



М.П. Куліш, О.П. Дмитренко,
О.Л. Павленко, А.І. Момот,
А.І. Лесюк, І.Ю. Дорошенко,
А.І. Місюра, Т.М. Пінчук-Ругаль,
А.П. Онанко

ФІЗИКА

ПОЛІМЕРІВ

Частина II

*Навчальний посібник для студентів та аспірантів,
що спеціалізуються в галузі природничих наук
за спеціальністю «Фізика та астрономія»*

М.П. Куліш, О.П. Дмитренко, О.Л. Павленко,
А.І. Момот, А.І. Лесюк, І.Ю. Дорошенко,
А.І. Місюра, Т.М. Пінчук-Ругаль, А.П. Онанко

ФІЗИКА ПОЛІМЕРІВ

Частина II

*Навчальний посібник для студентів та аспірантів,
що спеціалізуються в галузі природничих наук
за спеціальністю «Фізика та астрономія»*

Полтава
ТОВ "АСМІ"
2024

УДК 53:678.7](075.8)

Ф 50

*Рекомендовано до друку вченою радою фізичного факультету
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 17, від 27 травня 2024 р.)*

Рецензенти:

В.В. Лізунов – доктор фізико-математичних наук, заступник
директора з наукової роботи Інституту металофізики
ім. Г.В. Курдюмова НАН України.

О.Ф. Коломис – кандидат фізико-математичних наук, старший
науковий співробітник Інституту фізики
напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН
України.

Автори:

М.П. Куліш, О.П. Дмитренко, О.Л. Павленко, А.І. Момот, А.І. Лесюк,
І.Ю. Дорошенко, А.І. Місюра, Т.М. Пінчук-Ругаль, А.П. Онанко.

Фізика полімерів / [Текст]: навч. посіб. для студ. та асп., що
Ф 50 спеціаліз. в галузі природн. наук за спец. «Фізика та астрономія»:
(частина II) / М.П. Куліш, О.П. Дмитренко, О.Л. Павленко,
А.І. Момот, А.І. Лесюк, І.Ю. Дорошенко, А.І. Місюра, Т.М. Пінчук-
Ругаль, А.П. Онанко; КНУ імені Тараса Шевченка. – Полтава:
ТОВ «АСМІ», 2024. – 231 с.

ISBN 978-966-182-712-6

В навчальному посібнику розглянуто в'язкопружні, динамічні
механічні властивості полімерів та теплові коливання в молекулах.
Навчальний посібник розрахований для студентів та аспірантів, що
спеціалізуються в галузі природничих наук за спеціальністю «Фізика та
астрономія».

УДК 53:678.7](075.8)

© М.П. Куліш, О.П. Дмитренко,
О.Л. Павленко, А.І. Момот, А.І. Лесюк,
І.Ю. Дорошенко, А.І. Місюра,
Т.М. Пінчук-Ругаль, А.П. Онанко, 2024

© КНУ імені Тараса Шевченка, 2024

© ТОВ «АСМІ», 2024

ISBN 978-966-182-712-6

ЗМІСТ

ВСТУП	6
-------------	---

РОЗДІЛ VI

В'ЯЗКОПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОЛІМЕРІВ	7
--	---

6.1. Ідеальна зворотна пружна деформація Гука	7
---	---

6.2. Ідеальна незворотна деформація Ньютона	9
---	---

6.3. В'язкопружна деформація речовин	12
--	----

6.4. Модель в'язкопружної деформації Максвелла	14
--	----

6.5. Модель в'язкопружної деформації Кельвіна – Фойгта – Мейера	21
---	----

6.6. Комбінована модель в'язкопружної деформації Максвелла	24
--	----

6.7. Комбінована модель в'язкопружної деформації Кельвіна – Фойгта – Мейера	26
--	----

6.8. Комбінована модель високоеластичної і пластичної деформацій ..	28
---	----

6.9. Моделі пружної і високоеластичної деформацій	31
---	----

6.10. Модель пружної, високоеластичної і пластичної деформацій	33
--	----

6.11. Феноменологічна теорія в'язкопружних деформацій Больцмана	35
--	----

Список літератури до розділу VI	39
---------------------------------------	----

РОЗДІЛ VII

ДИНАМІЧНІ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

В'ЯЗКОПРУЖНИХ ПОЛІМЕРІВ	40
-------------------------------	----

7.1. Особливості змін напруження і деформації при динамічному навантаженні	40
---	----

7.2. Динамічні характеристики в'язкопружних полімерів	44
---	----

7.3. Розповсюдження пружних хвиль у в'язкопружних полімерах	49
---	----

7.4. Рівняння звукових хвиль у в'язкопружних полімерах	55
--	----

7.5. Швидкість розповсюдження звукових хвиль у в'язкопружних полімерах	61
---	----

7.6. Швидкість розповсюдження звукових хвиль в модельних в'язкопружних полімерах	65
---	----

7.7. Частотна та температурна залежності акустичних параметрів в'язкопружних полімерів.....	71
7.8. Молекулярний механізм поглинання і розповсюдження звуку у в'язкопружних полімерах.....	77
7.9. Акустична спектроскопія в'язкопружних полімерів.....	80
7.10. Структура і динамічні властивості кристалічних полімерів.....	89
7.11. Структура і динамічні властивості сітчастих полімерів.....	91
7.12. Структура і динамічні властивості аморфних полімерів.....	93
7.13. Акустичні властивості аморфних полімерів в склоподібному стані.....	97
7.14. Молекулярна рухливість в аморфних полімерах.....	99
7.15. Акустичні властивості кристалічних полімерів.....	107
7.16. Молекулярна рухливість в кристалічних полімерах.....	112
7.17. Статичні властивості в'язкопружних полімерів.....	124
7.18. Релаксація деформації.....	127
7.19. Релаксація напруження.....	132
7.20. Динамічні модулі полімерів.....	134
7.21. Динамічні в'язкості, податливості, тангенс кута втрат.....	137
7.22. Спектри часів релаксації і запізнення для механічних моделей полімерів.....	144
7.23. Динамічні механічні властивості металовмісних полімерних композитів.....	147
7.24. Методи вивчення акустичних властивостей полімерів.....	157
Список літератури до розділу VII.....	160
 РОЗДІЛ VIII.....	 161
8.1. Теплові коливання в молекулах.....	161
8.2. Теплові коливання в кристалічних ґратках.....	164
8.3. Теплоємність кристалів.....	171
8.4. Коливання молекул.....	178
8.5. Коливання лінійної двоатомної молекули.....	181

8.6. Умови виникнення інфрачервоного випромінювання молекули	188
8.7. Умови виникнення комбінаційного розсіяння світла молекули	190
8.8. Елементи та операції симетрії молекул.....	194
8.9. Класи операцій симетрії	199
8.10. Класифікація точкових груп і таблиці характерів	202
8.11. Матричне представлення операцій симетрії.....	205
8.12. Власні значення та власні вектори.....	209
8.13. Нормальні координати для лінійної молекули діоксиду вуглецю.....	212
8.14. Інтенсивність смуг ІЧ-поглинання та КРС для лінійної молекули діоксиду вуглецю.....	220
8.15. Властивості симетрії нормальних коливань	226
Список літератури до розділу VIII	231

ВСТУП

Навчальний посібник «Фізика полімерів». Частина II є продовженням попередньої навчально-методичної розробки «Фізика полімерів» Частина I, Полтава, ТОВ «АСМІ» 2022 р. 268 с. Ці навчальні посібники можуть бути використані для підготовки фахівців з галузі знань 10 Природничі науки за спеціальностями 104 «Фізика та астрономія» та 105 «Прикладна фізика».

В навчальному посібнику «Фізика полімерів» Частина I основна увага була приділена вивченню будови вуглеводневих молекул, будови макромолекул, надмолекулярної структури полімерів та механічних властивостей.

В навчальному посібнику «Фізика полімерів» Частина II детально розглядаються питання, пов'язані з в'язкопружними, динамічними, механічними властивостями полімерів та тепловими коливаннями в молекулах.

Зміст обох частин спрямований на отримання студентами фундаментальних знань з фізики полімерів та їх прикладного застосування в різних наукоємних галузях, оборонній промисловості та медицині.

Робота частково підтримана Національним фондом досліджень України, проєкт № 2023.04/0140.