

вх. № 446 , 26.07.2015

## СТАНОВИЩЕ

върху дисертационния труд на доц. д-р Даниела Петрова Кирилова  
на тема "Неравновесни процеси в ранната Вселена и техните  
космологични ефекти и ограничения"

за получаване на научната степен "Доктор на физическите науки"  
по научна специалност "Астрофизика и звездна астрономия"

Рецензент: проф. д-р Диана Кюркчиева,  
Шуменски университет "Еп. К. Преславски"

Даниела Кирилова се дипломира през 1983 г. като магистър по физика във Физическия факултет на Софийския университет със специализация по "Астрономия".

През 1990 г. тя защитава дисертация в ГАИШ и придобива научната степен „кандидат на науките“. От 1995 г. тя постъпва на работа в Института по астрономия на БАН, където работи досега. През 2003 г. тя придобива научната длъжност доцент.

Представеният за рецензиране дисертационен труд от Даниела Кирилова е посветен на неравновесни процеси, свързани с произхода, химичния състав и структурата на веществото във Вселената, с неговите фермионни компоненти - барионна и лептонна. Разглежданите процеси и допълнителни частици представляват физика отвъд Стандартния модел на електро-слабите взаимодействия (СМ) и отвъд Стандартния космологичен модел (СКМ). Изследването на космологичната роля на разглежданите в дисертацията процеси и частици са актуални поради: наличието на прецизни наблюдателни данни (от COBE, WMAP, Planck, BESS, AMS, PAMELA и др.) относно редица характеристики на Вселената, като плътност на барионното вещество, плътност на лъчението, характеристики на Космичния микровълнов фон (КМФ), константа на Хъбл, възраст на Вселената, обилие на леки елементи и др.; наличието на експериментални данни (Super Kamiokande, SNO, KamLAND, K2K, T2K, LSND, KARMEN, MiniBoone, SOUDAN, ATLAS на LHC); усъвършенстването на космологичните и физичните модели и теории, в частност космологичният нуклеосинтез (КН), инфлационната теория, генерирането на КМФ, на космичния неутринен фон (КНФ) и теорията на образуване на структурите във Вселената, моделите на тъмното вещество (ТВ) и тъмната енергия (ТЕ). Това позволи сравняване на предсказанията на космологичните модели с прецизните астрофизични и космологични наблюдателни данни и получаване на ценна информация относно характеристиките на Вселената, условията в ранната Вселена, както и относно физиката отвъд СМ. В дисертацията са получени космологични ограничения върху характеристиките на разглежданата нова физика на базата на космологични и астрофизични наблюдателни данни, т.е. темата на предложения за рецензиране дисертационен труд е изключително актуална за съвременната астрофизика.

Дисертацията на д-р Даниела Кирилова съдържа 275 страници, включващи 45 фигури и 244 цитирани источника. Съдържанието е структурирано в увод, седем глави и заключение.

Текът на дисертацията е написан стегнато и логически последователно. От него личи дълбокото познаване на всеки от разглежданите въпроси и личното становище на автора. Особено интересно е поднесена интерпретацията на резултатите.

Дисертацията на д-р Даниела Кирилова се основава на 51 научни труда: 31 статии в списания и 20 доклада в пълен текст, представени на международни научни конференции и симпозиуми. От публикациите 19 са в списания с висок импакт фактор.

Общий импакт фактор на тези публикации е около 60.

От представените публикации 25 са самостоятелни, в 23 публикации кандидатката е с 1 съавтор, а останалите 3 статии – с 2 и повече съавтори. В 20 от публикациите дисертантът е на първо място в авторския колектив, което говори за водещата му роля в изследването.

Общий брой цитати на тези статии е над 400. Статията с най-много цитирания (над 100) е "Production of particles by a variable scalar field" в Sov. J. Nucl. Phys. 51 (1990) 172,103 с автори Долгов А., Кирилова Д.

Следва да се отбележи, че резултати от изследването по темата на дисертацията са били представени в 20 доклада на международни конференции. Те са били реализирани с финансовата подкрепа на: 1996/1997 Датски правителствен грант за работа в Теоретичния астрофизичен център на Нилс Бор Института в Копенхаген; грантове за научни изследвания в Секцията по Високи енергии и космология на Международния институт по теоретична физика в Триест; грант в Теоретичния отдел на ЦЕРН; грант Мария Кюри; грант в Свободния университет в Брюксел.

Научните приноси на представеното изследване могат да бъдат разделени на 7 групи и формулирани по следния начин.

### I. Неравновесни неутринни осцилации

1. Предложен е прецизен кинетичен подход за описание на еволюцията на неравновесно осцилиращо неутрино. Изведени са кинетични уравнения за матрицата на плътността на неутриното, отчитащи едновременно разширението на Вселената, неутринните осцилации и взаимодействията на неутриното. Уравненията осигуряват точно описание на еволюцията на редукцията на неутринната плътност, на енергийния спектър на неутриното и на асиметрията в неутринния сектор.

2. Построен и изследван е модел на неравновесни електрон-стерилен неутринни осцилации, ефективни след излизане на активното неутрино от равновесие в ранната Вселена. Проведен е числен анализ на ефектите на неутринните осцилации за целия диапазон на параметрите на модела и за различни степени на начално запълване на стерилено неутрино  $0 \leq \delta N_s < 1$ .

3. Установено е, че неравновесните активно-стерилен осцилации водят до значителна дисторсия на спектъра на електронното неутрино и антинеутрино и редукция на техните плътности, а резонансните Михеев-Смирнов-Волфенстейн неравновесни неутринни осцилации между електронно и стерилено неутрино водят до ръст на асиметрията в неутринния сектор.

### II. Космологичен нуклеосинтез с неравновесни неутринни осцилации

4. Конструиран и изследван чрез числен анализ е модел на космологичен нуклеосинтез (КН) с неравновесни  $v_e \leftrightarrow v_s$  неутринни осцилации, ефективни след излизане на електронното неутрино от равновесие. Предложен е точен кинетичен подход за едновременно описание на еволюцията на осцилиращото неутрино и еволюцията на нуклоните. Установено е, че пълният ефект на неутринните осцилации за целия диапазон на параметрите на модела е препроизводство на  $^4\text{He}$ .

5. Установено е, че препроизводството на  $^4\text{He}$  е няколкократно по-голямо от причиненото от динамичния ефект на едно допълнително леко стерилено неутринно. Използвани са наблюдални данни за първично произведените  $^4\text{He}$  и D за получаване на космологично разрешения диапазон за осцилационните параметри.

6. Изследвани са различни възможности за изменение на КН-ограничения върху осцилационните параметри.

### III. Ненулево начално ниво на запълване на стерилното неутрино и космологичен нуклеосинтез с неутринни осцилации

7. Проведен е числен анализ на КН с неравновесни  $\nu_e \leftrightarrow \nu_s$  осцилации в общия случай на начално ненулево ниво на запълване и на ефектите на  $\delta N_s$  върху замръзването на нуклоните и производството на  $^4\text{He}$  в КН с неутринни осцилации.

8. Получени са изохелиеви контури, съответстващи на 3%, 5%, 7% и 9% препроизводство на  $Y_p$ . Пресметнати са по-общи КН ограничения върху  $\nu_e \leftrightarrow \nu_s$  осцилационните параметри, съответстващи на 3% и 5%  $Y_p$  неточност и за различна популация на стерилното състояние. За пръв път се разисква възможността за поддържане на кинетичния ефект и отслабване на КН-ограниченията в резултат на ненулево  $\delta N_s$ .

### IV. Малки лептонни асиметрии и космологичен нуклеосинтез с неутринни осцилации

9. Проведен е систематичен числен анализ на взаимовръзката между  $\nu_e \leftrightarrow \nu_s$  неутринните осцилации и малка лептонна асиметрия  $|L| << 0.01$ . Установени са значителни изменения на неутринната плътност и спектър за широк диапазон на  $L$ .

10. Установено е, че  $L$  може да поддържа, усилва или възпрепятства неутринните осцилации. Способността на лептонната асиметрия да усилва осцилациите е качествено нов ефект. Намерени са емпирични зависимости между осцилационните параметри и  $L$  за случаите, при които е възможно увеличаване или намаляване на производството на хелий. Възможността малки  $L$  да усилват неутринните осцилации е резултат от нов тип резонанс в неутринните осцилации - спектрален резонанс.

11. Изследван е числено индиректния кинетичен ефект на малки лептонни асиметрии  $|L| << 0.01$  върху КН в модел на КН с  $\nu_e \leftrightarrow \nu_s$ . Установено е, че реликтова  $L$  може да увеличи или намали препроизводството на  $Y_p$ , или да го редуцира до това на стандартния КН.

12. Установено е, че КН-ограниченията върху осцилационните параметри на неутринното поради малки лептонни асиметрии  $|L| > 10^{-8}$  могат да бъдат усилени, отслабени или снети.

13. Изведени са космологични ограничения върху лептонната асиметрия в случая на КН с осцилации и на КН с неутринни осцилации и лептонна асиметрия. Способността на лептонната асиметрия да поддържа неутринните осцилации е използвана за решение на проблема с тъмната радиация.

### V. Бариогенезисен модел с КСП и процеси на раждане на частици

14. Проведен е анализ на бариогенезисен модел с КСП, базиращ се на Афлек-Дайн бариогенезисния сценарий. Еволюцията на скаларното поле  $\phi$ , носещо барионния заряд, е проследена в слединфлационния период аналитично и числено, използвайки точни кинетични уравнения и отчитайки процесите на раждане на частици от скаларното поле. Числено е определена произведената барионна асиметрия. Изследвана е зависимостта на произведената барионен излишък от параметрите на модела.

15. Установено е, че раждането на частици води до значително намаляване на амплитудата на полето, което рефлектира в силно редуциране на барионния заряд, съдържащ се в кондензата на полето.

### VI. Нехомогенен бариогенезисен модел с КСП, структури и антивещество във Вселената

16. Изследван е механизъм за производство на пертурбации на барионната плътност на инфлационния стадий и еволюцията на разпределението на плътността на барионния заряд в рамките на нехомогенни бариогенезисни модели с КСП. Установено е, че нехомогенният бариогенезисен модел, позволяващ генерация на пространствено

варираща барионна плътност, предлага решение на проблема за квазипериодичното разпределение на видимото вещество във Вселената и за наличието на мащаб от порядъка на  $130 h^{-1}$  Мpc.

17. Изследван е механизъм за разделяне на области от вещества от такива с антивещество в рамките на нехомоген бариогенезисен модел с КСП. Моделът предсказва големи области от антивещество, разделени от тези с вещества, на разстояния 1 - 100 Mpc. Използвани са наблюдателни данни от космични, гама-льчи, КМФ и КН за получаване на ограничения върху възможното разстояние между структурите и техните размери.

## VII. Процеси с кирални ТЧ в ранната Вселена

18. Изучено е космологичното място и роля на киралните тензорни частици и е показано, че наличието на такива частици е разрешено от космологична гледна точка. Оценен е динамичният космологичен ефект в резултат на увеличението на плътността поради въвеждането на ТЧ. Определени са характерните взаимодействия на ТЧ в ранната Вселена и периода на тяхното космологично влияние.

Резултатите от представения дисертационен труд говорят за сериозната теоретична подготовка на кандидата и способността му да намира потвърждения на своите теоретични предсказания в наблюдални и експериментални данни. Дисертацията има характер на монография и може да служи като ценно помагало на студенти, дипломанти и докторанти и апелирам за нейното издаване.

Даниела Кирилова се ползва с голямо уважение сред нашата астрономическата колегия не само заради изключителния си професионализъм и трудолюбие, но и заради своите човешки качества – колегиалност, етичност, коректност, отзивчивост, обективност, готовност да работи в името на общите цели и престиж на българската астрономия. Със своите научни постижения тя е добре позната и в международната астрономическа колегия.

В последните години като главен редактор на Bulgarian Astronomical Journal тя изигра огромна роля за издигане на неговия международен престиж.

## **Заключение**

Въз основа на гореизложеното абсолютно убедено считам, че резултатите от представеното научно изследване по качество и количество напълно удовлетворяват критериите за получаване на научната степен “Доктор на физическите науки” на ИА. Поради това призовавам членовете на журито да гласуват положително по разглежданата процедура и да присъдят научната степен “Доктор на физическите науки” по научната специалност “Астрофизика и звездна астрономия” на доц. д-р Даниела Кирилова.

21.08.2015 г.

Рецензент: