

# Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 3. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№ 4 • 2015 • ИЮЛЬ–АВГУСТ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

## СОДЕРЖАНИЕ

### Теоретическая и математическая физика

- Юшков В.П. Гамильтонов формализм и квантово-механическая аналогия в вероятностном описании турбулентности ..... 3
- Жохов Р.Н., Жуковский В.Ч., Колмаков П.Б. Эффект Зеемана в модифицированной модели Гросса–Невё в (2+1)-мерном пространстве-времени с компактификацией ..... 12
- Жуковский К.В. Излучение гармоник в двухчастотном ондуляторе с учетом их уширения ..... 18
- Буданов В.М. Аналитическое решение для профиля нелинейных гравитационных волн на поверхности идеальной жидкости ..... 26
- Петрова Т.А., Шугаев Ф.В. Частота акустического излучения цилиндрического вихря .... 31

### Радиофизика, электроника, акустика

- Алексеев А.И., Ваулин Д.Н., Черников В.А. Влияние магнитного поля на продольно-поперечный разряд в высокоскоростных потоках воздушно-углеводородной смеси ..... 36

### Оптика и спектроскопия. Лазерная физика

- Ерёмин Ю.А., Свешников А.Г. Оптическая теорема для локальных источников в теории дифракции ..... 43
- Белинский А.В., Тарасова Т.М. К теории параметрической генерации света ..... 47

### Физика конденсированного состояния вещества

- Жуковский В.Ч., Кревчик В.Д., Семенов М.Б., Филатов Д.О., Зайцев Р.В., Кревчик П.В., Егоров И.А., Васильев В.А. Особенности туннельных вольт-амперных характеристик в системе совмещенного атомно-силового/сканирующего туннельного микроскопа с квантовыми точками из коллоидного золота ..... 54
- Хенкин М.В., Амасев Д.В., Воронцов А.С., Форш П.А., Казанский А.Г., Кашкаров П.К. Влияние атмосферы воздуха на электрические свойства двухфазных пленок гидрогенизированного кремния ..... 60

## Астрономия, астрофизика и космология

<i>Бруевич Е.А., Якунина Г.В.</i> Циклическая активность Солнца по наблюдениям индексов активности на разных временных шкалах .....	66
<i>Калегаев В.В., Назарков И.С.</i> Формирование переходной токовой системы вблизи переднего края тока хвоста магнитосферы .....	75

## Физика Земли, атмосферы и гидросферы

<i>Баркин Ю.В.</i> О контрастных вековых изменениях средних уровней океана в северном и южном полушариях .....	83
<i>Киселёва Е.А., Михайлов В.О., Смольянинова Е.И., Тимошкина Е.П., Дмитриев П.Н.</i> Комплексирование методов анализа амплитуды и фазы спутниковых радарных снимков для оценки смещений оползневых склонов .....	87
<i>Куницын В.Е., Назаренко М.О., Нестеров И.А., Падохин А.М.</i> Влияние солнечных вспышек на ионизацию верхней атмосферы. Анализ ряда значительных событий 23-го и 24-го солнечных циклов .....	95
<i>Блохина Н.С.</i> Влияние ветра на развитие термобара и течений в водоемах различной глубины в период таяния ледового покрова .....	102
<i>Носов М.А., Григорьева С.С.</i> Предвычисление цунами по данным сети глубоководных станций .....	109

## ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

**Гамильтонов формализм и квантово-механическая аналогия  
в вероятностном описании турбулентности**

В. П. Юшков

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет,  
кафедра физики атмосферы. Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.  
E-mail: yushkov@phys.msu.ru

Статья поступила 04.04.2015, подписана в печать 23.04.2015.

Показано, что взаимодействие адиабатических волн и несжимаемой турбулентности позволяет статистически описать перенос энергии турбулентных пульсаций по спектру. Также показано, что фундаментальным параметром, позволяющим параметризовать влияние адиабатических движений на несжимаемую турбулентность, является параметр диссипации энтропии в уравнении, которое в настоящей работе названо уравнением Обухова, и что «обобщенные координаты» или «канонические переменные» уравнения Захарова следует интерпретировать как волновые функции.

*Ключевые слова:* турбулентность, адиабатические флуктуации, энергия, спектр, плотность вероятности.

УДК: 551.511.61. PACS: 47.27.Ak.

**Введение**

В настоящее время в теории турбулентности сложилась ситуация, напоминающая кризис классической физики начала прошлого века: после более чем 100 лет поиска способов описания турбулентного перемешивания теоретики не очень представляют, куда двигаться дальше, а множество детальных экспериментальных работ не могут найти свое выражение в замкнутой математической теории. Основным инструментом *практических* исследований остаются «эмпирические функции», зависящие от управляющих параметров, для прогноза которых нет уравнений достаточной степени строгости. Затянувшееся состояние неопределенности указывает на то, что необходим лишь малый шаг, чтобы объединить хорошо известные эмпирические факты и обширный теоретический анализ, проделанный за прошедшие десятилетия. Следует лишь отказаться от постулата, который был сделан на начальном этапе исследований и в настоящее время является ключевым препятствием для дальнейшего развития теории. Это препятствие может иметь форму вполне разумного предположения и одновременно содержать невозможность дальнейшего теоретического анализа в рамках используемого приближения.

Настоящая работа опирается на следующие утверждения:

1) таким препятствием является приближение несжимаемости. Однако традиционная его замена для сжимаемых движений приближением адиабатичности не снимает ограничений гидродинамического описания турбулентного перемешивания;

2) усреднение по Рейнольдсу и параметризация мелкомасштабного перемешивания, попытки выразить старшие моменты через младшие (проблема замыкания) не позволяют перейти от динамического описания к статистическому, поскольку исключают

из рассмотрения *изменение* распределения вероятности;

3) уравнение, предложенное Обуховым для описания флуктуаций скалярных полей еще в 1949 г., является ключевым при переходе от гидродинамической теории турбулентности к вероятностной. Скалярной характеристикой турбулентного перемешивания, которая удовлетворяет уравнению Обухова и описывает выравнивание плотности вероятности на масштабах однородности и стационарности, является энтропия;

4) решение этого однородного линейного, но зависящего от турбулентного поля скоростей дифференциального уравнения с внешним стохастическим источником следует искать в «слабом» смысле;

5) мелкомасштабные флуктуации энтропии лагранжевых воздушных частиц или их плотности вероятности могут быть разложены по Колмогоровской системе ортогональных функций. Принцип локальной однородности и изотропности мелкомасштабных турбулентных флуктуаций, введенный Колмогоровым, отражает разделение масштабов на две шкалы: внутреннюю и внешнюю;

6) при больших числах Рейнольдса малость *адиабатических* флуктуаций позволяет ограничиться для этих флуктуаций нормальным или двухмоментным приближением. В этом приближении спектр ортогональных волновых функций турбулентного перемешивания определяется собственными функциями линейного интегрального уравнения, ядром которого является корреляционная функция флуктуаций энтропии;

7) инвариантность корреляционной функции флуктуаций энтропии или потенциальной плотности на локальных масштабах к сдвигу в пространстве и времени может быть выражена через обратное преобразование Вигнера, а постоянная представления Вигнера, совпадающая с постоянной