

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК**

**ПРОГРАММЫ И ЗАДАНИЯ  
ФЕН**

**2 курс, 3 семестр  
специальность «химия»**

**Новосибирск  
2004**

## РАБОЧИЙ ПЛАН

№	Дисциплины	Количество часов в неделю		
		лекции	лаборатор.	семинары
1	Английский язык			4
2	Философия	2		2
3	Аналитическая химия	2	6	
4	Физика	3	2	2
5	Математический анализ	2		2
6	Органическая химия	3		2
7	Охрана окружающей среды	1		
8	Химические основы жизни	2		
9	Физвоспитание			4

### ЗАЧЕТЫ

1. Английский язык (диф)
2. Физика. (лабораторные)
3. Аналитическая химия.
4. Математический анализ.
5. Охрана окружающей среды.
6. Химические основы жизни. (диф)
7. Физвоспитание. (диф.)
8. Философия. (диф.)

### ЭКЗАМЕНЫ

1. Физика.
2. Аналитическая химия.
3. Математический анализ.
4. Органическая химия.

## Физика

### ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, МАГНЕТИЗМ, НАЧАЛА ОПТИКИ

С.В. Анищик

1. Электрический заряд, закон сохранения заряда. Точечный заряд, взаимодействие точечных зарядов. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей электрических зарядов. Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Гаусса. Поле заряженной плоскости, плоского слоя, бесконечного цилиндра. Дивергенция вектора напряженности электрического поля.
2. Работа электрических сил. Циркуляция вектора напряженности электрического поля. Потенциал электрического поля. Связь между напряженностью и потенциалом. Нули отсчета потенциала. Потенциал поля точечного заряда, сферы, системы точечных зарядов, распределенного заряда, заряда распределенного на плоскости. Уравнения Пуассона и Лапласа. Электростатическая энергия системы распределенных и точечных зарядов.
3. Проводники. Условия равновесия зарядов в проводнике. Поле вблизи поверхности заряженного проводника. Проводник во внешнем поле. Емкость проводника. Плоский конденсатор. Энергия заряженного проводника. Энергия конденсатора. Плотность энергии электрического поля. Давление электрического поля.
4. Электрический диполь. Потенциал диполя. Поле диполя. Потенциальная энергия взаимодействия диполя с полем. Взаимодействие двух диполей. Силы, действующие на диполь во внешнем электрическом поле.
5. Диэлектрики. Электрическое поле в диэлектриках. Поляризация диэлектриков. Поляризационные заряды. Вектор поляризации. Вектор электрической индукции. Поляризуемость. Тензор диэлектрической проницаемости. Плоский конденсатор, заполненный однородным диэлектриком. Диэлектрическая постоянная.
6. Теорема Гаусса для диэлектриков. Поле точечного заряда в диэлектрике. Закон Кулона для бесконечного однородного диэлектрика.

Условия на границе раздела двух диэлектриков во внешнем электрическом поле. Уравнение Пуассона для однородных диэлектриков. Энергия системы электрических зарядов в диэлектрике. Поле в щели и сферической полости.

7. Электрический ток в проводниках. Плотность тока. Уравнение неразрывности. Закон Ома для плотности тока. Удельная проводимость, удельное сопротивление. Закон Ома для однородного проводника. Закон Джоуля-Ленца. Прimitивная электронная теория протекания тока через металл. Ток в газах, жидких и твердых телах. Электродвижущая сила. Закон Ома для произвольного участка цепи. Правила Кирхгофа.

8. Магнитное поле постоянного тока в вакууме. Закон Био-Савара. Магнитное поле движущегося заряда. Магнитное поле прямого тока. Магнитное поле на оси кругового тока.

9. Циркуляция вектора индукции магнитного поля. Магнитное поле соленоида. Дивергенция и ротор вектора индукции магнитного поля. Уравнения магнитостатики и электростатики в вакууме.

10. Векторный потенциал магнитного поля. Связь вектора  $\mathbf{B}$  и векторного потенциала.

11. Магнитный момент прямоугольного контура с током, произвольного контура, системы токов. Магнитный момент системы движущихся зарядов. Гиромагнитное отношение.

12. Сила, действующая на движущийся заряд в магнитном поле (сила Лоренца). Закон Ампера. Силы и момент сил, действующие на магнитный момент во внешнем магнитном поле. Потенциальная энергия магнитного момента в магнитном поле. Движение электрона в магнитном поле. Ларморовская частота. Диамагнетизм и парамагнетизм.

13. Магнитное поле в веществе. Вектор намагниченности. Магнитная восприимчивость. Магнитная проницаемость. Векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$ , соотношение между ними. Граничные условия на векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$ . Уравнения магнитостатики.

14. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.  $\text{rot } \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$ .

15. Взаимная индукция. Самоиндукция. Коэффициенты взаимной и самоиндукции. Индуктивность. Плотность энергии магнитного поля. Энергия катушки с током.

16. Токи смещения. Уравнения Максвелла.

17. Существование электромагнитной волны. Волновое уравнение.

18. Плоские волны. Монохроматические волны. Поляризация электромагнитных волн. Длина волны, волновой вектор, волновое число. Энергия электромагнитного поля. Поток энергии. Вектор Умова-Пойнтинга. Отражение и преломление плоской волны на границе диэлектрика.

19. Когерентные и некогерентные источники света. Длина и время когерентности. Интерференция двух плоских волн, распространяющихся под углом друг к другу. Интерференция света от двух точечных когерентных источников. Максимальный порядок интерференции света из щелей электромагнитных волн длительности  $\tau$  и монохроматического света с полосой частот  $\Delta\omega$ . Связь между этими представлениями.

20. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракционная решетка. Разрешающая способность дифракционной решетки. Дифракционная расходимость параллельных пучков света. Дифракция на круглом отверстии. Понятие о разрешающей способности оптических систем.

### **Литература**

1. Савельев И.В. "Курс общей физики т. 2", Москва, Наука, 1977.
2. Сивухин Д.В. "Общий курс физики т. 2", Москва, Наука, 1983.
3. Тамм И.Е. "Основы теории электричества", Москва, Физматлит, 2003.
4. Парселл Э. "Электричество и магнетизм", Москва, Наука, 1975.
5. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. "Фейнмановские лекции по физике выпуск 5, 6", Москва, Мир, 1977.
6. Иродов И.Е. "Основные законы электромагнетизма", Москва, Высшая школа, 1991.

### **Задание по физике**

#### Часть 1

## Закон Кулона. Теорема Гаусса. Потенциал. Принцип суперпозиции.

Вопросы к коллоквиуму:

1. Поток вектора напряженности электрического поля через замкнутую поверхность (теорема Гаусса).
2. Дивергенция вектора напряженности электрического поля.
3. Потенциал электрического поля системы зарядов.
4. Уравнения Пуассона и Лапласа.

Задачи:

- 1.1. Тонкий прямой стержень длины  $2a$  заряжен с линейной плотностью  $\lambda$ . Для точек, лежащих на прямой, перпендикулярной к оси стержня и проходящей через его середину, найти напряженность электрического поля как функцию расстояния  $r$  от центра стержня. Пользуясь теоремой Гаусса, найти ту же величину для бесконечного стержня. Сравнить и проанализировать результаты.
- 1.2. Равномерно заряженная бесконечная нить с плотностью заряда  $+\lambda$  перпендикулярна равномерно заряженной бесконечной плоскости, плотность заряда которой  $+\sigma$ . Найти величину электрического поля в пространстве.
- 1.3. Определить потенциал и напряженность электрического поля внутри и вне равномерно заряженного по объему шара радиуса  $R$ . Объемная плотность заряда  $\rho$ . Нарисовать графики.
- 1.4. Внутри шара радиуса  $R$ , равномерно заряженного по объему с плотностью  $\rho$ , имеется незаряженная сферическая полость радиуса  $R_1$ . Центр полости находится на расстоянии  $a$  от центра шара ( $a + R_1 < R$ ). Найти электрическое поле в полости.
- 1.5. Потенциал некоторого поля имеет вид  $\varphi = \alpha(xy - z^2)$ , где  $\alpha$  – константа. Найти модуль вектора  $\mathbf{E}$  в точке  $(1, -2, 1)$ .
- 1.6. Найти распределение плотности зарядов, при котором напряженность электрического поля равна  $\mathbf{E} = \alpha r^2 \mathbf{r}$ .
- 1.7. Найти зависимость плотности зарядов от координат  $x, y, z$ , при которой напряженность поля описывалась бы функцией  $\mathbf{E} = x\mathbf{i} + 2y^2\mathbf{j} + 3z^3\mathbf{k}$ . Найти потенциал этого поля в точке  $(1, 1, 0)$ , если  $\varphi(0, 0, 0) = 0$ .

1.8. Частица массы  $m$  с зарядом  $q$  и скоростью  $v$  приближается с очень большого расстояния к заряженному кольцу, двигаясь по его оси. Радиус кольца  $R$ , масса  $M$ , заряд  $Q$ . При какой наименьшей скорости  $v$  частица пройдет через кольцо в случаях: а) кольцо закреплено; б) кольцо не закреплено и начальная скорость кольца равна нулю.

*Срок выполнения задания 2 недели.*

## Часть 2

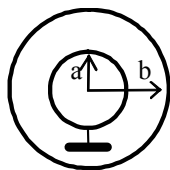
### Энергия электрического поля. Условия равновесия зарядов в проводнике. Электрический диполь.

Вопросы к коллоквиуму:

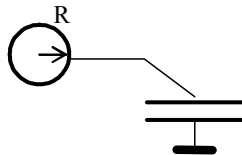
1. Электростатическая энергия системы распределенных зарядов. Плотность энергии электрического поля.
2. Граничные условия на поверхности проводника.
3. Емкость проводника. Емкость плоского конденсатора. Энергия плоского конденсатора.
4. Потенциал диполя. Поле диполя. Потенциальная энергия взаимодействия диполя с полем.

Задачи:

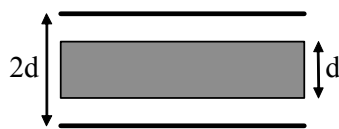
2.1. Четыре непроводящих шарика радиуса  $R$ , в центре каждого из которых находится заряд  $q$ , расположены вдоль прямой, касаясь друг друга. Какую работу нужно совершить, чтобы сложить из этих шариков пирамидку (правильный тетраэдр)? Вес шариков не учитывать.



2.2. Внутри равномерно заряженной сферы с радиусом  $b$  и зарядом  $q$  находится заземленная проводящая сфера радиуса  $a$  ( $a < b$ ). Центры сфер совпадают. Найти напряженность электрического поля и его потенциал вне большой сферы на расстоянии  $r$  от центра.



2.3. Одну пластину незаряженного конденсатора емкостью  $C$  заземляют, а другую присоединяют длинным тонким проводом к проводящему шару радиуса  $R$  с зарядом  $q$  удаленному от окружающих предметов. Какой заряд останется на шаре?



2.4. В плоский заряженный конденсатор с зазором  $2d$  внесли металлическую пластину толщиной  $d$ . Найти как изменится: а) разность потенциалов между обкладками; б) поле, если разность потенциалов поддерживается постоянной.

2.5. В плоском заряженном конденсаторе с зарядом  $q$  и зазором  $2d$  находится металлическая пластина толщиной  $d$  параллельная обкладкам конденсатора. Площадь обкладки и пластины равна  $S$ . Найти работу, которую надо совершить, чтобы вынуть пластину из конденсатора.

2.6. Найти электрическую энергию системы, состоящей из двух концентрических проводящих сфер, радиусом  $R$  и  $R/2$  и зарядами  $Q$  и  $q$  соответственно.

2.7. Определить силу, действующую на электрический диполь  $d$  в поле заряда  $q$ , когда диполь направлен на заряд, от заряда и перпендикулярно к направлению на заряд. Нарисовать графически зависимости силы и потенциальной энергии от расстояния для этих трех случаев.

2.8. Оценить (в кДж/моль) энергию взаимодействия:

1) двух частиц с зарядом  $e$  и  $-e$ ;

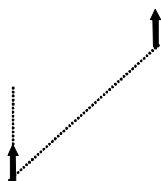
2) частицы с зарядом  $e$  и частицы с дипольным моментом  $d=ea$ , где  $a=0,2\text{Å}$

3) двух частиц с дипольными моментами  $d$ .

Расстояние между частицами во всех случаях  $4\text{Å}$ .  $e$ -заряд электрона,  $1\text{Å} = 10^{-10}\text{ м}$ .

2.9. Определить дипольный момент молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ . Эффективный заряд атомов водорода  $5 \cdot 10^{-20}\text{ Кл}$ , угол Н-О-Н равен  $104,5^\circ$ , длина О-Н связи  $0,96\text{Å}$ .





2.10. Найти силу, с которой взаимодействуют два электрических диполя, расположенных как показано на рисунке. Диполи лежат в одной плоскости.

*Срок выполнения задания 2 недели.*

### Часть 3

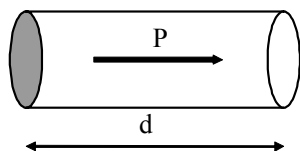
#### Диэлектрики

Вопросы к коллоквиуму:

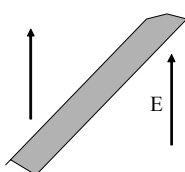
1. Вектор поляризации. Его связь со средним полем. Поляризуемость. Связанные заряды. Связь поверхностных связанных зарядов с вектором поляризации. Диэлектрическая постоянная.
2. Вектор электростатической индукции, его связь с вектором поляризации. Теорема Гаусса для диэлектриков.
3. Граничные условия для векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{D}$  в диэлектриках. Уравнение Пуассона.
4. Энергия системы электрических зарядов в диэлектрике.

#### Задачи:

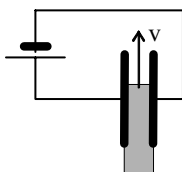
- 3.1. Газообразный гелий находится в однородном электрическом поле  $E$ . Найти наведенный дипольный момент атома гелия, если при концентрации газа  $n$  диэлектрическая проницаемость равна  $\varepsilon$ . Газ считать разреженным.
- 3.2. Пространство между обкладками плоского конденсатора с расстоянием между обкладками  $d$  заполнено двумя слоями диэлектрика. Диэлектрические проницаемости этих слоев  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ , а толщины  $d_1$  и  $d_2$ , причем  $d_1 + d_2 = d$ . Определить емкость конденсатора.



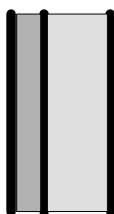
3.3. Найти напряженность электрического поля в центре равномерно поляризованного цилиндра, с замороженной поляризацией  $P$ . Вектор поляризации параллелен оси цилиндра. Радиус цилиндра  $R$ , длина  $d$ .



3.4. В пространство с однородным электрическим полем  $E$  внесена под углом  $\alpha$  к вектору поля большая плоская пластина из однородного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$ . Пренебрегая краевыми эффектами, найти напряженность поля в диэлектрике и поверхностную плотность зарядов.



3.5. В конденсатор, образованный двумя квадратными пластинами (сторона квадрата  $a = 30$  см), расположенными на расстоянии 3 мм друг от друга, вводят со скоростью  $v = 4$  мм/сек диэлектрик с  $\epsilon = 2$ . Конденсатор присоединен к источнику напряжения  $U = 250$  В. Найти ток, текущий по проводам.



3.6. Три пластины расположены параллельно друг другу. Расстояние от средней пластины до крайних  $d$  и  $2d$ . На первой пластине равномерно распределен заряд с плотностью  $+\sigma$ , на второй  $-2\sigma$ , на третьей  $+3\sigma$ . Между пластинами находятся диэлектрики с диэлектрическими проницаемостями  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ . Определить разность потенциалов между пластинами.

*Срок выполнения задания 2 недели.*

#### Часть 4

#### Магнитное поле в вакууме

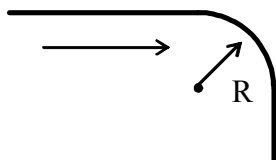
Вопросы к коллоквиуму:

1. Закон Био-Савара.

2. Магнитная индукция прямого и кругового тока (на оси).
3. Дивергенция и ротор вектора магнитной индукции.
4. Векторный потенциал (определение, принцип расчета). Связь векторного потенциала и вектора индукции магнитного поля. Расчет поля прямого тока через векторный потенциал.

Задачи:

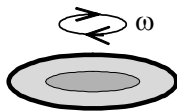
- 4.1. Определить магнитное поле на оси цилиндрического соленоида конечной длины. Длина цилиндра  $h$ , радиус  $a$ , число витков на единицу длины  $n$ , сила тока  $I$ .



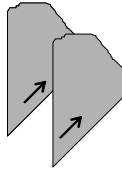
- 4.2. Провод состоит из двух прямолинейных кусков, идущих из бесконечности под углом  $90^\circ$ , соединенных дугой окружности, как показано на рисунке. По проводу течет ток  $I$ . Определить магнитную индукцию в точке  $O$ .

- 4.3. Атом водорода состоит из протона и электрона. Считая, что электрон движется вокруг протона по круговой орбите радиуса  $0,53 \text{ \AA}$ , определить:

- 1) напряженность электрического поля, создаваемого протоном в точке, где находится электрон;
- 2) скорость электрона  $v$ ;
- 3) отношение скорости электрона к скорости света  $v/c$ ;
- 4) силу тока, которой соответствует круговое движение электрона;
- 5) магнитную индукцию, которую создает электрон в месте расположения протона.



- 4.4. Тонкий заряженный диск с поверхностной плотностью зарядов  $+\sigma$  при  $r < R_1$  и  $-\sigma$  при  $R_2 > r > R_1$  вращается вокруг своей оси с угловой скоростью  $\omega$ . Найти магнитную индукцию на оси у самой поверхности.



4.5. По двум безграничным параллельным проводящим плоскостям течет ток с линейной плотностью  $i$ . Найти индукцию магнитного поля и силу притяжения пластин, действующую на единицу площади.

4.6. По бесконечному прямолинейному цилиндрическому проводу радиуса  $R$  течет ток. Плотность тока  $i$  постоянна по сечению провода. Определить магнитное поле вне и внутри провода.

*Срок выполнения задания 2 недели.*

#### Часть 5

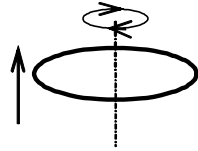
#### **Силы в магнитном поле. Магнитное поле в веществе.**

#### **Электромагнитная индукция**

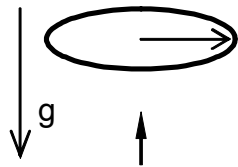
Вопросы к коллоквиуму:

1. Сила Лоренца. Сила, действующая на проводник с током (закон Ампера).
2. Магнитный момент и магнитное поле контура с током.
3. Сила и момент сил, действующие на магнитный момент во внешнем магнитном поле. Потенциальная энергия магнитного момента в поле.
4. Токи намагничивания. Вектор намагниченности. Векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$ , соотношение между ними. Уравнения магнитостатики в веществе. Граничные условия на векторы  $\mathbf{B}$  и  $\mathbf{H}$ .
5. Электромагнитная индукция. Закон Фарадея.
6. Коэффициенты взаимной и самоиндукции. Индуктивность.
7. Энергия магнитного поля.

Задачи:

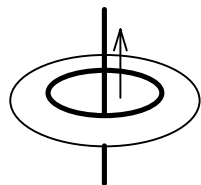


5.1. Заряд  $q$  равномерно распределен по длине твердого непроводящего тонкого кольца массой  $m$ . Кольцо может свободно вращаться вокруг своей оси. Вначале кольцо покоилось, магнитное поле было равно нулю. Затем включили однородное магнитное поле  $\mathbf{B}(t)$ , перпендикулярное плоскости кольца и меняющееся во времени по закону  $\mathbf{B}(t) = \mathbf{B}_0 [1 - \exp(-t/\tau)]$ . Найти угловую скорость вращения кольца. Собственным полем кольца пренебречь;  $\tau$  - константа.

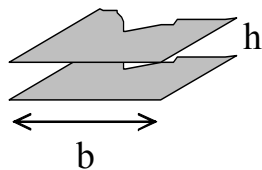


5.2. Кольцо проводника радиуса  $a$  с током  $I$  висит горизонтально в поле тяжести. Под кольцом на расстоянии  $a$  от его центра закреплен магнитный диполь  $\mathbf{P}_m$ , ориентированный вверх. Кольцо находится в равновесии. Найти массу кольца.

5.3. Магнитный момент протона равен  $1,4 \cdot 10^{-26}$  Дж/Тл. Определить энергию магнитного момента протона в поле движущегося электрона задачи 4.3, если момент протона ориентирован вдоль поля. Какую долю эта энергия составляет от кинетической энергии электрона?



5.4. Тор из магнетика с магнитной проницаемостью  $\mu$  находится в поле длинного провода, по которому течет ток  $I$ . Найти магнитную индукцию внутри магнетика как функцию расстояния от провода.



5.5. Вычислить индуктивность единицы длины двухпроводной ленточной линии. Расстояние между лентами  $h \ll b$ , где  $b$  - ширина лент.



5.6. Рамка с площадью  $S$  находится в магнитном поле, перпендикулярном рамке, индукция которого меняется по закону  $\mathbf{B}(t) = \mathbf{B}_0 \exp(-t/\tau)$ . Сколько энергии выделится в сопротивлении  $R$  за бесконечный промежуток

времени от момента  $t = 0$

*Срок выполнения задания 2 недели.*

### Часть 6

### Электромагнитные волны, интерференция, дифракция

Вопросы к коллоквиуму:

1. Волновое уравнение для электромагнитного поля.
2. Плотность потока энергии в электромагнитной волне.
3. Интерференция света от двух точечных когерентных источников.
4. Максимальный порядок интерференции.
5. Дифракционная расходимость параллельных пучков света.

Задачи:

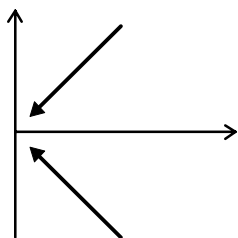
6.1. Найти амплитуду колебания, возникшего в результате сложения следующих трех колебаний:

$$A_1 = a \cos(\omega t); \quad A_2 = 2a \sin(\omega t + \pi/4); \quad A_3 = 1,5a \cos(\omega t - \pi/3).$$

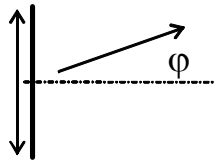
Воспользоваться сложением векторов на комплексной плоскости.

6.2. Лазер на углекислом газе дает пучок инфракрасного излучения с длиной волны 10,6 мкм. Диаметр пучка 1 см, мощность 20 Вт.

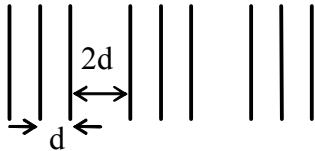
Определить амплитуды электрического и магнитного полей в пучке.



6.3. Две плоских электромагнитных волны распространяются в вакууме в направлениях, показанных на рисунке, и имеют частоту  $\omega$ . Электрические поля волн перпендикулярны плоскости  $XU$  и имеют амплитуду  $E$ . Найти зависимость электрического поля от времени в точке  $(0, y)$ , если в начале координат оно равно нулю.



6.4. Антенна излучает когерентные волны с длиной волны  $\lambda$  во всех направлениях. Найти закон изменения интенсивности  $I$  излучения вдали от антенны при изменении угла  $\varphi$ . Длина антенны  $\lambda$  (равна длине волны). Считать, что все точки антенны излучают волну в одной фазе. Построить график  $I(\varphi)$ .



6.5. Свет длиной волны  $\lambda$  падает по нормали на пропускающую дифракционную решетку. Структура расположения штрихов на решетке приведена на рисунке. Число штрихов  $N$  велико. Найти зависимость интенсивности прошедшего

излучения от угла отклонения.

6.6. Два спутника, сближающиеся с относительной скоростью  $v$  и движущиеся параллельно земле на высоте  $h$ , должны состыковаться над телескопом с диаметром объектива  $D$ , помощью которого ведется наблюдение за ними. Оба спутника зондируются монохроматическим светом с длиной волны  $\lambda$ . За какой интервал времени до истинной стыковки на Земле будет воспринято, что стыковка произошла?

*Срок выполнения задания 3 недели.*

Задание составили: д-р. физ.-мат. наук В.А. Толкачев, канд. физ.-мат. наук Б.В. Большаков, канд. физ.-мат. наук В.Л. Вязовкин, канд. физ.-мат. наук В.А. Багрянский, канд. физ.-мат. наук С.В. Анищик

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л.Г.Лавренова

### Тема 1. Аналитическая химия как наука о методах анализа вещества.

Основные этапы развития аналитической химии. Место аналитической химии в системе наук. Аналитическая химия как служба. Качественный и количественный анализ, их взаимосвязь.

Классификация методов аналитической химии. Химические, физико-химические, физические и биологические методы анализа. Виды анализа: элементный, функциональный, изотопный, молекулярный, фазовый. Классификация методов анализа по количеству определяемого вещества.

Аналитический сигнал, аналитическая реакция, аналитические реагенты - специфические, селективные, групповые. Органические соединения как избирательные реагенты. Этапы анализа. Способы устранения мешающего влияния компонентов. Методика анализа.

### **Тема 2. Гетерогенные равновесия. Методы разделения - осаждение, экстракция, хроматография.**

Гетерогенные равновесия. Типы гетерогенных систем. Правило фаз Гиббса. Методы разделения - осаждение, экстракция, хроматография.

Разделение методом осаждения. Разделение как этап анализа сложных смесей. Произведение растворимости ( $K_s$ ), собственная растворимость ( $S_0$ ), молярная растворимость ( $S$ ), их взаимосвязь. Уравнения материального баланса и электронейтральности. Влияние различных факторов на растворимость. Зависимость растворимости от концентрации осадителя. Способы понижения и повышения растворимости. Маскирование. Расчеты конкурирующих равновесий.

Дробный и систематический анализ. Аналитические группы катионов в сероводородном методе анализа.

Разделение методом экстракции. Распределение компонента между двумя жидкостями. Классификация методов экстракции. Константа распределения ( $K_D$ ), коэффициент распределения ( $D$ ), фактор разделения (степень извлечения) ( $R$ ), связь с коэффициентом распределения. Константа экстракции ( $K_{ex}$ ). Фактор обогащения ( $S_{B/A}$ ). Факторы, определяющие направление процесса экстракции.

Физическое распределение. Экстракция нейтральными реагентами. Экстракция минеральных кислот и ацидокомплексов. Координационная экстракция. Анионообменная экстракция. Катионообменная экстракция, pH полу экстракции. Факторы, влияющие на коэффициенты распределения металлов.

Хроматография как метод разделения. Основное уравнение идеальной равновесной хроматографии. Хроматограмма и ее использование для идентификации и определения компонентов. Элюционные характеристики. Неравновесная хроматография. Причины размывания хроматографических зон. Критерии разделения.

Молекулярная хроматография: газожидкостная (ГЖХ), газоадсорбционная (ГАХ), жидкостно-жидкостная (ЖЖХ), жидкостно-



адсорбционная, метод Цвета (ЖАХ). Качественный и количественный хроматографический анализ. Методы хемосорбционной хроматографии (осадочная, адсорбционно-комплексобразовательная, окислительно-восстановительная) в анализе неорганических веществ. Ионнообменная хроматография. Иониты и их основные свойства. Бумажная и тонкослойная хроматография как методы качественного анализа.

### **Тема 3. Представление результатов анализа. Гравиметрический анализ.**

Метрологические основы химического анализа. Основные метрологические характеристики метода анализа: погрешность (систематическая, случайная, абсолютная относительная); правильность: воспроизводимость; коэффициент чувствительности; диапазон определения. Точность и достоверность анализа. Способы оценки правильности. Стандартные образцы, их использование. Переведение систематических погрешностей в разряд случайных (рандомизация).

Статистическая обработка результатов измерений. Закон нормального распределения случайных погрешностей. Математическое ожидание, стандартное отклонение, дисперсия. Доверительная вероятность и доверительный интервал. Критерий Стьюдента. Выбраковка результатов. Сравнений результатов двух методов анализа. Закон распространения погрешностей. Представление результатов анализа.

Гравиметрический анализ, основные положения. Области применения. Способы получения кристаллических осадков, относительное пересыщение, образование центров кристаллизации и их рост. Кристаллические и аморфные осадки, особенности их осаждения. Гомогенное осаждение, Количественное осаждение. Выбор осадителя. Осаждаемая и весовая формы.

### **Тема 4. Гомогенные равновесия. Титриметрические методы анализа. Кислотно-основное титрование.**

Гомогенные равновесия. Основные типы химических реакций в аналитической химии: кислотно-основные, окислительно-восстановительные, комплексообразования.

Кислотно-основные равновесия. Теория Льюиса. Теория Бренстеда-Лоури. Равновесие в системе кислота - сопряженное основание - растворитель. Константы кислотности и основности. Константа автопротолиза. Классификация растворителей. Влияние природы растворителей на силу кислот и оснований. Кислотно-основное равновесие в многокомпонентных системах. Буферные растворы и их

свойства. Буферная емкость. Вычисление рН растворов кислот и оснований. Расчет долей форм при кислотно-основном равновесии.

Титриметрический анализ. Основные принципы, классификация методов титриметрического анализа. Требования к реакциям, применяемым в титриметрии. Виды титриметрических определений - прямое, обратное, вытеснительное. Способы выражения концентрации растворов в титриметрии, эквивалент, молярная масса эквивалента. Первичные стандарты, требования к ним. Фиксаналы. Вторичные стандарты.

Кривые титрования, скачок титрования. Точка эквивалентности и конечная точка титрования. Индикация. Показатель титрования.

Кислотно-основное титрование. Кривые титрования сильных и слабых кислот и оснований, доля титрования. Кислотно-основные индикаторы. Индикаторная погрешность ( $\delta_{\text{инд}}$ ) и способы ее расчета. Кислотно-основное титрование многокомпонентных систем. Погрешности методов прямого и обратного титрования.

#### **Тема 5. Реакции комплексообразования в анализе.**

Реакции комплексообразования. Процессы комплексообразования в растворах. Комплексообразование как процесс замещения. Уравнение материального баланса. Ступенчатая и полная константы образования (устойчивости) комплекса. Функции, характеризующие глубину процесса комплексообразования - закомплексованность (функция Ледена), функция образования Бьеррума, доли комплексных форм. Расчет долей форм в зависимости от концентрации лиганда.

Факторы, определяющие устойчивость комплекса в растворах. Влияние природы центрального атома и лиганда на устойчивость комплекса в растворе. Ряд Ирвинга-Вильямса. Концепция Арланда-Чатта. Металлы класса «а» и класса «б». Принцип Пирсона. Взаимодействие органических реагентов с ионами металлов. Функционально-аналитические группы атомов.

Важнейшие органические реагенты, применение их в анализе для разделения, обнаружения и определения ионов металлов, в операциях маскирования и демаскирования.

Комплексо- и комплексонометрия, области их применения. Комплексоны в анализе. ЭДТА как реагент. Условные константы комплексообразования ( $\beta'_{\text{MY}}$ ,  $\beta''_{\text{MY}}$ ). Кривые комплексонометрического титрования. Металлохромные индикаторы, условные константы  $\beta''_{\text{MInd}}$ . Расчет индикаторной погрешности.

#### **Тема 6. Реакции окисления-восстановления в анализе. Осадительное титрование.**

Окислительно-восстановительные реакции. Электродный потенциал. Уравнение Нернста. Стандартный и формальный (реальный) окислительно-восстановительные потенциалы. Обратимость окислительно-восстановительных реакций. Связь константы равновесия со стандартными потенциалами окислительно-восстановительных систем.

Окислительно-восстановительное титрование. Построение кривых титрования, особые точки на кривых зависимости E-D. Потенциалы окислительно-восстановительных систем в точке эквивалентности и конечной точке титрования. Окислительно-восстановительные индикаторы. Расчет индикаторной погрешности.

Методы окислительно-восстановительного титрования: перманганатометрия, дихроматометрия, иодо- и иодиметрия, броматометрия, бромометрия, цериметрия.

Осадительное титрование. Построение кривых титрования. Способы обнаружения конечной точки титрования, индикаторы. Погрешность титрования. Примеры практического применения.

#### **Тема 7. Анализ реальных объектов.**

Характеристики реальных объектов, особенности их анализа. Пробоотбор и пробоподготовка. Представительность пробы. Факторы, определяющие постановку аналитической задачи (уровни содержания и точность, экспрессность анализа, квалификационные требования, стоимость анализа). Выбор метода анализа. Достоверность анализа.

Список основной и дополнительной литературы:

1. Основы аналитической химии. Под ред. Ю.А. Золотова. М.: Высшая школа. 2002. Т.1,2.
2. Васильев В.П. Аналитическая химия. М.: Мир, 1989. Т. 1,2.
3. Кунце У., Шведт Г. Основы качественного и количественного анализа. М.: Мир. 1997.
4. Скуг Д., Уэст Д. Основы аналитической химии. М.: Мир, 1979. Т. 1,2.
5. Фритц Дж., Шенк Г. Количественный анализ. М.: Мир, 1978.
6. Лайтинен Г.А., Харрис В.Е. Химический анализ. М.: Химия, 1979.
7. Алексеев В.Н. Курс качественного химического полумикроанализа. М.: Химия, 1973.
8. Пилипенко А.Т., Пятницкий И.В. Аналитическая химия. М.: Химия, 1990. Т.1,2.

9. Янсон Э.Ю., Путнинь Я.К. Теоретические основы аналитической химии. М.: Высшая школа, 1982. Ч.1,2.

10. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В. Задачи и вопросы по аналитической химии. М.:Изд-во МГУ, 1984, 1997, Мир, 2001.

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

А.П.Чупахин.

### Раздел 1. ОБЫКНОВЕННЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ (ОДУ)

1. Общие понятия: решения, интеграл. Геометрическая интерпретация: поле направлений, изоклины. Задача Коши, краевые задачи. Приложения.

2. Простейшие уравнения первого порядка: с разделяющимися переменными, однородные, линейные, Бернулли, Риккати, в полных дифференциалах.

3. Теорема существования и единственности решения задачи Коши. Продолжение решения.

4. Зависимость гладкости решения от гладкости правой части уравнения. Зависимость решения от параметров задачи и начальных данных. Особые точки. Особые решения.

5. Уравнения не разрешенные относительно производной. Постановка для них задачи Коши, теорема существования. Методы решения, параметрическое представление решения. Уравнения Лагранжа, Клеро.

6. Системы ОДУ первого порядка. Постановка задачи Коши, теорема существования и единственности решения. ОДУ  $n$ -го порядка, сведение его к системе уравнений первого порядка. Постановка задачи Коши для ОДУ  $n$ -го порядка.

7. Понижение порядка ОДУ.

8. Линейные ОДУ  $n$ -го порядка. Пространство решений. Линейная зависимость и независимость функций. Определитель Вронского, его связь с решениями. Формула Остроградского-Лиувилля. Фундаментальная система решений. Структура общего решения линейного ОДУ  $n$ -го порядка.

9. Линейные неоднородные ОДУ  $n$ -го порядка. Метод вариации постоянных. Структура общего решения линейного ОДУ  $n$ -го порядка.

10. Линейные однородные ОДУ  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами. Характеристический полином. Явное построение фундаментальной системы решений и общего решения для простых, кратных, комплексных корней.

11. Линейные неоднородные ОДУ  $n$ -го порядка с постоянными коэффициентами со специальной правой частью. Методы построения частного решения.

12. Уравнение гармонического осциллятора. Различные режимы движения, понятие о резонансе.

13. Системы линейных уравнений первого порядка. Пространство решений. Линейная зависимость и независимость векторных функций. Определитель Вронского, его связь с решениями. Фундаментальная система решений. Структура общего решения системы линейных уравнений.

14. Системы линейных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами. Явное построение фундаментальной системы решений и общего решения.

15. Неоднородные системы линейных уравнений первого порядка. Метод вариации постоянных. Структура общего решения. Явное построение общего решения в случае систем с постоянными коэффициентами.

16. Интегрирование ОДУ при помощи степенных рядов.

17. Устойчивость решения системы ОДУ по Ляпунову. Асимптотическая устойчивость. Исследование на устойчивость по первому приближению. Функции Ляпунова.

## **Раздел 2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ С ЧАСТНЫМИ ПРОИЗВОДНЫМИ**

1. Общие понятия. Линейное уравнение первого порядка. Постановка задачи Коши. Характеристики. Построение решения задачи Коши.

2. Квазилинейные уравнения первого порядка. Опрокидывание решения на примере уравнения Хопфа.

3. Моделирование процессов химической сорбции и хроматографии.

4. Линейные уравнения второго порядка с двумя независимыми переменными, их характеристики. Классификация, приведение уравнений к каноническому виду. Уравнения гиперболического,

эллиптического и параболического типов.

5. Волновое уравнение. Задача Коши. Уравнения Лапласа и теплопроводности. Основные граничные задачи. Метод Фурье разделения переменных.

#### Литература

1. Бугров Я.С., Никольский С.М. Высшая математика. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного: Учебник для вузов. Ростов-на-Дону, «Феникс», 1998, 4-е изд. (возможны другие издания).
2. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения.
3. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. -М.: Наука, 1985 (и др.).

## ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ (годовой курс)

В. Д. Штейнгарц

### І. Введение

*Основы современной теории строения органических соединений.*

Электронные представления. Качественная картина квантово-химического описания химической связи в рамках метода молекулярных орбиталей (МО) как линейных комбинаций атомных орбиталей (АО) на примере двухцентровых структурных фрагментов, МО локализованных  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей. Представления о распределении электронной плотности, способах его изображения, электронных эффектах атомов и многоатомных групп. Общие представления о делокализации электронов в терминах метода МО.

*Стереохимические представления.*

Конфигурация и конформация и соответствующие им типы пространственной изомерии. Хиральность и ее связь со свойствами симметрии молекул. Представления об основных элементах структуры, порождающих хиральность, асимметрический атом углерода, проекционные формулы и конфигурационные ряды. Конфигурационная стереомерия изомерия соединений с асимметрическим атомом углерода, энантиомеры и рацематы. Стереомерия соединений с двумя и более хиральными центрами, диастереомеры и энантиомеры, соотношение их свойств, оптическая активность. Принципы разделения рацематов.

Хиральность в химических реакциях: обращение конфигурации, рацемизация, возникновение хирального центра, связь со структурой реагентов и механизмом реакции. Асимметрическая индукция, понятие об асимметрическом синтезе.

*Представления о методах установления строения органических соединений, физические методы исследования в органической химии.*

## **II. Углеводороды**

### *Насыщенные углеводороды.*

Алканы. Гомологический ряд, номенклатура и изомерия, алкильные радикалы. Природные источники алканов. Основные способы получения: гидрирование непредельных углеводородов, синтезы из галогеналканов (восстановление, взаимодействие с металлами и металл-органическими соединениями), восстановление кислородсодержащих соединений, превращения солей карбоновых кислот. Промышленный синтез алканов. Электронное строение насыщенных углеводородов: качественная картина описания метана в рамках метода МО, введение представлений о  $sp^3$ -гибридизации АО углерода и формировании на этой основе локализованных двухцентровых МО. Длины связей и валентные углы. Пространственное строение алканов: вращательная изомерия, конформации и их относительная энергия. Представления о физических свойствах алканов. Химические свойства алканов как основа методов переработки углеводородного сырья. Гомолитический разрыв связей: свободные алкильные радикалы, их электронное строение и относительная стабильность, влияние на относительную легкость разрыва связей в алканах; цепные свободнорадикальные реакции алканов (галогенирование, окисление, нитрование, сульфохлорирование, сульфоокисление, термические превращения). Гетеролитический разрыв связей: проявление алканами основности при взаимодействии с суперкислотами, карбокатионы, их электронное строение, представление о  $p, \sigma$ -сопряжении, основные типы превращения карбокатионов, суперкислотная химия алканов. Каталитические процессы переработки и основные пути использования насыщенных углеводородов. Циклоалканы. Классификация и номенклатура. Образование циклов в ходе термических и каталитических превращений алканов, диеновый синтез, гидрирование циклоалкенов и аренов, взаимодействие алкенов с diazometаном. Представления о методах построения насыщенных циклов с использованием бифункциональных производных алканов (дигалогеналканы, дикарбоновые кислоты). Относительная устойчивость циклов и ее проявления в превращениях циклоалканов, специфика химических свойств циклопропана.

Стереохимический анализ причин различной устойчивости циклов. Конформации циклогексана и его производных. Геометрическая изомерия. Представления о полициклических насыщенных углеводородах и полиэдранах. Адамантан, алмаз.

*Углеводороды с одной двойной связью.*

Алкены. Гомологические ряды, изомерия, номенклатура. Способы образования двойной связи: фрагментация и дегидрирование алканов в их термических и каталитических превращениях, частичное гидрирование тройной связи, дегидрогалогенирование, дегалогенирование, дегидратация, термическое разложение четвертичных аммониевых оснований, превращение карбонильной группы в двойную углерод-углеродную связь. Качественное описание двойной связи в терминах локализованных  $\sigma$ - и  $\pi$ -МО на основе представлений о  $sp^2$ -гибридизации АО углерода. Отсутствие свободного вращения относительно двойной связи как причина геометрической изомерии алкенов. Химические свойства алкенов. Реакции электрофильного присоединения: общие представления о механизме, ориентация (правило Марковникова и его механистическая трактовка), присоединение протонодонорных соединений, галогенов, карбонильных соединений. Реакции радикального присоединения: общие представления о механизме, присоединение бромистого водорода в присутствии перекисей, галогенов, полигалогенметанов, соединений с лабильными связями. Окислительные превращения алкенов: эпоксилирование, гидроксילирование, окислительное расщепление по двойной связи, присоединение озона и различные варианты расщепления озонидов. Координация алкенов с переходными металлами, качественные представления в терминах МО, роль в каталитических превращениях алкенов (гидрирование, изомеризация, оксосинтез, окисление, метатезис). Полимеризация алкенов, ее разновидности как проявление различных типов превращений алкенов, теломеризация. Алкены и их производные как сырье в производстве полимерных материалов. Реакции алкенов, протекающие с сохранением двойной связи: особые свойства аллильной С-Н связи, аллильное галогенирование, окисление, окислительный аммонолиз. Аллильная  $\pi$ -электронная система, представление о  $p, \pi$ -сопряжении и его качественном описании в терминах теории МО.

*Углеводороды с несколькими двойными связями.*

Диены. Классификация, номенклатура и изомерия. Важнейшие 1,3-диены и способы их получения, основанные на реакциях дегидрирования, дегидрогалогенирования, дегидратации. Электронное



строение сопряженных диенов: качественное описание электронного строения 1,3-бутадиена на основе представлений о  $\pi, \pi$ -сопряжении и делокализованных  $\pi$ -МО, основы методологии качественного описания электронного строения сопряженных систем в терминах резонанса предельных структур и критерии оценки их относительного вклада. Химические свойства сопряженных диенов: гидрирование и его энергетика, восстановление щелочными металлами в присутствии источников протонов; присоединение галогеноводородов и галогенов, ориентация в этих реакциях в условиях кинетического и термодинамического контроля; реакции циклоприсоединения, представление о разрешенных и запрещенных по симметрии МО реакциях, диеновый синтез; циклоолигомеризация, разновидности линейной полимеризации и сополимеризации диенов, их техническое значение, природный и синтетический каучук. Сопряженные полиены, связь протяженности сопряженной системы с ее энергетикой, характером МО, спектральными проявлениями, представление о природе цветности органических соединений. Кумулены: получение, электронное и пространственное строение, их МО-трактовка на основе представлений об  $sp$ -гибридизации АО углерода, химические свойства.

*Углеводороды с тройной связью.*

Гомологические ряды, изомерия, номенклатура алкинов. Способы образования тройной связи, основанные на реакциях дегидрогалогенирования. Карбидный и пиролизный методы получения ацетилена. Качественное описание тройной связи в терминах локализованных  $\sigma$ - и  $\pi$ -МО на основе представлений о  $sp$ -гибридизации АО углерода. Химические свойства алкинов: общие представления о реакционной способности в сравнении с алкенами, роль координационного катализа, гидрирование и восстановление металлами в жидком аммиаке, гидратация (реакция Кучерова), присоединение протондонорных соединений, превращение ацетилена в винилацетилен, оксосинтез, синтетическое и техническое значение этих реакций; нуклеофильное присоединение к тройной связи и значение реакций этого типа для синтеза винильных производных; циклоолигомеризация алкинов, алкины как диенофилы; окислительные превращения алкинов; кислотные свойства алкинов-1, ацетилениды и их использование для синтеза высших алкинов и других соединений, содержащих тройную связь; аллильная C-H кислотность и обусловленные ею взаимопревращения алкинов, диенов и алленов.

*Ароматические углеводороды (арены).*

Источники ароматических углеводородов. Бензол. Представления о синтетических методах формирования бензольного кольца. Противоречие между формальной ненасыщенностью и химическими свойствами бензола (относительная устойчивость к окислению, склонность к реакциям замещения, энергетика образования, гидрирования и окисления бензола). Геометрия и электронное строение бензола, понятие ароматичности, его трактовка в терминах классической структурной теории и современных электронных представлений (правило Хюккеля, система  $\pi$ -МО бензола и связанные с ней критерии ароматичности). Представления о небензоидных ароматических соединениях. Химические свойства бензола. Реакции электрофильного замещения: общие представления о механизме и его экспериментальном обосновании, изотопный обмен, нитрование, сульфирование, галогенирование, алкилирование, окси- и арилалкилирование, хлорметилирование, ацилирование; влияние заместителей на скорость и ориентацию, обратимость и различные типы контроля состава продуктов, изомерия и номенклатура дизамещенных производных бензола; значение реакций электрофильного замещения для функционализации и промышленной переработки ароматических углеводородов. Реакции радикального замещения и присоединения. Алкилбензолы. Способы получения с использованием реакций алкилирования, хлорметилирования и ацилирования бензола, реакция Вюрца-Фиттига. Общая картина реакционной способности как сочетания химических свойств аренов и алканов. Реакции электрофильного замещения в бензольном кольце и особенности ориентации в этих реакциях. Протонирование полиалкилбензолов с образованием стабильных аренииевых ионов. Изомеризация, дезалкилирование и диспропорционирование алкилбензолов. Реакции радикального замещения в боковой цепи, бензильная  $\pi$ -электронная система. Окислительные превращения алкилбензолов, реакции дегидрирования и их техническое значение для получения производных бензола с ненасыщенными углеводородными заместителями. Производные бензола с ненасыщенными углеводородными заместителями. Стирол: сопряжение и взаимное влияние бензольного кольца и двойной связи, реакции присоединения к двойной связи, механизм и факторы, определяющие ориентацию, полимеризация и сополимеризация стирола. Полистирол, его техническое значение и химическая модификация. Фенилацетилен. Многоядерные ароматические углеводороды. Соединения с разделенными бензольными кольцами: дифенил- и полифенилметаны, влияние накопления фенильных

радикалов на свойства метановой С-Н связи, полифенилметильные радикалы, катионы и анионы, представления о влиянии заместителей на их относительную стабильность; дифенилэтаны, стильбены, толан, их взаимопревращения. Ди- и полиарилы. Дифенил, способы его получения, строение. Представления о влиянии заместителей на легкость взаимного вращения и степень копланарности бензольных колец, связь последней со спектральными свойствами и пространственной изомерией производных дифенила. Дифенил как ароматическая система, реакции электрофильного замещения, ориентация в этих реакциях и влияние на нее заместителей. Ароматические углеводороды с конденсированными (аннелированными) бензольными кольцами. Основные структурные типы. Представления о синтетических подходах к аннелированию ароматических циклов. Нафталин: структурные характеристики, номенклатура положений нафталинового ядра и производных нафталина, электронное строение, представление о влиянии аннелирования на ароматичность; общие представления о реакционной способности в сравнении с бензолом, каталитическое гидрирование и восстановление металлами в присутствии источников протона, окисление и влияние заместителей на направление этой реакции; электрофильное замещение, ориентация в условиях кинетического и термодинамического контроля, влияние заместителей, значение этих реакций для синтеза и промышленного производства функциональных производных нафталина. Антрацен и фенантрен: номенклатура положений и изомерия производных, представления о методах синтеза из бензола и нафталина; электронное строение, ароматичность и общая характеристика реакционной способности в сравнении с бензолом и нафталином, относительная реакционная способность отдельных положений; реакции гидрирования, окисления, электрофильного присоединения и замещения. Полиядерные конденсированные ароматические системы, графит.

### **III. Производные углеводородов с простыми функциональными группами.**

#### *Галогенпроизводные.*

Моногалогеналканы, их изомерия и номенклатура. Способы образования связи С-Нlg при насыщенном атоме углерода: замещение атома водорода, присоединение галогеноводорода к двойной связи, замещение гидроксильной группы, синтез из солей карбоновых кислот. Качественное описание электронной природы связи  $C_{sp^3}$ -Нlg на основе представлений о характере локализованных  $\sigma$ -МО, образуемых атомами

с разной электроотрицательностью, зависимость свойств связи C-Hg от природы атома галогена. Химические свойства моногалогеналканов: нуклеофильное замещение атома галогена и дегидрогалогенирование, представления о механизмах  $S_N1$ ,  $S_N2$ , E1, E2, экспериментальных подходах к их установлению и факторах, определяющих их конкуренцию, учет этих закономерностей в планировании синтеза на основе моногалогеналканов. Способы активации галогенпроизводных в реакциях, протекающих с гетероциклическим разрывом связи углерод – галоген, комплексы моногалогеналканов с кислотами Льюиса. Восстановительные превращения моногалогеналканов: каталитическое гидрирование, взаимодействие с металлами. Полигалогенпроизводные алканов. Способы получения полигалогенметанов: галогенирование метана, селективное восстановительное дегалогенирование полигалогенметанов, галоформная реакция. Общие методы синтеза геминальных полигалогенпроизводных. Синтез вицинальных ди- и полигалогенэтанов с использованием реакций галогенирования этана, чередования реакций присоединения галогена к этилену и дегидрогалогенирования. Получение полифторпроизводных метана и этана, фреоны. Гексахлорциклогексан. Соединения с повышенной подвижностью атома галогена. Аллил- и бензилгалогениды, способы их получения и особенности химических свойств, функционализация аренов путем введения и модификации хлорметильной группы. Ди- и трифенилхлорметаны. Стабильные радикалы, карбокатионы и карбанионы. Бензальхлорид и бензотрихлорид: синтез из толуола и последующий гидролиз как пример общего подхода к функционализации алкиларенов путем трансформации алкильной группы. Соединения с пониженной подвижностью атома галогена. Галогеналкены: общие представления о природе связи  $C_{sp^2}-Hg$  и проявлении взаимного влияния двойной связи и атома галогена в химических свойствах. Хлористый винил и хлоропрен, способы их получения и техническое значение. Полихлорированные и полифторированные этилены и полимеры на их основе. Ароматические галогенпроизводные. Способы их получения: галогенирование углеводородов, превращения солей диазония. Особенности протекания реакций нуклеофильного замещения в ароматическом ряду: представления о механизме, катализ, влияние заместителей. Взаимодействие с металлами: получение металлоорганических соединений, синтез алкилароматических соединений и диариллов. Эффекты атомов галогенов как заместителей в реакциях электрофильного замещения, значение и пути использования этих

реакций в синтезе соединений ароматического ряда. Полихлорпроизводные бензола: получение хлорированием бензола, взаимодействие с нуклеофильными реагентами, основные пути использования. Магний- и литийорганические соединения. Способы получения из галогенпроизводных и углеводородов, обладающих достаточно высокой С-Н кислотностью. Природа связи углерод – металл и ее проявления в химических свойствах. Взаимодействие с кислотами и электрофилами: галогенами, кислородом, галогенпроизводными углеводородов, карбонильными соединениями и окисями алкенов, производными карбоновых кислот и углекислотой. Использование в синтезе элементоорганических соединений.

*Гидроксилсодержащие производные углеводородов и простые эфиры.*

Одноатомные спирты. Изомерия, классификация, номенклатура. Способы образования спиртовой гидроксильной группы: присоединение воды к двойной связи, гидролиз связи С-Нlg, восстановление карбонильных соединений и озонидов алкенов, карбоновых кислот и сложных эфиров, синтеза с использованием металлорганических соединений (окисление, реакции с карбонильными соединениями, окисями алкенов, сложными эфирами). Промышленные способы получения простейших алифатических спиртов, спиртов  $C_7\text{--}C_{20}$  и циклогексанола. Электронная природа и характеристики связей О-Н и С-Н, водородная связь и ее проявления в спектральных характеристиках и физических свойствах спиртов. Химические свойства: кислотно-основные свойства и их роль в химических превращениях спиртов, образование алколятов и их использование в синтезе, замещение гидроксильной группы при действии неорганических кислот и их галогенангидридов, дегидратация; рассмотрение механизма реакций, включающих разрыв связи С-О, на основе общих представлений о механизме реакций нуклеофильного замещения и отщепления в алифатическом ряду, способы активирующей модификации гидроксильной группы, свойства и использование в синтезе эфиров минеральных кислот; нуклеофильные свойства спиртов: присоединение к алкенам и алкинам, образование простых эфиров, взаимодействие с карбонильными соединениями, карбоновыми кислотами и их производными; окисление и дегидрирование спиртов. Основные пути применения. Многоатомные спирты. 1,2-Гликоли: общие способы получения и химические свойства, пинаколиновая перегруппировка; этиленгликоль, полиэтиленгликоли и их эфиры, свойства и основные пути использования; глицерин: методы синтеза, основанные на использовании пропилена, образование простых

и сложных эфиров, комплексов с ионами металлов, дегидратация. Представление о гликолях с удаленным расположением гидроксильных групп, 1,3-гликоли и полигликоли, пентаэритрит, 1,4-бутандиол и их техническое значение. Диалкиловые эфиры. Способы получения, основанные на реакциях присоединения спиртов к алкенам, взаимодействия алкилгалогенидов с алкоголями (реакция Вильямсона), дагидратации спиртов. Химические свойства: взаимодействие с протонными кислотами и кислотами Льюиса, расщепление, окисление. Алкиловые эфиры этиленгликоля. Основные представители циклических простых эфиров: окиси алкенов (получение, изомеризация, взаимодействие с галогеноводородами, водой при кислотном и щелочном катализе, спиртами и алкоголями, аммиаком и аминами, гидридами металлов и металлорганическими соединениями), тетрагидрофуран, диоксан. Аллиловые спирты и арилкарбинолы: методы синтеза и особенности химических свойств, связанные с аллильным и бензильным положением гидроксильной группы. Полиарилкарбинолы. Пропаргильный спирт. Представления о свойствах винилового спирта и кето-енольной таутомерии. Эфиры винилового спирта: способы получения из ацетилена и этилена, гидролиз и причины большей легкости его протекания по сравнению с диалкиловыми эфирами, полимеризация и ее техническое значение. Оксиарены. Классификация и номенклатура. Фенол и его гомологи, нафтолы. Способы получения оксиаренов, основанные на введении оксигруппы путем щелочного плавления сульфокислот, гидролиза галогенпроизводных, замены аминогруппы на гидроксильную группу через соли diazonия, окисления изопропильной группы до гидроперекиси и ее фрагментации. Химические свойства. Кислотность оксиаренов, влияние на нее ароматического остова и заместителей в нем, образование фенолятов, таутомерия оксиаренов и связь положения таутомерного равновесия с ароматичностью остова. Нуклеофильность оксиаренов, ее двойственная природа и влияние на нее трансформации фенолов в феноляты, конкуренция  $n$ - и  $\pi$ -нуклеофильности в свойствах оксиаренов.  $n$ -Нуклеофильность оксиаренов: образование простых и сложных эфиров, значение этих модификаций в химии оксиаренов. Перегруппировки эфиров оксиаренов как проявление конкуренции различных типов нуклеофильности оксиаренов.  $\pi$ -Нуклеофильность оксиаренов и реакции электрофильного замещения в ароматическом ядре: галогенирование, сульфирование, нитрование, нитрозирование, алкилирование и конденсации с карбонильными соединениями (фенольно-формальдегидные смолы, дифенилолпропан и их

техническое значение), ацилирование; влияние оксигруппы как заместителя на скорость и ориентацию в этих реакциях. Реакции электрофильного замещения, характерные для оксиаренов как ароматических соединений с повышенной  $\pi$ -нуклеофильностью: карбоксилирование, азосочетание, введение формильной группы (реакции Гаттермана и Реймера-Тимана). Гидрирование и окисление фенола. Стабильные феноксильные радикалы, представления и фенольных стабилизаторах полимерных материалов. Полиоксиарены. Пирокатехин и гидрохинон: способы получения, восстановительные свойства, образование моно- и диэфиров; специфические свойства пирокатехина, обусловленные соседством гидроксильных групп (образование циклических эфиров, комплексы с металлами). Резорцин и флороглюцин: получение, реакции с электрофилами, гидрирование, образование эфиров; проявления в химических свойствах резорцина, флороглюцина и их фенолятов двойственной нуклеофильности и повышенной склонности к таутомерным превращениям. Пирогаллол. Представления о природных соединениях – производных пирокатехина и пирогаллола.

#### *Амины.*

Классификация, номенклатура. Способы получения, основанные на реакциях аммиака и аминов как нуклеофильных реагентов с галоген-, окси- и аминопроизводными алифатических и ароматических углеводородов, реакциях восстановления и перегруппировках азотсодержащих производных карбонильных соединений и карбоновых кислот, восстановлении нитросоединений. Электронное и пространственное строение аминогруппы, зависимость от природы радикалов, связанных с атомом азота. Алифатические амины. Основность и кислотность аминов, влияние природы углеводородных радикалов на эти свойства. Реакции аминов как нуклеофилов: алкилирование, ацилирование (его влияние на свойства аминов как оснований и кислот, значение и использование в химии аминов), взаимодействие с азотистой кислотой, окисление. Основные представители алифатических аминов и их техническое значение. Соли четвертичных аммониевых оснований: получение, электронное и пространственное строение, практическое использование. Четвертичные аммониевые основания: получение, общая характеристика свойств, превращения при нагревании. Ароматические амины. Двойственная природа основности и нуклеофильности, соотношение  $n$ - и  $\pi$ -нуклеофильности в реакциях с электрофилами: алкилирование, сульфирование (сульфаминовая и сульфаниловая кислоты,

представление о сульфамидных препаратах), ацилирование и его значение в химии ароматических аминов, нитрование, галогенирование, нитрозирование, диазотирование и азосочетание. Окисление ароматических аминов. Фенилгидроксиламин и *para*-аминофенол. Важнейшие представители ароматических моно- и полиаминов, полиариламины, их техническое значение. Специфические свойства *ortho*-фенилендиамин и *ortho*-аминофенола, синтез гетероциклических соединений на их основе. Диазо- и азосоединения. Электронное строение солей диазония, катион диазония как электрофил. Взаимопревращения различных форм азосоединений. Реакции солей диазония, протекающие с выделением азота, и их использование для получения функциональных производных аренов и для удаления аминогруппы из ароматического ядра; соли диазония как реагенты арилирования ненасыщенных и ароматических соединений. Реакции солей диазония, протекающие без выделения азота: азосочетание и особенности проведения этой реакции в зависимости от природы диазо- и азосоставляющей, электронное строение и применение азосоединений, восстановление солей диазония и азосоединений, использование этих реакций для получения ароматических аминов и производных гидразина.

#### **IV. Производные углеводов со сложными функциональными группами.**

##### *Карбонильные соединения.*

Классификация и номенклатура. Способы образования карбонильной группы: окисление насыщенных углеводов, озонлиз и каталитическое окисление алкенов, оксосинтез, гидратация алкинов, гидролиз геминальных дигалогенпроизводных и виниловых эфиров, окисление и дегидрирование спиртов, окислительное расщепление  $\alpha$ -гликолей. Методы превращения альдегидов в кетоны, синтез альдегидов и кетонов из карбоновых кислот и их производных: восстановление галогенангидридов и нитрилов, реакции карбоновых кислот и их производных с металлоорганическими соединениями, пиролиз солей карбоновых кислот и его каталитические варианты. Электронное строение карбонильной группы: качественное описание в терминах локализованных  $\sigma$ - и  $\pi$ -МО, распределение электронной плотности. Основные спектральные характеристики и физические свойства. Химические свойства алифатических карбонильных соединений. Общая характеристика реакционной способности, основанная на электронном строении карбонильной группы и ее влиянии на связанный с ней алкильный радикал. Общая схема взаимодействия с нуклеофилами, роль



кислотного и основного катализа, относительная реакционная способность альдегидов и кетонов. Реакции с гетероатомными нуклеофилами: гидратация, взаимодействие со спиртами, галогеноводородами и пятихлористым фосфором, бисульфитом натрия, взаимодействие с тиолами и его использование для превращения альдегидов в углеводороды, кетоны и карбоновые кислоты; взаимодействие с азотцентрированными нуклеофилами: реакции с гидроксиламином (оксимы), гидразином и его производными (гидразоны и родственные соединения), первичными и вторичными аминами (азометины, енамины), аммиаком (уротропин). Реакции с углеродцентрированными нуклеофилами: образование циангидринов, присоединение металлорганических соединений, взаимодействие с алкилиденфосфоранами (реакция Виттига) и  $\pi$ -нуклеофилами (алкены, арены). Кето-енольная таутомерия и связанные с ней свойства карбонильных соединений: альдольно-кетоновая конденсация, ее механизм при кислотном и основном катализе, взаимодействие с C-H активными соединениями других типов (реакция Кнёвенагеля), взаимодействие енолов и енолятов как активированных производных алкенов с электрофилами (галогенирование и галоформное расщепление, нитрозирование и азосочетание, алкилирование, ацилирование). Окислительно-восстановительные превращения карбонильных соединений: восстановление до спиртов (каталитическое и действием комплексных гидридов металлов),  $\alpha$ -гликолей (металлами), углеводородов (амальгамированным цинком и соляной кислотой, активным титаном); окисление альдегидов до карбоновых кислот, окисление кетонов без разрыва и с разрывом углерод-углеродной связи. Свойства неенолизирующихся альдегидов: окислительно-восстановительное диспропорционирование при взаимодействии со щелочами (реакция Канниццаро) и алколятами алюминия (реакция Тищенко), полимеризация. Азотсодержащие производные карбонильных соединений. Общие представления о сходстве электронного строения и химических свойств карбонильной и азометиновой групп. Восстановление оксимов, гидразонов, шиффовых оснований. Восстановление продуктов взаимодействия с аммиаком и аминами в момент их образования: каталитическое, производными муравьиной кислоты (реакция Лейкарта и ее модификации). Оксимы: геометрическая изомерия и взаимопревращения изомеров при кислотном и щелочном катализе, превращения, катализируемые кислотами (перегруппировка и фрагментация Бекмана, перегруппировка оксима циклогексана и ее промышленное значение). Катализируемое

основаниями разложение гидразонов как основа способа превращения карбонильных соединений в углеводороды. Дикарбонильные соединения. Классификация, номенклатура. Способы получения, основанные на реакциях окисления, нитрозирования и конденсации.  $\alpha$ -Дикарбонильные соединения: глиоксаль, метилглиоксаль, образование устойчивых гидратов, катализируемое основаниями превращение в оксикислоты; диметилглиоксим и комплексы металлов на его основе; бензил, циклогексан-1,2-дион, бензиловая перегруппировка.  $\beta$ -Дикарбонильные соединения: формулацетон, циклическая кротоновая конденсация;  $\beta$ -дикетоны, особенности кето-енольной таутомерии, алкилирование и катализируемое основаниями расщепление, конденсации с карбонильными соединениями, образование комплексов с катионами металлов.  $\gamma$ -Дикарбонильные соединения: использование в синтезе гетероциклических соединений, фталевый диальдегид. Непредельные и ароматические карбонильные соединения.  $\alpha,\beta$ -Непредельные альдегиды и кетоны. Общие методы синтеза: окисление алкенов по аллильному положению и спиртов аллильного типа, кротоновая конденсация карбонильных соединений, синтез акролеина дегидратацией глицерина. Электронное строение:  $\pi,\pi$ -сопряжение, характер  $\pi$ -МО и распределение  $\pi$ -электронной плотности. Общая характеристика реакционной способности в сравнении с насыщенными карбонильными соединениями, факторы, определяющие соотношение продуктов присоединения нуклеофилов к карбонильной группе и углерод-углеродной двойной связи. Каталитическое гидрирование, восстановление источниками гидрид-иона и способы селективного проведения этих реакций, восстановление металлами. Селективное окисление по альдегидной группе. Реакции присоединения воды и спиртов, галогеноводородов, бисульфита натрия, аммиака и аминов, цианистого водорода, металлоорганических соединений. Конденсация с C-H-активными соединениями. Хиноны: общие методы синтеза, влияние строения на сродство к электрону, реакции восстановления и присоединения; 9,10-антрахинон. Карбонильные соединения ароматического ряда. Методы синтеза: получение окислением алкиларенов, ацилированием ароматических углеводов, взаимодействием хлорметильных производных с уротропином (реакция Соммле), гидролизом дихлорметильных производных. Взаимное влияние карбонильной группы и ароматического ядра, его проявление в электронном строении и реакционной способности карбонильной группы; особенности взаимодействия с нуклеофилами, реакции с аммиаком (гидробензамид) и аминами (основания Шиффа), реакция

Канницаро и бензоиновая конденсация; электрофильное замещение в ароматических карбонильных соединениях, свободнорадикальное хлорирование ароматических альдегидов. Кетены: методы синтеза, присоединение нуклеофильных реагентов как вариант реакции ацилирования, димеризация.

*Карбоновые кислоты и их производные.*

Алифатические монокарбоновые кислоты. Классификация и номенклатура. Методы получения: окисление углеводов, спиртов и карбонильных соединений, гидролиз тригалогенметильных производных, синтеза с использованием Mg- и Li-органических соединений, малонового и ацетоуксусного эфиров, гидролиз нитрилов, амидов и сложных эфиров; природные источники карбоновых кислот, промышленные методы синтеза, основанные на использовании окиси углерода. Электронное строение в сравнении со спиртами и карбонильными соединениями и общая характеристика реакционной способности. Физические свойства карбоновых кислот, проявления склонности к ассоциации за счет образования водородных связей. Химические свойства. Кислотность, ее связь со строением анионов карбоновых кислот и зависимость от характера и положения заместителей. Образование производных карбоновых кислот: солей, галогенангидридов и ангидридов, сложных эфиров, нитрилов и амидов. Представления о механизме взаимопревращений карбоновых кислот и их производных, роль кислотного и основного катализа. Восстановление и галогенирование карбоновых кислот. Производные карбоновых кислот. Соли: представления о свойствах и их зависимости от природы металла; превращения, сопровождающиеся удалением двуокиси углерода (пиролиз, анодное окисление, действие галогенов на серебряные соли). Хлорангидриды: реакции с нуклеофилами и их использование для замены атома водорода ацильным радикалом (ацилирование), восстановление до альдегидов, реакции с магнийорганическими соединениями. Ангидриды карбоновых кислот: реакции с нуклеофилами (ацилирование), уксусный ангидрид как C-H компонента в реакции с ароматическими альдегидами. Сложные эфиры: каталитическое гидрирование, восстановление металлами и комплексными гидридами металлов, электрофильность в сравнении с хлорангидридами и ангидридами, реакции с нуклеофилами (гидролиз и перэтерификация, реакции с аминами, сложноэфирная конденсация, основные пути использования. Амиды: взаимное влияние карбонильной и аминогруппы и его следствия в отношении кислотно-основных свойств в сравнении с аммиаком и аминами и электрофильности в

сравнении с другими производными карбоновых кислот, реакции с нуклеофилами (гидролиз, алкоголиз, переамидирование), основные пути превращения в амины (различные варианты восстановления, перегруппировка Гофмана и родственные ей превращения гидразидов, азидов, гидроксамовых кислот), основные пути использования. Нитрилы: каталитическое гидрирование, восстановление натрием в спирте, гидридами, хлористым оловом, взаимодействие с нуклеофилами (гидролиз, алкоголиз), реакции с магниорганическими соединениями. Непредельные и ароматические монокарбоновые кислоты. Способы получения  $\alpha,\beta$ -непредельных карбоновых кислот из алкенов, ацетилена, дикарбоновых, галоген- и оксикарбоновых кислот; электронное строение, взаимное влияние карбоксильной группы и двойной связи, реакции присоединения и причины реализующейся в них ориентации: промышленные способы получения и пути использования акриловой, метакриловой кислот и их производных; природные источники и практическое значение олеиновой кислоты. Превращения бензойной кислоты, затрагивающие бензольное кольцо; хлористый бензоил, особенности его реакционной способности в сравнении с хлоранигидридами алифатических кислот и использование в реакции бензоилирования. Насыщенные дикарбоновые кислоты. Классификация и номенклатура. Методы синтеза: окислительное расщепление циклоалканов, циклических спиртов и кетонов, гидролиз моно- и динитрилов, синтезы с использованием малонового эфира, получение щавелевой кислоты из формиата натрия. Общие химические свойства: кислотные свойства и их зависимость от взаимного расположения карбоксильных групп, образование производных по одной и обеим карбоксильным группам, смешанные производные. Щавелевая кислота: декарбоксилирование, декарбонилирование, окисление; диэтилоксалат, реакции сложноэфирной конденсации с его участием и их использование в синтезе. Малоновая кислота: декарбоксилирование и причины его повышенной легкости, конденсации с карбонильными соединениями; малоновый эфир, его свойства и использование в синтезе путем конденсации с карбонильными соединениями (реакция Кнёвенагеля) и присоединения по двойной углерод-углеродной связи, активированной электроноакцепторными заместителями (реакция Михаэля), образование, алкилирование и окислительная конденсация натрмалонового эфира, превращения продуктов этих реакций в карбоновые кислоты. Янтарная и глутаровая кислоты: образование циклических и высокомолекулярных производных; сукцинимид, его взаимодействие с бромом и щелочью, использование N-

бромсукцинимид в синтезе. Адипиновая кислота и ее производные, их свойства и пути практического использования. Производные угольной кислоты: мочевины и ее производные, сложные эфиры, хлоругольный эфир, уретаны, изоцианаты, пути промышленного использования производных угольной кислоты. Непредельные и ароматические дикарбоновые кислоты. Малеиновая кислота и ее ангидрид, способы получения, стереоизомерия этилендикарбоновых кислот, взаимопревращения малеиновой и фумаровой кислот, проявления стереоизомерии в различиях их химических свойств и пространственном строении продуктов реакций, протекающих по двойной связи. Бензолдикарбоновые кислоты: получение окислением диалкилбензолов и нафталина. Фталевая кислота: образование циклических и высокомолекулярных производных; фталевый ангидрид, его использование для синтеза производных фталевой кислоты, антрахинона, триарилметановых красителей; фталимид: свойства, обусловленные наличием связи N-H, использование в синтезе аминов (реакция Габриеля), в синтезе антрапиловой кислоты; сложные эфиры фталевой кислоты и их практическое значение. Терфталевая кислота, диметилтерефталат и его промышленное использование.

#### *Нитросоединения.*

Классификация и номенклатура. Способы получения нитросоединений: нитрование углеводов, обмен атома галогена на нитрогруппу, окисление аминов, синтез ароматических нитросоединений из аминов через соли диазония. Электронное строение нитрогруппы, характер ее влияния на насыщенный, ненасыщенный и ароматический углеводородные радикалы. Химические свойства: каталитическое гидрирование, восстановление в кислой, нейтральной и щелочной средах; C-H кислотность, таутомерия и связанные с ними свойства алифатических нитросоединений (галоидирование, нитрозирование, конденсация с карбонильными соединениями и синтез нитроалкенов, присоединение к двойной связи, активированной электроноакцепторными заместителями), реакции ациформы (гидролиз, перегруппировка в гидроксамовые кислоты). Представления о свойствах нитроалкенов. Специфические свойства ароматических нитросоединений: электрофильное замещение и влияние нитрогруппы как заместителя на скорость и ориентацию в этих реакциях; частичное восстановление, нуклеофильное замещение галогена в нитрогалогенбензолах и нитрогруппы в полинитроаренах; окисление, C-H кислотность и связанные с ней реакции нитропроизводных толуола. Продукты неполного восстановления нитросоединений:

нитрозосоединения, их таутомерия, реакции димеризации и конденсации; фенилгидроксиламин, азоксибензол, гидразобензол и их перегруппировки.

#### **V. Соединения со смешанными функциями.**

##### *Галогензамещенные карбоновые кислоты.*

Классификация и номенклатура. Способы получения, основанные на свойствах насыщенных и непредельных карбоновых кислот. Химические свойства: влияние числа и расположения атомов галогенов на силу карбоновых кислот, реакции нуклеофильного замещения атома галогена и их использование в синтезе.

##### *Альдегидо- и кетокислоты.*

Классификация и номенклатура. Простейшие  $\alpha$ -альдегидо- и  $\alpha$ -кетокислоты: получение из кетонов, карбоновых кислот и их производных; химические свойства как проявления реакционной способности, характерной для двух функциональных групп.  $\beta$ -Альдегидо- и  $\beta$ -кетокислоты, специфика их свойств. Получение сложных эфиров по реакции сложноэфирной конденсации; свойства эфиров  $\beta$ -кетокислот на примере ацетоуксусного эфира: С-Н кислотность и таутомерия, конденсации с карбонильными соединениями и соединениями, содержащими углерод-углеродную двойную связь, активированную электроноакцепторными заместителями; образование металлических производных, их строение и двойственная реакционная способность, алкилирование, ацилирование, окислительная конденсация и использование этих свойств в синтезе кетонов и карбоновых кислот; бромирование, нитрозирование, азосочетание; взаимодействие с бисульфитом натрия, цианистым водородом, гидроксиламином и производными гидразина.

##### *Оксикислоты.*

Классификация и номенклатура. Алифатические оксикислоты: общие методы синтеза, основанные на свойствах непредельных, галоген-, кето- и аминокарбоновых и дикарбоновых кислот, многоосновных спиртов, оксиальдегидов и оксинитрилов; представления о природных источниках оксикислот. Химические свойства: дегидратация и зависимость ее результата от взаимного расположения карбоксильной и оксигруппы, представления о стереохимии оксикислот, реакции с обращением и сохранением конфигурации. Ароматические оксикислоты: получение карбонизацией фенолятов и нафтолятов, взаимопревращения солей, влияние катиона металла и температуры на направление этих реакций; получение простых и

сложных эфиров, реакции азосочетания; пути использования оксibenзойных и -нафтойных кислот и их производных.

#### *Аминокислоты.*

Классификация и номенклатура. Структурные типы природных  $\alpha$ -аминокислот, стереохимия и конфигурационные ряды; синтезы из кетонов через циангидрины, из галоген- и кетокислот, производных аминокислотной кислоты. Методы синтеза  $\beta$ -аминокислот, основанные на реакциях непредельных и дикарбоновых кислот. Кислотно-основные свойства аминокислот и зависимость их состояния от pH среды; образование производных по карбоксильной и аминогруппе, бетаины; взаимодействие с азотистой кислотой, превращения аминокислот, протекающие при нагревании, и зависимость их результата от взаимного расположения функциональных групп. Основные реакции  $\alpha$ -аминокислот, протекающие в живых организмах. Пептиды, полипептиды и белки: представления о пептидном синтезе, методах установления аминокислотного состава и последовательности аминокислотных фрагментов; вторичная структура, основные функции белков в жизнедеятельности организмов. Капролактамы и его техническое значение. Антрахиноновая и *para*-аминобензойная кислоты: методы получения, свойства и пути использования.

#### *Оксикарбонильные соединения и углеводы.*

Оксикарбонильные соединения и их характерные свойства. Моносахариды, классификация и номенклатура, стереоизомерия и конфигурационные ряды; кольчато-цепная таутомерия и мутаротация; реакции, используемые для установления структурных и стереохимических характеристик моносахаридов: окисление и восстановление, ацилирование, алкилирование, образование фенилгидразонов и осазонов, переходы от низших моносахаридов к высшим и обратно. Ди- и полисахариды, представления о распространении углеводов в природе и путях их использования.

#### **VI. Гетероциклические соединения.**

Общие представления и классификация. Ароматические гетероциклические соединения.

Пятичленные гетероциклы с одним гетероатомом (фуран, тиофен, пиррол): общие методы синтеза и взаимопревращения, зависимость степени ароматичности от природы гетероатома и ее влияние на особенности взаимодействия с кислотами и электрофилами; реакции гидрирования и окисления. Фурфурол и тиофен-2-альдегид, пироксалиновая кислота. Кислотные свойства пиррола и их использование в синтезе; пиррол-2-альдегид и его превращение в порфин; пиррольный цикл как

структурный фрагмент природных соединений. Индол и его производные: методы построения индольного остова, основанные на использовании ароматических аминов и арилгидразонов; химические свойства индола, синтез важнейших производных, представления о природных соединениях индольного ряда, индиго. Представления о пятичленных гетероциклах с несколькими гетероатомами.

Шестичленные гетероциклы. Пиридин и его гомологи: изомерия и номенклатура, ароматичность, двойственная основность и нуклеофильность; проявления N-основности и N-нуклеофильности, образование N-окиси;  $\pi$ -основность и  $\pi$ -нуклеофильность: влияние гетероатома на эти свойства, реакции электрофильного замещения в ядре пиридина и его N-окиси и их использование для синтеза функциональных производных пиридина, отношение пиридина и его гомологов к окислителям; влияние гетероатома на электрофильные свойства пиридинового ядра, нуклеофильное замещение водорода (реакция Чичибабина) и нуклеофильно подвижных групп, использование этих реакций для синтеза функциональных производных пиридина; гидрирование пиридинового ядра; C-H кислотность метильной группы в зависимости от ее положения в пиридиновом ядре и проявления в химических свойствах пиколинов. Влияние положения функциональной группы в ядре пиридина на свойства окси- и аминопиридинов, таутомерия этих производных. Соли пиридиния, расщепление пиридинового цикла при действии нуклеофилов. Представления о природных соединениях и лекарственных средствах – производных пиридина. Хинолин и его простейшие производные: методы построения хинолинового ядра, основанные на реакциях анилина с глицерином и карбонильными соединениями, сходство и различия химических свойств пиридина и хинолина. Изохинолин. Пиримидин: способы построения пиримидинового остова, основанные на взаимодействии мочевины и ее производных с малоновым эфиром, эфирами  $\beta$ -альдегидо- и  $\beta$ -кетокислот; важнейшие производные пиримидина и их роль в качестве структурных фрагментов нуклеиновых кислот: урацил, цитозин, тимин; пурин как конденсированная система имидазола и пиримидина, аденин и гуанин. Представления о нуклеотидах и нуклеиновых кислотах.

#### Список литературы.

1. А. Терней. Современная органическая химия. Т. 1, 2. М.: Мир, 1981.



2. А. Н. Несмеянов, Н. А. Несмеянов. Начала органической химии. Кн. 1, 2. М.: Химия, 1974.
3. Р. Моррисон, Р. Бойд. Органическая химия, М.: Мир, 1970.
4. В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. Галоидзамещенные карбоновые кислоты. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1999.
5. В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. Оксикислоты. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1999.
6. В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. Аминокислоты. Новосибирск: Изд-во НГУ, 1999.
7. В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. Гетероциклические соединения. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000.
8. В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. Углеводы. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2002.

### **Химические основы жизни**

Н.А. Попова

#### **Различные типы живых существ.**

Прокариоты и эукариоты. Особенности метаболизма и размножения прокариот. Монеры и протисты. Вирусы и бактериофаги. Риккетсии. Археи и бактерии, цианобактерии и другие типы бактерий. Одноклеточные животные – простейшие. Автотрофы и гетеротрофы, фототрофы и хемотрофы. Аэробы и анаэробы. Строение эукариотической клетки. Клеточная теория и основные положения. Онтогенез. Размножение. Способы и формы размножения. Половое размножение и половые клетки. Фазы клеточного цикла. Митоз. Мейоз. Фенотип организма. Индивидуальное развитие. Патология развития.

#### **Химический состав живых организмов.**

Элементный состав. Свойства химических элементов, определяющие их отбор в состав живых организмов. Потребности в минеральных веществах, их биологическая роль и проявления недостаточности. Биогенные элементы периодической системы элементов. Роль абиогенных элементов.

#### **Ферментативный катализ.**

Строение ферментов. Роль и участие ионов металлов и специальных органических молекул (простетических групп) в каталитическом действии ряда ферментов. Механизм действия ферментов.

Кинетическое уравнение для односубстратной ферментативной реакции (уравнение Михаэлиса). Квазиравновесное и квазистационарное приближение для кинетического уравнения. Максимальная скорость и константа Михаэлиса. Зависимость кинетических параметров уравнения Михаэлиса от pH. Единицы активности фермента. Конкурентное ингибирование ферментов. Аллостерические эффекторы (активаторы и ингибиторы). Субъединичные ферменты.

#### **Классы ферментативных реакций.**

Первый класс - оксидоредуктазы. Рациональная номенклатура оксидоредуктаз. Второй класс - трансферазы. Рациональная номенклатура. Гидролазы. Пищеварительные гидролазы. Протеазы. Липазы. Гидролиз нуклеиновых кислот. Внутриклеточные нуклеазы и протеазы и их регуляторная роль. Лиазы. Рациональная номенклатура. Изомеразы. Классификация. Рацемазы и эпимеразы. Лигазы (синтетазы). Синтез, сопряженный с гидролизом пирофосфатных связей в АТФ и GTP. Номенклатура лигаз.

#### **Биохимические цепи и циклы**

##### **Катаболические и анаболические процессы.**

Значение катаболических процессов для биоэнергетики клетки. АТФ - основной аккумулятор энергии в клетке. Макроэргические связи. Окисление NADH кислородом - основной процесс, приводящий к образованию макроэргических связей. Цикл трикарбоновых кислот - основной источник образования NADH из NAD<sup>+</sup>. Основные реакции цикла трикарбоновых кислот. Необходимость анаплеротических путей (путей пополняющих запас компонентов, участвующих в цикле). Карбоксилирование пирувата, зависимое от АТФ и биотина, - анаплеротический путь синтеза оксалоацетата.

##### **Цепь переноса электронов.**

Локализация процесса в митохондриях. Разделение субмитохондриальных частиц, осуществляющих перенос электронов на четыре комплекса. Полный биоэнергетический эффект цикла трикарбоновых кислот.

##### **Окисление углеводов.**

Гликолиз и его основные этапы. Пируват, как конечный продукт гликолиза. Превращение пирувата в анаэробных условиях. Молочно-кислое и спиртовое брожение. Биоэнергетический баланс анаэробного гликолиза. Превращение пирувата в аэробных условиях.

##### **Пируватдегидрогеназный комплекс.**

Окислительное тиаминпирофосфат зависимое декарбоксилирование пирувата, сопровождающееся переносом остатка ацетальдегида на липоат. Образование ацетилкофермента А. Регенерация окисленного липоата. Энергетический баланс превращения глюкозы в ацетил-СоА.

#### **Окисление жирных кислот.**

Номенклатура жирных кислот. Гидролиз триацилглицеролов. Активация жирных кислот путем зависимого от гидролиза АТФ присоединения к СоА. Карнитин - переносчик активированных жирных кислот с длинной цепью через внутреннюю митохондриальную мембрану. Биоэнергетический баланс окисления жирных кислот до ацетил-СоА.

#### **Катаболизм аминокислот.**

Окислительное дезаминирование аминокислот оксидазами. Реакции переаминирования между аминокислотами и  $\alpha$ -кетоглутаратом. Образование из аминокислот пирувата и компонентов цикла трикарбоновых кислот. Участие витамина В<sub>12</sub> в реакции изомеризации. Декарбоксилирование аминокислот.

Цикл мочевины как путь вывода аммиака из организма млекопитающих. Превращение аммиака в мочевины. Синтез карбамоилфосфата.

#### **Альтернативный путь окисления глюкозо-6-фосфата (гексозомонофосфатный шунт).**

Окисление глюкозо-6-фосфата через глюконо- $\delta$ -лактон-6-фосфат до 6-фосфоглюконата. Полный итог взаимопревращения альдоз и кетоз - образование пяти молекул гексоз из шести молекул пентоз. Биоэнергетический баланс гексозо-монофосфатного шунта.

#### **Фотосинтез.**

Его значение в биосфере. Локализация фотосинтеза в хлоропластах. Световые и темновые реакции фотосинтеза. Световая стадия фотосинтеза как индуцированный светом перенос электронов от воды к NADP<sup>+</sup>. Хлорофиллы и концепция фотосинтетической единицы, реакционный центр. Две фотосистемы I и II. Фотосистема I. Восстановленный ферредоксин, и перенос электрона с него на NADP<sup>+</sup> с образованием NADPH. Фотосистема II. Образование сильного окислителя. Окисление воды до молекулярного кислорода. Перенос электронов от системы II к системе I. Пластохинон, цитохромы b<sub>559</sub>, c<sub>552</sub> (цитохром f) и пластоцианин - промежуточные переносчики электронов. Создание в процессе переноса электронов протонного градиента и запуск синтеза АТФ. Циклическое фотосинтетическое фосфорилирование. Общий энергетический баланс световой стадии

фотосинтеза. Темновая стадия фотосинтеза. Взаимодействие  $\text{CO}_2$  с 1,5-рибулозодифосфатом с образованием двух молекул 3-фосфоглицерата. Рибулозодифосфат карбоксилаза. Фосфорилирование 3-фосфоглицерата с образованием 1,3-дифосфоглицерата и восстановление последнего с помощью NADPH до 3-фосфоглицеринового альдегида. Синтез гексозы из двух молекул триозофосфата. Биоэнергетический баланс синтеза одной молекулы гексозы из  $\text{CO}_2$ . Регуляция цикла Кальвина.

#### **Глюконеогенез.**

Синтез глюкозы из неуглеводных предшественников: лактата, аминокислот и глицерола. Общие реакции для глюконеогенеза и гликолиза. Изменение энергетики при обращении стадий, идущих с существенным падением энергии Гиббса.

#### **Биосинтез предшественников макромолекул.**

Биосинтез олиго- и полисахаридов. Синтез сахарозы и лактозы. Роль UDP-глюкозы и UDP-галактозы и их взаимопревращение. Биосинтез амилозы и гликогена. Биосинтез липидов. Биосинтез жирных кислот. Ацетил-СоА - исходное соединение при биосинтезе. Ацил-переносящий белок (АСР). Регуляция синтеза жирных кислот. Биоэнергетический баланс синтеза жирных кислот. Отличия путей синтеза и расщепления жирных кислот. Взаимодействие глицерол-3-фосфата с ацил-СоА и образование фосфатидной кислоты. Гидролиз ее до диацилглицерола, образование жиров. Два пути синтеза фосфолипидов. Стероиды. Пергидроциклопентанофенантрен как основа стероидов. Принципиальная схема синтеза холестерина через мевалоновую кислоту.

#### **Биосинтез аминокислот.**

Превращение  $\text{N}_2$  в  $\text{NH}_4$  микроорганизмами. Включение  $\text{NH}_4$  в аминокислоты через глутамат и глутамин. Заменяемые и незаменимые аминокислоты. Шесть биосинтетических семейств.

#### **Биосинтез нуклеотидов.**

Синтез пуриновых нуклеотидов. Образование PRibPP из рибозо-5-фосфата и АТФ. Происхождение атомов пуринового кольца: Аминокислоты и производные тетрагидрофолата, участвующие в синтезе. Пути превращения 5'-IMP в 5'-AMP и 5'-GMP. Синтез пиримидиновых нуклеотидов. Схема синтеза пиримидиновых нуклеотидов: синтез карбомиласпартата, образование дигидрооротата и его превращение в оротат. Синтез СТР из УТР. Восстановление рибонуклеотидов до дезоксирибонуклеотидов. Восстановительное метилирование dUMP с образованием TMP с помощью  $\text{N}^5, \text{N}^{10}$ -метилентетрагидрофолата (TGF).

### **Интеграция и принципы контроля метаболизма.**

#### **Биохимические цепи и циклы как общий принцип организации систем биохимических превращений в живой природе.**

Гликолиз как пример биохимической цепи. Необратимая последовательность превращений веществ через биохимическую цепь. Необратимые стадии гликолиза. Участие вспомогательных компонентов и их регенерация. Точки разветвления цепи. Использование промежуточных продуктов гликолиза в биосинтезе липидов, некоторых аминокислот, создание одноуглеродных фрагментов.

Цикл трикарбоновых кислот как пример биохимического цикла. Расходование компонентов цикла в реакциях синтеза аминокислот. Поддержание уровня компонентов цикла путем анаплеротических реакций (реакций, пополняющих запас компонентов, участвующих в цикле). Зависимое от АТФ и биотина карбоксилирование пирувата - анаплеротический путь синтеза оксалоацетата.

#### **Пространственная организация систем биохимических процессов.**

Пространственное разобщение - компартментация, биохимических процессов. Разобщение синтеза и катаболизма жирных кислот. Разобщение синтеза карбамоилфосфата в цикле мочевины и при синтезе пиримидиновых нуклеотидов. Мультиферментные комплексы как способ более совершенной организации систем биохимических реакций. Пируватдегидрогеназный комплекс.

#### **Регуляция систем биохимических процессов.**

Стехиометрическая регуляция в точках разветвления. Регуляция взаимопревращения глицеральдегид-3-фосфата и дигидроксиацетонфосфата. Регуляция за счет накопления продукта реакции по принципу обратной связи. Ингибирование ацетил-СоА карбоксилазы, образовавшимся при синтезе, пальмитил-СоА. Регуляция энергетическим зарядом. Регуляция скорости окислительного фосфорилирования. Воздействие АТФ на цепь переноса электронов (дыхательный контроль). Аллостерическая регуляция. Активация ключевой реакции гликолиза - фосфорилирования фруктозо-6-фосфата с помощью АМР и АДФ. Ингибирование синтеза фруктозо-1,6-дифосфата избытком АТФ. Ингибирующее действие АМР на конечную стадию глюконеогенеза - гидролиз фосфоэфирной связи в фруктозо-1,6-дифосфате. Изменение соотношения между процессами гликолиза и глюконеогенеза в зависимости от концентрации АТФ, АМР и цитрата - реципрокная регуляция. Регуляция активности ферментов путем их модификации. Регуляция фосфолиза гликогена модификацией

фосфорилазы. Циклический аденозин-3',5'-монофосфат (сАМР) как универсальный промежуточный регулятор ряда биохимических процессов. Понятие об уровнях контроля процессов метаболизма в организме (нервная и гормональная регуляции).