

РЕЦЕНЗИЯ

на

дисертационния труд на Павлина Иванова Иванова, физик от ИЕ, на тема:

“Изследване на функцията на разпределение на електроните по енергия в плазма на
токамак със сонда на Ленгмюр”

за получаване на научната степен “Доктор по физика”

от

проф. дфн Александър Борисов Благоев, СУ

Представената ми за рецензия дисертация е написана на 114 страници и съдържа увод, три глави, заключение, две приложения, библиография на цитираната литература, справка за приносите и списък с публикациите по дисертацията. Текстът е илюстриран със 76 фигури и 5 таблици. Цитираната литература включва 98 заглавия.

Дисертационният труд е изграден на базата на 8 публикации в научни списания. Направени са 11 доклада на конференции, девет от които са международни форуми. Статиите са публикувани в реномирани списания: три статии в Journal of Phys. Conf. Ser., една работа в Plasma Phys. Contr. Fus., три работи в Бюлетина на конференциите по физика на плазмата на Европейското физическо дружество и една работа в Acta Technica. В две от публикациите Павлина Иванова е първи автор, в други две е втори автор. С други думи нейният принос в получаването на този голям по обем материал е значителен.

Дисертацията е посветена на приложение на метода на електрична сонда за измерване на функцията на разпределение на електроните по енергии в периферните области на плазмата на Токамак.

Както е известно класическата теория на Ленгмюр не дава коректни резултати в плазма с високо налягане на газа, а така също и при наличие на силно магнитно поле. Първите статии, показващи възможността да се използва електричната сонда при силно магнитно поле, се появиха преди около 30 години. В една от тези статии (Голубовский и др., Физика Плазми, 7 (1981) 620) се посочва, че и в този случай е възможно да се провеждат сондови измервания на функцията

на разпределение на електроните по енергии (ФРЕЕ), но това електронно разпределение е пропорционално не на втората производна на сондовия ток, както се очаква според класическата формула на Дрювестейн, а на неговата първа производна. Тази възможност е много благоприятна, защото директното определяне на ФРЕЕ е за предпочитане пред решаването на интегралното уравнение, свързващо сондовия ток с функцията на разпределение. Оказа се обаче, че практическата реализация на тази възможност се забави твърде много. Доколкото ми е известно, едва сега, с работите, върху които е построена тази дисертация се поставя началото на систематически измервания с електрична сонда в условията на силно магнитно поле и силна турбулентност. Тази задача е актуална във връзка с измерванията на характеристиките на плазмата в периферната област на активната зона на устройства от типа токамак.

В увода на дисертацията е направен обоснован извод на ролята на подобни изследвания и е поставена целта на дисертацията: определяне на разпределението на електроните по енергии в пристенната област на токамак със сонда на Ленгмюр.

Първата глава на дисертацията представлява един кратък, но добре написан на качествено ниво обзор на принципа на удържане на плазмата в система от типа токамак и на наличието на два режима на неговата работа: H- мод и L – мод.

Втората глава съдържа подробно описание на работата на електрическа сонда в плазмата. Направен е литературен обзор по основите на метода на сонда на Ленгмюр. Приведени са съотношенията, които свързват функцията на разпределение с плътността на тока както в безударния случай, така и при наличие на удари на заредените частици в присондовия слой. Детайлно са описани режимите на работа на сондата в слабоионизиран газ в отсъствие на магнитно поле, като цял параграф е отделен за описание на кинетичния модел за електронния ток на сондата в нелокално приближение. Това е необходимо, за да се получат изразите за тока на сондата в дифузионен режим. Лично аз бих пропуснал стр. 39 и 40, но поради факта, че в българската научна литература отсъстват текстове, коректно описващи работата на електрична сонда, то това не е слабост на дисертационния труд. Обратно – той може да бъде ползван като учебно пособие по тези проблеми. Следващите два параграфа са свързани с работата на сондата в магнитно поле. В

тях са представени изразите за т. н. дифузионен параметър при различна ориентация на сондата спрямо магнитното поле. Дискутирани са и методите, използвани от други автори за сондови измервания в плазма със силно магнитно поле. Тук трябва да се споменат измерванията на Станджеби в подобни условия, който използва йонната част на едносондовата характеристика, като предполага максвелова функция на електроните по енергии.

Третата глава на дисертацията е посветена на приносите на Павлина Иванова и на колектива, в който тя работи. Тази глава е разделена на 2 части: теоретична част, в която са получени изразите, свързващи първата производна на сондовия ток с разпределението на електроните по енергии и експериментална част, представяща данни от проведени експерименти на токамаците Castor и Compass в Института по физика на плазмата на Чешката Академия на Науките.

В теоретичната част детайлно и последователно са пресметнати формулите за дифузионния параметър при цилиндрична сонда, ориентирана перпендикулярно на магнитното поле ψ_{\perp} [израз (3.3)] и за сонда, ориентирана успоредно на магнитното поле [израз (3.4)]. При извода на (3.3) напълно справедливо се приема, че в пристенния слой на плазмата тя е силно турбулентна, като характерният размер на турбуленциите е от порядъка на 1 cm. При такива турбуленции векторът на електричното поле изменя посоката си, което води до промяна на посоката на движение на заредената частица, подобно на промяната при еластичен удар. И макар честотата на същинските удари на заредените частици да е много ниска, то за турбулентната плазма може да се използва методът за определяне на енергетичното разпределение, предложен от Арсланбеков и др. в Plasma Sources Sc. Technol. (1996). При пресмятане на стойността на ψ_{\perp} , горната граница на интеграла може да се положи равна на дължината на турбуленция L' . Освен това се приема, че дифузията от несмутената плазма към сондовия слой в турбулентната плазма е Бомовска, докато в самия слой, поради малката му дебелина, се допуска, че дифузията е класическа. Представени са моделни пресмятания на първата производна на сондовия ток при различни стойности на дифузионния параметър за максвелова ФРЕЕ. Предложена е процедура за определяне на потенциала на пространството. От експериментални данни в далечната енергетична област на

разпределението се определя температурата (средната енергия), след това с тази температура се изчислява моделна крива на ФРЕЕ, по нея се пресмята потенциалът на пространството и накрая с отместената моделна крива се търси най-доброто фитиране с експерименталната крива. След като се намери ФРЕЕ се определя концентрацията на заредените частици като интеграл по получената функция на разпределение.

В експерименталната част на трета глава накратко са описани основните параметри на токамака Castor и характеристиките на сондовата верига. От данни на измервания с друг диагностичен метод се виждат турбуленциите в пристенната област, което оправдава предположението, направено в теоретичната част. За да се тества методът, развит в нея, са подбрани два изстрела със сходни параметри на разряда в токамака. Използвани са данните за тока на разряда, концентрацията на заредените частици от измерванията с микровълнов интерферометър и интензитета на водородната линия H_{α} . В тези два изстрела, в средата на токовия импулс, са направени измервания със системата от сонди, като в дисертацията е показан резултат от времевия ход на сондовия ток при трионообразен ход на потенциала на сондата. Волтамперната характеристика е изгладена със стандартна програма от пакета Origin 6.1 и след това е обработена по начина, описан по-горе. При сонди, които се намират съответно на 56 и 65 милиметра от центъра на полоидалното сечението на тора, се получават функции на разпределение с би-максвелов характер. Наблюдава се значителна основна група от електрони с енергии, съответно 17 eV и 8 eV, както и една доста по-малка група от бързи електрони, с енергии съответно 35 eV и 31 eV. Тъй като методът на Станджеби предполага максвелово разпределение с една температура, то веднага се вижда преимуществото на метода, използван в дисертацията. Сравнението на радиално разпределение на електронната температура, получено по този метод и по метода на Станджеби показват, че стойностите на високата температура на този метод е близка до температурата на Станджеби, но тъй като електроните с ниска температура са с много по-висока концентрация, то е ясно, че използвайки йонната част на сондовата характеристика не получаваме достатъчно добри резултати.

Друго преимущество е възможността да се определи потенциала на пространството. В дисертацията е показано радиално разпределение на потенциала на плазмата, получено със сонди, ориентирани паралелно и перпендикулярно на магнитното поле.

В дисертацията са представени и експериментални резултати, получени на токамака Compass. Камерата на този токамак е с D-образно сечение, а освен това на това устройство е бил постигнат т.н. H-мод, преди демонтирането му от лабораторията в Кълъм, Англия. И макар, че той е с размери 1/10 от размерите на бъдещият голям токамак ITER, то на него могат да се изследват на съвременен ниво много от явленията, характерни за големите машини.

Към момента на приключване на дисертацията този токамак е бил пуснат в действие, с ограничен набор от диагностични техники. Една от тях е диверторната сондова система. Тя се състои от 39 графитни единични сонди на Ленгмюр, вградени в дивертора. Сондовата верига е аналогична на тази, използвана в Castor.

Получени са известно количество експериментални данни, които се отнасят за интервала от време, когато плазменният стълб пада върху дивертора. В този случай не може да се реализира квазистационарен режим, но обработката на едни и същи волтамперни характеристики по метода на Станджеби и метода на първата производна показват сравними резултати. Измерените енергетични разпределения са Максвелови. Определен е плазменният потенциал, резултатите са сравнени с пресмятанията за „дебела“ сонда и е показано удовлетворително съгласие.

Трябва да отбележа, че дисертацията е оформена много добре, написана е с добър език, достатъчно ясно и подробно, което в дадения случай е един плюс, както отбелязах по-горе. Нямам съществени забележки към дисертационния труд. В текста, разбира се, не липсват и някои не съвсем прецизни изрази. Например на стр. 14, 2 ред отдолу е написано, че ...”чрез въвеждане на допълнително външно поле (в допълнение на тороидалното и полоидалното) по посока на тока, създадено с помощта на тороидални намотки”...В последващ пасаж се визират неустойчивости с $m=0,1,2$ и т.н. Именно за борба с тях се създава тороидалното поле, иначе само по себе си то не съществува. Допълнително външно поле се въвежда и за да се оформи D-образното сечение на стълба. Стр. 23 – 2 ред отдолу

(над фигурата) ”електростатичен слой, характеризиращ се с пад на потенциала и налягането”. Толкова силно ли се мени налягането в близост до твърдото тяло? Последният ред на стр. 27 гласи ”(това се дължи на енергетичното разпределение на електрони и йони) и тогава приносът на йонния ток в сумарния може да се пренебрегне” – (следващата страница). А ако енергетичните разпределения са еднакви? Причината е огромната разлика в скоростите на електроните и йоните поради разликата в масите им. Бих препоръчал на дисертантката, да бъдат прецизираните изразите, а също така да се заменят английските термини “shot” и “reciprocating probe” със съответните български термини, преди дисертацията да се качи на сайта на Факултета. Лично аз бих номерирал формулите на стр. 56, тъй като те имат приносен характер.

Съдържанието на автореферата отговаря на съдържанието на дисертацията.

От изложеното дотук се вижда, че предмет на дисертацията са много интересни и актуални проблеми. Съвкупността на резултатите от втора и трета глава на работата може да се характеризира като обогатяване на съществуващи знания и получаване на нови знания.

По мое мнение работата напълно отговаря на изискванията, които се предявяват към дисертационните трудове за присъждане на научната степен “Доктор”, а авторът, Павлина Иванова Иванова без съмнение е достойна за тази степен. Предлагам на уважаемото жури по конкурса да вземе положително решение по този въпрос.

15.03.2012

Рецензент:

/проф. дфн А.Благоев/