

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора	8
Введение в оптическую биомедицинскую диагностику	11
В.1. Исторический обзор	11
В.2. Спектрофотометрия	13
В.2.1. Непрерывное излучение (13). В.2.2. Ткани глаза (15). В.2.3. Временной подход (16). В.2.4. Частотный метод (17). В.2.5. Метод интерференции волн фотонной плотности (18).	
В.3. Флуоресцентная спектроскопия	18
В.3.1. Основы и методы (18). В.3.2. Флуоресценция кожи человека <i>in vivo</i> (20). В.3.3. Преимущества многофотонной флуоресценции (20).	
В.4. Колебательная спектроскопия	21
В.5. Спектроскопия рассеяния и оптическая когерентная томография	22
В.6. Спектроскопия и томография на основе динамического рассеяния света	24
В.6.1. Фотон-корреляционная спектроскопия (24). В.6.2. Диффузионно-волновая спектроскопия (25).	
В.7. Оптотермическая спектроскопия и томография	25
В.7.1. Оптотермические взаимодействия (25). В.7.2. Оптоакустический метод (26). В.7.3. Метод оптотермической радиометрии (27).	
В.8. Заключение	27
Список литературы	28

Часть I. Взаимодействие лазерного излучения с тканями. Диагностические аспекты

Введение	34
Глава 1. Введение в рассеяние света биологическими объектами	36
1.1. Введение	36
1.2. Три подхода в теории ослабления и рассеяния света в дисперсных средах	37
1.3. Теоретические методы для расчета характеристик рассеяния света отдельными частицами	44
1.3.1. Основные параметры одночастичного рассеяния (44). 1.3.2. Строгие аналитические и численные методы (45). 1.3.3. Приближенные методы (50). 1.3.4. Другие методы и приближения (54).	
1.4. Поглощение и рассеяние света агрегатами сферических частиц и композиционными структурами	54
1.4.1. Приближенные методы и метод дискретных диполей (55). 1.4.2. Метод суперпозиции (мультипольного разложения) (55). 1.4.3. Т-матричный формализм для кластерного рассеяния (59). 1.4.4. Фрактальные агрегаты (60).	
1.5. Спектротурбодиметрия дисперсных систем с упорядоченной ориентацией частиц	64
1.5.1. Прямые и обратные задачи светорассеяния (64). 1.5.2. Метод спектра мутности (65). 1.5.3. Прямые задачи для разбавленных систем с упорядоченной ориентацией частиц (69). 1.5.4. Обратные задачи для дисперсных систем с ориентационно упорядоченными частицами (76).	
1.6. Структура биоткани и соответствующие оптические модели	83
1.6.1. Непрерывные и дискретные модели биотканей (83). 1.6.2. Форма и размеры частиц в дискретных моделях биотканей (84). 1.6.3. Оптические постоянные биоткани, гетерогенность и оптическая мягкость (85). 1.6.4. Анизотропия биотканей (86). 1.6.5. Доля объема, занимаемая частицами (87). 1.6.6. Эффекты пространственной упорядоченности (87). 1.6.7. Фрактальные свойства биотканей (92).	
1.7. Рассеяние света плотноупакованными системами коррелированных рассеивателей	93

1.7.1. Функция радиального распределения $g(r)$ (93).	1.7.2. Рассеяние на системе частиц в приближении однократного рассеяния (95).	1.7.3. Угловые характеристики рассеяния поляризованного излучения (97).	1.7.4. Спектральные характеристики рассеивающих систем (98).	1.7.5. Учет эффектов многократного рассеяния в системе плотноупакованных частиц (102).	1.7.6. Двойное лучепреломление системы анизотропных частиц (105).	
1.8. Применение теории переноса излучения в оптике биотканей						106
1.8.1. Приближенные методы решения уравнения переноса излучения (108).						
1.8.2. Статистическое моделирование методом Монте-Карло (110).						
1.9. Нефелометрические и поляризационные методы диагностики биообъектов. . .						118
1.9.1. Соотношения между элементами матрицы рассеяния света. Критерий деполаризации (119).	1.9.2. Угловая зависимость интенсивности рассеяния неполяризованного света (120).	1.9.3. Методы измерения угловых зависимостей элементов полной матрицы рассеяния (120).	1.9.4. Матрицы рассеяния света некоторых биологических объектов (122).	1.9.5. Эффекты оптической активности (125).		
1.10. Управление оптическими свойствами биоткани						126
1.11. Заключение						140
Список литературы						140
Глава 2. Оптика крови						157
2.1. Введение						157
2.2. Физические свойства клеток крови						159
2.2.1. Эритроциты (160).	2.2.2. Лейкоциты (161).	2.2.3. Тромбоциты (161).				
2.3. Оптические свойства оксигемоглобина и дезоксигемоглобина						162
2.4. Поглощение и рассеяние света одиночным эритроцитом						164
2.4.1. Поперечные сечения поглощения и рассеяния, фазовая функция рассеяния (164).	2.4.2. Экспериментальное определение коэффициента экстинкции крови и фазовой функции рассеяния (166).	2.4.3. Аналитические и численные методы аппроксимации однократного рассеяния света в крови (168).				
2.5. Оптические свойства крови						173
2.5.1. Метод интегрирующих сфер (174).	2.5.2. Методика подготовки образцов крови и проведение измерений (175).	2.5.3. Алгоритмы, используемые для определения оптических свойств цельной и разбавленной крови человека из результатов измерений методом интегрирующей сферы (176).				
2.6. Данные по оптическим свойствам разбавленной и цельной крови человека . .						181
2.6.1. Оптические свойства крови, полученные с использованием прямых методов (181).	2.6.2. Оптические свойства крови, полученные с использованием непрямых методов (184).					
2.7. Практическое значение оптических свойств крови для диагностики						189
Список литературы						191
Глава 3. Распространение импульсов и волн фотонной плотности в мутных средах						197
3.1. Введение						197
3.2. Нестационарная теория переноса						201
3.3. Методы решения нестационарного уравнения переноса						204
3.3.1. Сведение к стационарному случаю (204).	3.3.2. Метод сферических гармоник (207).	3.3.3. Метод дискретных ординат (208).	3.3.4. Метод распределенного источника (208).			
3.4. Метод Монте-Карло						209
3.4.1. Выборка случайных значений переменных (210).	3.4.2. Общий алгоритм Монте-Карло с временным разрешением (211).	3.4.3. Статистическое взвешивание фотонов (213).	3.4.4. Сокращенный метод в частотном представлении (213).	3.4.5. Метод локальной оценки (214).	3.4.6. Гибридный метод (217).	
3.5. Диффузионное приближение						217
3.5.1. Нестационарное уравнение диффузии (218).	3.5.2. Решения в случаях простой геометрии (219).	3.5.3. Численные методы (221).				

3.6. За пределами диффузионного приближения	223
3.7. Роль времени задержки при однократном рассеянии	226
3.8. Заключительные замечания	229
Список литературы	229
Глава 4. Статистические свойства многократно рассеянного когерентного света	234
4.1. Введение	234
4.2. Слабая локализация света при многократном рассеянии в случайно-неоднородных средах	235
4.3. Корреляционные свойства многократно рассеянного когерентного излучения	242
4.3.1. Теоретические основы корреляционного анализа многократно рассеянных динамических спекл-полей (242). 4.3.2. Диффузионно-волновая спектроскопия многократно рассеивающих сред (245).	
4.4. Определение функции плотности вероятности оптических путей: основные методы	252
4.4.1. Анализ процессов переноса излучения в случайно-неоднородных средах на основе статистического анализа распределения оптических путей парциальных составляющих (252). 4.4.2. Диффузионное приближение (252). 4.4.3. Другие подходы (255).	
4.5. Проявление эффекта подобия при многократном рассеянии когерентного света неупорядоченными средами	258
4.6. Заключение	270
Список литературы	270
Глава 5. Фантомы биотканей	273
5.1. Введение	273
5.2. Общий подход к разработке фантомов	274
5.3. Светорассеивающие среды для приготовления фантомов	276
5.4. Поглощающие среды для приготовления фантомов	285
Список литературы	304
Часть II. Импульсная и частотно-фазовая аппаратура для спектроскопии и визуализации ткани	
Введение	310
Глава 6. Визуализация с временным разрешением в рассеивающих средах	312
6.1. Введение	312
6.1.1. Визуализация сквозь мутные ткани с использованием традиционных методов (312). 6.1.2. Повышение контраста изображений в рассеивающих средах: история метода с временным разрешением (313).	
6.2. Основные понятия визуализации с временным разрешением через сильно рассеивающие среды	317
6.2.1. Теневой метод со стробированием (317). 6.2.2. Оптическая томография с временным разрешением (321). 6.2.3. Визуализация с разрешением по глубине (325).	
6.3. Экспериментальные устройства для визуализации с временным разрешением	327
6.3.1. Общие положения (327). 6.3.2. Импульсные источники света (329). 6.3.3. Высокоскоростные системы детектирования (332). 6.3.4. Световоды (337).	
6.4. Экспериментальные подходы к визуализации с временным разрешением	338
6.4.1. 2D-проекция с временной селекцией (338). 6.4.2. Оптическая томография с временным разрешением (343). 6.4.3. Визуализация с разрешением по глубине (348).	

6.5. Будущие клинические применения	350
6.5.1. Оптическая маммография (350). 6.5.2. Томография мозга (351).	
6.6. Выводы	352
Список литературы	353
Глава 7. Фазово-модуляционные методы спектроскопии тканей и формирования изображений	357
7.1. Введение	357
7.2. Аппаратура, методы модуляции, детектирование сигнала	358
7.2.1. Лазеры и дуговые лампы (358). 7.2.2. Импульсные источники (359).	
7.2.3. Лазерные диоды и светодиоды (359). 7.2.4. Оптические детекторы (359).	
7.2.5. Гетеродинное детектирование, обработка цифрового сигнала и фильтрация Фурье (360). 7.2.6. Фазово-модуляционный спектрометр тканей (361).	
7.3. Моделирование распространения света в рассеивающей среде	364
7.3.1. Уравнение переноса Больцмана (364). 7.3.2. Разложение уравнения Больцмана по сферическим гармоникам (365). 7.3.3. P_N -приближение (368).	
7.3.4. P_1 -приближение (368). 7.3.5. Приведенный коэффициент рассеяния (370). 7.3.6. Уравнение P_1 и стандартное уравнение диффузии (371).	
7.3.7. Решение стандартного уравнения диффузии при модуляционном подходе (372).	
7.4. Спектроскопия тканей и оксиметрия	373
7.4.1. Оптические свойства биологической ткани (373). 7.4.2. Абсорбционная спектроскопия тканей (375). 7.4.3. Оксиметрия тканей в ближней инфракрасной области (376). 7.4.4. Измерения оптического рассеяния в тканях (379).	
7.5. Оптическое формирование изображения тканей	380
7.5.1. Основные концепции (380). 7.5.2. Неинвазивное оптическое формирование изображений человеческого мозга (382). 7.5.3. Оптическая маммография (386).	
7.6. Перспективы	389
Список литературы	390
Глава 8. Исследование активности головного мозга методом инфракрасной спектроскопии	398
8.1. Введение	398
8.2. Функциональный визуализатор, использующий непрерывное излучение ближнего инфракрасного диапазона	402
8.2.1. Миграция фотонов (402). 8.2.2. Оборудование и его технические характеристики (404).	
8.3. Мониторинг активности головного мозга человека при помощи оптического функционального визуализатора	410
8.3.1. Память для новых ассоциаций (410). 8.3.2. Эмоциональное мышление (416). 8.3.3. Мысленные вычисления (417). 8.3.4. Распознавание образов — «Где же Уальдо?» (418). 8.3.5. Зрительная стимуляция коры затылочной доли (419). 8.3.6. Возбуждение двигательной коры при постукивании пальцами (420).	
8.4. Перспективы	422
Список литературы	423
Глава 9. Количественное определение и локализация сигнала в спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона	426
9.1. Введение	426
9.2. Оксиметрия	427
9.2.1. Оптическая спектроскопия (428). 9.2.2. Неинвазивная спектроскопия гемоглобина (430). 9.2.3. Спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона (431).	
9.3. Спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона биотканей	431
9.3.1. Кислородозависимые хромофоры (431). 9.3.2. Кислородонезависимые хромофоры (432).	

9.4. Спектроскопия в сильно рассеивающей среде	433
9.5. Абсолютные измерения	436
9.5.1. Использование «прямой модели» переноса излучения (436). 9.5.2. Хемодетрические методы (450).	
9.6. Количественные тренд-измерения	453
9.6.1. Нахождение дифференциального фактора длины пути на данной длине волны (455). 9.6.2. Определение зависимости длины пробега от длины волны (460). 9.6.3. Приборы и оборудование (462). 9.6.4. Алгоритмы (464).	
9.7. Использование количественных тренд-измерений для определения абсолютного значения кровотока, объема крови, насыщения гемоглобина и уровня потребления кислорода в ткани	467
9.7.1. Оценка венозного насыщения посредством плетизмографии венозной окклюзии (467). 9.7.2. Кровоток в ткани скелетных мышц (468). 9.7.3. Абсолютное значение потребления кислорода мышечной тканью (468). 9.7.4. Мозговой кровоток (469). 9.7.5. Церебральный объем крови (470).	
9.8. Влияние формы и неоднородности биотканей	473
9.8.1. Модели переноса излучения (474). 9.8.2. Эффекты неоднородности биотканей (488). 9.8.3. Заключительные замечания (497).	
9.9. Заключение	498
Список литературы	499
Глава 10. Регистрация оптико-акустических импульсов с высоким временным разрешением для измерения распределения оптической энергии в биотканях	506
10.1. Методы изучения распределения оптического излучения в биотканях	506
10.2. Два режима регистрации сигналов в оптоакустике	507
10.3. История оптоакустического метода с временным разрешением	509
10.4. Оптоакустика микронеоднородных сред	511
10.4.1. Тепловыделение в микронеоднородной среде (511). 10.4.2. Распределение энергии излучения в мутной среде (512). 10.4.3. Температурное распределение в микронеоднородной среде (515).	
10.5. Оптоакустические сигналы в биотканях	518
10.5.1. Оптоакустические сигналы в плоской геометрии (518). 10.5.2. Оптоакустические сигналы в сферической геометрии (524). 10.5.3. Дифракция акустических импульсов (526).	
10.6. Технические требования при регистрации импульсов давления с высоким временным разрешением	530
10.6.1. Широкополосный пьезоэлектрический приемник оптоакустических импульсов (530). 10.6.2. Широкополосный пьезоприемник, работающий в режиме холостого хода (532). 10.6.3. Широкополосные акустические приемники, работающие в короткозамкнутом режиме (535). 10.6.4. Оптоакустические приемники (536). 10.6.5. Экспериментальные материалы в модельных оптоакустических измерениях (538). 10.6.6. Временной профиль оптоакустического сигнала, регистрируемого в режиме на просвет (538). 10.6.7. Временной профиль оптоакустического сигнала, зарегистрированного в режиме на отражение (539). 10.6.8. Экспериментальная проверка теоретической модели формы оптоакустических сигналов (540). 10.6.9. Восстановление профиля тепловыделения в слоистой среде (542).	
10.7. Измерение оптических свойств сред оптоакустическим методом	543
10.7.1. Временные профили оптоакустического сигнала в прозрачной и рассеивающей средах (543). 10.7.2. Независимое определение коэффициентов затухания и поглощения света (544). 10.7.3. Эффекты, оказывающие влияние на форму оптоакустического сигнала (545).	
10.8. Выводы и приложения оптоакустического метода	547
Список литературы	548
Предметный указатель	555