

**КОНФЕРЕНЦИЯ ПАМЯТИ С.С. МОИСЕЕВА К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ ЕГО РОЖДЕНИЯ
"ТРАНСФОРМАЦИЯ ВОЛН, КОГЕРЕНТНЫЕ СТРУКТУРЫ И ТУРБУЛЕНТНОСТЬ" (MSS-24),
ИКИ РАН, Москва**

Программа конференции

Вторник 26 ноября 2024 г. (Ауд. 202)

- 11.30-12.00.** Открытие конференции (Зеленый Л.М., Петрукович А.А., Кузнецов Е.А., Петросян А.С., Чхетиани О.Г., Артеха С.Н.)
- 12.00-12.20.** Е.А. Kuznetsov, Е.А. Mikhailov, About magnetic filaments in the solar convective zone: new results.
- 12.20-12.40.** Ю. Гао, А.И. Нейштадт, А.В. Окунев, О точности асимптотической формулы для фазы выхода на резонанс в быстро-медленных гамильтоновых системах.
- 12.40-13.00.** Е.В. Юшков, И. Абушзаде, П.Г. Фрик, Д.Д. Соколов, Мелкомасштабное магнитное динамо Казанцева-Крейчнана в рамках каскадного МГД-моделирования.

13.00-14.00. Перерыв на обед.

Ведущий Кузнецов Е.А.

- 14.00-14.20.** А.С. Петросян, Зональные течения в двумерной затухающей магнитогидродинамической турбулентности на β -плоскости.
- 14.20-14.40.** Е.Н. Пелиновский, Е.Г. Диденкулова, М. Flamarion, Уравнение Шамеля в теории плазмы: солитоны и солитонная турбулентность.
- 14.40-15.00.** В.А. Гордин, Коэффициент турбулентного обмена лучше брать комплексным. По данным зондирования с высоким разрешением атмосферы Земли (модификация модели ветра в пограничном слое Акерблома —Экмана).
- 15.00-15.20.** Л.Х. Ингель, Парадоксы склоновых течений.
- 15.20-15.40.** Е.Б. Кудашев, Л.Р. Яблоник, Взаимодействие пристеночных пульсаций давления и турбулентных флуктуаций температуры в турбулентном пограничном слое.
- 15.40-16.00.** G.V. Levina, Helical cyclogenesis as an extreme threshold phenomenon in a rotating stratified moist atmosphere.

16.00-16.30. Перерыв на чай, кофе.

Ведущий Чхетиани О.Г.

- 16.30-16.50.** Ю.С. Резниченко, А.Ю. Дубинский, Ю.Н. Извекова, С.И. Попель, О пылевых звуковых возмущениях ионосферы Марса.
- 16.50-17.10.** О.Г. Чхетиани, Вихревые процессы и спиральность в атмосфере.
- 17.10-17.30.** М.В. Алтайский, М. Гнатич, Н.Е. Капуткина, Статистическая теория турбулентности в несжимаемой жидкости в вейвлет-представлении.
- 17.30-17.50.** Е. Гольбрайх, А. Еликашвили, О некоторых особенностях формирования торнадо подобных вихрей.
- 17.50-18.10.** Л.А. Островский, Вопросы взаимодействия мелкомасштабной турбулентности с течениями и внутренними волнами.
- 18.10-18.30.** С.Д. Корольков, В.В. Измоденов, Неустойчивость течения газа в плоском канале под действием поперечного силового поля: автоколебания потока.

18.30 **Закрытие конференции.**

Тезисы докладов

Статистическая теория турбулентности в несжимаемой жидкости в вейвлет-представлении

М.В. Алтайский¹, М. Гнатич², Н.Е. Капуткина³

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва

²Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна

³Университет науки и технологий “МИСИС”, г. Москва

Статистическая теория турбулентности вязкой несжимаемой жидкости, описываемой уравнениями Навье–Стокса со случайной силой в правой части, переформулирована в терминах масштабно-зависимых полей $u_a(x)$, определенных как вейвлет-коэффициенты поля скорости u в точке x при пространственном разрешении a . Применяя методы квантовой теории поля, ранее уже использовавшиеся в стохастической гидродинамике [1], к производящему функционалу случайных полей $u_a(x, t, \cdot)$, мы показали конечность корреляционных функций $\langle u_{a_1}(x_1) \dots u_{a_n}(x_n) \rangle$ для случайной силы, действующей на фиксированном масштабе L – внешнем масштабе турбулентности. Рассмотрена модель трехмерной турбулентности. В силу отсутствия расходимостей, модель не требует регуляризации, а ренормгрупповая симметрия представляет собой симметрию между флуктуациями поля скорости различных масштабов, соответствующих сценарию развития турбулентности Колмогорова-Ричардсона. Суммирование по масштабам проводилось от внешнего масштаба турбулентности L до масштаба наблюдения A , существенно превосходящего колмогоровскую длину l . Наша модель содержит упрощающее предположение о том, что взаимодействие вихрей различных масштабов происходит локально, за счет градиентного члена $u \nabla u$, игнорируя при этом любые эффекты нарушения четности. Турбулентные поправки к вязкости и парному коррелятору скорости вычислены в однопетлевом приближении. Это дает зависимость турбулентной вязкости от масштаба наблюдения и описывает зависимость от масштаба корреляций поля скорости [2].

[1]. Л.Ц. Аджемян, А.Н. Васильев, Ю.М. Письмак, *Теор. Мат. Физ.* **57**, 286 (1983).

[2]. M.V. Altaisky, M. Hnatic and N.E. Kaputkina, *Phys. Rev. E* **98**, 033116 (2018).

О точности асимптотической формулы для фазы выхода на резонанс в быстро-медленных гамильтоновых системах

Ю. Гао², А.И. Нейштадт^{1,2}, А.В. Окунев²

¹*Институт космических исследований РАН, г. Москва, Россия*

²*Университет Лафборо, Великобритания*

Рассматривается быстро-медленная гамильтонова система с одной быстрой угловой переменной (фазой). Частота изменения фазы обращается в нуль на поверхности в пространстве медленных переменных (резонансной поверхности). Для приближенного описания динамики медленных переменных можно усреднить гамильтониан по быстрой фазе. Предполагается, что траектории усредненной системы пересекают резонансную поверхность. Быстрая фаза делает много оборотов перед достижением резонансной поверхности. Асимптотическая формула для значения фазы в момент достижения резонансной поверхности была выведена ранее в контексте изучения динамики заряженных частиц на основе эвристических соображений, без каких-либо оценок её точности [1]. Мы показываем, что точность этой формулы порядка квадратного корня из малого параметра задачи (типичного отношения скоростей медленных переменных и быстрой фазы) с логарифмической коррекцией. Работа мотивирована изучением взаимодействия волна-частица. Доклад основан на статье [2].

[1]. Artemyev A., Neishtadt A., Vasiliev A. Mapping for Nonlinear Electron Interaction with Whistler-Mode Waves, *Phys. Plasmas*, 2020, vol. 27, 042902.

[2]. Gao Y., Neishtadt A., Okunev A. On Phase at a Resonance in Slow-fast Hamiltonian Systems, *Regular and Chaotic Dynamics*, 2023, vol. 28, pp 581-608.

О некоторых особенностях формирования торнадо подобных вихрей

Е. Гольбрайх, А. Еликашвили

БГУ, г. Беэр-Шева, Израиль

Возможность прогнозирования образования и поведения вихрей вблизи поверхности важна для решения различных научных и прикладных задач. Одной из таких задач является эволюция торнадо подобных вихрей вблизи поверхности и их связь с исходным вихрем, расположенным на некоторой высоте над поверхностью. Рассматривается двумерная осесимметричная модель, в которой начальная завихренность поддерживается внешней силой. Исследовано влияние внешней силы и температурного поля на эволюцию завихренности вблизи поверхности. На относительно малых временах поведение образующихся торнадо подобных вихрей вблизи поверхности универсально и слабо зависит от внешней силы и температурного поля. Однако, с течением времени это влияние становится существенным. Показано, что в зависимости от наличия аномалии в распределении температуры вихрь, образовавшийся у поверхности, может существовать длительное время.

**Коэффициент турбулентного обмена лучше брать комплексным.
По данным зондирования с высоким разрешением атмосферы Земли
(модификация модели ветра в пограничном слое Аккерблома —Экмана)**

В.А. Гордин

*НИУ ВШЭ, г. Москва
ФБГУ «Гидрометцентр России», г. Москва
МФТИ, г. Москва*

Для описания вертикальной структуры горизонтального ветра в пограничном слое атмосферы Земли традиционно используется модель Аккерблома – Экмана – система двух линейных обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) второго порядка с переменным положительным коэффициентом турбулентного обмена (КТО). Задание этого коэффициента определяет свойства решения. Использование постоянного положительного коэффициента дает поворот модельного ветра от свободной атмосферы до земли по так называемой экмановской спирали на 45 градусов, что заметно отличается от наблюдаемых значений. В течение столетия предлагались различные варианты переменного по высоте КТО, допускающие решение этой системы ОДУ в специальных функциях. Решалась обратная задача: восстановления КТО по архиву наблюдений (десятки тысяч запусков радиозондов в разных широтах и разные сезоны) в пограничном слое. Оказалось, что намного лучшее согласование с наблюдениями дает **комплексный** КТО. Другими словами, описывать турбулентность пограничного слоя лучше тензором общего вида, инвариантного относительно вращения в плоскости, касательной к границе. Будут показаны соответствующие оптимальные решения.

Парадоксы склоновых течений

Л.Х. Ингель

Институт экспериментальной метеорологии НПО "Тайфун", г. Обнинск

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

Представлены некоторые новые результаты, относящиеся к теории склоновых течений, распространённых в атмосфере, в частности, обобщения классической модели Прандтля, которая обладает некоторыми парадоксальными, на первый взгляд, свойствами (при уменьшении угла наклона отсутствует предельный переход к случаю горизонтальной нижней границы).

1. Проанализирована спиральность склоновых течений, существующая при наличии заметного вклада кориолисовых ускорений. Показано, что генерация спиральности в склоновых течениях, в принципе, может быть значительной.

2. Обсуждается новый механизм возникновения склоновых течений, связанный с пространственными неоднородностями коэффициентов турбулентного обмена. Если коэффициенты обмена зависят от расстояния до наклонной подстилающей поверхности (это характерно для турбулентного обмена), то в стратифицированной среде возникают горизонтальные неоднородности температуры и давления и, следовательно, склоновые течения.

3. Модель Прандтля обобщена на случай объёмного тепловыделения в воздухе. Обнаружена нетривиальная возможность интенсификации склоновых течений при уменьшении угла наклона подстилающей поверхности.

4. Модель Прандтля обобщена на случай нелинейного (квадратичного) сопротивления и теплообмена на подстилающей поверхности. Стационарное решение нелинейной задачи о течении над охлаждённой наклонной поверхностью при таких краевых условиях может быть неединственным – при одних и тех же внешних условиях возможны разные стационарные режимы.

Неустойчивость течения газа в плоском канале под действием поперечного силового поля: автоколебания потока

С.Д. Корольков, В.В. Измоленов

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Рассматривается дозвуковое течение идеального газа в плоском канале. В некоторой конечной области канала действует поперечное силовое поле, притягивающее газ к оси симметрии канала. В стационарном течении градиент давления газа компенсирует действие поля, что приводит к формированию повышенного давления на оси симметрии канала в области действия поперечного силового поля. В силу того, что эта область граничит со свободной от силового поля областью течения, то на границе этих областей возникает градиент давления, направленный по оси канала и препятствующий течению газа. Таким образом, поперечное силовое поле приводит к возникновению на оси симметрии канала эффективной продольной силы, тормозящей поток. Оказывается, эта эффективная сила является источником неустойчивости в течении. Даже слабое поперечное силовое поле приводит к возникновению слабого продольного градиента, а затем и к неустойчивости течения. Для слабого поля неустойчивость является симметричной, относительно оси канала. При увеличении силового поля неустойчивость становится асимметричной, и возникают автоколебания потока. Характеристики этой неустойчивости численно исследуются в данной работе.

Рассматриваемая задача имеет прямую аналогию с устойчивостью трубчатой астросферы. Такая астросфера может возникать вокруг звёзд с сильным собственным магнитным полем, которое формирует две струи звёздного ветра, направленные по оси вращения звезды. Азимутальная природа магнитного поля способна удерживать плазму внутри трубок на больших расстояниях от звезды, подобно тому, как плазма удерживается в токамаках. Аналогично настоящей работе, для звёзд с сильным собственным магнитным полем трубчатая астросфера может быть неустойчивой из-за действия магнитной силы, притягивающей плазму к осям симметрии трубок.

Взаимодействие пристеночных пульсаций давления и турбулентных флуктуаций температуры в турбулентном пограничном слое

Е.Б. Кудашев¹, Л.Р. Яблоник²

¹*Институт космических исследований РАН, г. Москва*

²*ЦКТИ им. Ползунова, г. Санкт-Петербург*

Рассматривается влияние температурной стратификации водной среды на регистрацию пристеночных пульсаций давления в пограничном слое на теле всплывающего устройства при вертикальном всплытии устройства [1]. Исследован эффект искажения турбулентных спектров пульсаций давления, регистрируемых преобразователями из пьезокерамики, обладающих пирозэффектом, в поле температурных неоднородностей среды в рамках развитой модели [2]. Выполнено численное исследование ослабления температурного сигнала приемника давления в турбулентном пограничном слое при заданных экспериментальных параметрах температурной стратификации водной среды. Найдено, что при скоростях обтекания выше 1-2 м/с, температурная восприимчивость приемника определяется его характерной «тепловой» частотой. Определены параметры пороговой критической частоты, ниже которой температурный сигнал преобладает над «полезным» сигналом пульсаций давления. Обнаружены частотные участки доминирования температурного сигнала при измерении шумов обтекания на всплывающем устройстве в условиях типовой вертикальной температурной неоднородности.

- [1]. Кудашев Е.Б., Кольшницын В.А., Маршов В.П. Экспериментальное моделирование гидродинамических шумов обтекания на Автономной морской лаборатории // Акуст. журн. 2013. Т. 59. № 2. С. 211–221.
- [2]. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р., Jian-Hua L. Приемник турбулентных пульсаций давления в температурно-стратифицированной среде // Акуст. журн. 2018. Т. 64. № 1. С. 94–99.
- [3]. Кудашев Е.Б., Яблоник Л.Р. Тепловая помеха при регистрации турбулентных пульсаций давления на поверхности всплывающего устройства // Акуст. журн. 2023. Т. 69. № 6, С. 936–941.

About magnetic filaments in the solar convective zone: new results

E.A. Kuznetsov^{1,2,3}, **E.A. Mikhailov**^{1,3,4}

¹*Lebedev Physical Institute of RAS, Moscow, Russia*

²*Space Research Institute of RAS, Moscow, Russia*

³*Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia*

⁴*Physics Department, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

As is well known, magnetic fields in space are distributed very inhomogeneously. Sometimes field distributions have forms of filaments with high magnetic field values. As many observations show, such a filamentation takes place in convective cells in the Sun and another astrophysical objects. This effect is associated with the frozenness of the magnetic field into a medium with high conductivity that leads to compression of magnetic field lines and forming magnetic filaments. Based on the general consideration of the convection top flows only, without knowledge of the cell structure, we demonstrate that the magnetic field intensifies in the regions of downward flows in both two-dimensional and three-dimensional convective cells. These regions of the hyperbolic type play a role of a specific attractor for the magnetic field. This theoretical analysis was confirmed by numerical simulations for 2D convective cells of the roll-type. Without dissipation the magnetic field grows exponentially in time and the growth rate does not depend on the aspect ratio between horizontal and vertical scales of a cell. An increase due to compression in the magnetic field in the high conductive plasma is saturated due to the natural limitation associated with dissipative effects when the maximum magnitude of the magnetic field is of the order of the root of the magnetic Reynolds number Re_m . For the solar convective zone Re_m is about $10^6 - 10^8$, and the mean kinetic energy density exceeds mean magnetic energy density at least for two orders of magnitude that allows one to use the kinematic approximation for the MHD induction equation. On the basis we explain why downward flows influence magnetic filaments by making them flatter with orientation along interfaces between convective cells [1].

The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant No. 19-72-30028).

[1]. E.A. Kuznetsov, E.A. Mikhailov, Magnetic filaments: formation, stability, and feedback // *Mathematics*, **12**, 677 (1-14) (2024).

Helical cyclogenesis as an extreme threshold phenomenon in a rotating stratified moist atmosphere

G.V. Levina

Space Research Institute of RAS, Moscow

The contribution presents researches, which are on the frontiers, and bridges theoretical physics, physics of atmosphere and oceans, tropical meteorology, computational fluid dynamics, atmospheric cloud-resolving modeling, and meteorological satellite applications. Based on the turbulent vortex dynamo theory, helical cyclogenesis is interpreted as an extreme threshold phenomenon in a rotating stratified moist atmosphere. As the results of different years show (Fortov et al., *Physics Uspekhi*, 1996; Siegelman et al., *Nature Physics*, 2022), the concept of helical cyclogenesis expands research frontiers from the Earth environment to other planets and is applicable to Jovian atmosphere.

The main focus of this work is the tropical cyclogenesis in the Earth atmosphere. An amazing story, 40 years long, is presented about how a “cool” physical theory (USSR-Russia, 1983) through joint Russian-American efforts was brought to a stage that allowed Indian scientists to apply it to diagnose actually observed hurricane vortices. The developed diagnostic approach allows operational meteorological forecasting hurricane danger dozens of hours earlier than it is done by other methods.

Вопросы взаимодействия мелкомасштабной турбулентности с течениями и внутренними волнами

Л.А. Островский

University of Colorado, Boulder, USA

University of North Carolina, Chapel Hill, USA

Кратко рассматриваются проблемы, связанные с взаимным влиянием течений, волн и мелкомасштабной турбулентности в стратифицированной среде (океане, атмосфере). Классический подход здесь основан на системе уравнений Рейнольдса, дополненной теми или иными гипотезами замыкания, обычно в виде градиентных гипотез колмогоровского типа (см. [1, 2] и др.), в частности, так называемой $K - \varepsilon$ аппроксимации. Существенную роль здесь играет градиентное число Ричардсона $Ri = N^2/V_z^2$, где N – частота Брента–Вяйсяля, а $V_z = dV/dz$ – сдвиг средней скорости течения. В $K - \varepsilon$ и других аналогичных теориях развитая турбулентность может поддерживаться и усиливаться при условии $Ri \leq 1$, и в ряде случаев результаты теории неплохо согласуются с наблюдениями. Однако во многих других случаях турбулентность существует при гораздо больших значениях Ri . Соответствующая модификация теории была предложена в работе [3], где использовалось кинетическое уравнение для функции распределения флуктуаций скорости. При этом требуется только одна гипотеза замыкания, а результирующая система дополняется уравнением для потенциальной энергии турбулентности, связанной с флуктуациями плотности при наличии стратификации. В результате ограничение на величину Ri снимается вообще: энергия турбулентности может оставаться конечной при любом конечном Ri .

В докладе кратко обсуждаются эти модели, приводятся оценки для верхнего слоя океана и сравнение с данными наблюдений.

[1]. Монин А.М., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика, т. 1, М., Наука, 1965.

[2]. Rodi W. In: Prediction Methods for Turbulent Flows, ed. Kollman, W., Hemisphere, New York, pp. 259–350. 1980.

[3]. Островский Л. А., Троицкая Ю. И. Изв. АН СССР, Физ. Атм. и Океана, т. 23. № 10, с. 1031-1040, 1987.

Уравнение Шамеля в теории плазмы: солитоны и солитонная турбулентность

Е.Н. Пелиновский^{1,2}, Е.Г. Диденкулова^{1,2}, М. Flamarion³

¹Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, г. Нижний Новгород

²Нижегородский кампус НИУ-Высшая школа экономики, г. Нижний Новгород

³Pontificia Universidad Catylica del Peru, Lima, Peru

Более 50 лет назад Ганс Шамель в своей статье (Schamel, H. A modified Korteweg-de Vries equation for ion acoustic waves due to resonant electrons. J. Plasma Phys. 1973. V.9. 377–387) вывел уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \sqrt{u} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} = 0,$$

которое теперь называется его именем. Оно относится к классу уравнений типа Кортевега-де Вриза, и обладает неаналитической функцией нелинейности. Его уединенные и периодические решения (бегущие волны) находятся в явном виде, исследована также модуляционная неустойчивость волновых пакетов. Решение же уравнения Шамеля для произвольных начальных возмущений отсутствует, так как оно неинтегрируемо в отличие от канонического уравнения Кортевега-де Вриза. Оно остается достаточно популярным в теории плазмы, и здесь имеется большое число публикаций.

В докладе обсуждаются результаты численного исследования взаимодействия солитонов и солитонной турбулентности в рамках уравнения Шамеля. Полученные результаты суммированы в статьях авторов:

- Flamarion M.V., Pelinovsky E., Didenkulova E. Non-integrable soliton gas: The Schamel equation framework. *Chaos, Solitons and Fractals*. 2024, vol. 180, 114495.
- Didenkulova E., Pelinovsky E., Flamarion M.V. Bipolar solitary wave Interactions within the Schamel equation. *Mathematics*, 2023, vol. 11, No. 22, 4649.
- Flamarion M.V., Pelinovsky E. and Didenkulova E. Investigating overtaking collisions of solitary waves in the Schamel equation. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2023, vol. 174, 113870.
- Flamarion M.V. and Pelinovsky E. Interactions of solitons with an external force field: Exploring the Schamel equation framework. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2023, 113799.
- Flamarion M.V., Pelinovsky E., and Didenkulova E. Dynamics of irregular wave fields in the Schamel equation framework. arXiv:2408.17411v1 [physics.flu-dyn] 30 Aug 2024

Благодарности. Данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС», проект № 24-1-3-7-1 для ЕД, и проектом «Международное академическое сотрудничество» НИУ ВШЭ для ЕП.

Зональные течения в двумерной затухающей магнитогидродинамической турбулентности на β -плоскости

А.С. Петросян

Институт космических исследований РАН, г. Москва

Для двумерной магнитогидродинамической турбулентности на β -плоскости предложен масштаб, характеризующий верхнюю границу энергонесущего интервала, являющийся аналогом классического масштаба Райнса для турбулентности в нейтральной жидкости на β -плоскости. Получено, что в двумерной магнитогидродинамической турбулентности на β -плоскости образуются только нестационарные зональные течения со сложной временной динамикой. Показано, что нестационарность течений вызвана возникновением в системе изотропных магнитных островов вследствие влияния силы Лоренца. Характерные размеры течения согласуются с предложенным масштабом.

О пылевых звуковых возмущениях ионосферы Марса

Резниченко Ю.С.^{1,2}, Дубинский А.Ю.¹, Извекова Ю.Н.¹, Попель С.И.¹

¹Институт космических исследований РАН, г. Москва

²МФТИ (НИУ), г. Долгопрудный, Россия

Важной особенностью ионосферы Марса является наличие на высотах около 100 км плазменно-пылевых облаков, схожих по своим свойствам с серебристыми облаками мезосферы Земли [1-5]. Характерное время существования таких облаков определяется временем седиментации составляющих его микрочастиц, чей рост в пересыщенных парах углекислого газа приводит к образованию слоистой структуры [2-4].

В плазменно-пылевых облаках оказывается возможным возбуждение и распространение электростатических волн, в частности, нелинейных [1, 5]. Рассмотрены пылевые звуковые солитоны и нелинейные периодические волны, распространяющиеся в ионосфере Марса в плазменно-пылевых облаках на высотах около 100 км [1, 5]. Показано, что свойства солитонов существенным образом зависят от таких параметров, как величина заряда пылевых частиц и концентрация электронов плазмы. Кроме того, показано, что важным фактором, влияющим на параметры солитона, является адиабатический захват электронов (ионов) плазмы [5].

Продемонстрирована возможность распространения в ионосфере Марса нелинейных периодических волн. Показано, что величина пространственного периода волны может быть достаточной для её регистрации космическими аппаратами и, в частности, можно ожидать наличие на Марсе явлений, схожих с полярными дюнами земной ионосферы [5].

- [1]. Извекова Ю.Н., Резниченко Ю.С., Попель С.И. // Физика плазмы. 2020. Т. 46. № 12. С. 1119.
- [2]. Резниченко Ю.С., Дубинский А.Ю., Попель С.И. // Письма в ЖЭТФ. 2023. Т. 117. № 6. С. 420.
- [3]. Резниченко Ю.С., Дубинский А.Ю., Попель С.И. // Астрономический вестник. 2024. Т. 58. № 3. С. 269.
- [4]. Резниченко Ю.С., Дубинский А.Ю., Попель С.И. // ЖЭТФ. 2024. Т. 166. № 3(9). С. 422.
- [5]. Резниченко Ю.С., Извекова Ю.Н., Попель С.И. // Физика плазмы. 2024. Т. 50. № 11. В печати.

Вихревые процессы и спиральность в атмосфере

О.Г. Чхетиани

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва

Турбулентные движения поддерживаются каскадными процессами передачи энергии от крупных масштабов, включая общую циркуляцию атмосферы. Одной из особенностей турбулентности на вращающихся телах является наличие спиральности – корреляции между полями скорости и завихренности. Как и энергия, она сохраняется в отсутствие диссипации и играет большую роль в явлениях самых разных масштабов [1]. Известны точные соотношения для тройных корреляций, связанные с потоком спиральности, аналогичные закону $4/5$ Колмогорова [2]. Измерения спиральности в естественных условиях в турбулентности атмосферного пограничного слоя (АПС) были впервые выполнены в экспедициях ИФА им. А.М. Обухова РАН [3]. Знак спиральности в целом положительный в северном полушарии, тем не менее, может изменяться при воздействии локальных ветров [4].

Само воспроизводство и накачка спиральности в АПС в немалой степени связаны с конвективными процессами и развитием субмезомасштабных структур, играющих важную роль в обменных процессах. [5]. Подобные движения, на которые влияет уже конечная проводимость среды и имеющие спиральные свойства развиваются в верхней атмосфере [6].

Развитие атмосферной циркуляции может рассматриваться в рамках представлений об обратных каскадах энергии, имеющих место как в трёхмерных, так и в квазидвумерных системах, наблюдаемых также в лабораторных гидродинамических экспериментах [7]. Здесь оказывается важным наличие свойств спиральности в движениях, связанных зачастую с развитием бароклинных неустойчивостей [8]. В этом же контексте можно рассматривать эффективное использование вертикального потока спиральности из АПС как индекса общей циркуляции атмосферы и в качестве прогностического фактора возникновения полярных мезоциклонов и блокирующих антициклонов [10].

Исследование выполнено при поддержке РФФИ проект № 23-17-00273.

- [1] *Моисеев С.С., Чхетиани О.Г.* Спиральный скейлинг в турбулентности // *ЖЭТФ* 1996. Т. 109 (6). 357-370.
- [2] *Чхетиани О.Г.* О третьих моментах в спиральной турбулентности // *Письма в ЖЭТФ*. 1996. Т.63 (10). С. 768-772.
- [3] *Копров Б.М., Копров В.М., Пономарев В.М., Чхетиани О.Г.* Измерение турбулентной спиральности и ее спектра в пограничном слое атмосферы // *ДАН РАН*. 2005. Т. 403 (5). С. 627-630.
- [4] *Chkhetiani O., Kurgansky M.* Kinetic Helicity in the Earth's atmosphere in “*Helicities in Geophysics, Astrophysics, and Beyond*” AGU Monograph series. Wiley. 2023. P. 149-166. doi: 10.1002/9781119841715.ch10
- [5] *Пономарев В.М., Хапаев А.А., Чхетиани О.Г.* Роль спиральности в формировании вторичных структур в экмановском пограничном слое // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2003. Т. 39 (4) . С. 435-444.
- [6] *Chkhetiani O.G., Shalimov S.L.* On anomalous wind amplitudes in the lower ionosphere // *J. Atmos. Ter. Phys.* 2022. V. 240. 105960.

- [7] *Chkhetiani. O.G. Gledzer. E.B.* Helical turbulence with small-scale energy and helicity sources and external intermediate scale noises as the origin of large scale generation // *Physica A*. 2017. V. 486. P. 416–433.
- [8] *Калашник М.В., Курганский М.В., Чхетиани О.Г.* Бароклидная неустойчивость в геофизической гидродинамике // *Успехи физических наук*. 2022. Т. 192. № 10. С. 1110-1134.
- [9] *Курганский М.В., Максименков Л.О., Хапаев А.А., Чхетиани О.Г.* Вертикальный поток спиральности как индекс общей циркуляции атмосферы // *ДАН РАН*. 2018. Т. 479 № 4. С. 447-451.
- [10] *Вазаева Н.В., Чхетиани О.Г., Дурнева Е.А.* О критериях идентификации полярных мезоциклонов // *Метеорология и гидрология*. 2022. №4. С. 20-33.

Мелкомасштабное магнитное динамо Казанцева-Крейчнана в рамках каскадного МГД-моделирования

Е.В. Юшков^{1,2}, И. Абушзаде¹, П.Г. Фрик^{3,4}, Д.Д. Соколов¹

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

²Институт космических исследований РАН, г. Москва

³Институт механики сплошных сред, г. Пермь

⁴Пермский государственный университет, г. Пермь

Традиционно теория магнитного динамо, описывающая процесс генерации магнитной энергии в турбулентных проводящих потоках, делится на, так называемое, динамо среднего поля и мелкомасштабное (турбулентное) динамо. Первый тип динамо изучен гораздо лучше второго, так как описывает рост средних крупномасштабных полей, таких как, например, магнитное поле Земли и Солнца, измеряемых как удалёнными, так и спутниковыми методами. Второй тип описывает генерацию средней магнитной энергии на малых масштабах с нулевым средним полем – такие поля измерять в астрофизических системах существенно сложнее. Исследование же этого типа динамо в лабораторных условиях усложняется пороговостью эффекта, когда генерация начинается только при очень больших Rm . Одним словом, чёткого экспериментального доказательства работы второго типа динамо в настоящее время нет. В рамках доклада мы демонстрируем возможность численного анализа мелкомасштабной генерации в рамках каскадных подходов, формализованных для систем гидродинамического типа академиком Обуховым. Мы показываем, как при больших Rm начинается генерация, как её скорость зависит от Re и Rm , демонстрируем линейные и нелинейные режимы генерации, проводим сравнение мелкомасштабной генерации с классической моделью Казанцева-Крейчнана. Полученные результаты открывают новое окно возможностей к изучению турбулентного динамо, и могут помочь понять причину неудач в попытках лабораторных и спутниковых наблюдений мелкомасштабной генерации.