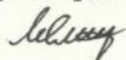


ХАРЬКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи



СМИРНОВА МАРИНА СЕРГЕЕВНА

УДЕРЖАНИЕ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ТОРСАТРОНАХ/ГЕЛИОТРОНАХ

01. 04. 08 - физика и химия плазмы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Харьков - 1993



00814121 (H)

Работа выполнена в УНЦ "Харьковский физико-технический институт".

Научный руководитель: доктор физико-математических наук
Шишкин Александр Александрович.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
Репалов Николай Семенович (УНЦ ХФТИ, г. Харьков),
доктор физико-математических наук
Егоренков Владимир Дмитриевич (ХГУ, г. Харьков).

Ведущая организация: Институт ядерных исследований
АН Украины (г. Киев)

Защита состоится "3" дек 1993 г. в 15⁰⁰ на
заседании специализированного совета Д 053. 06. 01 Харьковского
государственного университета (310108, г. Харьков, пр. Курчатова,
31, ауд. 301).

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной
библиотеке ХГУ.

Автореферат разослан "1" ноября 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета
доктор физ.-мат. наук

Азаренков Н. А.

AB-28.903

I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

1.1. Актуальность темы

Способность хорошо удерживать заряженные частицы в течение многих характерных периодов их движения - одно из основных требований, предъявляемых современным стеллараторным и торсатронным ловушкам. Как прямые потери заряженных частиц, так и их непрямые потери при низких частотах соударений в конкретном торсатроне в значительной степени обусловлены специфическим набором параметров его вакуумной магнитной конфигурации. Поэтому исследование зависимости удерживающих свойств торсатронной конфигурации от ее параметров является необходимым элементом проектирования любой установки и позволяет установить, каковы возможные режимы ее работы, а кроме того - наметить пути оптимизации параметров конфигурации с точки зрения улучшения удержания частиц. Выбор торсатронных схем для экспериментальных установок следующего поколения, в том числе торсатронов - реакторов, диктует необходимость развития эффективных методов исследования влияния параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона на удержание заряженных частиц, позволяющих сравнивать удерживающие свойства различных конфигураций.

Многообразие существующих в настоящее время способов оптимизации параметров торсатронных конфигураций и их направленность на использование технологических возможностей конкретных установок делает важным поиск аналитических критериев оптимальности, пригодных к использованию в любом торсатроне.

Перечисленные выше обстоятельства делают рассмотренные в диссертации задачи актуальными и, в силу их прикладного характера, необходимыми для дальнейшего продвижения

стеллараторных исследований в направлении торсатрона - реактора.

1.2. Цель работы

Целью работы является сравнительное исследование зависимости удерживающих свойств вакуумных магнитных конфигураций торсатронов от их параметров и поиск путей улучшения удержания заряженных частиц в торсатронах с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и малым числом периодов винтового магнитного поля и торсатронах - гелиотронах.

1.3. Научная новизна результатов

- Впервые проведено сравнительное исследование удерживающих свойств вакуумных магнитных конфигураций торсатрона с умеренной глубиной винтового гофра ($\varepsilon_t > \varepsilon_l$) и малым числом периодов винтового поля на длине установки типа "Ураган-2М" и торсатронов - гелиотронов (LHD, ATF, Heliotron E) - установок с большой глубиной винтового гофра ($\varepsilon_l > \varepsilon_t$) и большим числом периодов винтового поля.

- Развита метод качественного анализа влияния параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона (таких как спектры гармоник винтового и тороидального магнитных полей, число периодов винтового магнитного поля на длине установки и отношение параметров неоднородностей магнитного поля $\varepsilon_t/\varepsilon_l$) на доли орбит заряженных частиц различных типов в фазовом пространстве и их удержание. Суть метода заключается в рассмотрении на фазовой плоскости топологии особых решений (точек покоя) дрейфовых уравнений движения заряженной частицы.

Выполненное этим методом исследование позволило обнаружить ранее не известные физические эффекты.

— Установлено, что в основе механизма воздействия сателлитных винтовых гармоник магнитного поля на удержание заряженных частиц в торсатронах лежат винтовые резонансы магнитного поля, порождающие дрейфовые резонансы (bounce - резонансы) между основной частотой колебаний запертой частицы в винтовом гофре и частотами ее колебаний во вторичных магнитных ямах. Исследование наборов гармоник винтового магнитного поля различных торсатронов позволило установить следующее:

а) совпадение знаков Фурье-коэффициентов основной и ближайших сателлитных винтовых гармоник приводит к выполнению резонансного условия в наружной области тора; при этом ухудшается удержание глубоко запертых частиц, увеличивается доля абсолютно - пролетных частиц в фазовом пространстве и улучшается удержание едва запертых частиц по сравнению со случаем одногармоничной конфигурации;

б) несовпадение знаков Фурье-коэффициентов основной и ближайших сателлитных винтовых гармоник приводит к выполнению резонансного условия во внутренней области тора, что влечет за собой улучшение удержания глубоко запертых частиц, уменьшение доли абсолютно-пролетных частиц и ухудшение удержания едва запертых частиц по сравнению со случаем одногармоничной конфигурации.

— Исследовано влияние отдаленных сателлитных винтовых гармоник магнитного поля на удержание заряженных частиц в торсатронах. Установлено, что выполнение резонансных условий между частотой основного колебания запертой частицы в винтовом гофре и близкими к ней частотами колебаний возможно за счет накопления высокочастотных резонансных возмущений винтового магнитного поля даже при сколь угодно малых амплитудах

отдаленных сателлитных винтовых гармоник. Показано, что в этом случае колебания запертой частицы между горбами магнитного поля носят существенно нелинейный характер, и для адекватного описания такого движения требуется учет большого числа сателлитных винтовых гармоник магнитного поля.

- Получены аналитическое выражение для продольного адиабатического инварианта супербананов и уравнения движения частиц этого типа в торсатронах со сложным спектром гармоник магнитного поля. Установлено, что в таких торсатронах существует два типа супербананов с точками остановки во внутренней области тора: "наружные" и "внутренние". Найдена сепаратрисная траектория, разделяющая эти два типа орбит в фазовом пространстве. Установлено также, что в торсатроне с $\epsilon_t > \epsilon_l$ пролетные винтовые бананы в процессе своего дрейфового движения имеют радиальные отклонения от исходной магнитной поверхности, превосходящие соответствующие отклонения запертых бананов.

- Рассмотрено влияние тороидальных сателлитных гармоник магнитного поля на удержание заряженных частиц. Показано, что наличие таких гармоник с Фурье-коэффициентами противоположного знака по отношению к Фурье - коэффициенту основной тороидальной гармоники в торсатронах с $\epsilon_t > \epsilon_l$ способно компенсировать влияние на запертые частицы неблагоприятного спектрального состава винтового магнитного поля.

- Изучен характер локализации следов уходящих запертых частиц на крайней замкнутой магнитной поверхности в различных торсатронах. Предложен метод качественной оценки распределения угловых координат запертых частиц на крайней замкнутой магнитной поверхности торсатрона с $\epsilon_t > \epsilon_l$, не требующий численного интегрирования дрейфовых уравнений движения частицы.

- Значительное влияние, которое оказывают винтовые резонансы магнитного поля на удержание заряженных частиц в торсатроне, позволяет улучшать удерживающие свойства его вакуумной магнитной конфигурации, управляя радиальными позициями винтовых резонансов. Этот подход нашел свое отражение в сформулированном в работе принципе обобщенной σ - оптимизации. Сформулированы также аналитические критерии оптимальности (в том числе, в виде предельных соотношений), которым должны удовлетворять параметры вакуумной магнитной конфигурации торсатрона для улучшения удержания частиц как в заданной области тора, так и во всем объеме удержания.

- Исследовано влияние характера удержания заряженных частиц в торсатронах, а также их bounce-резонансов на частотные границы неклассических столкновительных режимов и значения коэффициентов переноса в этих режимах. В торсатроне с $\mathcal{E}_t > \mathcal{E}_l$ предсказано появление полоидальной зависимости в профиле амбиполярного электрического поля, обусловленной асимметрией в координатном пространстве областей потерь заряженных частиц. Установлено, что характер зависимости коэффициентов переноса от частоты вблизи резонансных значений bounce-частот колебаний запертых частиц становится пилообразным как результат суперпозиции столкновительных режимов с D_1 , пропорциональными ν и $1/\nu$.

- Проведен сравнительный анализ влияния радиального электрического поля различных модельных профилей на удержание заряженных частиц в торсатронах с $\mathcal{E}_t > \mathcal{E}_l$ типа "Ураган-2М" и торсатронах-гелиотронах. Найдены дрейфовые резонансные орбиты частиц высоких энергий, запертых на винтовой неоднородности магнитного поля в торсатронах типа "Ураган-2М" при наличии радиального электрического поля порядка $e\Phi/kT \sim 1$, и исследована

структура этих резонансов. Установлено, что радиальное электрическое поле не способно улучшить удержание всех типов запертых частиц одновременно и во всем объеме удержания.

1.4. Научная и практическая ценность работы

1) Разработанный в диссертации метод качественного исследования влияния параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона на удержание заряженных частиц может применяться для анализа удерживающих свойств вакуумных магнитных конфигураций любых тороидальных плазменных ловушек, в частности, токамаков и стеллараторов.

2) Выполненные в диссертации исследования областей локализации следов уходящих запертых частиц на крайней замкнутой магнитной поверхности различных торсатронов могут служить основой для изучения поведения заряженных частиц в диверторной области торсатрона, определения функций распределения угловых координат выхода частиц на первую стенку вакуумной камеры, а также стимулировать поиски способов повышения эффективности дивертора.

3) Предложенный в работе подход к оптимизации параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона с точки зрения удержания заряженных частиц и аналитические критерии оптимальности могут использоваться для улучшения удерживающих свойств конфигураций как строящихся, так и проектируемых установок.

1.5. Апробация работы

Результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на 13 Международной конференции по УТС и физике плазмы (Вашингтон,

1990), VIII стеллараторном совещании МАГАТЭ (Харьков, 1991), I Украинской конференции по УТС и физике плазмы (Киев, 1992), на семинарах отделения физики плазмы ХФТИ и опубликованы в виде статей в журнале Nuclear Fusion, в виде препринтов ХФТИ и NIFS и в сборниках докладов международных конференций.

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы (137 стр. машинописного текста, 38 рисунков и 92 наимен. цитированной литературы).

2.1. Во Введении сформулированы цели и задачи диссертации, обосновывается актуальность рассматриваемых вопросов, изложено содержание диссертации и полученных в ней результатов, а также дается краткий литературный обзор.

2.2. В Первой главе рассматривается влияние параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона, таких как отношение величин неоднородностей магнитного поля $\mathcal{E}_t / \mathcal{E}_r$, число периодов поля на длине установки m и спектр гармоник магнитного поля, на удержание заряженных частиц в сравниваемых торсатронах. Характер зависимости напряженности магнитного поля вдоль силовой линии на данной магнитной поверхности от перечисленных параметров в наиболее общем случае записывается для торсатронов в виде следующего Фурье-разложения:

$$B/B_0 = \sum_{p,j} \left\{ C_{p,j}(r) \cos p\varphi \cos j\theta + S_{p,j}(r) \sin p\varphi \sin j\theta \right\}. \quad (1)$$

Здесь φ - тороидальный угол (угловая координата, отсчитываемая

по большому обходу тора), θ - полоидальный угол (угловая координата, отсчитываемая по малому обходу тора от направления, противоположного главной нормали к круговой оси тора), r - средний радиус магнитной поверхности, нормированный на радиус плазмы, B_0 - значение напряженности магнитного поля на круговой оси тора.

В большинстве стеллараторов и торсатронов напряженность магнитного поля хорошо описывается набором гармоник с номерами $p = 0, p = 1$. В этом случае разложение (1) принимает вид:

$$B/B_0 = 1 - \varepsilon_t \cos \theta + \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \varepsilon_{l+t} \cos [(l+t)\theta - \pi p] . \quad (2)$$

ε_t - амплитуда основной тороидальной гармоники ($p = 0, j = 1$); ε_l - амплитуда основной винтовой гармоники ($p = 1, j = l$), ε_{l+t} - амплитуды сателлитных винтовых гармоник ($p = 1, j = l \pm t, i = 1, 2, \dots, \infty$), l - заходность винтовой обмотки. В некоторых случаях необходимо также учитывать и тороидальные сателлитные гармоники с номерами $p = 0, j = l \pm t$. Тогда разложение (1) записывается в виде:

$$B/B_0 = 1 - \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \left\{ \varepsilon_{l+t,0} \cos(l+t)\theta - \varepsilon_{l+t,1} \times \right. \\ \left. \times \cos [(l+t)\theta - \pi p] \right\} . \quad (3)$$

Качественный многофакторный анализ удерживающих свойств различных торсатронных конфигураций с характером изменения напряженности магнитного поля вдоль силовой линии вида (2) и (3) проведен в диссертации посредством рассмотрения на фазовой плоскости топологии особых решений уравнений движения заряженной частицы (особых кривых). Этот метод позволил сравнить в торсатронах как доли орбит частиц различного типа в фазовом

пространстве, так и характер их удержания (т. е. доли удерживаемых частиц).

С помощью продольного адиабатического инварианта движения частицы вида

$$J_{\parallel} = \frac{16R(\mu B_0 \tilde{\mathcal{E}}_{\parallel})^{1/2}}{m} \left[E(q^2) - (1 - q^2) K(q^2) \right] \quad (4)$$

получены аналитические выражения для двух типов особых кривых - переходных и "запретных":

$$\tilde{\mathcal{I}}_t = E/\mu B_0 - 1 + \mathcal{E}_t \cos\theta - \tilde{\mathcal{E}}_{\parallel} = 0, \quad (5)$$

$$\tilde{\mathcal{I}}_f = E/\mu B_0 - 1 + \mathcal{E}_t \cos\theta + \tilde{\mathcal{E}}_{\parallel} (1 - 2q^2) = 0, \quad (6)$$

где $\tilde{\mathcal{E}}_{\parallel} = (A^2 + D^2)^{1/2}$, $A = -\sum_{l=-\infty}^{+\infty} \mathcal{E}_{l+l} \sin(l\theta)$, $D = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} \mathcal{E}_{l+l} \cos(l\theta)$,

q^2 - параметр запертости частицы (модуль эллиптических интегралов E и K). Для исследования влияния спектра гармоник винтового магнитного поля на удержание заряженных частиц семейства особых кривых для одногармоничной конфигурации торсатрона рассмотрены в качестве базовых, а сателлитные винтовые гармоники - в качестве возмущения $\tilde{\mathcal{E}} = \tilde{\mathcal{E}}_{\parallel}/\mathcal{E}_{\parallel}$, искажающего топологию базовых кривых. Выводы, сделанные на основе качественного анализа влияния параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона на удержание частиц, сопоставлены с результатами численного интегрирования их дрейфовых уравнений движения в магнитных координатах.

Исследуются спектры гармоник винтового магнитного поля торсатронов-гелиотронов (Heliotron E, ATF, LHD) и торсатрона "Ураган-2М" и характер удержания заряженных частиц в них, а также bounce-частоты колебаний запертых частиц в винтовых гофрах

магнитного поля. Обнаружено, что на удержание заряженных частиц в торсатронах существенное влияние оказывает наличие резонансов между частотой основного колебания запертой частицы в винтовом гофре магнитного поля и частотами ее колебаний во вторичных магнитных ямах, обусловленных наличием гофрировки. Получены соотношения, которым должны удовлетворять амплитуды сателлитных винтовых гармоник магнитного поля для выполнения резонансного условия в наружной области тора:

$$\sum_{l=1}^{\infty} [(\varepsilon_{l+l} + \varepsilon_{l-l})/\varepsilon_l] \rightarrow 1, \quad (7)$$

и во внутренней области тора:

$$\sum_{l=1}^{\infty} [(\varepsilon_{l+l} + \varepsilon_{l-l})/\varepsilon_l (-1)^l] \rightarrow 1. \quad (8)$$

Исследована роль отдаленных сателлитных винтовых гармоник магнитного поля при выполнении резонансных условий (7) и (8).

Получены аналитические оценки различных характеристик орбит запертых частиц в торсатроне со сложным спектром гармоник магнитного поля. Найден продольный адиабатический инвариант супербананов

$$J_{\text{об}} = 16R \left\{ \mu B_0 B_t [\delta + \sigma(2E/K - 1)] / (1 + \sigma \cos \theta) \right\}^{1/2} \times \quad (9)$$

$$\times \left[E(\eta^2) - K(\eta^2)(1 - \eta^2) \right],$$

где $B_t = 2E/K \left\{ 1/E \partial E / \partial (q^2) - 1/K \partial K / \partial (q^2) \right\} \partial (q^2) / \partial r + 2E/K - 1$,

η^2 - параметр запертости супербанана. Получены уравнения движения запертых частиц этого типа в торсатронах. Исследовано влияние тороидальных сателлитных гармоник магнитного поля торсатрона с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ на удержание заряженных частиц.

Рассмотрен также характер локализации на крайней замкнутой магнитной поверхности различных торсатронов ("Ураган-2М", Heliotron E, LHD) следов уходящих запертых частиц. Найдено хорошее согласование между распределением угловых координат уходящих запертых частиц на крайней замкнутой магнитной поверхности торсатрона "Ураган-2М", полученным в результате численного интегрирования уравнений движения запертых частиц в банановом приближении, и качественной оценкой этого распределения.

Проведенное исследование позволило выдвинуть принцип обобщенной σ - оптимизации параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона с точки зрения удержания заряженных частиц, сформулированный в виде аналитических критериев. В качестве оптимального рассматривается набор параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона, удовлетворяющий на границе области удержания одному из следующих предельных соотношений:

$$\left| \sum_{l=-\infty}^{\infty} (-1)^{l+1} l(2l+l) \varepsilon_{l+l} - \varepsilon_t \right| \rightarrow 0. \quad (10)$$

$$\left| \sum_{l=-\infty}^{\infty} l(2l+l) \varepsilon_{l+l} - \varepsilon_t \right| \rightarrow 0. \quad (11)$$

Выполнение условия (10) обеспечивает улучшение удержания всех типов запертых частиц во внутренней области тора. При выполнении условия (11) улучшается удержание запертых частиц в наружной области тора. Установлено, что совмещение этих условий, то есть оптимизация удержания запертых частиц во всем объеме возможно, если отдаленные сателлитные винтовые гармоники магнитного поля удовлетворяют на границе области удержания следующему резонансному условию:

$$\left| \sum_{l=1}^{\infty} (l+l)\varepsilon_{l+2l} - (l-l)\varepsilon_{l-2l} \right| \rightarrow 0. \quad (12)$$

2.3. Во Второй главе диссертации посредством численного интегрирования дрейфовых уравнений движения заряженной частицы с помощью метода Монте-Карло исследовано влияние столкновений на движение заряженных частиц в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и малым числом периодов винтового поля. Получены коэффициенты переноса плазмы поперек магнитного поля в торсатронах "Ураган-2М" и Heliotron E для широкого диапазона значений частот столкновений и без учета влияния радиального электрического поля. Исследована зависимость частотных границ различных неклассических столкновительных режимов и значений коэффициентов переноса в этих режимах от характера удержания частиц, запертых на винтовой неоднородности магнитного поля в сравниваемых торсатронах. Показано, что большие прямые потери запертых частиц в торсатронах типа "Ураган-2М" приводят к сдвигу частотных границ столкновительных режимов с D_1 , пропорциональными ν и $1/\nu$, в области более высоких значений частот столкновений, чем это предсказывает теория. Показано также, что асимметрия в координатном пространстве области потерь запертых частиц при низких частотах столкновений в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ приводит к значительной разнице в переносе плазмы поперек магнитного поля в наружной и внутренней областях тора. Это может привести к появлению полоидальной зависимости в профиле амбиполярного электрического поля. Рассмотрено влияние bounce - резонансов запертых частиц на перенос плазмы поперек магнитного поля при низких частотах столкновений в сравниваемых торсатронах. Показано, что вблизи частот столкновений, совпадающих с резонансными значениями

bounce-частот колебаний запертых частиц, характер зависимости коэффициентов переноса от частоты становится пилообразным.

2.4. Третья глава посвящена сравнительному анализу особенностей влияния радиального электрического поля модельных профилей двух типов

$$e\Phi = e\Phi_0(1 - r^2)^2 \quad (13)$$

и

$$e\Phi = e\Phi_0 r^2 \quad (14)$$

на движение и удержание заряженных частиц в торсатронах с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и торсатронах - гелиотронах. Обнаружено наличие дрейфовых резонансов запертых частиц высоких энергий (супербанановых орбит) в присутствии радиального электрического поля порядка $e\Phi/kT \sim 1$ в торсатроне типа "Ураган-2М" и исследована структура этих резонансов. Исследованы особенности влияния радиального электрического поля на орбиты заряженных частиц в торсатронах с различным спектральным составом винтового магнитного поля. Установлено, что положительное радиальное электрическое поле $e\Phi/kT \sim 1$ способствует превращению частиц тепловых энергий, запертых на винтовой неоднородности магнитного поля, в глубоко запертые. Отрицательное радиальное электрическое поле способствует делокализации запертых частиц тепловых энергий. Выяснено, что радиальное электрическое поле рассматриваемых профилей не может превратить все частицы в глубоко запертые или пролетные одновременно во всем объеме удержания. Эффективность влияния такого электрического поля на орбиты заряженных частиц ограничивается некоторым диапазоном значений средних радиусов магнитных поверхностей, определяемым профилем электрического поля.

2.5. Заключение

Автор защищает следующие основные результаты работы.

1) Сравнительное исследование удержания заряженных частиц и переноса плазмы поперек магнитного поля в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и малым числом периодов винтового магнитного поля и торсатронах - гелиотронах ($\varepsilon_l > \varepsilon_t$).

2) Метод качественного анализа влияния на удерживающие свойства торсатрона параметров его вакуумной магнитной конфигурации, таких как спектры гармоник винтового и тороидального магнитных полей, число винтовых периодов поля на длине установки и отношение $\varepsilon_t/\varepsilon_l$ параметров неоднородностей магнитного поля.

3) Обнаружение дрейфовых резонансов (bounce-резонансов) заряженных частиц - резонансов между основной частотой колебаний запертой частицы в винтовом гофре магнитного поля и частотами ее колебаний во вторичных магнитных ямах; анализ влияния на удержание заряженных частиц в торсатронах отделенных сателлитных винтовых гармоник магнитного поля.

4) Численные расчеты для ряда торсатронов (LHD, Heliotron E, "Ураган-2М") угловых координат выхода на крайнюю замкнутую магнитную поверхность частиц, запертых на винтовой неоднородности магнитного поля. Метод качественной оценки распределения угловых координат запертых частиц на крайней замкнутой магнитной поверхности торсатрона с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$.

5) Принцип обобщенной σ - оптимизации параметров вакуумной магнитной конфигурации торсатрона с точки зрения удержания заряженных частиц и аналитические критерии оптимальности параметров.

6) Исследование орбит частиц, запертых на винтовой

неоднородности поля, в торсатроне со сложным спектром гармоник магнитного поля. Уравнения движения супербанана в таком торсатроне и аналитическое выражение для его продольного адиабатического инварианта.

7) Обнаружение в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и малым числом периодов винтового магнитного поля супербанановых резонансов частиц высоких энергий, обусловленных влиянием радиального электрического поля.

8) Исследование влияния характера удержания частиц, запертых на винтовой неоднородности магнитного поля, а также bounce-резонансов этих частиц на перенос плазмы поперек магнитного поля при низких частотах столкновений в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$ и малым числом периодов винтового магнитного поля и торсатронах - гелиотронах. Вывод о наличии полоидальной зависимости в профиле амбиполярного электрического поля в торсатроне с $\varepsilon_t > \varepsilon_l$, обусловленной несимметричностью в координатном пространстве области потерь заряженных частиц. Вывод о пилообразном характере зависимости коэффициентов переноса плазмы поперек магнитного поля торсатрона от частоты столкновений вблизи резонансных значений bounce-частот запертых частиц.

3. СПИСОК ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Beidler C. D., Besedin N. T., Bykov V. E., et al. - In: Plasma Physics and Controlled Nuclear Fusion Research, 1990 (Proc. 13th Int. Conf. Washington, DC 1990), IAEA, Vienna, 1991, vol. 2, p. 663
2. Smirnova M. S., Shishkin A. A. - Preprint KFTI 91-23, Kharkov

Institute of Physics and Technology, Kharkov, 1991

3. Smirnova M. S. - Preprint KFTI 91-24, Kharkov Institute of Physics and Technology, Kharkov, 1991

4. Smirnova M. S., Shishkin A. A. - In: the Collection of Papers Presented at the IAEA Technical Committee Meeting, 8th Stellarator Workshop, Kharkov, IAEA, Vienna, 1991, p. 127

5. Smirnova M. S. - In: the Collection of Papers Presented at the IAEA Technical Committee Meeting, 8th Stellarator Workshop, Kharkov, IAEA, Vienna, 1991, p. 49

6. Beidler C. D., Besedin N. T., Carreras B. A., et al. - In: the Collection of Papers Presented at the IAEA Technical Committee Meeting, 8th Stellarator Workshop, Kharkov, IAEA, Vienna, 1991, p. 327

7. Smirnova M. S., Shishkin A. A. - Nucl. Fusion, 1992, vol. 32, No 7, p. 1147

8. Shishkin A. A., Motojima O., Watanabe K., Yamazaki K., Grekov D. L., Smirnova M. S., Zolotukhin A. V. - Preprint NIFS- 211, National Institute for Fusion Science, Nagoya, 1993

Подписано в печать 24.05.93. Формат 60x84/16. Офсетн.печать.
Усл.п.л. 0,1. Уч.-изд.л. 0,1. Тираж 100. Заказ № 296.

Харьков-108, ротاپронт ХФТИ.

464 560

AB28903

AB 28.903