

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редакторов перевода	12
Предисловие Жака Фриделя	13
От редактора серии. Частично упорядоченные системы	19
Предисловие. Что такое «мягкая» материя. Цель этой книги	20
Таблица констант, перевод единиц СИ в СГС, символы соотношений	24
ГЛАВА 1. Конденсированная среда: общие характеристики, химические связи и взаимодействие частиц	25
§ 1.1. Энтропия в неупорядоченных системах	25
§ 1.2. Центральные и направленные силы между атомами	27
1.2.1. Металлическая связь	27
1.2.2. Связи, образованные флуктуирующими диполями	28
1.2.3. Ковалентная связь	29
1.2.4. Ионная связь	29
1.2.5. От ионной связи к ковалентной связи в кристаллах	31
§ 1.3. Силы между молекулами	31
1.3.1. Электростатическая связь в диэлектрической среде	31
1.3.2. Электрические диполи	32
1.3.3. Индуцированные диполи, поляризуемость	35
1.3.4. Силы отталкивания	38
1.3.5. Эмпирические потенциалы взаимодействия	43
1.3.6. Вода, водородная связь. Гидрофильный и гидрофобный эффекты	44
§ 1.4. Силы Ван-дер-Ваальса между макроскопическими частицами	46
1.4.1. Парное суммирование молекулярных сил; константа Гамакера	46
1.4.2. Эффекты запаздывания	47
1.4.3. Взаимодействие Лондона в среде, теория Лифшица	51
1.4.4. Взаимодействия Казимира	52
§ 1.5. Полимеры и биологические молекулы	53
1.5.1. Синтетические полимеры	53
1.5.2. Аминокислоты, белки	56
1.5.3. ДНК	60
1.5.4. Ассоциация белков: вирус табачной мозаики, микротрубочки	62

ГЛАВА 2. Атомные и молекулярные упорядочения	67
§ 2.1. Атомный порядок	67
2.1.1. Плотность упаковки	67
2.1.2. Жидкости и аморфные среды	69
2.1.3. Геометрическая фрустрация	72
2.1.4. Несоразмерные фазы и квазикристаллы	75
§ 2.2. Молекулярное упорядочение	79
2.2.1. Пластические кристаллы	79
2.2.2. Строительные блоки жидких кристаллов	80
2.2.3. Классификация мезоморфных фаз	86
2.2.4. Изотропные фазы	94
§ 2.3. Нарушения кристаллического порядка	96
2.3.1. Слабые нарушения	96
2.3.2. Сильные нарушения	97
ГЛАВА 3. Параметр порядка: амплитуда и фаза	101
§ 3.1. Пространство параметра порядка	101
3.1.1. Сверхтекучий гелий	101
3.1.2. Гейзенберговский ферромагнетик	103
3.1.3. X-Y ферромагнетик	104
3.1.4. Одноосные нематики	105
3.1.5. Кристаллические твердые тела	107
3.1.6. Переходы порядок–беспорядок в сплавах	107
§ 3.2. Характерный для жидких кристаллов параметр порядка: директор	109
3.2.1. Микроскопическое определение	109
3.2.2. Макроскопические свойства	111
§ 3.3. Распространение света в анизотропных средах	115
3.3.1. Уравнение Френеля	116
3.3.2. Обыкновенная и необыкновенная волны	118
3.3.3. Наблюдения в поляризованном свете. Микроскопия	120
ГЛАВА 4. Фазовые переходы	131
§ 4.1. Модель Ландау–де Жена перехода одноосный нематик–изотропная фаза	131
§ 4.2. Нематический порядок и молекулярно-статистическая теория для стержнеобразных молекул	136
4.2.1. Свободная энергия раствора сферических частиц	136
4.2.2. Свободная энергия раствора жестких стержней	139
§ 4.3. Теория молекулярного поля Майера–Заупе для перехода изотропная жидкость–нематик	142

§ 4.4. Переход смектик А–нематик	144
4.4.1. Параметр порядка	144
4.4.2. Разложение Гинзбурга–Ландау	144
4.4.3. Аналогия со сверхпроводниками	147
4.4.4. Характерные длины	148
4.4.5. Аномалии модулей K_2 и K_3	150
4.4.6. Фазы Абриковского с дислокациями	151
§ 4.5. Модель Костерлица–Таулесса	155
ГЛАВА 5. Упругость мезоморфных фаз	162
§ 5.1. Одноосные нематики и холестерики	162
5.1.1. Плотность свободной энергии	162
5.1.2. Геометрическая интерпретация деформаций директора	164
5.1.3. Упругие постоянные материалов	167
§ 5.2. Слоистые фазы	172
5.2.1. Плотность свободной энергии	172
5.2.2. Деформации поперечного и седловидного изгиба	173
5.2.3. Плотность свободной энергии при малых деформациях	176
§ 5.3. Нематик во внешнем поле	177
§ 5.4. Типичные приложения упругости нематиков	181
5.4.1. Минимизация свободной энергии в общем случае	181
5.4.2. Нематические пленки с гибридной ориентацией	184
5.4.3. Эффекты во внешнем поле: характерные длины и переход Фредерика	189
§ 5.5. Типичные приложения упругости смектиков	192
5.5.1. Слабо деформированная смектическая фаза	192
5.5.2. Сильно деформированные смектические фазы и топологические деформации	195
§ 5.6. Термодинамические флуктуации	198
5.6.1. Термодинамические флуктуации в нематиках	199
5.6.2. Термодинамические флуктуации в смектиках	201
5.А. Приложение А. Одномерная вариационная задача	202
5.Б. Приложение Б. Формулы для преобразований Фурье	205
ГЛАВА 6. Динамика изотропной и анизотропной жидкостей	213
§ 6.1. Поле скорости и тензор напряжений	214
6.1.1. Материальные производные и компоненты движения жидкости	214
6.1.2. Объемные и поверхностные силы. Тензор напряжений	216
§ 6.2. Движение изотропной жидкости	218
6.2.1. Сохранение массы: уравнение непрерывности	218
6.2.2. Уравнение импульса	218
6.2.3. Уравнение баланса энергии	220

6.2.4. Уравнение производства энтропии	221
6.2.5. Тензор вязкого напряжения	224
6.2.6. Уравнения Навье–Стокса. Число Рейнольдса. Ламинарные и турбулентные течения	225
§ 6.3. Нематодинамика в модели Эриксона–Лесли	227
6.3.1. Уравнение момента количества движения	228
6.3.2. Уравнение баланса энергии	230
6.3.3. Уравнение производства энтропии	230
6.3.4. Недиссипативная динамика	232
6.3.5. Диссипативная динамика	232
§ 6.4. Нематодинамика в гарвардской теории	235
6.4.1. Динамика директора и диссипативный тензор напряжений	235
6.4.2. Краткое изложение положений нематодинамики	237
§ 6.5. Применения нематодинамики	240
6.5.1. Вискозиметрия нематика	240
6.5.2. Ориентация течением и опрокидывание ориентации нематиков с ди- ректором в плоскости сдвига	243
6.5.3. Неустойчивости поля директора, перпендикулярного к плоскости сдвига	248
§ 6.6. Гидродинамические моды	248
ГЛАВА 7. Фракталы и явления роста	254
§ 7.1. Основные концепции фракталов	255
7.1.1. Длина линии	256
7.1.2. Кривая Коха	256
7.1.3. Самоподобие	258
7.1.4. Оценка фрактальных размерностей	259
7.1.5. Детерминированные и случайные фракталы	261
7.1.6. Броуновское движение и случайное блуждание	262
7.1.7. Парная корреляционная функция	264
7.1.8. Нижний и верхний пределы	267
§ 7.2. Перколяция (протекание)	267
7.2.1. Геометрическое протекание	267
7.2.2. Протекание и фазовые переходы второго рода	270
7.2.3. Кластеры конечных размеров на пороге протекания	272
7.2.4. Фрактальная размерность перколяционного кластера	274
7.2.5. Протекание на решетке Бете	275
7.2.6. Протекание и ренормализационная группа	277
§ 7.3. Агрегация	279
7.3.1. Кластер-кластерная агрегация	280
7.3.2. Модель Виттена–Сандера диффузионно-контролируемой агрегации	282
7.3.3. Непрерывная лапласова модель	283

§ 7.4. Вязкие пальцы в ячейке Хеле–Шоу	285
7.4.1. Течение в тонкой ячейке	287
7.4.2. Неустойчивость границы раздела	287
ГЛАВА 8. Дислокации в твердых телах. Пластическая релаксация	294
§ 8.1. Упругость дислокаций	294
8.1.1. Линейная упругость: сводка	294
8.1.2. Внешние и внутренние напряжения	296
§ 8.2. Дислокации Вольтерра	297
8.2.1. Определения	297
8.2.2. Упругие поля, связанные с дефектами Вольтерра	297
§ 8.3. Простые топологические характеристики дислокаций	301
8.3.1. Эквивалентные контуры	301
8.3.2. Дислокации в кристаллах	302
8.3.3. Несовершенные дислокации. Дефекты упаковки и двойники	303
§ 8.4. Некоторые замечания об упругой энергии дислокаций	305
8.4.1. Стабильность	305
8.4.2. Силы изображения. Силы Пича–Келера	306
8.4.3. Линейное натяжение	308
8.4.4. Механизм Франка–Рида	309
8.4.5. Дислокационное ядро	310
§ 8.5. Подвижность дислокаций	311
8.5.1. Элементарные перемещения дислокации	311
8.5.2. Скольжение и напряжение Пайерлса	313
§ 8.6. Точечные дефекты и переползание	318
8.6.1. Вакансии и междоузлия	318
8.6.2. Диффузия точечных дефектов и самодиффузия	319
8.6.3. Ползучесть	323
§ 8.7. Ансамбли дислокаций	325
8.7.1. Сетка Франка	325
8.7.2. Субграницы	326
8.7.3. Большие разориентации, двойники и эпитаксиальные дислокации, мар- тенситные превращения	328
ГЛАВА 9. Дислокации в смектических и колончатых фазах	332
§ 9.1. Статические дислокации в смектиках	332
9.1.1. Краевые дислокации с малыми и большими векторами Бюргерса	332
9.1.2. Винтовая дислокация	340
9.1.3. Линейное натяжение винтовой дислокации	344

9.1.4	Напряжения в SmA и сила Пича – Келера	346
§ 9.2.	Дислокации в колончатых фазах	347
9.2.1.	Продольные краевые дислокации в колончатых гексагональных жидких кристаллах	347
9.2.2.	Поперечные краевые дислокации	348
9.2.3.	Винтовые дислокации	350
9.2.4.	Свободные флуктуации продольных дислокаций	352
§ 9.3.	Гидродинамика смектической фазы	353
§ 9.4.	Динамические моды в смектиках	358
§ 9.5.	Движение изолированных дислокаций в SmA-фазе	359
9.5.1.	Краевая дислокация	359
9.5.2.	Винтовая дислокация	362
§ 9.6.	Коллективное поведение дислокаций и нестабильности	363
9.6.1.	Общие замечания	363
9.6.2.	Коллективное переползание дислокаций в SmA	364
9.6.3.	Размножение краевых дислокаций	365
ГЛАВА 10. Дефекты кривизны в смектиках и колончатых фазах . . . 369		
§ 10.1.	Кривизна в твердых кристаллах	369
§ 10.2.	Кривизна в жидких кристаллах: общие замечания	371
§ 10.3.	Кривизна в смектиках	372
10.3.1.	Исторические замечания	372
10.3.2.	Конгруэнции прямых нормалей и конфокальные домены	373
10.3.3.	Конгруэнции нормалей, вариации идеальных конфокальных доменов	375
§ 10.4.	Конфокальные домены	377
10.4.1.	Аналитический подход: основные формулы	377
10.4.2.	Различные виды конфокальных доменов	379
§ 10.5.	Энергия кривизны КФД	383
10.5.1.	КФД-I: Отрицательная гауссова кривизна	384
10.5.2.	Торический КФД с отрицательной гауссовой кривизной	387
10.5.3.	Параболический КФД с отрицательной гауссовой кривизной	387
10.5.4.	КФД-II: положительная гауссова кривизна	390
§ 10.6.	Дефекты кривизны в колончатых фазах	391
10.6.1.	Общее рассмотрение	391
10.6.2.	Развертывающиеся домены	394
10.6.3.	Классификация развертывающихся доменов	395
§ 10.7.	КФД в лиотропных ламеллярных фазах	397
10.7.1.	Маслянистые бороздки	398
10.7.2.	Сферолиты	401

§ 10.8.	Границы зерен и заполнение пространства конфокальными доменами	401
10.8.1.	Конфокальные домены первого вида	402
10.8.2.	Конфокальные домены второго вида	410
§ 10.9.	Реофизика конфокальных доменов	411
10.9.1.	Глобальное вязкоупругое поведение и ориентация при сдвиге	412
10.9.2.	Текстуры	413
ГЛАВА 11. Дисклинация и топологические точечные дефекты. Жидкостная релаксация . . . 422		
§ 11.1.	Линейные и точечные дефекты в одноосных нематиках	423
11.1.1.	Клиновые дисклинация в нематиках	423
11.1.2.	Несингулярные дисклинация	428
11.1.3.	Дисклинация кручения	433
11.1.4.	Линии дефектов в жидкокристаллических полимерах	434
11.1.5.	Сингулярные точки	435
11.1.6.	Закрутка вызванная ограничивающими поверхностями	437
§ 11.2.	Холестерики	439
11.2.1.	Теория упругости на разных масштабах	441
11.2.2.	Слабые деформации типа кручения: двойная закрутка	442
11.2.3.	Дисклинация λ , τ и χ	444
11.2.4.	Дислокации	446
11.2.5.	Другие эффекты слоистой структуры	447
§ 11.3.	За пределы классического процесса Вольгерра, первый шаг	450
11.3.1.	Плотности дислокаций и дисклинаций в описании дисклинаций	451
11.3.2.	Расширение на случай конечных дислокаций	454
11.3.3.	Структура ядра и физические свойства	455
§ 11.4.	Динамические свойства: общие особенности, неустойчивости	456
11.4.1.	Общие свойства	457
11.4.2.	Неустойчивости в изначально бездефектных образцах	458
§ 11.5.	Динамика дефектов	464
11.5.1.	Отдельная дисклинация, сила лобового сопротивления	464
11.5.2.	Взаимодействие и аннигиляция линейных и точечных дефектов	465
11.5.3.	Укрупнение сеток дисклинаций	468
ГЛАВА 12. Топологическая теория дефектов . . . 473		
§ 12.1.	Основные идеи топологической классификации	473
12.1.1.	Топологические заряды на примере листа Мёбиуса	473
12.1.2.	Некоторое отступление: ДНК и перекрученные ленты	475
12.1.3.	Группы: основные определения	477
12.1.4.	Общая схема топологической классификации дефектов	478

12.1.5. Пространство параметра порядка. Группы описывающие преобразования параметра порядка	479
12.1.6. Гомотопические группы	481
12.1.7. Точечные дефекты в двумерной нематической фазе	484
12.1.8. Точечные дислокации в двумерном кристалле	487
§ 12.2. Фундаментальная группа пространства параметра порядка	492
12.2.1. Неустойчивые дисклинации в трехмерном изотропном ферромагнетике	492
12.2.2. Устойчивые дисклинации в трехмерной одноосной нематической фазе	493
12.2.3. Дисклинации в двуосной нематической и холестерической фазах	494
§ 12.3. Вторая гомотопическая группа пространства параметра порядка	499
12.3.1. Точечные дефекты в трехмерном ферромагнетике	499
12.3.2. Топологические заряды точечных дефектов	501
12.3.3. Точечные дефекты в трехмерной нематической фазе	502
§ 12.4. Солитоны	503
12.4.1. Линейные солитоны	506
12.4.2. Частицеподобные солитоны	506
ГЛАВА 13. Поверхностные явления	512
§ 13.1. Поверхностные явления в изотропных средах	512
13.1.1. Поверхностное натяжение и термодинамика плоских границ раздела	512
13.1.2. Адсорбция	515
13.1.3. Искривленные границы раздела	518
13.1.4. Поверхностное натяжение и зародышеобразование новой фазы	521
13.1.5. Смачивание	524
§ 13.2. Поверхностные явления в анизотропных средах	527
13.2.1. Равновесная форма (форма Вульфа) твердых кристаллов	528
13.2.2. Поверхностное сцепление в нематических жидких кристаллах	532
13.2.3. Полевые эффекты в условиях конечного сцепления	535
13.2.4. Тонкие жидкокристаллические пленки; взаимодействия Казимира	540
13.2.5. Топологические дефекты в больших жидкокристаллических каплях	541
13.2.6. Капли в смектиках А	551
ГЛАВА 14. Устойчивость коллоидных систем	560
§ 14.1. Взаимодействия между твердыми поверхностями	562
14.1.1. Уравнение Пуассона–Больцмана	562
14.1.2. Фундаментальные длины в задаче Пуассона–Больцмана	564
14.1.3. Свободная энергия и тензор напряжений Максвелла	566
14.1.4. Слабые растворы электролитов	568
14.1.5. Сильные растворы электролитов	569

14.1.6. Теория Дерягина–Ландау–Вервея–Овербека (ДЛВО): конкуренция ван-дер-ваальсова и электростатического взаимодействий	572
§ 14.2. Взаимодействия в гибких ламеллярных системах	574
14.2.1. Упругость нейтральных мембран	575
14.2.2. Гибкие слои и исключенный объем	583
14.2.3. Ламеллярная, губчатая и кубическая фазы; микроэмульсии	589
§ 14.3. Растворы коллоидных частиц; особенности устойчивости	591
14.3.1. Броуновская флокуляция	593
14.3.2. Флокуляция истощения	594
14.3.3. Стабильность в условиях сдвига; реологические свойства	596
14.3.4. Порядок против беспорядка	598
§ 14.4. Измерения взаимодействий в коллоидных системах	600
ГЛАВА 15. Полимеры: структурные свойства	606
§ 15.1. Идеальные цепи и цепи Флори	607
15.1.1. Конформации одиночной цепи	609
15.1.2. Идеальная (или гауссова) цепь	610
15.1.3. Парная корреляционная функция и радиус инерции	613
15.1.4. Цепь Флори	615
§ 15.2. Цепи во взаимодействии	619
15.2.1. Приближение среднего поля	619
15.2.2. Законы скейлинга для атермических растворов	624
§ 15.3. Фазовое разделение в растворах полимеров и полимерных смесях	627
15.3.1. Равновесные и неравновесные состояния в жидкости	627
15.3.2. Фазовые переходы первого рода — краткий обзор	629
15.3.3. Смеси полимеров	634
15.3.4. Микрофазное расслоение в блок-сополимерах	635
§ 15.4. Жесткие и полугибкие полимеры	638
15.4.1. Жесткие стержни	639
15.4.2. Полугибкие полимеры	639
15.4.3. Хиральность	641
15.А. Приложение А. Центральная предельная теорема	642
15.Б. Приложение Б. Изотермическая сжимаемость и флуктуации плотности; статический линейный отклик	643
Алфавитный указатель	654
Предметный указатель	663