

ка энергетически выгодна, в идеальной плазме она не осуществляется из-за вмороженности магн. силовых линий в плазму. Наличие конечного сопротивления плазмы нарушает вмороженность, позволяя магн. силовым линиям противоположного направления диффундировать навстречу друг другу сквозь плазменный слой и пересоединиться.

Многокомпонентность плазмы также приводит к дополнительным Н. п., наиболее важным среди к-рых является широкий класс дрейфовых Н. п. Источником свободной энергии здесь служит тепловая энергия плазмы, удерживаемой магн. полем. Вследствие неоднородности давления плазмы электроны и ионы дрейфуют в разные стороны со скоростью в γ/γ_H раз меньшей, чем тепловая скорость ионов (γ_H — средний ларморовский радиус ионов), и т. о. создают слабый ток в плазме, возбуждающий т. н. дрейфовые волны. Как правило, характерные инкременты дрейфовых Н. п. по крайней мере в γ/γ_H раз меньше идеальных МГД неустойчивостей. Многие диссипативные МГД Н. п. имеют свои аналоги в бесстолкновительной плазме, где диссипация энергии обусловлена взаимодействием плазменных волн с группой резонансных частиц.

Параметрические Н. п. При распространении в плазме волн большой амплитуды происходит периодич. пространственно-временная модуляция параметров плазмы. На этом фоне возникает параметрич. связь волн малой амплитуды (пробных волн), амплитуда к-рых возрастает экспоненциально в результате раскачивания колебаний электронов и ионов волнами большой амплитуды. Возникают т. н. *параметрические неустойчивости*. Примером может служить распадная неустойчивость плазмы, в к-рой волна конечной амплитуды с частотой ω_0 и волновым вектором k распадается на две волны того же или другого типа с меньшими частотами, удовлетворяющими условиям резонанса: $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$, $k_0 = k_1 + k_2$.

Другим важным примером Н. п. этого типа является *модуляционная неустойчивость* волны с амплитудой, превышающей некоторую критическую, в результате которой самопроизвольно возникает её НЧ-модуляция.

Ответ на кардинальный вопрос — о конечной судьбе состояния плазмы в результате развития Н.п. — выходит за рамки линейной теории Н. п. Как правило, учёт нелинейных эффектов останавливает первоначально экспоненциальный рост Н. п. на уровне насыщения. Универсального подхода для описания состояния насыщения Н. п. не существует. В ряде случаев разработаны приближённые нелинейные модели. Н. п. исходных состояний, лежащих далеко за порогом неустойчивости, приводят к *турбулентному состоянию насыщения*. Так, напр., пучковые Н. п. могут приводить к состоянию *турбулентности* плазменных волн. При этом насыщение роста волн может быть связано как с их нелинейным взаимодействием, так и с постепенной эволюцией состояния плазмы к устойчивому под действием возбуждённых колебаний.

Если Н. п. дополнительно дестабилизируются нелинейными эффектами, то скорость нарастания таких Н. п. увеличивается с ростом амплитуды возмущения (до некого предела) — это т. н. *взрывные неустойчивости*. В неравновесной плазме могут существовать волны с отрицательной энергией (напр., при наличии пучков частиц), когда энергия плазмы при наличии в ней волны ниже, чем в её отсутствие. В таком случае увеличение амплитуд группы взаимодействующих волн с разными знаками энергии может быть энергетически выгодным, т. к. ведёт к уменьшению энергии плазмы. Усиление взаимодействия с увеличением амплитуд волн является причиной их взрывного роста.

Прогресс в изучении Н. п. в значит. степени был связан с работами по проблеме УТС, в результате чего

удалось реализовать практически устойчивые конфигурации горячей плазмы в магн. поле (см. *Токамак*).

Н. п. анизотропного типа обнаружены в магнитосфере Земли. Они играют важную роль в динамике *радиационных поясов*, частицы к-рых представляют собой анизотропную в магн. поле компоненту плазмы.

Пучковые Н. п., сопровождающиеся генерацией ленгмюровских колебаний, представляют интерес для плазменной электроники, а в проблеме УТС используются в методах *нагрева плазмы*, основанных на инжекции пучков заряж. частиц.

О нек-рых типах неустойчивости низкотемпературной плазмы см. в ст. *Низкотемпературная плазма, Плазма электроотрицательных газов*.

Лит.: Михайловский А. В., Теория плазменных неустойчивостей, 2 изд., т. 1—2, М., 1975—77; Арцимович Л. А., Сагдеев Р. З., Физика плазмы для физиков, М., 1979; Основы физики плазмы, под ред. А. А. Галеева, Р. Судана, т. 1—2, М., 1983—84. Р. З. Сагдеев, А. А. Галеев.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ В КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ И ВОЛНОВЫХ СИСТЕМАХ — самопроизвольное нарастание возмущений на фоне заданного движения, приводящее к качественному изменению поведения системы. Простейший пример неустойчивого состояния — равновесие маятника в верх. точке (рис. 1). Любое сколь угодно малое возмущение маятника приводит к его уходу от состояния равновесия. Физически неустойчивость движения системы означает, что состояние равновесия может быть реализовано лишь приближённо и на огранич. интервале времени (для волновых систем — и пространства), тем меньше, чем выше скорость нарастания возмущений. Состояния или движения системы, малые нач. возмущения к-рых остаются малыми и в дальнейшем, наз. *устойчивыми*. Примерами являются соответственно состояние равновесия маятника в ниж. точке и само колебат. движение маятника.

Понятия неустойчивости и устойчивости движения относятся ко всем *динамическим*

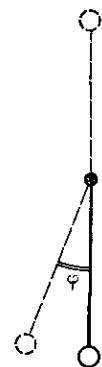


Рис. 1. Маятник с жёстким подвесом.

системам, а не только к колебательным и волновым. Строгая формулировка понятия устойчивости, пригодная для любых систем, затруднительна, поэтому, как правило, учитывается специфика задачи. Так, различают устойчивость движения в «малом» — по отношению к бесконечно малым возмущениям и в «большом» — по отношению к возмущениям конечной величины, устойчивость по отношению к определ. классу возмущений и т. д. Наиб. изучена устойчивость в «малом», т. к. *при малых возмущениях* возможно разложение по ним в окрестности исследуемого движения исходных ур-ний, описывающих систему (см. *Устойчивость движения, Устойчивость равновесия*). Специфика колебательных и волновых систем заключается лишь в характере движений в системе и в характере нарастающих при неустойчивости возмущений, а также в физ. механизмах Н. в к. и в. с. Одной из осн. стадий изучения поведения колебательных и волновых систем является отыскание простых характерных состояний и движений: состояний равновесия и периодич. режимов в колебательных системах или стационарных и автомоделльных режимов в волновых системах. Затем исследуется их устойчивость как условие реализуемости. В случае неустойчивости движения анализируются характер нарастающих возмущений, закон и скорость их нарастания, а также механизмы неустойчивости. Традиционно разделяют неустойчивость «тривиальных» состояний системы (состояний равновесия и пространственно однородных стационарных режимов) и неустойчивость колебаний и волн. В первом случае речь идёт о зарождении колебательных и волновых движений из состояния покоя, а во