктор на науките" в професионално направление 4. Природни науки, математика и информатика, 4.1 Физически науки (Астрофизика и звездна астрономия)

Автор на дисертационния труд: Даниела Петрова Кирилова от Института по Астрономия с Национална Астрономическа Обсерватория при БАН

Тема на дисертационния труд: "Неравновесни процеси в ранната Вселена и техните космологични ефекти и ограничения" (Nonequilibrium Processes in the Early Universe and Their Cosmological Effects and Constraints)

Рецензент: проф. дфн Екатерина Христова Христова, ИЯИЯЕ – БАН

1. Настоящата дисертация е посветена на изучаване на неравновесни процеси в ранната Вселена и тяхното влияние върху наблюдаваните астрофизични и космологични данни.“ Разгледани са процеси с осцилации на неутрино, процеси с допълнителни тензорни полета и процеси генериращи барион-антибарионна асиметрия.

Всички разгледани процеси са извън Стандартния модел на елементарните частици и извън Стандартния космологичен модел, което е в отговор на съществуващите експериментални указания за необходимост от физика извън Стандартния модел. Резултатите представляват интерес, както от космологична гледна точка за изясняване на процесите в ранната Вселена, така и за определяне на фундаменталните физични закони, като предоставят допълнителна, към тази получена на ускорителите, информация за съществуване на Нова физика.

2. Актуалността на проблема не буди съмнение. Множеството данни получени последните десетилетия за съществуването на Космичния микровълнов фон, за величината на барионната компонента във Вселената, за барион-антибарионната асиметрия, за разширението на Вселената, а от там и за константата на Хъбъл, за количеството на леки елементи във Вселената. Всичко това направи Космологията една точна наука, в която теоретичните предсказания се сравняват количествено със съществуващите наблюдаеми данни.

По настоящем, именно тези сравнения довеждат до необходимостта от съществуване на физика извън Стандартния Модел и извън Стандартния Космологичен Модел. Стандартният Модел не може да обясни съществуването на тъмна материя и тъмна енергия, които съставляват 96% от наблюдаваната материя, не може да обясни наблюдаваната барион-антибариона асиметрия, както и разхожденията в теоретичните и измерени значения на аномалния магнитен момент на мюона.

Изследование

3. Дисертационният труд е написан на английски език. Изложението започва с подробен и увлекателно написан увод, който въвежда в достиженията и проблемите на съвременната Космология. С кратък обзор започват и всички глави на дисертацията. Това, както и списъкът на цитираната литература, съдържащ повече от 230 заглавия, показват, че дисертантът е добре запознат със състоянието на проблема и познава в детайли публикациите по тази тема.

4. Съдържанието на дисертацията бих разделила условно на три части. **Първата част** разглежда еволюцията на Вселената, предполагайки осцилации между стерилни и активни неутрина и изследва тяхното влияние върху наблюдаваното количество леки елементи във Вселената, върху лептонната асиметрия и върху спектъра на неутринния фон. **Във втората част** са предложени и изследвани два конкретни модела конструирани на базата на модела на Афлек-Дайн, генериращи барионна компонента и барион-антибарионна асиметрия във Вселената. **Третата част** разглежда влиянието върху процесите в ранната Вселена на кирално тензорно поле, предсказано в едно от разширенията на Стандартния Модел. Ще се спра на всяка от тях поотделно.

5. В **първата част**, включваща три глави от дисертацията, се разглежда влиянието на **неутринните осцилации в ранната Вселена**.

Въпросът за вида на неутриното и неговата природа е от изключително значение за теорията. По настоящем се счита установено, че неутриното има отлична от нула, но изключително малка маса. Тези указания се потвърждават и от трите вида измервания по неутринни осцилации: слънчеви, атмосферни и наземни. **Отличната от нула маса на неутриното е за сега единственото указание за съществуване на физика извън СМ.** Остава обаче да се отговори на основния въпрос -- каква е природата на неутриното и защо неговата маса е толкова малка .

Има съществена разлика между неутриното и останалите элементарни частици. Електрическият заряд на кварките и лептоните е различен, но винаги отличен от нула, поради това те са Диракови частици. Електрическият заряд на неутриното е нула и затова, в зависимост от това как се генерира масата му, неутриното може да бъде един от трите вида: Дираково , Майораново, или смесено Дираково и Майораново. **Дираковото неутрино** е аналогично на кварковото поле и затова не води до качествено нови ефекти. **Майорановото неутрино** е истински неутрална частица и води до процеси, в които лептонният заряд не се запазва. Наблюдаване на двоен разпад би било доказателство, че неутриното е Майораново. До сега такъв разпад не е наблюдаван и няма указания за съществуване на Майоранови частици. Неутрино от смесен Дирак- Майорана тип е също Майоранова частица, но то води и до съществуване на нов вид т.н. **стерилни, невзаимодействащи неутрина**. Това означава, че освен известните ни три вида неутрино от Стандартния модел -- електронно, мюонно и тау, съществува още един вид, стерилно неутрино. Информация за стерилните неутрина може да се получи само от неутринните осцилации. Понастоящем съществуват само ограничения за тяхното съществуване.

Даниела Кирилова получава космологични ограничения за съществуването на Майоранови неутрина. За тази цел Кирилова удачно е избрала да изследва влиянието на осцилациите на електронно и стерилно неутрина в ранната Вселена върху количеството Не-4, за което има най-точни измервания. Чрез детайлен числен анализ са получени контури на зависимостта на количеството Не-4 от параметрите на осцилации - масите и ъгъла

на смесване. За получаване на ограниченията е използвана съществуващата 5 % неопределеност в данните за Не-4. **Нейните резултати довеждат до изключване на малките югли на смесване, години преди да бъдат изключени от данните за Сълнчевите неутрина.**

Барионната и лептонна асиметрии са основни характеристики на Вселената. От прецизното им определяне зависят останалите параметри на космологичните модели. По настоящем съществуват данни само за барионната асиметрия. Лептонната асиметрия още не е измерена и поради това е важно да се открият величини, които индиректно биха дали информация за нея. Тук е мястото да отбележим, че **Кирилова е една от първите, които изследва взаимовръзката между лептонната асиметрия и неутринните осцилации.** В дисертацията е показано, че даже много малки асиметрии при наличие на осцилации, водят до големи отклонения в количеството леки елементи.

Като цяло оценявам много високо получените тук резултати. Даниела Кирилова е висококвалифициран физик-теоретик, който несъмнено отлично познава целия кръг от проблеми, свързани както с неутринните осцилации така и с процесите в ранната Вселената. Тя дълги години активно работи в тази област и нейното име е добре познато сред специалистите в световен мащаб.

6. Активна е нейната роля и във втората част от дисератацията, свързана с изследване на **механизми на генериране на барионна плътност и възникване на барион-антибарионна асиметрия** във Вселената. Тези резултати са представени в две глави от дисертацията.

По съществуващите данни с изключителна точност и посредством независими методи е установено, че Вселената се състои приблизително от 5% бариони, 27 % тъмна материя и 68 % тъмна енергия. Освен това барионната компонента се състои предимно от вещества, това е т.н. барионна асиметрия, въпреки че инфлационният модел предполага симетрия между бариони и анти-бариони в ранния стадий. Обяснението на тези въпроси е сред основните теоретични въпроси в Космологията и е предмет на изследване в множество съществуващи бариогенезисни модели.

Процесите на генерация на барионната компонента и на барион-антибарионната асиметрия се изследват и от Даниела Кирилова в два бариогенезисни модела, конструирани на базата на модела на Афлек-Дайн, съдържащ конденсат на скаларно поле.

В първия разглеждан модел барионната асиметрия е глобална характеристика на Вселената. В избрания модел барионната материя възниква в резултат на вариации на променливо скаларно поле, което при еволюцията намалява, генерирайки барионна асиметрия. В дисертацията е проведен детайлен числен анализ на еволюцията на барионния заряд, като се отчитат разширението на Вселената, скоростта на раждането на частиците и потенциала на полето за различни възможни сценарии на ранната Вселена, в широк диапазон от енергии след инфлацията: 10^{12} -100 ГеВ. Показано е, че барионната асиметрия е много чувствителна към механизма на раждане на частици. Изследвана е зависимостта от параметрите на модела. Избраният модел е привлекателен, тъй като предлага обяснение на наблюдаваната асиметрия в рамките на един съвместим с инфлацията модел, а проведеният числен анализ показва, че той може да обясни наблюдаваната асиметрия при един естествен избор на параметрите.

В другия разглеждан модел генерираната барионната асиметрия е локална характеристика на Вселената. В околното на нашата Галактика Вселената се състои предимно от материя. Антиматерия е търсена по различни начини -- в космически лъчи, в гама лъчи, от спътници и балони, но в радиус от 20 Мpc никакви следи от антиматерия не са открити. Наблюденията обаче не изключват съществуване на антиматерия, разделена от материята с големи пространствени области. В нехомогенните бариогенезисни модели се разглеждат механизми за тяхното образуване. Един такъв модел е предложен и изследван и от дисертантката. Моделът предлага обяснение на квазипериодичното разпределение на барионното вещество на едромащабната Вселена, предлага механизъм за разделяне на веществото от антивещество на разстояния от порядъка на купове от галактики. Проведен е числен анализ на еволюцията на пространственото разпределение на барионния заряд и са получени необходимите условия за генериране на такива области.

Тази част на дисертацията прави впечатление с многобройните числени резултати, сравнени с наблюдаващите данни и получените важни оценки за реализуемостта на разглежданите модели. Тази тематика е започната по време на нейната аспирантура.

7. Третата част е реализация на едно оригинално хрумване - получаване на космологични ограничения за съществуването на **кирални тензорни полета**.

Такива полета са основни в предложенията от М. Чижов (1994г.) модел за физика извън СМ и представляват спин-1 полета, които, както и фермионите, принадлежат на фундаменталното представяне на SU(2) за разлика от калибровъчните спин-1 полета, които принадлежат на присъединеното представяне на SU(2). Те имат киралност, пак за разлика от калибровъчните полета. За да е съгласуван, в предложенията модел се въвеждат допълнителни калибровъчни и Хигсови полета. Търсенето на такива полета е в програмата на колаборация ATLAS на LHC. Полученото до сега ограничение за масата на киралната тензорна частица е $M > 3 \text{ TeV}$.

Ето защо разглеждането на космологични ограничения е особено актуално. Допълнителните полета увеличават плътността на ранната Вселена и изменят нейната еволюция т.к. взаимодействията директно с останалите частици и водят до увеличаване скоростта на разширение на Вселената, което обаче е съвместимо с измерените стойности. От получените космологични ограничения следва, че ефективната константа на взаимодействие на тензорните кирални полета е на 2 порядъка по-малка от константата на Ферми на слабото взаимодействие.

8. По приносите на дисертацията са публикувани **31 статии вrenomирани научни списания**, от които повечето с висок импакт-фактор: в JCAP -2 (IF: 6.7), в Progress in Part. and Nucl. Phys -2 (IF: 4.2), в Astropart. Phys. -1 (IF: 4.02), в Nucl. Phys. B – 2 (IF: 4.225), в MNRAS -1 (IF: 4.68), в Phys. Lett. B – 1 (IF: 3.581), в Phys. Rev.D – 1 (IF: 3.56) и други; и **20 доклада** на международни конференции. Половината от работите - 15 са самостоятелни, 15 са с един съавтор, като в 9 от тях тя е първи съавтор, не по азбучен ред, с двама съавтори има само една работа. Това убедително показва нейния водещ принос в по-голямата част от резултатите. Работите на Д. Кирилова са достатъчно широко цитирани, представен е списък от 330 цитата (което многократно надвишава изискванията). Една от работите, която е основополагаща за теорията на бариогенезиса в след инфлационния стадий на Вселената, е цитирана над 100 пъти, 2 са с над 50 цитата, други 2 с над 40 цитата, 1 с над 30 цитата и т.н. Хирш индекса на кандидата е 10.

Д.Кирилова е научен ръководител на една успешно защитена по темата на настоящата дисертация докторантura на Мариана Панайотова. По тази тематика под нейно ръководство е защитена дипломна работа в ФзФ на СУ.

Авторефератът правилно отразява съдържанието на дисертацията, както и изложените научни приноси на дисертационния труд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Като имам предвид характера на научните приноси на дисертацията, тяхната актуалност и значимост за съвременната астрофизика, космология и физика на високите енергии, отражението им в научната литература и личния принос на доцент д-р Даниела Кирилова в получаването им, уверено мога да кажа, че тя напълно удовлетворява всички изисквания и критерии за научната степен "доктор на физическите науки" в професионално направление 4. Природни науки, математика и информатика, 4.1 Физически науки (Астрофизика и звездна астрономия) и убедено препоръчвам на уважаемите членове на Научното жури да гласуват положително за присъждането ѝ на исканата научна степен.

София, 29.09.2015г.

Рецензент: 

/професор дфн Екатерина Христова/