

ТЕРМОЯДЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ИАЭ им. И.В. КУРЧАТОВА В 1968—1971 гг.*Обзор¹**М.К. Романовский***ВВЕДЕНИЕ**

Период между 3-й (1968 г., Новосибирск) и 4-й (1970 г., Мэдисон) международными конференциями по физике плазмы и исследованиям по управляемому термоядерному синтезу был «звёздным часом» токамаков. Совместные советско-английские эксперименты на токамаке Т-3 в ОПИ ИАЭ безоговорочно подтвердили результаты, доложенные группой сотрудников Л.А. Арцимовича в 1968 г. [1, 2]. После конференции в Дубне (1969 г.) самый большой стелларатор «С» в Принстоне (США) был переделан в токамак «Т», в Окриджской национальной лаборатории (США) построен токамак «ОРМАК» (довольно большой для того времени) и фактически токамак с адиабатическим тороидальным сжатием АТС (Adiabatic Toroidal Compressor), построен токамак «Алкатор» в Массачусетском технологическом институте (США) с очень сильным (120 кЭ) тороидальным магнитным полем, построен, по существу, тоже токамак «Дуплет II» (с весьма сложным магнитным полем, вытянутым вдоль главной оси симметрии системы и включающим в себя два самостоятельно замкнутых магнитных поля) в Сан-Диего (США). В теоретических программах ряда организаций США предусматривались работы, специально ориентированные на токамаки (все данные из «Обзора американской программы по исследованиям управляемого термоядерного синтеза», изданного в июне 1971 г. Комиссией по атомной энергии США). Не все названные системы уже работали к открытию конференции в Мэдисоне, но ведь после конференции в Дубне прошёл всего один год! Ясно, что токамаки получили самое широкое признание, также, как после доклада М.С. Иоффе в Зальцбурге в 1961 г. [3] стал общепризнанным принцип «Min». Безусловно, советские физики-термоядерщики были на самых передовых позициях в мировой науке этого направления. Разумеется, не только токамаками занимались в СССР и в ИАЭ, в частности. Правда, по количеству опубликованных сотрудниками ИАЭ в рассматриваемое время работ по токамакам (экспериментальных и теоретических) заметно больше, чем других, но немало работ и по инжекторам, турбулентности, пучкам в плазме и т.д. А если собрать работы по колебаниям, волнам, неустойчивостям разных типов, то в сумме их более, чем вдвое, больше, чем работ по токамакам (и это без турбулентности и пучков в плазме). Краткие аннотации статей в журналах и докладов на конференциях и составляют содержание настоящего сборника. В результате обсуждения с рядом товарищей решили не аннотировать препринты, так как практически всё, по общему мнению, что авторы считали существенным, они включали в доклады или статьи.

В сентябре 1969 г. в Бухаресте (Румыния) прошла 9-я Международная конференция по явлениям в ионизованных газах. 755 делегатов представляли физиков-плазменщиков различных направлений из 35 стран. Работало 5 секций (1 — процессы соударений, 2 — поверхностные явления, 3 — электрические разряды, 4 — физика плазмы, 5 — основная техника эксперимента), причём в каждой по несколько подсекций, всего было более 650 докладов, не считая 18 обзорных. ИАЭ представил 13 докладов по разным направлениям, но ни одного по собственно термоядерным исследованиям — почти все попадают в «разную плазму». Всего от 47 организаций СССР было заявлено 175 докладов (18 докладчиков), конечно, от многих организаций по одному докладу, но ФИАН, например, заявил 25. В обзоре [4] дана таблица, показывающая, как менялось соотношение разных направлений с 1965 г. (7-я конференция) к 1967 и 1969 г. (8-я, 9-я конференции) — возрос интерес к взаимодействию волн и пучков с плазмой, к плазменным потокам и источникам, уменьшился к излучению из плазмы.

ОБЩИЕ ОБЗОРЫ

Работа Б.Б. Кадомцева [5] — это краткий обзор докладов на 3-й Европейской конференции по физике плазмы и управляемому ядерному синтезу, совмещённой с Международным симпозиумом по взаимодействию пучков с плазмой (июнь 1969 г., Утрехт).

Обзор А.В. Тимофеева [6] (26 страниц, список литературы 55 наименований) содержит Введение, пять глав и Заключение. Задача обзора: «На простейших примерах показать наиболее общие закономерности, характеризующие колебания движущихся сплошных сред (плазмы и жидкости)».

¹ Продолжение. Начало обзора в ВАНТе. Сер. Термоядерный синтез, 2002—2007 гг., 2008 г., вып. 1, 3, 4.

Глава 1. «Колебания плоскопараллельных течений несжимаемой жидкости» содержит разделы: теорема Релея (довольно просто доказана теорема Релея: течения, в которых нет точек перегиба профиля, скорости устойчивы), правило обхода Ландау и поглощение колебаний в резонансных точках (показано, что устойчивость по Релею, а также ряда течений с точками перегиба определяется явлениями вблизи резонансных точек); эволюция начальных возмущений (рассмотрен процесс затухания возмущений).

Глава 2. «Желобковые колебания разряженной некомпенсированной плазмы в магнитном поле» содержит два раздела: колебания газа частиц с зарядами одного знака (показано, что газ заряженных частиц в магнитном поле устойчив, если профили плотности и скорости монотонны) и колебания разряженной плазмы (рассмотрены желобки в квазинейтральной плазме).

Глава 3. «Колебания электронного потока в продольном магнитном поле» (показано, что течение устойчиво, если достаточно велик градиент скорости).

Глава 4. «Желобковые колебания квазинейтральной плазмы» (рассмотрено влияние градиентного дрейфа).

Глава 5. «Резонансные явления в покоящейся плазме» содержит разделы: циклотронный резонанс в неоднородном магнитном поле (рассмотрено распространение электромагнитных колебаний с круговой поляризацией вдоль неоднородного магнитного поля); циклотронная неустойчивость в неоднородном магнитном поле оказывает стабилизирующий эффект и преобразование колебаний в плазме (рассмотрено преобразование длинноволновых колебаний в коротковолновые).

В Заключении автор пишет, что для рассмотрения колебаний с большой амплитудой необходима разработка нелинейной теории резонансных явлений. В работе [6] есть два приложения: «Колебания некоторых типов течений несжимаемой жидкости» и «Уравнение с малым параметром при старшей производной». Автор широко использует свои работы [7—10].

Обзор Б.Б. Кадомцева и В.И. Карпмана [11] посвящен волнам как таковым, в общем виде. Обзор содержит главы: Введение, Простые волны, Нелинейные волны в слабодисперсирующих средах, Самофокусировка и самосжатие волновых пакетов, Электрорезонансные волны, Динамическое и стохастическое взаимодействие волн; Заключение. Список литературы — 74 наименования, из них 48 отечественных работ, в том числе препринты (ФИАН), труды Новосибирского университета, диссертация Р.З. Сагдеева, Известия вузов, т.е. круг источников весьма широкий. Обзор рассчитан на лиц, владеющих элементами высшей математики, а во Введении авторы отмечают, что многие нелинейные эффекты волнового движения в разных областях физики «несмотря на их тождественность, по существу, описываются в несколько различных терминах, и не всегда указывается на их аналогию с родственными явлениями в других областях». Поэтому авторы «сочли целесообразным составить настоящий обзор, в котором с единой точки зрения и в сравнительно простой форме излагаются основные результаты в этой области».

В главе «Простые волны» авторы показывают, что и простая среда (пучок невзаимодействующих частиц) обладает свойствами нелинейной системы, в газе может формироваться ударная волна, на фронте которой происходит диссипация энергии за счёт вязкости, что описывается уравнением Бюргерса.

Глава «Нелинейные волны в слабодисперсирующих средах» содержит девять параграфов: Нелинейность и дисперсия, Волны в мелкой воде, Уравнение Кортевега—де Вриза (описывает нелинейные волны на мелкой воде, волны в плазме, периодические волны, солитоны, эволюция начального возмущения, законы сохранения, аналитические соотношения, ударные волны в диспергирующих средах).

Глава «Самофокусировка и самосжатие волновых пакетов» содержит пять параграфов: Самофокусировка (сжатие волны в поперечнике), Самосжатие волнового пакета (сжатие волны в направлении распространения, букировка, «девятый вал»), Параболическое уравнение (позволяет рассматривать с единой точки зрения волны различной природы и многие эффекты), Нелинейная геометрическая оптика, Качественные особенности эволюции неустойчивых волн.

Глава «Электрорезонансные волны» не имеет параграфов, для физиков-плазменщиков интересна тем, что в плазме возможно распространение электрорезонансных солитонов и при частоте меньше ленгмюровской (т.е. при отрицательном значении диэлектрической проницаемости).

Глава «Динамическое и стохастическое взаимодействие волн» содержит пять параграфов: Трёхволновые процессы, Взаимодействие трёх волн (интересно сравнение со свободным движением твёрдого тела), Взаимодействие высокочастотных волн с низкочастотными, Слабая турбулентность, Четырёхволновые процессы.

В Заключении авторы отмечают возросший интерес «к изучению целых классов нелинейных волновых процессов», а также к самофокусировке и самосужению, которые представляют собой частный случай на волнах более обширного класса явлений — индуцированного рассеяния волн.

КОЛЕБАНИЯ, ВОЛНЫ, НЕУСТОЙЧИВОСТИ

Магнитный звук и ударная волна. Работа Г.Е. Смолкина и др. [12] проведена на установке УВ-2 [13] и к магнитному звуку её можно отнести с натяжкой: магнитное поле, создаваемое ударным генератором $\dot{H} \geq 3,5 H$ (H — постоянное поле), при этом число Маха $M \approx 2-3$, так что возбуждается только одна волна. Авторы определили T_e по изменению плотности Δn и цене ионизации J , приняв, что она равна удвоенному потенциалу ионизации (калориметрический метод) [14, 15], $T_e = 0,3-0,5$ кэВ, для чего нужна частота соударений $Y \approx 10^9 \text{ с}^{-1}$, которую могут обеспечить только микротурбулентности на фронте волны. В работе [14] изучали затухание магнитно-звуковой волны в турбулентной плазме, создаваемой прямым разрядом в простом пробкотроне. Холодную плазму генерировали двумя θ -пинчами, разряд проводили между электродами, затем ударным контуром создавали волну и наблюдали её затухание на турбулентных пульсациях электрических полей прямого тока. Результаты согласуются с данными [16]. Работа И.А. Кована и др. [17] продолжает работы этой группы по нагреву методом магнитозвукового резонанса [18—21]. Авторы пришли к выводу, что этот метод нагрева плазмы очень перспективен.

Работа С.П. Загородникова и др. [22] является продолжением работ предыдущей группы авторов и проведена на установке, описанной в [23], на водороде и гелии. Диагностика: миниатюрные дифференцирующие зонды, радиоинтерферометрия ($\lambda = 4$ и 8 мм), спектрограф с интерферометром (с использованием электронно-оптического преобразователя при фотографировании развёртываемых во времени спектров). Авторы показали, что наблюдаемый скачок температуры электронов $\Delta T = T_{e2} - T_{e1}$ на ударной волне (почти в 100 раз больше, чем при парных соударениях) можно объяснить только турбулентной диссипацией, обеспечивающей большую частоту столкновений. С увеличением числа Маха этот процесс возрастал.

В работе В.Я. Балаханова [24] решена задача о возбуждении в плазме магнитозвуковых волн бесконечно длинным металлическим цилиндром с разрезом вдоль образующей произвольной ширины λ^1 . Плазма однородная в постоянном магнитном поле, напряжение прикладывается к краям разряда.

Работа Ю.Л. Москвина и др. [25] продолжает работы авторов [26—31]. В ней рассмотрено возбуждение магнитозвуковых колебаний внутри витка конечной длины, охватывающего плазменный цилиндр. Показано, что при этом возбуждаются не только волны, распространяющиеся вдоль магнитного поля, но и стоячие волны внутри возбуждающего цилиндра (основная мода). Так как для таких частот волновод является запредельным, то утечки энергии в торцы может не быть, хотя для высших мод она возможна.

В работе А.Б. Михайловского [32] рассмотрены магнитозвуковые колебания в плазме с большим β и малым P_0 . Показано, что при $\partial \ln P_0 / \partial \ln n_0 > 0$ плазма устойчива относительно всех длинноволновых колебаний такого типа, если только их продольная фазовая скорость не больше тепловой скорости электронов, а частота электрон-ионных столкновений меньше характерной градиентной частоты.

В работе А.А. Иванова и др. [33] показано, что в бесстолкновительной плазме разлёт сгустка горячих электронов может приводить к образованию движущегося скачка их плотности — «ударной волны». Авторы считают, что такой эффект может быть полезен для нагрева плазмы релятивистскими электронами.

В работе В.Я. Балаханова [34] рассмотрено возбуждение магнитозвуковых волн в бесконечном цилиндре плазмы и показано, что реальная волна является суммой прямых и косых волн, причём косая стоячая и «привязана» к краю витка. Автор предложил вместо одного витка использовать совокупность нескольких витков заданной длины при заданном расстоянии между ними, причём энергию в прямой волне можно сохранить, а энергия в косых волнах увеличится.

Дрейфовые волны и неустойчивости. Работа Б.Б. Кадомцева и О.П. Погуце [35] является развитием работ [36, 37]. Показано, что в плотной плазме неустойчивость на запертых частицах приводит к развитию дрейфовых волн благодаря соударениям, приводящим к преобразованию запертых частиц в пролётные. Неустойчивость становится дрейфово-диссипативной. Дана оценка потока тепла обусловленного термической конвекцией.

В работе Б.Б. Кадомцева и О.П. Погуце [38] в отличие от их же работ [36, 39] показано, что при достаточно большой частоте электронных столкновений может развиваться диссипативная неустойчивость, когда в качестве механизма диссипации, раскачивающего дрейфовые волны, выступает переборс электронов из запертых в пролётные за счёт столкновений.

Работа Б.Б. Кадомцева и О.П. Погуце [36] в некотором смысле продолжает работу [38]: показано, что заряженные частицы (электроны) могут оказаться запертыми в потенциальной яме дрейфовой вол-

ны, даже если её амплитуда не очень велика. Интересно, что инкремент этой неустойчивости может существенно превышать инкремент линейной неустойчивости, и авторы пишут: «Сам факт существования нелинейной раскачки является очень интересным и настораживающим». Работа тех же авторов [40] посвящена определению электронной теплопроводности с учётом электрически запертых частиц [36] (для запертых в магнитном поле электронов расчёт дан в [38]) при малом шире.

В работе А.Б. Михайловского и А.М. Фридмана [41] показано, что плазма с запертыми частицами оказывается устойчивой, если диамагнитный дрейф превышает дрейф из-за кривизны.

Работа О.П. Погуце [42] продолжает работы [36, 39] по столкновительным неустойчивостям, обусловленным запертыми частицами. Особое внимание уделено эффектам, содействующим стабилизации такой неустойчивости: различию температур ионов и электронов, конечности орбит, пролётным частицам и градиенту температур. Показано, что стабилизирующие факторы сильнее действуют при различии T_e и T_i , особенно при $T_i \ll T_e$.

В работе А.А. Иванова и В.Ф. Муравьёва [43] показано, что геликон (быстрая магнитозвуковая волна) стабилизирует конусную и дрейфово-конусную неустойчивости при меньшей амплитуде ВЧ-поля, чем при стабилизации ВЧ-полем согласно [44].

В работе А.Б. Михайловского [45] исследована «дрейфовая» (альфвеновская) неустойчивость плазмы большого давления $\beta > m_e/m_0$ в магнитном поле, неоднородном в продольном направлении. Показано, что захват в ловушки ведёт к уменьшению количества резонансных электронов, так как захваченные электроны находятся в слабом магнитном поле. Этот эффект совместно с подавлением колебаний ионов ведёт к стабилизации плазмы даже при небольших величинах β .

Желобковые неустойчивости. В работе А.М. Фридмана [46] показано, что непотенциальные желобковые колебания могут раскачиваться в неоднородной плазме, находящейся в магнитном поле с ненулевой кривизной силовых линий. Установлен критерий непотенциальности возмущений, имеющих фазную скорость меньше, чем тепловая скорость ионов.

В работе Ю.Н. Днестровского и др. [47] численным расчётом показано, что при относительной плотности несколько ниже критической ($\Delta N/N < 0,4$) желобковые колебания плазмы в простой пробочной геометрии магнитного поля развиваются до конечной амплитуды. Плазма в целом остаётся локализованной в объеме и её движения ламинарны. При большом превышении ($\Delta N/N > 0,4$) плазма быстро становится турбулентной и существенные её порции перемещаются в области вблизи стенок. Опыты на ОГРЕ-2 хорошо совпали с расчётами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арцимович Л.А. Обзор по замкнутым плазменным системам. — В сб.: Интернациональная конференция по УТС. Новосибирск, 1968, т. 1, с. 3.
2. Арцимович Л.А., Бобровский Г.А., Горбунов Е.П., Иванов Д.П. и др. Экспериментальные исследования на установках Токамак. — Там же, с. 172.
3. Готт Ю.И., Иоффе М.С., Тельковский В.Г. Некоторые новые результаты по удержанию плазмы в магнитной ловушке. — Доклад на конференции по УТС в Зальцбурге, 1961. — Приложение к журналу «Ядерный синтез», 1962, т. 3, с. 1045.
4. Карпухин В.Т., Недоспасов А.И. Фронт ионизации в магнитном поле. — В сб.: IX Интернациональная конференция по явлениям в ионизованных газах. Бухарест, 1969 (Представленные статьи), с. 72.
5. Кадомцев Б.Б. III Европейская конференция по физике плазмы и управляемому ядерному синтезу. — Атомная энергия, 1969, т. 27, вып. 6, с. 574.
6. Тимофеев А.В. Колебания неоднородных течений плазмы и жидкости. — Успехи физических наук, 1970, т. 102, вып. 2, с. 185.
7. Тимофеев А.В. О желобковых колебаниях разреженной плазмы при наличии некомпенсированного пространственного заряда. — ЖТФ, 1966, т. 36, вып. 10, с. 1787.
8. Тимофеев А.В. Желобковые колебания разреженной плазмы с некомпенсированным пространственным зарядом II. — Там же, 1968, т. 38, вып. 1, с. 14.
9. Тимофеев А.В. Оценка коэффициентов переноса в турбулентной плазме. — Ядерный синтез, 1968, т. 8, вып. 1, с. 13.
10. Тимофеев А.В. О резонансном взаимодействии желобковых колебаний с ларморовским дрейфом ионов. — Там же, вып. 2, с. 99.
11. Кадомцев Б.Б., Карпман В.И. Нелинейные волны. — УФН, 1971, т. 103, вып. 2, с. 193.
12. Смолкин Г.Е., Стриганова Е.А., Шолин Г.В. «Калориметрическое» измерение электронной температуры плазмы в бесстолкновительной ударной волне. — ДАН, 1969, т. 185, № 4, с. 788.
13. Демичев В.Ф., Струнников В.М. Взаимодействие плазменных сгустков большой плотности с магнитными полями. — ДАН, 1963, т. 150, вып. 3, с. 523.

14. **Завойский Е.К.** Коллективные взаимодействия и проблема получения высокотемпературной плазмы. — Атомная энергия, 1963, т. 14, вып. 1, с. 57.
15. **Бабыкин М.В., Гаврин П.П., Завойский Е.К. и др.** Турбулентный нагрев плазмы. — ЖЭТФ, 1962, т. 43, вып. 2(8), с. 411.
16. **Фанченко С.Д., Демидов Б.А., Елагин Н.И. и др.** Поглощение энергии, обусловленное пучковой неустойчивостью плазмы в тороидальной системе. — ЖЭТФ, 1964, т. 46, вып. 2, с. 497.
17. **Кован И.А., Русанов В.Д., Спектор А.М. и др.** Нагрев плазмы методом магнитозвукового резонанса. — В сб.: Третья Европейская конференция по УТС. Симпозиум по взаимодействию пучков—плазма. Утрехт, Нидерланды, 23—27 июля 1969 г., с. 106.
18. **Кован И.А., Козоровский Л.Л., Подгорный И.М. и др.** Нагрев плазмы магнитозвуковыми волнами. — В сб.: II Европейская конференция по управляемому синтезу и физике плазмы. Стокгольм, 1967.
19. **Кован И.А., Спектор А.М.** Нагрев ионов при возбуждении в плазме магнитозвуковых колебаний. — ЖЭТФ, 1967, т. 53, вып. 4(10), с. 1278.
20. **Арефьев В.И., Кован И.А., Рудаков Л.И.** Турбулентный нагрев плазмы электромагнитными волнами. — ЖЭТФ, письма, 1968, т. 7, вып. 8, с. 286.
21. **Арефьев В.И.** Турбулентный нагрев ионов магнитогидродинамическими волнами. — ЖЭТФ, 1968, т. 55, вып. 2(8), с. 679.
22. **Загородников С.П., Смолкин Г.Е., Стриганова Е.А. и др.** Исследование бесстолкновительных ударных волн в замагниченной плазме. — ЖТФ, 1970, т. 40, вып. 4, с. 717.
23. **Загородников С.П., Смолкин Г.Е., Шолин Г.В.** Ионизация ударной волной в разреженной плазме. — В сб.: Труды 6-й Международной конференции по ионизационным явлениям в газах. — Париж, 1963, т. 3, с. 419.
24. **Балаханов В.Я.** К теории возбуждения прямых магнитозвуковых волн в бесконечном плазменном цилиндре. — ЖТФ, 1970, т. 40, вып. 5, с. 907.
25. **Москвин Ю.Л., Русанов В.Д., Франк-Каменецкий Д.А.** Возбуждение магнитозвукового резонанса в плазменном цилиндре. — ЖТФ, 1970, т. 40, вып. 6, с. 1137.
26. **Франк-Каменецкий Д.А.** О собственных колебаниях ограниченной плазмы. — ЖЭТФ, 1960, т. 39, вып. 3(9), с. 669.
27. **Франк-Каменецкий Д.А.** Магнитозвуковой резонанс в плазме. — ЖТФ, 1960, т. 30, № 8, с. 899.
28. **Русанов В.Д., Патрушев Б.И., Кован И.А. и др.** Исследование магнитозвукового резонанса в плазме с помощью двойных электрических зондов. — ЖЭТФ, 1960, т. 39, вып. 6(12), с. 1497.
29. **Кован И.А., Русанов В.Д., Смирнов В.П. и др.** Магнитно-звуковой резонанс в тороидальной системе. — Там же, 1965, т. 48, вып. 1, с. 72.
30. **Кован И.А., Русанов В.Д., Смирнов В.П. и др.** Исследование косых магнитно-звуковых волн большой амплитуды. — ЖЭТФ, письма, 1965, т. 2, вып. 8, с. 356.
31. **Бородин А.В., Кован И.А., Русанов В.Д., Смирнов В.П. и др.** Магнитно-звуковой резонанс при больших амплитудах полей. — Ядерный синтез, 1963, т. 3, вып. 1, с. 38.
32. **Михайловский А.Б.** Устойчивость плазмы большого давления с малым градиентом давления. — ЖТФ, 1970, т. 40, вып. 10, с. 2050.
33. **Иванов А.А., Русанов В.Д., Сагдеев Р.З.** Электронные ударные волны в бесстолкновительной плазме. — ЖЭТФ, письма, 1970, т. 12, вып. 1, с. 29.
34. **Балаханов В.Я.** О краевом эффекте при возбуждении магнитно-звуковых волн в плазме. — ЖТФ, 1971, т. 41, вып. 4, с. 660.
35. **Кадомцев Б.Б., Погуце О.П.** Диссипативная неустойчивость захваченных частиц в плотной плазме. — В сб.: Третья Европейская конференция по УТС. Симпозиум по взаимодействию пучков—плазма. Утрехт, Нидерланды, 23—27 июля 1969 г., с. 51.
36. **Кадомцев Б.Б., Погуце О.П.** Неустойчивость плазмы на запертых частицах в тороидальной геометрии. — ЖЭТФ, 1966, т. 51, вып. 6(12), с. 1734.
37. **Кадомцев Б.Б.** Неустойчивость плазмы на запертых частицах. — ЖЭТФ, письма, 1966, т. 4, вып. 1, с. 15.
38. **Кадомцев Б.Б., Погуце О.П.** Диссипативная неустойчивость на запертых частицах в плотной плазме. — ДАН, 1969, т. 186, № 3, с. 553.
39. **Кадомцев Б.Б., Погуце О.П.** Турбулентные процессы в тороидальных системах. — Вопросы теории плазмы, 1967, вып. 5, с. 209.
40. **Кадомцев Б.Б., Погуце О.П.** Перенос тепла в плазме за счёт неустойчивости на запертых частицах. — ДАН, 1969, т. 188, № 2, с. 311.
41. **Михайловский А.Б., Фридман А.М.** Устойчивость плазмы конечного давления с задёрнутыми частицами. — ДАН, 1970, т. 194, № 3, с. 551.
42. **Погуце О.П.** Неустойчивость на запертых частицах в тороидальных системах. — Ядерный синтез, 1969, т. 9, № 2, с. 157.
43. **Иванов А.А., Муравьев В.Ф.** Влияние геликона на неустойчивость плазмы. — ЖЭТФ, 1970, т. 59, вып. 7, с. 254.
44. **Иванов А.А., Рудаков Л.И.** Влияние высокочастотного магнитного поля на неустойчивость плазмы. — Там же, 1968, т. 54, вып. 5, с. 1380.
45. **Михайловский А.Б.** Неустойчивость неоднородной плазмы конечного давления в магнитном поле с продольной неоднородностью. — Физика плазмы, 1971, т. 13, вып. 10, с. 995.
46. **Фридман А.М.** Медленные непотенциальные волны в неоднородной плазме. — ЖТФ, 1969, т. 39, № 8, с. 1350.
47. **Днестровский Ю.Н., Костомаров Д.П. и др.** Нелинейные желобковые колебания разреженной плазмы. — Физика плазмы, 1969, т. 2, вып. 9, с. 691.

(Продолжение следует)