

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Методичні вказівки
для самостійної роботи студентів з дисципліни

**“СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”**

Одеса – 2013

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни
“СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА ” / Худинцев М.М. – Одеса, ОДЕКУ, 2013. – 35 с.

Методичні вказівки призначенні для студентів V курсу денної форми
навчання за спеціальністю «Радіоекологія», рівень підготовки: «магістр»

ЗМІСТ

Передмова.....	4
1 Місце і значення навчальної дисципліни	5
2 Структура навчальної дисципліни	6
3 Програма модулів курсу	8
3.1 Програма лекційних модулів	8
3.2 Програма практичного модуля.....	10
3.3 Програма модуля наукової роботи	13
4 Повчання до послідовного вивчення теоретичного матеріалу	14
5 Організація поточного та підсумкового контролю знань	32

ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки для самостійної роботи студентів спрямовані на полегшення засвоєння студентами матеріалів курсу ” СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА” протягом 1 семестру, на який відводиться 60 год. лекційних, 45 год. практичних занять, а також 135 год. самостійної роботи студентів. Вибрані питання повністю формують уявлення про предмет та головні напрямки розвитку цієї дисципліни.

На думку укладача такий підхід до викладання курсу є найбільш спрямованим на ефективне засвоєння матеріалу та формування навиків їх практичного застосування. Список додаткової літератури досить повний.

Зазначені матеріали налічують вибраний (невичерпний) перелік питань, за допомогою яких формується базове уявлення про теоретичні відомості, які є необхідними для засвоєння знань та умінь, що передбачені робочою програмою курсу ” СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ”, оскільки засвоєння саме цих відомостей є найбільш складною задачею для студентів під час навчання у рамках відповідної дисципліни.

Матеріали, які пов'язані з використанням саме програмних продуктів для чисельного моделювання фізичних процесів студенти можуть отримати з посилання [3] переліку додаткової літератури (Худинцев М.М. Моделювання фізико-хімічних процесів у радіоекології: Конспект лекцій. – Одеса: Вид-во «ТЕС», 2009, 90 с.).

Посилання на матеріали, які відносяться до питань курсу, що не знайшли змістовного відображення у методичних вказівках, повністю містяться у Таблиці розділу 4 методичних вказівок ПОВЧАННЯ ДО ПОСЛІДОВНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ.

Додаткове методичне доведення цих матеріалів буде зроблене у другій частині методичних вказівок.

1 МІСЦЕ І ЗНАЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Навчальна дисципліна “ СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА” належить до професійно - орієнтованого циклу підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за спеціальністю «Радіоекологія» шифр 8.04010601, але в той же час її зміст має безпосереднє відношення до фундаментального циклу підготовки.

Теоретичною основою курсу є курси загальної фізики, спеціальні курси теоретичної фізики, зокрема, нелінійної фізики, а також вищої математики, знання з загальної теорії диференціальних рівнянь, основ хімії, а також відповідні спеціальні курси.

Метою курсу є оволодіння теоретичними уявленнями та практичними методами моделювання систем навколишнього середовища, насамперед, фізичних, що використовується для методологічних та наукових досліджень щодо навколишнього середовища, навчити студентів використовувати існуючі та будувати власні оригінальні моделі тих або інших фізичних або хімічних систем та процесів з використанням наведених в курсі математичних, теоретико-фізичних та розрахункових методів.

Незважаючи на різноманітність проблем сучасного природознавства, велика кількість з них і досі розробляється за допомогою декількох універсальних математичних моделей, виниклих при вивченні процесів тепло- і масопереносу, поширенні акустичних та електромагнітних хвиль і т. і. Послідовно здійснюється вивчення цих моделей, за допомогою методів диференціальних рівнянь, та на їх основі – навчання студентів початковому мінімуму класичних засобів і прийомів математичної фізики, у застосуванні до виділених проблем довкілля. Поряд з тим, програмою передбачається ознайомлення студентів з сучасними методами досліджень задач фізики довкілля.

Таким чином, вивчення курсу «Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища» виступає необхідним компонентом формування базису знань та вмінь магістра у відповідності до вимог освітньо-професійної характеристики. Отриманні знання та вміння знадобляться студентам при вивченні інших курсів і, насамперед, під час підготовки та захисту дипломних робіт, і є необхідною базою для наступної професійної діяльності спеціалістів з радіоекології.

Робочою програмою передбачені 60 год. лекцій, 45 год. практичних занять та 135 год. самостійної роботи студентів.

Теоретичною основою курсу є курс вищої математики (з зосередженням на методах математичної фізики), знання з загальної теорії

диференційних рівнянь, основ теоретичної фізики, отриманих у вищому навчальному закладі при підготовці рівня „бакалавр”.

В результаті вивчення курсу студенти повинні **знати:** основні математичні моделі найпоширеніших явищ у доквіллі та засоби їх вирішення.

уміти: правильно визначити та адаптовано використовувати крайові умови щодо конкретних задач, які виникають при вирішенні проблем фізики доквілля; вірно і стисло виражати фізичну думку під час розглядання конкретних проблем (задач); аналізувати отримані результати.

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи організації навчання. Підсумковим контролем є іспит.

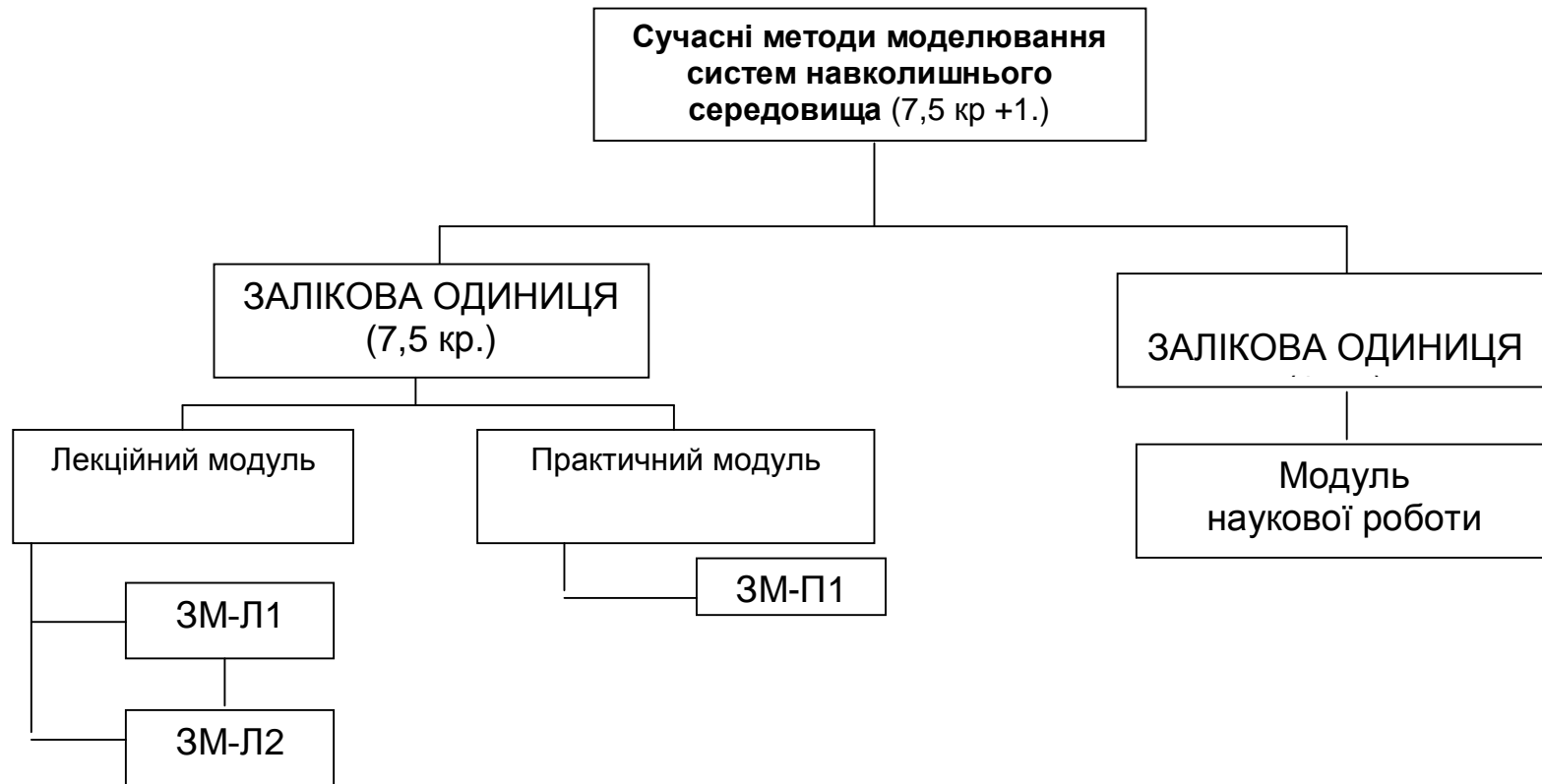
2 СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Курс з дисципліни «Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища» містить в собі:

- два змістовних лекційних (теоретичних) модуля;
- один змістовний практичний модуль;
- один модуль наукової роботи.

Загальна структура дисципліни в умовах кредитно-модульної системи показана на рис 1.

ЗАГАЛЬНА СТРУКТУРА ДИСЦИПЛІНИ
"Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища"



7

Рис.1 Структурна схема дисципліни "Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища".

2 ПРОГРАМА МОДУЛІВ КУРСУ

Програма лекційних модулів

Змістовні модулі	Розділи програми (назва)	Теми	Кіл-ть аудиторних годин	Кіл-сть годин СРС	Форми завдань на СРС	Форми поточного контролю СРС
ЗМ-Л1	1.1 Адвекція	1. Задачі адвекції	6	10	Підготовка до лекційних занять Підготовка до КР1 Самостійне вивчення розділів	КР – 1
		2. Основні етапи виведення рівняння атмосферної дифузії	6	10		
	1.2 Рівняння дифузії	1 Якісний опис поведінки рішення.	6	10		
		2. Розв'язання рівняння дифузії в найпростіших випадках	6	10		
ЗМ-Л2	1.1 Кінцевовимірні системи	1. Керування та спостереження кінцевовимірних лінійних однорідних диференціальних систем	6	10	Підготовка до лекційних занять Підготовка до КР2 Самостійне вивчення розділів	КР – 2
		2. Спостереження стаціонарної кінцевовимірної системи.	6	10		
		3. Повна спостережуваність нестационарної кінцевовимірної системи	6	10		
	1.2 Спостереження в кінцевовимірних системах	1. Спостережуваність в присутності перешкод	6	4		
		2. Керуваність в кінцевовимірному випадку	6	10		
		3. Спостереження стаціонарної кінцевовимірної системи.	6	6		
Разом:			60	90		

Після вивчення **ЗМ- Л1**, студенти повинні оволодіти наступними знаннями:

- основні етапи виведення рівняння атмосферної дифузії
- якісний опис поведінки рішення
- розв'язання рівняння дифузії в найпростіших випадках

Після вивчення **ЗМ- Л2**, студенти повинні оволодіти наступними знаннями:

- Керування та спостереження кінцевовимірних лінійних однорідних диференціальних систем, алгебра та топологія розподілів.
- Спостереження стаціонарної кінцевовимірної системи.

Наявне навчально-методичне забезпечення змістовних модулів

ЗМ-Л1, ЗМ-Л2, 9

Основна література

1. Герасимов О.І., Елементи екологічної фізики, 114 с.
2. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1981. - 512 с.
3. Колмогоров А. Н., Фомін С. В. Елементи теорії фізики та функціональний аналіз. – М., Наука, 1968. - 525 с.

Додаткова література

1. Денисов А. М., Введення в теорію обратних задач. – М, видавництво Москва. Ун-ту, 1994. - 207 с.
2. Куржанський А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. – М., Наука, 1997. - 392 с.
3. Ладыженська О. А., Солонников В.А., Уральцеви Н.Н. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. – М., Наука, 1967. - 736 с.
4. Латтес Р., Лионс Ж-Л. Метод квазиобращения и его приложений. – М., Мир, 1970. – 336 с.

Програма практичного модуля

Змістовні модулі	Форма занять	Теми робіт (занять)	Кіл-ть аудиторних годин	Кіл-ть годин СРС	Форми завдань на СРС	Форми поточного контролю СРС
ЗМ-П1	Практичні роботи	1.Інтеграція метода Тихонова.	9	9	Підготовка до практичних занять і усного опитування	Усне опитування
		2.Постановка задачі регуляризації	9	9		
		3.Узагальнений регуляризатор та його зв'язок з основними типами регуляризаторів.	9	9		
		4. Побудова динамічних оцінок стану системи.	10	10		
		5.Дослідження випадків наявності декількох видів домішок.	8	8		
		Разом:	45	45		

10 Після вивчення **ЗМ-П1**, студенти повинні оволодіти наступними вміннями:

- інтегрувати методом Тихонова;
- будувати динамічні оцінки стану системи;
- досліджувати випадки наявності декількох видів домішок.

Наявне навчально-методичне забезпечення змістовного модуля ЗП-П1:

Основна література

1. Герасимов О.І., Елементи екологічної фізики, - 114 с.
2. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1981р. - 512 с.

Додаткова література

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М., Наука, 1982. - 608 с.
2. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1972. - 799 с.

ОРГАНІЗАЦІЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Змістовний модуль	Розділи (роботи)	Завдання	Кільк. годин СРС	Контролюючі заходи	Термін проведення (№ тижня)
1	2	3	4	5	6
ЗМ-Л1	Задачі адвекції. Основні етапи вивода рівняння атмосферної дифузії. Постановка задачі спостереження для рівняння атмосферної дифузії. Рішення рівняння дифузії в найпростіших випадках. Якісний опис поведінки рішення	1. Підготовка до лекційних занять 2. Підготовка до контрольної роботи (КР1) 3. Самостійне вивчення розділів.	20 5 20	Контрольна робота (КР1)	1-6 6
		Разом	45 год.		
ЗМ-П1	Ідентифікація параметрів задачі. Задача ідентифікації джерел забруднення. Задача ідентифікації коефіцієнта атмосферної дифузії. Постановка задачі регуляризації. Основні визначення. Метод регуляризації Тихонова. Інтеграція метода Тихонова. Побудова динамічних оцінок стану системи.	1. Підготовка до практичних занять. 2. Усне опитування.	40 5	УО під час заняття.	1- 15 15
		Разом	45 год.		

	Прикладні задачі захисту навколишнього середовища. Дослідження випадків наявності декількох видів домішок.				
ЗМ-Л2	Керування та спостереження кінцевовимірних лінійних однорідних диференціальних систем. Спостереження стаціонарної кінцевовимірної системи. Повна спостережуваність нестационарної кінцевовимірної системи. Спостережуваність в присутності перешкод. Керуваність в кінцевовимірному випадку. Керуваність та спостережуваність безкінцевовимірних систем. Спостережуваність систем з розподіленими параметрами. Різноманітні види сенсорів	1. Підготовка до лекційних занять 2. Підготовка до контрольної роботи (КР2) 3. Самостійне вивчення розділів.	20 5 20	Контрольна робота (КР2)	6-12 12
		Разом	45год.		
		Усього	135		

ПРОГРАМА МОДУЛЯ НАУКОВОЇ РОБОТИ

Для дисципліни «Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища» пропонуються наступні види науково-дослідної роботи студентів, що оцінюються за двома рівнями:

1 рівень НДР:

Е3 – університетські наукові конференції (Щорічна студентська наукова конференція, ОДЕКУ) – 0,25 кр.

2 рівень НДР:

Е3 – всеукраїнські і міжнародні конференції (Всеукраїнська наукова конференція студентів і аспірантів «Екологічні проблеми регіонів України», ОДЕКУ) – 0,5 кр.

Е4 – публікації (опублікування матеріалів тез доповідей виступів на конференціях) – 0,5 кр. Виконання наукового модуля оцінюється за представленими звітними документами – програма конференції або опубліковані матеріали тез доповідей.

Перелік питань для самоперевірки

1. Задачі адвекції.
2. Основні етапи вивода рівняння атмосферної дифузії.
3. Постановка задачі спостереження для рівняння атмосферної дифузії.
4. Рішення рівняння дифузії в найпростіших випадках.
5. Ідентифікація параметрів задачі.
6. Задача ідентифікації джерел забруднення.
7. Задача ідентифікації коефіцієнта атмосферної дифузії.
8. Постановка задачі регуляризації.
9. Основні визначення. Метод регуляризації Тихонова.
10. Керування та спостереження кінцевовимірних лінійних однорідних диференціальних систем.
11. Спостереження стаціонарної кінцевовимірної системи.
12. Повна спостережуваність нестаціонарної кінцевовимірної системи.
13. Спостережуваність в присутності перешкод.
14. Спостережуваність систем з розподіленими параметрами.
15. Види сенсорів.

4 ПОВЧАННЯ ДО ПОСЛІДОВНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ

4.1. Явище дифузії, її роль у живому світі

4.1.1. Загальні відомості

Дифузія – фундаментальне явище природи. Воно лежить в основі перетворень речовини і енергії. Його прояви мають місце на всіх рівнях організації природних систем на нашій планеті, починаючи з рівня елементарних частинок, атомів і молекул, і закінчуючи геосферою. Воно широко використовується в техніці, в повсякденному житті.

Суть дифузії – рух частинок середовища, що приводить до перенесення речовин і вирівнювання концентрацій або до встановлення рівноважного розподілу частинок даного вигляду в середовищі. Дифузія молекул і атомів обумовлена їх тепловим рухом.

Процес дифузії є одним з механізмів прояву II закону термодинаміки, згідно якому будь-яка система прагне перейти в більш рівноважний стан, тобто стійкий стан, що характеризується зростанням ентропії і мінімуму енергії.

Дифузія є фундаментальним процесом, що лежить в основі функціонування живих систем будь-якого рівня організації, починаючи з рівня елементарних частинок (електронна дифузія) і закінчуючи біосферним рівнем (круговоротом речовин в біосфері).

Явище дифузії широко використовується і на практиці. У повсякденному житті – консервація овочів, у виробництві – цементация (сталевих деталей, для підвищення їх твердості і жаростійкості), процеси алітіровання і оксидування.

Процес проникнення частинок (молекул, атомів, іонів) однієї речовини між частинками іншої речовини унаслідок хаотичного руху називається дифузією. Таким чином, дифузія – результат хаотичного руху всіх частинок речовини, всякої механічної дії.

Оскільки частинки рухаються і в газах, і в рідинах, і в твердих тілах, то в цих речовинах можлива дифузія. Дифузія – перенесення речовини, обумовлене мимовільним вирівнюванням неоднорідної концентрації атомів або молекул різного вигляду. Якщо в посудину впустити порції різних газів, то через деякий час всі гази рівномірно перемішуються: число молекул кожного виду в одиниці об'єму посудини стане постійним, концентрація вирівнюється (на кодограммі трьох стадій дифузії – рис.1)

Дифузія пояснюється так. Спочатку між двома тілами чітко видно межу розділу двох середовищ (рис.1а). Потім, унаслідок свого руху окремі частинки речовин, що знаходяться біля межі, обмінюються місцями.

Межа між речовинами розпливається (рис.1б). Проникнувши між частинками іншої речовини, частинки першої починають обмінюватися місцями з частинками другої, що знаходяться у глибших шарах. Межа розділу речовин стає ще більш розпливчатою. Завдяки безперервному і безладному руху частинок цей процес призводить врешті-решт до того, що розчин в посудині стає однорідним (рис.1в).

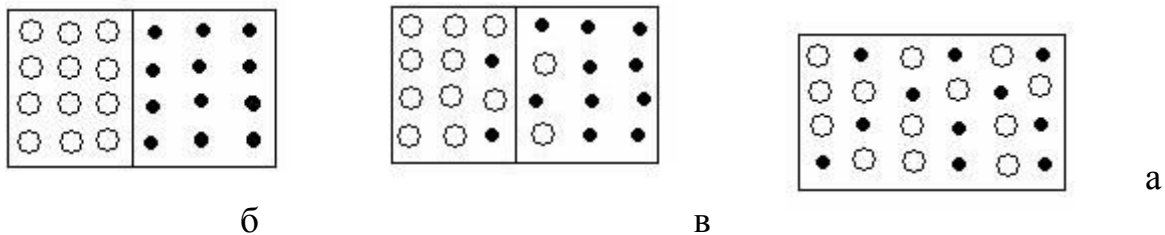


Рис.4.1 - Пояснення явища дифузії.

4.1.2. Закономірності протікання дифузії

Звернемо увагу на закономірності протікання явища. Різниця концентрації є рушійною силою дифузії. Якщо концентрація усюди однакова, дифузне перенесення речовини відсутнє. Вирівнювання концентрації в результаті дифузії відбувається тільки у відсутність зовнішніх сил. Якщо різниця концентрацій існує разом з різницею температур, в електричному полі або в умовах, коли істотна сила тяжіння (при великій різниці висот), вирівнювання концентрації необов'язкове. Прикладом може служити зменшення густини повітря з висотою.

4.1. Роль дифузії в отриманні розчинів

Процеси дифузії в газах, рідких гелях широко застосовуються в хімії. Наприклад, для отримання розчинів, для збагачення повітря киснем в металургійній промисловості. Дифузія лежить в основі багатьох технологічних процесів: адсорбції, сушки, екстрагування, мембранних методів розділення сумішей і ін.

Дифузія здійснюється між взаємно розчинними або такими, що змішуються рідинами. Всі розчини існують завдяки процесу дифузії. Дифузія дуже поволі відбувається між рідинами, що не змішуються, наприклад, вода і соняшникова олія. На відміну від рідин, всі гази змішуються один з одним і можуть дифундувати один в іншому.

4.1.4. Дифузія в рослинному світі

Дійсно, в рослинному світі дуже велика роль дифузії. Наприклад, великий розвиток листової крони дерев пояснюється тим, що дифузійний обмін крізь поверхню листя виконує не тільки функцію дихання, але частково і живлення. В даний час широко практикується позакорнева підгодівля плодкових дерев шляхом обприскування їх крони.

Велику роль відіграють дифузні процеси в постачанні природних водоймищ і акваріумів киснем. Кисень потрапляє в глибші шари води в стоячих водах за рахунок дифузії крізь їх вільну поверхню. Тому небажані всякі обмеження вільної поверхні води. Так, наприклад, листя або ряска, що покривають поверхню води, можуть зовсім припинити доступ кисню до води і спричинити загибель її мешканців. З цієї ж причини посудини з вузьким горлом непридатні для використання як акваріум.

В процесі обміну речовин, при розщеплюванні складних живильних речовин або їх елементів на простіші, відбувається звільнення енергії, необхідної для життєдіяльності організму.

4.1.5. Роль дифузії в травленні і диханні людини

Декілька слів про травлення людини. Найбільше всмоктування живильних речовин відбувається в тонких кишках, стінки яких спеціально для цього пристосовані. Площа внутрішньої поверхні кишечника людини рівна 0,65 квадратних метра. Вона покрита ворсинками – мікроскопічними утвореннями слизистої оболонки висотою 0,2-1 мм, за рахунок чого площа реальної поверхні кишечника досягає 4-5 квадратних метра, тобто в 2-3 рази більше площі поверхні всього тіла. Процес всмоктування живильних речовин в кишечнику можливий завдяки дифузії.

Дихання – перенесення кисню з навколишнього середовища всередину організму крізь його покриви – відбувається тим швидше, чим більша площа поверхні тіла і навколишнього середовища, і тим повільніше, чим товщі і щільніші покриви тіла. Звідси зрозуміло, що малі організми, у яких площі поверхні великі в порівнянні з об'ємом тіла, можуть обходитися зовсім без спеціальних органів дихання, задовольняючись надходженням кисню виключно крізь зовнішню оболонку (якщо вона достатньо тонка і зволожена). У крупніших організмів дихання через шкіру може виявитися більш-менш достатнім тільки за умови, що покриви надзвичайно тонкі (земневодні); при грубих покривах необхідні спеціальні органи дихання. Основні фізичні вимоги до цих органів – максимум поверхні і мінімум товщини, висока зволоженість покривів. Перше досягається численними розгалуженнями або складками (легеневі альвеоли, форма бахроми зябер).

У людини в диханні бере участь вся поверхня тіла – від найтовшого епідермісу п'ят до покритої волоссям шкіри голови. Особливо інтенсивно дихає шкіра на грудях, спині і животі. Цікаво, що за інтенсивністю дихання ці ділянки шкіри значно перевершують легені. З однакової за розміром дихальної поверхні тут може поглинатися кисню на 28%, а виділятися вуглекислий газу навіть на 54% більше, ніж з легенів. Проте у всьому дихальному процесі участь шкіри мізерна в порівнянні з легенями, оскільки загальна площа поверхні легенів, якщо розгорнути всі 700 млн. альвеол, мікроскопічних бульбашок, крізь стінки яких відбувається газообмін між повітрям і кров'ю, складає близько 90-100 квадратних метрів, а загальна площа поверхні шкіри людини близько 2 квадратних метрів, тобто в 45-50 разів менше.

4.1.6. Роль дифузії в живленні рослин.

Основну роль в дифузійних процесах в живих організмах грають мембрани кліток, що володіють виборчою проникністю. Проходження речовин через мембрану залежить від:

- розмірів молекул;
- електричного заряду;
- від присутності і числа молекул води;
- від розчинності цих частинок в жирах;
- від структури мембрани.

Існує дві форми дифузії: а) діаліз – це дифузія молекул розчиненої речовини; б) осмос – це дифузія розчинника через напівпроникну мембрану. У ґрунтових розчинах містяться мінеральні солі і органічні сполуки. Вода з ґрунту потрапляє в рослину шляхом осмосу через напівпроникні мембрани корневих волосків. Концентрація води в ґрунті виявляється вищою, ніж усередині корневих волосків, тому відбувається дифузія із зони з більшою концентрацією в зону з меншою концентрацією. Потім концентрація води в цих клітинах стає вищою, чим у вищерозміщених – виникає корневий тиск, який обумовлює висхідний рух соку по корінню і стеблу, а втрата води листям забезпечує подальше поглинання води.

Мінеральні речовини в рослину надходять: а) шляхом дифузії; б) іноді шляхом активного перенесення проти градієнта концентрації, що супроводжується витратою енергії. Розрізняють також тургорний тиск – це тиск, що надається вмістом клітки на клітинну стінку. Воно майже завжди нижче за осмотичний тиск клітки соку, оскільки зовні знаходиться не чиста вода, а сольовий розчин. Значення тургорного тиску:

- збереження форми рослинного організму;
- забезпечення зростання в молодих клітинах рослин;

- збереження пружності рослин (демонстрація рослин кактуса і алое);
- формоутворення за відсутності арматурної тканини (демонстрація помідора);

4.1.7. Плазмоліз

Якщо концентрація солей в рідині, що омиває клітку, вище, ніж в клітинному соку, як, наприклад, при зануренні листа салату в концентрований сольовий розчин, то вода клітинного соку дифундує з клітини, переміщаючись із зони з більшою концентрацією води в зону з меншою її концентрацією. Нарешті, вміст клітини втрачає здатність чинити тиск на клітинну стінку, іншими словами, тургорний тиск знижується до нуля і салат в'яне (демонстрація). Коли в результаті втрати води об'єм клітинного соку зменшується, цитоплазма клітки не виявляється більше притиснутою до целюлозної клітинної стінки. Натомість цитоплазма відстає від клітинної стінки, зазнаючи процес плазмоліза. Рослинні клітки, що дуже довго знаходяться в сольовому розчині високої концентрації, гинуть. Якщо ж після короточасного вмісту в такому розчині клітки перенести в чисту воду, то вони можуть відновити свою тургенцентность.

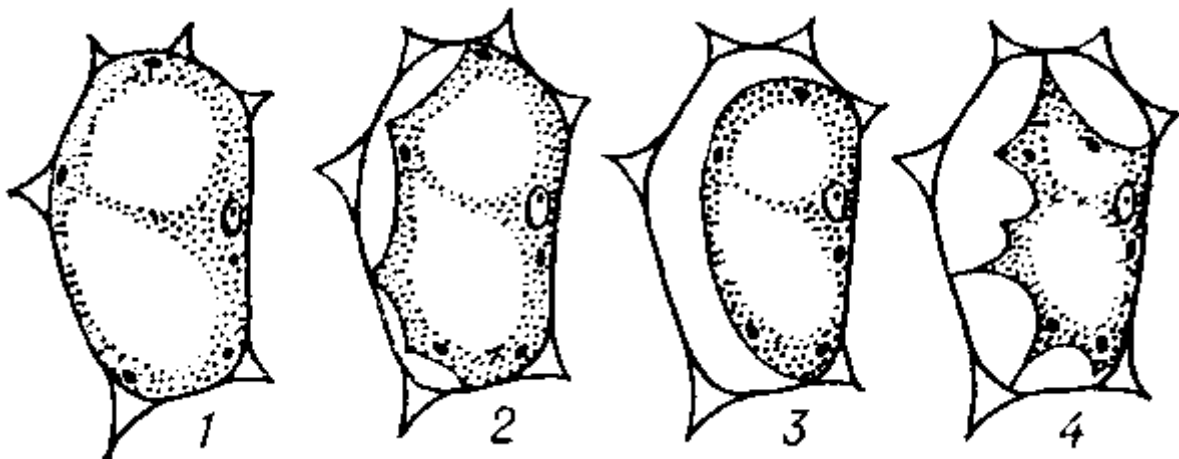


Рис.4.2 Основні форми плазмолізу (схема): 1— початкова стадія; 2 — увігнутий; 3 — опуклий (час переходу від увігнутого плазмолізу до опуклого служить показником в'язкості цитоплазми); 4 — судорожний (при швидкій дії концентрованого плазмолітика і високого ступеня в'язкості цитоплазми).

Тургорний тиск робить рослинну клітку твердою, здатною відновлюватися після деформації під дією якої-небудь зовнішньої сили. Плазмоліз є оборотним процесом. Зворотний йому процес називається деплазмолізом, це властивість плазматичної мембрани.

Таким чином, дифузія має велике значення в процесах життєдіяльності людини, тварин і рослин. Завдяки дифузії кисень з легенів проникає в кров людини, а з крові – в тканині.

4.1.8. Осмос

Якщо дві речовини розділено напівпроникною перегородкою (мембраною), дифузія протікає в одному напрямі. Це явище називається осмосом.

Осмос від грецького – поштовх, тиск. При осмосі відбувається вирівнювання концентрацій розчину по обидві сторони мембрани, проникної малі молекули розчинника, але що не пропускала крупніші молекули розчиненої речовини. Схематичне зображення осмосу представлено на рис.3. Осмос протікає від чистого розчинника до розчину або від розбавленого розчину до концентрованого.



Рис.4.3. Схематичне зображення осмосу

Перенесення молекул розчинника обумовлене осмотичним тиском або дифузійним. Це термодинамічний параметр, що характеризує прагнення розчину до пониження концентрації при зіткненні з чистим розчинником.

Осмотичний тиск обумовлений пониженням хімічного потенціалу розчинника у присутності розчиненої речовини. Осмотичний тиск в гранично розбавлених розчинах не залежить від природи розчинника і розчинених речовин; при постійній температурі воно визначається тільки числом частинок. Перші вимірювання осмотичного тиску провів німецький ботанік Пфєффер в 1877 р., досліджуючи водні розчини цукру.

Розчини з однаковим осмотичним тиском називають ізоосмотичними. Так, різні кровозамінники і фізіологічні розчини ізоосмотичні щодо внутрішніх рідин організму. Якщо один розчин порівняно з іншим має вищий осмотичний тиск, його називають гіпертонічним, а що має нижчий осмотичний тиск – гіпотонічним

4.1.9. Застосування дифузії в техніці і в повсякденному житті

Дифузія знаходить широке застосування в промисловості і повсякденному житті. На явищі дифузії заснована дифузійна зварка металів. Методом дифузійної зварки без застосування припоїв, електродів і флюсів сполучають між собою метали, неметали, метали і неметали, пластмаси. Деталі поміщають в закриту зварювальну камеру з сильною розрядкою, здавлюють і нагрівають до 800 градусів. При цьому відбувається інтенсивна взаємна дифузія атомів в поверхневих шарах контактуючих матеріалів. Дифузійна зварка застосовується в основному в електронній і напівпровідниковій промисловості, точному машинобудуванні.

Для витягання розчинних речовин з твердого подрібненого матеріалу застосовують дифузійний апарат. Такі апарати поширені головним чином в бурякоцукровому виробництві, де їх використовують для отримання цукрового соку з бурякової стружки, що нагрівається разом з водою.

Істотну роль в роботі ядерних реакторів грає дифузія нейтронів, тобто розповсюдження нейтронів в речовині, що супроводжується багатократною зміною напрямку і швидкості їх руху в результаті зіткнення з ядрами атомів. Дифузія нейтронів в середовищі аналогічна дифузії атомів і молекул в газах і підкоряється тим же закономірностям.

В результаті дифузії носіїв в напівпровідниках виникає електричний струм, Переміщення носіїв заряду в напівпровідниках обумовлене неоднорідністю їх концентрації. Для створення, наприклад, напівпровідникового діода в одну з поверхонь германію вплавають індій. Унаслідок дифузії атомів індій в глиб монокристала германію в нім утворюється р-п – перехід, по якому може йти значний струм при мінімальному опорі.

На явищі дифузії заснований процес металізації – покриття поверхні виробу шаром металу або сплаву для повідомлення їй фізичних, хімічних і механічних властивостей, відмінних від властивостей матеріалу, що металізується. Застосовується для захисту виробів від корозії, зносу, підвищення контактної електричної провідності, в декоративних цілях, так, для підвищення твердості і жаростійкості сталевих деталей застосовують цементацію. Вона полягає в тому, що сталеві деталі поміщають в ящик з графітовим порошком, який встановлюють в термічній печі. Атоми

вуглецю унаслідок дифузії проникають в поверхневий шар деталей. Глибина проникнення залежить від температури і часу витримки деталей в термічній печі.

4.1.10. Шкідливий прояв дифузії

На жаль, необхідно відзначити і шкідливі прояви цього явища. Димарі підприємств викидають в атмосферу вуглекислий газ, оксиди азоту і сірки. В даний час загальна кількість емісії газів в атмосферу перевищує 40 мільярдів тонн в рік. Надлишок вуглекислого газу в атмосфері небезпечний для живого світу Землі, порушує круговорот вуглецю в природі, приводить до утворення кислотних дощів. Процес дифузії грає велику роль в забрудненні річок, морів і океанів. Річне скидання виробничих і побутових стоків в світі рівне приблизно 10 трильйонів тонн.

Забруднення водоймищ призводить до того, що в них зникає життя, а воду, використовувану для пиття, доводиться очищати, що дуже дорого. Крім того, в забрудненій воді відбуваються хімічні реакції з виділенням тепла. Температура води підвищується, при цьому знижується вміст кисню у воді, що погано для водних організмів. Із-за підвищення температури води багато річок тепер взимку не замерзають. Для зниження викиду шкідливих газів з промислових труб, труб теплових електростанцій встановлюють спеціальні фільтри. Такі фільтри встановлені, наприклад на ТЕЦ в Ленінському районі Челябінська, але установка вони коштує дуже дорого. Для попередження забруднення водоймищ необхідно стежити за тим, щоб поблизу берегів не викидалося сміття, харчові відходи, гній, різного роду хімікати.

4.1.11. Кесонна хвороба

Найінтенсивніше дифузія відбувається між газами і між газом і рідиною. Гази адсорбуються на поверхні рідини, а потім шляхом дифузії розповсюджуються по всій її масі, інакше кажучи, розчиняються в ній. При не дуже високому тиску маса газу, що розчиняється в рідині, прямо пропорційна парціальному тиску газу в ній. При зниженні тиску газу над поверхнею рідини розчинений в ній газ виділяється у формі бульбашок. Це явище лежить в основі кесонної хвороби, якою страждають водолази. Відомо, що на глибині під водою водолаз дихає повітрям при підвищеному тиску і кров насичається газами повітря, особливо азотом. В результаті різкого зниження тиску при поверненні на поверхню води азот виділяється з крові у вигляді бульбашок, які можуть потрапити в кровоносну судину невеликого діаметру. В цьому випадку може наступити

повна закупорка судини. Явище це називається газовою емболією. Закупорка судини в життєво важливих органах може мати серйозні наслідки для організму. Щоб уникнути цього, доводиться повертати водолаза на поверхню дуже поволі (після роботи на глибині 80 м протягом 1 години на підйом треба витратити близько 9 годин або ж використовувати спеціальні декомпресійні камери. В даний час розробляються пристрої із застосуванням гелієвий-кисневої суміші, які дають можливість швидшого повернення водолаза на поверхню.

4.2. Адвекція. Хаотична адвекція

Коли частка рухається з рідиною, ми говоримо про адвекції, інколи про пасивну адвекції, щоб підкреслити, що частка настільки легка і інертна, що не може не захоплюватися рідиною, миттєво переймаючи швидкість потоку, що оточує її. Ми можемо записати

$$V_{\text{частки}} = V_{\text{рідини}}, \quad (1)$$

і це буде формальним вираженням адвекції. Зокрема, кінематика самої рідини така, що кожна частка рідини піддається пасивній адвекції.

Швидкість частки, $V_{\text{частки}}$, звичайно ж, задається швидкістю зміни її положення:

$$V_{\text{частки}} = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt} \right), \quad (2)$$

де (x, y, z) — це координати радіусу-вектора частки, в даному випадку, — в звичайних декартових координатах.

Швидкість рідини задається з інших міркувань, що включають вирішення деякої системи диференціальних рівнянь в приватних похідних, наприклад, рівнянь Ейлера, рівнянь Нав'є —Стокса або рівнянь Стоксу. Ми залишаємо все це для інших робіт: нас цікавить лише те, що нам, деяким чином, задані складові швидкості рідини u , v і w як функції координат, а також часу, тобто ми маємо

$$V_{\text{рідини}} = (u(x, y, z, t), v(x, y, z, t), w(x, y, z, t)) \quad (3)$$

Умова про те, що швидкість частки дорівнює швидкості рідини, приводить до системи звичайних диференціальних рівнянь, які я називаю рівняннями адвекції:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= u(x, y, z, t) \\ \frac{dy}{dt} &= v(x, y, z, t) \\ \frac{dz}{dt} &= \omega(x, y, z, t),\end{aligned}\tag{4}$$

Ці рівняння зустрічаються в багатьох історичних джерелах, наприклад, у «Основах гідро і аеромеханіки» Прандтля і Тітєнса в главі, названою «Методи опису». У гідромеханіці ми використовуємо два «методи опису»: метод Лагранжа, коли просліджуються окремі частки, і метод Ейлера, коли нас цікавлять не частки, а поля. Ясно, що у випадку з рівняннями адвекції використовується опис руху рідини по методу Лагранжа.

З точки зору теорії динамічних систем, трьох звичайних диференціальних рівнянь, типу системи (4), більш ніж достатньо для здобуття неінтегрованої або хаотичної динаміки. Правим частинам рівнянь навіть не потрібно бути дуже складними. Так, в 1963 році Лоренц показав, що неінтегрованими можуть бути три рівняння з простою квадратичною правою частиною.

Але при цьому слід зазначити, що в своїй моделі теплової конвекції Лоренц працював з трьома звичайними диференціальними рівняннями, тому що скоротив до трьох рівнянь велику, в принципі безконечну, систему звичайних диференціальних рівнянь. При розгляді проблеми адвекції такого скорочення не відбувається. Ми маємо три рівняння, оскільки працюємо з рухом в тривимірному просторі. У цьому сенсі неінтегрована поведінка є строгою властивістю кінематики потоку.

Повертаючись до (4), ми бачимо, що в тривимірному просторі потік може не залежати від часу, але в той же час демонструвати хаотичну поведінку. Сповна підійдуть стаціонарні потоки. У двовимірному просторі для здобуття хаотичного руху частки потрібно, щоб потік залежав від часу.

Стаціонарна, двовимірна адвекція піддається інтеграції. Зі всього вищесказаного є важливе виключення у вигляді двовимірного нестискуваного потоку, тому що в цьому випадку швидкість є похідній функції струму Φ і виражається через відомі формули

$$\mathbf{u} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \mathbf{v} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (5)$$

Якщо ці рівняння об'єднати з рівняннями адвекції, то вони перетворяться на щось, вже знайоме нам з динаміки, а саме: гамільтонови канонічні рівняння для системи з однією мірою свободи:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial y}; \frac{dy}{dt} = - \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (6)$$

Функція струму грає роль гамільтоніана. Координати частинки є зв'язаними змінними. Будь-яку з них можна прийняти за узагальнену координату. Тоді друга декартова координата буде зв'язаним узагальненим імпульсом. (Це граничний приклад симетрії, що існує між узагальненими координатами і імпульсами в гамільтоновій формулюванні динаміки). Фазовий простір в цьому завданні є конфігураційним.

Двовимірна кінематика адвекції, викликаній нестискуваним потоком, еквівалентна гамільтоновій динаміці системи з однією мірою свободи. Це не залежить від того, є рідина в'язкою чи ні. І тут немає ні протиріччя, ні парадоксу. Гамільтонова природа кінематики виникає саме з нестискуваної. Це не залежить від того, чи є рух динамічно диссипативним чи ні.

Той факт, що рух частки в двовимірному нестискуваному потоці можна розглядати як гамільтонову динамічну систему з однією мірою свободи, на мій погляд, був загальновідомий серед фахівців з гідромеханіки впродовж багатьох років. Проте його, мабуть, вважали безплідним, формальним спостереженням. Можливість виникнення хаосу в нестационарній гамільтоновій системі, що має одну міру свободи, була, поза сумнівом, відома до середини 1960-х рр.

Проте, зв'язок між цими двома ідеями не усвідомлювався до початку 1980-х рр., а отже, не було і мови про введення терміну хаотична адвекція.

4.3. Елементи динаміки кінцевовимірних систем

Фізичні системи можна умовно розділити на два види – частинки і поля. Формалізм кінцевовимірної системи дозволяє досліджувати практично будь-які системи. Проте властивості часток і полів настільки відрізняються один від одного, що ми вимушені називати цю відмінність принциповою. Перш за все воно пов'язане з числом ступенів свободи. Будь-яка фізична система з кінцевого числа часток має кінцеве число

ступенів свободи, рівне числу часток, помноженому на деяке невелике число. Поля з цієї точки зору характеризуються безкінечним числом мір свободи, і при граничному переході до нескінченності можливі багато несподіванок, які, як ми побачимо далі, реалізуються природою досить майстерно і всіляко.

Це введення пояснює, чому виклад динаміки систем слід розділити на дві частини і чому першу з них слід почати з динаміки часток. Класична динаміка часток є найбільш розвиненою галуззю фізики, і тут існують дивні по своїй красі результати, складові певний фундамент для розуміння нелінійних явищ найрізноманітнішої природи.

4.3.1. Фазовий простір

Дослідження властивостей динамічних систем найзручніше і природно проводити, використовуючи поняття фазового простору. Траєкторії і фазовий, потік. Стан механічної системи або частки задається крапкою у фазовому просторі (q, p) з n -мірними векторами $q = (q_1, \dots, q_N)$ і $p = (p_1, \dots, p_N)$. Їх прийнято називати узагальненими координатами і узагальненими імпульсами. В цьому випадку прийнято говорити, що система має N -ступенів свободи, а її фазовий простір $2n$ -мірний.

Зміна стану системи з часом t приводить до переміщення крапки (q, p) у фазовому просторі. Так виникає траєкторія системи $(q(t), p(t))$. Оператор T , що переводить систему з одного стану у момент часу $t = 0$ в інший стан у момент часу t

$$(q(t), p(t)) = \check{T}(q(0), p(0)), \quad (7)$$

називається фазовим потоком. Зазвичай фазовий потік задається за допомогою диференціальних рівнянь руху:

$$\dot{q} = Q(q, p, t); \quad \dot{p} = P(q, p, t), \quad (8)$$

де крапка означає диференціювання за часом. Вирішенням рівнянь (8) є траєкторія частки

$$q = q(t; q_0, p_0); \quad p = p(t; q_0, p_0), \quad (9)$$

залежна від початкових умов $(q_0 = q(0); p_0 = p(0))$ і звана також фазовою кривою.

Фазові криві не перетинаються. Виключенням є деякі криві, складові безліч нульової міри. Тому, з точністю до

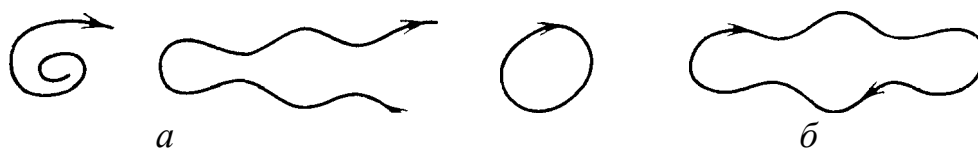


Рис. 4.3.1. Інфінітний (а) і фінітний (б) рух у фазовому просторі

цієї безлічі, можна сказати, що оператор \check{T} у (1.1) здійснює взаємно однозначне відображення фазової площини в себе.

Залежно від того, розміщується фазова крива в необмеженій або в кінцевій області фазового простору для $t = (-\infty, \infty)$ переміщення фазового об'єму називається відповідно інфінітним або фінітним (рис. 1.1).

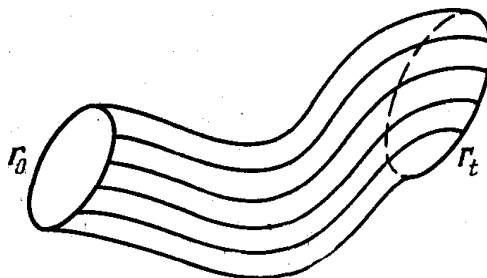


Рис. 4.3.2. Переміщення фазового об'єму

4.3.2. Гамільтонівські системи.

Важливою характеристикою фізичних систем є існування у них певних властивостей симетрії руху. Віддзеркаленням цих властивостей є фізичні інваріанти руху, тобто величини, що не змінюються з часом.

Приклад інваріанта, з якого слід почати, – фазовий об'єм. Розглянемо у фазовому просторі деяку кінцеву область і безліч всіх точок цієї області як початкові умови. Можна говорити про фазову рідину, що складається з фазових крапок, і про її об'єм Γ_0 .

З часом фазова рідина переміщається унаслідок фазового потоку (7) або (8), і фазова крапля до моменту часу t займає фазовий об'єм Γ_t (рис. 4.3.2). Якщо фазовий об'єм в результаті руху зберігається, то

$$\Gamma_0 = \Gamma_t \quad \text{або}$$

$$\Gamma_t = \text{const} \equiv \text{inv}. \quad (10)$$

Співвідношення (10) має простий фізичний сенс. Зіставимо кожній фазовій крапці, що входить в об'єм Γ_t , деяку частку. Тоді величина Γ_t визначає число часток у фазовому об'ємі Γ_t , а формула (10) виражає не що інше, як закон збереження кількості фазової рідини.

Умову збереження фазового об'єму виділяє певний клас фізичних систем, званих гамільтонівськими. Для них рівняння руху задаються за допомогою деякої функції $H = H(p, q, t)$, званою гамільтоніаном або функцією Гамільтона. Вони мають вигляд

$$\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q}; \quad \dot{q} = \frac{\partial H}{\partial p} \quad (11)$$

тобто функції Q і P в рівняннях (8) мають властивість

$$\operatorname{div} \mathbf{J} \equiv \frac{\partial Q}{\partial q} + \frac{\partial P}{\partial p} = 0 \quad (12)$$

де $\mathbf{J} = (q, p)$ — вектор течії руху фазової рідини. Рівняння (12) виражає явище нестискуваності фазової рідини.

4.3.3. Теорема Ліувіля

Для гамільтонівських систем (1.5) фазовий об'єм зберігається, або, в загальнішому формулюванні: якщо виконана властивість (1.6), то

$$\checkmark \Gamma_0 = \Gamma_0 \quad (13)$$

Ця теорема, що має багаточисельні застосування в самих різних галузях фізики, виділяє головний фізичний інваріант — фазовий об'єм — і пов'язує з ним гамільтоновський характер системи. Відмітимо, що вказаний зв'язок діє лише в один бік. Існують не гамільтонівські динамічні системи, що зберігають фазовий об'єм, наприклад система, що описується одним рівнянням, $\dot{x} = 0$ (складніший приклад буде наведений нижче).

4.3.4. Рівняння безперервності

Іноколи буває зручно розглядати тимчасову еволюцію не крапки у фазовому просторі, а елемента фазового об'єму. Наприклад, по характеру деформації кордону фазового об'єму можна судити про стійкість або нестійкість руху (рис. 1.3). У таких випадках використовується функція f

(p, q, t) розподілу часток у фазовому просторі, яка задовольняє умові нормування

$$\int_{\Gamma} f(p, q, t) d\Gamma = 1 \quad (14)$$

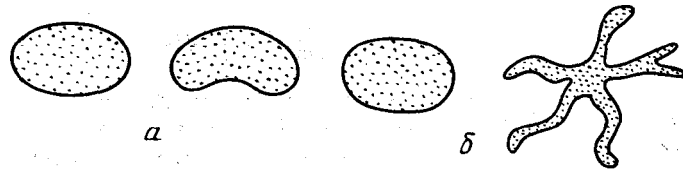


Рис. 4.3.3. Зміна елементу фазового об'єму в стійкому (а) і нестійкому (б) випадках

Рівняння безперервності

$$\frac{df}{dt} + \text{div}(Jf) = 0 \quad (15)$$

виражає в диференціальній формі закон збереження числа частинок у фазовому просторі.

У гамільтоновському випадку умову нестискуваної приводить рівняння (15) до форми, званої рівнянням Ліувіля

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \dot{q} \frac{\partial f}{\partial q} + \dot{p} \frac{\partial f}{\partial p} = 0 \quad (16)$$

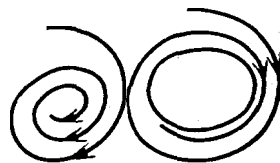


Рис. 4.3.4. Неможливість подібних траєкторій виходити з теореми Ліувіля

Важливе зауваження: рівняння (16) містить лише ту інформацію про властивості фазових траєкторій, яка є в рівняннях руху (11). Це виходить відразу з властивостей рівнянь в приватних похідних першого порядку. Рішення (12) може бути записане у вигляді:

$$f(q, p, t) = f_0(q_0 = q_0(q, p, t); p_0 = p_0(q, p, t)),$$

де зв'язок між (q_0, p_0) и (q, p) визначається рівняннями руху (1.5), а $f_0 = f_0(q_0, p_0) = f(t=0)$ — початкова умова для розподілу фазової рідини. Зокрема, для точкової частинки маємо:

$$f(q, p, t) = \delta(q - q(t)) \delta(p - p(t)),$$

де $q(t) = q(t; q_0, p_0)$, $p(t) = p(t; q_0, p_0)$ визначають траєкторію частинки.

Рівняння Ліувіля (1.10), так само як і рівняння руху (1.5), оборотно в часі. Серед безлічі можливих траєкторій можна передбачити існування таких, які мають асимптотично стійке положення рівноваги або асимптотику стійкості граничного циклу (рис. 4.1.4). Теорема Ліувіля виключає подібну можливість. Отже, це ж твердження справедливе для гамільтонівських систем.

4.4. Ентропія і її властивості

Ентропія - міра невизначеності випадкового стану деякої системи. Ми розглядаємо інформаційні системи, тобто системи, що сприймають, зберігають, переробляють і використовують інформацію. Нормальне функціонування подібних систем - це прийом-передача інформаційних повідомлень.

Для цілей теорії інформації ми визначимо **ентропію** як середню кількість інформації, що припадає на одне повідомлення в ансамблі повідомлень (або на один символ в окремому повідомленні). Інакше кажучи, **ентропія** - це математичне сподівання кількості інформації в повідомленні.

Нехай інформаційна система може породжувати ансамбль (алфавіт) повідомлень a_1, a_2, \dots, a_m . Ймовірності кожного повідомлення: $P(a_1), P(a_2), \dots, P(a_m)$. Так як ймовірності повідомлень не однакові, то вони несуть різну кількість інформації.

$$I(a_i) = \log_2 P(a_i)$$

Середня кількість інформації (математичне очікування):

$$\begin{aligned}
 H(a) &= \\
 &= M[I(a) = \sum_{i=1}^m P(a_i) \cdot I(a_i)] - \sum_{i=1}^m P(a_i) \times \log_2 P(a_i)
 \end{aligned}
 \tag{3.8}$$

Цілком аналогічно вводиться ентропія повідомлень:

$$H = - \sum_{i=1}^m p_i \log_2 p_i$$

Ентропія не залежить від конкретного повідомлення. Це характеристика інформаційної системи (джерела повідомлень або каналу передачі повідомлень). Ентропія в такому вигляді є апіорною характеристикою і може бути обчислена до експерименту, якщо відома статистика повідомлень. Ентропія характеризує невизначеність ситуації до передачі повідомлення, оскільки заранню не відомо, яке повідомлення з ансамблю буде передано. Чим більше ентропія, тим сильніша невизначеність і тим більшу інформацію у середньому несе одне повідомлення джерела. Порівнюючи формули (3.8) і (3.6) бачимо, що

$$I = n \cdot H.$$

Умовна ентропія

Знайдемо спільну ентропію складної інформаційної системи (композиції A , B) в тому випадку, якщо їхні повідомлення не є незалежними, тобто якщо на зміст повідомлення B впливає повідомлення A .

Наприклад, повідомлення «Спартак виграв у футбольному матчі проти Динамо» повністю знімає невизначеність повідомлення про те, як зіграло Динамо.

Інший приклад: повідомлення A містить інформацію про жінку (прізвище, ім'я, по батькові, рік народження, місце народження, освіта, домашній адрес та телефон), а повідомлення B містить аналогічну інформацію про її чоловіка. Очевидно, що повідомлення B частково містить в собі інформацію A (а саме: прізвище дружини, її домашню адресу і телефон, швидше за все співпадаючі з прізвищем, домашньою

адресою і телефоном чоловіка, а також вірогідну оцінку її року народження, який швидше за все близький до року народження чоловіка). Таким чином, спільна ентропія двох повідомлень не є простою сумою ентропій окремих повідомлень.

Нехай джерело A породжує ансамбль Na повідомлень $(a_1, a_2, \dots, a_{Na})$, джерело B породжує ансамбль Nb повідомлень $(b_1, b_2, \dots, b_{Nb})$ і джерела залежні. Загальний алфавіт джерел являє собою безліч пар виду (a_i, b_j) , загальна потужність алфавіту: $Na \times Nb$.

Ентропія складної інформаційної системи (з двох джерел) дорівнює

$$H(A, B) = - \sum_{i=1}^{Na} \sum_{j=1}^{Nb} P(a_i, b_j) \log P(a_i, b_j)$$

5 ОРГАНІЗАЦІЯ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАНЬ

Контроль поточних знань виконується на базі кредитно-модульної системи організації навчання. Підсумковим контролем є іспит.

В дисципліні „Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища ” використовуються 3 змістовних модуля: 2 з теоретичної частини і 1 з практичної частини. Крім того існує окремий змістовний модуль наукової роботи.

В якості форми поточного контролю **лекційних модулів** дисципліни „ Сучасні методи моделювання систем навколишнього середовища ” використовується проведення 1 контрольної роботи з кожного змістовного модуля та усного опитування під час практичних занять, **наукового модулю** (у разі його виконання студентом) – виступ на університетських, всеукраїнських студентських конференціях та публікація матеріалів тез доповідей цих виступів.

Критерії оцінки

Максимальна сума балів з **ЗМ-Л1** – 40 балів

Максимальна сума балів з **ЗМ-Л2** – 40 балів

Максимальна сума балів з **ЗМ-П1** – 20 балів

Загальна кількість балів складає **100 балів**.

Пропуски: **мінус 1 бал** за кожний пропуск заняття (2 години)

До іспиту допускаються студенти, у яких фактична сума накопичених балів за практичну частину складає **не менше 50%**. В іншому випадку студент вважається таким, що не виконав навчального плану дисципліни, і не допускається до іспиту.

Оцінювання письмових відповідей проводиться у відповідності з Положенням «Про критерії оцінки знань студентів в ОДЕКУ », 2012р. та наступними роз'ясненнями:

- а) У разі використання екзаменаційних білетів у вигляді тестових завдань *відкритого типу*, відповідь на кожне питання оцінюється викладачем у відсотках до максимально можливої за критеріями, які наведені у таблиці 1

Білет складається з 2- х питань відкритого типу

Таблиця 1

Кількісні та якісні критерії оцінки письмової відповіді на тестове завдання відкритого типу

Діапазон оцінки	Якісні критерії оцінки відповідей
90 – 100	ідмінне виконання лише з незначною кількістю помилок
85 – 89	вище середнього рівня з кількома помилок
75 – 84	в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок
68 – 74	непогано, але зі значною кількістю помилок
60 – 67	Відповідь в цілому достатня, що свідчить про певні знання студента з поставленого питання, але у відповіді є суттєві помилки або виявляються прогалини у знаннях з поставленого питання
35 – 59	Є окремі вірні думки, але в цілому відповідь недостатня, або багато помилок, які формують в цілому невірну відповідь
1 – 34	Студент зовсім не відповів на питання або відповідь у більшій частині невірна.

Загальна екзаменаційна оцінка (бал успішності) у цьому випадку є арифметичною(або зваженою - за вагою питань у білеті – за розсудом викладача, але у всіх білетах методика та вагомі коефіцієнти повинні бути однаковими!) середньою з оцінок кожного питання

Шкала оцінювання за системою ECTS та системою університету

За шкалою ECTS	За національною системою	Визначення	За системою університету (у відсотках)
A	5 (відмінно)	відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	90 – 100
B	4 (добре)	вище середнього рівня з кількома помилок	85 – 89
C	4 (добре)	в загальному правильна робота з певною кількістю грубих помилок	74 – 84
D	3 (задовільно)	непогано, але зі значною кількістю помилок	68 – 74
E	3 (задовільно)	Відповідь в цілому достатня, що свідчить про певні знання студента з поставленого питання, але у відповіді є суттєві помилки або виявляються прогалини у знаннях з поставленого питання	60 – 67
FX	2 (незадовільно)	Є окремі вірні думки, але в цілому відповідь недостатня, або багато помилок, які формують в цілому невірну відповідь	35 – 59
F	2 (незадовільно)	Студент зовсім не відповів на питання або відповідь у більшій частині невірна.	1 – 34

Основна література

1. Герасимов О.І., Елементи екологічної фізики, 114 с.
2. Владимиров В. С. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1981. - 512 с.
3. Колмогоров А. Н., Фомін С. В. Елементи теорії фізики та функціональний аналіз. – М., Наука, 1968. - 525 с.

Додаткова література

4. Денисов А. М., Введення в теорію обратных задач. – М, издательство Москва. Ун-ту, 1994. - 207 с.
5. Куржанський А. Б. Управление и наблюдение в условиях неопределенности. – М., Наука, 1997. - 392 с.
6. Куржанський А. Б, Сівергіна І.Ф. Метод гарантування оцінок та задачі регуляризації для еволюційних систем. –ЖВМ та МФ. 1992. Т32, №11. С.1720-1733.
7. Ладыженська О. А., Солонников В.А., Уральцеви Н.Н. Линейные и квазилинейные уравнения параболического типа. – М., Наука, 1967. -736 с.
8. Латтес Р., Лионс Ж-Л. Метод квазиобращения и его приложений. – М., Мир, 1970. - 336с.
9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М., Наука, 1982. - 608 с.
- 10.Тихонов А. Н., Самарський А. А. Уравнения математической физики. – М., Наука, 1972. - 799 с.

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з дисципліни
“ СУЧАСНІ МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА ”

Спеціальність – «Радіоекологія», рівень підготовки – «магістр»

Укладач: к.ф.-м.н., доц. Худинцев М.М.
Одеса, ОДЕКУ, 35 с., укр. мова.

Відповідальний за випуск – Герасимов О.І., доктор фіз.-мат. наук,
професор, зав. каф. загальної і теоретичної фізики

Підп. до друку
Умовн. друк. арк..

Формат 60x84/16
Тираж

Папір. друк.
Зам.№

Одеський Державний Екологічний Університет
65016, м.Одеса, вул. Львівська, 15
Надруковано з готового оригінал-макета