

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на образователната и научна степен
„доктор”

Автор на дисертацията: гл. ас. Румен Георгиев Шкевов, докторант в „Космическа физика“
при Института за космически изследвания и технологии при БАН

Тема на дисертацията: „Сърфатронно ускорение на релативистки заредени частици от
електромагнитни вълни в космическа плазма”

Научен консултант: проф. дфмн Николай С. Ерохин

Рецензент: проф дфн Петко Неновски

1. Общо описание на представените материали

Представеният дисертационен труд е в обем от 154 страници, включващи 9
таблицы, 104 фигури, библиография от 157 заглавия на английски и руски и немски езици.
Дисертационният труд има следната структура: Актуалност, цел и обект на изследване 3 стр.;
Въведение - 2 стр.; Кратка историческа справка и състояние на проблема – 20 стр.;
Теоретична обосновка и основни уравнения - 15 стр.; Втора глава - 39 стр.; Трета глава 18
стр.; Четвърта глава – 20 стр.; Заключение - 3 стр.; Приноси - 2 стр.; Списък на публикациите
свързани с дисертацията – 3 стр.; Символи и съкращения – 3стр.; Литература - 15 стр.

2. Актуалност на дисертационната тематика

Дисертационният труд третира един значим проблем от космическата физика и
астрофизиката и физиката на космичните лъчи (КЛ): взаимодействието *вълни–заредени
частици*, в частност, т.н. *сърфатронно ускоряване* на заредени частици в присъствие на
външно магнитно поле. Дисертационната тема е *актуална* за космическата физика и
астрофизика за изясняване механизма на (ултра)релативистко ускоряване на заредените

частици и динамиката на КЛ, чието разпределение по енергии съществено се отклонява от общоприетите степенни скейлинги. Темата е актуална с оглед на наблюдаваните вариации на потоците КЛ и ефектите им в околоземното пространство и климата на Земята.

3. Кратка характеристика на дисертационния труд

В дисертационния труд се изследва взаимодействие електромагнитна вълна–частица и по конкретно, черенковски резонанс в условията на т.н. магнитоактивна плазма, т.е. в плазма с магнитно поле. Авторът намира решения на нелинейно диференциално уравнение за фазата на вълната на траекторията на частиците или за фазата на пространствено локализиран вълнов пакет. Изследва детайлно възможните условия на захващане на заредените частици от една вълна, две вълни или пространствено локализиран пакет от вълни, захващане водещо до ускоряването им до релативистки и ултарелативистки скорости в условията на космическата плазма. Работата е теоретична по характер, числените експерименти (подкрепени с множество фигури) осветляват допълнително физическата картина на явлениято *сърфатронно ускорение*. Дисертационният труд разкрива възможен механизъм на генерация на ултарелативистки космически лъчи, механизъм, който има място както в астрофизичните процеси, така и в хелиофизиката и космическата плазма.

4. Кратка характеристика на научните приноси

Първа глава представлява обстоен литературен обзор (посочени са много източници), теоретична обосновка, постановка на задачата, формулиране на изходните уравнения и основни уравнения. В тази глава са въведени и базисни параметри, т.е. факторите, от които зависи механизма на ускоряване (ограничено и неограничено).

Във *Втора глава* е разработен модел на сърфатронно ускоряване на заредени частици с една електромагнитна вълна, разпространяваща се перпендикулярно на постоянно магнитно поле в космическа плазма. Изведено е нелинейно диференциално уравнение, описващо фазата на вълната на траекторията на заредените частици. Обратното въздействие на резонансно ускоряваните частици (чиято плътност практически е пренебрежима) върху константността в параметрите на електромагнитната вълна в модела не се отчита. Извършени са числени експерименти за сърфатронно ускоряване на електрони

при надкритичен режим, вкл. и при условия за неограничено ускоряване. С помощта на числени експерименти са определени онези интервали на фазата, честотата и амплитудата на електромагнитната вълна, за които е възможно захващане и последващо ускоряване на частиците при различни начални скорости (енергия). Изследва се времевата динамика на фазата, компонентите на импулса и скоростта на захванатите електрони, както и темпът (*rate*) на ускоряване при различни условия: висока и ниска фазови скорости при зададени външни параметри като u характеризиращо отношението на електронната циклотронна честота към честотата на вълната, амплитуда на електричното поле която е или близка до критичната стойност (малка надкритичност) или над нея (с големи значения на параметъра на надкритичност). Интерес представлява представянето на уравнението за фазата на вълната за траекторията на частиците като уравнение на нелинеен осцилатор в поле с ефективен потенциал и подложен на 'триене', чиито величини са определени аналитично.

Специално внимание се отделя на случая, когато честотата на вълната е по-малка от електронната циклотронна, т.е. при $u \geq 1$, и фазовата скорост на електромагнитната вълна е близка до скоростта на светлината. Авторът показва, че в този режим ускоряването на заредените частици (електрони) е по-ефективно. Установява се, че ускоряването не зависи от параметъра на надкритичност, фазовата скорост при условие, че електронната плазмена честота е по-ниска от електронната циклотронна честота.

Втората част на *Втора глава* е посветена на сърфатронно ускоряване на електрони в зависимост от надлъжния импулс на частицата. От направения анализ най-важният извод е, че при условия на черенковски резонанс, увеличаването на надлъжния импулс на електрона не води до изменение във времето, нужно за захват на частицата от вълната в режим на ултрарелативистско ускорение. Захватът се оказва атрактор – устойчив фокус във форма на двоен обемно инвертиран конус от тип *W* (нов резултат).

Трета глава третира сърфатронно ускоряване при взаимодействие с две електромагнитни вълни със сравними амплитуди и с различни фазови скорости. Направеният от автора анализ показва, че на частиците, захванати в режим на ускорение от едната вълна, другата вълна практически не оказва съществено влияние. Обяснението е, че на захванатите частици, вече влезли в режим на ускорение, въздействието от друга вълна наподобява това на осцилираща сила с висока честота, т.е. въздействието от втората вълна

практически може да се пренебрегне. Заслужава внимание полученият от автора резултат, че когато фазовите скорости на двете електромагнитни вълни са близки, не е възможен стабилен захват с последващо силно ускоряване на частиците.

Четвърта глава разглежда сърфатронно ускоряване на заредени частици с пакети електромагнитни вълни (или накр. вълнови пакети), разпространяващи се перпендикулярно на външно магнитно поле.

При пространствено локализирани пакети електромагнитни вълни с достатъчно плавна Лоренцова обвивка, авторът изследва поведението на частиците и неговото ускоряване, проследява условията на ускоряване и броят на захванатите електрони в зависимост от зададените условия за параметрите, които участват в модела. Най-голямо ускоряване на частиците се постига, когато захващането става в областта след амплитудния максимум на вълновия пакет. Нека отбележим, че вълновият пакет трябва да е с честоти близки до горната хибридна честота – при тези условия електричното поле на вълновия пакет може да се разглежда като потенциално поле ($\nabla \times \mathbf{E} \approx 0$). Авторът показва, че в режим на силно ускоряване компонентата на скоростта по посока на вълновия фронт постоянно нараства достигайки определена величина, компонентата на скоростта по посока на външното магнитно поле непрекъснато намалява през цикъла на ускоряване, а по посока на разпространението на вълновия пакет скоростта на ускоряваните частици практически остава постоянна – равна на фазовата скорост на вълновия пакет. Показано е, че в режим на силно ускоряване фазовата траектория на частиците съдържа особена точка тип устойчив фокус.

Направените от автора оценки показват, че нарастването на енергията на захванатите частици може да надмине началната с 3 до 4 порядъка осъществимо в условията на космическата плазма, която се характеризира с наличието на спектър вълни както и с огромните си пространствени мащаби.

В II, III и IV глави са и най-съществените резултати, които авторът детайлно извежда и формулира като нови приноси. От тях бих откroил:

1. Нови и убедителни доказателства в полза на хипотезата: „Сърфатронното ускорение на заредени частици от електромагнитни вълни в космическа плазма е един от възможните механизми за генерация на реалтивистки и свръхрелятивистки частици в естествени условия“;

2. Сърфатронният механизъм за ускоряване на частици, на базата на процеса на обмен на енергия на частиците чрез отдаване и приемане на енергия от и към вълната, може да ускорява заредени частици и едновременно с това да стратифицира енергийното им разпределение.“

Други съществени приноси са посочени в частта „Приноси на дисертационния труд“.

5. Публикации и значимост на резултатите

Получените по темата резултати са публикувани в общо 15 публикации (7 статии и 8 доклада: от тях 2 статии в списания с импакт фактор (JASTP, Доклади БАН) и 5 в реферирани сборници от конференции. Част от публикуваните резултати са намерили отражение в литературата (вж SCOPUS). Изразявам убеждението, че резултатите, които се отнасят за динамиката на частиците в режим на захващане и последващото им поведение тип устойчив фокус заслужават да намерят още по-широка публичност на международни конференции и в списания с най-висок импакт фактор.

6. Критични бележки

Като цяло включените таблици и фигури в дисертационни труд са достатъчни и дават добра илюстрация на получените теоретични и симулационни резултати. Качеството на фигурите е добро. Има технически грешки и пропуски, които в подобни род трудове са неизбежни.

Критични бележки нямам.

7. Препоръки

Препоръчвам на автора в бъдещата си работа да систематизира своите резултати върху сърфатронното взаимодействие и условията на възникване на особените точки във фазовите траектории на захванатите частици, които възникват при ускоряването на (ултра)релативистки частици в присъствие на електромагнитна вълна или пакет електромагнитни вълни в магнитоактивна плазма. Да се разгледат (хипотезират) възможни астрофизични обекти, където този механизъм работи, както и в какви диапазони може да са очакваните параметри на ултрарелативистките частици или космични лъчи (КЛ).

8. Лични впечатления

Познавам Румен Шкевов от преди 1996 г., докато съм бил в Института за космически изследвания (ИКИ) при БАН. Впечатленията ми лични за него, от неговите доклади и публикации са отлични. Изследванията, на които се е посветил през последните години, и множеството обсъждания, подкрепят тези впечатления, както и мнението ми за Румен Г. Шкевов като активен, компетентен и много добре организиран в работата си учен.

9. Заключение

В този дисертационен труд е разгледан с *достатъчна пълнота* един от механизмите на ускоряване на заредени частици до (ултра)високите енергии - сърфатронният. Публикациите, върху които е изграден дисертационният труд (общо 15) са безусловна индикация, че темата на дисертационния труд е актуална, дисертабилна. Този механизъм и част от резултатите, получени и анализирани за широк спектър от условия и параметри, са отразени в списания с импакт фактор: JASTP (където е първи автор), Доклади БАН и др. Трудът отговаря на изискванията на закона и посочената област на висшето образование: 4. Природни науки, математика и информатика, Професионално направление: 4.1. Физически науки.

Имам пълната убеденост че авторът на дисертационния труд, гл. ас. Румен Шкевов, заслужава да му бъде присъдена образователната и научна степен „доктор“.

Препоръчвам на Уважаемото жури към Научния съвет на ИКИТ (БАН) да присъди образователната и научна степен „доктор“ на автора на дисертационния труд „Сърфатронно ускорение на релативистки заредени частици от електромагнитни вълни в космическа плазма“, гл. ас. Румен Георгиев Шкевов.

25. януари.2017 г.

Изготвил:

/и/

/проф. дфн Петко Неновски/



Handwritten signature

