

ность самоподдержания поля и построено много разл. моделей МГД-динамо, стационарных и нестационарных, с ламинарным и с турбулентным движением жидкости. Важнейший результат теории — доказательство того, что существенным фактором в генерации магн. поля является наличие спиральности у потока жидкости. В г. и. М. г. средних полей показано, что при отсутствии в потоке отражательной симметрии (преобладание правых или левых мелкомасштабных винтовых движений) возникает эдс, направленная вдоль усреднённого по мелкомасштабным движениям магн. поля. Это явление наз. α -эффектом. Самоподдержание магн. поля возможно в системах с достаточно большой величиной α -эффекта. Самоподдержание поля ещё эффективнее в системах, где α -эффект сочетается с крупномасштабным течением, способным усиливать магн. поле вытягиванием магн. силовых линий при неоднородном вращении жидкости. Именно такого типа процесс самоподдержания магн. поля реализуется, напр., в МГД-динамо Земли и Солнца.

МГД-волны, разрывы и токовые слои. Распространение малых возмущений в хорошо проводящей среде ($R_m \gg 1$), находящейся в магн. поле, приводит к появлению магнитогидродинамических (альвеновских) волн, обусловленных квазиупругим натяжением магн. силовых линий. В несжимаемой жидкости эти волны распространяются вдоль магн. поля с альвеновской скоростью $v_A = H(4\pi\rho)^{-1/2}$, где ρ — плотность жидкости. Эти волны поперечны, и возможны два вида волн, отличающихся направлением поляризации. В сжимаемой со скоростью звука v_s среде возможны три вида МГД-волн: волна Альвена со скоростью v_A и две *магнитозвуковые волны* — быстрая и медленная, скорости к-рых зависят от v_A , v_s и от направления распространения (см. *Волны в плазме*). Наличие трёх видов волн учитывается при решении таких задач М. г., как течение жидкости в ограниченных областях пространства и обтекание твёрдых тел потоком. Поток, имеющий очень большую скорость, способен вытягивать магнитные силовые линии далеко в пространстве. Так образуется длинный хвост магнитосферы Земли под действием солнечного ветра.

При распространении больших возмущений образуется большее число МГД-разрывов по сравнению с обычной гидродинамикой. Возможны быстрые и медленные ударные волны, контактные и тангенциальные разрывы, в к-рых нет потока массы через разрыв, а разрывается поле (см. *Разрывы магнитогидродинамические*). В контактном разрыве магн. поле пересекает границу раздела двух сред с разл. плотностями и температурами, препятствуя их относительному движению. В тангенциальном разрыве поле не пересекает границу раздела двух сред (его составляющая, нормальная к границе, равна нулю). На таком разрыве скорость и магн. поле касательны к поверхности разрыва и испытывают произвольные по величине и направлению скачки. Кроме того, возможны специфические для М. г., распространяющиеся со скоростью Альвена вращательные разрывы, в к-рых вектор магн. поля, не меняя своей величины, поворачивается относительно нормали к разрыву. Тангенциальные разрывы в обычной гидродинамике неустойчивы, но магнитное поле при нек-рых условиях может их стабилизировать.

На границах течения с твёрдыми стенками возможны разл. виды пограничных слоёв. Типичным является слой Гартмана, толщиной $\delta_G = (vD_m)^{1/2}/v_A$, возникающий при наличии нормального к границе магн. поля. Влияние магн. поля на течение жидкости описывается *Гартмана числом* $G = L/\delta_G$. При МГД-течениях в каналах с магн. полем, направленным поперёк течения, часто число Гартмана имеет большую величину ($G \gg 1$). В этом случае формируется однородный основной поток, магн. поле делает профиль скоростей более плоскими

уменьшает ср. скорость движения, а падение скорости сосредоточивается в узком слое у стенки; при $G \ll 1$ наблюдается обычное для гидродинамики *Пуазейля течение*.

В очень хорошо проводящей среде, напр. в космич. плазме, возможно образование тонких слоёв внутри объёма, занимаемого средой. Таковы тонкие слои, разделяющие области с магн. полями противоположного направления, и другие узкие области с очень резко изменяющимся магн. полем — т. н. *нейтральные токовые слои*. В этих слоях изменяется топология магн. поля в результате диффузионного *пересоединения* магн. силовых линий, и здесь может происходить быстрая аннигиляция магн. энергии с переходом её в другие формы (именно этими процессами объясняются *выскики на Солнце*).

Горячая плазма в магнитном поле. Многочисл. задачи М. г. связаны с исследованиями разл. систем для *нагрева плазмы* в магн. поле с целью осуществления управляемой термоядерной реакции. Мощный импульс электрич. тока, пропускаемого через плазму, вызывает её сжатие силой, создаваемой магн. полем тока. Это явление, наз. *пинч-эффектом*, сопровождается возникновением сходящихся к оси ударных волн, сильным нагревом плазмы и разрушением её конфигурации из-за развития разл. МГД-неустойчивостей. Широкий круг задач М. г. связан с равновесием и устойчивостью плазмы, изолированной магн. полем от стенок сосуда. При этом наблюдается разнообразие равновесных конфигураций плазмы, создаваемых внешним магн. полем и полем токов, текущих по плазме. Плазма в магн. поле оказывается весьма неустойчивой, и требуется соблюдение нек-рых, довольно жёстких, критериев для того, чтобы её удержание стало возможным.

Вращающиеся МГД-системы. В астрофиз. и геофиз. системах (галактиках, звёздах, жидких ядрах Земли и планет) наряду с магн. силой действуют сила Кориолиса и гравитация. Сила, вызывающая конвекцию вещества. Сила Кориолиса $2\mathbf{v} \times \boldsymbol{\Omega}$, проявляющаяся при вращении среды с угловой скоростью $\boldsymbol{\Omega}$, оказывает решающее влияние на движение жидкости. Она закручивает частицы, способствуя тем самым появлению винтовых движений жидкости. Сила Кориолиса как бы вносит в жидкость нек-рую эфф. вязкость, характеризующую частотой $\boldsymbol{\Omega}$. Это приводит к изменению частот альвеновских колебаний и волн. Напр., во вращающейся несжимаемой жидкости с магн. полем при $\boldsymbol{\Omega}L \gg v_A$ оказываются возможными очень медленные волны со скоростями порядка $v_A^2/\boldsymbol{\Omega}L$. Такая ситуация имеет место в жидком ядре Земли, где эти волны возбуждаются архимедовой силой всплывания в поле тяжести и при этом находятся в равновесии силы: магнитная, Архимедова и Кориолиса, поэтому их наз. МАК-волнами. Эти волны в ядре Земли имеют периоды порядка 10^3 лет и проявляются в виде вековых вариаций геомагн. поля (см. *Магнитные вариации*).

Исследование многих астрофиз. систем приводит к сложным проблемам конвекции электропроводящей жидкости при наличии магн. поля и вращения. К их числу относится проблема генерации магн. поля Земли и планет, Солнца, звёзд и галактик. Здесь встают такие вопросы, как устойчивость, конвекция и развитая турбулентность при наличии магн. поля и вращения, самовозбуждение магн. поля при движении проводящей жидкости и обратное влияние возбуждённого поля на движение. Генерация поля способствует спиральности движения, а наличие силы Кориолиса способствует созданию спиральности в конвективных движениях. Конвекция и вращение — это осн. составляющие механизма МГД-динамо в геофизике и астрофизике.

Электрогидродинамика и феррогидродинамика. Можно отметить два развившихся за последние неск. десятилетий и сложившихся к наст. времени в самостоят. разделы механики сплошных сред направления исследо-