

М. В. ШИШОНОК

Химия высокомолекулярных соединений

Допущено

Министерством образования Республики Беларусь

в качестве учебного пособия

для студентов учреждений высшего образования

по химическим и химико-технологическим специальностям



Минск
«Вышэйшая школа»
2021

Шишонок, М. В. Химия высокомолекулярных соединений : учебное пособие для вузов / М. В. Шишонок. — Минск : Вышэйшая школа, 2021. — 624 с.

УДК [544.23/.25 + 678.01](075.8)

ББК 24

Чит. зал №1 — 2 экз.

Книга содержит все разделы химии высокомолекулярных соединений (полимеров): историю, классификацию, номенклатуру, структуру, растворы, синтез и модификацию полимеров, современные полимерные материалы. Издание основано на оригинальных лекциях автора. Отличается единообразием химических формул. Характерная особенность учебного пособия — авторские иллюстрированные обзоры патентов, в которых изложена суть изобретения: выявлены закономерности, реакции, обеспечившие успех в решении определенной современной задачи. Обзоры позволяют читателю оценить практическую значимость, живую связь фундаментальных дисциплин и современных разработок.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	14
РАЗДЕЛ I. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ.....	17
ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ ХИМИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	18
1.1. Значимость высокомолекулярных соединений.....	18
1.2. Макромолекулы	21
<i>Цепное строение.....</i>	<i>21</i>
<i>Формула макромолекулы</i>	<i>23</i>
<i>Экспериментальные доказательства Штаудингера.....</i>	<i>25</i>
<i>Степень асимметрии макромолекулы</i>	<i>27</i>
<i>Подтверждения Сведберга, Марка и Мейера.....</i>	<i>27</i>
1.3. Становление самостоятельной науки	31
1.4. Специфические свойства высокомолекулярных соединений	32
ГЛАВА 2. ПОЛИМЕРНЫЕ И ОЛИГОМЕРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ	35
2.1. Высокомолекулярные соединения.....	35
<i>Гомополимеры и гетерополимеры</i>	<i>35</i>
2.2. Олигомерные соединения	37
<i>Терминология.....</i>	<i>37</i>
<i>Классификация.....</i>	<i>37</i>
<i>Синтез</i>	<i>39</i>
<i>Применение</i>	<i>41</i>
РАЗДЕЛ II. КЛАССИФИКАЦИЯ И НОМЕНКЛАТУРА ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	46
ГЛАВА 3. КЛАССИФИКАЦИЯ	47
3.1. Происхождение высокомолекулярного соединения.....	47
<i>Биополимеры</i>	<i>47</i>
<i>Искусственные полимеры.....</i>	<i>48</i>
<i>Синтетические полимеры</i>	<i>49</i>
3.2. Структура цепи в целом	50
<i>Линейные и нелинейные цепи</i>	<i>50</i>
<i>Разветвленные цепи</i>	<i>52</i>

<i>Сшитые цепи</i>	55
<i>Влияние структуры цепи в целом на свойства полимеров</i>	58
3.3. Химический состав цепи	60
3.4. Вид и взаимное расположение мономерных звеньев в цепи	62
<i>Классификация сополимеров</i>	62
ГЛАВА 4. НОМЕНКЛАТУРА	65
4.1. Типы номенклатурных систем	65
4.2. Номенклатура линейных высокомолекулярных соединений.....	66
<i>Номенклатура линейных органических высокомолекулярных соединений</i>	66
<i>Номенклатура линейных элементоорганических и неорганических высокомолекулярных соединений</i>	74
4.3. Номенклатура нелинейных высокомолекулярных соединений	75
<i>Номенклатура нелинейных гомополимеров</i>	75
<i>Номенклатура нелинейных гетерополимеров (сополимеров)</i>	76
РАЗДЕЛ III. СТРУКТУРА МАКРОМОЛЕКУЛЫ	79
ГЛАВА 5. МОЛЕКУЛЯРНО-МАССОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	80
5.1. Неоднородность по молекулярной массе	80
5.2. Средние значения молекулярной массы.....	81
<i>Среднечисловая молекулярная масса</i>	81
<i>Среднемассовая молекулярная масса</i>	82
<i>Среднеседиментационная молекулярная масса</i>	83
<i>Средневязкостная молекулярная масса</i>	84
5.3. Характеристики неоднородности по молекулярной массе	84
<i>Показатель полидисперсности</i>	84
<i>Кривые молекулярно-числового и молекулярно-массового распределения</i>	85
<i>Методы фракционирования</i>	86
5.4. Практическая значимость молекулярно-массовых характеристик	88
<i>Влияние молекулярно-массовых характеристик на физико-механические свойства высокомолекулярных соединений</i>	88
<i>Молекулярно-массовые характеристики высокомолекулярных соединений, используемых в пищевой и фармацевтической промышленности</i>	89
ГЛАВА 6. КОНФИГУРАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛЫ	92
6.1. Конфигурационное звено.....	92
6.2. Конфигурационные уровни виниловых цепей.....	93
<i>Конфигурация мономерного звена</i>	93
<i>Конфигурация диады</i>	94
<i>Дальний конфигурационный порядок</i>	96
6.3. Конфигурационные уровни диеновых цепей	98
<i>Конфигурация мономерного звена</i>	98
<i>Конфигурация диады</i>	99
<i>Дальний конфигурационный порядок</i>	99

6.4. Дитактичность.....	101
6.5. Влияние конфигурации на свойства соединений	104
<i>Влияние дальнего порядка</i>	104
ГЛАВА 7. КОНФОРМАЦИЯ МАКРОМОЛЕКУЛЫ	106
7.1. Конформационные уровни макромолекул	106
<i>Конформация мономерного звена</i>	106
<i>Конформация диады</i>	108
<i>Дальний конформационный порядок</i>	109
<i>Конформация цепи в целом</i>	113
<i>Конформация цепи в целом и фазовые состояния</i>	119
7.2. Практическая значимость конформационных переходов	119
ГЛАВА 8. ГИБКОСТЬ МАКРОМОЛЕКУЛЫ	123
8.1. Модель свободно сочлененной цепи	123
<i>Вывод аналитической зависимости расстояния между концами цепи от длины цепи</i>	126
<i>Вывод функции распределения расстояний между концами свободно сочлененных цепей</i>	129
8.2. Модель с фиксированными валентными углами	143
8.3. Модель заторможенного вращения.....	143
ГЛАВА 9. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ	147
9.1. Сегмент Куна	147
9.2. Факторы, определяющие термодинамическую гибкость.....	149
<i>Химический состав основной цепи</i>	150
<i>Полярность боковых групп</i>	152
<i>Объем боковых групп</i>	153
<i>Взаимное расположение боковых групп</i>	153
<i>Структура цепи в целом</i>	154
9.3. Заключение	157
РАЗДЕЛ IV. СТРУКТУРА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИМЕРНЫХ ТЕЛ	161
ГЛАВА 10. НАДМОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА	162
10.1. Терминология.....	162
10.2. Основные методы исследования	163
10.3. Структура аморфных тел.....	164
<i>Сетка перекрывающихся статистических клубков</i>	164
<i>Глобулярная структура</i>	167
10.4. Условия кристаллизации	168
<i>Дальний одномерный порядок цепи</i>	168
<i>Термодинамическое условие</i>	170
<i>Кинетическое условие</i>	172

10.5. Структура кристаллических тел.....	172
<i>Структоны</i>	172
<i>Монокристаллы</i>	174
<i>Кристаллиты</i>	177
<i>Шши-кебабы</i>	178
<i>Сферолиты</i>	180
<i>Эдриты, овоиды, дендриты</i>	181
<i>Фибриллы</i>	182
<i>Глобулы</i>	185
10.6. Структурная неоднородность кристаллических тел.....	185
<i>Степень кристалличности</i>	186
ГЛАВА 11. РЕЛАКСАЦИОННЫЕ СОСТОЯНИЯ	190
11.1. Терминология.....	190
11.2. Термомеханическая кривая.....	191
11.3. Стеклообразное состояние.....	193
<i>Упругие деформации</i>	193
<i>Стеклообразные полимеры</i>	194
<i>Теории стеклования</i>	195
11.4. Высокоэластическое состояние.....	199
<i>Переходная область</i>	199
<i>Развитое высокоэластическое состояние</i>	199
<i>Отличительные признаки высокоэластической деформации</i>	200
11.5. Вязкотекучее состояние.....	203
<i>Пластические деформации</i>	203
11.6. Заключение.....	205
ГЛАВА 12. КИНЕТИЧЕСКИЙ СЕГМЕНТ	207
12.1. Экспериментальное определение молекулярной массы кинетического сегмента.....	207
<i>Термомеханические кривые гомологов</i>	207
<i>Формула Каргина и Слонимского</i>	209
12.2. Факторы, определяющие кинетическую гибкость.....	210
<i>Химический состав основной цепи</i>	210
<i>Объем боковых групп</i>	210
<i>Полярность и взаимное расположение боковых групп</i>	212
<i>Тактичность цепи</i>	212
<i>Структура цепи в целом</i>	212
<i>Степень кристалличности и степень ориентации</i>	213
<i>Температура и скорость деформирования</i>	213
ГЛАВА 13. ВЫСОКОЭЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ	215
13.1. Термодинамика высокоэластической деформации.....	215
13.2. Релаксационные свойства полимеров.....	218
<i>Релаксация напряжения</i>	218
<i>Упругое последствие, или ползучесть</i>	220

<i>Практическая значимость релаксационных процессов</i>	222
<i>Упругий гистерезис</i>	222
13.3. Принцип температурно-временной суперпозиции.....	224
<i>Число Деборы</i>	225
<i>Термомеханические кривые</i>	226
ГЛАВА 14. КИНЕТИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ	228
14.1. Образование центров кристаллизации.....	228
<i>Гомогенное зародышеобразование</i>	228
<i>Гетерогенное зародышеобразование</i>	230
14.2. Кинетические особенности кристаллизации.....	231
<i>Несовпадение температур плавления и кристаллизации</i>	231
<i>Вторичная кристаллизация</i>	233
<i>Интервал температуры плавления</i>	236
ГЛАВА 15. ВЫНУЖДЕННОЭЛАСТИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ	240
15.1. Вынужденноэластические деформации стеклообразных тел.....	240
<i>Природа вынужденноэластической деформации</i>	241
<i>Особенности вынужденноэластической деформации</i>	243
<i>Факторы, влияющие на деформационные свойства</i>	244
15.2. Вынужденноэластические деформации кристаллических тел.....	247
<i>Факторы, влияющие на деформационные свойства</i>	251
15.3. Сравнение деформационных свойств стеклообразных и кристаллических тел.....	251
15.4. Практическая значимость вынужденной эластичности.....	252
<i>Положительные аспекты</i>	252
<i>Отрицательные аспекты</i>	252
РАЗДЕЛ V. ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ	254
ГЛАВА 16. ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ	255
16.1. Терминология.....	255
16.2. Классификация жидкокристаллических соединений.....	256
<i>Лиотропные соединения</i>	256
<i>Термотропные соединения</i>	261
<i>Нематики</i>	264
<i>Смектики</i>	265
<i>Холестерики</i>	266
ГЛАВА 17. НАБУХАНИЕ	267
17.1. Классификация процессов набухания.....	268
<i>Межкристаллитное и внутрикристаллитное набухание</i>	268
<i>Ограниченное и неограниченное набухание</i>	270

17.2. Факторы, определяющие тип, скорость и степень набухания	270
<i>Степень кристалличности</i>	271
<i>Пористость</i>	272
<i>Степень ориентации</i>	273
<i>Релаксационное состояние</i>	273
<i>Химический состав</i>	273
<i>Структура цепи в целом</i>	273
<i>Молекулярная масса</i>	273
<i>Температура набухания</i>	273
17.3. Кинетика набухания	274
<i>Кинетические кривые ограниченного набухания</i>	274
<i>Кинетические кривые неограниченного набухания</i>	275
17.4. Практическая значимость набухания	276
<i>Давление набухания</i>	276
<i>Модификация полимера</i>	276
<i>Студнеобразование</i>	277
ГЛАВА 18. ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В РАСТВОРАХ	282
18.1. Практическая значимость и особенности полимерных растворов	282
18.2. Термодинамическая устойчивость растворов	283
18.3. Ограниченная растворимость	284
<i>Фазовые диаграммы систем полимер / растворитель</i>	285
18.4. Практическая значимость фазового разделения	288
<i>Фракционирование</i>	289
<i>Студнеобразование</i>	290
<i>Формование временных покрытий</i>	294
ГЛАВА 19. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАСТВОРОВ	296
19.1. Модель регулярного раствора	296
19.2. Комбинаториальная энтропия смешения	297
<i>Определение молекулярной массы термодинамического сегмента по закону Рауля</i>	299
19.3. Энтальпия смешения	299
19.4. Уравнение состояния высокомолекулярного соединения в растворе	300
<i>Определение среднечисловой молекулярной массы</i>	302
<i>Определение термодинамического качества растворителя</i>	303
19.5. θ -условия	304
<i>Коэффициент набухания макромолекулы</i>	305
<i>Определение молекулярной массы термодинамического сегмента по закону Вант-Гоффа</i>	306
ГЛАВА 20. ВЯЗКОСТЬ РАСТВОРОВ	307
20.1. Гидродинамические свойства макромолекул в разбавленных растворах	307
<i>Типы вязкостей полимерных растворов</i>	308
<i>Определение средневязкостной молекулярной массы</i>	310

<i>Определение степени полидисперсности</i>	311
<i>Определение среднеквадратичного расстояния между концами цепи</i>	311
<i>Классификация растворов</i>	313
20.2. Особенности гидродинамических свойств полиэлектролитов	313
<i>Классификация полиэлектролитов</i>	313
<i>Полиэлектролитное набухание</i>	316
<i>Изоэлектрическая точка</i>	316
РАЗДЕЛ VI. ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	318
ГЛАВА 21. СТУПЕНЧАТАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	319
21.1. Исходные реагенты	319
21.2. Классификация процессов ступенчатой полимеризации	322
<i>Гомополиконденсация</i>	323
<i>Гетерополиконденсация</i>	324
<i>Сополиконденсация</i>	324
<i>Гомофункциональная поликонденсация</i>	325
<i>Гетерофункциональная поликонденсация</i>	326
<i>Линейная поликонденсация</i>	326
<i>Трехмерная поликонденсация</i>	327
<i>Полициклоконденсация</i>	327
<i>Равновесная поликонденсация</i>	329
<i>Неравновесная поликонденсация</i>	329
<i>Поликонденсация в расплаве</i>	332
<i>Поликонденсация в растворе</i>	332
<i>Межфазная поликонденсация</i>	333
<i>Твердофазная поликонденсация</i>	334
21.3. Кинетика ступенчатой полимеризации	334
<i>Скорость ступенчатой полимеризации</i>	334
<i>Уравнение Карозерса</i>	337
<i>Точка гелеобразования</i>	338
<i>Среднечисловая степень полимеризации при равновесной поликонденсации</i>	340
<i>Среднечисловая степень полимеризации и стехиометрия реагентов</i>	340
<i>Среднечисловая степень полимеризации и монофункциональные примеси</i>	341
<i>Молекулярно-массовое распределение продуктов линейной поликонденсации</i>	341
ГЛАВА 22. РАДИКАЛЬНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	344
22.1. Механизм. Терминология	344
22.2. Классификация процессов цепной полимеризации	345
<i>Блочная полимеризация</i>	346
<i>Суспензионная полимеризация</i>	346
<i>Эмульсионная полимеризация</i>	347
<i>Полимеризация в растворе</i>	348
22.3. Реакционная способность мономеров и радикалов	348
<i>Влияние сопряжения</i>	348
<i>Влияние экранирования двойной связи</i>	350

<i>Влияние полярности двойной связи</i>	351
22.4. Элементарные стадии радикальной полимеризации	351
<i>Инициирование</i>	351
<i>Рост цепи</i>	359
<i>Изомеризационная полимеризация</i>	360
<i>Обрыв цепи</i>	361
<i>Передача цепи</i>	364
22.5. Кинетика радикальной полимеризации	371
<i>Скорость радикальной полимеризации</i>	371
<i>Среднечисловая степень полимеризации</i>	372
<i>Длина кинетической цепи</i>	374
ГЛАВА 23. КАТИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	376
23.1. Сравнение ионной и радикальной полимеризации	376
23.2. Мономеры катионной полимеризации	377
23.3. Катализаторы катионной полимеризации	378
<i>Сокатализаторы</i>	378
23.4. Элементарные стадии катионной полимеризации	379
<i>Инициирование кислотами Льюиса</i>	379
<i>Инициирование протонными кислотами</i>	380
<i>Инициирование другими катализаторами</i>	381
<i>Рост цепи</i>	381
<i>Изомеризационная полимеризация</i>	382
<i>Обрыв цепи</i>	384
<i>Передача цепи на мономер</i>	385
<i>Передача цепи на полимер</i>	386
<i>Передача цепи на сокатализатор</i>	387
<i>Передача цепи на растворитель и регулятор молекулярной массы</i>	388
23.5. Кинетика катионной полимеризации	388
<i>Скорость катионной полимеризации</i>	388
<i>Среднечисловая степень полимеризации</i>	389
ГЛАВА 24. АНИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ	391
24.1. Сравнение анионной и катионной полимеризации	391
24.2. История анионной полимеризации	391
24.3. Мономеры анионной полимеризации	391
24.4. Катализаторы анионной полимеризации	392
24.5. Элементарные стадии анионной полимеризации	393
<i>Реакции, инициированные по механизму присоединения свободного аниона</i>	393
<i>Реакции, инициированные по механизму переноса электрона</i>	394
24.6. «Живая» полимеризация	399
<i>«Живая» блоксополимеризация</i>	400
<i>Инициирование литийорганическими соединениями</i>	402
24.7. Кинетика анионной полимеризации	403

<i>Скорость анионной полимеризации</i>	403
<i>Скорость «живой» анионной полимеризации</i>	404
<i>Среднечисловая степень полимеризации</i>	404

ГЛАВА 25. КООРДИНАЦИОННАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ..... 407

25.1. Анионно-координационная полимеризация диенов.....	407
<i>Синтез цистактических полимеров</i>	408
<i>Синтез транстактических полимеров</i>	410
25.2. Стереоспецифическая полимеризация на катализаторах Циглера – Натта.....	411
<i>Синтез изотактических полимеров</i>	413
<i>Синтез синдиотактических полимеров</i>	414

РАЗДЕЛ VII. РЕАКЦИИ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.... 416

ГЛАВА 26. ОСОБЕННОСТИ РЕАГИРОВАНИЯ..... 417

26.1. Надмолекулярные эффекты.....	417
<i>Доступность структуры полимерных тел химическим реагентам</i>	417
<i>Нивелирование надмолекулярных эффектов</i>	420
26.2. Конформационные эффекты.....	428
<i>Конфигурационные и конформационные эффекты в совокупности</i>	430
26.3. Конфигурационные эффекты.....	430
<i>Дальний и ближний конфигурационный порядок</i>	430
26.4. Анхимерное ускорение.....	431

ГЛАВА 27. ПОЛИМЕРАНАЛОГИЧНЫЕ РЕАКЦИИ..... 435

27.1. Открытие Шёнбайна.....	435
27.2. Реакции природных соединений.....	437
<i>Характеристики продуктов модификации</i>	437
<i>Ацилирование полисахаридов</i>	437
<i>Деацилирование полисахаридов</i>	440
<i>О-алкилирование полисахаридов</i>	442
<i>Окисление полисахаридов</i>	445
27.3. Реакции синтетических соединений.....	448
<i>Алкоголиз поливинилацетата</i>	448
<i>Этерификация поливинилового спирта</i>	449
<i>Ацеталирование поливинилового спирта</i>	449
<i>Дегидратация поливинилового спирта</i>	451
<i>Реакции замещения гомо- и гетерополимеров стирола</i>	451
<i>Хлорирование насыщенных полиуглеводородов</i>	454
<i>Сульфохлорирование насыщенных полиуглеводородов</i>	456
<i>Сульфирование насыщенных полиуглеводородов</i>	457
<i>Хлорирование ненасыщенных полиуглеводородов</i>	458

ГЛАВА 28. РЕАКЦИИ С УМЕНЬШЕНИЕМ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ..... 461

28.1. Классификация реакций.....	461
----------------------------------	-----

28.2. Деструкция по закону случая.....	462
<i>Гидролитическая деструкция</i>	462
<i>Окислительная деструкция</i>	474
<i>Радиационная деструкция</i>	475
<i>Термоокислительная деструкция</i>	476
28.3. Деполимеризация.....	477
<i>Термическая деполимеризация</i>	477
28.4. Решение экологических проблем.....	479
<i>Конверсия высокомолекулярных соединений в низкомолекулярные</i>	479
<i>Синтез биоразлагаемых высокомолекулярных соединений</i>	480
ГЛАВА 29. РЕАКЦИИ С УВЕЛИЧЕНИЕМ СТЕПЕНИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ	487
29.1. Сшивание	487
<i>Актуальность</i>	487
<i>Сшивание по цепным реакциям</i>	488
<i>Сшивание по реакциям конденсации</i>	497
29.2. Привитая сополимеризация	503
<i>Прививка по реакциям радикальной сополимеризации</i>	503
<i>Прививка по реакциям анионной сополимеризации</i>	510
<i>Прививка по реакциям катионной сополимеризации</i>	512
<i>Прививка по реакциям поликонденсации</i>	512
ГЛАВА 30. ИНТЕРПОЛИМЕРНЫЕ РЕАКЦИИ	514
30.1. Терминология.....	514
30.2. Номенклатура интерполимерных комплексов	515
30.3. Актуальность интерполимерных комплексов.....	515
30.4. Кооперативный характер интерполимерных реакций	516
<i>Эффект застезжки</i>	517
<i>Глубина реакции</i>	519
30.5. Классификация интерполимерных комплексов	519
<i>Стереоконплексы</i>	520
<i>Комплексы с переносом заряда</i>	521
<i>Комплексы за счет водородных связей</i>	521
<i>Стехиометрические полиэлектролитные комплексы</i>	523
<i>История полиэлектролитных комплексов</i>	527
<i>Нестехиометрические полиэлектролитные комплексы</i>	528
30.6. Интерполиэлектролитные реакции	530
30.7. Применение нерастворимых полиэлектролитных комплексов	532
<i>Связывание дисперсных материалов</i>	533
<i>Флокуляция</i>	534
<i>Мембранное разделение</i>	535
<i>Капсулирование</i>	537
<i>Выделение ДНК. Полиплексы</i>	540

30.8. Применение растворимых полиэлектролитных комплексов.....	540
<i>Дендриплексы</i>	540
РАЗДЕЛ VIII. СОВРЕМЕННЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	543
ГЛАВА 31. ПОЛИМЕРНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ	544
31.1. Наночастицы	544
<i>Дендримеры</i>	544
<i>Глобулы</i>	546
31.2. Наноролуны.....	547
31.3. Нанопирамиды.....	548
31.4. Нанопористые пленки	554
31.5. Нанокапсулы	555
31.6. Наноконпозиты	557
<i>Терминология</i>	557
<i>Классификация</i>	557
<i>Металлополимерные наноконпозиты</i>	557
<i>Металлоуглеродные наноконпозиты</i>	565
<i>Полимер-силикатные наноконпозиты</i>	568
<i>Полимер-углеродные наноконпозиты</i>	570
ГЛАВА 32. ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	572
32.1. Классификация проводящих высокомолекулярных соединений	572
32.2. Условия электропроводности на молекулярном уровне	572
<i>Макромолекулярная структура</i>	572
<i>Количественные характеристики электропроводящих полимеров</i>	574
32.3. Синтез электропроводящих высокомолекулярных соединений	575
<i>Координационная полимеризация</i>	575
<i>Электрохимическое окисление</i>	575
32.4. Модификация электропроводящих высокомолекулярных соединений	576
<i>Допирование</i>	577
<i>Ориентация в режиме вынужденноэластической деформации</i>	578
<i>Ориентационная кристаллизация</i>	578
<i>Ориентационная кристаллизация в процессе синтеза</i>	581
32.5. Условия электропроводности на надмолекулярном уровне	582
32.6. Применение электропроводящих материалов.....	582
ПРИЛОЖЕНИЯ	586
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	587
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. НАЗВАНИЯ И ФОРМУЛЫ ПОЛИМЕРОВ И СОПОЛИМЕРОВ	601
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ОСНОВНЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ	620