

**ПРОГРАММЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО ВЫПУСКНОГО  
ЭКЗАМЕНА ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600– ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА  
ДЛЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЙ МАГИСТЕРСКОЙ ПОДГОТОВКИ  
ФМБФ**

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

## **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

### **«ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА»**

Программа разработана кафедрами: «Химическая физика», «Энергетические проблемы химической физики», «Физика конденсированного состояния и процессов горения и взрыва», «Физика супрамолекулярных систем» в соответствии с магистерскими программами:

511630 – «Химическая физика»,

511635 – «Физика супрамолекулярных систем».

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## **ОБЩАЯ ЧАСТЬ ПРОГРАММЫ**

### **I. Химическая термодинамика и равновесие.**

Равновесное распределение молекул идеального газа. Распределение Максвелла и распределение Больцмана. Распределение Бозе и Ферми. Статистика Гиббса. Термодинамические величины. Термодинамические свойства идеальных газов. Флуктуации. Равновесие фаз. Слабые растворы. Химические равновесия. Поверхностные явления (адсорбция, десорбция).

### **II. Элементарные атомно-молекулярные процессы.**

Упругие столкновения атомов. Полное и дифференциальное сечения рассеяния. Неупругие столкновения. Релаксация и обмен колебательной и вращательной энергии. Модель Ландау - Теллера. Кинетические уравнения для заселенности уровней энергии. Вероятности переходов, сечения и константы скорости прямых и обратных процессов. Поверхность потенциальной энергии для системы 3-х атомов. Метод переходного состояния. Неадиабатические процессы.

Мономолекулярные реакции. Механизм активации молекул. Сильные столкновения и ступенчатое возбуждение. Статистическая модель мономолекулярных реакций.

Термический распад двухатомных молекул. Бимолекулярные реакции, идущие через образование промежуточного комплекса. Прямые бимолекулярные реакции: рикошетный механизм, механизм срыва, механизм прямого выбивания. Распределение энергии в бимолекулярных реакциях.

### **III. Кинетика химических реакций.**

Механизм и скорость химической реакции. Кинетическое уравнение. Порядок реакции. Константа скорости и энергия активации. Односторонние и обратимые реакции первого и второго порядка. Кинетика реакции первого порядка в открытой системе. Стационарный режим в открытой системе. Кинетика сложных реакций. Последовательные и параллельные процессы. Метод квазистационарных концентраций. Лимитирующая стадия сложного процесса.

### **IV. Особенности химических реакций в конденсированной фазе.**

Роль среды в элементарном акте. Влияние диффузии на скорость реакции. Клеточный эффект. Влияние поляризации среды на элементарные реакции заряженных частиц. Роль диэлектрической постоянной. Соотношение Бренстеда-Бьеррума. Реакции сольватированного электрона. Диффузионная теория рекомбинации радикалов в растворе. Нестационарная и стационарная кинетика рекомбинации. Рекомбинация радикальных пар. Спиновые эффекты. Поляризация ядер и электронов, значение и применение эффектов химической поляризации спинов для решения задач химической кинетики. Влияние магнитного поля на химические реакции. Туннельный эффект в химических реакциях. Реакции переноса электронов. Особенности кинетики реакций в твердых телах. Методы инициирования химических реакций в твердых телах. Механохимические реакции.

## V. Реакции на поверхности твердых тел.

Катализ твердыми поверхностями. Хемосорбция и механизмы реакций, протекающих на твердых поверхностях. Ингибирование и конкуренция реакций на поверхности. Каталитические эффекты.

## VI. Цепные реакции.

Зарождение, продолжение и обрыв цепей. Длина цепи. Скорость цепной реакции. Неразветвленные цепные реакции. Линейный и квадратичный обрыв цепей, обрыв цепей на стенках. Влияние диффузии на скорость цепного процесса. Ингибирование цепных реакций. Разветвленные цепные реакции. Предельные явления. Полуостров воспламенения. Реакции с вырожденным разветвлением цепей. Реакции с энергетическим разветвлением. Химические лазеры.

## ЛИТЕРАТУРА

1. В.Н.Кондратьев, Е.Е.Никитин. Химические процессы в газах. Наука. М., 1981
2. В.Н.Кондратьев, Е.Е.Никитин, А.И. Резников, С. Я. Уманский. Термические бимолекулярные реакции в газах. Наука. М., 1976.
3. Н.М.Эммануэль, Д.Г.Кнорре. Курс химической кинетики. Высшая школа, М., 1974.
4. И. А. Семиохин, Б. В. Страхов, А. и. Осипов. Кинетика химических реакций. Изд-во МГУ, 1995.
5. Г. Эйринг, С. Г. Лин, С. М. Лин. Основы химической кинетики. Мир, М., 1983.
6. В.И.Веденеев, Я.С.Лебедев, С.Г.Энтелис. Химическая кинетика. МФТИ, 1974.
7. С.Г.Энтелис, Р.П.Тигер «Кинетика реакций в жидкой фазе», Москва, Химия, 1973.
8. А.П. Пурмаль. Простая кинетика сложных реакций. Учебное пособие. МФТИ, 1998.
9. В.Я.Шляпинтох, К.И.Замараев, А.П.Пурмаль. Химическая термодинамика. МФТИ, 1975.
10. Е.Е. Никитин, Б.М.Смирнов. Атомно - молекулярные процессы в задачах с решениями. Наука, М., 1988.
11. Д.А.Франк-Каменецкий. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. Наука. М., 1987.
12. Е.А.Мельвин-Хьюз. Равновесие и кинетика реакций в растворах. Химия, М., 1975.
13. П. Ю. Бутягин. Химическая физика твердого состояния вещества. Диффузия и реакционная способность. Учебное пособие. МФТИ, М., 1991.
14. О. В. Крылов, Б.Р. Шуб. Неравновесные процессы в катализе. Химия, М., 1990.
15. Н.Н.Семенов. Цепные реакции. Наука. М., 1986.
16. В.И. Гольданский, Л.И. Трахтенберг, В.И. Флеров. Туннельные явления в химической физике. Наука, М., 1986.
17. С. А. Лосев, С. Я. Уманский И. Т. Якубов. Физико- химические процессы в газовой динамике. Изд-во МГУ, 1995.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

для магистерской программы 511635 - Физика супрамолекулярных систем

### **I. Молекулярная оптическая спектроскопия**

Вращение и вращательные уровни молекул. Колебания молекул. Взаимодействие вращений и колебаний. Классификация электронных состояний двухатомных и простейших многоатомных молекул. Взаимодействие электронного и вращательного движений в двухатомных молекулах. Электронно-колебательное взаимодействие. Электронно-колебательно-вращательное взаимодействие в многоатомных молекулах. Правило отбора. Вращательные и колебательно-вращательные спектры. Электронные переходы. Колебательная и вращательная структура электронных спектров.

### **II. Основы молекулярной фотоники**

Электронная структура молекул. Возбужденные состояния. Поглощение и испускание света. Спектры поглощения и люминесценции. Флуоресценция и фосфоресценция. Теория и методы расчёта электронно-колебательных спектров многоатомных молекул. Приближения Франка-Кондона и Герцберга-Теллера. Потенциальные поверхности электронно-возбуждённых состояний. Переходы между состояниями. Матричные элементы переходов. Релаксация. Взаимодействия в возбужденных состояниях, комплексы с переносом заряда, эксимеры и эксиплексы.

Безызлучательные электронные переходы. Неадиабатическое взаимодействие. Перенос заряда. Перенос энергии электронного возбуждения. Индуктивно-резонансный механизм. Теория Ферстера-Декстера. Миграция возбуждения по донорам.

Законы фотохимии. Классификация фотохимических реакций. Фотодиссоциация. Фотоприсоединение. Фотозамещение и фотоперегруппировка. Фотохимические окислительно-восстановительные реакции. Фотохимическая кинетика.

Основные принципы конструирования избирательных супрамолекулярных систем. Фотоуправляемое комплексообразование. Фотоинициированные структурные и фазовые превращения. Кинетика тушения флуоресценции в микроэмульсиях.

Фотоника биологических структур. Флуоресцентные зонды. Фотоинициированные процессы переноса электрона и возбуждения. Фотохимия биологических хромофоров. Порфирины, хлорофилл. Бактериородопсин. Гем-белки. Биохимические основы зрения. Фотосинтез.

Место фотохимии в области развития современных технологий и средств техники.

### **III. Структура и динамика супрамолекулярных систем**

Общая характеристика и классы супрамолекулярных систем. Основные принципы структурной организации молекулярных систем. Мицеллообразование и солубилизация. Микроэмульсии. Везикулы. Мембраны. Молекулярные слои Лэнгмюра-Блоджетт. Циклодекстрины. Комплексообразование по типу "гость-хозяин". Макрогетероциклические лиганды. Краун-эфир. Криптан. Полимеры и биполимеры.

Основные компоненты клетки и субклеточные структуры. Биологические макромолекулы. Мембраны органелл и их функции. Структура фосфолипидов и липидных бислоев.

Опосредованный ионный транспорт. Ионный транспорт через липидные мембраны. Ионфоры и ионные каналы. Активный ионный транспорт, осуществляемый транспортными АТФазами. Фотосинтез как пример трансформации энергии в биомембранах.

### **IV. Основы молекулярного моделирования.**

Основные принципы теории химического строения и системы визуализации химических структур. Структура атомных орбиталей, гибридизация атомных орбиталей,  $\sigma$ - и  $\pi$ -орбитали. Гибридизация и пространственная структура молекул. Принцип реализации

«компромиссных» геометрических параметров при построении трехмерных моделей. Оптимизация геометрических параметров.

Методы молекулярной механики: Молекулярная динамика.

Методы квантовой химии, метод МО ЛКАО, метод Хюккеля ( $\pi$ -электронное приближение), кулоновский и резонансный интегралы, вековые уравнения, собственные значения и собственные вектора, уровни энергии и принципы заполнения МО. Основные химические характеристики молекул: заряды на атомах, порядки связей, индексы свободной валентности.

Неэмпирические методы расчета электронных волновых функций. Теория Хартри–Фока. Многоссылочные методы КВ (MRD CI), методы теории возмущений, (полевая) теория возмущений Меллера–Плессета, многоконфигурационная теория возмущений, теория связанных кластеров, размерная согласованность методов, представление о методах учета релятивистских эффектов. Теория функционала плотности. Теория псевдопотенциала и эффективные основные (фрагментные) гамильтонианы. Поверхности потенциальной энергии (ППЭ) молекулярных систем и их анализ. Теория и основные подходы к расчетам межмолекулярного взаимодействия, Взаимодействия в возбужденных состояниях, эксимеры и эксиплексы. Периодические системы и основы зонной теории. Возбужденные состояния в супрамолекулярных системах. Экситоны в молекулярных агрегатах.

### **V. Основы синергетики**

Проблема порядка и беспорядка в структуре материи. Динамика и информация. Проблема необратимости. Динамический хаос. Диссипативные динамические системы.

Параметр порядка в критических явлениях и фазовых переходах. Теория фазовых переходов I-го и II-го рода. Теория Ландау. Флуктуационная теория фазовых переходов. Гипотеза подобия. Скейлинговая теория критических показателей.

Неравновесные фазовые переходы. Вынужденный порядок в открытых физических системах. Принцип Пригожина-Гленсдорфа. Самоорганизация. Пространственные и временные диссипативные структуры. Генерация когерентного излучения в лазере как пример неравновесного фазового перехода.

Пространственно-временные диссипативные структуры в химии. Реакция Белоусова-Жаботинского.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. «Микроэмульсии. Структура и динамика», под ред. С.Е.Фриберга и П.Ботеля, пер. с англ., Москва, Мир, 1990
2. Фридрихсберг «Курс коллоидной химии», Ленинград, Химия, 1974
3. Е.Д.Щукин, А.В.Перцов, Е.А.Амелина «Коллоидная химия», МГУ, 1982
4. Кантор, П. Шиммел, Биофизическая химия в 3х т. Москва, Мир, 1984-1985гг.
5. Рубин ,Биофизика в 2х книгах, Москва, Высшая школа, 1987
6. Волькенштейн , Молекулярная биофизика, Москва, Наука, 1975
7. Турро Н. Молекулярная фотохимия. М. Мир. 1967.
8. Беккер Г.О. Введение в фотохимию органических соединений. М.Химия. 1976.
9. Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я. Физико-химические основы фотобиологических процессов. М. Высшая школа. 1989.
10. Л.А.Грибов. Введение в молекулярную спектроскопию. Физматгиз. М. 1976.
11. Л.А.Грибов, С.П.Муштакова. Практическая квантовая химия. Гардарика, М. 1998.
12. Левшин Л.В., Салецкий А.М. Молекулярная спектроскопия. МГУ. 1994.
13. Гиллет Дж. Фотофизика и фотохимия полимеров . М. Мир. 1988
14. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий, М., Наука, 1982.
15. Степанов Н.Ф, Пупышев В.И. Квантовая механика молекул и квантовая химия М., Из-во МГУ, 1991, 379 с.
16. Буркерт, Н. Эллинджер, Молекулярная механика, Мир, Москва, 1986.
17. Кларк, Компьютерная химия, Мир, Москва, 1990.

18. М. Жидомиров, А. А. Багатурьянц, И.А. Абронин, Прикладная квантовая химия, Химия, Москва, 1979.
19. Бетхер, И. Эппереляйн, А.В. Ельцов. Современные системы регистрации информации. Основные принципы, процессы, материалы. Синтез. Санкт-Петербург. 1992. 328 с.
20. Стенли Г. Фазовые переходы и критические явления. (М. ; Мир, 1973).
21. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах (М. ; Мир, 1979).
22. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. (М. ; Мир, 1979).
23. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах . (М. ; Мир, 1985).
24. Карери Дж. Порядок и беспорядок в структуре материи. (М. ; Мир, 1985).
25. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. (М. ; Мир, 1990).
26. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. Успехи физ.наук. 1994, т.164, №5.
27. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. (М.; Наука, 1995).
28. Климонтович Ю.Л. Статистическая теория открытых систем. (М.; Янус, 1995).
29. Капица С.П. и др. Синергетика и прогнозы будущего. (М.; Наука, 1997).

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для магистерской программы 511630 - Химическая физика

### **I. Основы квантовой теории многоэлектронных систем.**

Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Кулоновский и спин-орбитальный вклады в молекулярный гамильтониан. Адиабатическое приближение и неадиабатическая связь. Правила непересечения адиабатических электронных потенциальных поверхностей (на примере двухатомных молекул).

### **II. Строение атомов и молекул.**

Строение электронной оболочки атома. Квантовые числа. Систематика атомных состояний. Правила Гунда. Многоэлектронные атомы и периодическая система элементов. Химическая связь в двухатомной молекуле в одноэлектронном приближении. Метод молекулярных орбиталей. Свойства симметрии волновых функций, классификация состояний двухатомных молекул. Корреляционные диаграммы. Вращательные, колебательные и электронные уровни молекул. Взаимодействие вращательного, колебательного и электронного движений. Классификация электронных состояний двухатомных и простейших многоатомных молекул.

### **III. Электромагнитные свойства молекул.**

Дипольный и квадрупольный моменты, поляризуемость. Магнитный момент атомов, молекул. Диамагнетизм и парамагнетизм.

### **IV. Межмолекулярные взаимодействия.**

Дальнодействующие обменные силы, близкодействующие дисперсионные силы, ван-дер-ваальсовские комплексы.

### **V. Взаимодействие света с веществом.**

Электромагнитное поле в квантовой и классической теориях. Основные характеристики излучения (интенсивность, монохроматичность, направленность, поляризация, временная и пространственная когерентность, длительность световых импульсов). Электро-дипольные переходы и понятия о магнитно-дипольном и электро-квадрупольном переходах. Элементарные процессы взаимодействия света с молекулярными системами (индуцированное излучение и поглощение, спонтанное излучение, комбинационное и Релеевское рассеяние). Количественные характеристики этих процессов (сечения, коэффициент поглощения, моменты переходов). Моменты перехода и правила отбора.

### **VI. Общие вопросы спектроскопии.**

Частотный диапазон спектральных методов. Однородное и неоднородное уширение спектральных линий. Насыщение. Спектры и сигналы. Связь между спектром и динамическим откликом. Форма и моменты спектральных линий.

### **VII. Химическая радиоспектроскопия.**

Условия возникновения ЯМР и ЭПР. Времена релаксации и форма резонансной линии. Гамильтониан магнитных взаимодействий. Химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие в ЯМР. Сверхтонкая структура спектров ЭПР. Интерполяция тензоров сверхтонкого взаимодействия и g-тензора. Техника эксперимента. Сканирующие и Фурье-спектрометры. Возможности методов магнитного резонанса для исследования скоростей молекулярных и химических процессов.



## **VII. Линейные методы оптической спектроскопии**

Перестраиваемые лазеры оптического диапазона. Лазерная абсорбционная спектроскопия. Спектроскопия лазерного магнитного резонанса. Спектроскопия лазерно-индуцированной флуоресценции. Опто-акустическая спектроскопия. Внутррезонаторная лазерная спектроскопия. Спектроскопия молекулярного рассеяния (комбинационное и Релеевское рассеяние).

## **VIII. Пикосекундная и фемтосекундная спектроскопия.**

Особенности фемтосекундной спектроскопии. Спектрально-ограниченные и chirпированные световые импульсы. Измерение параметров фемтосекундных световых импульсов. Применение методов сверхбыстрой спектроскопии в исследованиях внутримолекулярной динамики и управлении элементарным химическим актом.

## **IX. Методы нелинейной оптической спектроскопии.**

Вынужденное комбинационное рассеяние. Спектроскопия насыщения. Спектроскопия когерентного антистоксова комбинационного рассеяния. Многофотонная спектроскопия. Применение методов нелинейной оптики в лазерной фотохимии и исследованиях элементарных процессов.

## **X. Процессы переноса.**

Уравнения теплопроводности и диффузии при наличии конвективного движения и химических источников, теплопроводность и диффузия в многокомпонентных средах, критерии подобия, аналогия Рейнольдса.

## **XI. Критические явления.**

Типы цепных реакций, детальные и редуцированные кинетические схемы, эффективная кинетика тепловыделения, цепной взрыв, пределы цепных взрывов, многостадийное воспламенение, холодные пламена, периоды индукции, ингибирование воспламенения. Тепловой взрыв, цепочно-тепловой взрыв, пределы взрыва, периоды индукции, зажигание различными источниками.

## **XII. Горение, пламена.**

Структура пламени, тепловая теория пламени, нормальная скорость распространения, пределы распространения, ингибирование горения, структура пламен, устойчивость горения. Основные процессы образования экологически вредных веществ при горении. Горение в замкнутом объеме, Махе эффект, методы расчета параметров сгорания.

## **XIII. Турбулентное горение.**

Турбулентное движение газов как результат неустойчивости решений уравнения Навье-Стокса, турбулентное горение, методы моделирования турбулентных течений с химическими реакциями.

## **XIV. Ударные волны.**

Ударные волны, основные уравнения, структура ударных волн в инертных и реагирующих средах, особенности ударных волн в твердых телах, результаты молекулярно-динамических расчетов структуры ударных волн. Образование ударных волн при горении, переход горения в детонацию.

## **XV. Детонация.**

Теория детонации, модель ЗНД, неустойчивость фронта детонации, пределы детонации, неидеальные режимы детонации в различных системах (низкоскоростные режимы). Детонация в гетерогенных системах,

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Д.Соколов. Теория строения молекул. МФТИ, 1971
2. Коулсон С.А. Валентность. М.: Мир, 1965, 387с.
3. Маррел Дж., Кеттл С., Теддер Дж. Теория валентности. М.: Мир, 1968, 435 с.
4. Орчин М., Джаффе Г. Разрыхляющие орбитали. М.: Мир, 1969, 112 с.
5. Фано У., Фано Л. Физика атомов и молекул. М. : Мир, 1980, 512 с.
6. Флайгер У. Строение и динамика молекул. Т. 1, 2. М. : Мир, 1982, 683 с.
7. Н.Н. Кудрявцев. Основы молекулярной спектроскопии. МФТИ, М., 1990.
8. К. Бенуэлл. Основы молекулярной спектроскопии. Мир, М., 1985.
9. Керрингтон А., Мак-Лечлан Э. Магнитный резонанс и его применение в химии. Москва, 1970.
10. Гершензон, В.Б. Розенштейн, А.Б. Налбандян. Магнитный резонанс в газах. Изд-во АН Арм. Сср, Ереван, 1987.
11. Хеберлен У., Меринг М. ЯМР высокого разрешения. Москва, 1980.
12. Вертц Дж., Болтон Дж. Теория и практические приложения метода ЭПР. Москва, 1975.
13. В.Демтрёдер Лазерная спектроскопия. Москва, 1985.
14. А. Кизель. Практическая молекулярная спектроскопия. МФТИ, М., 1998.
15. Л.В.Левшин, А.М.Салецкий Оптические методы исследования молекулярных систем. Издательство Московского Университета, 1994.
16. С.А.Ахманов, В.А.Выслоух, А.С.Чиркин Оптика фемтосекундных лазерных импульсов. Москва, 1988.
17. Л.В.Вилков, Ю.А.Пентин Физические методы исследования в химии. Т. 1, ВШ, М. 1987, т.2, Вш ,М.,1989.
18. Б.Делоне Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Наука, М., 1989.
19. М. Акулин Н. В. Карлов . Интенсивные резонансные взаимодействия в квантовой электронике. Наука, М., 1987.
20. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. Наука, М., 1966.
21. Б. Зельдович, Г. И. Баренблат, В. Б. Либрович, Г. М. Махвиладзе. Математическая теория горения и взрыва. Наука, М., 1980.
22. Вильямс. Теория горения. Наука, М., 1971.
23. Щелкин, Я.К. Трошин. Газодинамика горения. АН СССР, М., 1963.

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

## **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

### **«ФИЗИКА И ХИМИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПЛАЗМЫ»**

Программа разработана кафедрами: «Физика высоких температур», «Физика и химия плазмы» в соответствии с магистерскими программами:

511631 – «Физика и химия плазмы»,

511632 – «Физика высокотемпературных процессов»

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## **ОБЩАЯ ЧАСТЬ ПРОГРАММЫ**

### **1. Термодинамика плазмы**

1.1. Температура, тепловая и кулоновская энергия плазмы. Дебаевское экранирование. Кулоновская поправка к уравнению состояния газа. Ионизационное равновесие, уравнение Саха. Неидеальная плазма, критерий неидеальности.

### **2. Динамика плазмы**

2.1. Движение заряженных частиц в электромагнитном поле. Дрейфы частиц. Адиабатические инварианты. Магнитная ловушка.

2.2. Гидродинамическое описание плазмы (уравнения магнитной гидродинамики). Двухжидкостная гидродинамика, обобщенный закон Ома, анизотропность проводимости. Пределы применения одножидкостной гидродинамики.

2.3. Электростатические колебания в плазме: высокочастотные (электронные ленгмюровские), низкочастотные (ионные ленгмюровские, ионнозвуковые). Дисперсия волн.

### **3. Магнитная гидродинамика**

3.1. Магнитогиродинамическое приближение. Вмороженность и диффузия магнитного поля в плазме. Магнитная гидродинамика идеально проводящей плазмы, альфвеновские и магнитозвуковые волны, прямой скачок. Затухание магнитогиродинамических волн. Волны в пространственно неоднородной плазме. Скинирование высокочастотного электромагнитного поля.

3.2. Обращение воздействий в магнитной гидродинамике, эволюция течения плазмы в МГД-генераторах, ускорителях и дросселях при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях. Течение Гартмана, влияние магнитного поля на распределение скорости.

3.3. Неустойчивость токового шнура. Основные моды неустойчивости. Способы стабилизации токового шнура. Критерий Крускала-Шафранова.

## **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для магистерской программы 511632 - **ФИЗИКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

### **1. Термодинамика**

1.1. Первое и второе начала термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы. Уравнения состояния для газов и конденсированных сред. Фазовые переходы. Уравнение Клаузиуса-Клайперона. Термодинамика необратимых процессов, уравнение производства энтропии. Обобщенные потоки и силы, соотношение взаимности Онзагера. Теплопроводность, термодиффузия, термоэлектрические явления. Термодинамика излучения.

### **2. Электродинамика**

2.1. Уравнения Максвелла. Нерелятивистское приближение, преобразование Лорентца. Электродинамические условия на поверхностях разрыва. Уравнения сохранения электрического заряда, импульса и энергии электромагнитного поля. Излучение быстро движущегося заряда. Прохождение заряженных частиц через вещество. Ионизационные потери. Тормозное излучение. Эффект Комптона. Эффект Черенкова. Синхротронное излучение.

### **3. Гидродинамика**

3.1. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Квазиодномерное приближение, уравнения обращения воздействий в газодинамике. Прямой скачок. Инварианты Римана и характеристики. Бегущие волны. Косой скачок. Течение Прандтля-Майера.

#### **4. Элементарные процессы и кинетика плазмы**

4.1. Столкновения заряженных частиц. Столкновения электронов с атомами. Возбуждение, ионизация и рекомбинация. Коэффициент Таунсенда. Уравнение Больцмана. Приближение лорентцева газа. Процессы переноса в слабоионизованной плазме.

#### **5. Газовый разряд**

5.1. Явления на электродах: термоэлектронная, автоэлектронная и взрывная эмиссия; вторичная эмиссия, нейтрализация ионов и поверхностная ионизация. Электрический ток в газе: уравнения движения электронов и ионов; отрыв электронной температуры в положительном столбе тлеющего разряда. Электрический пробой газа: ионизационное усиление тока и пробой плоского промежутка. Закон Пашена. Пробой при атмосферном давлении. Положительный столб разряда низкого давления. Диффузионный и кнудсеновский режимы. Страты.

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ**

Для магистерской программы 511631 - **ФИЗИКА И ХИМИЯ ПЛАЗМЫ**

#### **1. Нелинейные явления в плазме**

1.1. Двухжидкостная и холловская магнитная гидродинамика. Конвекция магнитного поля в плазме.

1.2. Трехкомпонентная гидродинамика. Процессы переноса (проводимость, диффузия, амбиполярная диффузия).

1.3. Устойчивость плазмы. Методы исследования устойчивости (энергетический принцип, метод собственных колебаний). Классификация неустойчивостей (кинетические, гидродинамические, апериодические, колебательные, абсолютные, сносные). Пучковые неустойчивости.

1.4. Явления переноса в полностью ионизованной плазме (диффузия, термодиффузия, вязкость, теплопроводность, электропроводность, потоки тепла, обмен энергией между электронами и ионами). Качественные оценки коэффициентов переноса. Влияние магнитного поля на явления переноса.

1.5. Термодинамическое и корональное равновесие в плазме.

1.6. Поверхностное и объемное излучение плазмы. Длины пробега фотонов, лучистая теплопроводность.

1.7. Механизмы лучистых потерь (циклотронное тормозное и фоторекомбинационное излучение, излучение в линиях). Зависимость от концентрации плазмы.

1.8. Квазилинейная релаксация. Трех- и четырехволновые процессы. Индуцированное рассеяние.

1.9. Солитоны и бесстолкновительные ударные волны. Ленгмюровские солитоны.

1.10. Сильная ленгмюровская турбулентность. Коллапс ленгмюровских волн.

## **2. Физика химически активной плазмы**

2.1. МГД-уравнения многокомпонентной плазмы переменного состава. Простейшие модельные системы: трехкомпонентная плазма с нейтральным газом, четырехкомпонентная плазма с нейтральным газом и отрицательными ионами. Закон Ома для трехкомпонентной плазмы, проводимость частично ионизованного газа, закон Ома в форме Шлютера - Каулинга. Понятие замагниченности неполностью ионизованного газа. Слабоионизованный газ в предположении малой концентрации заряженного компонента, газоразрядное приближение.

2.2. Простейшие течения неидеального газа. Псевдогартмановское течение во вращающейся плазме. Параметр Месси, постулат Альфвена.

2.3. Кинетическое описание химически активной плазмы. Анализ кинетического уравнения Больцмана, роль столкновительного члена, элементарные процессы в слабоионизованном газе. Упругое и неупругое взаимодействие заряженных частиц с молекулярным газом. Возбуждение колебательных уровней электронным ударом, возбуждение электронной структуры молекул. Образование отрицательных ионов. Диссоциативное прилипание, образование молекулярных отрицательных ионов, кластерные и комплексные ионы. Гибель заряженных частиц в слабоионизованном газе, процессы распада отрицательных ионов.

2.4. Решение кинетического уравнения для электронного газа с учетом столкновительного члена. Функция распределения электронов в слабоионизованном газе. Немаксвелловские функции распределения для электронов: функции Дрювестейна, Моргенау, влияние электронной структуры молекул на функцию распределения электронов.

2.5. Химическая активность плазмы, обусловленная возбуждением колебательных состояний молекул. Колебательная кинетика. Функция распределения колебательно возбужденных молекул. Приближенное описание функций распределения по колебательным состояниям: распределение Тринора, отличие от распределения Больцмана, учет VT - релаксации, учет химической реакции. Коэффициент скорости реакции с учетом колебательного возбуждения. Газоразрядные лазеры.

## **3. Экспериментальная физика плазмы**

3.1. Принципиальные схемы установок с магнитным удержанием для получения и исследования высокотемпературной плазмы. Открытые магнитные ловушки, токамаки, стеллараторы. Основные методы нагрева плазмы. Условия осуществления управляемого термоядерного синтеза.

3.2. Импульсные процессы в плазменном эксперименте. Источники рентгеновского излучения на основе генератора сверхмощных электрических импульсов. Самосжатые разряды. Лазерная плазма. Инерциальные термоядерный синтез.

3.3. Основные методы диагностики плазмы. Измерения токов и напряжений в плазме. Лазерное зондирование плазмы. Методы рентгеновской и оптической спектроскопии плазмы.

## **ЛИТЕРАТУРА**

**Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика,**

т.2, Теория поля, Наука, М., 1988

т.5, Статистическая физика, Наука, М., 1964.

т.6, Гидродинамика, Наука, М., 1986.

т.8, Электродинамика сплошных сред, Наука, М., 1992.

**Фейнман Р., Лейтон Ф., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике,**

т.3, Излучение, волны, кванты, МИР, М., 1967.

т.4, Кинетика, теплота, звук, МИР, М., 1967.

т.6, Электродинамика, МИР, М., 1967.

**Асиновский Э.И. Элементарные и коллективные процессы в низкотемпературной плазме, НО ИВТАН, М., 1993.**

**Недоспасов А.В., Хаит В.Д. Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы, Наука, М., 1979.**

**Кадомцев Б.Б. Коллективные явления в плазме, Наука, М., 1976.**

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

### **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

#### **«ФИЗИЧЕСКАЯ И ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА СПЛОШНЫХ СРЕД»**

Программа разработана кафедрой «Физической и химической механики» в соответствии с  
магистерской программой:

511633 – «Физическая и химическая механика сплошных сред».

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.



## **1. Механика сплошной среды**

- 1.1. Идеальная несжимаемая жидкость. Уравнения движения идеальной жидкости. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера. Уравнение энергии.
- 1.2. Барометрическая формула. Стационарное течение идеальной жидкости. Уравнение Бернулли.
- 1.3. Безвихревое течение идеальной жидкости. Интеграл Коши. Плоское (двумерное) течение идеальной жидкости. Вихревой характер движения жидкости.
- 1.4. Обтекание шара идеальной жидкостью. Парадокс Даламбера.
- 1.5. Гидродинамика вязкой жидкости. Поток импульса. Тензор вязких напряжений. Уравнение Навье-Стокса.
- 1.6. Течения при больших числах Рейнольдса. Уравнения пограничного слоя. Уравнение Мизеса.
- 1.7. Автомодельные задачи. Пограничный слой на пластине (Задача Блазиуса). Вытекание струи из тонкого отверстия.

## **2. Физическая механика**

- 2.1. Элементарные процессы в физической механике частично ионизованной сплошной среды. Дрейф, подвижность, проводимость, диффузия электронов и ионов. Энергия электронов в поле. Упругие и неупругие потери энергии. Амбиполярная диффузия. Ионизация, частота ионизации, таунсондовский ионизационный коэффициент. Рекомбинация. Прилипание. Диффузионные потери.
- 2.2. Кинетическое уравнение для электронов в поле. Двучленное приближение. Решение для постоянного и осциллирующего полей. Уравнение для энергетического спектра. Примеры спектров для простейших случаев.
- 2.3. Релаксационные процессы в газах. Поступательная релаксация. Вращательная релаксация молекул. Колебательная релаксация молекул. VT-обмен. VV-обмен. Термический распад молекул.

## **3. Молекулярно-кинетическая теория механики сплошных сред**

- 3.1. Величины, характеризующие однородный газ. Функция распределения и средние значения. Векторы потоков массы, импульса, энергии для однородного газа.
- 3.2. Величины, характеризующие газовые смеси.
- 3.3. Частота столкновений. Средняя длина свободного пробега. Сечения столкновения: полное сечение, дифференциальное сечение, сечение потери импульса. Характеристики величин сечений столкновения. Скорость процесса.
- 3.4. Классический вывод уравнения Больцмана.
- 3.5. Вывод макроскопических законов сохранения для газовой смеси на основе уравнения Больцмана. Аддитивные инварианты. Обобщенный закон сохранения для газовой смеси.
- 3.6. Вывод уравнений непрерывности, движения и баланса из обобщенного закона.
- 3.7. H-теорема Больцмана. Функция распределения молекул по скоростям в состоянии термодинамического равновесия.
- 3.8. Теорема единственности Гильберта.
- 3.9. Метод Чепмена-Энскога в интерпретации Энскога.
- 3.10. Особенности кинетической теории частично ионизованных газов и плазмы. Столкновительный член Фоккера-Планка. Кинетическое уравнение Власова.

## **4. Теплообмен излучением**

- 4.1. Волновая природа теплового излучения. Энергия, переносимая электромагнитными волнами.
- 4.2. Интенсивность излучения. Излучение абсолютно черного тела. Поглощение, испускание и рассеяние излучения. Объемная плотность энергии излучения. Плотность потока результирующего излучения. Давление излучения. Интегральные и средние свойства.
- 4.3. Характеристики излучения, поглощение и рассеяние поверхностей.
- 4.4. Классический вывод уравнения переноса излучения. Частные случаи. Плотность потока излучения и дивергенция вектора плотности. Радиационное равновесие.
- 4.5. Формальное интегрирование уравнения переноса излучения. Уравнение переноса излучения для плоскопараллельного случая.
- 4.6. Уравнение переноса излучения в случаях сферически и цилиндрически симметричных геометрий.
- 4.7. Методы решения уравнения переноса (сферических гармоник, дискретных ординат, моментов)
- 4.8. Статистические методы Монте-Карло решения уравнения переноса.

## **5. Химическая гидродинамика**

- 5.1. Гомогенные и гетерогенные химические реакции. Объемные и массовые концентрации реагентов. Скорость химической реакции. Константа скорости реакции. Химическое равновесие. Константа равновесия. Сложные химические реакции. Цепные реакции.
- 5.2. Уравнение теплопроводности. Уравнения диффузии при использовании массовых и объемных концентраций. Среднемассовая и среднечисловая скорости газа. Термодиффузия.
- 5.3. Диффузионный и кинетический режим протекания химических реакций. Стефановский поток. Условия возникновения стефановского потока. Диффузионный поток вещества на реакционную поверхность.
- 5.4. Тепловое самовоспламенение. Адиабатический тепловой взрыв. Теория теплового взрыва Н.Н.Семенова. Преобразование Д.А.Франк-Каменецкого. Тепловой взрыв в плоском, цилиндрическом и сферическом сосудах. Период индукции самовоспламенения.
- 5.5. Ламинарные пламена. Теория распространения плоского пламени Я.Б.Зельдовича. Формула для расчета скорости распространения пламени. Пределы распространения пламени при наличии теплоотвода.
- 5.6. Диффузионное горение газов. Задача Бурке-Шумана. Пределы горения неперемешанных газов.

## **Литература**

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 733 с.
2. Кочин Н.Е., Кибель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Том 1-2. М.-Л.: ОГИЗ, 1948. 535 с.- 612 с.
3. Лойцяский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1973. 847 с.
4. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1964. 491 с.
5. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. М.: Физматлит, 1959. 670 с.
6. Кутепов А.М., Полянин А.Д., Запрянов З.Д., Вязьмин А.В., Казенин Д.А. Химическая гидродинамика. М.: Квантум, 1996. 336 с.
7. Гиршфельдер Дж., Кертисс Ч., Берд Р. Молекулярная теория газов и жидкостей. М.: Изд-во ИЛ, 1961. 929 с.
8. Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. М.: Энергоатомиздат, 1990. 367 с.
9. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 600 с.

10. Зельдович Я.Б., Баренблатт Г.И., Либрович В.Б., Махвиладзе Г.М. Математическая теория горения и взрыва. М.: Наука, 1980. 478 с.
11. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука, 1966. 686 с.
12. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Наука, 1992, 503 с.
13. Оцисик М.Н. Сложный теплообмен. М.: Мир, 1976, 615 с.
14. Зигель Дж., Хауэлл Р. Теплообмен излучением. М.: Мир, 1975, 651 с.
15. Амбарцумян В.А., Мустель Э.Р., Северный А.Б., Соболев В.В. Теоретическая астрофизика. М.: Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1952, 635 с.

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

**Ректор**

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

## **ПРОГРАММА**

**ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»**

### **«ФИЗИКА ПОЛИМЕРОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»**

Программа разработана кафедрой «Физика полимеров» в соответствии с магистерской программой:

511634 – «Физика полимеров и композиционных материалов»,

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## **1. Классификация и получение полимеров**

Основные понятия и номенклатура полимеров. Особенности химического строения полимеров. Органические полимеры. Элементоорганические полимеры. Природные полимеры.

Основные методы получения полимеров. Каталитическая полимеризация. Радикальная полимеризация. Ступенчатая полимеризация. Радиационная полимеризация. Поликонденсация. Полимераналогичные превращения.

Молекулярно-массовое распределение.

## **2. Конформационная статистика полимерных цепей. Макромолекулы в растворе**

Статистическая физика изолированных макромолекул. Механизмы гибкости. Размеры и форма макромолекул, их измерение. Ближние и дальние взаимодействия. Макромолекулы полиэлектролитов. Размеры и форма разветвленных цепей, сетчатых систем.

## **3. Макромолекулы в блоке**

Регулярные и нерегулярные макромолекулы. Межмолекулярная упаковка, принципы ее оценки и измерения. Полимерные кристаллы, стекла, мезофазы. Основные принципы организации полимерных кристаллов, жидких кристаллов и стекол.

Динамика макромолекул. Модель Рауза, Зимма. Рептации. Зацепления, физические узлы. Разные виды молекулярных движений в макромолекулах.

## **4. Реология полимеров**

Полимерные расплавы. Течение расплавов ММ. Температура текучести. Времена релаксации в функции размеров макромолекул. Вязкость. Переработка полимеров в изделия (экструзия, литье под давлением, вакуум-формование, прессование). Переработка реактопластов. Реакционное формование.

## **5. Свойства полимеров в высокоэластическом состоянии**

Каучукоподобное состояние полимеров. Энтропийная упругость макромолекулы. Переход в расплав и в стеклообразное состояние.

## **6. Структура и свойства полимерных стекол**

Стеклообразное состояние полимеров. Переход стеклования, температура стеклования  $T_g$ . Связь со строением, длиной макромолекулы. Влияние давления, частоты измерения, скорости нагрева. Общность явления стеклования. Модели стеклования. Измерения  $T_g$ .  $T_g$  и макроскопические свойства полимерных материалов.

## **7. Релаксационные явления в полимерах**

Переходы и макроскопические свойства полимеров. Низкотемпературные релаксационные переходы в стеклообразных полимерах. Тепловое расширение стеклообразных полимеров. Тепловое расширение изолированной макромолекулы.

Релаксация полимерных стекол. Общие закономерности релаксации. Общность структуры и релаксации стекол различных видов. Теоретические модели релаксации. Масштабы времен релаксации различных фрагментов макромолекулы и различных макромолекулярных агрегатов в блоке и растворе.

## **8. Структура и свойства кристаллических полимеров**

Условия образования кристаллического состояния в полимерах. Упаковка цепных молекул и типы кристаллических структур. Надмолекулярная структура кристаллических полимеров.

Особенности кристаллизации и плавления полимеров. Кристаллизация из растворов и расплавов. Зародышеобразование и рост. Кинетическая теория кристаллизации. Первичная и вторичная кристаллизация. Частичное плавление и рекристаллизация. Отжиг полимеров.

Переходы в кристаллических полимерах. Ориентационные процессы в кристаллических полимерах. Особенности ориентированного состояния полимеров.

## **9. Механические свойства полимеров**

Теория больших нелинейно упругих деформаций. Упругий потенциал. Способы его восстановления из экспериментов по одноосному и многоосному нагружению.

Молекулярные теории высокоэластичности полимеров. Связь между структурой и механическим поведением полимерных сеток. Механика гелей.

Теории линейной вязкоупругости. Наследственная теория Больцмана-Вольтерра. Упруго-вязкоупругая аналогия.

Дифференциальные модели вязкоупругости Максвелла, Фойхта, Кельвина и их комбинации. Связь между дифференциальной и интегральной формой определяющих соотношений.

Методы измерения вязкоупругих свойств. Ползучесть и релаксация напряжений. Динамические и резонансные испытания. Акустические методы.

Особенности вязкоупругого деформирования полимеров. Принцип температурно-временной эквивалентности и уравнение Вильямса-Ландела-Ферри в области температуры стеклования. Молекулярные теории нелинейных вязкоупругих свойств полимеров.

Определяющие соотношения упругопластичности. Деформационная теория пластичности и теория течения. Поверхности течения. Критерии Мизеса, Треска, Кулона. Теория больших пластических деформаций.

Особенности пластического деформирования полимеров. Полосы сдвига и трещины серебра. Влияние давления, температуры, скорости и предыстории деформирования на параметры диаграмм. Молекулярные интерпретации явления пластического течения полимеров. Теории больших деформаций полимеров.

Теории разрушения. Критерии разрушения, связанные с достижением критических значений напряжений. Теория Гриффитса и ее развитие. Термоактивационные теории разрушения.

Особенности разрушения полимеров. Влияние скорости деформаций и температуры на прочность, предельную деформацию и вязкость разрушения.

## **10. Физические методы исследования полимеров**

Механические методы. Термомеханические методы. Динамические методы. Релаксационная спектроскопия.

Теплофизические методы. Дилатометрия. Дифференциальный термический анализ. Калориметрические методы.

Рентгеноструктурный анализ полимеров. Изучение строения, размеров и ориентации упорядоченных областей кристаллических полимеров. Большие периоды в полимерах.

Электронная микроскопия.

Спектроскопия полимеров. Понятие о качественном и количественном структурном анализе по инфракрасным спектрам поглощения.

## **11. Классификация и общие представления о полимерных композиционных**

## **материалах (ПКМ)**

Высокопрочные армированные ПКМ; усиленные короткими волокнами и пластинчатыми наполнителями ПКМ; дисперснонаполненные ПКМ; полимер-полимерные смеси, пенополимерные материалы, комбинированное наполнение полимеров. Цели и задачи наполнения полимеров. Роль связующих в высокопрочных композитах с непрерывными волокнами как среды для передачи напряжения между волокнами и поглощения энергии при разрушении. Дисперсные наполнители для повышения жёсткости, снижения усадки при формовании изделий, удешевление, придания специальных свойств - негорючести, износостойкости, изменения коэффициента трения, электро- и теплопроводности и пр. Усиливающие коротковолокнистые и пластинчатые наполнители. Уровень повышения жёсткости, прочности, изменения ударной вязкости. Полимер-полимерные смеси, модификация свойств. Повышение ударной вязкости хрупких полимеров. Пенополимерные материалы. Снижение веса при сохранении физико-механических свойств. Преимущества комбинирования различных наполнителей. Роль поверхности раздела фаз и специальные методы обработки поверхности наполнителей и создания переходных слоев.

### **12. Наполнители и армирующие материалы**

Минеральные дисперсные наполнители. Мел, каолин, кварц, металлические порошки, магнитные наполнители, гидроокись алюминия, окись сурьмы и др. антипирены, сажа, графит, микросферы. Свойства, назначение, масштабы производств, экономические показатели. Методы подготовки наполнителей и обработки поверхности.

Коротковолокнистые и пластинчатые наполнители. Силикат кальция, асбест, микротонкие волокна, рубленные стеклянные и базальтовые волокна, нитевидные монокристаллы, слюда, тальк и др. чешуйчатые и ленточные наполнители. Армирующие материалы на основе волокон (маты, бумага и пр.). Получение, подготовка к применению, обработка поверхности. Усиливающее действие. Экономические характеристики.

Непрерывные волокна и армирующие материалы. Стеклянные, базальтовые, борные, углеродные, керамические, металлические, органические полимерные волокна. Нити, жгуты, тканые материалы на основе волокон одного сорта и гибридные. Переработка волокон в ткани, замазливатели, аппреты и т.д.

### **13. Полимерные матрицы**

Полимерные матрицы для высокопрочных ПКМ. Требования к матрицам. Химическая и топологическая структура сетчатых полимеров. Методы синтеза и отверждения полиэфирных, эпоксидных и др. соединений. Основные физико-механические, физические и химические свойства связующих.

Связующие для теплостойких ПКМ. Полиамиды, полиимиды, кремнийорганические соединения. Методы синтеза, основные физико-механические и др. свойства, теплостойкость, термостойкость. Углеродные матрицы, исходные соединения, методы термообработки, основные характеристики.

Матрицы на основе термопластичных полимеров (для наполнения дисперсными частицами). Выбор матричного полимера. Влияние химической структуры полимерной матрицы на характеристики наполненных материалов. Полиэтилен высокой плотности, полипропилен, ПВХ, полиамиды, полиформальдегид, ПБТ и др. Модификация полимеров с целью улучшения взаимодействия с наполнителем.

### **14. Технология получения и переработки ПКМ**

Методы переработки и изготовления изделий из армированных ПКМ - намотка, выкладка, прессование, палтрузия. Полуфабрикаты для метода "сухой" намотки (препреги). Технологические требования к армирующему материалу и связующим для "сухой" и "мокрой" намотки.

Принципиальные технологические схемы получения ПКМ, наполненных дисперсными частицами и волокнами. Технологическое оборудование. Требования к наполнителю и полимеру, аппареты. Реология наполненных систем и методы их переработки в изделия. Полимеризационное наполнение. Высоконаполненные материалы, выбор распределения по размерам и способы переработки этих материалов.

Технология получения пенополимероматериалов, частично вспененных материалов в комбинации с другими типами наполнителей. Интегральные - пенопласты.

## **15. Свойства ПКМ**

Прочность, вязкость разрушения, усталость. Общие представления о механизмах разрушения. Хрупкие полимеры, наполненные эластичными полимерами. Хрупкие и вязкие матрицы, наполненные дисперсными минеральными наполнителями. ПКМ с дисперсными волокнами и пластинчатыми наполнителями. ПКМ, армированные непрерывными волокнами, гибридные ПКМ.

Упругие и вязкоупругие свойства ПКМ. Свойства изотропных ПКМ, наполненных дисперсными частицами, волокнами и пластинчатыми наполнителями. Свойства однонаправленных волокнистых ПКМ, расчёт свойств слоистых пластиков. Особенности испытания на изгиб ПКМ и принципы получения максимально жёстких конструкций.

Тепловое расширение, тепло- и электропроводность ПКМ. Термическое расширение изотропных ПКМ, методы расчёта с сравнением с экспериментом. Тепловое расширение анизотропных ПКМ. Тепло и электропроводность дисперсно-наполненных ПКМ и пенополимероматериалов. Критические концентрации наполнителя. Электропроводящие волокна и армированные ПКМ.

Горючесть ПКМ. Основные процессы, протекающие при горении полимерных материалов в конденсированной и газовой средах. Методы снижения горючести полимеров. Особенности горения ПКМ. Введение наполнителей (негорючих и ингибирующих горение), как метод снижения горючести ПКМ. Модификация связующих и наполнителей антипиренами. Наиболее распространённые антипирены и современные представления о механизме их действия.

## **16. Применение ПКМ**

Конструкционные волокнистые ПКМ, требования к ним и применение в авиации, судостроении, транспорте, автомобилестроении, машиностроении, аэрокосмической технике.

ПКМ, армированные дисперсными волокнами, на основе полиэтилена, ПВХ, полиэфиров, полиамидов, полипропилена и др. и их применение в машиностроении, автомобилестроении и пр.

Наполнение дисперсными минеральными наполнителями - средство экономии полимеров и модификации свойств (увеличение жёсткости, снижение усадок при формовании, изменение теплового расширения, тепло- и электропроводности, снижение горючести и пр.).

Жёсткие пенополимерные материалы малого удельного веса как тепло и звукоизолирующие материалы в строительстве. Высоконаполненные ПКМ на основе перлита и др. пористых наполнителей. Вспененные материалы среднего удельного веса, как облегчённые конструкционные материалы. Применение мягких пенополимерных материалов в строительстве, быту и пр. Интегральные пены - новый тип термопластичных конструкционных материалов.



Электропроводящие, теплопроводящие и электроизоляционные ПКМ в электротехнической промышленности, машиностроении и народном хозяйстве. Возможность замены цветных металлов, нержавеющей стали материалами на основе полиэтилена, полипропилена и ненасыщенных полиэфиров.

### Литература

1. А.Ю.Гросберг, А.Р.Хохлов. Статистическая физика макромолекул. М. Наука. 1989.
2. П. Де Жен . Идеи скейлинга в физике полимеров. М. Мир. 1982.
3. Б.Вундерлих. Физика макромолекул. Т.1-3. М. Мир.1976.
4. А.Ю.Гросберг, А.Р.Хохлов. Физика в мире полимеров. М. Библиотека «Квант» Выпуск 74.1989.
5. Ю.К.Годовский. Теплофизика полимеров. М. Химия.1982.
6. Энциклопедия полимеров. Т.1-3. М. Советск. Энциклопедия. 1977.
7. М.Дой, С.Эдвардс. Динамическая теория полимеров. М. Мир. 1998.
8. Перепечко И.И. Введение в физику полимеров. М. ИЛ. 1980
9. Гуль.В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М. Лабиринт. 1994.
10. Френкель С.Я., Бартенев Б.М. Физика полимеров. Л. Химия. 1990
11. Бартенев.Г.М., Зеленев Ю.В. Курс физики полимеров. Л. Химия. 1976.
12. Промышленные полимерные композиционные материалы, ред.М. Ричардсона, М., Химия, 1980
13. Наполнители для полимерных композиционных материалов, ред. Г.С. Кац и Д.В. Милевски, М., Химия, 1981, с. 265-332.
14. ЖВХО им. Менделеева, 1989, т.34, №5
15. А.А. Берлин, С.А. Вольфсон, В.Г. Ошмян, Н.С. Ениколопян, Принципы создания композиционных материалов, М., Химия, 1990.
16. Справочник по композиционным материалам, ред. Дж. Любин, М., Машиностроение, 1988.

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»  
Ректор  
\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

### **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

**«ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКАЯ БИОЛОГИЯ И БИОФИЗИКА»**

Программа разработана кафедрами: «Физики живых систем», «Биофизики и экологии» в соответствии с магистерскими программами:

- 511680 – «Физика живых систем»,
- 511683 – «Молекулярная физиология и биофизика»,
- 511684 – «Прикладные экология и биофизика».

Декан ФМБФ  
\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

# **1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

1.1. Отличительные особенности живой материи. Химическая эволюция как основа возникновения жизни. Понятие о микро- и макроэволюции. Разнообразие форм жизни. Наследственность и изменчивость.

1.2. Живая клетка. Компартиментализация - необходимый признак живого организма. Биологические мембраны. Характерный химический состав клетки, её строение и общие свойства. Деление клетки - основной способ роста, развития и размножения организмов.

1.3. Биологически активные вещества, макромолекулы и биополимеры. Химическая природа липидов, белков и нуклеиновых кислот. Пространственная структура молекул и самосборка нативных биоструктур. Денатурация.

1.4. Явление и примеры гомеостаза. Представление о способах интеграции внутри- и межклеточных процессов в живом организме. Жизненный цикл клетки и многоклеточного организма.

1.5. Молекулярный механизм наследования признаков и его реализация в онтогенезе. Генетический код. Мутации. Регуляция экспрессии генов. представления о механизме дифференцировки клеток.

1.6. Основы биоэнергетики. Потоки свободной энергии и круговорот элементов в биосфере. Трофические цепи, консументы, редуценты, деструкторы. Особая роль воды, кислорода и углекислого газа. Молекулярные механизмы основных биоэнергетических процессов в клетке. Фотосинтез и биологическое окисление. Подвижные и неподвижные переносчики электронов. Особая роль фосфатной группы и молекулы АТФ в биоэнергетике.

1.7. Представления об основных физиологических системах организма: системы газообмена, кровообращения, пищеварения, выделения, движения, анализа среды и управления.

1.8. Механизмы устойчивости и адаптации организма. Иммунная, оксигенная и репарная системы. Организация гормональной системы. Нервно-гуморальные взаимодействия. Стресс, адаптация и обучение. Пределы возможности систем жизнеобеспечения организма.

1.9. Основные понятия экологии. Популяция вида, внутривидовые взаимодействия, динамика развития популяции при взаимодействии со средой. Сообщество видов, типы взаимодействия в сообществе. Классические математические модели динамики популяции и сообществ ( Ферхюльста, Лотка, Вольтерра ). Устойчивость сообществ и динамические режимы их поведения. Экосистемы, их типы. Биосфера как глобальная экосистема. Единство и взаимосвязь биотической и абиотической компонент биосферы Земли. Современное состояние биосферы и прогноз её развития. Основные проблемы экологии. Биосфера как источник ресурсов для человека и как целостная самоорганизующаяся живая система. Концепция экологической безопасности и устойчивого развития как предмет системного анализа взаимосвязи производительных сил и потребления ресурсов биосферы.

## **2. ОСНОВЫ БИОФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ**

2.1. Природа химической связи атомов в молекулах. Вариационные методы в квантовохимических расчётах энергии и волновых функций. Метод МО ЛКАО. Симметрия и перекрывание атомных орбиталей. Гибридизация, сопряжённая связь. Ионная, донорно-акцепторная, водородная связь. Неподелённые пары и свободные орбитали. Силы Ван-дер-Ваальса. Свободные радикалы. Комплексы с переносом заряда. Конформации макромолекул.

2.2. Элементарные химические реакции. Классификация реакций и реакционных частиц. Теория столкновений, её применение для оценки константы скорости. Поверхность потенциальной энергии, адиабатическое приближение. Переходное состояние, принципы расчёта константы скорости и оценки энергии активации реакции.

2.3. Статистическое описание сложных систем. Вероятность реализации состояния. Неустойчивость динамических траекторий как основа стохастизации процессов в системе. Характерное время стохастизации системы и условия справедливости эргодической

гипотезы и перехода к термодинамическому описанию. Возможность существования «молекулярных машин». Распределение Гиббса. Статистическая сумма молекулы. Выражение термодинамических потенциалов через статистическую сумму.

2.4. Основные понятия и определения химической кинетики. Закон действующих масс. Порядок реакции и константа скорости реакции. Кинетические кривые и их линейные анаморфозы. Кинетика простых одностадийных реакций и сложных химических процессов. Квазиравновесные и квазистационарные приближения. Математическое моделирование реакций в биохимических системах. Быстрые и медленные переменные, редукция системы. Качественный и компьютерный анализ режимов поведения системы. Пространственно распределённые процессы, автоволновые явления.

2.5. Химическое равновесие в замкнутой системе. Химический потенциал, его зависимость от температуры, давления и концентрации. Активность и летучесть. Равновесия между фазами. Связь константы равновесия с изменением стандартного термодинамического потенциала реакции. Второе начало термодинамики и направление самопроизвольного процесса в изолированной системе. Роль изменения энтропии в системах с большим числом степеней свободы.

2.6. Живой организм как открытая неравновесная система. Понятия неравновесной термодинамики открытых систем и их применимость к анализу процессов в живых организмах. Первое и второе начала термодинамики в живых системах. Диссипативная функция. Неравенство де-Донде и направленность биохимических процессов. Термодинамическое сопряжение в системе реакций. Возможные физические механизмы сопряжения. Обобщённые силы и потоки. Линейные феноменологические соотношения. Принцип взаимности Онзагера. Стационарное состояние открытой системы, его гомеостатические свойства. Теорема Пригожина. Эволюция системы вблизи равновесия. Границы применимости линейной термодинамики.

2.7. Химические реакции в однородной конденсированной среде. Особенности реакций в конденсированной фазе. Эффект клетки. Диффузионные и ориентационные ограничения скорости. Кинетический и диффузионный режимы протекания реакций.

Реакции с переносом зарядов. Электролитическая диссоциация, теория Дебая - Хюккеля, дебаевский радиус, ионная сила, сольватация, активность ионов. Электрохимический потенциал вещества, ионные и электронные равновесия,  $pK$  реагентов,  $pH$  среды. Окислительно-восстановительный потенциал, водородная шкала ОВП, стандартные электроды. Сольватированный электрон.

2.8. Химические реакции в неоднородной среде. Поверхностные и адсорбционные явления, Химическая и физическая адсорбция. Капиллярные силы, матричный потенциал. Природа сил и теплота адсорбции. Изотермы адсорбции. Поверхностно активные вещества, сурфактанты. Самосборка моно-, би- и мультислойных мембран, мицелл и липосом. Биологическая мембрана как химически активная поверхность с селективной и управляемой проницаемостью. Трансмембранный перенос вещества. Осмотическое давление как сосущий потенциал. Явления тургора, ультрафильтрации, обратного осмоса.

Перенос заряда в неоднородной среде. Двойной электрический слой. Потенциал Гальвани, Вольта, электродный потенциал. ЭДС гальванического элемента. Топливный элемент, его КПД. Электродиффузия, нернстовский и доннановский потенциал на полупроницаемой мембране.

2.9. Циклические процессы, катализ. Механизм каталитического ускорения реакций. Гомо- и гетерогенный катализ. Уравнение Михаэлис-Ментен. Особенности биологических высокомолекулярных катализаторов - ферментов. Автокатализ и самоторможение. Действие эффекторов, аллостерические явления. Двухсубстратные ферментативные реакции. Кооперативные эффекты в ферментативной кинетике.

2.10. Цепные процессы. Неразветвлённые цепные реакции. Зарождение, продолжение и обрыв цепи. Катализ, инициирование и ингибирование цепных реакций. Примеры цепных процессов полимеризации, окисления органических соединений, нерадикальных цепных процессов. Нестационарные разветвлённые цепные процессы. Критические явления. Реакции

с энергетическим разветвлением. Вырожденные разветвлённые цепные процессы, их кинетические особенности. Перекисное окисление углеводов как пример вырожденной разветвлённой реакции.

### **3. БИОФИЗИКА ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ**

3.1. Биоэнергетика. Окислительно-восстановительный процесс как источник свободной энергии для живых организмов. Принципиальная схема преобразования свободной энергии в биосфере и её квантово-электронный смысл. Энергетическая структура биосферы. Авто - гетеротрофы. Плотность потока солнечной энергии и средняя плотность производства первичной продукции в биосфере Земли. Коэффициент преобразования свободной энергии в природных и искусственных системах биосферы. Энергозатраты организма, мощность метаболизма, калорийность продуктов питания. Подвижные организмы.

Молекулярно-физический аспект биоэнергетики. Потенциал переноса групп. Фосфорилирование. АТФ. Физический смысл «макроэргической» связи. Окислительно-восстановительные процессы в живых системах. Фундаментальная роль электрохимического потенциала в биоэнергетике. Альтернативные формы существования свободной энергии в живой клетке.

3.2. Фотосинтез, его типы и феноменология. Физика первичных процессов. Фотосинтетический аппарат как фотоэлектрохимический преобразователь. Его состав и строение, спектр действия, квантовый выход, коэффициент преобразования энергии. Трансмембранный перенос электронов и протонов. Выделение молекулярного кислорода как пример кооперативного процесса. Биофотолитиз воды как прообраз фотокаталитического преобразования солнечной энергии для технических целей.

3.3. Биологическое окисление. Его типы и феноменология. Гликолиз и цикл трикарбоновых кислот. Регуляция потока электронов. Гипотеза Митчела о сопряжении окисления и фосфорилирования, разобщители. Адаптационные возможности сопрягающей мембраны и их физиологический смысл. Теплопродукция. Митохондрия как топливный элемент. Коэффициент преобразования химической энергии глюкозы в энергию фосфатных связей АТФ. Биологическое окисление - прообраз каталитического преобразования химической энергии топлива. Организация газообмена в организме, роль диффузии, конвекции и микроциркуляции. Гемоглобин и миоглобин как эффективные переносчики кислорода.

3.4. Физика миграции энергии электронного возбуждения и переноса элементарного заряда в биомолекулярной системе. Индуктивно-резонансный, экситонный, полупроводниковый механизмы переноса. Особенности туннельных процессов в биохимических процессах. Представление о физике сопряженного электронно-конформационного процесса в «молекулярной машине». Искусственные преобразователи энергии и химические реакторы нового типа на основе молекулярно организованных систем.

3.5. Система транспорта нейтральных и заряженных частиц и воды. Активный и пассивный транспорт. Физическое определение и примеры. Энергетическое сопряжение в мембранных насосах. Калий-натриевый насос. Устройство, рабочий цикл, коэффициент преобразования энергии. Протонная «фотопомпа» в галобактериях. Активный транспорт в секреторных системах. Принцип работы почечных канальцев. Примеры пассивного транспорта.

3.6. Электрические процессы в клетке. Потенциал покоя, потенциал действия. Ионные каналы. Физика нервного импульса. Уравнение Ходжкина-Хаксли. Кабельная модель аксона. Типы синаптической связи. Элементарные логические операции, выполняемые нейронами. Понятие о нейронных сетях. Электрическая активность органов, ЭКГ, ЭЭГ, электрогенераторы рыб.

3.7. Физика сократительных систем. Гладкие и поперечнополосатые мышцы. Строение и феноменология сокращения. Уравнение Хилла. Основной механохимический цикл и управление им, математическая модель циклической работы мостиков. Альтернативные

типы молекулярных двигателей, не использующие гидролиз АТФ. Механика сердечно-сосудистой системы. Автоматизм работы сердца. Основные характеристики сердечно-сосудистой системы человека.

3.8. Биофизика рецепции. Общие характеристики рецепторов. Спектр действия, чувствительность, избирательность, коэффициент усиления, динамический диапазон, адаптация. Организация рецепторных систем. Спусковая релаксация как общий принцип работы биорецепторов. Хемо- и механорецепция. Электрорецепторы рыб. Молекулярные рецепторы. Рецепторы вкуса, запаха. Зрительный аппарат. Его разновидности. Физические характеристики. Молекулярная физика зрения. Физические принципы работы слухового аппарата. Его устройство и характеристики. Устройство и принцип действия вестибулярного аппарата. Общие принципы первичной обработки рецепторной информации. Обострение и контрастирование. Роль латерального торможения. Искусственные рецепторные системы. Биосенсоры. Их уникальные возможности для технического использования.

3.9. Молекулярно-физические основы фотобиологических процессов. Примеры энергетического, информационного и регуляторного действия света на живые системы. Возможная роль света в межклеточной коммуникации. Билюминесценция. Типы спонтанной и вынужденной люминесценции. Молекулярные механизмы свечения.

3.10. Элементы радиационной биофизики. Первичные процессы поглощения и миграции энергии ионизирующих излучений. Относительная биологическая эффективность различных видов ионизирующей радиации. Зависимость эффекта от поглощенной дозы. Понятие о мишени первичного поражения. Вероятностный характер поражения. Одно- и многоударные механизмы поражения. Прямое и не прямое действие. Первичные продукты. Физико-химические процессы повреждения в облученной клетке и защитные системы. Типы и формы лучевого поражения организма. Фоновые, предельно допустимые и летальные дозы облучения человека. Сравнительная радиочувствительность биологических объектов. Модификация лучевого поражения: радиопротекторы и радиосенсибилизаторы.

3.11. Воздействие химических соединений на организм. Классы биологической активности и мишени их действия. Синергизм воздействия. Понятия предельно допустимых концентраций (ПДК), предельно допустимых доз (ПДД) и предельно допустимых воздействий (ПДВ). Проблема оценки опасности среды обитания.

#### **4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ БИОФИЗИКИ**

4.1. Оптическая спектроскопия. Адиабатическое приближение. Оптические переходы в молекулах, их классификация. принцип Франка-Кондона. Правила отбора. Одно- и двухфотонные переходы. Закон Ламберта-Бэра. Коэффициент поглощения, молекулярная экстинкция, оптическая плотность.

4.1.1. Инфракрасные спектры поглощения. Регистрация ИК-спектров. Валентные и деформационные колебания. Характеристические колебания атомных групп, интенсивность ИК-полос. Проявление водородной связи. Возможности Фурье ИК-спектроскопии.

4.1.2. Спектры комбинационного рассеяния. Регистрация спектров комбинационного рассеяния. Эффект резонансного комбинационного рассеяния. Спектры природных соединений в водных растворах. Сопоставление с методом ИК-поглощения. Гигантское комбинационное рассеяние, применение для изучения биологических объектов.

4.1.3. Электронные спектры поглощения. Понятие о хромофорах. Сопряженные и ароматические хромофоры. Техника измерения электронных спектров поглощения. Количественный анализ по электронным спектрам. Типы электронных переходов, встречающихся в природных соединениях. Применение спектров поглощения для изучения белков и нуклеиновых кислот. Дифференциальная и производная спектроскопия.

4.1.4. Флуоресцентная спектроскопия. Отличие флуоресценции от фосфоресценции, задержанная флуоресценция. Взаимосвязь между спектрами возбуждения, поглощения и излучения. Квантовый выход флуоресценции и время жизни возбужденного состояния. Процессы тушения флуоресценции. Поляризация флуоресценции, ее применение.

Безызлучательный перенос энергии и оценка расстояния между хромофорными группами в природных соединениях. Применение флуоресценции для изучения структуры белка. Флуоресцентные зонды и метки.

4.1.5. Дисперсия оптического вращения и круговой дихроизм. Природа ДОВ и КД, эффект Коттона. Регистрация ДОВ и КД. Принципы анализа оптической активности (правила октантов, спиральности и экситонной хиральности). Понятие о магнитной оптической активности.

4.2. ЯМР-спектроскопия. Классический и квантовомеханический подход. Заселенность спиновых состояний. Уравнения Блоха: вращающаяся система координат, импульсные методы. Фурье спектроскопия. Экранирование, химический сдвиг, спин-спиновое взаимодействие. Двойной резонанс. Ядерный эффект Оверхаузера. Обменные процессы. Исследования химических равновесий. Парамагнитные соединения. Применение метода для структурных исследований. Двумерная ЯМР-спектроскопия. Исследование живых объектов. ЯМР- томография.

4.3. ЭПР-спектроскопия. Сущность явления, принцип устройства спектрометра ЭПР. g-фактор. Форма линии. Зеемановское, сверхтонкое взаимодействие. Расщепление в нулевом поле. Анализ спектров ЭПР. Обменные процессы. Метод спиновых зондов и меток. Свободные радикалы в биологии. Изучение быстрых процессов. Методы остановленного потока, температурного скачка.

4.4. Электрохимические методы исследования. Кондуктометрия растворов, суспензий, жидких кристаллов, порошков, плёнок и твёрдых тел. Частотная дисперсия электропроводности и диэлектрической проницаемости однородных и неоднородных материалов. Безконтактная ВЧ и СВЧ кондуктометрия. Ионоселективные электроды. Потенциометрия. Измерение электрических потенциалов живых клеток и поверхностных потенциалов мембран. Полярография. Уравнение Ильковича для диффузного тока и растворе Полярографическая волна. Потенциал полуволны. Полярографический метод анализа. Измерение и титрование окислительно-восстановительных потенциалов. Электрофорез.

4.5. Масс-спектрометрия. Область использования и границы применения метода масс-спектрометрии. Различные типы масс-спектральных приборов и области их применения. Способы введения соединений в масс-спектрометр. Способы ионизации молекул в масс-спектрометре, получение масс-спектра, его расшифровка, понятие о схеме фрагментации. Подготовка образца для масс- спектрометрирования.

4.6. Рентгено-структурный анализ. Требования, предъявляемые к эксперименту. Получение и выбор кристаллов. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Условия Вульфа-Брэгга. Физические основы метода. Преобразования Фурье. Фазовая проблема. Измерения интенсивности: фотографический и дифрактометрический методы. Методы определения кристаллической структуры: метод «тяжелого атома», метод «проб и ошибок», «прямые» методы, метод изоморфного замещения, метод молекулярного замещения.

4.7. Радиоизотопные методы. Физические основы. Радиоактивные и стабильные изотопы. Способы определения радиоактивных изотопов. Принципиальные схемы современных приборов. Получение изотопов и пути введения изотопной метки в органические соединения. Основные направления использования изотопных методов.

4.8. Другие аналитические и препаративные методы физико-химической биологии. Хроматография, ультрацентрифугирование, оптическая и электронная микроскопия, микрокалориметрия. Физические основы методов и их применение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы общей биологии / под ред. Либберта Э., М.: Мир, 1982.
2. Вилли К., Детье В. Биология, М. : Мир, 1974.
3. Альбертс В., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки в 5 томах, М.: Мир, 1986-1987.

4. Страйер Л. Биохимия в 3-х томах, М.: Мир, 1985.
5. Makeев А.В. Основы биологии, М.: МФТИ, ч. 1, 1996, ч. 2, 1997.
6. Смит Дж. Модели в экологии, М.: Мир, 1976.
7. Кантор Ч., Шиммель П. Биофизическая химия, М.: Мир, т. 1 и 2, 1984, т. 3, 1985.
8. Фрайфедлер Д. Физическая биохимия, М.: Мир, 1980.
9. Овчинников Ю. А. Биоорганическая химия, М.: Просвещение", 1987
10. Рано У., Рано А. Физика атомов и молекул, М.: Наука, 1980.
11. Физическая химия / под ред. Никольского Б.П., Л.: Химия, 1987.
12. Шляпинтох В.Я., Замаараев К.И., Пурмаль А.П. Химическая термодинамика, М.: МФТИ, 1975.
13. Пурмаль А.П. Химическая кинетика, М.: МФТИ, 1993.
14. Пурмаль А.П. Простая кинетика сложных реакций, М.: МФТИ, 1998.
15. Костюк П.Г., Гродзинский Д.М., Зима В.Л., Магура И.С., Сидорик Е.П., Шуба М.Ф. Биофизика, Киев.: Выща школа, 1988.
16. Рубин А.Б. Биофизика в 2-х томах, М.: Высшая школа, 1987.
17. Рубин А.Б. Лекции по биофизике, М.: изд МГУ, 1995.
18. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов, М.: изд. МГУ, 1987.
19. Волькенштейн М.В. Биофизика, М.: Наука, 1988.
20. Артюхов В.Г., Ковалёва Т.А., Шмелёв В.П. Биофизика, Воронеж: изд. Воронежского Университета, 1994.
21. Оксенгендлер Г.И. Яды и организм, С.-Петербург: Наука. 1991.
22. Гуляева Н.В. Основы адаптологии, М.: МФТИ, 1997.
23. Современные методы биофизических исследований / под ред. Рубина А.Б., М.: Высшая школа, 1988.
24. Практикум по физической химии / под ред. Кудряшова И.В., М.: Высшая школа, 1986.
25. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа, М.: Мир, 1989.
26. Драго Р. Физические методы в химии, М.: Мир, 1981.
- 27, Керрингтон А., Мак-Лечлан Э. Магнитный резонанс и его применение в химии, М.: Мир, 1970.
28. Ельяшевич М.А. Атомная и молекулярная спектроскопия, М.: Физматгиз, 1962.
29. Лакович Дж. Основы флуоресцентной спектроскопии, М.: Мир, 1986.
30. Новые физические методы в биологических исследованиях / под ред. Берестовского Г.Н., М.: Наука 1987 .



Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

### **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
**511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»**

**«МОЛЕКУЛЯРНЫЕ БИОЛОГИЯ И БИОФИЗИКА»**

Программа разработана кафедрой «Молекулярной биофизики», в соответствии с магистерской программой

511681 - «Молекулярные биология и биофизика».

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## I. ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Общая структурная характеристика белков и нуклеиновых кислот как биополимеров. Понятие о первичной, вторичной, третичной и четвертичной структурах. Биологическое значение различных уровней структурной организации. Надмолекулярные структуры. Проблема узнавания и проблема катализа в функционировании биологических макромолекул.

## II. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ

### 1. Первичная структура нуклеиновых кислот

а) Нуклеотиды - мономеры нуклеиновых кислот. Пуриновые и пиримидиновые основания; кето-енольная таутомерия. Сахарный компонент нуклеотида;  $\beta$ -D-фуранозная конфигурация. Нуклеозид; гликозидная связь; фосфатный остаток, его положение. Различные типы нуклеотидов; терминология.

б) Межнуклеотидные связи. Полярность линейной цепи. Схема полинуклеотидной цепи

в) Химическая деградация нуклеиновых кислот. Щелочной и кислотный гидролиз. Специфическое расщепление по определенным нуклеотидам.

г) Энзиматическая деградация нуклеиновых кислот. Экзонуклеазы и эндонуклеазы. ДНКазы и РНКазы. Нуклеотидспецифические нуклеазы.

д) Принципы количественного определения нуклеиновых кислот. Экстракция нуклеиновых кислот и разделение ДНК и РНК. Ультрафиолетовое поглощение нуклеиновых кислот и его применение.

е) Количественные соотношения азотистых оснований в нуклеиновых кислотах. Правила Чаргаффа. Специфичность количественных соотношений азотистых оснований в нуклеиновых кислотах. Равновесное центрифугирование в градиенте плотности. Гетерогенность ДНК по составу.

ж) Нуклеотидная последовательность нуклеиновых кислот. Современные методы прямого определения нуклеотидных последовательностей ДНК и РНК.

з) Значение изучения первичной структуры ДНК для решения проблем эволюции и систематики организмов.

### 2. Физико-химические свойства функциональных групп нуклеиновых кислот и возможности нековалентных взаимодействий между ними.

а) Фосфорные группы и полиэлектролитная природа полимера. Влияние ионной силы на конформационные изменения полиэлектролита и на агрегацию цепей.

б) Азотистые основания и водородные связи между ними.

в) Азотистые основания и гидрофобные взаимодействия плоскостей колец оснований. Гидрофобные взаимодействия в полинуклеотидах; "стопкообразование".

### 3. Макромолекулярная структура ДНК.

а) Двойная спираль Уотсона-Крика. Принцип комплементарности и его биологическое значение. Реализация водородных связей и гидрофобных взаимодействий. Регулярность структуры и кооперативность. Спирализация. Параметры спирали. В- и А-формы ДНК. Универсальность макроструктуры ДНК. Z-форма ДНК. Условия взаимопереходов между разными формами ДНК.

б) Жесткость молекулы ДНК. Оценка жесткости и ее изменений по характеристической вязкости. Механизм гибкости двойных спиралей ДНК.

в) Гипохромизм ДНК. Его связи с упорядоченностью расположения азотистых оснований в молекуле.

г) Денатурация двуспиральной ДНК. Влияние ионной силы, гидрофобных растворителей, мочевины, рН, температуры. Понятие о "плавлении" спирали; температура "плавления"; связь ее с нуклеотидным составом. Гиперхромный эффект. Кооперативность.

Денатурация ДНК как переход спираль-клубок. Природа кооперативности. Профиль плавления. Факторы, определяющие профиль перехода спираль-клубок в гомогенных и гетерогенных химических структурах. Энтальпия и энтропия перехода. Свободная энергия стабилизации нативной структуры.

д) Ренатурация ДНК. Условия ренатурации. Зависимость ренатурации от гомогенности препарата.

е) Молекулярная гибридизация ДНК. Обнаружение гибридных ДНК с помощью тяжелой метки в градиенте плотности хлористого цезия. Установление сходства нуклеотидной последовательности цепей ДНК путем молекулярной гибридизации. Гибридизация РНК-ДНК.

#### 4. Макромолекулярная структура РНК.

а) Сходство и отличие конформационных свойств РНК и ДНК:

б) Одноцепочечность РНК. Спирализация А РНК (вторичная структура). Внутрицепочечные комплементарные взаимодействия. Длина и количество спиральных участков. Неканонические типы спаривания оснований. Петли в спиральных. Температурное разрушение ("плавление") спиралей; профили плавления; зависимость от дефектности и длины спиралей.

в) Проблема взаимодействий между спиральными участками.

Структурные домены в РНК.

5. Однотяжевая ДНК и двутяжевая РНК вирусного происхождения.

### **III. СТРУКТУРА И СВОЙСТВА БЕЛКОВ**

#### 1. Первичная структура белков.

а) Аминокислотные остатки - мономеры белковых цепей. Различные типы аминокислот и их строение. Пептидная связь. Полипептидная цепь.

б) Выделение белков и пептидов. Фракционное осаждение. Ионообменная хроматография. Биоспецифическая (аффинная) хроматография. Гель-фильтрация. Изоэлектрофокусирование в градиенте сахарозы.

в) Проверка гомогенности препаратов белков. Аналитическое ультрацентрифугирование. Диск-электрофорез. Электрофорез в полиакриламидном геле с додецилсульфатом. Изоэлектрофокусирование в полиакриламидном геле. Определение N- и C-концевых аминокислотных остатков.

г) Определение аминокислотной последовательности. Гидролитическое расщепление белка с помощью протеолитических ферментов. Секвенатор.

#### 2. Пространственная структура белков.

а) Основные типы конформаций дипептидной единицы. Стерические карты Рамачандрана и потенциальные карты дипептида. Спираль -,  $\alpha$ -спираль, р-спираль, полипролиновая спираль,  $\beta$ -структура,  $\beta$ -изгибы.

б) Вторичная структура белков. Спиральные и  $\beta$ -структурные участки в глобулярных белках. Изогнутость  $\beta$ -структурных слоев в глобулярных белках (правопропеллерность). Связь вторичной структуры с аминокислотной последовательностью. Основные положения стереохимической теории вторичной структуры глобулярных белков. Статистические закономерности в распределении аминокислотных остатков в спиральных,  $\beta$ -структурных и нерегулярных участках глобулярных белков. Экспериментальные методы изучения вторичной структуры белков. Оптические методы. Кривые циркулярного дихроизма. Оптическое вращение. Инфракрасная спектроскопия, ЯМР-спектроскопия.

в) Третичная структура белков. Природа сил, стабилизирующих трехмерную структуру белка. Гидрофобные взаимодействия. Солевые и водородные связи. Ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Рентгеноструктурный анализ глобулярных белков. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Структурный фактор. Методы

определения фаз структурных амплитуд белковых кристаллов. Изоморфные замещения. Основные структурные характеристики глобулярных белков с известной пространственной структурой. Компактность формы. Наличие плотноупакованных гидрофобных ядер и полярной оболочки. Доменная структура. Пространственные структуры молекул миоглобина, лизоцима, цитохрома, рибонуклеазы, химитрипсина.

г) Четвертичная структура белков. Типы взаимодействий между субъединицами в олигомерных белках на примере молекулы гемоглобина. Симметричные олигомерные структуры из тождественных субъединиц. Структуры инсулина, лактатдегидрогеназы. Биологические преимущества крупного белка, составленного из субъединиц, перед крупным мономерным белком: меньшая вероятность ошибок при биосинтезе; возможность регуляторных взаимодействий.

д) Фибриллярные белковые структуры. Фиброин шелка, кератин, коллаген, миозин.

3. Денатурация белков. Разрушение нативной конформации белков изменением температуры, pH, обработкой мочевиной, гуанидинхлоридом. Действие детергентов, спиртов, электролитов.

4. Самоорганизация пространственной структуры белковых молекул. Формирование пространственной структуры белковой молекулы - процесс, определяемый только ее первичной структурой. Опыты Анфинсена по ренатурации молекулы рибонуклеазы. Влияние солей, субстратов на скорость ренатурации белков. Ускорение ренатурации белка в присутствии других глобулярных белков.

5. Некоторые функции белков.

а) Классификация белков, основанная на их биологической функции. Ферменты, трансферные белки, запасные белки, сократительные белки, защитные белки крови, токсины, гормоны, структурные белки.

б) Трансферные белки. Гемоглобин. Механизм его взаимодействия с молекулами кислорода.

в) Защитные белки крови. Иммуноглобулины. Их структура.

Иммунная реакция. Видовая специфичность.

г) Сократительные белки. Миозин, актин, тропомиозин. Флагеллин. Динеин, тубулин. АТФазная активность актомиозинового комплекса. Структура мышечных волокон. Представление о механизме мышечного сокращения. Модель скользящих нитей.

д) Ферменты. Классификация ферментов. Коферменты и витамины. Кинетика ферментативных реакций. Уравнения Михаэлиса-Ментен и Бриггса-Холдейна. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата, кофактора, pH и температуры. Определение активационных параметров.

е) Функционирование ферментов. Активные центры ферментов. Строение субстратсвязывающих участков (трипсин, химотрипсин, эластаза). Объяснение субстратной специфичности ферментов. Представление о строении активного центра и механизме действия ферментов (лизоцим, карбоксипептидаза, химотрипсин и др.). Индуцированные изменения конформации субстрата и фермента.

ж) Регуляция ферментативной активности. Ингибирование. Активация путем химической (ферментативной) модификации. Превращение зимогена в энзим, фосфорилирование, аленилирование.

з) Аллостерическая регуляция активности ферментов. Аллостерические белки и их биологическая роль. Значение четвертичной структуры белков. Аллостерические модели Кошланда и Моно, Уаймана, Шанже. Строение и аллостерические свойства аспартат-карбоамилтрансферазы. Регуляция по принципу обратной связи. Особенности кинетики реакций с участием аллостерических ферментов.

и) Изоферменты. Четвертичная структура изоферментов (лактатдегидрогеназа). Изоферментная регуляция метаболизма на примере изоферментов лактатдегидрогеназы.

к) Полиферментные комплексы. Пируватдегидрогеназный комплекс.

#### **IV. СТРУКТУРА РИБОСОМЫ**

1. Локализация рибосом в клетке.
2. Прокариотический и эукариотический типы рибосом. Рибосомы митохондрий и хлоропластов.
3. Размер, внешний вид и подразделение рибосом на две субчастицы. Детальная форма рибосомных субчастиц. Объединение субчастиц в целую рибосому.
4. Рибосомные РНК.
  - а) Значение рибосомной РНК.
  - б) Виды рибосомных РНК: высокополимерная РНК малой субчастицы; высокополимерная РНК большой субчастицы; 5S РНК большой субчастицы.
  - в) Первичные и вторичные структуры.
  - г) Структурные домены и компактная самоукладка молекул РНК.
5. Рибосомные белки.
6. Взаиморасположение рибосомной РНК и белков.
  - а) Периферическое положение белков на ядре РНК.
  - б) Топография белков: определение соседствующих белков; измерение расстояний между белками; иммунная электронная микроскопия.
7. Структурные превращения рибосом (in vitro).
  - а) Диссоциация рибосом на субчастицы; факторы, способствующие и противодействующие диссоциации.
  - б) Разворачивание субчастиц; кооперативность.
  - в) Разборка субчастиц; стадии разборки; кооперативность.
8. Самосборка рибосом. Стадии сборки. Самосборка in vivo.

#### **V. СТРУКТУРА ВИРУСОВ**

1. Вирусный нуклеопротеид как форма сохранения инфекционного начала - молекула нуклеиновой кислоты.
2. Химический состав вирусов и вирусных нуклеопротеидов. ДНК-содержащие и РНК-содержащие вирусы. Типы вирусных нуклеиновых кислот (однотяжевые и двутяжевые ДНК и РНК, линейные и кольцевые молекулы). Аномальные основания в ДНК бактериофагов. Количественные соотношения нуклеиновой кислоты и белка. Количество молекул нуклеиновой кислоты на одну вирусную частицу. Количество молекул белка.
3. Функции вирусной нуклеиновой кислоты.
4. Функции вирусного белка.
5. Структура вирусов как следствие функции вирусного белка.
  - а) Устойчивая равновесная четвертичная структура белковой оболочки вируса. Принцип гексагональной упаковки. Возможности создания замкнутой поверхности из гексагонально упакованного слоя. Икосаэдр, октаэдр и тетраэдр, оси симметрии в них. Типы симметрии в "сферических" вирусах; вирусы типа 5:3:2 (икосаэдр). Винтовая симметрия и ее встречаемость среди вирусов. "Палочкообразные" вирусы. Строение вируса табачной мозаики.
  - б) Дополнительные компоненты сложных вирусов. Липидно-белковая оболочка, гликопротеиды. Бактериофаги типа Т-четных фагов кишечной палочки; схема строения, функции компонентов.
6. Принципы сборки вирусов. Самосборка и другие механизмы.

#### **VI. СТРУКТУРА ХРОМОСОМ**

1. Два уровня организации упаковки ДНК в живой природе: "свободная" (вирусы, бактерии) и нуклеопротеидная (высшие организмы) формы. Проблема компактной упаковки на обоих уровнях.
2. Фаговая "хромосома".

- а) Размеры, молекулярный вес, тождественность с ДНК, непрерывность цепей ДНК, цикличность ДНК.
  - б) Компактная форма ДНК в вирионе и активная развернутая форма фаговой "хромосомы" при инфекции.
3. Бактериальная "хромосома".
- а) Размеры, проблема непрерывности цепей ДНК. Цикличность.
  - б) Сверхспирализация ДНК.
4. Химический состав хромосом высших организмов.
- а) Хромосома как клеточный дезоксирибонуклеопротеид (ДНП).
  - б) Гистон как специфический белковый компонент ДНП. Типы гистонов. Молекулярный вес, особенности аминокислотного состава и конформация молекул гистонов.
  - в) Структурная организация молекул гистонов на ДНК (возможная четвертичная структура). Структура хроматина. Фрагментация хромосом. Нуклеосома. Реконструкция хроматина.
  - г) Нуклеопротамины.
  - д) Негистоновый белок в хромосомах.
5. Проблема структурной организации хромосом высших организмов.
- а) Отождествление хроматиды с двуспиральной молекулой ДНК, ассоциированной с белком.
  - б) Понятие об активной интерфазной и неактивной конденсированной хромосоме. Их структурное различие. Строение митотической хромосомы.
  - в) Сателлитные ДНК и организатор ядрышек как компоненты гетерохроматина.

## **VII. ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ ХРОМОСОМ**

1. Локализация генов в хромосомах. Принцип линейного расположения генов в хромосоме.
2. Химическая природа генов. Отождествление генов с ДНК.
  - а) Корреляция между взаимодействиями на ДНК и мутациями у высших организмов.
  - б) Трансформация бактерий с помощью чистой ДНК. Опыт Эвери, Мак-Леода и Мак-Карти (1944).
  - в) Заражение бактерии бактериофаговой ДНК. Опыт Херши и Чейз (1952).
3. Многочисленность генов на одной молекуле ДНК. Пример с ДНК бактериофага. Отождествление гена с ограниченным участком ДНК.
4. Фиксированное расположение генов вдоль молекулы ДНК. Понятие генной карты в применении к молекуле ДНК. Использование явления кроссинговера с последующим определением частоты рекомбинантов для установления относительной локализации генов вдоль хромосомы (ДНК). "Физическое" картирование генов: гетеродуплексный делеционный и рестрикционный анализ.
5. Понятие о мутации как точечном изменении в определенном участке ДНК. Фенотипическое выражение мутации: изменение, ослабление или выпадение функции. Мутации разных генов. Мутации внутри одного гена. Транзиции и трансверсии.
6. Многочисленность различных внутригенных мутаций. Внутригенная карта и ее линейность.
7. Определение границ гена. Цис-транс-тест и понятие "цистрона"; эквивалентность цистрона и гена.
8. Белок заданной структуры как реализация специфичности гена.
  - а) Гипотеза "один ген - один фермент" как следствие развития молекулярной генетики. Дальнейшее развитие гипотезы: "один ген - одна полипептидная цепь". Предшественники белков и случаи "один ген - несколько полипептидов (например, нейрогормоны).
  - б) Замена аминокислоты как структурное проявление мутации гена. Гемоглобиновые

мутанты человека.

в) Колинеарность гена и полипептидной цепи. Мутации А-белка ( $\alpha$ -цепи) триптофан-синтетазы E.coli. "Бессмысленные" мутации структурного белка головки бактериофага T4.

г) Перекрывающиеся гены. Некодирующие вставки ("интроны") внутри кодирующей последовательности в генах эукариот. Процессинг и сплайсинг про-мРНК. Сближение генов иммуноглобулинов в онтогенезе.

## **VIII. РЕДУПЛИКАЦИЯ, РЕКОМБИНАЦИЯ И МОДИФИКАЦИЯ ДНК**

### 1. Редупликация ДНК.

а) Полуконсервативный механизм редупликации (опыт Меселсона и Сталя)

б) Механизм биосинтеза ДНК. Роль матрицы, дНТФ, образование комплементарного продукта. Аналоги обычных оснований, роль в мутагенезе, в ДНК фагов. Точность редупликации ДНК и измененные ДНК-полимеразы как мутаторы.

в) ДНК-полимераза I (Корнберга).

г) ДНК-лигазы. Роль в образовании ДНК.

е) Белки, катализирующие разрыв-воссоединение нитей ДНК: ДНК-топоизомераза I ("ДНК-релаксаза") и II ("ДНК-гираза"). Образование и снятие сверхспирали. Роль в редупликации ДНК. Сверхспирализация ДНК при сборке нуклеосом.

ж) Антибиотики-ингибиторы редупликации ДНК (налидиксовая кислота, новобиоцин).

з) Регуляция редупликации хромосом бактерий. Понятие о репликоне.

и) Плазмиды, эписомы, бактериогенные факторы, факторы резистентности и токсичности. Значение для бактериологии.

к) Схема репликона. Белок гена А фага  $\phi$ X174 как инициатор репликации ДНК. Нуклеотидная последовательность места начала репликации.

### 2. Синтез ДНК на матрице РНК ("обратная" транскрипция).

Роль затравки.

### 3. Молекулярный механизм мутаций.

а) Мутации, возникающие в процессе редупликации ДНК. Возникновение спонтанных мутаций вследствие таутомеризации или ионизации пуринового или пиримидинового кольца в момент редупликации.

б) Точечные мутации, вызываемые прямым химическим изменением нуклеотидов в ДНК. Мутации, вызываемые азотистой кислотой. Генетические и структурные последствия точечных мутаций (аминокислотные замены).

в) Мутации со "сдвигом фазы" (делеции и вставки нуклеотидов). Акридиновые красители как мутагены. Генетические и структурные последствия мутаций со "сдвигом фазы".

4. Экспериментальная расшифровка общих черт генетического кода. Экспериментальное доказательство триплетности кода без запятых с помощью мутаций, индуцированных акридиновыми красителями (опыт Крика-Бреннера).

### 5. Модификация и рестрикция ДНК.

а) Глюкозилирование ДНК бактериофагов.

б) Метилирование ДНК.

в) Рестрикция неметилированной ДНК.

г) Использование рестриктаз для составления "физических" карт генов и определении нуклеотидной последовательности.

### 6. Репарация повреждений ДНК.

а) Система световой репарации ДНК.

б) Темновая репарация ДНК. Вырезание тиминовых димеров и застройка бреши. Этапы процесса. Роль ферментов: эндонуклеазы, ДНКазы, ДНК-полимеразы I, лигазы. Мутации, нарушающие репарацию у бактерий. Наследственные

заболевания человека, основанные на нарушении системы репарации ДНК.

7. Генетическая рекомбинация. Типы генетической рекомбинации у бактерий и фагов.

8. Генная инженерия.

а) Создание специфических трансдуцирующих фагов, несущих заданные гены.

б) Выделение бактериального оперона из трансдуцирующих фагов по Беквису.

в) Химический синтез гена по Корана. Использование лигазы.

г) Синтез генов на информационных РНК РНК-зависимыми ДНК-полимеразами.

д) Соединение вируса SV 40 и фага 1 по Бергу.

е) Включение фрагментов в состав плазмид и фагов *in vitro*. Использование рестриктаз и ЛНК-лигазы. Синтетические "коннекторы". Трансформация (трансфекция) бактерий гибридными плазидами и фагами. Селекция трансформантов.

ж) Присоединение к плазидам и фагам генов животных. Транскрипция и трансляция чужеродных генов в клетках бактерий.

з) Попытки введения в клетки растений и животных генов бактерий. Предложение об использовании онкогенных вирусов для переноса генов между клетками животных. Трансформация клеток животных целыми вирусными ДНК и их фрагментами. Трансгенез с помощью изолированных хромосом. Нестабильная и стабильная трансформация клеток животных. Необходимые предосторожности при работах по генной инженерии.

и) Локализованный мутагенез.

## **IX. ТРАНСКРИПЦИЯ И БИОСИНТЕЗ РНК**

1. Безматричный синтез полирибонуклеотидов с помощью полинуклеотидил-фосфорилазы.

2. Открытие информационной РНК. Состав новых РНК при развитии бактериофагов (Фолкин). Корреляция состава РНК и ДНК у бактерий (Белозерский, Спиринов). Выделение мРНК из рибосом (опыты Бреннера и др., и Гро и др.). Гибридизация мРНК с ДНК. "Ранние" и "поздние" мРНК при развитии Т-фагов. Короткоживущие и стабильные мРНК. Разрезание (процессинг) предшественников тРНК бактериофагов.

3. Матричный синтез РНК.

4. Регуляция транскрипции у бактерий.

5. Регуляция транскрипции у эукариот.

6. Информосомы. Типы информосом, их внутриклеточная локализация, состав и особенности строения. РНК-связывающий (информосомосвязывающий) белок. Гипотезы о функциональной роли информосом и информосомного белка.

7. Ферментативный синтез РНК на матрице РНК при вирусной инфекции (РНК-содержащими вирусами)

## **X. БИОСИНТЕЗ БЕЛКА**

1. Информационная РНК и генетический код.

2. Трансферные РНК и аминоацил-тРНК-синтетазы.

3. Общее представление о трансляции.

4. Функциональные активности и функциональные участки рибосомы.

5. Поступление аминоацил-тРНК в рибосому.

6. Транспептидация (образование пептидной связи)

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Основы общей биологии / под ред. Либберта Э., М.: Мир, 1982.

2. Вилли К., Детье В. Биология, М.: Мир, 1974.

3. Альбертс В., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж.

Молекулярная биология клетки в 5 томах, М.: Мир, 1986-1987.



4. Страйер Л. Биохимия в 3-х томах, М.: Мир, 1985.
5. Макеев А.В. Основы биологии, М.: МФТИ, ч. 1, 1996, ч. 2, 1997.
6. Смит Дж. Модели в экологии, М.: Мир, 1976.
7. Кантор Ч., Шиммель П. Биофизическая химия, М.: Мир, т. 1 и 2, 1984, т. 3, 1985.
- 8.. Физическая химия / под ред. Никольского Б.П., Л.: Химия, 1987. термодинамика, М.: МФТИ, 1975.
9. Рубин А.Б. Биофизика в 2-х томах, М.: Высшая школа, 1987.
10. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов, М.: изд. МГУ, 1987.
11. Волькенштейн М.В. Биофизика, М.: Наука, 1988.
12. Оксенгендлер Г.И. Яды и организм, С.-Петербург: Наука. 1991.
13. Гуляева Н.В. Основы адаптологии, М.: МФТИ, 1997.
14. Современные методы биофизических исследований / под ред. Рубина А.Б., М.: Высшая школа, 1988.
15. Юинг Г. Инструментальные методы химического анализа, М.: Мир, 1989.
16. Драго Р. Физические методы в химии, М.: Мир, 1981.
17. Новые физические методы в биологических исследованиях / под ред. Берестовского Г.Н., М.: Наука 1987 .

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

**Ректор**

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

### **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

#### **«МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОФИЗИКА»**

Программа разработана кафедрой «Физико-химической биологии и биотехнологии» в соответствии с магистерской программой

511682 – «Физико-химическая биология и биотехнология»

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## **I. Природные соединения (общие сведения).**

1. Аминокислоты. Строение основных аминокислот - компонентов белков. Стереохимия аминокислот.
2. Пептиды. Биологическая роль. Типы пептидов. Пептидная связь, ее электронное строение и конфигурация. Основные элементы пространственной структуры пептидов. Понятие о конформационных картах. Типы взаимодействий, определяющие укладку полипептидной цепи в пространстве.
3. Белки. Биологическая роль. Выделение, физико-химические свойства, классификация. Структурные элементы. Понятие вторичной, третичной и четвертичной структуры. Регулярные структуры полипептидной цепи -  $\alpha$ -спираль,  $\beta$ -структура,  $\alpha$ -изгибы. Пространственная структура белков- Современные представления о биосинтезе белков.
4. Нуклеиновые кислоты. Биологическая роль. Роль ДНК в биосинтезе белка. Понятие о триплетном коде. Структурные элементы нуклеиновых кислот- Двухспиральная структура нуклеиновых кислот. Модель Уотсона-Крика. Вторичная структура ДНК. Конформационные особенности РНК. Взаимодействие с белками.
5. Низкомолекулярные природные соединения. Стероиды, липиды, углеводы, низкомолекулярные биорегуляторы. Классификация и свойства.
6. Биологические мембраны. Молекулярная организация. Методы исследования. Строение липидного бислоя. Белок - липидное взаимодействие. Модельные мембраны. Пассивный и активный ионный транспорт. Переносчики ионов и каналы. Мембранная рецепция и передача сигналов через мембрану.
7. Общие представления о генной инженерии, способы создания рекомбинантных ДНК и их введения в клетку. Применение генной инженерии в фундаментальных исследованиях в биотехнологии.
8. Молекулярные основы иммунологии. Антигены и антигенные детерминанты- Защитные белки иммунной системы. Гибридомы и моноклональные антитела.

## **II. Основы термодинамики**

### **III.**

1. Закон сохранения энергии; первый закон термодинамики, его формулировки и аналитические выражения. Внутренняя энергия. Энтальпия. Тепловой эффект химической реакции.
2. Равновесные процессы как последовательность состояний. Работа равновесных процессов (максимальная работа).
3. Формулировки второго закона термодинамики. Энтропия. Изменение энтропии изолированной системы и направление процесса. Энтропия идеального газа.

4. Постулат Планка (третий закон термодинамики). Вычисление энтропии твердых, жидких и газообразных веществ. Тепловой закон Нернста. (постулат о касательной).

#### **IV. Химическая кинетика**

1. Основной постулат химической кинетики. Понятие о порядке и молекулярности реакций. Элементарные моно-, би- и тримолекулярные реакции. Односторонние реакции нулевого, первого, второго и третьего порядка. Размерность константы скорости реакций. Определение порядка реакции. Сложные реакции (обратимые, параллельные и последовательные). Механизм сложных химических процессов. Метод квазистационарных концентраций.

2. Влияние температуры на скорость реакций. Уравнение Аррениуса, его термодинамический вывод. Энергия активации и ее определение по экспериментальным данным.

3. Теория переходного состояния. Поверхность потенциальной энергии. Свойства переходного состояния. Статистический расчет константы скорости. Сравнение теории столкновений и переходного состояния для бимолекулярных реакций.

#### **IV. Элементы теории строения вещества**

1. Волновая функция системы из электронов и ядер. Ее основные свойства (непрерывность, однозначность, нормируемость, антисимметрия к перестановкам координат пар электронов).

2. Операторы физических величин и вычисление значений этих величин для стационарных состояний. Оператор Гамильтона, уравнение Шредингера. Приближенное разделение переменных. Уравнение для электронных, колебательных и вращательных состояний молекул. Вероятность различных конфигураций в поле ядер, распределение плотности отрицательного заряда в пространстве вокруг ядер. Квантово-механическая интерпретация основных понятий классической теории строения (химическая связь, валентность, кратность связи).

3. Параметры, определяющие геометрическую конфигурацию молекулы. Равновесная геометрическая конфигурация молекулы. Современные физико-химические методы исследования геометрической конфигурации молекул.

4. Поворотная изомерия и внутреннее вращение в молекулах.

5. Колебательные уровни энергии и колебательные спектры молекул. Потенциальная энергия двухатомной молекулы. Функция Морзе.

6. Вращательно-колебательные уровни энергии и спектры молекул.

## **V. Основы конформационного анализа**

1. Стереохимия органических молекул. Оптическая изомерия, асимметрия органических молекул, понятие о хиральности. Вращение вокруг валентных связей, барьеры внутреннего вращения, понятие о конформации и конфигурации молекул. Внутримолекулярные взаимодействия - водородное связывание, невалентные, электростатические и гидрофобные взаимодействия. Конформации полипептидной цепи. Стерические карты для аминокислотных остатков. Приближение твердых сфер. Потенциал Леонарда - Джонса.
2. Термодинамические функции конформеров, конформационное равновесие.
3. Методы предсказания вторичной структуры белков, исходя из первичной структуры.
4. Конформация и гибкость молекул полимеров. Упорядоченные конформации макромолекул (полипептидов, белков, нуклеиновых кислот).

## **VI. Экспериментальные методы биофизики**

1. Роль физико-химических методов в исследовании биологических объектов. Краткая характеристика и границы применимости физико-химических методов.
2. Оптические методы. Вращательная, колебательная и электронная составляющие энергии молекулы. Характеристика электромагнитного излучения, поглощение и испускание света.
3. Инфракрасные спектры поглощения. Регистрация ИК-спектров. Валентные и деформационные колебания. Характеристические колебания атомных групп, интенсивность ИК-полос. Проявление водородной связи. Возможности Фурье ИК-спектроскопии.
4. Спектры комбинационного рассеяния. Регистрация спектров комбинационного рассеяния. Эффект резонансного комбинационного рассеяния. Спектры природных соединений в водных растворах. Сопоставление с методом ИК-поглощения. Гигантское комбинационное рассеяние, применение для изучения биологических объектов.
5. Электронные спектры поглощения. Понятие о хромофорах. Сопряженные и ароматические хромофоры. Техника измерения электронных спектров Поглощения. Закон Ламберта-Бера и количественный анализ по электронным спектрам. Типы электронных переходов встречающихся в природных соединениях. Применение спектров поглощения для изучения белков и нуклеиновых кислот.

6. Флуоресцентная спектроскопия. Отличие флуоресценции от фосфоресценции. Взаимосвязь между эмиссионными спектрами, спектрами возбуждения и спектрами поглощения. Квантовый выход флуоресценции и время жизни возбужденного состояния. Процессы тушения флуоресценции. Поляризация флуоресценции, ее применение. Безызлучательный перенос энергии и оценка расстояния между хромофорными группами в природных соединениях. Применение флуоресценции для изучения структуры белка.
7. Дисперсия оптического вращения (ДОВ) и круговой дихроизм (КД). Природа ДОВ и КД, эффект коттона. Регистрация ДОВ и КД. Принципы анализа оптической активности (правила октантов, спиральности и экситонной хиральности). Понятие о магнитной оптической активности.
8. Масс-спектрометрия. Область использования и границы применения метода масс-спектрометрии. Различные типы масс-спектральных приборов и области их применения. Способы введения соединений в масс-спектрометр. Способы ионизации молекул в масс-спектрометре, получение масс-спектра, его расшифровка, понятие о схеме фрагментации. Подготовка образца для масс-спектрометрирования.
9. Масс-спектрометрия в химии пептидов и белков. Основные типы фрагментации аминокислот и пептидов, Методы исследования пептидных смесей. Стратегия использования масс-спектрометрии в белковой химии.
10. Радиоспектроскопические методы. Ядерный магнитный резонанс. Магнитный момент ядра, резонансная частота, экранирование и химический сдвиг. Магнитная релаксация - спин-решеточная релаксация и ширина линии. Спектрометры ЯМР, требования к образцу. Химический сдвиг и спин-спиновое взаимодействие, их применение в структурных исследованиях. Двойной резонанс. Обменные процессы. Спектроскопия ядерного эффекта Оверхаузера. Возможность и границы применения спектроскопии ЯМР.
11. Спектроскопия электронного парамагнитного резонанса. Физическая сущность явления. Основные параметры - g-фактор, сверхтонкое взаимодействие Метод спиновой метки в биологии.
12. Рентгено-структурный анализ. Требования, предъявляемые к эксперименту. Получение и выбор кристаллов. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Условия Вульфа-Брэгга. Физические основы метода. Преобразования Фурье. Фазовая проблема. Измерения интенсивности: фотографический и дифрактометрический методы. Методы определения кристаллической структуры: метод «тяжелого атома», метод «проб и ошибок», «прямые» методы, методы изоморфного и молекулярного замещения.
13. Изотопные методы. Физические основы. Применения изотопных методов. Изотопный эффект. Радиоактивные и стабильные изотопы. Радиоактивный распад, тип излучения,

энергия излучения, единицы измерения радиоактивности, удельная радиоактивность. Способы определения радиоактивных изотопов. Принципиальные схемы современных приборов, их сравнительная характеристика. Способы определения и использование стабильных изотопов в физических методах. Получение изотопов и пути введения изотопной метки в органические соединения. Основные направления использования изотопных методов.

14. Электрофорез. Физические основы метода и применение.

15. Хроматография. Физические основы метода и применение.

16. Ультрацентрифугирование. Физические основы метода и применение.

## **VII. Применение ЭВМ**

1. Общие сведения об ЭВМ. Обобщенная структурная схема ЭВМ. Основные функциональные элементы структурной схемы и их характеристики: процессор, оперативная память, внешняя (долговременная) память, средства ввода-вывода информации. Внутренний язык ЭВМ (система команд). Понятие алгоритма решения задачи. Блок-схема программы.

2. Классы машин по критерию технических возможностей. Алгоритмические языки (Ассемблер, Фортран). Операторы алгоритмического языка - алгоритмический аналог системы команд внутреннего языка. Понятие транслятора с алгоритмического языка.

3. Операционная система. Структура математического обеспечения ЭВМ с операционной системой. Элементы программирования на алгоритмическом языке. Схема автоматизированной системы обработки физико-химического эксперимента на ЭВМ. Понятие о спец. математическом обеспечении для обработки информации. Цифровой и графический режим диалога экспериментатора с ЭВМ. Современные технические средства для режима диалога. Примеры задач из физико-химической биологии, решаемых с помощью ЭВМ.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Д. Фрайфедлер. Физическая биохимия, "МИР", 1980.

2. Ю.А. Овчинников. Биоорганическая химия, "Просвещение", 1987.

3. А. Ленинджер. Основы биохимии, "МИР", 1986.

4. Н.В. Волькенштейн. Биофизика, "Наука", 1981.

5. У. Рано, А. Рано. Физика атомов и молекул, "Наука", 1980.

Московский физико-технический институт (государственный университет)

**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

## **ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

### **«УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

Программа разработана кафедрами: «Физика живых систем», «Биофизика и экология», «Прикладная экология» в соответствии с магистерской программой:

511685 - «Устойчивое развитие и экологическая безопасность»

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 1999 г.

Москва 1999 г.

## **1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ**

1.1. Отличительные особенности живой материи. Химическая эволюция как основа возникновения жизни. Понятие о микро- и макроэволюции. Разнообразие форм жизни. Наследственность и изменчивость.



1.2. Живая клетка. Компартиментизация - необходимый признак живого организма. Биологические мембраны. Характерный химический состав клетки, её строение и общие свойства. Деление клетки - основной способ роста, развития и размножения организмов.

1.3. Биологически активные вещества, макромолекулы и биополимеры. Химическая природа липидов, белков и нуклеиновых кислот. Пространственная структура молекул и самосборка нативных биоструктур.

1.4. Явление и примеры гомеостаза. Представление о способах интеграции интрати- и межклеточных процессов в живом организме. Жизненный цикл клетки и многоклеточного организма.

1.5. Молекулярный механизм наследования признаков и его реализация в онтогенезе. Генетический код. Мутации. Регуляция экспрессии генов. представления о механизме дифференцировки клеток.

1.6. Основы биоэнергетики. Потоки свободной энергии и круговорот элементов в биосфере. Трофические цепи, консументы, редуценты, деструкторы. Особая роль воды, кислорода и углекислого газа. Молекулярные механизмы основных биоэнергетических процессов в клетке. Фотосинтез и биологическое окисление.

1.7. Представления об основных физиологических системах организма. Принципы анализа внутренней и внешней среды и управления.

1.8. Механизмы устойчивости и адаптации организма. Иммунная, оксигенная и репарационная системы. Организация гормональной системы. Нервно-гуморальные взаимодействия. Стресс, адаптация и обучение. Пределы возможности систем жизнеобеспечения организма.

1.9. Основные понятия экологии. Популяция вида, внутривидовые взаимодействия, динамика развития популяции при взаимодействии со средой. Сообщество видов, типы взаимодействия в сообществе. Классические математические модели динамики популяции и сообществ ( Ферхюльста, Лотка, Вольтерра ). Устойчивость сообществ и динамические режимы их поведения. Экосистемы, их типы. Биосфера как глобальная экосистема. Единство и взаимосвязь биотической и абиотической компонент биосферы Земли. Современное состояние биосферы и прогноз её развития. Основные проблемы экологии. Биосфера как источник ресурсов для человека и как целостная самоорганизующаяся живая система.

1.10. Физика биосферы.

Естественные и антропогенные составляющие потоков свободной энергии и вещества на нашей планете. Температурный баланс планеты и парниковый эффект. Системный анализ и классификация возможных глобальных угроз развитию человечества и его экологической безопасности. Анализ региональных и локальных экологических проблем и проблем безопасности жизнедеятельности с точки зрения энергетического подхода.

Биота и ее роль в перераспределении потоков энергии и вещества на планете. Биологическая продуктивность и модели развития экологических систем. Возможности уменьшения и увеличения биологической продуктивности и их «цена».

Биологическое разнообразие. Проблема сохранения лесов и критерии, используемые при мониторинге их состояния.

## **2. ОСНОВЫ ОПИСАНИЯ И АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМ.**

2.1. Сложные физико-химические системы и методы их описания. Молекулярное описание. Природа химической связи атомов в молекулах. Вариационные методы в квантовохимических расчётах энергии и волновых функций. Метод МО ЛКАО. Симметрия и перекрытие атомных орбиталей. Гибридизация, сопряжённая связь. Ионная, донорно-

акцепторная, водородная связь. Неподелённые пары и свободные орбитали. Силы Ван-дер-Ваальса. Свободные радикалы. Комплексы с переносом заряда. Конформации макромолекул.

2.2. Элементарные химические реакции. Классификация реакций и реакционных частиц. Теория столкновений, её применение для расчёта константы скорости. Физическая модель химического превращения. Поверхность потенциальной энергии, адиабатическое приближение. Переходное состояние, активированный комплекс. Принципы расчёта константы скорости и оценки энергии активации реакции.

2.3. Статистическое описание сложных систем. Вероятность реализации состояния. Неустойчивость динамических траекторий как основа стохастизации процессов в системе. Характерное время стохастизации системы и условия справедливости эргодической гипотезы и перехода к термодинамическому описанию. Возможность существования «молекулярных машин». Распределение Гиббса. Статистическая сумма по степеням свободы. Выражение термодинамических потенциалов через статистическую сумму.

2.4. Основные подходы и определения в химической кинетике. Закон действующих масс. Порядок реакции и константа скорости реакции. Кинетические кривые и их линейные анаморфозы. Кинетика простых одностадийных реакций и сложных химических процессов. Квазиравновесные и квазистационарные приближения. Математическое моделирование реакций в биохимических системах. Быстрые и медленные переменные, редукция системы. Качественный и компьютерный анализ режимов поведения системы. Пространственно распределённые процессы, автоволновые явления.

2.5. Живой организм как открытая неравновесная система. Понятия неравновесной термодинамики открытых систем и их применимость к анализу процессов в живых организмах. Первое и второе начала термодинамики в живых системах. Диссипативная функция. Неравенство де-Донде и направленность биохимических процессов. Термодинамическое сопряжение в системе реакций. Возможные физические механизмы сопряжения. Обобщённые силы и потоки. Линейные феноменологические соотношения. Принцип взаимности Онзагера. Стационарное состояние открытой системы, его гомеостатические свойства. Теорема Пригожина. Эволюция системы вблизи равновесия. Границы применимости линейной термодинамики.

2.6. Химическое равновесие в замкнутой системе. Химический потенциал, его зависимость от температуры, давления и концентрации. Активность и летучесть. Равновесия между фазами. Связь константы равновесия с изменением стандартного термодинамического потенциала. Сродство химической реакции. Второе начало термодинамики и направление самопроизвольного процесса в изолированной системе. Роль изменения энтропии в системах с большим числом степеней свободы.

2.7. Химические реакции в однородной конденсированной среде. Особенности реакций в конденсированной фазе. Эффект клетки. Диффузионные и ориентационные ограничения скорости. Кинетический и диффузионный режимы протекания реакций.

Реакции с переносом зарядов. Электролитическая диссоциация, теория Дебая - Хюккеля, дебаевский радиус, ионная сила, сольватация, активность ионов. Электрохимический потенциал вещества, ионные и электронные равновесия,  $pK$  реагентов,  $pH$  среды. Окислительно-восстановительный потенциал, водородная шкала ОВП, стандартные электроды. Сольватированный электрон.

2.8. Химические реакции в неоднородной среде. Поверхностные и адсорбционные явления, Химическая и физическая адсорбция. Капиллярные силы, матричный потенциал. Природа сил и теплота адсорбции. Изотермы адсорбции. Поверхностно активные вещества, сурфактанты. Самосборка моно-, би- и мультислойных мембран, мицелл и липосом. Биологическая мембрана как химически активная поверхность с селективной и управляемой проницаемостью. Трансмембранный перенос вещества. Осмотическое давление как сосущий потенциал. Явления тургора, ультрафильтрации, обратного осмоса.

Перенос заряда в неоднородной среде. Двойной электрический слой. Потенциал Гальвани, Вольта, электродный потенциал. ЭДС гальванического элемента. Топливный элемент, его

КПД. Электродиффузия, нернстовский и доннановский потенциал на полупроницаемой мембране.

2.9. Циклические процессы, катализ. Механизм каталитического ускорения реакций. Гомо- и гетерогенный катализ. Основные кинетические уравнения каталитической реакции. Уравнение Михаэлис-Ментен. Особенности биологических высокомолекулярных катализаторов - ферментов. Автокатализ и самоторможение. Действие эффекторов, аллостерические явления. Двухсубстратные ферментативные реакции. Кооперативные эффекты в ферментативной кинетике.

2.10. Цепные процессы. Неразветвлённые цепные реакции. Зарождение, продолжение и обрыв цепи. Катализ, инициирование и ингибирование цепных реакций. Примеры цепных процессов полимеризации, окисления органических соединений, нерадикальных цепных процессов. Нестационарные разветвлённые цепные процессы. Критические явления. Реакции с энергетическим разветвлением. Вырожденные разветвлённые цепные процессы, их кинетические особенности. Перекисное окисление углеводов как пример вырожденной разветвлённой реакции.

### 3. БИОФИЗИКА ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ

3.1. Биоэнергетика. Окислительно-восстановительный процесс как источник свободной энергии для живых организмов. Принципиальная схема преобразования свободной энергии в биосфере и её квантово-электронный смысл. Энергетическая структура биосферы. Авто - гетеротрофы. Плотность потока солнечной энергии и средняя плотность производства первичной продукции в биосфере Земли. Коэффициент преобразования свободной энергии в природных и искусственных системах биосферы. Энергозатраты организма, мощность метаболизма, калорийность продуктов питания. Подвижные организмы.

Молекулярно-физический аспект биоэнергетики. Потенциал переноса групп. Фосфорилирование. АТФ. Физический смысл «макроэргической» связи. Окислительно-восстановительные процессы в живых системах. Фундаментальная роль электрохимического потенциала в биоэнергетике. Альтернативные формы существования свободной энергии в живой клетке. Мишени воздействия внешних факторов на потоки свободной энергии в живых системах.

3.2. Фотосинтез, его типы и феноменология. Физика первичных процессов. Фотосинтетический аппарат как фотоэлектрохимический преобразователь. Его состав и строение, спектр действия, квантовый выход, коэффициент преобразования энергии. Трансмембранный перенос электронов и протонов. Выделение молекулярного кислорода как пример кооперативного процесса. Биофотолиз воды как прообраз фотокаталитического преобразования солнечной энергии для технических целей.

3.3. Биологическое окисление. Его типы и феноменология. Гликолиз и цикл трикарбоновых кислот. Регуляция потока электронов. Гипотеза Митчела о сопряжении окисления и фосфорилирования, разобщители. Адаптационные возможности сопрягающей мембраны и их физиологический смысл. Теплопродукция. Митохондрия как топливный элемент. Коэффициент преобразования химической энергии глюкозы в энергию фосфатных связей АТФ. Биологическое окисление - прообраз каталитического преобразования химической энергии топлива. Организация газообмена в организме, роль диффузии, конвекции и микроциркуляции. Гемоглобин и миоглобин как эффективные переносчики кислорода.

3.4. Физика миграции энергии электронного возбуждения и переноса элементарного заряда в биомолекулярной системе. Индуктивно-резонансный, экситонный, полупроводниковый механизмы переноса. Особенности туннельных процессов в биохимических процессах. Представление о физике сопряженного электронно-конформационного процесса в «молекулярной машине». Искусственные преобразователи энергии и химические реакторы нового типа на основе молекулярно организованных систем.

3.5. Система транспорта нейтральных и заряженных частиц и воды. Активный и пассивный транспорт. Физическое определение и примеры. Энергетическое сопряжение в мембранных

насосах. Калий-натриевый насос. Устройство, рабочий цикл, коэффициент преобразования энергии. Протонная «фотопомпа» в галобактериях. Активный транспорт в секреторных системах. Принцип работы почечных канальцев. Примеры пассивного транспорта.

3.6. Электрические процессы в клетке. Потенциал покоя, потенциал действия. Ионные каналы. Физика нервного импульса. Уравнение Ходжкина-Хаксли. Кабельная модель аксона. Типы синаптической связи. Элементарные логические операции, выполняемые нейронами. Понятие о нейронных сетях. Электрическая активность органов, ЭКГ, ЭЭГ, электрогенераторы рыб.

3.7. Физика сократительных систем. Гладкие и поперечнополосатые мышцы. Строение и феноменология сокращения. Уравнение Хилла. Основной механохимический цикл и управление им, математическая модель циклической работы мостиков. Альтернативные типы молекулярных двигателей, не использующие гидролиз АТФ. Механика сердечно-сосудистой системы. Автоматизм работы сердца. Основные характеристики сердечно-сосудистой системы человека.

3.8. Биофизика рецепции. Общие характеристики рецепторов. Спектр действия, чувствительность, избирательность, коэффициент усиления, динамический диапазон, адаптация. Организация рецепторных систем. Спусковая релаксация как общий принцип работы биорецепторов. Хемо- и механорецепция. Электрорецепторы рыб. Молекулярные рецепторы. Рецепторы вкуса, запаха. Зрительный аппарат. Его разновидности. Физические характеристики. Молекулярная физика зрения. Физические принципы работы слухового аппарата. Его устройство и характеристики. Устройство и принцип действия вестибулярного аппарата. Общие принципы первичной обработки рецепторной информации. Обострение и контрастирование. Роль латерального торможения. Искусственные рецепторные системы. Биосенсоры. Их уникальные возможности для технического использования.

3.9. Молекулярно-физические основы фотобиологических процессов. Примеры энергетического, информационного и регуляторного действия света на живые системы. Возможная роль света в межклеточной коммуникации. Биолюминесценция. Типы спонтанной и вынужденной люминесценции. Молекулярные механизмы свечения.

3.10. Элементы радиационной биофизики. Первичные процессы поглощения и миграции энергии ионизирующих излучений. Относительная биологическая эффективность различных видов ионизирующей радиации. Зависимость эффекта от поглощенной дозы. Понятие о мишени первичного поражения. Вероятностный характер поражения. Одно- и многоударные механизмы поражения. Прямое и не прямое действие. Первичные продукты. Физико-химические процессы повреждения в облученной клетке и защитные системы. Типы и формы лучевого поражения организма. Фоновые, предельно допустимые и летальные дозы облучения человека. Сравнительная радиочувствительность биологических объектов. Модификация лучевого поражения: радиопротекторы и радиосенсибилизаторы.

3.11. Воздействие химических соединений на организм. Классы биологической активности и мишени их действия. Синергизм воздействия. Понятия предельно допустимых концентраций (ПДК), предельно допустимых доз (ПДД) и предельно допустимых воздействий (ПДВ). Проблема оценки опасности среды обитания.

#### **4. ОСНОВЫ ЭКОНОМИКИ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОНОМИКИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ**

4.1 Экологические издержки и пути их сокращения.

Затраты на производственные мероприятия. Ущерб от загрязнения окружающей среды. Экономический оптимум загрязнения окружающей среды. Экологическая составляющая издержек по производству продукции.

4.2. Экстернальные эффекты и теоретические аспекты реализации природоохранной стратегии.

Внешние эффекты. Их сущность и роль в экономике природопользования. Теоретические основы регулирования выбросов вредных примесей. Ассимиляционный потенциал природной среды и его экономическая оценка. Экстернальные издержки и собственность на

ассимиляционный потенциал. Институциональный механизм использования ассимиляционного потенциала природной среды. Первоначальное распределение прав на ассимиляционный потенциал.

#### 4.3. Качество окружающей среды как потребительское благо.

Основы теории потребительского выбора. Потребность в определенном качестве окружающей среды. Кто оплачивает природоохранную деятельность? Природоохранная сфера как благо общего пользования, проблема «зайцев». Экологизация развития (экономические и институциональные аспекты)

#### 4.4. Практические методы управления качеством окружающей природной среды.

Административные методы управления природоохранной деятельностью. Экономические методы управления природоохранной деятельностью. Рыночные методы управления природоохранной деятельностью. Микроэкономический анализ различных методов управления природоохранной деятельностью.

#### 4.5. Механизм природоохранной деятельности в России и перспективы его развития.

Экономические методы в российской практике управления природоохранной деятельностью. Финансирование природоохранной деятельности. Система экологических фондов. Перспективы развития российского механизма управления природоохранной деятельностью

#### 4.6. Экономические аспекты некоторых глобальных экологических проблем.

Глобальное потепление и методы управления выбросами парниковых газов. Проблема определения коэффициента дисконтирования в задачах с отдаленными последствиями. Экономические проблемы истощения озонового слоя. Экономический механизм управления трансграничным переносом.

#### 4.7. Теоретические основы определения ценности природных ресурсов.

Рента. Механизмы ее возникновения. Формирование рентных доходов. Оценка доходов потребителя природных ресурсов. Измерение дифференциальной ренты. Формы образования дифференциальной ренты: дифференциальные затраты, дифференциальная рента I и дифференциальная рента II, монополярная рента. Оценка природных ресурсов. Учет фактора времени и цена природных ресурсов. Рыночные методы оценки природных ресурсов.

#### 4.8. Экономика использования истощаемых ресурсов.

Теория истощения. Теоретические условия возникновения динамической ограниченности. Факторы, влияющие на процесс истощения сырьевой базы. Формирование стратегии использования истощаемых ресурсов в условиях неопределенности. Соотношение добывающих и обрабатывающих секторов экономики с точки зрения теории истощения. Проблемы истощения сырьевых ресурсов в России и пути его преодоления.

#### 4.9. Экономика возобновляемых ресурсов.

Проблемы использования рыбных ресурсов. Проблема использования земельных ресурсов. Оценки стоимости лесных ресурсов.

#### 4.10. Экономика использования водных ресурсов. Максимизация доходов от использования водных ресурсов. Экономическая оценка воды и плата за ее использование. Экономическая оценка воды и плата за загрязнение водоемов.

#### 4.11. Вопросы собственности на природные ресурсы.

Вопросы собственности как институциональная основа процесса использования природных ресурсов. Формирование системы прав собственности на недра в федеративном государстве. Передача прав собственности на недра. Проблема соотношения собственности на поверхность земли и на недра. Изменение отношений собственности на отдельные элементы природно-ресурсного сектора.

#### 4.12. Особенности аккумулирования доходов при эксплуатации природных ресурсов.

Механизм изъятия рентных доходов - налоговый подход. Теоретические основы использования налоговых инструментов в сырьевом секторе. Договоры о разделе продукции (ДРП). Специфика налоговой политики в природо-эксплуатирующем секторе в государствах с федеративным устройством политической системы.

#### 4.13. Проблемы собираемости налогов и возможности аккумулирования доходов от эксплуатации природных ресурсов.

Действующая система налогообложения и возможности ее реформы в природо-эксплуатирующем секторе.

4.14. Доходы от использования природных ресурсов на уровне региона.

Доходы субъектов федеративного государства от эксплуатации природных ресурсов. Создание региональных траст-фондов как способ аккумуляции доходов от эксплуатации природных ресурсов на уровне региона. Доходы от эксплуатации природных ресурсов как основной источник финансирования региональных социально-экономических программ. Специализированный налог (платеж) на добычу истощаемых природных ресурсов на уровне региона. Место траст-фондов Севера России в системе финансирования его социально-экономического развития. Использование средств траст-фонда для финансирования мероприятий по социально-экономическому развитию. Сочетание принципа компенсации истощения и учета потребности в инвестициях при определении размера специализированного налога и анализ альтернативных способов его определения.

4.15. Основные направления совершенствования управления природными ресурсами.

Актуальные проблемы управления природными ресурсами. Механизмы вовлечения природных ресурсов в сферу хозяйственной деятельности. Учет условий переходного периода развития рыночной экономики при совершенствовании налоговой системы.

4.16. Финансовые механизмы природопользования. Экологические фонды. Дотации и субсидии. Займы и инвестиции. Административные и рыночные механизмы управления природопользованием.

## **5. ОСНОВЫ ДЕМОГРАФИИ И ЕЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

5.1. Способы описания состояния и динамики развития популяции человека

Демографические и социально-экономические характеристики: численность, средняя продолжительность жизни, смертность, индивидуальные и групповые риски смертности от конкретных причин, интенсивность смерти, заболеваемость, рождаемость, коэффициент фертильности, половозрастные пирамиды, благосостояние, уровень жизни и состояние окружающей среды. Критерии оптимизации траектории развития человеческого общества. Социально-демографическая ситуация в мире и в отдельных регионах.

5.2. Средняя ожидаемая продолжительность предстоящей жизни как характеристика безопасности и степени развития общества. Социальные аспекты и биологическая продолжительность жизни

Факторы, определяющие продолжительность жизни. Интенсивность смерти и гипотезы ее причинно-следственных зависимостей: генетическая, экологическая, социально-культурная (для человека) и адаптационная детерминации. Возрастная зависимость интенсивности смерти и ее количественные, в том числе и параметрические описания: приближения Гомперца, Гомперца-Мейкема и др. Демографический переход и историческое изменение возрастной смертности и продолжительности жизни в человеческом обществе.

5.3. Вопросы демографической безопасности. Связь рождаемости и смертности с другими демографическими, социально-экономическими и экологическими характеристиками

Воспроизводство населения и его связь с характеристиками смертности и рождаемости. Демографические модели и сценарии изменения численности населения.

Интенсивность смерти и ее видовые, половые, географические и социально-культурные (для человека) различия. Младенческая смертность. Модели интенсивности смерти. Взаимосвязь интенсивности смерти и возрастной структуры с общим коэффициентом смертности и средней продолжительностью жизни. Связь характеристик смертности для человека с экономическими и социально-политическими условиями, с культурным уровнем населения и с уровнем развития медицины и системы здравоохранения.

Рождаемость в популяциях биологических видов и в человеческом обществе. Коэффициент фертильности и его связь с экономическими, культурными и социально-политическими условиями и экологическими характеристиками. Возрастная структура

рождаемости и ее историческая эволюция. Фертильность и демографический переход. Целенаправленные попытки управления рождаемостью. Экономико-демографические модели воспроизводства населения. Проблемы депопуляции населения России.

## **6. УПРАВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ И УСТОЙЧИВЫМ РАЗВИТИЕМ.**

6.1. Понятие опасности и безопасности. Безопасность и устойчивое развитие. Составляющие устойчивого развития общества и сферы возникновения опасности (обеспечения безопасности): человек, экономика, социальная сфера, окружающая среда. Экология и экологическая безопасность в узком понимании. Личные, социальные, экономические и экологические критерии безопасности: подходы к рассмотрению. Экологическая безопасность как понятие, характеризующее возможность долговременного нормального функционирования и устойчивого развития сложной системы в условиях ее взаимодействия с внешней средой.

6.2. Критерии воздействия на индивидуум. Вероятностный характер воздействия. Оценки вероятности возможности и последствий тех или иных воздействий с помощью наблюдений над конкретной выборкой. Риски смерти и среда обитания. Что такое риск? Возможные классификации и виды рисков. Природные, техногенные, социальные и экологические риски. Моделирование развития событий. Дерево событий. Математическое моделирование: детерминистские и вероятностные подходы к построению моделей.

6.3. Моделирование и сценарии развития

История глобальных и региональных моделей развития: структура и особенности моделей Форрестера, Медоузов и др. Научные и политические итоги моделирования развития за четверть века. Эмпирический, «экономический» и «физический» подходы к моделированию будущего.

6.4. Глобальные проблемы развития и экологическая безопасность

Опыт международного сотрудничества и совместного анализа проблем развития и экологической безопасности. Конференция по окружающей среде и развитию ООН (КОСР - 92) в Рио де Жанейро: проблемы, их обсуждение, позиции сторон. Основные итоги и документы.

Устойчивое развитие - два взгляда на одну проблему. Защита интересов развитых стран или необходимость перехода к ноосферному мышлению? Государственная политика различных стран и международное сотрудничество в области обеспечения устойчивого развития и экологической безопасности после Рио.

6.5. Концептуальные подходы к количественному анализу эволюции развивающихся систем и оценке безопасности их развития

Концепция абсолютной безопасности и особенности нормативно-правовой базы - следствия использования данной концепции: предельно допустимые концентрации (ПДК), предельно допустимые уровни воздействия (ПДУ), предельно допустимые выбросы и сбросы (ПДВ и ПДС), требования по безопасности к объектам хозяйственной деятельности. Достоинства и ограничения концепции абсолютной безопасности.

Концепция затраты - выгода в традиционном денежном рассмотрении: достоинства, принципиальные проблемы и недостатки. Особенности нормативно-правовой базы, учитывающей данную концепцию.

Концепция приемлемого риска. Процедуры согласования уровня приемлемого риска и возможности его законодательного регулирования. Оптимизация продолжительности жизни и устойчивости экологических систем.

Подходы к пониманию приоритетов и путей обеспечения устойчивого развития: технократическая, ресурсно-технологическая, энергетическая парадигмы, природоохранная, экологическая и культурологическая парадигмы.

6.6. Концепция биосферной (экологической) цены как реализация физического подхода для анализа проблем устойчивого развития и безопасности.

Свободная энергия как характеристика возможностей системы, в том числе возможностей ее развития. Свободно-энергетический анализ и эмпирические обобщения поведения развивающихся систем. Критерии оптимизации их эволюции. Развивающиеся экологические системы и биосфера. Понятия экологической цены и ее разновидности - биосферной цены, их свойства. Базирующаяся на основе понятия экологической цены концепция устойчивого развития и безопасности (концепция биосферной (экологической) цены) как реализация физического подхода для анализа развития экологических и социально-экономических систем. Связь концепции биосферной (экологической) цены с другими концепциями безопасности и устойчивого развития и критериями социально - экономического развития. Рассмотрение потоков вещества и свободной энергии как основа анализа безопасности и устойчивого развития.

Экономическая составляющая теории устойчивого развития.

Концепции экологической безопасности и устойчивого развития как предмет системного анализа взаимосвязи производительных сил и потребления ресурсов биосферы.

#### 6.7. Роль человека в развитии био- и ноосферы

Энергетика технологических и связанных с ними экологических процессов.

Производственный цикл и экологическая цена производства для данной системы отчета. Биосферная цена производства. Экологическая цена товаров, услуг, технологий, ее распределение между «плательщиками». Связь экологической цены с уровнем развития технологий: термодинамическая, технологическая, локальная и усредненная глобальная цена.

Замкнутые циклы использования вещества и «проточные» по веществу технологические системы. Роль технологической и социально-культурной информации в процессах использования вещества и свободной энергии. Проблемы технологической безопасности. Чрезвычайные ситуации природного и техногенного происхождения.

Пространственная организация потоков вещества, энергии и информации в современном индустриальном мире. Регионы - доноры и регионы - реципиенты. Роль торговли и других общественных институтов в организации потоков вещества, свободной энергии, технологической и социально-экономической информации. Проблемы ресурсной и информационной безопасности.

Формирование научных и этических представлений о месте человека в природе и обществе. Учение о ноосфере и научные традиции С.А. Подоплинского и В.И. Вернадского. Социально-экологические индикаторы безопасного устойчивого развития.

#### 6.8. Экономическая и государственная политика в области обеспечения безопасности жизнедеятельности и устойчивого развития и экологической безопасности. Специализированные информационные и управляющие структуры в этой области

Примеры проведения различной налоговой и законодательной политики в области охраны окружающей среды и обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Торговля выбросами и рисками как примеры реализации экономического саморегулирования на региональном уровне.

Перспективы использования энергетического подхода для регулирования экономических и политико-правовых отношений в процессах природопользования, охраны окружающей среды и обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Концепция затраты - выгоды и ее реализация в зависимости от системы рассмотрения, периода планирования и определенности сценариев и перспектив развития рассматриваемой системы.

Идеологические, научные и информационные аспекты обеспечения безопасности. Цели принятия управленческих решений. Роль экологической и технологической информации, необходимой для принятия верных управленческих решений. Задачи науки.

Необходимость создания специальных информационных и управленческих структур для обеспечения безопасности жизнедеятельности и устойчивого развития в живых и социально-технических системах. Глубина памяти, характеристики внешней среды и необходимые затраты на создание подобных структур.



Вероятностный оптимизационный подход, реализуемый в биологических и технических системах. Возможные критерии оптимизации. Энергетический подход к оценке значимости информации и эффективности специализированных, в том числе и информационных структур, обеспечения безопасности.

Экономические, социальные, государственные и политические институты и структуры, связанные с обеспечением устойчивого развития и безопасности жизнедеятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основы общей биологии / под ред. Либберта Э., М.: Мир, 1982.
2. Вилли К., Детье В. Биология, М.: Мир, 1974.
3. Альбертс В., Брей Д., Льюис Дж., Рэфф М., Робертс К., Уотсон Дж. Молекулярная биология клетки в 5 томах, М.: Мир, 1986-1987.
4. Страйер Л. Биохимия в 3-х томах, М.: Мир, 1985.
5. Макеев А.В. Основы биологии, М.: МФТИ, ч. 1, 1996, ч. 2, 1997.
6. Смит Дж. Модели в экологии, М.: Мир, 1976.
7. Кантор Ч., Шиммель П. Биофизическая химия, М.: Мир, т. 1 и 2, 1984, т. 3, 1985.
8. Фрайфедлер Д. Физическая биохимия, М.: Мир, 1980.
9. Овчинников Ю. А. Биоорганическая химия, М.: Просвещение", 1987
10. Рано У., Рано А. Физика атомов и молекул, М.: Наука, 1980.
11. Физическая химия / под ред. Никольского Б.П., Л.: Химия, 1987.
12. Шляпинтох В.Я., Замараев К.И., Пурмаль А.П. Химическая термодинамика, М.: МФТИ, 1975.
13. Пурмаль А.П. Химическая кинетика, М.: МФТИ, 1993.
14. Пурмаль А.П. Простая кинетика сложных реакций, М.: МФТИ, 1998.
15. Костюк П.Г., Гродзинский Д.М., Зима В.Л., Магура И.С., Сидорик Е.П., Шуба М.Ф. Биофизика, Киев.: Выща школа, 1988.
16. Рубин А.Б. Биофизика в 2-х томах, М.: Высшая школа, 1987.
17. Рубин А.Б. Лекции по биофизике, М.: изд МГУ, 1995.
18. Рубин А.Б., Пытьева Н.Ф., Ризниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов, М.: изд. МГУ, 1987.
19. Волькенштейн М.В. Биофизика, М.: Наука, 1988.
20. Артюхов В.Г., Ковалёва Т.А., Шмелёв В.П. Биофизика, Воронеж: изд. Воронежского Университета, 1994.
21. Оксенгендлер Г.И. Яды и организм, С.-Петербург: Наука. 1991.
22. Гуляева Н.В. Основы адаптологии, М.: МФТИ, 1997.
23. Безопасность России. Экономическая безопасность: вопросы реализации государственной стратегии. // Сб. материалов Всероссийской конференции. М.: 1998. 383 с.
24. Горшков В.Г. Физические и биологические основы устойчивости жизни. М.: ВИНТИ, 1995. 470 с.
25. Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. (2-е второе). М.: Наука, 1991. 280 с.
26. Демографический энциклопедический словарь. Под ред. Валентя Д.И. и др., М.: Сов. энциклопедия, 1985. 608 стр.
27. Данилов-Данильян В.И., Горшков В.Г., Арский Ю.М., Лосев К.С. Окружающая среда между прошлым и будущим: Мир и Россия (опыт эколого-экономического анализа). - М.: ВИНТИ, 1994. 133 с.
28. Закон РФ об охране окружающей природной среды. М.: Спец. выпуск экономической газеты № 6. 1992. 168 с.

29. Kireev V.B. Can ecological safety and sustainable development be treated as a physical concept? / CEES Working Paper No 134, the center for energy and environmental studies, Princeton university (1996), pp. 11
30. Kireeva G.I., Kireev V.B. What is money? The money cost from the point of view of a physicist / CEES Working Paper No 135, the center for energy and environmental studies, Princeton university (1996), pp. 13
31. Кузьмин И.И., Махутов Н.А., Хетагуров С.В. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты. - С. - Петербург: Изд-во С.- Петерб. государственного университета экономики и финансов. 1997. 164 с.
32. Небел Б. Наука об окружающей среде: Как устроен мир. В 2-х т. М.: Мир, 1993.
33. А.А. Голуб, Е.В. Струкова Экономика природопользования. М: «Аспект пресс», 1995, 190с.
34. А.А. Голуб, Е.В. Струкова Экономика природных ресурсов М: «Аспект пресс», 1998, 320с.

Московский физико-технический институт (государственный университет)  
**Факультет молекулярной и биологической физики**

«Утверждаю»

Ректор

\_\_\_\_\_ Н.Н.Кудрявцев  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2001 г.

**ПРОГРАММА**

ИТОГОВОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ  
511600 – «ПРИКЛАДНЫЕ МАТЕМАТИКА И ФИЗИКА»

**«МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»**

Программа разработана кафедрой: «Высокопроизводительных вычислительных систем», в соответствии с магистерской программой:

511656 – Математические и информационные технологии

Декан ФМБФ

\_\_\_\_\_ И. Н. Грознов  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2001 г.

Москва 2001 г.

## 1. ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ И ОБЪЕКТНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

1. Объект = данные + методы работы с ними. Абстракция как средство моделирования реальности при помощи объектов.
2. Инкапсуляция. Модификация и оптимизация программ при помощи инкапсуляции.
3. Наследование. Повторное использование кода. Полиморфизм как средство обеспечения расширяемости программ.
4. Понятие свойств и событий (properties and events) в объектных технологиях. Сохраняемость объектов (persistence). Понятие интерфейса как альтернативного средства обеспечения полиморфизма.
5. Диаграммы классов. Понятие объектно-ориентированного проектирования.
6. Обработка внештатных ситуаций. Понятие исключения. Разворачивание стека при обработке исключения. Обработка исключений.

Литература:

- [1] Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++, 2-е издание, пер. с англ., М.: Издательство Бином, СПб.: Невский диалект, 1999 г.
- [2] Страуструп Б. Язык программирования C++, 3-е издание, пер. с англ., СПб.; М.: Невский диалект? - Издательство БИНОМ?, 1999 г.

## 2. ОСНОВЫ UNIX

1. Файловая система. Структура файловой системы, владельцы файлов, права доступа.
2. Процессы. Типы процессов, атрибуты процесса, жизненный путь процесса.
3. Устройства. Пользователи.
4. Пользовательский интерфейс. Командный интерпретатор shell. Синтаксис языка bourne shell.
5. Сетевая файловая система (NFS).
6. Сетевая информационная служба (NIS)
7. Программный интерфейс гнезд.

Литература:

- [1] Робачевский А.М. Операционная система UNIX? - СПб.: БХВ - Санкт-Петербург, 1999 г.
- [2] Немец Э., Снайдер Г., Сибасс С., Хейн Т.Р. UNIX: Руководство системного администратора?, пер. с англ. - К.: BHV, 1997 г.
- [3] Петерссен Р. LINUX: руководство по операционной системе?, пер. с англ. - Киев: BHV, 1997 г.
- [4] Чан Т. Системное программирование на C++ для UNIX?, пер. с англ. - Киев: Издательская группа BHV, 1999 г.

## 3. СЕТЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

1. Компьютерные сети. Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем (OSI Seven-Layer Model). Основные технологии LAN и WAN.
2. Основы маршрутизации коммутации
3. Семейство протоколов TCP/IP
4. Принципы организации доменной системы имен (DNS).
5. Принципы организации электронной почты.
6. Принципы организации World Wide Web.

Литература:

- [1] Немец Э., Снайдер Г., Сибасс С., Хейн Т.Р. UNIX: Руководство системного администратора?, пер. с англ. - К.: BHV, 1997 г.

- [2] Храмцов П.Б.. Администрирование сети и сервисов Internet., Центр Информационных Технологий, 1997 -<http://www.citforum.ru/internet/services/index.shtml>
- [3] Модель OSI. - <http://www.citforum.ru/nets/switche/osi.shtml>
- [4] Н. Олифер, В. Олифер, "Базовые технологии локальных сетей" - <http://www.citforum.ru/nets/switche/osi.shtml>
- [5] CISCO Internetworking Technology Overview - <http://www.mark-itt.ru/CISCO/ITO/>
- [6] Бережнев А.Ф., Смелянский Р.Л., "Семейство протоколов TCP/IP" - <http://www.mark-itt.ru/FWO/tcpip/>
- [7] Спецификация протокола IPP. Усманов, перевод, Сервер FREENet - <http://www.citforum.ru/internet/tifamily/ipspec.shtml>
- [8] Спецификация протокола TCP P. Усманов, перевод, Сервер FREENet - <http://www.citforum.ru/internet/tifamily/tcpspec.shtml>

#### 4. БАЗЫ ДАННЫХ

7. СУБД. Логическая и физическая структура данных. Средства обеспечения целостности данных. Транзакции.
8. Реляционная модель данных. Нормализация данных. ER-диаграммы. Язык SQL.
9. Клиент-серверные и трехуровневые архитектуры работы с базами данных. Назначение промежуточного слоя.
10. Хранилища данных. Сравнение с операционными БД. Денормализация. Многомерная модель данных. OLAP. Витрины данных. Их использование в качестве промежуточного слоя в трехуровневой архитектуре.
11. Интеллектуализация компонент вычислительных систем.
12. Тезаурус и словари в системах обработки данных. Распределенные БД. Машины БД.
13. Понятие о знаниях. Системы, основанные на знаниях: структура и основные концепции.
14. Методы представления знаний: продукционные системы, семантические сети, фреймы, логика предикатов 1-го порядка. Механизм логического вывода для каждого из перечисленных методов.
15. Экспертные системы: общая структура, этапы построения, типы решаемых задач.
16. Понятие об инженерии знаний. Методы приобретения знаний: интервью, многомерное шкалирование, репертуарные решетки, ролевые игры.
17. Нечеткие множества: определение, методы обработки нечеткой информации.
18. Язык ЛИСП: типы данных и основные принципы программирования.
19. Рекурсия в языке ЛИСП: основной принцип рекурсии и типы рекурсивных задач.

#### Литература:

- [1] Мартин Дж. «Организация баз данных в вычислительных системах», пер. с англ., М.: Мир, 1978
- [2] Шумаков П., Фаронов В., «Delphi 4. Руководство разработчика баз данных», М.: Нолидж, 1999
- [3] Уинккуп С. «Microsoft SQL Server 6.5 в подлиннике», пер. с англ., СПб.: BHV-Санкт-Петербург, 1998
- [4] Грей П. «Логика, алгебра и базы данных», пер. с англ., М.: Машиностроение, 1989 [5] Архипенков С. «Аналитические системы на базе Oracle Express. OLAP: Проектирование, создание, сопровождение», М.: Диалог-МИФИ, 1999
- [5] Уинстон П. «Искусственный интеллект», пер. с англ., М., "Мир", 1980
- [6] Э.Хювенен, Й.Сеппянен. «Мир ЛИСПА», пер. с финского., М., "Мир", 1990.
- [7] Попов Э.Ф. «Экспертные системы», М., Радио и связь, 1989
- [8] Р.Форсайт «Экспертные системы: принципы работы и примеры», М., Радио и связь, 1987

#### 5. ТЕОРИЯ И ОСНОВЫ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

20. Зависимость технологии параллельного программирования от архитектуры ЭВМ. Параллельные алгоритмы.
21. Языки и среды параллельного программирования. Message Passing Interface (MPI).

22. Распараллеливающие компиляторы и системы автоматического распараллеливания программ.

#### Литература:

- [1] Foster I. *Designing and Building Parallel Programs*. На **англ.** яз. **Addison-Wesley**. - <http://www.hensa.ac.uk/parallel/books/addison-wesley/dbpp/index.html>
- [2] Snir M., Otto S., Huss-Lederman S., Walker D., Dongarra J., *MPI: The complete Reference* - <http://www.netlib.org/utk/papers/mpi-book/mpi-book.html>
- [3] Wolfe M. *High Performance Compilers for Parallel Computing*. Addison-Wesley, 1996.
- [4] *High Performance Cluster Computing*. Под ред. R. Buyya, 2 т., Prentice Hall, 1999.
- [5] В.В. Корнеев. *Параллельные вычислительные системы*. Изд-во "Нолидж", 1999 г.
- [6] William Gropp W., Ewing Lusk E., Skjellum A. *Using MPI: Portable Parallel Programming with the Message-Passing Interface*. MIT Press, 1999
- [7] Pacheco P. *Parallel Programming With MPI*.

## 6. АРХИТЕКТУРА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

1. Программа для ЭВМ. Последовательности команд (threads), базисные программные блоки, циклы, процедуры. Система команд RISC, основные типы команд (арифметические целочисленные и с плавающей запятой, обращения к памяти, условного перехода) и их процентные соотношения при выполнении программ.
2. Общая структурная схема ЭВМ. Иерархия памяти. Конвейеризация, как способ повышения производительности ЭВМ. Конвейер выполнения команд в процессоре с пропускной способностью 1 команда в такт. Типы конфликтов (управления, информационной зависимости, отсутствия команды в КЭШ), приводящие к блокировке конвейера. Схема разрешения конфликтов информационной зависимости.
3. Регистровый файл, схемы его реализации. Конфликты за единственный порт записи регистрового файла в процессоре с пропускной способностью 1 команда в такт.
4. Назначение и принцип работы КЭШ ЗУ, разновидности КЭШ ЗУ (ассоциативное, множественно-ассоциативное, с прямым отображением), алгоритмы замещения строк. Структурная схема множественно-ассоциативного КЭШ ЗУ.
5. Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Микросхемы ЗУПВ. Расслоение ОЗУ на банки для согласования пропускных скоростей процессора и ЗУПВ. Схемы простого и сложного расслоения. Реализация контроллера для схемы сложного расслоения. Способы повышения пропускной способности расслоенной памяти.
6. Векторная обработка, как способ повышения производительности процессора. Специальные векторные команды: слияние под управлением маски, подсчет совокупностей, выборка элементов вектора из ОЗУ с фиксированным и произвольным шагом (gather/scatter). Примеры программ (умножение матриц, вычисление абсолютных значений элементов вектора и упорядочивания элементов вектора по их величине). Структурная схема векторного процессора на примере Cray X-MP.
7. Способы реализации многопортовой оперативной памяти в суперЭВМ. Структурная схема многопортового ОЗУ в Cray X-MP. Конфликты занятого банка, за секцию и одновременный. Использование многоступенчатого матричного коммутатора в качестве сети связи портов процессора с банками памяти.
8. Векторные регистры. Жесткое и гибкое зацепление векторных операций. Развитие векторных суперЭВМ на примере машин фирмы Cray. Степень векторизации программы. Зависимость времени выполнения программы от ее степени векторизации и значений производительности суперЭВМ на скалярных и векторных операциях. Законы Амдала и Густавсона.
9. Способы повышения пропускной способности конвейера выполнения команд, применяемые в современных микропроцессорах: суперскалярный режим и динамическая оптимизация выдачи команд, предсказание условных переходов. Структурная схема современного микропроцессора и особенности ее работы.

Принципиальные ограничения, препятствующие увеличению числа команд выдаваемых за такт.

10. Архитектура процессора с длинным командным словом (VLIW), и ее развитие в архитектуру с явно заданным параллелизмом команд (EPIC). Использование предикатов и опережающего (спекулятивного) выполнения команд по управлению и по данным. Структурные схемы микропроцессоров «Эльбрус Е2К» СПАРК–центра и «Itanium» фирмы Intel.
11. Многопроцессорные вычислительные системы с общей симметричной памятью и массово-параллельные (МРР) с распределенной памятью. Классификация МРР суперЭВМ по наличию (или отсутствию) аппаратной поддержки общей памяти и обеспечению согласования данных (когерентности) в КЭШ ЗУ. Реализация когерентности КЭШ на основе справочной таблицы (directory), бит-векторный и SCI протоколы.
12. Реальная и пиковая производительности МРР суперЭВМ. Зависимость реальной производительности от числа процессоров в МРР суперЭВМ и задержки передачи данных между ними. Накладные расходы, связанные с созданием потоков команд, их синхронизацией и распределением по процессорам. Барьерная и семафорная синхронизация.
13. Трудности программирования МРР суперЭВМ, связанные с неоднородным временем доступа к распределенной памяти и необходимостью учета нескольких уровней в ее иерархии. Попытка преодоления этих трудностей за счет использования одноуровневой оперативной памяти и мультипоточковой структуры процессоров в системе Cray (Tera) MTA.

#### Литература

- [1] Коуги П.М. Архитектура конвейерных ЭВМ. –М., Радио и связь, 1985.
- [2] Хокни Р.У., Джессхоуп К.Р. Параллельные ЭВМ. Архитектура, программирование и алгоритмы. –М., Радио и связь, 1986.
- [3] Корнеев В.В., Киселев А.В. Современные микропроцессоры. –М., изд-во Нолидж, 2000 (2-е изд.).
- [4] Дикарев Н.И., Шабанов Б.М. “Реальная и пиковая производительности суперЭВМ”, Автоматизация проектирования, N 1-2, 2000, с.3-14.
- [5] S. Weiss, J. Smith, Instruction Issue Logic in Pipelined Supercomputers. IEEE Trans. on Computers, vol. 33, no. 11, pp. 1013-1022, Nov. 1984.
- [6] S. Weiss, J. Smith, Power PC604 and Alpha 21064: A Tale of two RISCs. Computer, vol. 27, no. 6, pp. 46-58, June 1994.
- [7] J. Smith, G. Sohi, The Microarchitecture of Superscalar Processors. Proceedings of IEEE, vol. 83, no. 12, pp. 1609-1624, Dec. 1995.
- [8] H. Shandranpani, K. Arora, Itanium Processor Microarchitecture. IEEE Micro, vol. 20, no. 5, pp. 24-43, Sept./Oct. 2000.
- [9] J. Hennessy et al. Cache-Coherent Distributed Shared Memory: Perspectives on Its Development and Future Challengers. Proceedings of IEEE, vol. 87, no. 3, pp. 418-429, March 1999.
- [10] M. Gokhale, W. Carlson, An Introduction to Compilation Issues for Parallel Machines. The Journal of Supercomputing, vol. 6, no. 3 / 4, pp. 283-314, 1992.