

Сектор неравновесных состояний ИТФ имени Л.Д.Ландау

Направления исследований сектора

- 1. Гидродинамическая турбулентность**
- 2. Физика жидких кристаллов
и фазовые переходы**
- 3. Стохастические процессы
и наносистемы**

Сотрудники

В.В.Лебедев

Е.И.Кац И.В.Колоколов

С.С.Вергелес Е.С.Пикина

В.М.Парфеньев С.А.Белан

М.М.Костенко^{*}

Аспиранты

А. Бузовкин (Колоколов)

Л. Огородников (Вергелес)

Студенты

Н. Ивченко (Лебедев) И. Воинцев
(Вергелес) А. Скоба (Лебедев)
Р. Гайдаров (Лебедев) Д. Старков
(Белан)

Гидродинамическая турбулентность

Генерация вихревых течений поверхностными волнами

Поверхностные волны, распространяющиеся под углом друг к другу, генерируют горизонтальное вихревое течение вследствие гидродинамической нелинейности в вязкой жидкости. Горизонтальная геометрическая структура индуцированного течения совпадает со структурой стоковского дрейфа в идеальной жидкости, но его стационарная амплитуда и глубина проникновения в неограниченной системе больше при малом угле, по сравнению со стоковым дрейфом. Генерация вихревого течения происходит в тонком вязком подслое вблизи поверхности жидкости, а распространение в объем происходит диффузионным образом за счет вязкости.

Генерация вихревых течений поверхностными волнами

В природе поверхность жидкости обычно загрязнена, что в первом приближении можно смоделировать наличием тонкой жидкой эластичной нерастворимой пленки. В этом случае амплитуда вихревого течения параметрически усиливается, причем параметром является добротность поверхностных волн (с учетом загрязнения). Построенная теория находится в количественном соответствии с результатами лабораторных экспериментов. Аналогичным образом можно рассмотреть генерацию соленоидального течения в свободно подвешенных смектических пленках.

S. Filatov, V. Parfenyev, S. Vergeles, M. Brazhnikov, A. Levchenko, V. Lebedev, Nonlinear generation of vorticity by surface waves, Phys. Rev. Lett. 116, 054501 (2016).

V.M. Parfenyev, S.S. Vergeles, V.V. Lebedev, “Nonlinear generation of vorticity in thin smectic films”, JETP Letters, 103 (3), 201 – 205 (2016); 104(4), 287 (2016).

V.M. Parfenyev, S.S. Vergeles, V.V. Lebedev, “Effects of thin film and Stokes drift on the generation of vorticity by surface waves”, Phys. Rev. E 94, 052801 (2016).

S.V. Yablonskii, N.M. Kurbatov, V.M. Parfenyev, “Acoustic streaming in 2D freely suspended smectic liquid crystal film”, Phys. Rev. E 95, 012707 (2017).

V.M. Parfenyev, S.S. Vergeles, “Influence of a thin compressible liquid film on the eddy currents generated by interacting surface waves”, Phys. Rev. Fluids 3, 064702 (2018).

V. Parfenyev, S. Filatov, M. Brazhnikov, S. Vergeles, A. Levchenko, “Formation and decay of eddy currents generated by crossed surface waves”, Phys. Rev. Fluids 4, 114701 (2019).

V.M. Parfenyev and S.S. Vergeles, “Large-scale vertical vorticity generated by two crossing surface waves”, Phys. Rev. Fluids 5, 094702 (2020).

Когерентные вихри в двумерной турбулентности

Серия работ посвящена структуре когерентных вихрей, возникающих в результате обратного каскада двумерной турбулентности в конечной ячейке. Показано, что условием возникновения когерентных вихрей является квазилинейное приближение, которое позволяет подробно исследовать структуру когерентного вихря. Проанализированы случаи различного типа накачки от коротко коррелированной по времени до статической и исследована зависимость от различных параметров.

I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, Velocity statistics inside coherent vortices generated by the inverse cascade of 2-D turbulence, J. Fluid Mech., 809, R2 (2016);

I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, Structure of coherent vortices generated by the inverse cascade of two-dimensional turbulence in a finite box, Phys. Rev. E 93, 033104 (2016);

И.В. Колоколов, В.В. Лебедев, Крупномасштабное течение в двумерной турбулентности при статической накачке, Письма в ЖЭТФ, 106(10), 633-636 (2017) [I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, Large-scale flow in two-dimensional turbulence at static pumping, JETP Lett., 106(10), 659-661 (2017)],

А.Б. Бузовкин, С.С. Вергелес, И.В. Колоколов, В.В. Лебедев, Когерентный вихрь в двумерном турбулентном потоке в окрестности вращающегося диска, Письма в ЖЭТФ, 111 (8), 509-513 (2020) [A.B. Buzovkin, I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, S.S. Vergeles, Coherent Vortex in Two-Dimensional Turbulence around a Rotating Disc, JETP Letters, 111(8), 442-446 (2020)].

I.V. Kolokolov, M.M. Kostenko, Universal moments of accelerations in two-dimensional turbulence, Phys. Rev. E 101, 033108 (2020),

I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, Coherent vortex in two-dimensional turbulence: Interplay of viscosity and bottom friction, Phys. Rev. E 102, 023108 (2020).

Начата совместная работа с группой Светланы Фортовой, которая занимается численным моделированием. Опубликованы первые результаты, касающиеся численного моделирования двумерной турбулентности в конечной ячейке без трения о дно. Получено хорошее согласие с теоретическими представлениями.

A.N. Doludenko, S.V. Fortova, I.V. Kolokolov, V.V. Lebedev, Coherent vortex in a spatially restricted two-dimensional turbulent flow in absence of bottom friction, *Physics of Fluids* 33, 011704 (2021).

Столбовые вихри

Сильное вращение делает турбулентное течение квазидвумерным, что приводит к передаче энергии вверх по масштабам. Недавние численные эксперименты показывают, что при определенных условиях энергия накапливается на масштабе равном размеру системы, формируя когерентные вихри. Мы аналитически описали взаимодействие сильного конденсата со слабыми мелкомасштабными турбулентными пульсациями и получили уравнение, которое позволяет определить радиальную скорость когерентного вихря. При быстром внешнем вращении профили скоростей циклонов и антициклонов идентичны друг другу и хорошо описываются линейной зависимостью с логарифмическим фактором.

Столбовые вихри

По мере уменьшения скорости вращения эта симметрия исчезает: максимальная скорость в циклонах больше, а положение максимума ближе к оси вихря по сравнению с антициклонами. Кроме того, наш анализ показывает, что размер антициклона не может превышать определенного критического значения, которое зависит от чисел Россби и Рейнольдса. Максимальный размер циклонов ограничен только размером системы при тех же условиях. Наши предсказания основаны на линейной эволюции турбулентных пульсаций на фоне когерентного вихревого течения и сопровождаются оценками, вытекающими из нелинейного уравнения Навье-Стокса.

I.V. Kolokolov, L.L. Ogorodnikov, S.S. Vergeles, Structure of coherent columnar vortices in three-dimensional rotating turbulent flow, *Phys. Rev. Fluids* 5, 034604 (2020),

V.M. Parfenyev, I.A. Vointsev, A.O. Skoba, S.S. Vergeles, “Velocity profiles of cyclones and anticyclones in a rotating turbulent flow”, *Physics of Fluids*, accepted (2021).

Кинематическое динамо в двумерных потоках

В работах изучается кинематическое мелкомасштабное динамо в двумерном хаотическом потоке. Такая постановка является предметом антидинамных теорем, восходящих к Я.Б.Зельдовичу. Строгие утверждения об остановке динамо на больших временах не дают оценок для амплитуды флуктуаций магнитного поля. В этих двух работах в рамках модели Крайчнана-Казанцева такие оценки сделаны.

I.V. Kolokolov, Evolution of magnetic field fluctuations in two-dimensional chaotic flow, J. Phys. A 50, 155501 (2017),

I.V. Kolokolov, Spatial statistics of magnetic field in two-dimensional chaotic flow in the resistive growth stage, Phys. Lett. A 381(11), 1036-1040 (2017);

Энтропийные характеристики хаотических потоков

Поскольку стохастические системы характеризуются функцией распределения вероятности, их можно описывать в терминах энтропии, которая для неравновесных систем существенно отличается от равновесных. В частности, энтропия неравномерно распределена по фазовому пространству.

F. Sultanov, M. Sultanova, G. Falkovich, V. Lebedev, Y. Liu, V. Steinberg, Entropic characterization of the coil-stretch transition of polymers in random flows, Phys. Rev. E 103, 033107 (2021).

Физика жидких кристаллов и фазовые переходы

Суспензии коротких ДНК

Выполнен ряд работ с экспериментальной группой Евдокимова, которая измеряет дихроизм и малоугловой рентген в суспензиях, построенных из коротких ДНК. Меняют давление (осмотическое за счет ПЭГ) и температуру. И изучают фазовую диаграмму такой системы. Они наткнулись на то, что возможны, кроме оптически неактивной (нематико-подобной) несколько закрученных (типа холестерика) структур, что раньше было неизвестно. Е.И.Кац произвел симметричную классификацию новых холестерических структур и предложил аналог критерия Линдемана (с учетом вращательных флуктуаций молекул) для качественного описания их фазовых диаграмм.

Ю.М. Евдокимов, С.Г. Скуридин, В.И. Сальянов, Е.И. Кац,
ФАЗОВЫЙ ПЕРЕХОД ГЕКСАГОНАЛЬНАЯ – ХОЛЕ-
СТЕРИЧЕСКАЯ УПАКОВКА МОЛЕКУЛ ДНК В ЧА-
СТИЦАХ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ДИСПЕРСИЙ,
ДАН, 2016, том 467, с. 1–4.

Yu.M. Yevdokimov, S.G. Skuridin, V.I. Salyanov, E.V. Shtykova,
N.G. Khlebtsov, E.I. Kats, The gold nanoparticles influence
the spatial ordering of double-stranded nucleic acid molecules,
Frontiers in Nanoscience and Nanotechnology, **2**, 135 - 143
(2016).

Yu.M. Yevdokimov, S.G. Skuridin, S.V. Semenov, L.A. Dadinova,
V.I. Salyanov, E.I. Kats, "Reentrant cholesteric phase in

DNA liquid-crystalline dispersion particles", J. Bio. Phys., **43**, 45-68 (2017).

Yu. M. Yevdokimov, S. G. Skuridin, V. I. Salyanov, E. R. Muzipov, S. V. Semenov, E. I. Kats, DOUBLE-STRANDED DNA PACKING IN PARTICLES OF LIQUID-CRYSTALLINE DISPERSIONS AND LIQUID-CRYSTALLINE PHASES OBTAINED FROM THESE PARTICLES, Жидкие кристаллы и их практическое использование, **18**, 64-85 (2018).

Yu. M. Yevdokimov, S.G. Skuridin, V.I. Salyanov, E.I. Kats, "Anomalous behavior of the DNA liquid-crystalline dispersion particles and their phases", Chem. Phys. Lett., **707**, 154-159 (2018).

Ю.М. Евдокимов, С.Г. Скуридин, В.И. Сальянов, О.Н. Компанец, Е.И. Кац, "Спектры кругового дихроизма дисперсий и текстуры фаз ДНК", Оптика и спектроскопия, **125**, 845-850 (2018).

Yuri M. Yevdokimov, Sergey G. Skuridin, Viktor I. Salyanov, Yuri A. Bobrov, Vladislav A. Bucharsky, Efim I. Kats, "New optical evidence of the cholesteric packing of DNA molecules in "re-entrant" phase", Chem. Phys. Lett., **717**, 59-68 (2019).

Yuri Yevdokimov, Sergey Skuridin, Viktor Salyanov, Sergey Semenov, Efim Kats, "Liquid-crystalline dispersions of double-stranded DNA", Crystals, **9**, 162 (2019).

Ю. М. Евдокимов, В. И. Сальянов, О. Н. Компанец, Е. И. Кац, С. Г. Скуридин, ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

ЧАСТИЦ ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОЙ И «ВОЗВРАТНОЙ»
ХОЛЕСТЕРИЧЕСКОЙ ФАЗ ДНК, Жидк. крист. и их
практич. использ. (Liq. Cryst. and their Appl.), **19**, 59–75
(2019).

Ю.М. Евдокимов, С.Г. Скуридин, В.И. Саянов, С.В.
Семенов, Е.И. Кац, Множественность "возвратных" холестерически
структур в жидкокристаллических дисперсиях ДНК, УФН
принята в печать (2020).

Yuri Yevdokimov, Sergey Skuridin, Viktor Salyanov, Sergey
Semenov and Efim Kats, "Liquid-Crystalline Dispersions
of Double-Stranded DNA", chapter in a book "Advances
in cholesteric liquid crystals" (MDPI Basel, Switzerland,
2020) Ed. by M.Mitov.

Включения в смектических пленках

Выполнен ряд работ с экспериментальной группой Долгановых про различные включения (изотропной фазы или островков) в свободно подвешенным смектических пленках. Изучались процессы агрегации включений или исчезновения островков (кинетика и термодинамика). Там много разных механизмов, которые зависят от типа смектика (наклонные или смектики А), включая дипольные и квадрупольные взаимодействия, капиллярные силы, ВдВ, флуктуации параметра порядка и т.п. Е.И.Кац обеспечил теоретическую поддержку работ. Прямо сейчас готовится работа про те же включения в условиях невесомости.

П. В. Долганов, Н. С. Шуравин, В. К. Долганов, Е. И. Кац, Цепочечные структуры и кластеры из частиц со смешанным диполь – квадрупольным взаимодействием в смектических свободно подвешенных наноплёнках, *JETP Letters*, **104**, 265-270 (2016).

П. В. Долганов, Е. И. Кац, В. К. Долганов, "Коллапс островов в смектических свободно подвешенных наноплёнках", *JETP Letters*, **106**, 214 (2017).

P. V. Dolganov, E. I. Kats, V. K. Dolganov, P. Cluzeau, "Linear defects forming the ground state of polar free-standing smectic-C* films" *Soft Matter*, **14**, 7174-7179 (2018).

P.V. Dolganov, N.S. Shuravin, V.K. Dolganov, E.I. Kats, Atsuo Fukuda, "Topological defects in smectic islands formed in antiferroelectric free-standing nanofilms", *Surface Innovations*, **7**, 168-173 (2019).

П.В. Долганов, Н.С. Шуравин, Е.И. Кац, В.К. Долганов, Коалесценция островов различной толщины в смектических наноплёнках, *Письма в ЖЭТФ*, **110**, 539–544 (2019).

P. V. Dolganov, N.S. Shuravin, V.K. Dolganov, E.I. Kats, "Dynamics of island-meniscus coalescence in free-standing smectic films", *Soft Matter*, **16**, 8506-8511 (2020).

Новые жидкокристаллические фазы

Е.И.Кац продолжает отслеживать появление новых жидкокристаллических фаз в эксперименте и строить их теоретическое объяснение на основе данных о теплоемкости, сдвиге температуры перехода в магнитном поле и нейтронных экспериментов про динамику молекул в липидных мембранах. Исследование ведется в рамках феноменологических моделей, которые являются обобщением теории Ландау и теории упругости для жидкокристаллических фаз и мембран.

E. I. Kats, V. V. Lebedev, A. R. Muratov, Theory of the anomalous critical behavior for the smectic A–hexatic transition, *Physical Review E*, **93**, 062707 (2016).

E. I. Kats, "Spontaneous chiral symmetry breaking in liquid crystals", *Low Temp. Phys.* **43**, 7-10 (2017).

E.I. Kats, Fluctuation shift of nematic liquid crystal – isotropic liquid phase transition temperature, *JETP Letters*, **105**, 246-249 (2017).

E.I.Kats, "Non-traditional phase transitions in liquid crystals", *Physics, Uspekhi*, **60**, 1022 (2017).

J. Peters, J. Marion, F. Natali, E. Kats, D. J. Bicoût, "The dynamical transition of lipid multi-lamellar bilayers as

a matter of cooperativity", Journal of Physical Chemistry B, (2017).

E. I. Kats, A. R. Muratov, "Simple analysis of scattering data with the Ornstein-Zernike equation", Phys. Rev. E, **97**, 012610 (2018).

Е.И. Кац, Влияние полидисперсности на фазовую диаграмму коллоидных систем, ЖЭТФ, **54**, 1041–1047 (2018).

Е.И. Кац, Механизм релаксации Ландау - Халатникова в смектических жидких кристаллах, ЖЭТФ, **156**, 799-805 (2019).

E.I.Kats, A simple model for dynamic accommodation coefficient, Europhysics Letters, **130**, 44001 (2020).

Е.И. Кац, "Комбинированные дефекты в ферроэлектрических нематиках" ЖЭТФ, **159**, 735 (2021).

E.I.Kats, "Stability of the uniform ferroelectric nematic phase", Physical Review E, **103**, 012704 (2021).

E. I. Kats, "Spontaneous curvature induced stretching-bending mode coupling in membranes", Physics, **3**, 367-371 (2021).

Трикритическая точка в смектиках

Работа инициирована рентгеновским экспериментом со смектическими пленками, который демонстрирует слабый фазовый переход первого рода из смектика А в гексатик. В предположении, что система близка к трикритической точке, построена последовательная теория явления, которая находится в хорошем соответствии с экспериментальными данными.

I.A. Zaluzhnyy, R.P. Kurta, N. Mukharamova, Y.Y. Kim, R.M. Khubbutdinov, D. Dzhigaev, V.V. Lebedev, E.S. Pikina, E.I. Kats, N.A. Clark, M. Sprung, B.I. Ostrovskii, I.A. Vartanyants, Evidence of a first-order smectic – hexatic transition and

its proximity to tricritical point in smectic films, Phys. Rev. E, 98, p. 052703 (2018)

E. I. Kats, V. V. Lebedev, E. S. Pikina, Landau theory for smectic-A – hexatic-B coexistence in smectic films, Physical Review E, **100**, 022705 (2019).

Подходит к завершению работа по солитоноподобным возбуждениям в нематиках, которые наблюдаются экспериментально вблизи перехода нематика в неоднородное состояние в электрическом поле за счет флексо-электрического эффекта (Е.С.Пикина)

Капли нематика

Проведено теоретическое исследование явления формирования капель нематика в свободно подвешенных смектических пленках (СПСП) при их перегреве выше температуры объемного перехода в нематическую фазу. Был объяснен механизм образования и роста нематических капель при указанном перегреве СПСП. Получено аналитическое выражение для силы капиллярного притяжения между спонтанно образующимися нематическими каплями; найдены условия их коалесценции. Были определены условия начала коалесценции капель в перегретых СПСП, имеющих форму сплюснутых сферических линз.

Капли нематика

Продемонстрировано, что вероятность активации процесса коалесценции изотропных включений в СПСП за счет тепловых флуктуаций исчезающе мала, что означает необходимость внешнего воздействия для начала слияния капель. Исследована динамика коалесценции изотропных капель и рассчитаны временные зависимости характерных параметров сливающихся включений. Продолжением этих исследований стало изучение конвекции Марангони в изотропных каплях в перегретых СПСП. Проведен анализ проблемы для плоского слоя с двумя свободными поверхностями. Найдено критическое число Марангони и значение критического вектора в плоскости пленки. Сейчас идет работа по нахождению критического числа Марангони для реальной формы капли в виде сплющенного сфероида.

E.S. Pikina and B. I. Ostrovskii, Nucleation and growth of droplets in the overheated free-standing smectic films, Eur. Phys. J. E 40: 24 (2017).

E.S. Pikina and B. I. Ostrovskii, Anomalous melting of overheated smectic films, LIQUID CRYSTALS, Vol. 44:5, 889-896, (2017).

Elena S. Pikina, Boris I. Ostrovskii and Sergey A. Pikin; Coalescence of isotropic droplets in overheated free standing smectic films, Soft Matter, v. 16, pp. 4591-4606 (2020).

Elena S. Pikina, Boris I. Ostrovskii and Sergey A. Pikin, Benard-Marangoni convection within isotropic droplets in overheated free standing smectic films, принята в ЕРЖЕ (2021).

Стохастические процессы и наносистемы

Молекулярные возбуждения

Е.И.Кац совместно с Бендерским выполнил ряд работ про квантовую механику молекулярных возбуждений в ситуации, когда есть оптически возбужденный уровень и есть резервуар, с которым этот уровень взаимодействует. Но резервуар не макроскопический, хотя в нем уровней много. Такой промежуточный случай обычно исследуется численно. Точно решена модель, когда уровни резервуара эквидистантны. Далее в основном качественно произведено исследование того, что будет, если уровни не эквидистантны. Исследованы различные варианты, которые мотивированы экспериментами по молекулярной спектроскопии.

В.А.Бендерский, Е.И. Кац, Когерентный перенос электронных возбуждений в органических солнечных элементах, ЖЭТФ, **154**, 1-17 (2018).

В.А. Бендерский, Е.И. Кац, Авто-ионизация экситонов в органических солнечных элементах, Химия Высоких Энергий, **52**, 381-391 (2018).

В.А. Бендерский, Е.И. Кац, Возбужденные электронно-дырочные состояния в молекулярных цепочках, Химия Высоких Энергий, **52**, 375-384 (2018).

V. A. Benderskii, E. I. Kats, "High Photoelectric Quantum Yield in Donor–Acceptor Bulk Heterojunction Organic Solar Cells", High Energy Chemistry, Vol. 54, 175–182 (2020).

V.A.Benderskii, E. I. Kats, "Non-trivial dynamic regimes of small (nano-scale) quantum systems", accepted, ЖЭТФ (2021).

Радикальная поликонденсация

Серия работ инициирована экспериментальными исследованиями Иды Ким по радикальной поликонденсации. Это явление основано на зависимости равновесия между мономерами и полимерами от присутствия различных радикалов. Ситуация исследуется численно на основе уравнения Смолуховского для конечных систем для различных режимов. Е.И.Кац формулировал уравнения с учетом конечности запаса мономеров и изменения физических характеристик среды, где это все происходит.

И.П.Ким, Е.И.Кац, В.А.Бендерский, Кинетика радикально-цепной полимеризации. I. Зависящие от времени распределения макрорадикалов и олигомеров, Химия Высоких Энергий, **53**, 255-266 (2019).

И. П. Ким, Е. И. Кац, В. А. Бендерский, "КИНЕТИКА ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ. I. БИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ МОНОМЕРЫ", ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, том 54, 87-96 (2020).

И. П. Ким, Е. И. Кац, В. А. Бендерский, "КИНЕТИКА РАДИКАЛЬНО-ЦЕПНОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ. III. ВОССТАНОВЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ МАКРОРАДИКАЛОВ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЦЕПИ", ХИМИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ, **54**, 3–12 (2020).

Перезапуск

Около тридцати лет назад в теории информатики было продемонстрировано, что перезапуск (т. е. прерывание стохастического процесса с последующим его новым запуском) позволяет сократить среднее время завершения рандомизированных алгоритмов поиска. Много позже аналогичный эффект был обнаружен в рамках теоретических моделей кинетики ферментативных реакций. Далее стало понятно, что помимо математического ожидания времени завершения, перезапуск дает возможность оптимизировать многие другие важные характеристики стохастических процессов.

Перезапуск

В цикле работ нами были развиты строгие аналитические методы решения проблемы оптимального перезапуска в контексте оптимизации медианного времени завершения стохастического процесса, модуса функции распределения времени завершения, и вероятности реализации желаемого сценария завершения процесса.

S. Belan, Restart could optimize the probability of success in a Bernoulli trial, Phys. Rev. Lett. 120, 080601 (2018),

S. Belan, Median and Mode in First Passage under Restart, Phys. Rev. Research 2, 013243 (2020),

S.A. Belan and V.M. Parfenyev, “Optimality and universality in quantum Zeno dynamics”, New J. Phys. 22, 073065 (2020).

D. Starkov, V. Parfenyev, S. Belan, “Conformational statistics of non-equilibrium polymer loops in Rouse model with active loop extrusion”, J. Chem. Phys. 154, 164106 (2021).

Активные жидкости

Будучи принципиально неравновесными системами, активные жидкости, такие как суспензии плавающих микроорганизмов или активных коллоидных частиц, проявляют необычные свойства отличные от свойств привычных равновесных сред. Даже при относительно малых концентрациях активные микрочастицы могут создавать сильные флуктуации скорости жидкости, которые сильно-коррелированы во времени и в пространстве и не подчиняются флуктуационно-диссипационной теореме.

Активные жидкости

Мы провели теоретическое моделирование процессов диффузии и направленного движения примесных пассивных частиц в активных суспензиях. Были получены аналитические выражения для коэффициента относительной диффузии пассивных частиц, знание которого позволяет судить о скорости перемешивания примесей в хаотическом течении этого типа, а также для скорости и персистентной длины направленного движения пассивных частиц асимметричной формы.

S. Belan, M. Kardar, Pair dispersion in dilute suspension of active swimmers, *J. Chem. Phys.* 150, 064907 (2019),

S. Belan, M. Kardar, Active motion of passive asymmetric dumbbells in a non-equilibrium bath, *J. Chem. Phys.*, 154(2), 024109 (2021),

Пристеночные слои

Мы разработали теоретические модели процессов турбулентного транспорта тяжелых примесных частиц в пристенной области гидродинамической турбулентности, учитывающие такие физические факторы как: инерционный отклик частиц на флуктуации переносящего их поля скорости, диссипативные столкновения частиц с ограничивающей турбулентный поток стенкой, неоднородность интенсивности пульсаций поля скорости, ненулевое время корреляции турбулентных пульсаций, гравитационное осаждение.

Пристеночные слои

В рамках этих моделей были получены аналитические результаты для пространственных распределений концентрации частиц в вязком подслое турбулентного течения вблизи непроницаемой стенки и для скорости осаждения частиц в приземном слое атмосферы. Кроме того, мы теоретически описали статистические свойства пристенных областей хаотических течений, характеризующихся низким числом Рейнольдса, а именно, эластической турбулентности полимерных растворов и стоксова течения в микроканалах с шероховатыми стенками.

S. Belan, A. Chernykh, G. Falkovich, Phase transitions in the distribution of inelastically colliding inertial particles, *J. Phys. A* 49, 035102 (2016)

S. Belan, Concentration of diffusional particles in viscous boundary sublayer of turbulent flow, *Physica A* 443, 128-136 (2016)

S. Belan, V. Lebedev, G. Falkovich, Particle Dispersion in the Neutral Atmospheric Surface Layer, *Boundary-Layer Meteorol.*, 159(1), 23-40 (2016)

S. Belan, A. Chernykh, V. Lebedev, Boundary layer of elastic turbulence, *J. Fluid Mech.*, 855, 910-921 (2018),

V. Parfenyev, S. Belan, V. Lebedev, "Universality in statistics of Stokes flow over no-slip wall with random roughness", *J. Fluid Mech.* 862, 1084-1104 (2019).

Распространение лазерного луча в турбулентной атмосфере

Задача является классической, ей посвящены тысячи работ. Известно, что на больших расстояниях от источника луч разбивается на спеклы за счет рассеяния на флуктуациях показателя преломления. Мы интересуемся хвостами функции распределения вероятности интенсивности лазерного луча и учетом эффектом конечности интегрального масштаба турбулентности. Проводится интенсивное численное моделирование.

I.V.Kolokolov, V.V. Lebedev, P.M. Lushnikov, Statistical properties of a laser beam propagating in a turbulent medium, Phys. Rev. E 101, 042137 (2020).

Молекулярная сортировка

Работа посвящена механизму сортировки биологических молекул в биологических клетках, основанному на кластеризации молекул в клеточных мембранах. Работа содержит результаты экспериментального исследования модельных клеток, численного моделирования и аналитическую схему, построенную в духе теории Лифшица-Слезова.

Marco Zamparo, Donatella Valdembri, Guido Serini, Igor V. Kolokolov, Vladimir V. Lebedev, Luca Dall'Asta and Andrea Gamba, Optimality in Self-Organized Molecular Sorting, Phys. Rev. Lett. 126, 088101 (2021).

Статистика выходного излучения

Мы изучили статистику выходного излучения случайного непрерывного волоконного ВКР-лазера. Статистика сигнала близка к Рэлеевской, а отклонения обусловлены Керровской нелинейностью. Для определения статистики отклонений мы нашли аналитически средний квадрат интенсивности выходного сигнала основываясь на кинетической теории. Мы показали качественное согласие с имеющимися экспериментальными данными и дополнили наши аналитические результаты численными расчетами.

L.L. Ogorodnikov, S.S. Vergeles, Intensity statistics in a long random fiber Raman laser, *Optics Letters*, 43(4), 651-654 (2018),

S. Derevyanko, A. Redyuk, S. Vergeles, S. Turitsyn, Invited Article: Visualisation of extreme value events in optical communications, *APL Photonics* 3, 060801 (2018),

Диэлектрический концентратор световой волны

Мы предложили принципиальную схему полностью диэлектрического концентратора световой волны. Принципиальная схема состоит из подводящего волновода кругового сечения, магнитного Ми-резонатора и острия, выходящего по касательной из резонатора. Усиление поля происходит на конце острия. Мы рассчитали Парселл-фактор вблизи угла серебряной нано-гранулы треугольной формы, рассмотрев оптическое возбуждение квантовой многослойной кадмиево-халкогенидной квантовой точки в этой области пространства.

S.S. Vergeles, A.K. Sarychev, G. Tartakovsky, All-dielectric light concentrator to subwavelength volume, Phys. Rev. B 95, 085401 (2017).

С.П. Елисеев, Н.С. Курочкин, С.С. Вергелес, В.В. Сычев, Д.А. Чубич, П. Аргиракис, Д.А. Колымагин, А.Г. Витухновский, Эффект Парселла в треугольных плазмонных патч-наноантеннах с трехслойными коллоидными квантовыми точками, Письма в ЖЭТФ, 105 (9), 545-549 (2017) [S.P. Eliseev, N.S. Kurochkin, S.S. Vergeles, V.V. Sychev, D.A. Chubich, P. Argyrakis, D.A. Kolymagin, A.G. Vitukhnovskii, Purcell effect in triangular plasmonic nanopatch antennas with three-layer colloidal quantum dots, JETP Lett., 105(9), 577-581 (2017)],

Гранты

Мегагрант МНВО 075-15-2019-1893 Турбулентность, когерентные течения и вязкая электроника, руководитель Г.Е.Фалькович

Сектор осуществляет теоретическое обеспечение мегагранта, в рамках которого осуществляются также экспериментальные исследования и численное моделирование. Координация исследований.

Кац: Совместный научно-прикладной грант РОСКОСМОС и NASA по экспериментам, проводимым на МКС. С 2015-ого года.

Кац: РФФ 14-12-00475 Изучение структуры и полярных свойств тонких жидкокристаллических пленок (2014-2016).

Кац, Пикина: РФФ 18-12-00108 (2018 – 2020), Проект успешно завершен и грант продлен на 2021-2022 гг. «Наноразмерные пленки жидких кристаллов: структура, динамика и фазовые переходы.»

Белан Сергей: РФФ 20-72-00170 «Полимерные модели пространственной упаковки хроматина в клеточном ядре, учитывающие механизм активного выпетливания», 2020-2022

Вергелес Сергей: РФФ 20-12-00383 «Структура трёхмерных когерентных вихрей в турбулентном потоке», 2020-2022

Вергелес Сергей: БАЗИС № 19-1-2-46-1 «Junior Leader» «Гидродинамическая теория когерентных вихрей в трех измерениях»

Парфеньев: 2017-2020, Basis Foundation, Junior PostDoc, “Vortex flows and their interaction with turbulent fluctuations in hydrodynamic problems”

Пикина: Основной исполнитель гранта РФФ 18-12-00108 (2018 – 2020 гг., Проект успешно завершен и грант продлен на 2021-2022 гг.) «Наноразмерные пленки жидких кристаллов: структура, динамика и фазовые переходы.», финансирование проекта осуществляется через Институт физики твердого тела Российской академии наук (ИФТТ РАН), руководитель проекта: Долганов П.В.

Выступления на конференциях

Белан 2017, 118-я конференция по статистической механике, Нью-Брунсвик, Нью Джерси, США, доклад "Эксперимент Бернулли с перезапуском"

Белан Дни Ландау 2020, Универсальные результаты в теории процессов первого прохождения с перезапуском,

Белан 2016, 8th European Postgraduate Fluid Dynamics Conference, oral presentation, Localization-delocalization transition for inertial particles in wall-bounded random flow,

Leon Ogorodnikov, Igor Kolokolov, Vladimir Lebedev, Evolution of the magnetic field in quasi-two-dimensional chaotic flow,

Geophysical Research Abstracts, Vol. 20, EGU2018-14196 (2018).

С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, Флуктуации интенсивности в слабонелинейном случайном сигнале в оптоволокне с накачкой, 8 Российский семинар по волоконным лазерам, Новосибирск, 3-7 сентября 2018. Тезисы докладов, с. 70-71 (2018).

С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, В.В. Лебедев, И.В. Колоколов, Статистика интенсивности в случайном волоконном лазере, VII Международная конференция по фотонике и информационной оптике, Москва, 24-26 января 2018. Сб. научных трудов, с. 184-185 (2018).

С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, Статистика интенсивности в случайном волоконном лазере, 8 Российский семинар по волоконным лазерам, Новосибирск, 3-7 сентября 2018. Тезисы докладов, с. 97 (2018).

L.L. Ogorodnikov, S.S. Vergeles, V.V. Lebedev, Intensity Statistics of the Emission of Raman Random Fiber Laser, Optics, Photonics and Lasers: Proc. 1st International Conference on on Optics, Photonics and Lasers (OPAL' 2018), 9-11 May 2018, Barcelona, Spain, p. 257-260 (2018),

V.I. Shoev, E.A. Efremova, A.A. Zinchik, I.R. Krylov, U. Prokhorova, E.V. Shalymov, S.S. Vergeles, V.Yu. Venediktov, Form of the resonant reflection (transmission) line of optically thin dielectric gratings with different filling coefficients,

Proc. SPIE 11556, Nanophotonics and Micro/Nano Optics VI, 115560T (10 October 2020).

International conference "Landau Days 2020", 22 - 25 июня 2020 г. Structure of coherent vortex in rotating turbulent fluid С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, И.В. Колоколов

С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, И.В. Колоколов, XXVIII научная сессия Совета по нелинейной динамике 16-17 декабря 2019 г. Механизм поддержания столбовых когерентных вихрей мелкомасштабными флуктуациями в трёхмерной вращающейся жидкости

Вергелес С.С., Огородников Л.Л. "Статистика интенсивности случайного сигнала при распространении в

оптоволокне в слабонелинейном режиме" XXVI Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике. ИКИ им. П.П. Ширшова РАН, 17 декабря 2017.

S.S. Vergeles. Large vortices generation by surface waves excited on a free surface. Пленарный доклад VIII-th International Conference "SOLITONS, COLLAPSES AND TURBULENCE: Achievements, Developments and Perspectives" (SCT-17) in honor of Evgenii Kuznetsov's 70th birthday May 21 - May 25, 2017.

S.S. Vergeles. Intensity statistics in long Raman fiber laser with feedback based on random Rayleigh scatterers, Landau Days 2017 June, 26-29 Chernogolovka, Russia

С.С. Вергелес и А.К. Сарычев. Девятый научно-практический семинар «Актуальные проблемы физики конденсированных сред» и выездная сессия Научного Совета РАН по физике конденсированных сред, 10-14 октября 2016. Число участников около 50. Приглашённый доклад "Концентрация световой волны в малой области субволнового размера с помощью диэлектрического волновода со специальным наконечником

Л.Л. Огородников, С.С. Вергелес, В.В. Лебедев. Всероссийский семинар по оптоволоконным лазерам 5-9 сентября 2016. Число участников – около 100. Приглашённый доклад "Статистика излучения сверхдлинного волоконного лазера с обратной связью на случайных рассеивателях

Вергелес С.С., Парфеньев В.М., Лебедев В.В., Филатов С.В., Бражников М.Ю., Левченко А.А. XXIV Научная сессия Совета РАН по нелинейной динамике, 21 декабря 2015. Число участников - около 40. Доклад "Генерация поверхностных вихрей волнами на поверхности жидкости"

Парфеньев 22-25 June, 2020, Chernogolovka, Russia: International Conference "Landau Days 2020". Report: "Large-scale vertical vorticity generated by interacting surface waves".

Парфеньев 17-20 October, 2019, Chernogolovka, Russia: International conference dedicated to the 100th anniversary of I. M. Khalatnikov "Quantum Fluids, Quantum Field

Theory, and Gravity”. Poster: “Nonlinear generation of eddy currents by crossed surface waves”.

Парфеньев 26-29 June, 2017, Chernogolovka, Russia: International Conference “Landau Days 2017”. Report: “Generation of eddy currents by interacting surface waves”.

Парфеньев 06-09 July, 2016, Warsaw, Poland: “8th European Postgraduate Fluid Dynamics Conference”. Poster: “Nonlinear generation of vorticity by surface waves”.

Парфеньев 20-22 June, 2016, Chernogolovka, Russia: International Conference “Landau Days 2016”. Report: “Generation of vorticity in thin freely-suspended smectic films”.

Elena S. Pikina, Boris I. Ostrovskii Постерные доклады «On the thickness instabilities of free-standing smectic films.» (О толщинных неустойчивостях свободно-подвешенных смектических пленок.) Elena S.

Pikina, Boris I. Ostrovskii and “Creation and growth of the nematic drops in overheated smectic films.” (Образование и рост нематических капель в перегретых смектических пленках) на 4-й международной конференции по мягкой материи (Soft Matter Conference ISMC2016), Гренобль, Франция с 12-го по сентября 16-го 2016 г.

Elena S. Pikina Устный доклад “The role of dislocations in nucleation and growth of self-inclusions in overheated

smectic films” на 14th European Conference on Liquid Crystals (ECLC 2017) in Moscow, Russia.

Elena S. Pikina, Boris I. Ostrovskii Постерный доклад “Interaction of inclusions in overheated free-standing smectic films” () на 10th Liquid Matter Conference July 16-21, 2017, Ljubljana, Slovenia.

Elena S. Pikina, Boris I. Ostrovskii Постерный доклад: “Different scenarios of the thickness instabilities in free-standing smectic Films.” на 26-я международной конференции по жидким кристаллам (ILCC 2016) Кент, США (26th International Liquid Crystal Conference, Kent State University, USA), July 31 - August 5, 2016.

Elena S. Pikina Устный доклад «The coalescence of isotropic inclusions in free-standing smectic films: reality or accident», (Коалесценция изотропных включений в свободно-подвешенных смектических пленках: реальность или случайность) на 27 Международной конференции по жидким кристаллам –ILCC 2018, которая проводилась 22-27 июля 2018 в Международном Конференционном Центре, г. Киото, Япония (<http://ilcc2018.org>). Соавторы доклада: B.I. Ostrovskii and S.A. Pikin.

Elena Pikina Постерный доклад «An effect of surface ordering on the smectic A to hexatic B phase transition in free standing smectic films», на 5-й Международной конференции по мягкой материи, 3-7 июня 2019 г. Эдинбург, Великобритания (<https://www.ismc2019.ed.ac.uk/>

, The 5th International Soft Matter Conference (ISMC2019) Edinburgh, United Kingdom from 3-7 June 2019). . С.С. Вергелес, Л.Л. Огородников, В.В. Лебедев, И.В. Колоколов, Статистика интенсивности в случайном волоконном лазере, VII Международная конференция по фотонике и информационной оптике, Москва, 24-26 января 2018. Сб. научных трудов, с. 184-185 (2018).

S.A. Derevyanko, A. Redyuk, S. Vergeles, S. Turitsyn, Identifying Extreme PAPR in Coherent Optical Communications, Proc. 2018 European Conference on Optical Communication, ECOC 2018; Rome; Italy; 23-27 September 2018, Art.No. 8535373 (2018),

A.K. Sarychev, S. Vergeles, G. Tartakovsky, Light concentration in subwavelength volume by dielectric transducer and local

sensing of plasmonic systems, Proc. SPIE 10343, (Metamaterials, Metadevices, and Metasystems 2017), 103430E (2017).

Кац в 2016-ом году участвовал в Международной Конференции по Жидким Кристаллам (26th International Liquid Crystal Conference, Kent State University, USA, <http://www.lcinet.kent.edu/conference/23/index.php>) с приглашенным докладом (Non-linear fluctuation effects in dynamics of freely suspended film).

Кац Европейская Конференция по Жидким Кристаллам (14 European Liquid Crystal Conference, <http://eclc2017.msu.ru/>) Москва, 25-30 Июня, 2017 с приглашенным докладом (Non-traditional phase transitions in liquid crystals). Приблизительно 400 участников

Кац Международная Конференция по Электронным Кристаллам (Корсика, 21 Августа - 2 Сентября, 2017). Приглашенный доклад Приложения Теории Слабой Кристаллизации. Приблизительно 100 участников.

Кац в 2018-ом году участвовал в работе международной конференции и после нее в рабочем совещании по Применению топологических методов в физике ферроэлектриков (Бразилия, Наталь, 3-18 июня 2018-ого года, <http://www.topo2018.ferroix.net/>). Приглашенный доклад (Топология дефектов в жидких кристаллах) и приглашенная лекция (Топологические методы в физике мембран).

Кац в 2019-ом году участвовал в работе конференции в Черноголовке (Халатников-100). Устный доклад (Неисчерпаемость коллоидных систем).

Лебедев, приглашенный доклад Elastic Turbulence, Princeton, April 9- April 11, 2018.

Лебедев, приглашенный доклад Fluid flows, from Graphene to planet atmospheres December 17, 2018 – January 3, 2019, Weizmann Institute of Science, Israel

Коллолов, приглашенный доклад Fluid flows, from Graphene to planet atmospheres December 17, 2018 – January 3, 2019, Weizmann Institute of Science, Israel

Костенко: Международная конференция CHAOS 2019, устный доклад “Effects of a randomly moving medium on a random kinetic growth: renormalization group analysis near $d=2$ ” 18 июня – 21 июня, 2019, Ханья, Крит, Греция <http://cmsim.org/chaos2019.html>

Костенко: Международная конференция “Models in Quantum Field Theory”, устный доклад “Turbulent advection of active scalar field near two dimensions” 27 августа – 31 августа, 2018, Петергоф, Россия, <https://indico-hlit.jinr.ru/event/114>

Костенко: Международная конференция CHAOS 2018, устный доклад “Turbulent advection of passive vector field” 5 июня – 8 июня, 2018, Рим, Италия, <http://cmsim.org/chaos2018.htm>

Костенко: Международная конференция CHAOS 2017, устный доклад “Turbulent advection of active scalar field near two dimensions” 30 мая – 2 июня, 2017, Барселона, Испания, <http://cmsim.org/chaos2017.html>

Костенко: 50-я зимняя школа ПИЯФ, устный доклад “Anomalous scaling in magnetohydrodynamics” 27 февраля – 4 марта, 2016, Рощино, Россия, <http://hepd.pnpi.spb.ru/WinterS>

Преподавание

И.В.Колоколов, В.В.Лебедев, Годовой курс «уравнения математической физики» для студентов третьего года обучения Физтех-школы физики и исследований им. Ландау МФТИ.

В.В.Лебедев, Годовой курс «уравнения математической физики / дополнительные главы математической физики» для студентов второго-третьего годов обучения факультета физики ВШЭ. Семинары ведут Е.Пикина, С.Белан, Н.Ивченко.

В.В.Лебедев, Семестровый курс «фазовые переходы» для магистрантов совместной программы МФТИ-СколТех.

Е.И.Кац, В.В.Лебедев, Физика мягкой материи, семестровый курс для студентов второго года обучения в бакалавриате МФТИ.

И.В.Колоколов, Магнетизм, семестровый курс для студентов кафедры ПТФ МФТИ

И.В.Колоколов, Введение в кинетику, семестровый курс для магистрантов ФФ ВШЭ

И.В.Колоколов, Статистическая гидродинамика, семестровый курс для магистрантов ФФ ВШЭ

С.С.Вергелес, И.В.Колоколов, Гидродинамика, семестровый курс для студентов кафедры ПТФ МФТИ

И.В.Колоколов, В.В.Лебедев, участие в семестровом курсе Приближенные Методы для студентов первого года обучения Физтех-школы физики и исследований им. Ландау МФТИ.

С.С.Вергелес, курс Теория поля для студентов второго года обучения в бакалавриате ФФ ВШЭ

С.С.Вергелес, курс Теория гравитации для студентов третьего года обучения базовой кафедры ПТФ МФТИ

С.С.Вергелес, курс Функциональное интегрирование в теории хаотических классических систем для студентов третьего года обучения базовой кафедры ТФ ВШЭ

С.С.Вергелес, курс для магистрантов Сколково “Физика лазеров”.

М.Чертков, С. Белан, В. Парфеньев, курс для магистрантов Сколково Stochastic Modeling and Computation.