

**Аномальные режимы переноса в сильно неоднородных средах  
Матвеев Л.В.**

№	Тема	Содержание
1	Введение. Перенос примеси в однородной среде.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Среднее смещение и дисперсия.</li> <li>2. Функция плотности вероятности.</li> <li>3. Комбинаторное рассмотрение.</li> <li>4. Уравнение переноса и его решение.</li> <li>5. Распределение концентрации частиц в основном облаке и на асимптотически далеких расстояниях.</li> <li>6. Режим классической адвекции-диффузии.</li> <li>7. Простейшие примеры аномальных режимов переноса</li> </ol>
2	Простейшие сильно неоднородные среды	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простая модель Дыхне для одной трещины. Качественный анализ и точное решение.</li> <li>2. «Быстрая» и «медленная» подсистемы. Медленная среда как ловушка.</li> <li>3. Плоская и цилиндрическая геометрии.</li> <li>4. Режим субдиффузии.</li> <li>5. Изменение режимов переноса со временем</li> <li>6. Системы трещин</li> </ol>
3	Перенос в регулярно-неоднородных средах, обусловленный адвекцией	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обобщенная модель Дыхне. Режим квазидиффузии.</li> <li>2. Слоистые среды. Случайное и регулярное распределение скоростей.</li> <li>3. Корреляционная функция скорости.</li> <li>4. Супердиффузия в модели слоистой среды</li> </ol>
4	Сильно контрастные среды с фрактальными свойствами	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Свойство самоподобия. Определение фрактала.</li> <li>2. Фрактальная размерность (емкость). Область фрактальности.</li> <li>3. Простейшие примеры регулярных фракталов. Случайные фракталы.</li> <li>4. Пересечение фрактальных множеств.</li> <li>5. Фрактальные свойства систем трещин в геологических средах и корреляционная функция поля скоростей инфильтрации в них.</li> </ol>
5	Основы теории перколяции	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Простейшие задачи связей и узлов.</li> <li>2. Перколяционные кластеры.</li> <li>3. Порог протекания. Бесконечный кластер.</li> <li>4. Остов и мертвые концы перколяционных кластеров. Корреляционная длина.</li> <li>5. Фрактальная размерность и критические индексы. Универсальность критических индексов для перколяционных моделей.</li> <li>6. Континуальные модели перколяции.</li> </ol>
6	Режимы переноса, обусловленные случайной адвекцией в перколяционных средах	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Критический индекс степенного убывания корреляционной функции скорости <math>h</math>.</li> <li>2. Режимы переноса в зависимости от значения <math>h</math>. Качественная интерпретация.</li> <li>3. Характеристики переноса при конечном радиусе корреляции среды.</li> <li>4. Влияние ловушек на режим переноса.</li> </ol>
7	Перенос в двупористых средах	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классическая модель двупористой среды. Эффективные константы переноса на «больших»</li> </ol>

		<p>временах. Трудности классической двупористой модели.</p> <p>2. Неравновесная модель двупористой среды.</p> <p>3. Функция памяти. Асимптотические выражения для функции памяти при больших и малых значениях переменной Лапласа. Режимы переноса.</p>
8	Перенос в средах с сорбцией	<p>1. Среда с сорбцией. Типы изотерм сорбции.</p> <p>2. Эффективные константы переноса в среде с сорбцией на «больших» временах.</p> <p>3. Режимы переноса в двупористых средах с коллоидами.</p> <p>4. Задача о дрейфе примеси внутри плоской трещины, окруженной пористой матрицей, при наличии коллоидов.</p>
9	Элементы теории скейлинга	<p>1. Определение скейлинга и автомодельных явлений.</p> <p>2. Метод размерностей и задача Тейлора о ядерном взрыве. Промежуточные асимптотики.</p> <p>3. Системы единиц измерений. Классы единиц измерений. Функция размерности.</p> <p>4. Физические величины с независимыми и зависимыми размерностями. П-теорема.</p> <p>5. Физически подобные явления.</p> <p>6. Автомодельные явления. Перенос примеси при расплывании бугра грунтовых вод.</p>

### Вопросы по курсу

1. Простая модель Дыхне (диффузия в одной трещине).
2. Режимы переноса для трещины в виде плоского слоя и прямого цилиндра для простой модели Дыхне. Качественное рассмотрение.
3. Обобщенная модель Дыхне (адвекция в трещине).
4. Режимы переноса для трещины в виде плоского слоя и прямого цилиндра для обобщенной модели Дыхне..
5. Простая модель Дыхне для ряда из  $M$  трещин.
6. Двумерная слоистая среда с адвекцией. Режимы переноса для случайного распределения по слоям направлений скорости.
7. Фракталы и фрактальная размерность. Примеры, пересечения фракталов.
8. Основы теории перколяции. Порог протекания.
9. Структура и свойства перколяционных кластеров.
10. Критические индексы. Корреляционный радиус.
11. Перенос в среде со случайным полем скоростей адвекции. Зависимость и характер режима переноса от скорости убывания корреляционной функции скорости.
12. Режимы переноса и их характеристики при конечном радиусе корреляции среды.
13. Классическая модель двупористой среды.
14. Неравновесная модель двупористой среды.
15. Функция памяти для неравновесной модели двупористой среды. Асимптотические выражения при больших и малых значениях переменной Лапласа.
16. Режимы переноса примеси в статистически однородных трещиновато-пористых средах при соотношении характерных времен.  $t_u \ll t_a \ll t_b$ .
17. Среда с сорбцией. Типы изотерм сорбции. Эффективные константы переноса в среде с сорбцией на «больших» временах.
18. Коллоидно-усиленный перенос в двупористой среде. Система уравнений. Связь константы равновесия и времени релаксации с концентрацией и характерными размерами коллоидных частиц.
19. Режимы переноса, определяемые адвекцией примеси с постоянной скоростью внутри плоской трещины, окруженной пористой матрицей, при наличии коллоидов.

20. Элементы теории скейлинга. Определение скейлинга и автомодельного явления.
21. Метод размерностей и задача Тейлора о ядерном взрыве. Промежуточные асимптотики в теории скейлинга.
22. Системы единиц измерений. Классы единиц измерений. Функция размерности. Физические величины с независимыми и зависимыми размерностями. П-теорема.
23. Физически подобные явления. Правила моделирования стационарного движения тела в жидкости, заполняющей очень большой объем, при скорости тела много меньшей скорости звука.
24. Автомодельные явления. Задача о расплывании бугра грунтовых вод.

## **Литература**

1. Физические модели аномального переноса примеси в сильно неоднородных средах. Труды ИБРАЭ под общ. ред. чл.-кор. РАН Л.А. Большова; Вып. 7. ИБРАЭ РАН. – М.: Наука, 2007.
2. С. В. Божокин, Д.А. Паршин, Фракталы и мультифракталы, - Ижевск: «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
3. Г. И. Баренблатт, Автомодельные явления – анализ размерностей и скейлинг, Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2009.
4. Б. Т. Кочкин, Геологический подход к выбору районов захоронения радиоактивных отходов, Москва: Наука, 2005.