

Министерство образования и науки РФ

Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

**КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.  
ПРАКТИКУМ**

Под общей редакцией П.А. Головинского

*Рекомендовано редакционно-издательским советом  
Воронежского государственного архитектурно-строительного университета  
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлениям  
521500 – «Менеджмент», 220600 – «Инноватика»*

Воронеж 2011

УДК 5(07)  
ББК 20я7

*Рецензенты:*  
*кафедра аналитической химии*  
*Воронежского государственного университета;*  
*Л.А. Битюцкая, к.х.н., доц. кафедры физики полупроводников*  
*и микроэлектроники Воронежского государственного университета*

**Артамонова, О.В. Концепции современного естествознания. Практикум:** учеб. пособие / О.В. Артамонова, Л.Г. Барсукова, О.Б. Кукина; под общ. ред. П.А. Головинского; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т; – Воронеж, 2011. – 75 с.

Лабораторные и практические работы по курсу «Концепции современного естествознания» выполняются студентами всех специальностей и направлений, изучающих циклы естественнонаучных дисциплин.

Практикум содержит краткие теоретические сведения, вопросы для подготовки, задачи и упражнения по каждой теме, описание методики выполнения лабораторных работ, и дает возможность студентам самостоятельно проводить опыты, в ходе выполнения лабораторной работы закреплять и расширять теоретические знания, на основе анализа полученных экспериментальных данных делать выводы.

Ил. 24. Табл. 19. Библиогр.: 13 назв.

УДК 5(07)  
ББК 20я7

ISBN 987-5-89040-347-6

© О.В. Артамонова, Л.Г. Барсукова,  
О.Б. Кукина, 2011  
© Воронежский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2011

## **ВВЕДЕНИЕ**

Дисциплина «Концепции современного естествознания» появилась в России в 2000 году. Она введена в программу обучения студентов, не изучающих циклы естественнонаучных дисциплин. Это продукт междисциплинарного синтеза, основанного на эволюционно-синергетическом подходе, физики, химии, биологии, экологии и других наук.

Современная научная картина мира отличается сложностью рассматриваемых систем. Так, с помощью ЭВМ решаются задачи, которые не могли быть решены четверть века назад. Оказалось, что в сложных системах вдали от равновесия могут возникать из хаоса упорядоченные состояния. Хаос стал выступать созидательным началом, конструктивным и обязательным механизмом эволюции. В настоящее время обществу необходимо решать сложные задачи выхода из многочисленных кризисов, причем пути выхода не должны быть катастрофическими, фактически это задачи балансировки между рисками и безопасностью. Проблемы выбора стратегии связывают с нелинейной динамикой, разработавшей различные пути перехода от хаоса к порядку. Явления самоорганизации начали изучаться не только в физике, материаловедении, экологии, но и в экономике. Будущие бакалавры во многих областях должны получить представление о современной научной картине мира.

Предлагаемое учебное пособие написано в соответствии с Государственными образовательными стандартами для студентов, обучающихся по направлениям 521500 «Менеджмент» - бакалавр менеджмента, 220600 – «Инноватика» - бакалавр техники и технологии.

### **ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИИ И ПРАВИЛА РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ**

- До начала занятий необходимо внимательно ознакомиться с темой работы, используя учебник, конспект лекций и методические указания.
- Основным местом выполнения лабораторной работы является рабочий стол, на котором необходимо соблюдать чистоту и порядок. За каждым студентом в лаборатории закрепляется определенное рабочее место.
- Работая в химической и физической лаборатории, студенты должны выполнять требования по технике безопасности.
- Все опыты с вредными и пахучими веществами должны проводиться в вытяжном шкафу. При нагревании жидкости пробирку в держателе следует располагать отверстием от себя и людей, находящихся рядом. Наливая раствор, необходимо держать пробирку и склянку на некотором отдалении от себя во избежание попадания жидкости на одежду и обувь.
- Работа с концентрированными кислотами и щелочами требует максимального внимания и осторожности, особенно при нагревании. При небреж-

ном выполнении опыта возможны ожоги кислотами и щелочами. В этом случае необходимо немедленно промыть обожженный участок большим количеством воды, а затем остатки кислоты нейтрализовать 2-процентным раствором соды; а щелочи – 2-процентным раствором борной кислоты.

- Категорически запрещается проводить опыты, не относящиеся к данной работе. По окончании работы необходимо тщательно убрать рабочее место, вымыть посуду. Студент сдает рабочее место дежурному, а последний сдает лабораторию лаборанту.

- Соблюдайте правила безопасности работы с электроприборами. Перед присоединением/отсоединением разъемов выключите прибор. Отсоединение или присоединение разъемов во время работы прибора может привести к повреждению электронной схемы и выходу прибора из строя.

- Не разбирайте самостоятельно никакие части прибора! Не подключайте к прибору дополнительные устройства.

- Оберегайте прибор от воздействия предельных температур, попадания жидкости.

- Оберегайте прибор от сильных механических воздействий.

## Работа 1. ГЕНЕЗИС МИНЕРАЛЬНЫХ СИСТЕМ

### 1.1. Цель работы

- Изучить классификацию, методы получения и химические свойства неорганических веществ. Выявить зависимость химических свойств неорганических соединений от их состава.
- Научиться составлять уравнения химических реакций.
- Понять генетическую связь между различными классами неорганических соединений.

### 1.2. Общие теоретические сведения

Химические элементы образуют простые и сложные неорганические соединения с помощью химических связей согласно правилам валентности. Они являются предметом изучения **неорганической химии**. Все элементы, так же, как и простые вещества, образуемые из них, по их свойствам можно разделить на две большие группы: **металлы и неметаллы**. Сложные неорганические вещества образуют три класса соединений: оксиды, гидроксиды, соли (см. рис. 1.1.).

**Оксиды** – сложные вещества, состоящие из атомов двух элементов, один из которых – кислород. Оксиды бывают *несолеобразующие* ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) и *солеобразующие*. Последние, в свою очередь, делятся на *основные*, *кислотные* и *амфотерные*.

К **гидроксидам** относятся *основания* (основные гидроксиды), *кислоты* (кислотные гидроксиды) и *амфотерные гидроксиды*.



Кислотные оксиды образуют неметаллы, а также металлы, проявляющие валентность V, VI, VII. Например:  $N_2O_5$ ,  $SO_2$ ,  $SiO_2$  (N, S, Si – неметаллы);  $V_2O_5$ ,  $CrO_3$ ,  $Mn_2O_7$  (V, Cr, Mn – металлы, валентность которых соответственно равна V, VI, VII).

#### *Характерные реакции*

Оксиды щелочных и щелочноземельных металлов взаимодействуют с водой с образованием щелочей (растворимых в воде оснований). Остальные оксиды металлов (I, II) в воде не растворяются.

Основные оксиды взаимодействуют с кислотами, с кислотными и амфотерными оксидами, а также с амфотерными гидроксидами. В результате таких реакций образуются соли.

Кислотные оксиды взаимодействуют с водой с образованием кислот; со щелочами, с основными и амфотерными оксидами, а также с амфотерными гидроксидами. При этом образуются соли.

Поставьте в штатив 5 пробирок и налейте в каждую из них ~ по 1-2 мл раствора, указанного в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Номер пробирки	Исходное вещество	Добавляемый индикатор	Добавляемый оксид	Наблюдаемый эффект
1	Дистиллированная вода	универсальный	CaO	
2	Дистиллированная вода	универсальный	CuO	
3	$H_2SO_4$ (разб.)	-	CuO	
4	Дистиллированная вода	универсальный	$CO_2$	
5	Гидроксид кальция $Ca(OH)_2$	-	$CO_2$	

В пробирки с дистиллированной водой (№1, №2, №4) добавьте 2-3 капли универсального индикатора, заметьте окраску. В пробирки №1, №2, №3 внесите шпателем небольшое количество соответствующих оксидов. Содержимое пробирок интенсивно встряхните. Если окраска раствора не изменяется, пробирку осторожно нагрейте. Обратите внимание на окраску.

В вытяжном шкафу получите  $CO_2$ . Полученный газ последовательно пропустите через растворы в пробирках №4, №5. Наблюдаемые эффекты внесите в табл. 1.1.

Напишите уравнения реакций. Определите согласно принципу кислотно-основного взаимодействия характер предложенных оксидов.

### Получение и химические свойства гидроксидов

#### Характерные реакции

Гидроксиды взаимодействуют с веществами противоположного характера по кислотно-основному принципу.

Поставьте в штатив 5 пробирок. В первые две налейте ~ по 2мл раствора соли, указанного в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Но-мер пробирки	Раствор соли	Раствор гидроксида	Наблюдаемые изменения	Формула образующегося гидроксида	Добавляемый реагент	Наблюдаемые изменения
1	$\text{CuSO}_4$	$\text{NaOH}$		$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{NaOH}$	
2	$\text{ZnSO}_4$	$\text{NaOH}$		$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{NaOH}$	
3	-	-	-	$\text{Cu}(\text{OH})_2$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	
4	-	-	-	$\text{Zn}(\text{OH})_2$	$\text{H}_2\text{SO}_4$	
5	$\text{Na}_2\text{SiO}_3$	$\text{HCl}$		$\text{H}_2\text{SiO}_3$	-	

В пробирки №1 и №2 добавьте по несколько капель раствора щелочи, а в пробирку №5 – концентрированного раствора кислоты  $\text{HCl}$ . Полученное содержимое пробирок №1 и №2 разделите пополам в пробирки №3, №4. В пробирки №1 и №2 добавьте раствор  $\text{NaOH}$  (концентрированный), а в пробирки №3, №4 – раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (разбавленный).

Объясните, почему в пробирке №1 осадок не растворился, а в пробирках №2, №3, №4 – растворился. Напишите уравнения реакций. Укажите характер полученных гидроксидов.

### Классификация и получение солей

Соли бывают средние, кислые и основные. Средние соли образуются при полном замещении атомов водорода в кислоте атомами металла или гидроксильных групп в основании кислотными остатками (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Название кислоты	Формула кислоты	Кислотные остатки	Степень окисления кислотного остатка	Название кислотных остатков
соляная	$\text{HCl}$	$-\text{Cl}$	-1	хлорид
азотная	$\text{HNO}_3$	$-\text{NO}_3$	-1	нитрат
серная	$\text{H}_2\text{SO}_4$	$=\text{SO}_4$	-2	сульфат
сернистая	$\text{H}_2\text{SO}_3$	$=\text{SO}_3$	-2	сульфит
сероводородная	$\text{H}_2\text{S}$	$=\text{S}$	-2	сульфид
угольная	$\text{H}_2\text{CO}_3$	$=\text{CO}_3$	-2	карбонат
кремниевая	$\text{H}_2\text{SiO}_3$	$=\text{SiO}_3$	-2	силикат
ортофосфорная	$\text{H}_3\text{PO}_4$	$\equiv\text{PO}_4$	-3	фосфат

Формулы солей записываются в соответствии со степенью окисления кислотных и основных остатков. При этом необходимо помнить, что суммы зарядов кислотного и основного остатков должны быть равны нулю, т.к. любая молекула электронейтральна.

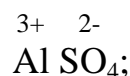
+2   -1   +1   -2   +3   -2  
 Например:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

### Составление формул солей

**Пример.** Составьте химическую формулу сульфата алюминия.

**Решение:**

а) запишем основной и кислотный остатки, которые должны войти в состав данной соли, и укажем их степень окисления:



б) найдем наименьшее общее кратное (НОК) для чисел 3 и 2, выражающих степень окисления соответственно  $\text{Al}^{3+}$  и группы  $\text{SO}_4^{2-}$ ; в этом случае НОК = 6;

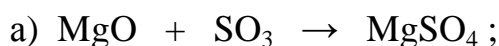
в) разделим наименьшее общее кратное 6 на степень окисления Al (3+) и получим число атомов алюминия (число основных остатков):  $6 / 3 = 2$ ; разделим НОК на степень окисления кислотного остатка  $\text{SO}_4^{2-}$  (2-) и получим число кислотных остатков:  $6 / 2 = 3$ ;

г) полученные индексы 2 и 3 напишем соответственно внизу и справа у символов основного и кислотного остатков:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

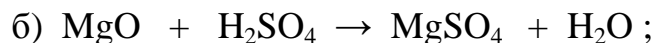
Таким образом, формула сульфата алюминия –  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

### Составление реакций получения солей

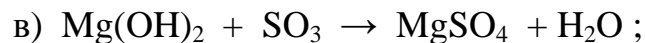
Порядок составления реакций рассмотрим на примере сульфата магния. Запишите формулу соли, а также формулы оксидов и гидроксидов, из которых может быть получена данная соль. Составим возможные реакции получения сульфата магния, помня, что взаимодействуют вещества различной химической природы:



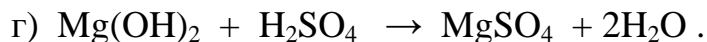
*осн. оксид    кисл. оксид*



*осн. оксид    кислота*



*основание    кисл. оксид*



*основание    кислота*

Получите вариант задания у преподавателя (табл. 1.4). Напишите уравнения реакций получения средней соли, предложенной в вашем варианте.

Таблица 1.4

Номер варианта	Название соли
I	Карбонат кальция
II	Фосфат калия
III	Силикат натрия
IV	Сульфит калия
V	Карбонат натрия
VI	Сульфат кальция



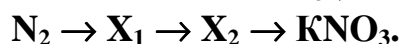
## 1.4. Выводы

Сформулируйте принцип кислотно-основного взаимодействия.

Составьте схему генетической связи различных классов неорганических соединений на конкретном примере.

## 1.5. Контрольные упражнения

Осуществите следующие превращения и покажите генетическую связь предложенных веществ:  $\text{Ca} \rightarrow \text{X}_1 \rightarrow \text{X}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$  ;



Какие из перечисленных веществ будут взаимодействовать с гидроксидом калия:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{FeO}$ ? Составьте уравнения возможных реакций, назовите вещества и определите, к какому классу неорганических соединений они относятся.

Литература: [7 – Введение, §§ 1 – 3].

## Работа 2. ВОДА КАК ФАКТОР ЕДИНСТВА И ДВИЖЕНИЯ МАТЕРИИ

### 2.1. Цель работы

- Ознакомиться с химическими свойствами воды.
- Установить роль воды в различных процессах природы и практической деятельности человека.
- Понять и усвоить связующую функцию воды в Природе, ее изменчивость и подвижность как фактор постоянного движения всего сущего.

### 2.2. Общие теоретические сведения

Вода является самым распространенным веществом на Земле, обладающим целым рядом уникальных свойств. Молекула воды имеет резко выраженный дипольный характер, что является причиной высокой растворяющей способности воды и ее больших ионизирующих свойств. В природе нет чистой воды, это всегда сложная система, где вода является средой, а содержащиеся в ней вещества в измельченном виде (дисперсная фаза) образуют либо гетерогенную систему (суспензию, эмульсию, коллоидный раствор), либо истинный раствор.

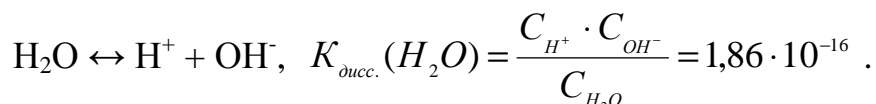
Многие вещества, растворяясь в воде под влиянием ее полярных молекул, распадаются на ионы. Этот процесс называется **электролитической диссоциацией**, а вещества, распадающиеся на ионы (кислоты, основания, соли), – **электролитами**. Вещества, полностью распадающиеся на ионы (необратимый процесс), называются **сильными электролитами** ( $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , щелочи, хорошо растворимые соли). Соединения, частично распадающиеся на ионы (обратимый процесс), называются **слабыми электролитами**. Силу электролита количественно можно оценить степенью

диссоциации ( $\alpha$ ) или константой диссоциации для слабых электролитов (обратимый процесс).

$$\alpha = \frac{n_{\text{расп.молекул}}}{N_{\text{раств.молекул}}}, \quad AB \leftrightarrow A^+ + B^-, \quad K_{\text{дисс.}} = \frac{[A^+] \cdot [B^-]}{[AB]}.$$

Чем меньше  $\alpha$  или  $K_{\text{дисс.}}$ , тем слабее электролит.

**Вода – очень слабый электролит:**



При 25 °С в любом водном растворе  $C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = 10^{-14} \rightarrow K_w$  (ионное произведение воды).

В нейтральной среде:  $C_{H^+} = C_{OH^-} = 10^{-7}$  (моль/л),

в кислой среде:  $C_{H^+} > C_{OH^-}$ ,

в щелочной среде:  $C_{H^+} < C_{OH^-}$ .

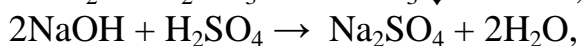
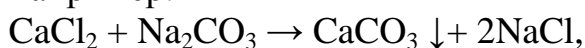
**Реакцию среды оценивают с помощью водородного показателя**

$$pH = -\lg C_{H^+}:$$

$pH < 7$  – среда кислая;  $pH > 7$  – среда щелочная,

$pH = 7$  – среда нейтральная.

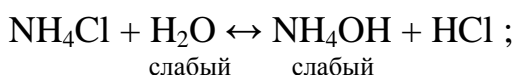
В воде вещества взаимодействуют или по **кислотно-основному** механизму (ионные реакции двойного обмена), или по **окислительно-восстановительному** механизму. Во многих реакциях вода принимает непосредственное участие. Если процесс идет по кислотно-основному механизму, то в результате должны образовываться слабые электролиты или газы. Например:



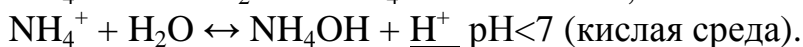
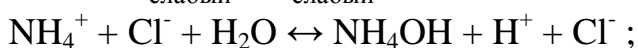
слаб. эл.



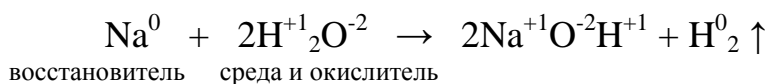
Если слабый электролит, осадок или газ находятся не только среди продуктов реакции, но и среди исходных веществ, то процесс может идти в двух взаимно противоположных направлениях (обратимые реакции), причем смещен он будет в сторону более слабого электролита. Например, **разложение солей водой (гидролиз):**



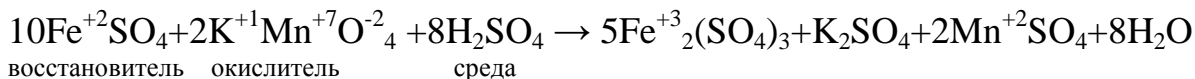
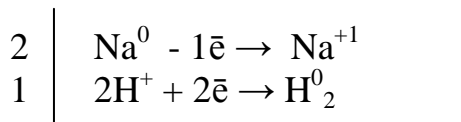
слабый                  слабый



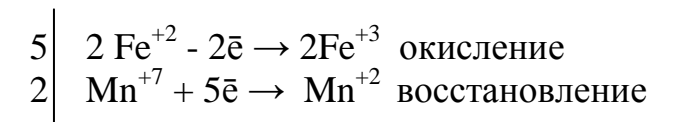
Если в процессе реакции атомы реагирующих веществ меняют свою степень окисления, то такие реакции называются окислительно-восстановительными. И в данном случае вода может быть не только средой, но и непосредственным участником процесса.



восстановитель    среда и окислитель



восстановитель    окислитель                    среда



нож  $2 \times 5 = 10$

Процесс отдачи электронов - **окисление**, присоединения электронов – **восстановление**. При окислении происходит увеличение степени окисления элемента и соединение, содержащее этот элемент, называется **восстановителем**. При восстановлении степень окисления элемента уменьшается и соединение, содержащее данный элемент, называется **окислителем**.

### 2.3. Рабочее задание

#### Ионные реакции двойного обмена, протекающие в водном растворе

Из предложенного набора реактивов (табл. 2.1) найдите пары, вступающие во взаимодействие, напишите ионно-молекулярные уравнения реакций в полном и сокращенном видах.

Таблица 2.1

Варианты	Набор реактивов
1	NaOH, CuSO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub>
2	HCl, AgNO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub>
3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , BaCl <sub>2</sub> , KOH
4	HNO <sub>3</sub> , CuSO <sub>4</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
5	NaOH, FeCl <sub>3</sub> , MgSO <sub>4</sub>

#### Реакция среды в водных растворах

Налейте в 5 пробирок по ~ 1 мл растворов кислоты, основания (щелочи), соли, водопроводной воды и дистиллированной воды. Добавьте в первые три пробирки по несколько капель фенолфталеина, а в две оставшиеся – полоски универсальной индикаторной бумаги. Отметьте окраску индикатора в каждом случае и запишите в табл. 2.2.

В пробирки, где не появилась малиновая окраска фенолфталеина, добавьте по капле индикатора метилоранжа. Водородный показатель в

пробирках 1, 2, 3 определите по стандартной шкале универсального индикатора. Заполните таблицу 2.2.

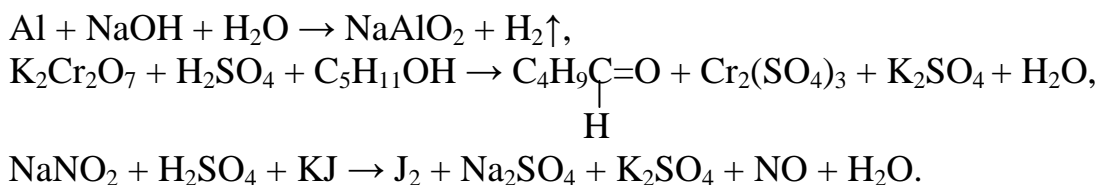
Таблица 2.2

Наименование реактива	Окраска фенолфталеина	Окраска метилоранжа	Окраска универсального индикатора	pH
Кислота			красная	
Основание			синяя	
Соль				
Водопроводная вода			болотная	
Дистиллированная вода			желтая	

Объясните с помощью уравнений реакций появление той или иной окраски индикатора и соответственно укажите pH раствора.

### Окислительно-восстановительные реакции

В три пробирки налейте по ~ 1 мл: в первую – концентрированного раствора щелочи, во вторую – раствора  $K_2Cr_2O_7$ , в третью – раствора  $NaNO_2$ . Затем внесите в первую пробирку кусочек алюминия, во вторую и третью – раствора серной кислоты и, кроме того, добавьте во вторую пробирку амиловый спирт  $C_5H_{11}OH$ , в третью пробирку – раствор  $KJ$ . Объясните наблюдаемое во всех опытах с помощью уравнений окислительно-восстановительных реакций.



Определите функцию каждого соединения, вступающего в реакцию, найдите методом электронного баланса коэффициенты окислителя, восстановителя и все остальные – по закону сохранения массы вещества.

### 2.4. Выводы

Перечислите важнейшие химические свойства воды.

Укажите роль воды в различных природных процессах и хозяйственной деятельности человека.

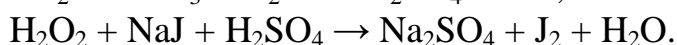
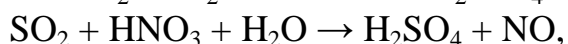
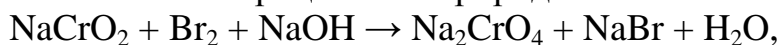
Назовите особенности химических связей и структуры воды, лежащие в основе ее подвижности и вездесущности.

## 2.5. Контрольные упражнения

Составьте уравнения электролитической диссоциации следующих веществ:  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{FeCl}_2$ . Для слабых электролитов напишите выражение констант диссоциации.

Напишите уравнения реакций гидролиза следующих солей:  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{KCN}$ , укажите реакцию среды в их растворах и роль воды в этих процессах.

Составьте уравнения окислительно-восстановительных процессов, рассчитав коэффициенты. Укажите процесс окисления и восстановления. Назовите окислитель и восстановитель. Какова роль окислительно-восстановительных процессов в природе?



Литература: [7 – гл. 8, §§ 8.4 – 8.6; гл. 9, § 9.1; гл. 12, § 12. 3].

## Работа 3. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ ЦЕПИ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА

### 3.1. Цель работы

- Усвоить представление о месте органических веществ в эволюционной картине мира.
- Познакомиться с некоторыми свойствами органических соединений, их химической активностью и факторами, определяющими ее.
- Познакомиться с принципами самоорганизации в органическом мире.

### 3.2. Общие теоретические сведения

**Органическая химия** изучает соединения углерода - углеводороды и их производные.

Выделение органической химии в самостоятельную научную дисциплину обусловлено большим числом и многообразием соединений углерода, специфическими свойствами органических соединений, исключительно важной ролью их в жизни и хозяйственной деятельности человека, а также ещё и тем, что они представляют собой более высокоорганизованную материю, чем неорганические вещества. Органическая химия тесно связана с биологией, так как предметом её изучения являются вещества – носители жизни.

Вещества растительного и животного происхождения, то есть органические вещества, всегда поражали исследователей своим качественным многообразием (сотни тысяч соединений с разнообразными свойствами), хотя состав их крайне однообразен (элементы-органогены – С, Н, О, N, S, Р). Отсюда следует, что **свойства веществ обуславливаются** не только **составом**, но и **строением** их молекул.

Свойства веществ проявляются через их реакционную способность. В понятие “**реакционная способность**” включаются представления о химической активности отдельных фрагментов молекулы – атомов, атомных групп и даже отдельных химических связей.

Развитие этих представлений связано с развитием органической химии, когда химия из науки аналитической превратилась в науку синтетическую (вторая половина XIX столетия). *Этот период развития химических знаний – период структурной химии связан с появлением **теории химического строения А.М. Бутлерова.***

**Изучите** электронное строение, положение в периодической системе, особенности химической активности углерода, позволившие занять этому элементу основополагающие позиции в органическом мире.

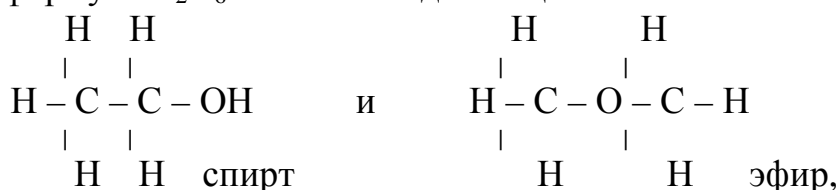
**Усвойте** основные положения теории химического строения А.М. Бутлерова и дальнейшие этапы развития химической науки (учение о химических процессах, катализ, эволюционная химия).

Сущность теории А.М. Бутлерова можно кратко выразить в виде следующих положений:

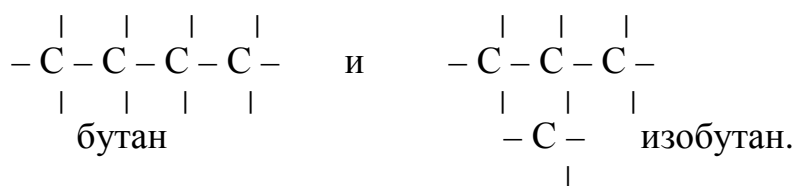
**1.** Все химические соединения имеют определенный порядок связи атомов в молекуле, т.е. строение. Атомы соединены друг с другом химическими связями в соответствии с их валентностью. Углерод в органических соединениях практически всегда четырехвалентен.

**2.** Свойства вещества определяются качественным, количественным составом и строением. Это положение теории доказывает явление изомерии. **Изомеры** – вещества, имеющие одинаковый состав, но разное строение, а потому и разные свойства.

Например, формуле  $C_2H_6O$  отвечают два вещества:



или  $C_4H_{10}$ :



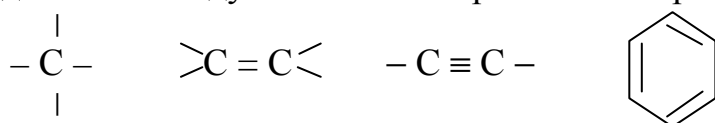
Изомерия, способность углерода образовывать одинарные ( $\sigma$ ), двойные, тройные ( $\pi$ ) связи, циклы и практически бесконечно длинные цепи как прямой, так и разветвленной структуры, обуславливает бесконечное многообразие органических соединений.

**3.** Изучая физические и химические свойства вещества, можно познать его строение и наоборот, зная строение вещества, можно многое сказать о его свойствах.

4. Химические свойства атомов и атомных группировок не являются постоянными, а зависят от других атомов молекулы. При этом наиболее сильное влияние атомов наблюдается в том случае, если они связаны непосредственно.

Теория химического строения А.М. Бутлерова позволила не только систематизировать накопленный многими исследователями материал, но и понять тесную связь между строением и свойствами вещества, целенаправленно проводить синтез новых веществ и предвидеть результаты многих проводимых исследований.

С этого времени в практику химиков – органиков прочно входит порядок написания органических соединений с помощью структурных формул, где связи между атомами изображаются черточками:



Органические соединения являются химически активными, очень чувствительными к внешним воздействиям и участвуют в различных типах превращений: это реакции замещения, присоединения, полимеризации, окисления, расщепления, изомеризации и др.

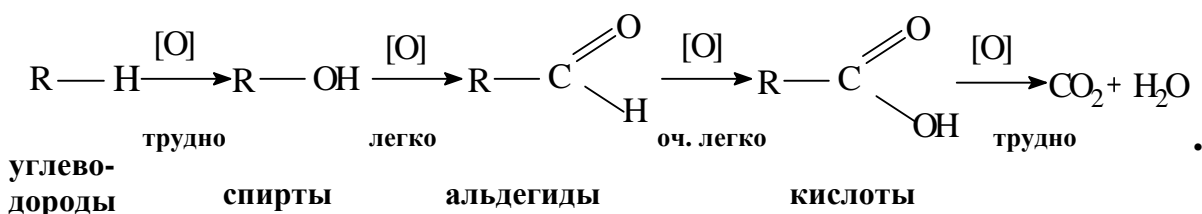
**Напишите** уравнения реакций взаимодействия метана с хлором, пропилена с хлористым водородом, полимеризации этилена.

### 3.3. Рабочее задание

#### Окисление органических соединений

Самым распространенным элементом в биосфере Земли является кислород, который обладает высокой реакционной способностью, проявляющейся, прежде всего, в том, что он притягивает к себе электронную плотность, то есть проявляет окислительные свойств. Нет ни одного элемента, который бы ни соединялся с кислородом (кроме инертных газов).

**Реакция окисления** особенно важна в ряду органических соединений. Это и образование сложных соединений – кислородосодержащих производных углеводородов, и минерализация органических веществ. Схематично это можно представить так:



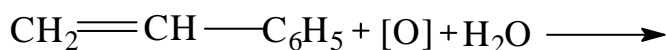
Эта реакция дает возможность отличить органическое вещество от неорганического (горение), она же лежит в основе круговорота веществ в природе, получения тепла при сгорании ископаемого топлива (нефти, угля, газа), получения энергии живым организмом в процессе дыхания.

Поставьте в штатив 6 пробирок и налейте по ~ 1 мл: в первую - октана, во вторую – стирола, в третью – толуола, в четвертую – изоамилового спирта, в пятую – формальдегида, в шестую – уксусной кислоты. Добавьте к октану, стирулу, толуолу и уксусной кислоте раствор  $\text{KMnO}_4$ , к изоамиловому спирту раствора  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , к формальдегиду раствор  $\text{Ag}_2\text{O}$  в  $\text{NH}_4\text{OH}$ . В пробирки с толуолом и спиртом прибавьте по несколько капель концентрированной серной кислоты для усиления окислительных свойств  $\text{KMnO}_4$  и  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

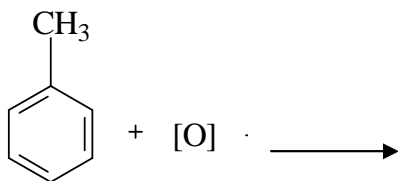
Отметьте наблюдаемые явления в каждой пробирке, запишите уравнения реакций и сделайте выводы об отношении различных соединений к окислителям, их устойчивости и распространении в природе.



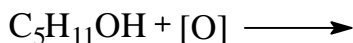
октан – насыщенный углеводород



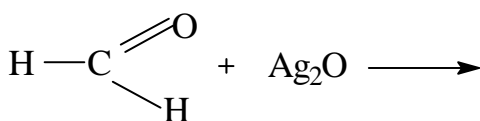
стирол - ненасыщенный углеводород



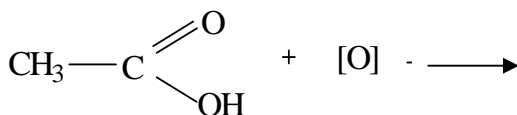
толуол - ароматический углеводород



амиловый спирт



альдегид муравьиный



кислота уксусная

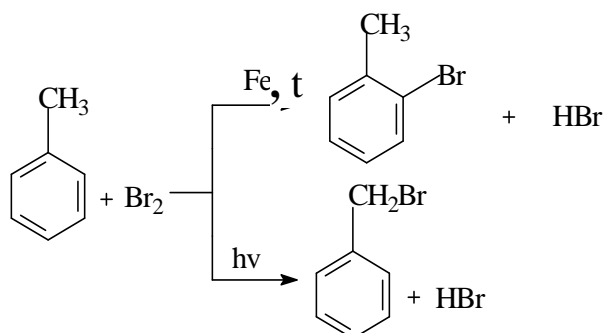
### Зависимость реакционной способности органических соединений от их строения и от условий реакции

Органические вещества проявляют себя по-разному в зависимости от строения, от условий осуществления реакции, действующего реагента. Это можно наблюдать на следующих примерах.

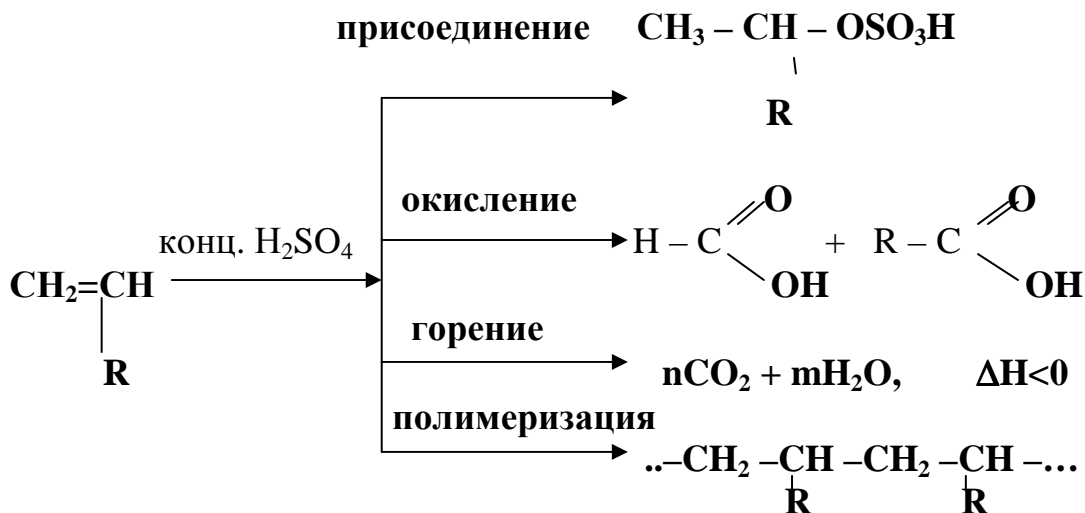


Насыпьте на кончике шпателя в две пробирки фумаровой кислоты и добавьте в одну из них раствор  $\text{KMnO}_4$  (окислитель), в другую налейте раствор щелочи. Отметьте наблюдаемые изменения в пробирках и выразите их соответствующими реакциями.

Налейте в две пробирки ~ по 1 мл толуола и добавьте ~ по 0,5 мл раствора  $\text{Br}_2$ . В одну из пробирок добавьте на кончике шпателя железных стружек (катализатор). Так как бром очень летуч и токсичен, опыт проводите в вытяжном шкафу и реакционные пробирки закройте пробками. Содержимое пробирок интенсивно встряхните, пробирку без железных опилок вынесите на солнечный свет или подогрейте. Что наблюдаете? По окончании реакции по запаху содержимого пробирок убедитесь, что в них образовались разные вещества.

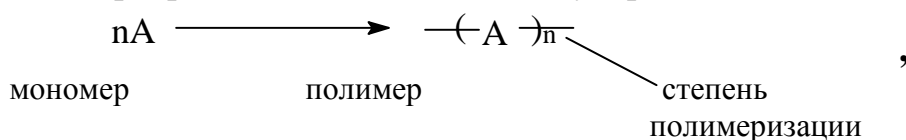


Органическое соединение в одинаковых условиях может проявлять себя по-разному в одном и том же месте пространства, в один и тот же момент времени.



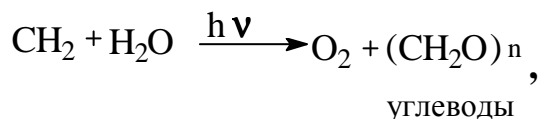
### Образование высокомолекулярных соединений из низкомолекулярных

Органическое вещество может видоизменяться, самоусложняться под действием различных реагентов и условий ( $t$ ,  $h\nu$ , катализатор). Низкомолекулярные вещества превращаются в высокомолекулярные:

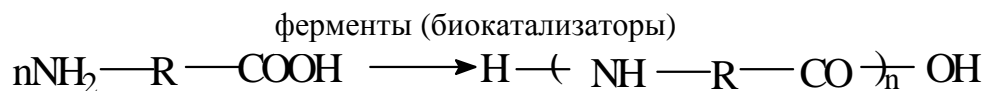


что послужило основой развития промышленности полимеров (резины, синтетических волокон, пластмасс и др.).

В природе это процесс фотосинтеза:



образование белков из аминокислот:



### 3.4. Выводы

Назовите факторы, определяющие химическую активность органических соединений.

Дайте определение самоорганизации вещественных систем и покажите на примере органических соединений реализацию этого фундаментального принципа Природы.

Сформулируйте основы синергетики как важнейшей теории самоорганизации вещества.

Литература: [1 – гл. 11]; [4 – тема 17, 18, 20]; [5 – гл. 5, §§ 5.2 – 5.4]; [7 – гл. 13, §§ 13.1 – 13.3; гл. 14, §§ 14.1 – 14.3].

## Работа 4. ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

### 4.1. Цель работы

- Усвоить основные понятия и законы термодинамики.
- Освоить экспериментальный метод определения тепловых эффектов химических реакций.
- Научиться определять самопроизвольную направленность химических процессов в изолированных и открытых системах.

### 4.2. Общие теоретические сведения

В термодинамических системах живой и неживой природы протекают сложные **процессы**. Эти процессы изучают химия, физика и биология.

Перед **химической наукой** стоит принципиальная задача – научиться управлять химическими процессами. Некоторые процессы не удастся осуществить, другие трудно остановить – реакции горения, взрывы, а часть из них трудноуправляема, поскольку они имеют несколько путей развития. Для **управления химическими процессами разработаны термодинамические и кинетические методы**.

Законы, устанавливающие зависимость направления химической реакции от изменения температуры, теплового эффекта реакции изучает, **химическая термодинамика**.

**Изучите основные понятия термодинамики:** система (открытая, закрытая, изолированная), параметры системы (давление, температура, объем), функции системы (внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, свободная энергия Гиббса), тепловой эффект процессов, экзотермические и эндотермические реакции.

**Изучите основные законы термодинамики и термохимии:** первое начало, второе начало термодинамики, закон Гесса.

Из закона Гесса следует, что тепловой эффект реакции можно рассчитать как разность между суммами энтальпий образования продуктов реакции и исходных веществ:

$$\Delta H^{\circ}_{реакц.} = \sum (n \Delta H^{\circ}_{обр.})_{прод.} - \sum (n \Delta H^{\circ}_{обр.})_{исх.}, \quad (4.1)$$

где  $n$  – стехиометрические коэффициенты.

Энтальпии образования ( $\Delta H^{\circ}_{обр.}$ ) различных соединений в стандартных условиях ( $T = 298\text{K}$ ,  $p = 101325\text{ Па}$ ) приводятся в справочной литературе.

Условием протекания процесса в изолированной системе может служить степень ее неупорядоченности. *В изолированной системе самопроизвольные процессы протекают в сторону увеличения энтропии.*

Изменение энтропии процесса  $\Delta S$  можно рассчитать по разности между суммами энтропий продуктов реакции и исходных веществ:

$$\Delta S_{реакц.} = \sum (n S)_{прод.} - \sum (n S)_{исх.} \quad (4.2)$$

Однако большинство процессов протекает в открытых системах. Судить о возможности самопроизвольного протекания процесса в таких системах можно по знаку изменения функции свободной энергии Гиббса, которая учитывает совместное влияние энтальпийного и энтропийного факторов: если  $\Delta G < 0$ , то процесс термодинамически возможен; если  $\Delta G > 0$ , то протекание процесса невозможно.

Применительно к химическим процессам, совершающимся при  $p = \text{const}$  и  $T = \text{const}$ , свободную энергию Гиббса можно рассчитать по уравнению

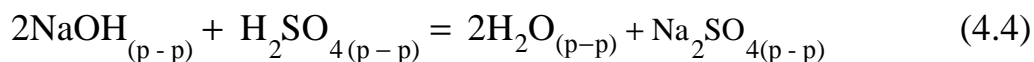
$$\Delta G_{реакц.} = \Delta H_{реакц.} - T \Delta S_{реакц.} \quad (4.3)$$

Таким образом, **все процессы могут самопроизвольно протекать в сторону уменьшения свободной энергии**. Это утверждение справедливо для любых термодинамических систем.

### 4.3. Рабочее задание

#### Определение теплоты нейтрализации сильной кислоты сильным основанием

Для измерения теплового эффекта реакции нейтрализации сильной кислоты сильным основанием в разбавленном растворе



используют калориметрическую установку: в наружном сосуде находится калориметрический стакан, закрытый крышкой, в который вставлены термометр и мешалка.

Перед тем как приступить к работе, получите у преподавателя вариант задания (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Вариант задания	1	2	3	4	5
Объем NaOH, мл	80	100	120	140	150

Отмерьте мерным цилиндром заданный объем раствора щелочи с молярной концентрацией 1 моль/л, вылейте его в калориметрический стакан. Отметьте температуру  $T_1$ . Затем добавьте такой же объем серной кислоты с молярной концентрацией 0,5 моль/л, закройте стакан крышкой и, энергично перемешивая, отметьте максимальное значение температуры –  $T_2$ .

По полученным данным рассчитайте:

- разницу температур ( $T_2 - T_1$ );
- суммарную массу ( $m_2$ ) находящегося в калориметрическом стакане раствора, приняв его плотность равной 1 г/см<sup>3</sup>;
- количество теплоты ( $q$ ), выделившейся при взаимодействии взятых объемов NaOH и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$q = - [(c_1 m_1 + c_2 m_2) \cdot (T_2 - T_1)] \text{ Дж}, \quad (4.5)$$

где  $c_1$  – удельная теплоемкость стекла ( $c_1 = 0,75$  Дж/г·К);  
 $c_2$  – удельная теплоемкость раствора ( $c_2 = 4,18$  Дж/г·К);  
 $m_1$  – масса калориметрического стакана (указана на стакане).

Рассчитайте число моль нейтрализованной щелочи или число моль полученной воды –  $n_{\text{H}_2\text{O}}$ :

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = C_{\text{щел.}} \cdot V_{\text{щел.}}$$

где  $C_{\text{щел.}}$  – молярная концентрация раствора щелочи, показывающая число ее моль в 1 л раствора (моль/л);  
 $V_{\text{щел.}}$  – объем щелочи, взятый для опыта (л).

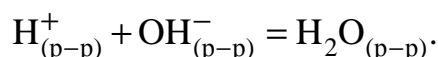
Теплоту нейтрализации 1 моль сильной кислоты сильным основанием в условиях эксперимента рассчитайте по формуле

$$\Delta H_{\text{нейтр.}} = \frac{q}{n_{\text{H}_2\text{O}}}, \text{ кДж/моль.}$$

Экспериментально полученную теплоту нейтрализации сравните со стандартным значением  $\Delta H_{298}^0$ . Запишите термохимическое уравнение реакции нейтрализации.

### Расчет энергии Гиббса реакции нейтрализации

Согласно теории электролитической диссоциации уравнение процесса (4.4) можно записать в сокращенной ионной форме:



Рассчитайте изменение свободной энергии Гиббса реакции нейтрализации по формуле (4.3), используя стандартные значения энтропий и энтальпий компонентов системы (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Термодинамическая функция	$\text{H}^+$ (ж)	$\text{OH}^-$ (ж)	$\text{H}_2\text{O}$ (ж)
$\Delta H_{298}^0, \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}$	0	- 230,0	- 286,0
$S_{298}^0, \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{K}}$	- 14,2	- 10,5	70,0

На основании проведенного эксперимента и теоретического расчета сделайте вывод о возможности самопроизвольного протекания реакции нейтрализации в стандартных изобарно-изотермических условиях.

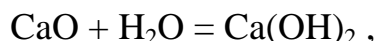
### 4.4. Выводы

Сформулируйте основные законы термодинамики.

Назовите критерии самопроизвольного протекания процессов в изолированных и открытых системах.

### 4.5. Контрольные упражнения

Определите тепловой эффект реакции гашения извести водой:



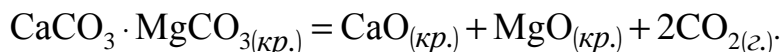
если известны стандартные теплоты образования:

$$\Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{CaO}) = -635,1 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \quad \Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{Ca(OH)}_2) = -988,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$

$$\Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{H}_2\text{O}) = -285,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Какая это реакция: экзо- или эндотермическая? Напишите термохимическое уравнение реакции.

Декарбонизация доломита идет по схеме:



Тепловой эффект этого процесса  $\Delta H_{\text{реакц.}} = 302 \text{ кДж}$ . Определите теплоту образования доломита, если:

$$\Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{CaO})_{(\text{кр.})} = -635,1 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}; \quad \Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{MgO})_{(\text{кр.})} = -601,0 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}};$$
$$\Delta H_{\text{обр.}}^0(\text{CO}_2)_{(\text{г.})} = -393,5 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}}.$$

Литература: [4 – тема 18]; [7 – раздел 2, глава 5, §§ 5.1 – 5.5].

## Работа 5. КИНЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

### 5.1. Цель работы

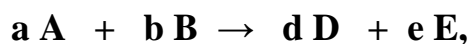
- Усвоить основные понятия и законы химической кинетики.
- Установить влияние концентрации реагирующих веществ, температуры и катализатора на скорость и равновесие химических реакций.

### 5.2. Общие теоретические сведения

**Химическая кинетика** рассматривает вопросы управления скоростью химических процессов и изучает зависимость протекания химических процессов от различных структурно-кинетических факторов: *строения исходных реагентов, их концентрации, температуры, давления, наличия в реакторе катализаторов и других добавок, способов смешивания реагентов и т.п.*, а также механизмы протекания химических реакций.

Под **скоростью химических реакций** понимают число элементарных актов химических взаимодействий в единицу времени. Скорость реакций измеряется изменением количества вещества в единицу времени.

Химическую реакцию, протекающую в гомогенной системе, можно представить в общем виде:



где А и В – исходные вещества, D и E – продукты реакции, a, b, d, e – стехиометрические коэффициенты.

В соответствии с **законом действующих масс** при постоянной температуре *скорость химических реакций прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях равных их стехиометрическим коэффициентам*. Математически закон действующих масс выражается через **кинетическое уравнение реакции**:

$$v = k C_A^a C_B^b, \quad (5.1)$$

где **k** – константа скорости реакции, зависит от природы реагирующих веществ и температуры;  $C_A^a$ ,  $C_B^b$  – концентрации реагирующих веществ.

Если процесс протекает в гетерогенной системе, то в кинетическое уравнение входят концентрации веществ, находящихся только в жидкой или газовой фазах. Для протекания химической реакции необходимо столкновение реагирующих частиц, однако этого недостаточно, также нужно чтобы частицы обладали необходимым запасом энергии, достаточным для взаимодействия.

С повышением температуры возрастает число активных (реакционно-способных) частиц и скорость реакции увеличивается. По **правилу Вант-Гоффа** при изменении температуры на  $10^\circ$  скорость химической реакции изменяется в 2–4 раза (поскольку имеет экспоненциальную зависимость от ее вида):

$$\frac{v_{T_2}}{v_{T_1}} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}, \quad (5.2)$$

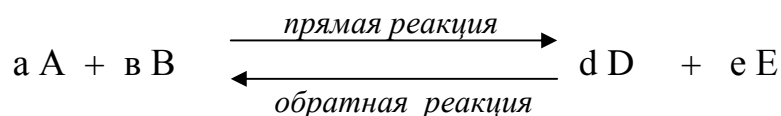
где  $v_{T_1}$  и  $v_{T_2}$  – скорость реакции при температурах  $T_1$  и  $T_2$ ;

$\gamma$  – температурный коэффициент скорости реакции.

Многие встречающиеся в природе и осуществляемые в технологии химические реакции протекают под воздействием **катализаторов**, т.е. веществ, которые ускоряют химические реакции, но не испытывают химического превращения в их результате. **Явление изменение скорости реакции под воздействием катализаторов называется катализом.**

Катализ играл решающую роль в процессе перехода от химических систем к биологическим. Роль этих процессов усиливалась по мере усложнения состава и структуры химических систем. Таким образом, ученые напрямую связывают химическую эволюцию с самоорганизацией и саморазвитием каталитических систем.

Большинство природных и техногенных процессов являются обратимыми, т.е. могут протекать как в прямом, так и в обратном направлении:



**Химическое равновесие** – это такое состояние системы, когда скорость прямой реакции равна скорости обратной реакции, при этом процесс не прекращается, т.е. химическое равновесие носит *динамический характер*.

Химическое равновесие изменяется в соответствии с **принципом Ле Шателье**: *система, находящаяся в устойчивом состоянии равновесия, при воздействии внешних факторов стремится уменьшить произведенное воздействие.*

### 5.3. Рабочее задание

#### Влияние концентрации реагирующих веществ на скорость химической реакции

Зависимость скорости реакции от концентрации изучите на примере взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой:



Признаком протекания реакции является помутнение раствора вследствие выделения серы.

Запишите в рабочую тетрадь уравнение реакции и начертите табл. 5.1 для записи экспериментальных данных.

В три пробирки из бюретки налейте соответственно 1, 2, 3 мл раствора тиосульфата натрия, затем в первую пробирку добавьте 2 мл дистиллированной воды, во вторую – 1 мл, в третью воды не добавляйте.

Заметив время, в первую пробирку прилейте 1 мл раствора серной кислоты и быстро перемешайте. Отметьте время начала помутнения раствора.

Таблица 5.1

Номер пробирки	Объем раствора, мл			Время помутнения, $\tau$ , с	Относительная скорость реакции, $\nu = 1/\tau$ , $\text{с}^{-1}$
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{SO}_4$		
1	1	2	1		
2	2	1	1		
3	3	-	1		

Проделайте то же самое с двумя оставшимися пробирками. Результаты опыта внесите в табл. 5.1.

Рассчитайте относительную скорость реакции и представьте результаты эксперимента в виде графика зависимости скорости реакции от концентрации.

Сделайте вывод о влиянии концентрации реагирующих веществ на скорость химической реакции и выразите для данного случая закон действующих масс.

#### Влияние температуры на скорость химической реакции

Зависимость скорости реакции от температуры изучите также на примере взаимодействия тиосульфата натрия с серной кислотой.



Для сравнения возьмите результат, полученный в первой пробирке предыдущего опыта при комнатной температуре, и результат опыта, проведенного при температуре на 10° С больше.

В стакане приготовьте воду с температурой на 10 °С выше, чем комнатная, и опустите туда две пробирки: в одной – 1 мл Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и 2 мл воды, в другой – 1 мл H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Через 5–7 минут вылейте кислоту в раствор тиосульфата, отметьте время помутнения раствора и рассчитайте относительную скорость реакции. В табл. 5.2 внесите данные из предыдущего опыта и полученные результаты.

Таблица 5.2

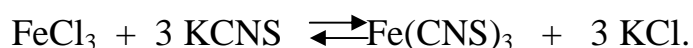
Температура опыта, °С	Время помутнения, с	Относительная скорость реакции, $v=1/\tau, \text{с}^{-1}$	Температурный коэффициент скорости реакции, $\gamma$	
			теоретический	экспериментальный
T <sub>1</sub> =	$\tau_1$ =	$v_{T_1}$ =	1,8	
T <sub>2</sub> =	$\tau_2$ =	$v_{T_2}$ =		

### Влияние катализатора на скорость химической реакции

В две пробирки налейте по ~ 2-3 мл раствора сульфата меди и в каждую из них поместите по кусочку алюминия. В одну из пробирок добавьте на кончике шпателя кристаллический хлорид натрия. В какой пробирке процесс окисления алюминия протекает быстрее? Как влияет присутствие хлорид-иона на скорость этого процесса? Это положительный или отрицательный катализ?

### Влияние изменения концентрации реагирующих веществ на смещение химического равновесия

Реакция между хлоридом железа (III) и роданидом калия идет с образованием окрашенного в интенсивно красный цвет роданида железа (III) и является обратимой:



При увеличении скорости *прямой реакции* увеличивается количество образовавшихся *продуктов реакции* (Fe(CNS)<sub>3</sub> и KCl) и окраска раствора становится более интенсивной. Наоборот, при увеличении скорости *обратной реакции* окраска раствора становится менее интенсивной, т.к. увеличивается концентрация *исходных веществ*.

В пробирку, на три четверти заполненную дистиллированной водой, внесите по 3–4 капли растворов хлорида железа и роданида калия. Содержимое перемешайте и разделите на четыре пробирки. Добавьте в первую

пробирку 2–3 капли раствора  $\text{FeCl}_3$ , во вторую столько же раствора  $\text{KCNS}$ , в третью – на кончике шпателя  $\text{KCl}$ , четвертая пробирка остается для сравнения. Данные наблюдений внесите в табл. 5.3.

Как смещается химическое равновесие в системе при увеличении концентрации: а) исходных веществ, б) продуктов реакции? Соответствует ли это принципу Ле Шателье?

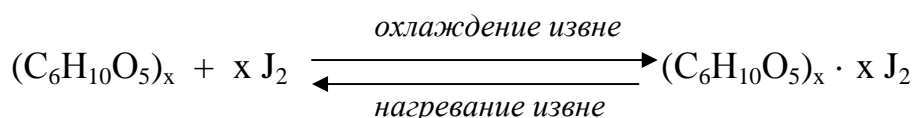
Таблица 5.3

Добавленное вещество	Изменение интенсивности окраски (усиление или ослабление)	Направление смещения равновесия
$\text{FeCl}_3$		
$\text{KCNS}$		
$\text{KCl}$		

### Влияние температуры на смещение химического равновесия

Все химические реакции сопровождаются образованием новых веществ, т.е. изменением природы участников реакции, а также либо *выделением тепла* ( $\Delta H_{\text{реакц.}} < 0$  – реакция экзотермическая), либо *поглощением тепла* ( $\Delta H_{\text{реакц.}} > 0$  – реакция эндотермическая). Если прямая реакция идет с выделением тепла, то обратная – с поглощением.

В пробирку налейте 2–3 мл раствора крахмала и добавьте несколько капель раствора йода. Наблюдайте образование соединения синего цвета. При нагревании пробирки окраска раствора исчезает, а при охлаждении – появляется. Таким образом, наблюдается смещение равновесия



Используя принцип Ле-Шателье, определите, с выделением или поглощением тепла идет прямая реакция.

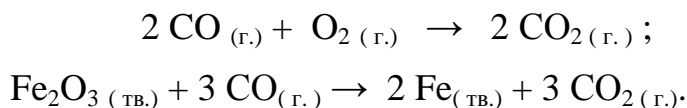
### 5.4. Выводы

Назовите факторы, влияющие на скорость химической реакции.

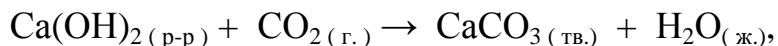
Сформулируйте, как смещается химическое равновесие при изменении концентрации реагирующих веществ и температуры, используя принцип Ле-Шателье.

### 5.5. Контрольные упражнения

Запишите кинетические уравнения следующих реакций:



Как изменится скорость реакции, протекающей по уравнению



если : а) концентрацию  $\text{Ca(OH)}_2$  увеличить в три раза;

б) давление увеличить в два раза? Ответ подтвердите расчетами.

Как изменится скорость реакции при увеличении температуры на  $30^\circ\text{C}$  и снижении на  $20^\circ\text{C}$ , если температурный коэффициент реакции равен 2?

Литература: [4 – тема 18]; [5 – гл. 5, § 5.5]; [7 – раздел 2, гл. 7, §§ 7.1 – 7.5].

## **Работа 6. ДИССИПАТИВНЫЕ СИЛИКАТНЫЕ СИСТЕМЫ КАК ПРИМЕР ПРОЦЕССА САМООРГАНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВ**

### **6.1. Цель работы**

- Изучить колебательную реакцию Белоусова – Жаботинского (химические часы) как пример самоорганизующейся неравновесной системы.
- Познакомиться с составом, строением и образованием неорганических вяжущих веществ.
- Изучить процессы структурообразования воздушных и гидравлических вяжущих.
- Понять суть самоорганизации неравновесных систем неживой природы на примере неорганических вяжущих веществ.

### **6.2. Общие теоретические сведения**

Научному мировоззрению начиная с XIX века была присуща идея **развития**. Базой этой идеи были представления **термодинамики и самоорганизации**. Самоорганизацией называют природные скачкообразные процессы, переводящие открытую неравновесную систему, достигшую в своем развитии критического состояния, в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с исходным. **Критическое состояние** – это состояние крайней неустойчивости, т.е. максимальной удаленности от равновесия, достигаемое системой в ходе предшествующего периода плавного эволюционного развития.

Тенденция к самоорганизации присуща в равной мере как живой, так и неживой природе, нужны лишь подходящие условия для ее проявления. **Все разномасштабные самоорганизующиеся системы имеют общие характеристики**, они обязаны удовлетворять следующим требованиям: 1) **открытость** – обязательный обмен энергией и веществом с окружающей средой; 2) **существенная неравновесность**, которая достигается при определенных состояниях системы и значениях параметров, переводящих ее в критическое состояние (неустойчивое состояние – точка бифуркации); 3) **выход из критического состояния скачком**, переводящим систему в качественно новое, более упорядоченное и устойчивое состояние; 4) **диссипативность** приводящая к расходованию энергии в системе.

Такие системы были названы **диссипативными**. Этими системами можно управлять, изменяя действующие на них внешние и внутренние факторы.

Природу вещества можно представить как цепочку нарастающих по сложности элементов, например:

**протоны + электроны → атомы → молекулы → конденсационные структуры (кристаллы, полимеры) → ...**

Типичными самоорганизующимися диссипативными системами являются вяжущие вещества, которые постоянно видоизменяются, развиваются, переходя из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией (поликонденсируются, перекристаллизовываются, разлагаются, корродируют, образуют новые, разноупорядоченные и взаимодействующие между собой фазы). *Неорганические вяжущие – мелкодисперсные (порошкообразные) вещества, которые при контакте с водой (затворении) образуют пластичную массу, переходящую со временем в камневидное тело (твердение)*. Они служат основой важнейших строительных материалов и композиций.

**Повторите разделы:** «Основные классы неорганических соединений», «Растворы», «Закономерности химических процессов» (кинетика, равновесие, термодинамика).

### 6.3. Рабочее задание

#### Изучение колебательных реакций (реакция Белоусова – Жаботинского)

Реакция Белоусова – Жаботинского представляет собой каталитическое окисление малоновой кислоты  $\text{CH}_2(\text{COOH})_2$ . Реакция протекает в водном растворе и легко осуществляется в колбе при простом смешивании реагентов (рис. 6.1).

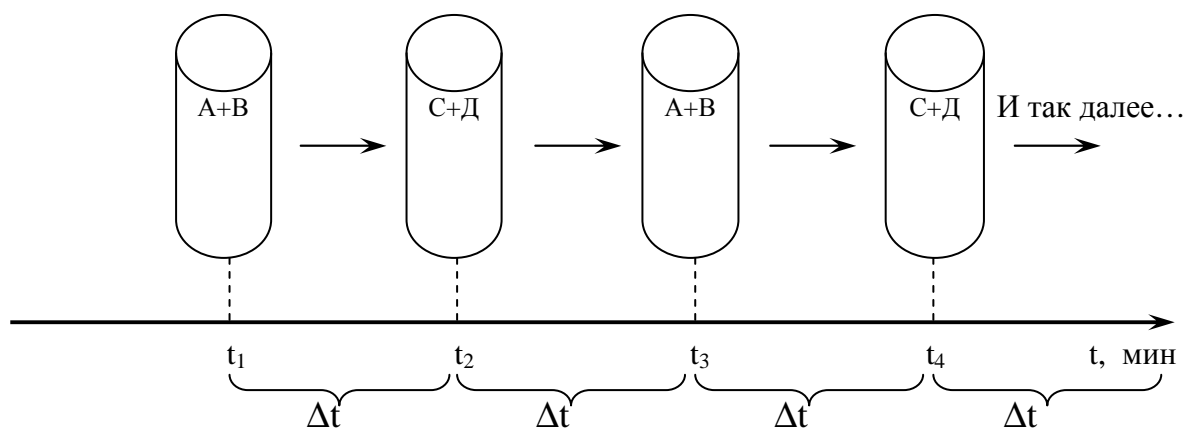
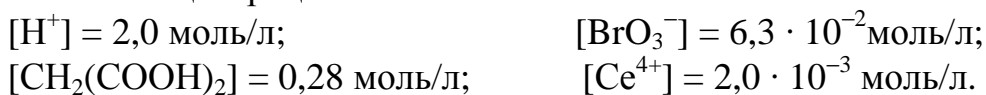


Рис. 6.1. Схема **реакции Белоусова – Жаботинского**: через равные промежутки времени ( $\Delta t$ ) происходят спонтанные превращения смеси  $A+B$  в другую реакционную смесь,  $C+D$ , которая через тот же интервал времени  $\Delta t$  опять превращается в реакционную смесь  $A+B$  и т.д.

В коническую колбу внесите по 2-3 мл указанных реагентов, взятых в указанных концентрациях:



Наблюдайте после начального индукционного периода колебательное поведение. Оно может быть обнаружено по изменению концентрации иона  $Ce^{4+}$ , что вызывает изменение окраски раствора от бесцветного до желтого. *Сегодня известно много разновидностей этой реакции с более яркими изменениями цветов.*

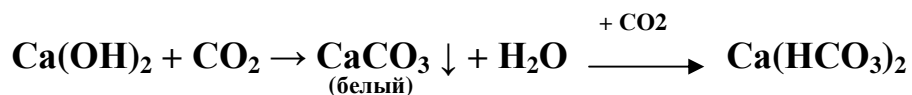
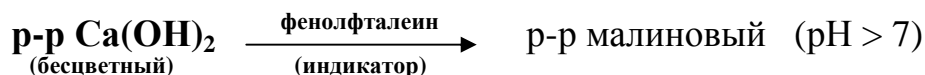
Нарисуйте схему реакции в тетради, определите временные промежутки ( $t_1, t_2, t_3, t_4, \Delta t$ ) и окраску пробирок.

### Воздушные вяжущие вещества

#### *Воздушная известь*

Положите в сухую фарфоровую чашку 2-3 куса воздушной извести ( $CaO$ ), смочите их сначала несколькими каплями воды, затем добавьте 1-2 мл воды и разомните кусочки стеклянной палочкой до тестообразного состояния. Добавьте еще воды и отфильтруйте известковый раствор в две чистые пробирки. В одну пробирку добавьте несколько капель фенолфталеина, в другую пропустите углекислый газ.

Отметьте все наблюдения, запишите уравнения реакций происходящих процессов.

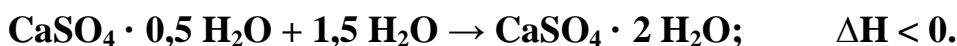


Как называются эти процессы и какова их роль в химии вяжущих веществ?

#### *Строительный гипс*

Налейте в чашку ~ 1 мл воды и всыпьте в нее ~ 2 г строительного гипса ( $CaSO_4 \cdot 0,5H_2O$ ), тщательно размешайте и переложите в формочку, предварительно смазанную вазелином. Через ~ 30 минут аккуратно выньте загустевшую массу из формы.

Запишите уравнение реакции гидратации гипса:



Отметьте, в чем суть твердения воздушной извести и гипса и почему эти материалы относятся к воздушным вяжущим веществам.



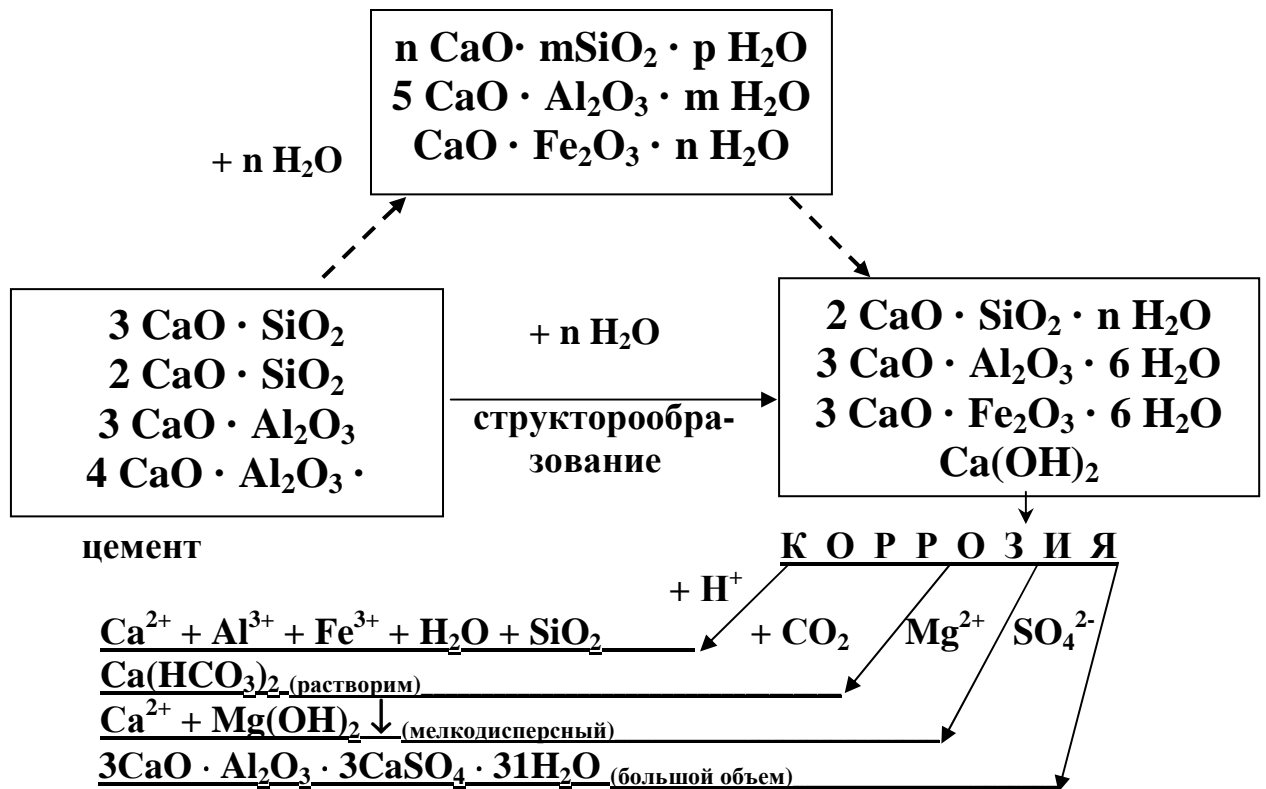


Рис. 6.2. Схема структурообразования и разрушения цементного камня

Литература: [1 – гл. 11]; [4 – тема 16, 17]; [8 – гл. 15, §§ 180 – 184].

## Работа 7. СТРУКТУРНЫЕ УРОВНИ БИОСФЕРЫ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МЕЖДУ НИМИ

### 7.1. Цель работы

- Понять основные отличия живых организмов от неживых тел.
- Познакомиться с морфологией некоторых объектов микромира, условиями их существования и развития.
- Усвоить основные этапы в истории развития биосферы и понять механизмы взаимодействия между ее компонентами.

### 7.2. Общие теоретические сведения

Процессы, протекающие в живой клетке, представляют собой совокупность большого числа сравнительно простых и однообразных химических реакций, которые сочетаются между собой во времени, протекают в строгой последовательности в определенных условиях окружающей среды. Между химией и биологией существует очень тесная связь, но при этом нельзя свести явления жизни к химическим процессам, несмотря на то, что последние лежат в основе биологических процессов.

Жизнь есть форма существования сложных, открытых систем, способных к самоорганизации и самовоспроизведению.

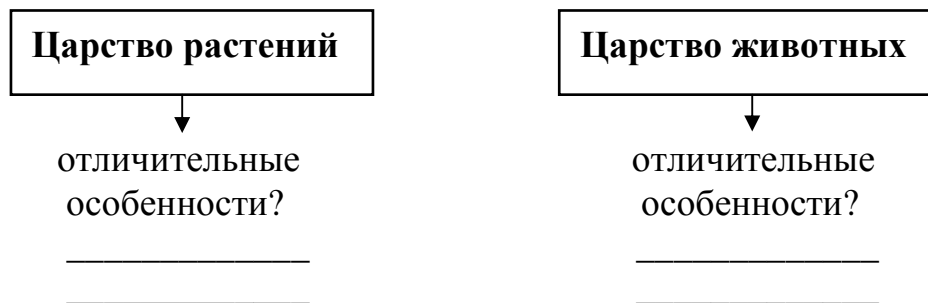
### Основные свойства живого организма:

- характеризуется сложной упорядоченной структурой;
- получает энергию из окружающей среды;
- активно реагирует на окружающую среду;
- живые организмы не только изменяются, но и усложняются;
- все живое размножается;
- передают потомкам заложенную в них информацию;
- хорошо приспосабливаются к среде обитания и соответствуют своему образу жизни.

Обобщая и упрощая, можно отметить, что **все живые организмы питаются, дышат, растут, размножаются и распространяются в природе.**

### 7.3. Рабочее задание

#### Описание структурных уровней живого мира



**Мир живого простирается** от доклеточных организмов до высокоорганизованных представителей растений и животных. Вершиной живого является человек разумный.

Но как бы сложно ни был устроен организм, его «кирпичиком» - элементарным звеном, является **клетка**. Важнейшим свойством всего живого является взаимодействие с внешним миром – обмен с ним веществом и энергией. Это свойство клетки называется **метаболизмом**.





Метаболизм – сложный процесс, включающий:

- 1) доставку в клетку питательных веществ, их внутриклеточное усложнение (**конструктивный обмен, ассимиляция**);
- 2) получение энергии при превращении веществ, содержащихся в клетке, в результате гидролитических и окислительных процессов и вывод из клетки в окружающую среду отработанных продуктов (**энергетический обмен, диссимиляция**).

Оба процесса идут одновременно и сочетаются между собой, не прекращаясь ни на мгновение.

### **Микроскопическое наблюдение за организмами активного ила**

Получите у преподавателя препарат и внимательно рассмотрите его в микроскоп. Перемещая в окуляре поле зрения, обратите внимание на движущиеся объекты, опишите их форму, способ передвижения. Определите их класс. Укажите, что необходимо организмам для жизни и что является признаком их существования (с позиции наблюдателя). Какие жизненно важные функции выполняет организм в момент наблюдения?

### **Биосистема – биосфера – экосистема – ноосфера**

**Биосистема** – это природная система, в которой живые компоненты упорядоченно взаимодействуют с неживой средой и между собой.

**Биосфера** – живая оболочка Земли. Она состоит из биологических систем разного уровня сложности и организации.

Сообщество всех организмов биосистемы – **биоценоз**. Пространство сферы, в которой обитают живые организмы, взаимодействующие между собой и средой, – **биотоп**. Биоценоз и биотоп функционируют как единое целое, образуя **экосистему**.

Структура экосистемы формируется потоком энергии и круговоротом веществ. Биологические компоненты экосистемы состоят из трех функциональных групп организмов.

Первая группа организмов – **продуценты**, это организмы, которые питаются неорганическими веществами ( $H_2O$ ,  $CO_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  и др.), используют в качестве источника энергии солнечный свет или энергию химических реакций.

Вторая группа организмов – **консументы**, используют в качестве источника энергии и питательного материала готовые органические вещества. Консументы осуществляют процесс разложения органического вещества (животные разного уровня сложности).

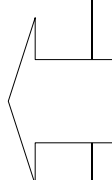
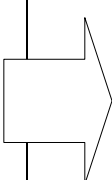
Третья группа организмов – **редуценты**, или **деструкторы**. Это консументы, участвующие в последней стадии разрушения органического вещества, т.е. в его минерализации до  $CO_2$ ,  $H_2O$  и др. Редуценты очищают природную среду от отходов, возвращают вещества в круговорот, делая их доступными для продуцентов. Таким образом жизненный цикл возобновляется.

**Расположите** различные организмы в последовательные трофические (питательные) цепи, определив принадлежность их к той или другой функциональной группе экосистемы: водоросли, черви, бактерии, рыбы, человек; грибы, растения, травоядные, животные хищники, черви, бактерии, человек.

**Представьте** реакцию фотосинтеза, условия её протекания и значение в жизни Земли. Какие организмы ее осуществляют и к какой функциональной группе они относятся?

**Завершите** схему (табл. 7.1) химического превращения органических веществ в атмосфере богатой кислородом и практически лишенной его.

Таблица 7.1.

Продукты безкислородного разложения	Вещества	Элементный состав	Продукты окисления
	<b>БЕЛКИ</b>	<b>С, Н, N, S, P, O</b>	
	<b>ЖИРЫ</b>	<b>С, Н, O</b>	
<b>УГЛЕВОДЫ</b>	<b>С, Н, O</b>		
Анаэробный процесс (гниение, брожение)			Аэробный процесс (дыхание)

Экосистемы и биосфера в целом способны к саморегуляции, которая поддерживает экологическое равновесие. **Саморегуляция** экосистем обеспечивается внутренними механизмами, устойчивыми взаимодействиями между их компонентами, трофическими и энергетическими связями.

**Как** реагирует экосистема, если в ней удалить одно из звеньев трофической цепи? Например, к чему приведет уничтожение волков, истребление воробьев, появление в каком-либо природном регионе нового вида животного или растения?

**Деятельность человека** нарушает экологическое равновесие. Приведите примеры последствий этого.

#### 7.4. Выводы

Приведите основные группы микроорганизмов и укажите их роль в экосистеме и биосфере.

Укажите элементарную ячейку организма и перечислите отличительные особенности живых организмов.

Назовите основные этапы биологической эволюции (формирования биосферы Земли).

Определите суть понятий биосфера, ноосфера, экология.

Литература: [1 – гл. 11, 12]; [4 – тема 19, 24]; [5 – гл. 6, §§ 6.2 – 6.4; гл. 7, §§ 7.1 – 7.5].

## Работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

### 8.1. Цель работы

- Ознакомление с приборами для измерения линейных размеров тел.
- Изучение принципа использования нониуса.
- Ознакомление с техническими весами (лабораторные весы 4-го класса) и методами взвешивания.
- Определение плотности твердого тела правильной геометрической формы, усвоение правил расчета погрешностей измерения.

### 8.2. Общие теоретические сведения

*Измерение* – есть сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения.

Различают измерения *прямые и косвенные*.

При *прямых измерениях* определяемая величина сравнивается с единицей измерения с помощью прибора, проградуированного в соответствующих единицах. Примерами прямых измерений могут служить: измерение длины линейкой, штангенциркулем; измерение массы на весах с помощью разновесов; измерение температуры термометром и др.

При *косвенных измерениях* измеряемая величина вычисляется по результатам измерения других величин, которые связаны с ней функциональной зависимостью. Примерами косвенных измерений могут служить измерение объема по измерениям линейных объемов тела; измерение плотности по измерениям массы и объема и др.

Любые измерения проводятся с какими-то *погрешностями или ошибками*. Поэтому повторные измерения, выполняемые при одинаковых условиях, дают в общем случае результаты, несколько отличающиеся друг от друга и от истинного значения измеряемой величины.

*Погрешности измерений* подразделяются на *грубые, систематические и случайные*.

*Приборная погрешность* складывается из случайных и систематических ошибок измерения величины  $X$ , возникающих за счет свойств *самого измерительного прибора*. В большинстве случаев приборную погрешность  $\delta$  можно считать равной цене наименьшего деления шкалы прибора  $A_{\min}$ :  $\delta = A_{\min}$ . Поэтому не следует стремиться снять отсчет с точностью, превышающей цену наименьшего деления шкалы.

Для приборов (оптических, электрических и др.), на шкале которых указан класс точности  $k$ ,  $\delta$  определяется формулой

$$\delta = \frac{k \cdot A_{\max}}{100},$$

где  $k$  может иметь одно из значений: 0,1/ 0,2/ 0,5/ 1,0/ 1,5/ 2,5/ 4. Это зна-

чение указывается на самом приборе.  $A_{\max}$  – предел измерения прибора.

### Погрешности прямых измерений

Обычно в ошибку измерений вносит вклад большое число независимых источников. Распределение результатов в этом случае подчиняется так называемому *нормальному закону распределения (распределению Гаусса)*. Этот случай и будет описываться в дальнейшем. За наиболее достоверное значение результата прямого измерения величины  $X$  принимают ее среднее арифметическое значение  $\langle X \rangle$  из всех  $N$  результатов её измерений:

$$\langle X \rangle = \frac{1}{N} (X_1 + X_2 + \dots + X_N) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i. \quad (8.1)$$

Окончательный результат обработки серии измерений величины  $X$  представляют в форме

$$X = \langle X \rangle \pm \Delta X, \quad (8.2)$$

где  $\Delta X$  – положительная величина, называемая *абсолютной погрешностью* серии измерений. Смысл формулы (8.2) состоит в том, что с заданной вероятностью  $P$ , называемой *надежностью измерения* величины  $X$ , её истинное значение лежит в доверительном интервале от  $\langle X \rangle - \Delta X$  до  $\langle X \rangle + \Delta X$ , т.е.  $\langle X \rangle - \Delta X < X < \langle X \rangle + \Delta X$ .

*Относительной погрешностью* серии измерений называют величину

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X}. \quad (8.3)$$

При вычислениях по формулам (8.1 – 8.3) следует пользоваться общими правилами для приближенных вычислений.

1. Все вычисления следует проводить с числом значащих цифр, превышающим на единицу число значащих цифр, полученных при измерении. Значащие нули следует сохранять в записи результатов расчетов.
2. В записи мантиссы абсолютной погрешности  $\Delta X$  чаще всего следует удерживать две значащие цифры после запятой.
3. При записи  $\langle X \rangle$  следует удерживать все цифры вплоть до последнего десятичного разряда, использованного при записи  $\Delta X$ .

Наиболее удобной в большинстве случаев формой представления результатов измерений и расчетов является форма с фиксированной запятой (нормализованная). Результаты измерений могут быть записаны в любой системе единиц. Средние значения должны быть выражены в единицах системы СИ.

### Описание измерительных приборов

В работе линейные размеры исследуемого тела измеряются с помощью штангенциркуля (рис. 8.1) или микрометра (рис. 8.2), имеющих *нониус*.

*Нониусом* называют вспомогательную шкалу  $N$  измерительного инструмента, служащую для отсчета дробных долей делений основной шкалы  $n$ . Отсчет с помощью нониуса основан на разнице интервалов деления основной шкалы и шкалы нониуса. Эта разница называется ценой деления и указывается на штангенциркуле (0,1 мм на рис. 8.1).

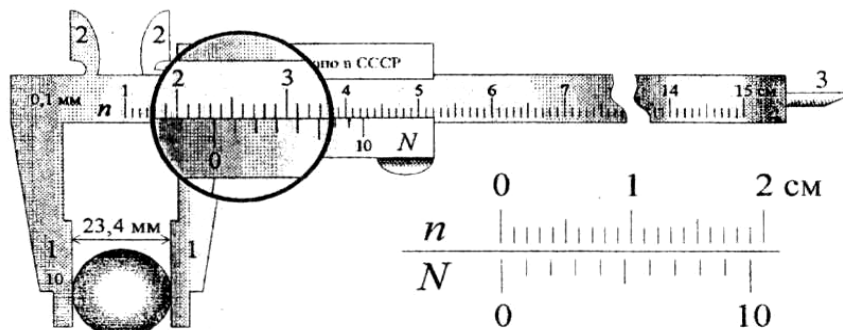


Рис. 8.1. Штангенциркуль

Для измерения штангенциркулем наружных размеров тел используют губки 1, для внутренних размеров — губки 2, для измерения глубин — щуп 3. Целое количество миллиметров отсчитывают по основной шкале  $n$ . Например, на рис. 8.1 это будет 23 мм. Для определения долей миллиметра необходимо посмотреть, какое деление нониуса совпадает наилучшим образом с каким-либо делением основной шкалы. В нашем случае это 4-е деление нониуса. Умножив это число на цену деления штангенциркуля, получим искомые доли миллиметра. Окончательный результат измерения на рис. 8.1 будет равен  $23 + 4 \cdot 0,1 = 23,4$  мм.

Для более точных измерений применяют *микрометры*. Основной частью микрометра для наружных измерений (рис. 8.2) является *микрометрический винт* 2, скрепленный с рукояткой 6. Вращать рукоятку следует только посредством «трещетки» 7, обеспечивающей постоянную силу прижима винта и «пятки» 1 к измеряемому телу.

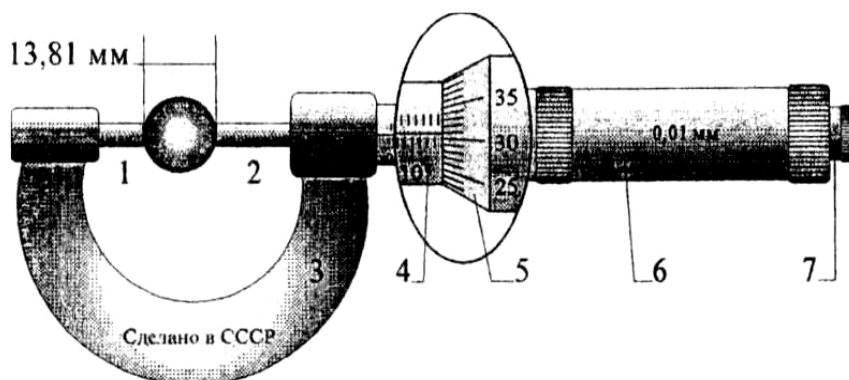


Рис. 8.2. Микрометр

Винт при одном обороте рукоятки смещается на 0,5 мм (шаг винта). А так как шкала расположенного на рукоятке *кругового нониуса* 5 имеет 50 делений, то цена деления нониуса равна  $0,5/50 = 0,01$  мм. На колонке 4,

жестко скрепленной со скобой 3, нанесена *линейная шкала*. По ней производится отсчет миллиметров (по нижней части линейной шкалы) и половины миллиметра (по верхней части). Таким образом, результат измерения микрометром на рис. 8.2 равен  $13 + 0,5 + 31 \cdot 0,01 = 13,81\text{мм}$ .

*Технические весы* (лабораторные весы 4-го класса на рис. 8.3) состоят из равноплечного рычага — *коромысла* 5.

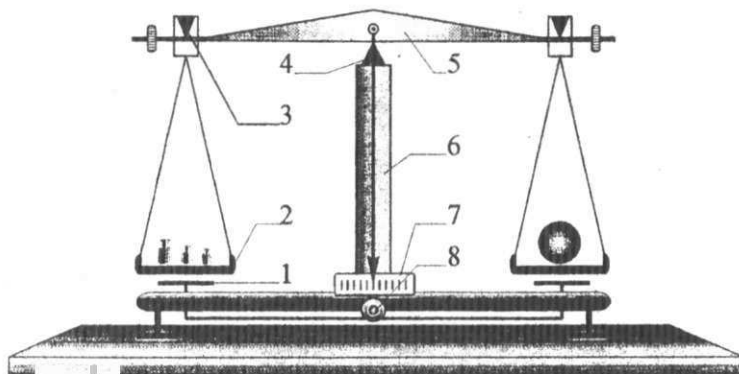


Рис. 8.3. Технические весы

Опорой коромыслу служит ребро стальной призмы 4, укрепленной на верху колонки 6. На равных расстояниях от опорного ребра на коромысле имеются еще две призмы 3, на которых подвешены чашки весов 2. К коромыслу прикреплена длинная стрелка, конец которой движется перед шкалой 7 и при положении равновесия устанавливается на середине шкалы. Технические и более точные *аналитические весы* требуют тщательной регулировки центра тяжести коромысла с чашками. Чтобы регулировка не нарушалась, весы *арретируют*, т.е. останавливают специальными подпорками 1, слегка поднимающими чашки весов при повороте ручки 8. Выключают арретир только на момент взвешивания. К весам прилагается набор гирь (*разновесов*).

#### *Правила взвешивания*

1. Пока все весы не арретированы, нельзя класть на чашки весов грузы или снимать их.
2. Разновесы берут пинцетом и ставят на середину чашки.
3. Положив на одну чашку взвешиваемое тело, кладут на другую чашку необходимые гири. Немного освобождают коромысло весов и смотрят, какая чашка перевешивает. Снова арретируют весы, добавляют или снимают разновесы и опять немного освобождают коромысло весов. Полностью освобождают коромысло при состоянии весов, близком к равновесию.
4. Закончив взвешивание, весы арретируют, снимают разновесы и кладут их в футляр. Вес тела записывают.
5. Для корректировки возможной неравновесности чашек весов рекомендуется повторить взвешивание, переложив взвешиваемое тело на другую чашку.

### 8.3. Рабочее задание

#### Определение плотности тела

Нарисуйте исследуемое тело, укажите размеры  $a$ ,  $b$ , ..., определяющие его объем, и напишите расчетную формулу плотности тела, выразив ее через массу и размеры тела.

Штангенциркулем или микрометром измерьте пять раз каждый размер тела и запишите размеры в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Определение плотности твердого тела

$X$	1	2	3	4	5	$\langle X \rangle$	$\Delta X$	$\rho$
$a$								
$b$								
...								
$m$								

Рассчитайте и запишите в табл. 8.1 средние значения  $\langle a \rangle$ ,  $\langle b \rangle$ , ... измеренных размеров тела и доверительные интервалы измерений  $\Delta a$ ,  $\Delta b$ , ....

Взвесьте исследуемое тело и запишите в табл. 8.1 измеренные значения массы тела  $m_i$ , ее среднее значение  $\langle m \rangle$  и приборную погрешность  $\Delta m$ . Вычислите плотность тела по его массе и средним размерам.

### 8.4. Выводы

Укажите возможные причины систематических ошибок (погрешностей) при определении плотности тела.

По результатам эксперимента предложите меры для увеличения его точности.

### 8.5. Контрольные вопросы

Определение плотности вещества относится к прямым или косвенным измерениям? Перечислите методы определения плотности вещества.

Зависит ли плотность вещества от его однородности?

Как влияет температура на плотность вещества?

Что называется нониусом? Как определить длину отрезка, измеряемого с помощью нониуса?

Как устроен штангенциркуль и какую точность измерений он обеспечивает? Как устроен микрометр и какова его точность?

Расскажите устройство технических весов и правила взвешивания на них. Что определяют на рычажных весах: вес или массу? Почему?

Как вычислить плотность тела, зная его массу и размеры?

Как найти наилучшее приближение к истинному значению по результатам серии измерений одного размера?

Литература: [9 – гл. 1]; [10 – раздел 1].

## Работа 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОСКОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

### 9.1. Цель работы

- Закрепление знаний характеристик электрического поля.
- Получение навыка их измерения и расчета.
- Построение картины электростатического поля.

### 9.2. Общие теоретические сведения

Если в пространство, окружающее электрический заряд, внести другой заряд, то на него будет действовать кулоновская сила. Значит, в таком пространстве существует силовое поле, называемое *электрическим*. Электрическое поле, создаваемое неподвижными электрическими зарядами, принято называть *электростатическим*.

Силовой характеристикой электростатического поля является напряженность. *Напряженность электростатического поля*  $\vec{E}$  определяется отношением действующей силы  $\vec{F}$  на точечный заряд, помещенный в поле, к величине  $q_0$  данного заряда:

$$\vec{E} = \vec{F} / q_0.$$

Напряженность поля точечного заряда  $q$  в вакууме

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}.$$

Напряженность поля — векторная величина. Направление вектора напряженности поля совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд.

Графически электростатическое поле изображают с помощью *линий напряженности* — линий, касательные к которым в данной точке совпадают с направлением вектора  $\vec{E}$ . Для однородного поля (когда вектор напряженности в любой точке не изменяется по величине и направлению) линии напряженности параллельны вектору напряженности.

Единица напряженности электростатического поля — *ньютон на кулон* (Н/Кл);  $1 \text{ Н/Кл} = 1 \text{ В/м}$ , где В (вольт) — единица измерения потенциала электростатического поля.

Электрический заряд, помещенный в электростатическое поле, обладает потенциальной энергией, за счет которой силами поля совершается работа. Физическая величина, определяемая отношением потенциальной



энергии  $W$  точечного положительного заряда, помещенного в данную точку поля, к величине заряда  $q_0$  называется *потенциалом*  $\varphi$  в этой точке:

$$\varphi = W / q_0.$$

Единица потенциала — вольт (В): 1 В — потенциал такого поля, в котором заряд в 1 Кл обладает потенциальной энергией 1 Дж (1 В= 1 Дж/Кл).

### Описание оборудования и методики эксперимента

В работе исследуется плоское электрическое поле в листе бумаги, смоченном в слабом растворе медного купороса и лежащем на диэлектрической пластине. Макет установки показан на рис. 9.1. От выпрямителя на клеммы 1 и 2 и на соответствующие электроды, поставленные на мокрую бумагу, подается напряжение ( $U$ ):

$$U = \varphi_1 - \varphi_2, \quad (9.1)$$

где  $\varphi_1$  — потенциал электрода 1;  $\varphi_2 = 0$  — потенциал электрода 2 (считаем его равным 0).

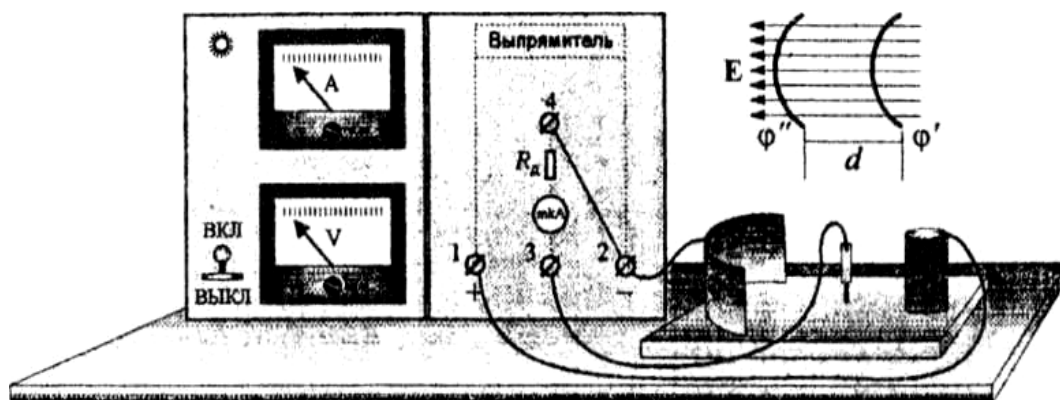


Рис. 9.1. Схема установки для исследования плоского электростатического поля

К клеммам 3 и 2 подключен микроамперметр с дополнительным сопротивлением  $R_d = 100$  кОм, что позволяет использовать прибор в качестве вольтметра, предел измерения которого 10 В соответствует показанию прибора 100 мкА.

Потенциалы электрода 1 и произвольных точек поля относительно электрода 2 измеряют с помощью зонда, подсоединенного к клемме 3.

Измеряя потенциалы  $\varphi$  разных точек плоского электрического поля относительно электрода 2, можно найти ряд точек с одинаковым потенциалом и построить *эквипотенциальные поверхности* (линии) и перпендикулярные им силовые линии поля, плотность которых должна быть пропорциональна напряженности электрического поля  $E$ . В малом объеме между двумя эквипотенциальными линиями электрическое поле (рис. 9.1)

приближенно можно считать однородным, и если потенциалы линий равны  $\varphi'$  и  $\varphi''$ , а расстояние между ними  $d$ , то напряженность электрического поля ( $E$ ) в выбранном объеме

$$E = \frac{\varphi' - \varphi''}{d}. \quad (9.2)$$

Поскольку проводимость металла электрода значительно выше проводимости электролита в бумаге, то поверхность электрода является частным случаем эквипотенциальной поверхности, а на ее поверхности электрическим полем индуцируется избыточный заряд с поверхностной плотностью  $\sigma = dq/dS$ , где  $dq$  — избыточный индуцированный заряд на площадке  $dS$  электрода.

Используя *теорему Остроградского – Гаусса* для однородного электрического поля, получим

$$EdS = \frac{dq}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad (9.3)$$

и найдем поверхностную плотность индуцированных зарядов

$$\sigma = \varepsilon_0 \varepsilon E. \quad (9.4)$$

Для ориентировочного расчета можно принять относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon \approx \varepsilon_{\text{ВОДЫ}} = 80$ .

### 9.3. Рабочее задание

#### Измерение $\varphi$ и построение эквипотенциальных линий

1. Получите у лаборанта диэлектрическую пластину, электроды, провода и соберите схему, изображенную на рис. 9.1.

2. Положите на диэлектрическую пластину мокрый лист бумаги, на бумагу — электроды (по указанию преподавателя). Обведите карандашом контур (положение) электродов. Включите питание схемы и посредством зонда измерьте и запишите около электродов их потенциалы.

3. Выберите точки, делящие расстояние между электродами на равные отрезки размером порядка 1 см. С помощью зонда измерьте и запишите на бумаге около выбранных точек их потенциал.

4. Перемещая зонд вдоль линий постоянного потенциала в пределах всего листа, сделайте отметку 7-10 точек для каждого потенциала. Проведите через них плавную эквипотенциальную линию для каждого потенциала.

По указанию преподавателя снимите электроды и повторите пункты 1 – 4 на другом листе мокрой бумаги.

## Расчет напряженностей электрического поля, плотностей поверхностных зарядов и графическое изображение поля

Обозначьте на картине поля пять точек у поверхности каждого электрода. Из выбранных точек проведите силовые линии до другого электрода. При построении силовых линий используйте ортогональность силовых линий линиям постоянного потенциала. Вдоль одной из силовых линий найдите разности потенциалов между соседними парами эквипотенциальных линий  $\varphi' - \varphi''$ , расстояния  $d$  между ними и запишите в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Определение напряженности электростатического поля  
и плотности поверхностных зарядов

Пары точек	1	2	3	4	5	6	7	8	...
$\varphi' - \varphi''$									
$d$									
$E$									
$\sigma$									

Вычислите по формуле (9.2) и запишите напряженности электрического поля  $E$  в выбранных точках.

Вычислите по формуле (9.4) и запишите плотности поверхностных зарядов  $\sigma$  на электродах в выбранных точках.

### 9.4. Выводы

Дайте определение силовой характеристики электрического поля и ее размерности.

Дайте определение энергетической характеристики электрического поля и ее размерности.

### 9.5. Контрольные вопросы

- Как графически изображают электрическое поле?
- Как связаны напряженность и потенциал электрического поля?
- Что такое электрическое напряжение?
- Что такое эквипотенциальная поверхность? Каковы ее свойства?

Литература: [9 – гл. 1], [10 – Раздел 3].

## Работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ И МАГНИТНОГО МОМЕНТА ПОСТОЯННОГО МАГНИТА

### 10.1. Цель работы

- Изучение характеристик магнитного поля и структуры магнитного поля Земли.

- Определение магнитного момента постоянного магнита, соленоида с током.
- Получение навыка применения принципа суперпозиции для расчета магнитных полей.

## 10.2. Общие теоретические сведения

Опыт показывает, что подобно тому, как в пространстве, окружающем электрические заряды, возникает электрическое поле, так в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает силовое поле, называемое *магнитным*. Магнитное поле обнаруживается по силовому действию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты. Название «магнитное поле» связано с ориентацией магнитной стрелки под действием поля, создаваемого током. Это явление обнаружено датским физиком Х. Эрстедом (1777—1851).

Электрическое поле действует как на неподвижные, так и на движущиеся в нем электрические заряды. В отличие от него магнитное поле действует только на движущиеся электрические заряды. Характер воздействия магнитного поля на ток зависит от формы проводника, по которому течет ток, от расположения проводника и от направления тока.

Если в данную точку магнитного поля помещать рамки с различными магнитными моментами, то на них будут действовать различные вращающие моменты, однако отношение ( $M_{\max}$  — максимальный вращающий момент) для всех контуров будет одинаковым, что может служить характеристикой магнитного поля, называемой *магнитной индукцией*.

Магнитная индукция в данной точке однородного магнитного поля определяется максимальным вращающим моментом, действующим на рамку с магнитным моментом, равным единице, когда нормаль к рамке перпендикулярна направлению поля.

Магнитное поле изображают с помощью *линий магнитной индукции*, касательные к которым в каждой точке совпадают с направлением вектора магнитной индукции. Их направление задается правилом правого винта: при ввинчивании винта по направлению тока его вращательное движение совпадает с ориентацией линий магнитной индукции.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты и охватывают проводники с током. Этим они отличаются от линий напряженности электростатического поля, которые разомкнуты (начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных).

В любом теле существуют микроскопические токи, обусловленные движением электронов в атомах и молекулах. Такие токи создают свое магнитное поле. Под действием внешнего магнитного поля происходит ориентация микротоков и возникает дополнительное магнитное поле. Вектор магнитной индукции  $B$  характеризует результирующее магнитное поле, состоящее из внешнего поля, создаваемого макротоками, и внутреннего, обусловленного микротоками.

Внешнее магнитное поле описывается *вектором напряженности*  $H$ . Для однородной изотропной среды вектор магнитной индукции  $B$  связан с вектором напряженности соотношением

$$\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H},$$

где  $\mu_0$  - магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Н/А<sup>2</sup>);  $\mu$  - безразмерная величина – *магнитная проницаемость среды*, показывающая, во сколько раз магнитное поле усиливается за счет поля микротоков среды.

Земля представляет собой огромный шаровой магнит. В окружающем Землю пространстве обнаруживается магнитное поле. Северный магнитный полюс  $N$  находится на Южном географическом, и наоборот. Существование магнитного поля Земли можно установить с помощью магнитной стрелки. Если магнитную стрелку подвесить на нити так, чтобы точка подвеса совпала с центром тяжести магнитной стрелки, то стрелка установится по направлению касательной к линии магнитной индукции поля Земли. В Северном полушарии южный конец ее будет наклонен к поверхности Земли и стрелка составит с горизонтом *угол наклона* (на магнитном экваторе угол наклона равен нулю). Вертикальная плоскость, в которой расположена стрелка, называется *плоскостью магнитного меридиана*. Так как магнитные полюса не совпадают с географическими, то стрелка отклоняется от географического меридиана. Угол между плоскостью магнитного и географического меридианов называется *магнитным склонением*.

Вектор магнитной индукции  $B$  поля Земли можно разложить на две составляющие: горизонтальную  $B_0$  и вертикальную  $B_z$ . Если магнитная стрелка свободно вращается лишь вокруг вертикальной оси, то ее поворот осуществляется под действием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.

Горизонтальная составляющая магнитного поля Земли, магнитные склонение и наклонение - основные характеристики земного магнетизма. Эти характеристики изменяются со временем. Из года в год меняется положение магнитных полюсов. Палеонтологические исследования магнитного поля Земли в далеком прошлом, основанные на измерении остаточной намагниченности земных пород, показали, что, например, на протяжении последних 80 млн лет не только изменялась индукция магнитного поля, но и происходило многократное перемагничивание, в результате которого Северный и Южный магнитные полюса Земли менялись местами.

### **Описание оборудования и методики эксперимента**

Работа выполняется на измерительной установке (рис. 10.1), в которой ток соленоида  $I$  изменяют по величине переключателем  $\Pi$ , а по направлению — тумблером  $T$ . Ток измеряют микроамперметром  $A$  с шунто-

вым резистором, благодаря которому предел измерения микроамперметра 100 мкА соответствует току в соленоиде 2 А.

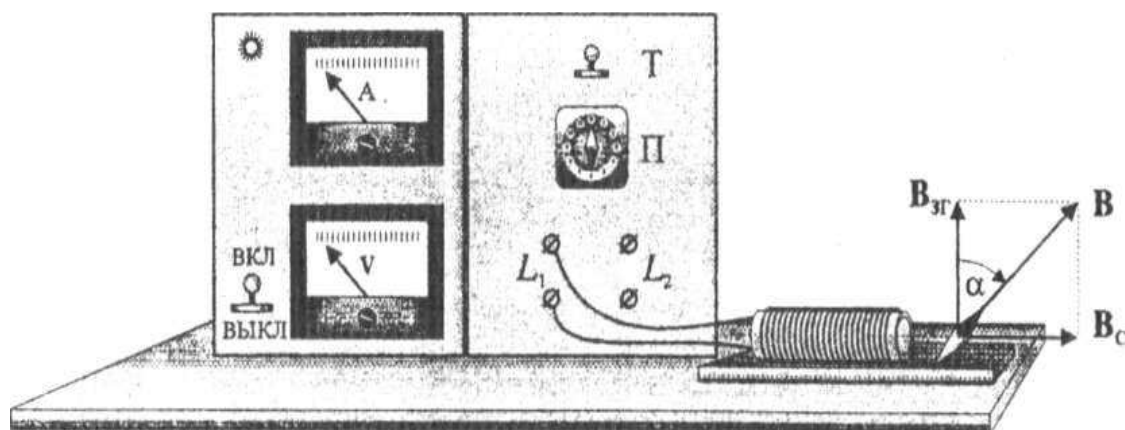


Рис. 10.1. Схема установки для определения горизонтальной составляющей магнитного поля земли и магнитного момента постоянного магнита

Вектор магнитной индукции на оси соленоида можно рассматривать как суперпозицию векторов магнитной индукции, создаваемой отдельными витками:

$$B_c = \sum_{i=1}^N B_i = \sum_{i=1}^N \frac{\mu\mu_0 R^2 I}{2(R^2 + r_i^2)^{3/2}}, \quad (10.1)$$

где  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м – магнитная постоянная;  $\mu = 1$  – магнитная проницаемость воздуха,  $R$  – радиус витка соленоида,  $r_i$  – расстояние от  $i$ -го витка до точки, где определяется вектор  $B_c$ .

Приближенно при  $r_i \ll R$ , вместо  $r_i$  можно взять их среднее значение, равное расстоянию до центра соленоида –  $r$ . Тогда

$$B_c = \frac{\mu\mu_0 R^2 IN}{2(R^2 + r^2)^{3/2}} = \frac{\mu\mu_0 P_c}{2\pi(R^2 + r^2)^{3/2}}, \quad (10.2)$$

где  $P_c = I \cdot S \cdot N$  – магнитный момент соленоида,  $S = \pi \cdot R^2$  – площадь одного витка соленоида.

Для определения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли  $B_{з.гор}$  расположим соленоид так, чтобы его ось и центр компаса находились на одной линии, перпендикулярной магнитному меридиану (вектору  $B_{з.гор}$ ), направление которого показывает стрелка компаса.

Если через соленоид пропустить ток  $I$ , то магнитное поле соленоида  $B_c$  в центре компаса будет перпендикулярно полю Земли  $B_{з.гор}$ . Суперпозиция полей дает вектор результирующего магнитного поля  $B$ . Соответственно стрелка компаса отклонится на угол  $\alpha$  от магнитного меридиа-

на и покажет направление вектора  $B$ . Из векторной диаграммы (см. рис. 10.1) следует, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B_c}{B_{з.гор}}. \quad (10.3)$$

Таким образом, рассчитав  $B_c$  в центре компаса, можно использовать (10.3) для определения  $B_{з.гор}$ . Если величина  $B_{з.гор}$  известна, то, заменив соленоид постоянным стержневым магнитом, с помощью (10.3) можно определить поле магнита  $B_m$  в центре компаса. Затем, используя (10.2), можно рассчитать магнитный момент постоянного магнита  $P_m$ .

### 10.3. Рабочее задание

#### Измерение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

Подключите соленоид к клеммам питания 1-2 (см. рис. 10.1) и расположите его ось перпендикулярно магнитному меридиану (по компасу) так, чтобы центр компаса находился на оси соленоида на расстоянии  $r \approx 10 - 20$  см от его центра, и запишите значение  $r$  в табл. 10.1.

Включите питание установки и, задавая переключателем  $\Pi$  величину тока, а тумблером  $T$  его полярность, измерьте и запишите в табл. 10.1 значения тока и соответствующие отклонения стрелки компаса  $\alpha$ .

Вычислите для каждого значения тока  $\langle \alpha \rangle$ ,  $P_c$  и  $B_c$  в центре компаса и соответствующие  $B_{з.гор}$ . Найдите среднее  $\langle B_{з.гор} \rangle$ . Полученные результаты запишите в табл. 10.1.

#### Определение магнитного момента стержневого магнита

При выключенном питании схемы положите вместо соленоида стержневой магнит на таком расстоянии, чтобы стрелка компаса отклонилась на угол около  $45^\circ$ , и запишите в табл. 10.1 расстояние  $r$  и отклонения стрелки компаса  $\alpha$  при двух полярностях магнита.

Вычислите по формуле (10.3) поле магнита  $B_m$  в центре компаса и магнитный момент магнита  $P_m$ . Результаты запишите в табл. 10.1.

Таблица 10.1

#### Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

$I$	$r$	$+\alpha$	$-\alpha$	$\langle \alpha \rangle$	$P$	$B_c$	$\operatorname{tg} \alpha$	$B_{з.г}$	$\langle B_{з.г} \rangle$
$I_1$									
$I_2$									
...									
$I_N$									
Магнит									

## 10.4. Выводы

Объясните причины существования магнитного поля.  
Объясните принцип измерения магнитного поля Земли.

## 10.5. Контрольные вопросы

Чем отличается магнитное поле от электростатического?

Как обнаружить магнитное поле?

Назовите основную характеристику магнитного поля, какова ее размерность? Как изображают магнитное поле графически?

Сформулируйте принцип суперпозиции для магнитного поля.

Назовите основные характеристики земного магнетизма.

Какова физическая природа магнитного поля Земли?

Как определяется горизонтальная составляющая магнитной индукции поля Земли?

Где находится северный магнитный полюс Земли? Что такое магнитный меридиан?

Литература: [9 – гл. 1], [10 – раздел 3].

## Работа 11. ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОЛЕБАНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

### 11.1. Цель работы

- Изучение гармонических колебаний.
- Изучение колебаний математического маятника и влияния длины подвеса и массы маятника на период его колебания.

### 11.2. Общие теоретические сведения

*Колебаниями* называются движения или процессы, характеризующиеся определенной повторяемостью во времени. Колебательные процессы широко распространены в природе и технике, например, качание маятника часов, колебание струн музыкальных инструментов, приливы и отливы, переменный электрический ток и т. д. При колебательном движении маятника изменяется координата его центра масс. Для переменного тока периодически изменяются напряжение и сила тока в цепи. Физическая природа колебаний может быть разной, и в зависимости от нее различают колебания механические, электромагнитные и др. Однако многие колебательные процессы можно описать одинаковыми уравнениями. Отсюда следует целесообразность единого подхода к изучению колебаний вне зависимости от их физической природы.

*Колебания* называются *свободными* или *собственными*, если они совершаются за счет первоначально сообщенной энергии и внутренних сил в системе при последующем отсутствии внешних воздействий на колебательную систему.



Простейшим видом повторяющихся процессов являются *гармонические колебания* – колебания, при которых колеблющаяся величина изменяется со временем по закону синуса (косинуса). Встречающиеся в природе и технике колебания часто по своему характеру близки к гармоническим. Различные реальные периодические процессы (процессы, повторяющиеся через равные промежутки) можно представить в виде сложения ряда гармонических колебаний.

Малые колебания математического маятника близки к гармоническим. *Математический маятник* – это идеализированная система, состоящая из материальной точки массой  $m$ , которая подвешена на нерастяжимой невесомой нити. Он совершает колебания под действием силы тяжести.

### Описание оборудования и методики эксперимента

Маятник подвешивается на штативе, в верхней части которого укреплен горизонтальный стержень (рис. 11.1).

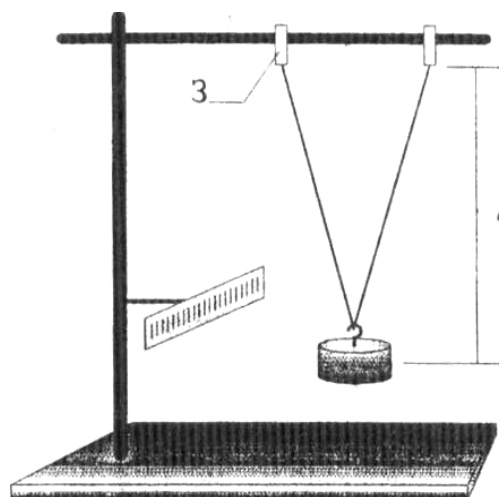


Рис. 11.1. Схема математического маятника

На маятнике на расстоянии 10 – 15 см укреплены два зажима. Зажимы держат концы нити длиной 120 – 150 см, на середину которой подвешивается деревянный или металлический груз. Такой подвес обеспечивает колебания маятника в одной плоскости и позволяет легко менять длину маятника. Длина маятника  $l$  измеряется от центра тяжести груза до середины линии, соединяющей точки зажима верхних концов нити (см. рис. 11.1).

На штативе укреплена также шкала для отсчета отклонения маятника от положения равновесия. Если шкала расположена выше подвешенного груза, то нить подвеса можно использовать и как указатель отклонения маятника. Моменты максимального отклонения маятника (в одну сторону) удобно принять за начало и конец отсчета времени нескольких колебаний.

Эксперимент выполняется с тремя одинаковыми по размеру, но раз-

ными по массе грузами (цилиндрами) из разных материалов.

Если можно считать нить нерастяжимой, а также пренебречь массой нити по сравнению с массой груза и размерами груза по сравнению с длиной нити, то при малых отклонениях от положения равновесия груз на нити можно считать математическим маятником, движение которого хорошо описывается *дифференциальным уравнением гармонических колебаний*:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \omega^2 \alpha = 0, \quad (11.1)$$

где  $\alpha$  - смещение или угол отклонения маятника от положения равновесия;  $\omega = \sqrt{g/l}$  - угловая частота собственных колебаний маятника;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  - ускорение свободного падения.

Решение дифференциального уравнения (11.1) называют *уравнением гармонических колебаний*:

$$\alpha = \alpha_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (11.2)$$

где  $\alpha_{\max}$  — амплитуда колебаний;  $\varphi_0$  — начальная фаза колебаний.

Выразив период колебаний через угловую частоту  $T = 2\pi/\omega$ , получим формулу *периода колебаний математического маятника*:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (11.3)$$

### 11.3. Рабочее задание

#### Исследование влияния массы груза и длины маятника на период его колебаний

1. Подвесьте самый легкий груз массой  $m_1$  так, чтобы длина маятника  $l_1$  была наибольшей.

2. Отклоните груз маятника на 3 – 5 см от положения равновесия и отпустите. Измерьте секундомером и запишите в табл. 11.1 время двадцати полных колебаний  $t$ . Эксперимент повторите 3 – 5 (по указанию преподавателя) раз.

3. Вычислите и запишите в табл. 11.1 среднее время двадцати колебаний ( $t$ ) и период  $T$  колебаний маятника.

Не изменяя длины нити, подвесьте второй, более тяжелый, груз массой  $m_2$  и повторите пункты 2 – 4.

Не изменяя длины нити, подвесьте третий, самый тяжелый, груз массой  $m_3$  и повторите пункты 2 – 4.

Уменьшите длину маятника в полтора – два раза ( $l_2$ ) и повторите пункты 2 – 4.

Уменьшите длину маятника еще в полтора – два раза ( $l_3$ ) и вновь повторите пункты 2 – 4.

Таблица 11.1

## Изучение математического маятника

$l$	$m$	$t_1$	$t_2$	...	$t_N$	$\langle t \rangle$	$T$	$\sqrt{l}$	$T_{\text{теор}}$
$l_1$	$m_1$								
	$m_2$								
	$m_3$								
$l_2$	$m_1$								
	$m_2$								
	$m_3$								
$l_3$	$m_1$								
	$m_2$								
	$m_3$								

По измеренным данным на одном графике постройте зависимости  $T(\sqrt{l})$  при массах грузов  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$ . На том же графике постройте теоретическую зависимость  $T(\sqrt{l})$ .

По измеренным данным на одном графике постройте зависимости  $T(m)$  при длинах  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ .

**11.4. Выводы**

Дайте определение математического маятника. Чем он отличается от физического?

Выведите дифференциальное уравнение гармонических колебаний при больших и малых амплитудах. Как связана угловая частота с периодом колебаний?

Напишите уравнение гармонических колебаний маятника при

а) пуске после отклонения его рукой;

б) после толчка из положения равновесия.

Нарисуйте соответствующие графики.

**11.5. Контрольные вопросы**

Что такое амплитуда колебаний?

Как зависит период колебаний математического маятника от массы груза?

Как зависит период колебаний математического маятника от его длины?

Как отличаются периоды колебаний одинаковых маятников в Воронеже и в Мурманске?

Чему равна частота колебаний маятника, установленного на искусственном спутнике Земли?

Почему при переносе из Воронежа в Мурманск период колебаний математического маятника меняется, а период маятника наручных часов – нет?

Литература: [9 – гл. 1], [10 – раздел 4].

## Работа 12. ИЗУЧЕНИЕ ДИФРАКЦИИ СВЕТА НА ДИФРАКЦИОННОЙ РЕШЕТКЕ

### 12.1. Цель работы

- Изучение дифракции света в параллельных лучах на дифракционной решетке.
- Определение длины световой волны.
- Определение постоянной дифракционной решетки.

### 12.2. Общие теоретические сведения

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представления о световых лучах, называется *геометрической оптикой*.

*Световые лучи* – перпендикулярные к волновым поверхностям линии, вдоль которых направлен поток световой энергии.

С давних времен известны основные законы геометрической оптики: *закон прямолинейного распространения света в оптически однородной среде, закон независимости световых пучков, закон отражения света, закон преломления света.*

При наличии на своем пути неоднородностей свет отклоняется от прямолинейного пути, огибая препятствия. Это явление называется *дифракцией*.

### Описание оборудования и методики эксперимента

Изучение дифракции света осуществляется на установке (рис. 12.1). Свет от источника 1 (в нашем случае – лампочки накаливания) попадает на щель 2, которая становится линейным источником света. Поместив объектив коллиматора 3 на расстоянии  $F$  (фокусное расстояние объектива коллиматора) от щели, получим после прохождения коллиматора параллельный пучок света. Если на пути этого пучка поставить зрительную трубу 5, сфокусированную на бесконечность, то в зрительной трубе мы увидим отчетливое изображение щели 2.

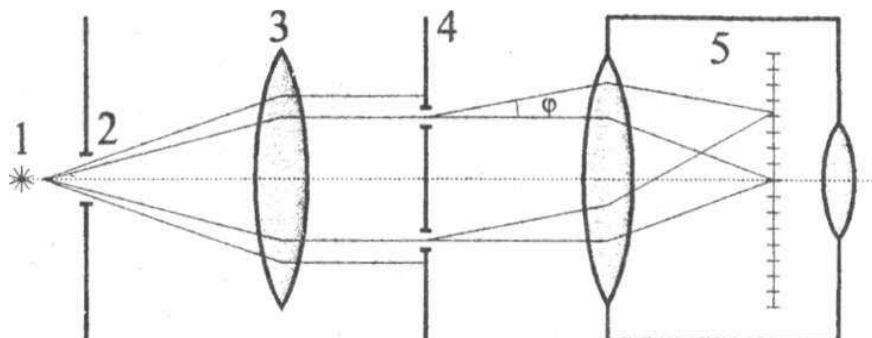


Рис. 12.1. Схема установки для наблюдения интерференции от двух когерентных источников

Если между объективами коллиматора и зрительной трубы поставить две узкие параллельные щели 4, то каждая из них будет новым источником света. Поскольку свет обеих щелей порождается одним источником (щелью 2), то они *когерентны*. В результате интерференции в направлениях, в которых разность хода кратна целому числу длин волн, свет усилится, а там, где разность хода равна нечетному числу длин полуволн, свет ослабится. В поле зрения зрительной трубы будет наблюдаться ряд светлых и темных полос (максимумов и минимумов). Расстояния между максимумами на шкале пропорциональны углу отклонения  $\varphi$ .

В случае одиночной щели при наблюдении лучей под углом  $\varphi$  волновая поверхность на щели может быть разбита на *зоны Френеля* (рис. 12.2).

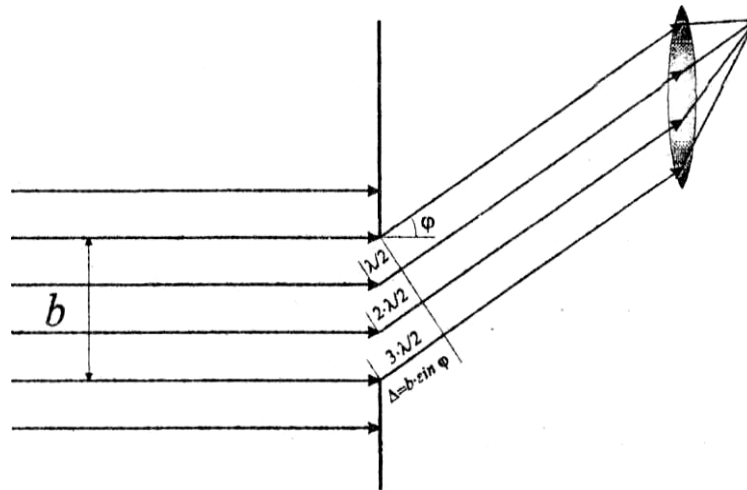


Рис. 12.2. Схема дифракция Фраунгофера на одной щели

Число зон Френеля  $m$  на ширине щели равно оптической разности хода между крайними лучами, деленной на половину длины волны, т.е.

$$m = \frac{nb \sin \varphi}{\lambda / 2} = \frac{2nb \sin \varphi}{\lambda}, \quad (12.1)$$

где  $n$  — показатель преломления света;  $b$  — ширина щели;  $\lambda$  — длина волны падающего света. В воздухе можно считать  $n = 1$ .

Если число зон Френеля будет четным, то волны, идущие от соседних зон Френеля, в результате интерференции погасят друг друга. В данном направлении будет наблюдаться минимум. Если число зон Френеля будет нечетным, то волна, идущая от одной из зон, не будет погашена и будет наблюдаться максимум интенсивности света. Следовательно, условие максимума для случая, когда показатель преломления  $n = 1$ , запишется в виде

$$b \sin \varphi_{\max} = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \quad (k = 1, 2, 3 \dots). \quad (12.2)$$

В данной работе вместо одной щели ставится дифракционная решетка.

**Дифракционной решеткой** называется система параллельных между собой щелей. Каждая щель дает свою дифракционную картину. Дифракционные картины от каждой щели решетки будут накладываться друг на друга и интерферировать между собой. Если разность хода  $\Delta$  лучей от соседних щелей решетки при наблюдении света под углом  $\varphi$  (рис. 12.3) будет равна целому числу длин волн, то они будут усиливать друг друга и в этом направлении будем наблюдать максимум интенсивности. Если разность хода будет равна нечетному числу полуволн, то волны от соседних щелей будут взаимно погашаться и при этом значении  $\varphi$  будет наблюдаться минимум интенсивности. Разность хода  $\Delta$  от двух соседних щелей равна

$$\Delta = n \cdot d \cdot \sin \varphi, \quad (12.3)$$

где  $d$  — расстояние между соседними щелями дифракционной решетки (период решетки),  $n$  — показатель преломления среды.

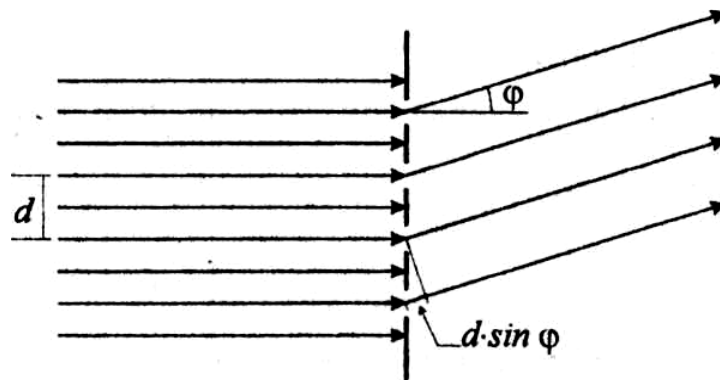


Рис. 12.3. Схема дифракция на решетке

Считая показатель преломления среды  $n = 1$ , условие максимума интенсивности запишем в виде

$$d \cdot \sin \varphi_{\max} = m \cdot \lambda. \quad (12.4)$$

При малых углах можно принять  $\sin \varphi \approx \varphi$  (угол  $\varphi$  должен измеряться в радианах), тогда

$$d \varphi = m \cdot \lambda. \quad (12.5)$$

Измерение угла  $\varphi$  по делениям шкалы зрительной трубы проводят следующим образом. По шкале зрительной трубы определяются положения  $N_{np}$  и  $N_l$  красного участка спектра 1-го, 2-го порядков справа и слева от центрального максимума. Углы, под которыми видны 1-й, 2-й максимумы, вычисляют по формуле

$$\varphi = \frac{N_{np} - N_l}{2} \cdot l, \quad (12.6)$$

где  $l = 5,76 \cdot 10^{-4}$  – цена одного деления шкалы (в радианах);  $N_{np}$  и  $N_l$  – отсчеты по шкале.

### 12.3. Рабочее задание

#### Определение длины волны различных цветов

Установите перед объективом зрительной трубы дифракционную решетку с известной постоянной.

Измерьте положения максимумов 1-го и 2-го порядков для красного, желтого, зеленого, синего и фиолетового участков спектра и запишите их в табл. 12.1.

Таблица 12.1.

Определение длин волн различных цветов

m	Цвет	$N_l$	$N_{np}$	$\varphi$	$\lambda$	$\langle \lambda \rangle$
1	Красный					
	Желтый					
	Зеленый					
	Синий					
	Фиолетовый					
2	Красный					—
	Желтый					—
	Зеленый					—
	Синий					—
	Фиолетовый					—

По формуле (12.6) рассчитайте углы  $\varphi$ . Затем по формуле (12.5) рассчитайте длину волны по 1-му и 2-му порядку изучаемых цветов спектра.

Найдите среднее значение длин волн для красного, желтого, зеленого, синего и фиолетового цветов.

Оцените точность ваших измерений.

#### Определение периода неизвестной дифракционной решетки

Поставьте неизвестную дифракционную решетку перед объективом зрительной трубы.

Измерьте положения максимумов 1-го, 2-го и 3-го порядков для красных и фиолетовых участков спектра. Данные занесите в табл. 12.2.

По формуле (12.5) найдите период  $d$  дифракционной решетки.

Найдите среднее значение  $\langle d \rangle$ .

Таблица 12.2

Определение периода неизвестной дифракционной решетки

$m$	Цвет	$N_l$	$N_{np}$	$\varphi$	$d$	$\langle d \rangle$
1	Красный					
	Фиолетовый					
2	Красный					
	Фиолетовый					
3	Красный					
	Фиолетовый					

### 12.4. Выводы

Что такое дифракция и когда она наблюдается?

Что такое дифракционная решетка? Что называется периодом дифракционной решетки?

Рассчитайте положения максимумов при дифракции света на дифракционной решетке.

Литература: [9 – гл. 1], [10 – раздел 4].

## Работа 13. ЗНАКОМСТВО С ОСНОВАМИ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

### 13.1. Цель работы

- Овладеть теоретическими знаниями о микроскопических методах исследования.
- Освоить основы сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ).
- Изучить принцип работы и конструкцию прибора NanoEducator и приобрести навыки работы на данном оборудовании.

### 13.2. Общие теоретические сведения

Традиционные методы исследования поверхности, такие как рентгеновская или ионная дифракция, дифракция медленных электронов, электронная оже-спектроскопия, позволяют получать усредненную по поверхности образца картину расположения атомов, но не дают возможности своими глазами увидеть атомную структуру. Все эти методы, работающие только в вакууме, позволяют детализировать объекты нанометрового масштаба, но при этом возможно повреждение образца пучком высокоэнергетических частиц. Кроме того, они не позволяют непосредственно получать информацию о высоте поверхностных деталей.



Частично эти проблемы удалось решить с помощью сканирующей туннельной микроскопии (СТМ). В начале 1980-х годов с помощью СТМ были получены первые экспериментальные изображения поверхности кремния с атомным разрешением. Однако новые, практически неограниченные возможности открылись с изобретением атомного силового микроскопа (АСМ), с помощью которого стало возможным изучать рельеф не только проводящих, но и диэлектрических материалов. С тех пор области применения сканирующей зондовой микроскопии (СЗМ) значительно расширились.

### **Принцип работы и конструкция СЗМ NanoEducator**

Работа СЗМ NanoEducator основана на использовании зависимости величины взаимодействия между зондом и поверхностью исследуемого образца от величины расстояния зонд – образец. Взаимодействие может быть токовым (за счет туннельного тока) или силовым.

Оперируя туннельным током, протекающим при постоянном электрическом смещении между зондом и образцом, можно исследовать только проводящие объекты, в то время как, используя силу взаимодействия зонд - поверхность, можно исследовать как проводящие, так и непроводящие (диэлектрические) образцы. Чем более выражена зависимость тока или силы от расстояния между зондом и образцом, тем выше пространственное разрешение СЗМ, причем характер этой зависимости определяется физико-химическими свойствами исследуемой поверхности. Пространственное разрешение определяется также радиусом закругления кончика зонда, уровнем механических вибраций и тепловых дрейфов конструкции, а также уровнем электронных шумов измерительной аппаратуры. Кончик зонда (вольфрамовой иглы) затачивается путем электрохимического травления и имеет радиус закругления вершины менее 100 нм.

В СЗМ NanoEducator зонд закрепляется неподвижно. Образец может перемещаться относительно зонда по трем пространственным координатам:  $X$ ,  $Y$  - в плоскости образца;  $Z$  - по вертикали перпендикулярно плоскости  $XY$ . При работе прибора образец движется в плоскости  $XY$  (рис. 13.1) построчно, таким образом, что кончик зонда постепенно проходит над всей заданной площадью образца с шагом  $\Delta$ . Этот процесс называется *сканированием*.

В процессе сканирования зонд может находиться над участками поверхности, имеющими различные физические свойства, в результате чего величина и характер взаимодействия зонд-образец будут изменяться. Кроме того, если на поверхности образца есть неровности, то при сканировании будет изменяться и расстояние  $\Delta Z$  между зондом и поверхностью, соответственно будет изменяться и величина локального взаимодействия.

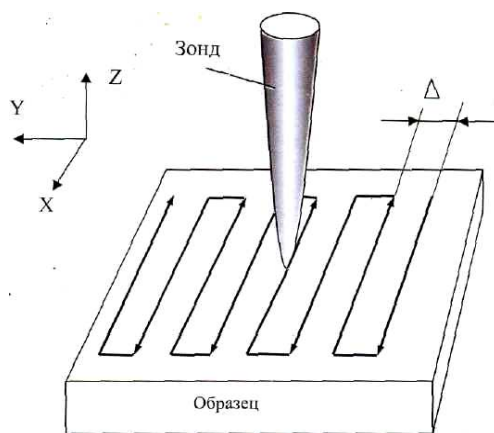


Рис. 13.1. Принцип сканирования поверхности образца

В процессе сканирования величина локального взаимодействия поддерживается постоянной с помощью системы автоматического слежения, которая, регистрируя сигнал взаимодействия (силу или ток), поддерживает его среднее значение на постоянном уровне. Это осуществляется за счет перемещения образца по вертикали (ось  $Z$ ) специальным движителем - сканером таким образом, чтобы величина взаимодействия оставалась постоянной в процессе сканирования.

На рис. 13.2 показана траектория движения зонда относительно образца (кривая 1) и образца относительно зонда (кривая 2) при сохранении постоянной величины взаимодействия зонд-образец. Если зонд оказывается над ямкой или областью, где взаимодействие слабее, то образец приподнимается, в противном случае – образец опускается. Величина взаимодействия зонда с поверхностью в общем случае зависит как от величины зазора зонд-поверхность, так и от локальных характеристик поверхности, так что такое смещение образца системой автоматического слежения может происходить в результате одновременного влияния как изменений рельефа, так и физико-химических свойств поверхности образца. Поэтому, вообще говоря, требуется уделять особое внимание интерпретации информации, полученной в процессе сканирования СЗМ.

NanoEducator регистрирует перемещение образца по оси  $Z$  и по осям  $X$ ,  $Y$ . При этом на экране компьютера синхронно с перемещением образца строится изображение, где изменение локальной яркости пропорционально измеренному перемещению образца по оси  $Z$  при сканировании. Такой метод работы СЗМ называют методом постоянного взаимодействия (постоянной силы или постоянного тока).

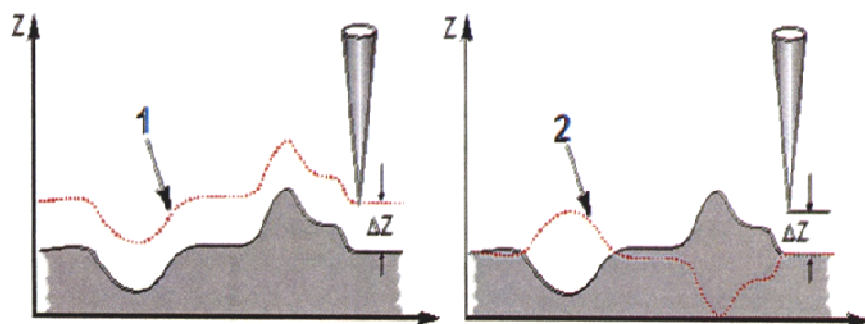


Рис. 13.2. Траектории относительного движения зонда и образца:  
 1 – траектория движения зонда при неподвижном образце;  
 2 – траектория движения образца при неподвижном зонде

На рис. 13.3 представлен внешний вид измерительной головки прибора NanoEducator.

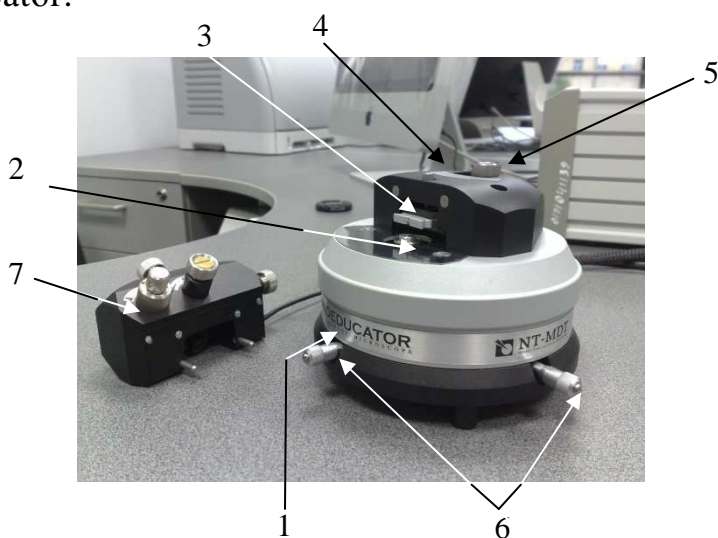


Рис. 13.3. Внешний вид измерительной головки СЗМ NanoEducator:  
 1 – основание; 2 - держатель образца; 3 - датчик взаимодействия;  
 4 - винт фиксации датчика; 5 - винт ручного подвода; 6 - винты перемещения  
 сканера с образцом; 7 - защитная крышка с видеокамерой

На рис. 13.4 приведена конструкция измерительной головки прибора. На основании 1 установлен сканер 8 с держателем образца 7 и механизм подвода 2 на основе шагового двигателя. Подвод зонда 6, закрепленного на датчике взаимодействия 4, к образцу можно также осуществлять с помощью винта ручного подвода 3. Датчик взаимодействия закрепляется при помощи винта фиксации датчика 5. Предварительный выбор места исследования на образце осуществляется с помощью винтов перемещения сканера с образцом 9, 10.

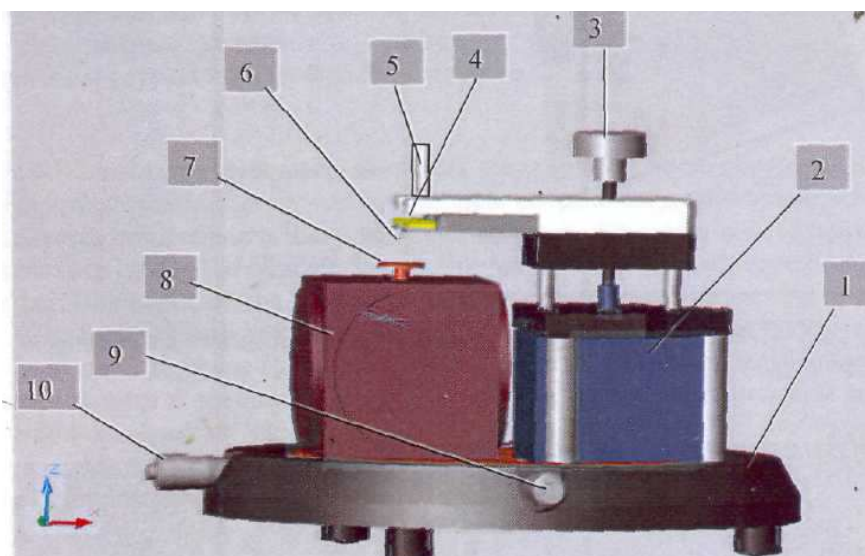


Рис. 13.4. Конструкция СЗМ NanoEducator:  
 1 – основание; 2 – механизм подвода; 3 – винт ручного подвода;  
 4 – датчик взаимодействия; 5 – винт фиксации датчика; 6 – зонд;  
 7 – держатель образца; 8 – сканер; 9, 10 – винты перемещения сканера с образцом

В общем виде NanoEducator состоит из измерительной головки с видеокамерой, электронного блока, соединительных кабелей и управляющего компьютера (рис. 13.5).



Рис. 13.5. Общий вид NanoEducator

Сигнал от датчика взаимодействия после преобразования в усилителе поступает в электронный блок. Управляющие сигналы от электронного блока поступают в измерительную головку. Управление электронным блоком осуществляется от компьютера.

В приборе NanoEducator применяется универсальный датчик силового взаимодействия и туннельного тока. Зондовый датчик силового взаимодействия состоит из игольчатого зонда из вольфрамовой проволоки 1, закрепленного на трубчатой пьезоэлектрической консоли 2, которая, в свою очередь, закреплена на неподвижном основании 3 (рис. 13.6). Поскольку консоль на английском языке называется cantilever, то в зондо-

вой микроскопии для консоли, несущей зонд на свободном конце, установилось название «*кантилевер*». Одна часть пьезоэлектрического трубчатого кантилевера используется как пьезовибратор, а другая – как датчик механических колебаний.

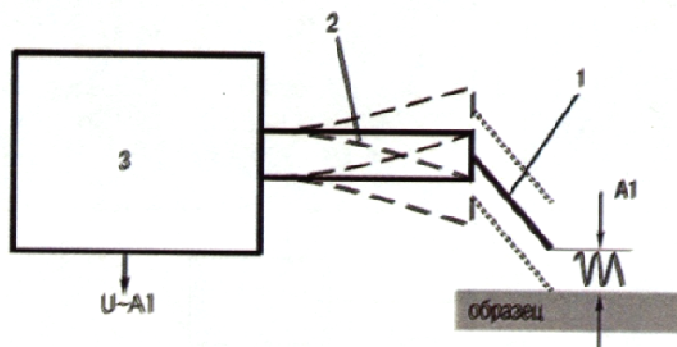


Рис. 13.6. Схема принципа регистрации силового взаимодействия

К пьезовибратору подводится переменное электрическое напряжение с частотой, равной резонансной частоте электромеханической системы кантилевер-зонд. Кантилевер колеблется вокруг равновесного положения. Амплитуда колебаний при этом максимальна. Как видно из рис. 13.6, в процессе колебаний зонд отклоняется от равновесного положения на величину  $A_1$ , равную амплитуде его вынужденных механических колебаний (она составляет доли микрона). При этом на второй части пьезоэлемента (датчике колебаний) возникает переменное электрическое напряжение, пропорциональное смещению зонда.

При приближении зонда к поверхности образца зонд начинает касаться образца в процессе колебаний. Степень взаимодействия зонда с поверхностью образца увеличивается, а амплитуда колебаний уменьшается на величину  $\Delta A$  (см. рис. 13.6).

Для регистрации туннельного тока необходимо приложить разность потенциалов между проводящим образцом и проводящим зондом (рис. 13.7).

Преобразователь, изображенный на рис. 13.7, вырабатывает электрическое напряжение  $U_T$ , обуславливающее протекание туннельного тока  $I$ , и выдает напряжение  $U$ , пропорциональное этому току в электронный блок.

При использовании СЗМ NanoEducator в качестве СТМ заземленная игла датчика силового взаимодействия служит зондом СТМ.

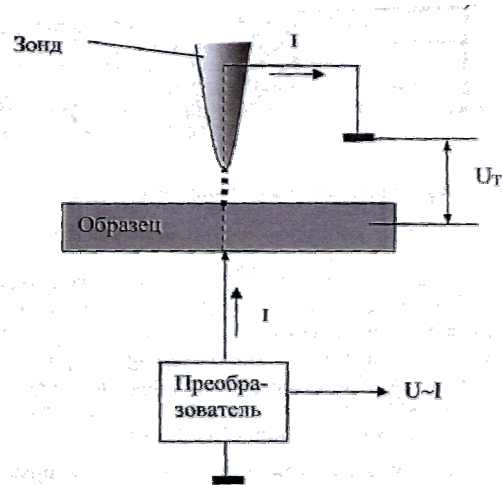


Рис. 13.7. Схема принципа регистрации туннельного тока

Сканер - это устройство, перемещающее образец по трем пространственным координатам:

X, Y – для перемещения в плоскости образца,

Z – для перемещения в перпендикулярном к плоскости образца направлении, под воздействием следящей системы (рис. 13.8).

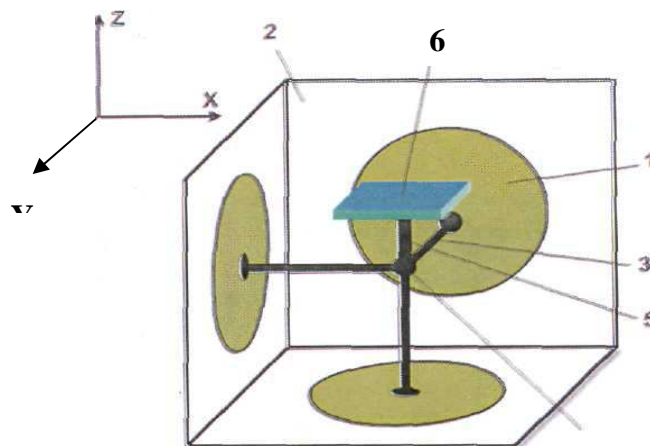


Рис. 13.8. Конструкция сканера:

1 - пьезоэлемент; 2 - корпус; 3 - толкатель;

4 - точка соединения толкателей; 5 - стойка; 6 - держатель образца

Три пьезоэлемента 1 закреплены на гранях корпуса сканера 2, имеющего кубическую форму. Каждый пьезоэлемент может передвигать прикрепленный к нему толкатель 3 в одном из трех взаимно перпендикулярных направлений - X, Y или Z при приложении к нему электрического поля (напряжения). Как видно из рис. 13.8, все три толкателя соединены в одной точке 4. С некоторым приближением можно считать, что эта точка перемещается по трем координатам X, Y, Z. К этой же точке прикрепляется стойка 5 с держателем образца 6. Таким образом, образец перемещается

по трем координатам под действием трех независимых источников напряжения.

В NanoEducator максимальное перемещение образца по осям X и Y составляет около 70 мкм, что и определяет максимальную площадь сканирования в горизонтальной плоскости. Диапазон перемещений сканера по оси Z составляет до 10 мкм, поэтому необходимо первоначально приблизить образец к зонду на это расстояние. Для этого предназначен механизм подвода рис. 13.9.

Шаговый двигатель 1 при подаче на него электрических импульсов вращает винт подачи 2 и перемещает планку 3 с зондом 4, приближая или отдаляя его от образца 5, установленного на сканере 6. Величина одного шага составляет около 2 мкм.

На рис. 13.10 изображена функциональная схема системы обратной связи, которая поддерживает постоянным среднее значение величины взаимодействия зонд-образец.

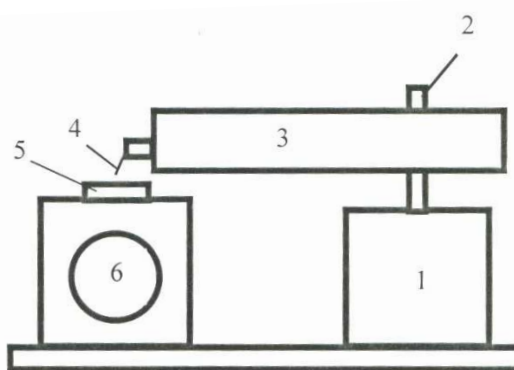


Рис. 13.9. Схема механизма подвода:  
1 – шаговый двигатель; 2 – винт перемещения; 3 – перемещающаяся планка; 4 – зонд;  
5 – образец; 6 – сканер

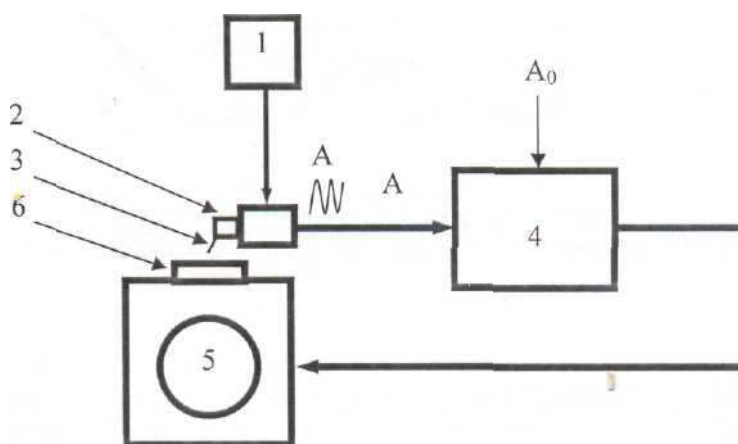


Рис. 13.10. Схема системы обратной связи:  
1 – генератор напряжения; 2 – датчик; 3 – зонд;  
4 – электронный блок управления; 5 – сканер; 6 - образец

При использовании СЗМ NanoEducator в конфигурации атомно-силового микроскопа (АСМ) постоянно включен генератор синусоидаль-

ного напряжения 1. Этим напряжением раскачивается на своей резонансной частоте датчик силового взаимодействия 2 с закрепленным на нем зондом 3. Когда зонд взаимодействует с образцом, на выходе датчика 2 появляется сигнал  $A$ , изменение амплитуды которого пропорционально изменению величины силового взаимодействия.

Система обратной связи устроена таким образом, чтобы пользователь мог задавать желаемую величину взаимодействия  $A_0$  по командам от компьютера. Сигнал  $A$  усиливается и преобразуется в электронном блоке управления 4. В блоке управления производится сравнение величины сигнала  $A$  с заданной пользователем постоянной величиной  $A_0$  (см. рис. 13.10). Блок управления выдает управляющее напряжение на сканер 5. Под действием этого напряжения образец 6 перемещается вверх или вниз по оси  $Z$ , при этом изменяется величина взаимодействия зонд-образец и средняя амплитуда сигнала  $A$ . Движение образца сканером по оси  $Z$  происходит до тех пор, пока величина сигнала  $A$  не достигнет заданного значения  $A_0$ . В результате среднее значение взаимодействия поддерживается на постоянном уровне.

Аналогичным образом система обратной связи работает и в конфигурации туннельного микроскопа, с той разницей, что при отключенном генераторе между образцом и зондом прикладывается постоянное напряжение смещения, а входным сигналом для электронного блока 4 является сигнал от датчика туннельного тока.

В СЗМ NanoEducator перед началом работы зонд находится достаточно далеко от образца и взаимодействие зонд-образец отсутствует. Однако система обратной связи включена, и электронный блок управления выдает напряжение, заставляющее сканер поднять образец на максимально возможную высоту (около 10 мкм).

### 13.3. Рабочее задание

Для работы прибора необходимо установить требуемую величину расстояния зонд-образец. Соответствующую процедуру называют подводом зонда. Так как шаг механизма подвода значительно превосходит величину требуемого расстояния зонд-образец, то во избежание деформации зонда его подвод осуществляется при одновременной работе шагового двигателя и перемещениям сканера по оси  $Z$  по следующему алгоритму:

- система обратной связи отключается и сканер «втягивается», т. е. опускает образец в нижнее крайнее положение;
- механизм подвода зонда производит один шаг и останавливается;
- система обратной связи включается, и сканер плавно поднимает образец, одновременно производится анализ наличия взаимодействия зонд-образец;
- если взаимодействие отсутствует, процесс повторяется с пункта 1;
- если во время вытягивания сканера вверх появится ненулевой сигнал взаимодействия, система обратной связи остановит движение сканера



вверх и зафиксировывает величину взаимодействия на заданном уровне.

Диапазон перемещения образца сканером по оси Z превышает шаг механизма грубого подвода, поэтому силовое взаимодействие возникает не во время движения механизма, а при работе системы слежения в промежутках между шагами.

### **Техническая спецификация оборудования NanoEducator**

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды  $25 \pm 5$  °C
- относительная влажность не более 60 %
- атмосферное давление  $760 \pm 30$  мм рт.ст.
- электрическая сеть напряжением 220 В
- частотой 50 Гц
- заземление

- рабочее помещение должно быть защищено от механических вибраций и акустических шумов

- электрический блок должен быть защищен от воздействия прямых солнечных лучей.

В табл. 13.1 представлены основные параметры сканирующего зондового микроскопа NanoEducator.

Таблица 13.1

Основные параметры СЗМ NanoEducator

<b>Параметры</b>	<b>Количественные характеристики</b>
Режимы сканирования	АСМ, СТМ, литография
Область сканирования	70×70×10 мкм
Пространственное разрешение X-Y Z	~ 50 нм ~ 2 нм (зависит от радиуса кривизны зонда)
Нелинейность сканера	5 %
Минимальный шаг сканера	10 нм
Ток сканирования	100-200 нА
Радиус кривизны зонда	10-100 нм
Время сканирования	30-40 мин (зависит от площади сканирования)
Время выхода на рабочий режим (время настройки)	не более 10 мин
Размер исследуемого образца	12×12 мм
Высота образца	не более 5 мм

### **13.4. Выводы**

Опишите принцип работы СЗМ NanoEducator.

Опишите общую конструкцию прибора СЗМ NanoEducator.

Объясните конструкцию зондового датчика туннельного тока/силового взаимодействия прибора NanoEducator.

### **13.5. Контрольные вопросы**

1. Дайте описание механизма подвода зонда к образцу.
2. Назовите основные параметры СЗМ NanoEducator.

Литература: [12 – гл. 2].

## **Работа 14. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

### **14.1. Цель работы**

- Получить СЗМ изображение поверхности объекта.
- Освоить навыки обработки и представления экспериментальных результатов.

### **14.2. Общие теоретические сведения**

Исследование поверхности твердых тел является одной из важнейших задач современного материаловедения. Необходимость в этом возникла, с одной стороны, в связи с переходом современной технологии на субмикронный уровень. Поверхностные свойства материала, а не объемные стали играть определяющую роль при взаимодействии с другими материалами.

Поверхность и происходящие на ней явления представляют интерес и с точки зрения фундаментальных наук (химия, физика), поскольку атомная структура кристалла, то есть расположение и свойства его решеточных слоев вблизи поверхности, совершенно иная, чем в объеме.

Для детального исследования поверхности твердых тел существует много разнообразных методов. Микроскопия как средство получения увеличенного изображения зародилась еще в XV в., когда впервые были изготовлены простые увеличительные стекла для изучения насекомых. В конце XVII в. Антонио ван Левенгук изготовил оптический микроскоп, который позволял установить существование отдельных клеток, болезнетворных микробов и бактерий. Уже в XX веке были разработаны методы микроскопии с помощью электронных и ионных пучков.

Во всех описанных методах применяется следующий принцип: освещение исследуемого объекта потоком частиц и последующее преобразование. В сканирующей зондовой микроскопии использован другой принцип: вместо зондирующих частиц используется механический зонд, игла. Образно выражаясь, если в оптическом или электронном микроскопах образец осматривается, то в СЗМ - ощупывается.

Другим важным принципом, отраженным в названии метода СЗМ, является принцип сканирования, т.е. получение не усредненной информации об объекте исследования, а дискретное (от точки к точке, от линии к линии) перемещение зонда и считывание информации в каждой точке.

### **14.3. Рабочее задание**

Получение изображения и обработка экспериментальных данных выполняется студентом или группой студентов на одном приборе под присмотром преподавателя. В качестве образцов для исследования могут ис-

пользоваться тестовые образцы или любые другие по выбору преподавателя.

*Общий порядок выполнения работы состоит из следующих этапов:*

✓ Знакомство с основами сканирующей зондовой микроскопии и с конструкцией СЗМ NanoEducator (см. работу №13).

✓ Знакомство с программой управления прибором NanoEducator.

✓ Получение первого изображения (установка зонда и образца, выбор места сканирования, подвод зонда, выбор параметров сканирования).

✓ Обработка и анализ полученного изображения (способ представления результатов, количественные характеристики изображения).

✓ Составление отчета о работе (сведения о методе СЗМ, описание используемого образца, анализ экспериментальных результатов и выводы по работе).

Управление прибором NanoEducator осуществляется автоматически с помощью компьютера при отсутствии сложных юстировок и настроек. Вручную производится только установка образца и первоначальный подвод зонда. Работа с прибором проста, позволяет использовать видеокамеру для визуального контроля состояния зонда и поверхности образца, удобный программный интерфейс в *Apple Mac* обеспечивает многофункциональность и возможность просмотра и обработки данных одновременно с процессом сканирования образца.

Проведение эксперимента осуществляется в следующей последовательности:

- включается прибор и вызывается программа NanoEducator;
- устанавливается образец и затем устанавливается датчик с зондом;
- выбирается режим сканирования (атомно-силовая микроскопия АСМ, сканирующая туннельная микроскопия СТМ, спектроскопия и литография);

- выбирается участок для сканирования;
- предварительно подводится зонд вручную;
- осуществляется поиск резонанса и установка рабочей частоты (только для режима АСМ);

- автоматически подводится зонд;
- выбираются параметры сканирования, и производится сканирование.

Информация, полученная с помощью сканирующего зондового микроскопа, хранится в виде СЗМ кадра – матрицы, имеющей размер 200×200 или 300×300 элементов. Визуализация СЗМ кадров производится средствами компьютерной графики, в основном в виде цветных двухмерных (2D) или трехмерных (3D) изображений. При 2D визуализации каждой точке поверхности присваивается цвет определенного тона в соответствии с высотой точки поверхности. При 3D визуализации изображение поверхности

строится в аксонометрической перспективе, что дает возможность подчеркнуть отдельные особенности рельефа.

Оценка полученного изображения может характеризоваться морфологией поверхности, которая описывается сложным рельефом с большим количеством пиков и впадин (рис. 14.1, а) или простым спокойным рельефом без явных перепадов высот (рис. 14.1, б).

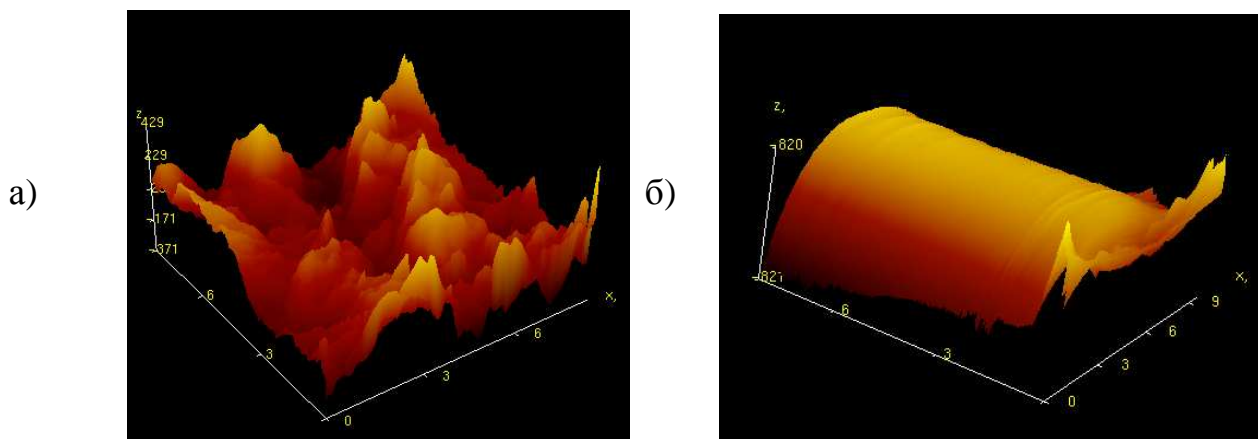


Рис. 14.1. Пример 3D изображения поверхности, полученной с помощью СЗМ NanoEducator:

- а) поверхность со сложным рельефом;*
- б) поверхность со спокойным рельефом*

Также полученное изображение поверхности может характеризоваться количественными параметрами: площадью сканирования, перепадом высот на этой площади, степенью шероховатости поверхности и другими. При необходимости существует возможность дополнительной обработки и количественного анализа изображения.

#### 14.4. Выводы

Дайте качественную и количественную интерпретацию 3D-изображения, полученного в ходе работы.

#### 14.5. Контрольные вопросы

1. Опишите алгоритм регистрации двухмерного изображения поверхности.
2. Опишите алгоритм регистрации 3D изображения.

Литература: [12 – гл. 2].

## Работа 15. ИЗУЧЕНИЕ МИКРОФЛОРЫ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

### 15.1. Цель работы

- Получить изображение поверхностей микробиоценозов водных сред.
- Освоить навыки обработки и представления экспериментальных результатов.

### 15.2. Общие теоретические сведения

В воде могут встречаться следующие микроорганизмы:

1. Бактерии палочковидной формы с выростом, оканчивающимся «почкой». По форме эти клетки относятся к группе «Почкующиеся или обладающие выростами бактерии». Например, вид *Prostecobacter fusiformis*:, представляющий собой клетки веретеновидной или вибриоидной формы,  $0,5 \div 0,9 \times 2 \div 5$  мкм без учета выростов. Каждая клетка образует хотя бы одну полярную простеку. Простеки  $0,1 \div 0,2$  мкм в диаметре, плавно сужаются от полюса клетки, но с утолщением на конце. Хорошо растут на среде, содержащей  $\leq 0,1$  % органического вещества. Температура роста от 1 до 40 °С. Обнаруживаются в воде, почве и сточных водах.

2. Микроорганизмы, изогнутые и замкнутые в характерные кольца, образующие цепочки по форме тела и диаметру завитка, относятся к группе «Неподвижные грамотрицательные изогнутые бактерии», например, виды *Ancylobacter aquaticus* или *Runella slithyformis*. Для более точной идентификации требуется применение дополнительных методов, например, биохимических тестов.

3. Вытянутые микроорганизмы спиралевидной формы, которые относятся к группе «Спирохет». Верхним покровом спиралевидной клетки служит многослойная наружная мембрана, покрывающая протоплазматический цилиндр – цитоплазму с ядерной оболочкой, окруженную цитоплазматической мембраной и клеточной стенкой. Вокруг спирально закрученного протоплазматического цилиндра обвиты периплазматические жгутики. Жгутики служат компонентами двигательного аппарата клетки. В отличие от жгутиков других бактерий, периплазматические жгутики спирохет обвиты вокруг тела клетки и, будучи окружены наружной мембраной, локализованы полностью внутри клетки, например, это микроорганизмы *Spirocheta plicatilis* – спиралевидные клетки диаметром  $0,2 \div 0,75$  мкм и длиной  $5 \div 250$  мкм, обитающие в водных средах.

При санитарно-микробиологических исследованиях воды определяют микробное число - количество микробов в 1 мл воды; коли-титр - наименьшее количество или наибольшее разведение воды, в котором еще обнаруживается кишечная палочка; коли-индекс - число кишечных палочек в 1 л воды.

### 15.3. Рабочее задание

Получение изображения и обработка экспериментальных данных выполняется студентом или группой студентов на одном приборе под присмотром преподавателя. В качестве образцов для исследования могут использоваться тестовые образцы или любые другие по выбору преподавателя.

1. Выберите и подготовьте самостоятельно биологические образцы для исследований с помощью сканирующей зондовой микроскопии.

2. Используя систему оптического контроля NanoEducator, выберите участок поверхности образца и получите несколько обзорных сканов размерами  $70 \times 70$  мкм в режиме атомно-силовой микроскопии.

3. Выберите на полученном изображении один из микроорганизмов или простейшее и проведите сканирование поверхности с применением метода фазового контраста (режим сканирования АСМ+фаза).

4. Проведите обработку и анализ полученных изображений, постарайтесь идентифицировать полученные бактерии, простейшие или водоросли.

Пробы воды налейте в чашки Петри, на дно которых предварительно поместите чистые обезжиренные покровные стекла, экспозиция 1 - 2 недели. Чашки Петри закройте и инкубируйте при температуре от 17 до 22 °С. Затем извлеките стекла и аккуратно промойте несколько раз, опуская препарат в стакан с дистиллированной водой. Высушите покровные стекла при комнатной температуре.

Затем проводите обзорные сканирования в нескольких участках препарата, поскольку микробиота воды отличается необычайным разнообразием.

**Дистиллированная вода.** На рис. 15.1-15.2 представлены примеры сканированных изображений препаратов, полученных из дистиллированной воды при инкубации в течение 1 и 2 недель.

На препаратах из дистиллированной воды могут встречаться микроорганизмы 4-х типов:

- микроорганизмы палочковидной формы с выростом;
- кольцеобразные микроорганизмы, лежащие цепочками;
- отдельно лежащие клетки правильной палочковидной формы;
- вытянутые микроорганизмы спиралевидной формы.

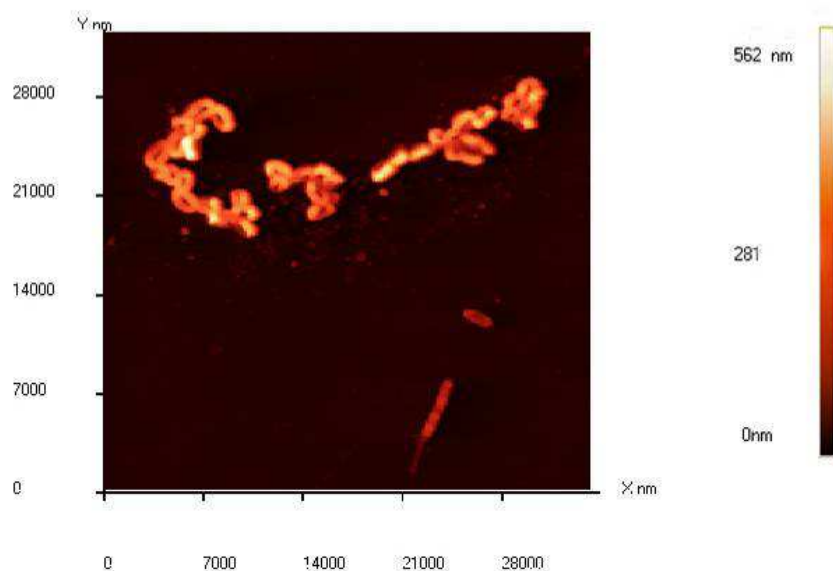


Рис. 15.1. Обзорное сканированное изображение препарата полученного из дистиллированной воды. Инкубация – 1 неделя

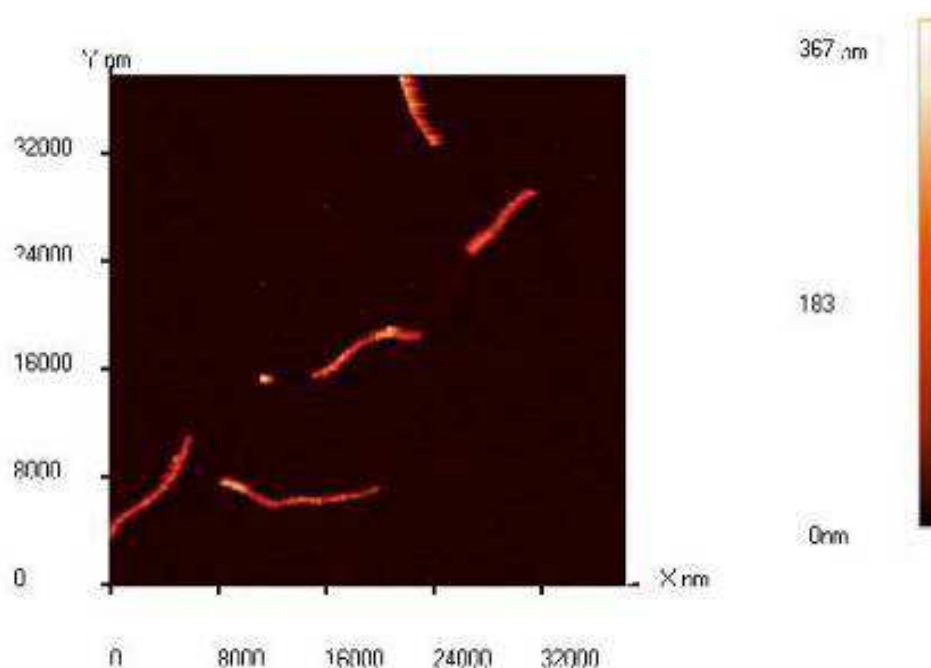


Рис. 15.2. Обзорное сканированное изображение препарата полученного из дистиллированной воды. Инкубация – 2 недели

Для определения типа микроорганизма нужно оценить его размеры и морфологию. Для этого уменьшите размер области сканирования и просканируйте каждый из микроорганизмов. После чего, перейдя к просмотру полученных сканов с помощью программы Scan View и используя инструменты в данной программе для обработки данных, оцените размеры клеток. Результаты измерений внесите в табл. 15.1.

Таблица 15.1

№ образца	СЗМ-изображение	Форма и размер микроорганизмов
1		
2		
...		

Убедитесь в том, что найденная в дистиллированной воде микробиота представлена преимущественно бактериальными формами. Для определения групповой и видовой принадлежности бактерий воспользуйтесь определителем Берджи. С помощью сканирующего зондового микроскопа можно увидеть уникальные морфологические структуры бактерий и точно определить их размеры, что позволяет в классификации использовать преимущественно бактериальную морфологию (форму и размеры бактерий).

#### 15.4. Выводы

Дайте интерпретацию полученных вами изображений.  
Определите вид бактерий.

#### 15.5. Контрольные вопросы

1. Назовите основные разновидности СЗМ.
2. Опишите основные методы работы АСМ и их назначение.
3. Какие преимущества дают СЗМ исследования биологических объектов.

Литература: [11, 12 – гл. 1, 2, 13].

#### Заключение

Дисциплина «Концепции современного естествознания» позволяет студентам, обучающимся по всем направлениям, получить знания основных законов развития природы, сформировать личное мировоззрение, чтобы принимать правильные решения в различных ситуациях. Содержимое данного учебного пособия позволяет:

- освоить некоторые аспекты дисциплин естественнонаучного цикла (химии, биологии, физики);
- ознакомиться с методиками определения физических, химических характеристик объектов материального мира;
- познакомиться с современными методами и методиками диагностики поверхностей, изучаемых не только на макро-, микро- и мезо-, но и на наноструктурном масштабном уровне материи.



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торосян В.Г. Концепции современного естествознания: Учебное пособие. – М.: Высшая школа. – 2002. – 208с.
2. Горелов А.А. Концепции современного естествознания: Курс лекций. – М.: Центр. – 2003. – 208с.
3. Горохов В.Г. Концепции современного естествознания и техники: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М. – 2000. – 608с.
4. Грушевицкая Т.Г., Садохин А.П. Концепции современного естествознания: Учебное пособие. – М.: Высшая школа. – 1998. – 383с.
5. Лавриненко В.Н., Ратников В.П. Концепции современного естествознания: Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ – ДАНА, 2001. – 303с.
6. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания: Учебник. – М.: Высшая школа. – 2001. – 334с.
7. Коровин Н.В. Общая химия: Учеб. для технических направ. и спец. вузов. – М.: Высшая школа. – 2000. – 558с.
8. Глинка Н.Л. Общая химия. – Л.: Химия. – 2010. – 886с.
9. Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. Практикум: Учебное пособие. – М.: Высшая школа. – 2004. – 327с.
10. Бухман С.В., Головинский П.А. Практикум по физике для фронтального выполнения с элементами программирования: Учебное пособие / ВГАСУ. Воронеж. – 2000. – 202с.
11. Аналитическая химия. Проблемы и подходы: В 2 т: Пер. с англ. / Под ред. Р. Кельнера, Ж.-М.-Мерме, М. Отто, Г.М. Видмер. Москва: Мир, ООО «Издательство АСТ», 2004. – Т.2. – 728 с.
12. В.Л. Миронов. Основы сканирующей зондовой микроскопии. Москва: Техносфера, 2005. – 144 с.
13. Сканирующая зондовая микроскопия, спектроскопия и литография. – учеб. пособ. (для программ. обеспеч. под Mac OS X) ЗАО «НТ-МДТ». – М., Зеленоград, 2008. – 152 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ В ЛАБОРАТОРИИ И ПРАВИЛА РАБОТЫ С ПРИБОРАМИ.....	3
Работа 1 Генезис минеральных систем.....	4
Работа 2 Вода как фактор единства и движения материи.....	9
Работа 3 Органические соединения в эволюционной цепи материального мира.....	13
Работа 4 Термодинамические основы развития химических процессов.....	18
Работа 5 Кинетические методы управления химическими процессами.....	22
Работа 6 Диссипативные силикатные системы как пример процесса самоорганизации веществ.....	27
Работа 7 Структурные уровни биосферы и взаимодействие между ними.....	31
Работа 8 Определение плотности твердого тела.....	35
Работа 9 Исследование плоского электростатического поля.....	40
Работа 10 Определение горизонтальной составляющей магнитного поля земли и магнитного момента постоянного магнита...	44
Работа 11 Изучение закономерностей колебаний математического маятника.....	48
Работа 12 Изучение дифракции света на дифракционной решетке...	52
Работа 13 Знакомство с основами сканирующей зондовой микроскопии.....	56
Работа 14 Исследование поверхности твердого тела.....	66
Работа 15 Изучение микрофлоры воды с помощью сканирующей зондовой микроскопии.....	68
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	73

Учебное издание

**О.В. Артамонова, Л.Г. Барсукова, О.Б. Кукина**

**КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ.  
ПРАКТИКУМ**

*Под общей редакцией П.А. Головинского*

**для студентов, обучающихся по направлениям  
521500 – «Менеджмент», 220600 – «Инноватика»**

Подписано в печать\_\_\_\_\_. Формат 60×84 1/16. Уч.-изд. л. 4,8.  
Усл.-печ. л. 4,8. Бумага писчая. Тираж 110 экз. Заказ №\_\_\_\_\_.

---

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной литературы и учебно-методических пособий Воронежского государственного архитектурно-строительного университета  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84