

Министерство образования Республики Беларусь  
Брестский политехнический институт  
Кафедра инженерной экологии и химии

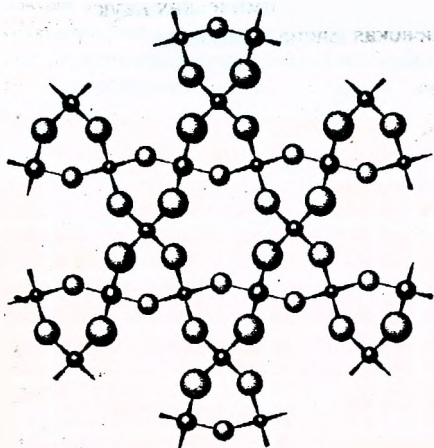
## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным и практическим работам  
курса «Общая химия» по теме:

### «Химия кальция и кремния»

для студентов специальности

Т.19.02 «Производство строительных изделий и конструкций»



БРЕСТ  
1999

УДК 546.28 + 546.41

Методические указания содержат основные сведения о химических свойствах кальция и кремния и использовании их соединений в строительной промышленности. В практической части описаны опыты к лабораторной работе и правила техники безопасности при ее выполнении. Указания содержат контрольные задания и список рекомендуемой литературы.

Составители: Строкач П.П., к.т.н., профессор;  
Халецкий В.А., ассистент;  
Гулевич А.Л., доцент;  
Подолец Л.А., ст. преподаватель

Рецензенты: Белорусский государственный университет,  
Химический факультет,  
Кафедра неорганической химии  
Заведующий кафедрой, профессор, доктор химических наук,  
академик Национальной академии наук Беларуси  
Свиридов Вадим Васильевич,  
доцент, кандидат химических наук  
Василевская Елена Ивановна

## ВВЕДЕНИЕ

Необходимость детального изучения соединений кальция и кремния обусловлена той огромной ролью, которую выполняют эти вещества в живой и неживой природе, в хозяйственной деятельности человека.

Во-первых, кремний и кальций относятся к наиболее распространенным элементам. Кремний занимает второе, а кальций пятое место по содержанию в земной коре (рис. 1.1). Известно более 400 минералов, содержащих кальций, число кремнийсодержащих минералов еще больше.

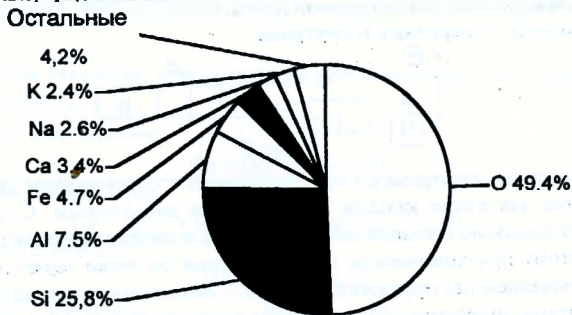


Рис. 1.1 Содержание различных элементов в земной коре (масс. %).

Во-вторых, кальций и кремний относятся к биогенным элементам, то есть они необходимы для нормального роста и развития человека, животных, растений и микроорганизмов. Кремний является структурным элементом соединительной ткани, играет существенную роль в метаболизме многих растений и микроорганизмов. Очень важна биохимическая роль кальция. Его содержание в человеческом организме превышает суммарное содержание всех остальных металлов. Кальций является компонентом костей и зубов, регулирует функции нервной и мышечной ткани.

В-третьих, кальций и кремний как в индивидуальном виде, так и в виде химических соединений широко используются в различных сферах промышленности. Кремний является ведущим современным полупроводниковым материалом. Кроме того, он применяется для легирования стали, получения отдельных сортов бронз, изготовления солнечных батарей. Кальций и его соединения используются для получения ацетилена, хлорной извести, удобрений, ряда сплавов, обладающих ценными эксплуатационными свойствами. Мировое производство кальция и материалов на его основе составляет около 1 миллиарда тонн в год. Однако главная область применения соединений кальция и кремния - строительная промышленность. Соединения Ca и Si являются основным сырьем для производства вяжущих веществ, керамики, стекла, и, несмотря на возрастающую конкуренцию со стороны полимеров, вряд ли в ближайшем будущем будут полностью вытеснены с рынка строительных материалов.

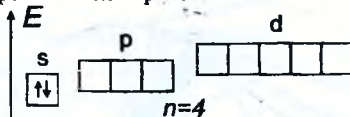
# 1. ХИМИЯ КАЛЬЦИЯ

20
<b>Ca</b>
Calcium

Кальций (лат., англ. -calcium)  
Относительная атомная масса - 40.078  
Ковалентный радиус - 0.174 нм  
Первый потенциал ионизации - 6.1131 В

## 1.1. Кальций. Электронное строение атома

Кальций является элементом II группы 4-го периода Периодической системы элементов и имеет электронную конфигурацию атома  $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6 4s^2$ . На внешнем электронном слое находится 2 спаренных s-электрона:



Переход одного электрона с s на p подуровень с образованием двух ковалентных связей является для атома кальция энергетически невыгодным. С другой стороны, кальций имеет довольно большой атомный радиус и низкие значения потенциалов ионизации. Поэтому при химическом взаимодействии он легко теряет валентные электроны с образованием двухзарядного иона  $Ca^{2+}$ . Химическая связь кальция в соединениях с элементами, имеющими более высокое значение электроотрицательности, будет иметь ионный характер.

Ионы  $Ca^{2+}$  большого размера и имеют стабильную электронную конфигурацию ( $1s^2 2s^2 p^6 3s^2 p^6$  - полностью завершённый 3-ий электронный слой). Это приводит к малой устойчивости комплексов кальция с неорганическими лигандами.

## 1.2. Кальций. Физические и химические свойства

Физические свойства
<b>Внешний вид и механические свойства:</b> белый блестящий металл, на воздухе быстро покрывается желтоватой пленкой, состоящей из продуктов взаимодействия кальция с составными частями воздуха ( $CaO$ , $Ca(OH)_2$ , $CaCO_3$ , $Ca_3N_2$ и др.); характеризуется довольно высокой твердостью.
<b>Структура:</b> при нормальных условиях наиболее устойчивой аллотропной модификацией является модификация с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой.
Температура плавления, $T_{пл}$ : 839 °C
Температура кипения, $T_{кип}$ : 1484 °C
Плотность, $\rho$ : 1.54 кг/см <sup>3</sup>
Проводимость: хороший проводник электрического тока; удельное электрическое сопротивление 0.038 мкОм·м.

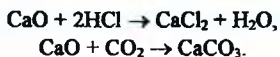
<i>Химические свойства</i>	
Кальций - типичный металл. Проявляет высокую химическую активность при нормальных условиях. Реакции сопровождаются выделением большого количества тепла. Кальций вытесняет водород из воды и разбавленных кислот. В обычных условиях взаимодействует с кислородом, галогенами. С менее активными неметаллами (азот, сера, селен, водород и др.) реакция происходит при умеренном нагревании. Кальций - сильный восстановитель. Его соединения обладают исключительно основными свойствами.	
<i>Электроотрицательность по Олледу-Рохову:</i> 1.04	
<i>Степени окисления:</i> 0 (Ca) +2 ( <i>Степень окисления, которую проявляет кальций во всех своих соединениях:</i> CaO, CaCO <sub>3</sub> , Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> и др.)	
<i>Взаимодействие с кислородом:</i> $\text{Ca} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CaO}$	
<i>Взаимодействие с галогенами:</i> $\text{Ca} + \text{Hal}_2 \rightarrow \text{CaHal}_2, \text{ где Hal}_2 = \text{F}_2, \text{Cl}_2, \text{Br}_2, \text{I}_2$	
<i>Взаимодействие с азотом:</i> $3\text{Ca} + \text{N}_2 \rightarrow \text{Ca}_3\text{N}_2$	
<i>Взаимодействие с углеродом:</i> $\text{Ca} + 2\text{C} \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{CaC}_2$	
<i>Взаимодействие с водородом:</i> $\text{Ca} + \text{H}_2 \xrightarrow{t} \text{CaH}_2$	
<i>Взаимодействие с водой:</i> $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\uparrow$	
<i>Взаимодействие с кислотами:</i> Кальций энергично взаимодействует с минеральными кислотами: $\text{Ca} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$ При взаимодействии кальция с кислотами-окислителями протекает их восстановление: $4\text{Ca} + 10\text{HNO}_3(\text{разб}) \rightarrow 4\text{Ca(NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	
<i>Взаимодействие с металлами:</i> кальций образует непрерывные твердые растворы со стронцием и барием; с s- и p- металлами и цинком кальций образует интерметаллические соединения.	

### 1.3. Химические свойства важнейших соединений кальция

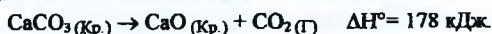
**Оксид кальция (CaO).** *Негашеная (ожженная) известь.* Тугоплавкое, термически устойчивое кристаллическое вещество белого цвета. Гигроскопичный. Энергично взаимодействует с водой с образованием гидроксида кальция и выделением большого количества тепла:



Оксид кальция проявляет основные свойства, взаимодействуя с кислотами и кислотными оксидами:

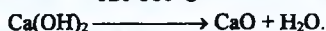


Промышленное получение оксида кальция основано на термическом разложении карбоната кальция:



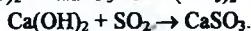
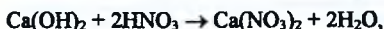
Реакцию ведут при температуре 800-900°C.

**Гидроксид кальция (Ca(OH)<sub>2</sub>).** *Гашеная известь.* Кристаллическое вещество белого цвета. При нагревании разлагается без плавления:



Плохо растворим в воде (IP=5.5·10<sup>-6</sup>) с образованием слабощелочного раствора (в насыщенном растворе pH=12). Растворимость гидроксида кальция с ростом температуры уменьшается.

Проявляет основные свойства, взаимодействуя с кислотами и кислотными оксидами:



Поглощает углекислый газ из воздуха:



Получают гидроксид кальция путем взаимодействия оксида кальция с водой.

**Карбонат кальция (CaCO<sub>3</sub>).** *Кальцит.* Белое вещество. При нагревании разлагается с образованием оксида кальция и углекислого газа. Практически нерастворим в воде (IP=4.8·10<sup>-9</sup>). Разлагается кислотами:



Переводится в раствор под воздействием углекислого газа:



В результате образуется легкорастворимый в воде гидрокарбонат кальция. Данная реакция протекает при углекислотной коррозии цементного камня, мрамора и приводит к разрушению изделий из них.

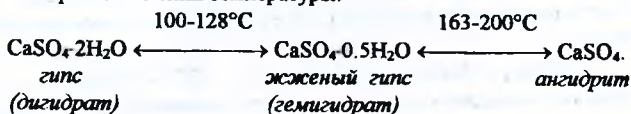
Карбонат кальция широко распространен в природе в виде минерала кальцита и его разновидностей: известкового шпата, известняка, мрамора, мела. Кроме того, карбонат кальция является составной частью доломита CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Мрамор, известняк, доломит находят большое применение в строительстве в качестве облицовочных и архитектурно-строительных материалов. В частности из них выполняются плиты для внутренней и внешней облицовки, настила полов, лестничных ступеней, изготавливаются колотые детали для внешней отделки зданий.

**Сульфат кальция (CaSO<sub>4</sub>).** *Гипс.* Белое гигроскопичное вещество. Термически стойкий. При плавлении разлагается:

1450°C



В обычных условиях образует кристаллогидрат состава CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, который обезвоживается при повышении температуры:



Плохо растворим в воде (IP=6.1·10<sup>-3</sup>).

Сульфат кальция в виде минералов гипса и ангидрита распространен в природе.

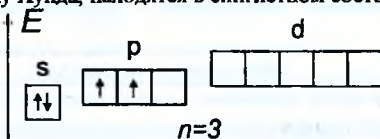
## 2. ХИМИЯ КРЕМНИЯ

14	<b>Si</b> Silicium
----	-----------------------

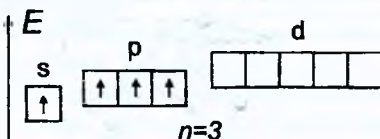
Кремний (лат. - silicium, англ. - silicon)  
 Относительная атомная масса - 28.0855  
 Ковалентный радиус - 0.118 нм  
 Первый потенциал ионизации - 8.1517 В

### 2.1. Кремний. Электронное строение атома

Кремний является элементом IV группы 3-го периода Периодической системы элементов Менделеева. Электронная конфигурация атома кремния  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ . На внешнем электронном слое находится 4 валентных электрона, два из них спарены, два других, согласно правилу Хунда, находятся в синглетном состоянии:



При возбуждении атома кремния происходит переход одного s-электрона на p-подуровень:



Наличие четырех неспаренных электронов дает возможность образования четырех химических связей. Энергия, которая затрачивается на возбуждение атома, компенсируется энергией, выделяющейся при образовании двух дополнительных ковалентных связей. Наиболее характерным координационным числом для кремния является 4. В соединениях атом этого элемента находится в состоянии  $sp^3$ -гибридизации, что соответствует тетраэдрическому расположению химических связей.

Сравнительно большой атомный радиус элемента приводит к низкой прочности связи Si-Si (табл. 2.1). По этой же причине затруднено перекрывание p-электронных облаков атомов кремния, в отличие от атомов элементов 2-го периода, что делает невозможным образование устойчивых кратных связей Si=Si и Si≡Si (рис. 2.1).

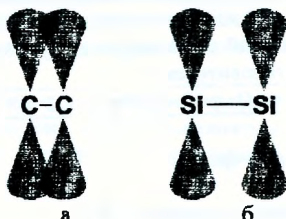


Рис. 2.1 Способность к образованию  $\pi_{pp}$  связи для элементов 2-го и 3-го периодов: а) углерод, межатомное расстояние невелико, происходит перекрывание p-электронных облаков; б) кремний, межатомное расстояние велико, перекрывание p-электронных облаков не происходит.

Наличие вакантных d-орбиталей у атомов кремния оказывает значительное влияние на свойства элемента. Во-первых, кремний может образовывать соединения с координационным числом равным 6, например  $[\text{SiF}_6]^{2-}$ . Во-вторых, для кремния характерно образование соединений по  $\pi$ -дативному механизму, когда неподеленные электронные пары атома-партнера (O, N, F, Cl и др.) взаимодействуют с вакантными орбиталями атома кремния. По этой причине прочность химических связей Si-O, Si-N, Si-F, Si-Cl очень велика (табл. 2.1).

**Таблица 2.1** Прочность некоторых химических связей, образованных кремнием.

Химическая связь	Si-Si	Si-O	Si-N	Si-F	Si-Cl
Энергия связи, кДж/моль	176.6	445.1	330.8	567.7	382.4

## 2.2. Кремний. Физические и химические свойства

<b>Физические свойства</b>	
<i>Внешний вид и механические свойства:</i> серебристо-серое вещество с металлическим блеском, характеризуется высокой твердостью и хрупкостью.	
<i>Структура:</i> при нормальных условиях наиболее устойчивой аллотропной модификацией является модификация с кубической алмазоподобной решеткой.	
	
<i>Температура плавления, <math>T_{пл}</math>:</i> 1410 °C	
<i>Температура кипения, <math>T_{кип}</math>:</i> 2355 °C	
<i>Плотность, <math>\rho</math>:</i> 2.328 г/см <sup>3</sup>	
<i>Проводимость:</i> ярко выражены полупроводниковые свойства, удельное электрическое сопротивление $2.3 \cdot 10^6$ мкОм·м.	
<b>Химические свойства</b>	
Кремний - типичный неметалл. В нормальных условиях химически инертен и взаимодействует только со фтором, растворами щелочей и смесью азотной и плавиковой кислот. Мелкоизмельченные образцы более реакционноспособны чем компактные кристаллы. Расплавленный кремний проявляет высокую химическую активность. Кремний является сильным восстановителем.	
<i>Электроотрицательность по Олреду-Похову:</i> 1.2	
<i>Степени окисления:</i> -4 ( $\text{SiH}_4$ , $\text{Mg}_2\text{Si}$ , $\text{Si}(\text{CH}_3)_4$ и др.) 0 (Si) +2 ( <i>нестабильная степень окисления</i> - SiO) +4 ( <i>наиболее характерная степень окисления</i> - $\text{SiF}_4$ , $\text{SiO}_2$ , $\text{K}_2\text{SiO}_3$ и др.)	
<i>Взаимодействие с кислородом:</i> 600°C $\text{Si} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SiO}_2$	



<i>Взаимодействие с галогенами:</i>	
$\text{Si} + 2\text{F}_2 \rightarrow \text{SiF}_4$ (реакция идет даже на холоду)	400°C
$\text{Si} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SiCl}_4$	400°C
$\text{Si} + 2\text{Br}_2 \rightarrow \text{SiBr}_4$	
<i>Взаимодействие с азотом:</i>	
$3\text{Si} + 2\text{N}_2 \rightarrow \text{Si}_3\text{N}_4$	1000°C
<i>Взаимодействие с углеродом:</i>	
$\text{Si} + \text{C} \rightarrow \text{SiC}$	2000°C
<i>Взаимодействие с водой:</i> При высоких температурах и давлении возможна реакция с водяным паром:	
$\text{Si} + 3\text{H}_2\text{O}_{(г)} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2 \uparrow$	t
<i>Взаимодействие с кислотами:</i> кремний не взаимодействует с минеральными кислотами. При нормальных условиях реагирует со смесью плавиковой (HF) и азотной (HNO <sub>3</sub> ) кислот:	
$3\text{Si} + 4\text{HNO}_3 + 18\text{HF} \rightarrow 3\text{H}_2[\text{SiF}_6] + 4\text{NO} + 8\text{H}_2\text{O}$	
Азотная кислота в данной реакции играет роль окислителя, а плавиковая кислота является комплексообразующей средой.	
<i>Взаимодействие со щелочами:</i> реакция происходит при нормальных условиях:	
$\text{Si} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2 \uparrow$	
<i>Взаимодействие с металлами:</i> при высоких температурах кремний взаимодействует с различными металлами, образуя множество <i>силицидов</i> различного состава (Ti <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> , TiSi, TiSi <sub>2</sub> , Mo <sub>3</sub> Si, Mo <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> , MoSi, MoSi <sub>2</sub> , Ca <sub>2</sub> Si, CaSi, CaSi <sub>2</sub> и др.).	

### 2.3. Кислородсодержащие соединения кремния

Отличительными особенностями, накладывающими отпечаток на всю химию кремния, является исключительно высокая прочность связей Si-O и способность кремния к образованию 4-х химических связей с тетраэдрической ориентацией. По этой причине основным структурным элементом большинства кислородсодержащих соединений кремния является тетраэдр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  с атомом кремния в центре и кислородными атомами по вершинам (рис. 2.2).

Такие тетраэдры способны существовать в индивидуальном виде, а, кроме того, они могут объединяться между собой за счет атомов кислорода с образованием сложных пространственных структур (рис. 2.3).

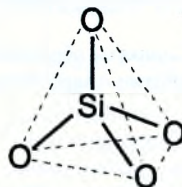


Рис. 2.2 Кремнийкислородный тетраэдр в составе  $\text{Na}_4\text{SiO}_4$ .

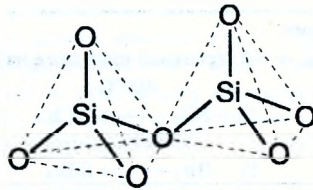
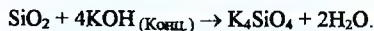


Рис. 2.3 Объединение двух кремнийкислородных тетраэдров с образованием дисиликат иона  $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ .

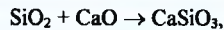
**Оксид кремния (IV) ( $\text{SiO}_2$ ).** *Кремнезем.* Является наиболее характерным и устойчивым кислородным соединением кремния. Имеет несколько модификаций, отличающихся между собой взаимным расположением кремнийкислородных тетраэдров. В природе  $\text{SiO}_2$  чаще всего встречается в виде минерала кварца (рис. 2.4). Особенностью структуры кварца является то, что тетраэдры соединены между собой в длинные спирали.

При высокой температуре (свыше  $1723^\circ\text{C}$ ) кремнезем плавится. При быстром охлаждении расплава образуется кварцевое стекло с беспорядочным расположением кремнийкислородных тетраэдров.

Диоксид кремния является типичным кислотным оксидом. При кипячении он растворяется в концентрированных растворах щелочей с образованием силикатов:

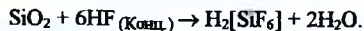


Силикаты образуются также при сплавлении кремнезема со щелочами, основными оксидами и карбонатами.



В отличие от многих кислотных оксидов диоксид кремния не взаимодействует с водой.

Характерной особенностью кремнезема является взаимодействие с плавиковой кислотой:



**Кремниевые кислоты ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ).** Белые, аморфные, стекловидные вещества, представляющие собой неорганические полимеры, основным структурным фрагментом которых является кремнийкислородный тетрадр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ . Молекулярная формула  $\text{H}_2\text{SiO}_3$  не отражает реального строения кремниевых кислот, поскольку кремний не образует устойчивых кратных связей  $\text{Si}=\text{O}$ . Поэтому более правильной является запись формулы в виде гидратированного диоксида кремния  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

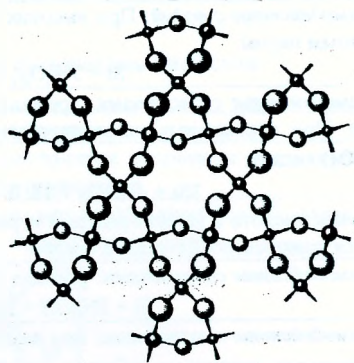
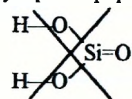


Рис. 2.4 Структура кварца.

Вид вдоль оси спирали (атомы кремния выделены темным цветом, атомы кислорода - светлым).



Кремниевые кислоты очень мало растворимы в воде и относятся к слабым кислотам. Термически неустойчивы и разлагаются при нагревании с отщеплением воды:



Получают кремниевые кислоты вытеснением из растворимых силикатов более сильными кислотами:

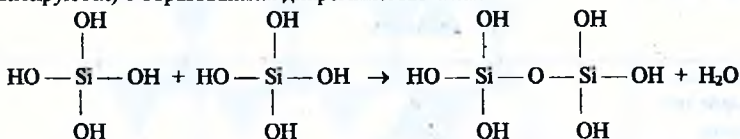


*ортосиликат натрия*

На первой стадии процесса образуется мономерная ортокремниевая кислота:



Молекулы ортокремниевой кислоты взаимодействуют друг с другом (конденсируются) с образованием дикремниевых кислот:



Образующиеся дикремниевые кислоты могут соединяться между собой с образованием длинных цепочек из тетраэдров  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и более сложных структур. Этот процесс приводит к образованию коллоидного раствора кремниевых кислот - гидрозоля, состав которого можно выразить формулой  $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_n$ . При стоянии кремниевые кислоты выпадают в виде студенистого осадка - силикагеля, имеющего формулу  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , где  $n < 2$ .

Кремниевые кислоты обладают малой реакционной способностью. Наиболее характерное их свойство - взаимодействие со щелочами:



**Силикаты.** Являются твердыми, бесцветными, тугоплавкими веществами. Большая их часть нерастворима в воде. Исключение составляют лишь силикаты щелочных металлов, из которых наибольшее значение имеет силикат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) - «растворимое стекло». Его водные растворы («жидкое стекло») имеют высокую вязкость и обладают клеящими свойствами. Растворы силикатов химически активны и энергично взаимодействуют даже со слабыми кислотами с образованием кремниевой кислоты.

Нерастворимые в воде силикаты исключительно распространены в природе и отличаются широким разнообразием составов и структур. Также, как и в случае других кислородсодержащих соединений кремния основным элементом их структуры является тетраэдр  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ . Причем данный ион может встречаться как в индивидуальном виде, так и способен объединяться в сложные образования - кольца, ленты, плоскости, трехмерные структуры (табл. 2.2).

Таблица 2.2 Структура некоторых природных силикатов.


Форма	Структура	Минералы
<b>Силикаты с ограниченными размерами</b>		
Дискретный ион $[\text{SiO}_4]^{4-}$		Оливин $(\text{Fe}, \text{Mg})\text{SiO}_4$ ; Циркон $\text{ZrSiO}_4$ ; Ортосиликат кальция $\text{CaSiO}_4$

Таблица 2.2 Продолжение






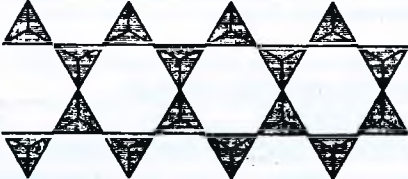
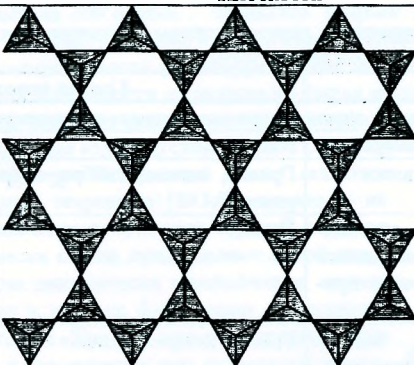
<p>Дисиликаты [Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub>]<sup>6-</sup></p>		<p>Тортвейтит Sc<sub>2</sub>SiO<sub>7</sub>; Гемиморфит Zn<sub>4</sub>(OH)<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub></p>
<p>Кольца</p>		
<p>Кольца из трех тетраэдров [Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>]<sup>6-</sup></p>		<p>Бенитоит BaTi(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>); Вадеит K<sub>2</sub>Zr(Si<sub>3</sub>O<sub>9</sub>)</p>
<p>Кольца из четырех тетраэдров [Si<sub>4</sub>O<sub>12</sub>]<sup>4-</sup></p>		<p>Аксинит</p>
<p>Кольца из шести тетраэдров [Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>]<sup>12-</sup></p>		<p>Берилл Be<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>(Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub>); Диоптаз Cu<sub>6</sub>Si<sub>6</sub>O<sub>18</sub></p>
<p>Силикаты с неограниченными размерами</p>		
<p>Линейные силикаты</p>		
<p>Простые цепи [SiO<sub>3</sub>]<sup>2-</sup></p>		<p>Диопсид CaMg(SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; Энстатит MgSiO<sub>3</sub>; Сподумен LiAl(SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></p>
<p>Двойные цепи [Si<sub>4</sub>O<sub>11</sub>]<sup>6-</sup></p>		<p>Амфиболы</p>

Таблица 2.2 Продолжение

Плоскости		
Плоскости $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$		Гальк $\text{Mg}_3(\text{OH})_2(\text{Si}_2\text{O}_5)_2$ ; Слюда

Структура силикатов оказывает решающее влияние на их физические свойства. Так портланд-цемент содержит в своем составе индивидуальные ионы  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  и является поэтому мягким и хрупким материалом. Силикаты, состоящие из линейных цепных макроанионов, способны расслаиваться на тонкие волокна (асбест). Слюда состоит из бесконечных плоских кремнийкислородных макроанионов, относительно слабо связанных между собой, поэтому она легко расщепляется на тонкие пластинки. Силикаты, имеющие сложную трехмерную структуру - высокопрочные материалы.

☑ Способность асбеста образовывать прочные волокна широко используется в промышленности. Из него изготавливают теплоизоляционные материалы, шифер, трубы, специальные сорта бумаги и картона, негорючие ткани и т.д. Однако, в последнее время было установлено, что мельчайшие волокна асбеста при попадании в легкие человека вызывают микроповреждения, тем самым облегчая доступ канцерогенным (вызывающим рак) веществам в поврежденные ткани. В связи с этим в ряде стран было запрещено или серьезно ограничено использование асбестосодержащих материалов в строительстве.

**Алюмосиликаты** В макроанионах силикатов часть атомов кремния может замещаться на атомы алюминия, т.е. в структуре имеются не только кремнийкислородные тетраэдры  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , но и алюминийкислородные тетраэдры  $[\text{AlO}_4]^{5-}$ . Алюминий имеет меньший заряд, чем кремний (+3, а не +4), поэтому отрицательный заряд алюминийкислородного тетраэдра равен -5, а не -4. По этой причине число катионов, необходимое для электронейтральности в алюмосиликатах больше, чем в соответствующих силикатах.

Силикаты и алюмосиликаты натрия, калия, кальция, магния, алюминия и железа являются самыми распространенными минералами земной коры и составляют основную часть горных пород и продуктов их выветривания. *Минерал* - это химически индивидуальное вещество, образующееся в земной коре естественным путем. Примерами минералов служат кварц ( $\text{SiO}_2$ ), полевошпат ( $\text{CaAl}_2\text{SiO}_8$ ), слюда и др. (структура некоторых кремнийсодержащих минералов приведена в табл. 2.2) *Горная порода* - это агломерат нескольких различных по составу минералов. Образованный из минералов кварца, полевошпата и слюды гранит является горной породой. Благодаря своим прочностным качествам, доступности и дешевизне горные породы и минералы на ос-

нове соединений кремния и продукты их химической переработки широко используются в строительной промышленности (табл. 2.3).

**Таблица 2.3** Кремнийсодержащие горные породы, применяющиеся в строительной промышленности без химической переработки.

Назначение	Горная порода
<i>Облицовочные и архитектурно-строительные материалы</i>	
Плиты для внутренней облицовки	Амфиболит, туф
Плиты для внешней облицовки	Гранит, сиенит, габбро, кварцит, андезит, лабрадорит
Плиты для настила полов, лестничные ступени, подоконники, детали отделки дверных и оконных проемов, наличники, пороги	Гранит
Детали для отделки зданий (карнизы, консоли, элементы порталов), колонны	Гранит, диорит, базальт
Камни и плиты для цоколей зданий	Гранит, диорит, лабрадорит
Штучные изделия (колотые и грубой тески)	Гранит, диорит
<i>Дорожно-строительные материалы</i>	
Бортовой камень	Гранит, диорит, базальт
Брусчатка и шашка	Диабаз, базальт
Щебень для строительства автодорог и балластировки железнодорожных путей	Гранит, сиенит, габбро, базальт, андезит, песчаник

### 3. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Исключительно важна роль кислородсодержащих соединений кальция и кремния в строительстве. Широкое применение находят как природные каменные материалы, так и продукты их механической и химической переработки. Современная строительная промышленность использует неорганические соединения в виде:

- материалов и изделий из силикатных расплавов;
- керамических материалов и изделий из них;
- неорганических вяжущих веществ, материалов и изделий на их основе.

☑ Состав большинства кислородсодержащих соединений кремния очень сложен. По этой причине при рассмотрении строительных материалов на основе кремния их состав, как правило, записывают не в виде индивидуального химического вещества, а в виде соединения оксидов. Например, натрий-кальциевое стекло обычно записывают в виде  $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$ . Это, конечно, не означает, что стекло представляет собой механическую смесь из оксидов натрия, кальция и кремния. В реальности натрий-кальциевое стекло состоит из различных силикатов натрия и кальция.

### 3.1. Материалы и изделия из силикатных расплавов

Силикатные расплавы - это расплавы, которые получают из диоксида кремния ( $\text{SiO}_2$ ) и соединений на его основе - силикатов. Сырьем для получения силикатных расплавов служат распространенные горные породы (песок, базальт, диабаз), побочные продукты промышленности (металлургические шлаки, золы) и вторичное сырье (стеклобой и др.). В зависимости от исходного сырья и технологического режима его переработки можно получать различные по структуре и свойствам материалы и изделия: стекло и стеклянные изделия, стеклокристаллические материалы и т.д.

Основной структурной единицей стекол являются кремнийкислородные тетраэдры  $[\text{SiO}_4]^{4-}$ , однако в их взаимном расположении отсутствует строгий порядок (рис. 2.5). Фактически стекла представляют собой переохлажденные, термодинамически неустойчивые жидкости. Это приводит к особым физическим и механическим свойствам стекол. Так, для них отсутствует четкая точка плавления, а размягчение при нагревании происходит в широком интервале температур. Стекла отличаются высокой гомогенностью (однородностью) и изотропностью свойств.

В зависимости от своего химического состав стекла подразделяются на несколько групп: натрий-кальциевое, калий-кальциевое, алюмоборосиликатное, свинцово-кальциевое и др.

*Натрий-кальциевое стекло* изготавливается из кварцевого песка, известняка и соды. Данное стекло является самым распространенным для строительных целей. Его главной разновидностью является обычное оконное стекло. Натрий-кальциевое стекло с минимальным содержанием посторонних примесей называется увиолевым стеклом, оно пропускает более 25% ультрафиолетовых лучей. Бутылочное стекло наоборот содержит большое количество примесей, главным образом соединений железа.

*Калий-кальциевое стекло* изготавливается из кварцевого песка, известняка и поташа ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Оно имеет более высокую температуру размягчения, чем натрий-кальциевое стекло.

*Алюмоборосиликатное стекло* изготавливается из кварцевого песка, каолина, буре ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) и соды. Данное стекло обладает высокой термостойкостью и используется для изготовления химической и лабораторной посуды.

*Свинцово-кальциевое стекло* (хрусталь) изготавливается из кварцевого песка, свинцового сурика ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) и поташа ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Это высокоплавкое стекло с высоким коэффициентом светорассеяния. Используется в оптике, ювелирном деле, для производства бытовых изделий.

Состав некоторых типов стекол приведен в табл. 3.1.

Таблица 3.1 Химический состав некоторых стекол, в масс. %.

Стекло	$\text{SiO}_2$	$\text{B}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{Pb}_3\text{O}_4$
Натрий-кальциевое (оконное)	72	—	2	14	—	9	3	—
Натрий-кальциевое (бутылочное)	70	—	3	17	—	8	2	—
Алюмоборосиликатное	85	9	2	4	—	—	—	—
Свинцовокальциевое	56	—	—	—	11	—	—	33

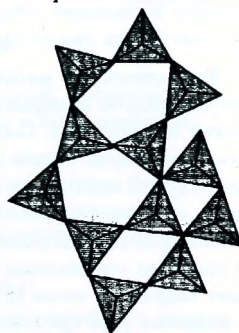


Рис. 2.5 Фрагмент структуры стекла.

Особой разновидностью стекол являются *ситаллы* - материалы, получаемые направленной кристаллизацией различных стекол при их термической обработке. В ситаллах мелкодисперсные кристаллы (до 2 мкм) равномерно распределены в стекловидной основе. Кристаллическая фаза составляет от 20 до 95% от объема материала. Ситаллы обладают высокой прочностью, малым термическим расширением, химической и термической устойчивостью, влагонепроницаемостью. Строительные ситаллы чаще всего получают на основе систем  $\text{CaO-MgO-2Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ,  $\text{CaO-MgO-Fe}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ,  $\text{CaO-MgO-SiO}_2$ .

### 3.2. Керамические материалы

Керамическими материалами называются искусственные каменные материалы, изготовляемые из минерального сырья путем формования и последующего обжига при высоких температурах. Сырьем для производства строительной керамики служат глинистые материалы. Глины состоят из плотной смеси различных минералов, представляющих собой водные алюмосиликаты со слоистой кристаллической структурой. Наиболее распространенными глинистыми материалами являются *каолинит*  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , *галлузит*  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ , *монтморрилонит*  $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Для придания необходимых свойств керамическим изделиям в состав исходной глины вводят кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), мел ( $\text{CaCO}_3$ ), доломит ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) и некоторые другие вещества. Для придания стойкости к внешним воздействиям, водонепроницаемости поверхность некоторых керамических изделий покрывают глазурью, переходящей при обжиге при высоких температурах в стеклообразное состояние.

В зависимости от степени спекания различают пористую и спекшуюся керамику.

*Пористая керамика* образуется при температуре спекания в интервале 900-1200°C. Водопоглощение по массе превышает 5% (в среднем 8-20%). Из пористой керамики изготавливают сплошной, пустотелый и легкий кирпич, керамические камни, черепицу, облицовочную плитку, дренажные трубы, кафель, сантехнические установки.

*Спекшаяся керамика* характеризуется большей плотностью чем пористая и образуется при температуре спекания в интервале 1200-1500°C. Водопоглощение по массе не превышает 5% (в среднем 2-4%). Из спекшейся керамики получают дорожный кирпич, плитки для полов, фарфоровые изделия.

### 3.3. Минеральные вяжущие материалы и изделия из них

Минеральные вяжущие материалы представляют собой искусственные тонкоизмельченные порошки, способные при смешивании с водой (в отдельных случаях с растворами солей, кислот, щелочей) образовывать пластично-вязкую и легкодеформируемую массу (вяжущее тело), которая в результате физико-химических процессов постепенно затвердевает и переходит в камневидное тело. Твердение минеральных вяжущих веществ осуществляется вследствие процессов растворения, образования насыщенного раствора и коллоидальной массы, которая частично или полностью кристаллизуется. Делятся минеральные вяжущие вещества на гидравлические, воздушные, кислотоупорные, автоклавные и фосфатные.

*Гидравлические вяжущие вещества.* При смешении с водой (затворении) твердеют и продолжают сохранять или наращивать свою прочность в воде. К вяжущим веществам данного типа относятся гидравлическая известь, романцемент. Наибольшее практическое значение имеет портландцемент. Его получают путем обжига сырьевых смесей из известняка или мела и глинистых пород при 1100-1450°C. В результате чего образуется 4 искусственных минерала, составляющих портландцементный клинкер:

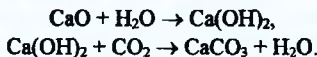


алит (C <sub>3</sub> S),	3CaO·SiO <sub>2</sub> ;
белит (C <sub>2</sub> S),	2CaO·SiO <sub>2</sub> ;
целит (C <sub>3</sub> A),	3CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ;
целит (C <sub>4</sub> AF),	4CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .

Преобразование цементного теста в камневидное тело обусловлено сложными химическими и физико-химическими процессами взаимодействия клинкерных минералов с водой. В результате этого образуются новые гидратные соединения, практически нерастворимые в воде.

*Воздушные вяжущие вещества.* При смешении с водой твердеют и сохраняют прочность только на воздухе. Важнейшими воздушными вяжущими веществами являются воздушная известь (CaO) и гипс (CaSO<sub>4</sub>·0,5H<sub>2</sub>O).

При смешении с водой воздушной извести происходит превращение оксида кальция в гидроксид, который постепенно кристаллизуется и взаимодействует с углекислым газом воздуха:



При смешении с водой гипсовых вяжущих веществ происходит гидратация гемигидрата сульфата кальция в дигидрат:



*Кислотоупорные вяжущие вещества.* Состоят из кислотоупорного цемента, содержащего тонкоизмельченный кварцевый песок (SiO<sub>2</sub>) и кремнийсиликат натрия (Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>). Затворяют такие вяжущие вещества с помощью жидкого стекла:



Основной сферой применения вяжущих веществ является производство бетонов и строительных материалов.

## 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1. Техника безопасности

При выполнении данных лабораторных работ студент должен уметь правильно обращаться со стеклянной химической посудой, иметь навыки работы с газовыми горелками, соблюдать особую осторожность при работе с токсичными и едкими веществами, знать меры первой доврачебной помощи.

**1. Работа со стеклянной посудой.** Основным травмирующим фактором при работе со стеклянной химической посудой являются острые осколки стекла, способные вызвать порезы тела работающего. По этой причине следует соблюдать особую осторожность при использовании такой посуды. Если же во время работы стеклянная посуда все таки разбилась, то необходимо предпринимать следующие меры.

☑ *Первая помощь.* При порезах рук или других частей тела стеклом следует удалить из раны мелкие осколки, после чего промыть ее 2%-ным раствором перманганата калия или этиловым спиртом, смазать йодной настойкой и забинтовать. Осколки стекла, попавшие в глаза, может удалять только медицинский работник.

При уборке рабочего места осколки разбитой посуды во избежание порезов рук следует собирать щеткой и совком.

**2. Работа с газовыми горелками.** Газ образует с воздухом взрывоопасные смеси. Поэтому при использовании природного газа необходимо соблюдать максимальную осторожность. Перед началом работы с газовыми горелками необходимо ознакомиться с инструкцией по их эксплуатации. Во избежание термического ожога нельзя касаться руками нагретых пробирок, верхней части газовой горелки

☑ *Первая помощь.* При ожогах легкой степени тяжести необходимо на пораженное место наложить повязку, смоченную 5% раствором перманганата калия. При ожогах средней степени тяжести на пораженное место накладывается стерильная повязка. Пострадавшего нужно срочно доставить в медицинское учреждение.

При отравлении газом пострадавшему нужно обеспечить свежий воздух.

**3. Токсические свойства соединений, используемых в лабораторной работе и меры неотложной помощи при поражении ими.**

**Соляная кислота (HCl).** Представляет опасность (вызывает сильные химические ожоги) как при внешнем воздействии так и при попадании вовнутрь.

☑ *Первая помощь.* При попадании кислоты на кожу место поражения немедленно промывать большим количеством воды, продолжительность промывания 10-15 минут. Щелочные растворы применять для промывания нельзя, так как при взаимодействии с водой они выделяют большое количество тепла, что может усугубить тяжесть поражения. В случае поражения глаз - обильное промывание водой в течение 10-15 минут. При попадании кислоты вовнутрь - обильное питье, вызывать рвоту без применения механических средств. Обратиться за помощью в медицинское учреждение.

## 4.2. Лабораторная работа

### Опыт №1

#### Качественная реакция на ионы $\text{Ca}^{2+}$

В пробирку внесите 1-2 мл раствора хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ), затем по каплям приливайте раствор оксалата аммония ( $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ ). Отметьте происходящие изменения. Какое вещество выпадает в осадок? Запишите уравнение протекающей реакции в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах.

### Опыт №2

#### Получение дигидрата сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Нанесите на предметное стекло каплю раствора хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ). Прибавьте к нему каплю раствора сульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Предметное стекло поместите на край электроплитки и слегка упарьте до появления каемки по краям капли. Снимите предметное стекло с плитки с помощью пинцета или щипцов и оставьте его на 3-4 минуты остывать. После этого рассмотрите полученные кристаллы  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  под микроскопом. Зарисуйте форму полученных кристаллов гипса в рабочих тетрадах. Запишите уравнение образования сульфата кальция в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах.

### Опыт №3

#### Получение геля кремниевой кислоты

☑ *Реакция может использоваться как качественная на силикат-ионы в случае их высокой концентрации в растворе.*

В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) и приливайте по каплям раствор соляной кислоты (HCl). Какие изменения происходят с содержимым пробирки? В каком виде образуется кремниевая кислота? Выпадает ли она в осадок или образует коллоидный раствор? Запишите уравнение образования кремниевой кислоты в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. (Формулу кремниевой кислоты записывайте в виде  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ).

### Опыт №4

#### Получение силиката кальция

В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) и приливайте по каплям раствор хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ). Отметьте происходящие изменения. Какое вещество выпадает в осадок? Запишите уравнение протекающей реакции в молекулярной, полной и сокращенной ионных формах. (Формулу силиката кальция записывайте в виде  $\text{CaSiO}_3$ ).

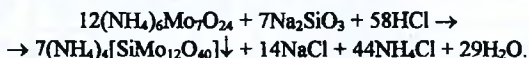
### Опыт №5

#### Качественная реакция на ионы $\text{SiO}_3^{2-}$

☑ Реакция используется для определения малых концентраций силикат-ионов.

В пробирку внесите 1-2 мл раствора силиката натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ), затем прибавьте несколько капель раствора соляной кислоты. С помощью индикаторной бумаги измерьте pH раствора. Раствор должен быть слабнокислым:  $\text{pH} \leq 4$ . Если pH больше 4, то добавьте еще несколько капель кислоты. Затем к полученному раствору прибавляйте по каплям водный раствор 24-оксогептамолибдата (VI) аммония ( $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ). Какие изменения происходят с раствором? Как изменяется окраска полученного раствора с течением времени?

В результате данной реакции образуется аммонийная соль кремниймолибденовой кислоты:



Полученная соль кремниймолибденовой кислоты обладает окислительными свойствами. При ее восстановлении образуется ярко окрашенное соединение - «молибденовая синь», имеющее условную формулу  $\text{Mo}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{Mo}_2\text{O}_4(\text{OH})_2$ . «Молибденовая синь» содержит молибден в переменной степени окисления от +5 до +6.

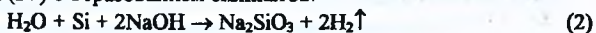
Для получения «молибденовой сини» к полученному ранее осадку аммонийной соли кремниймолибденовой кислоты прибавьте 3-4 капли раствора тиосульфата натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ). Зафиксируйте происходящие изменения.

### 4.3. Контрольные задания

1. Механизм растворения кремния в растворах щелочей определяется водородным показателем среды (pH). В слабощелочных растворах ( $\text{pH}=8-9$ ) роль гидроксид-ионов (OH) сводится к разрушению прочного оксидного слоя на поверхности кремния. Свободный кремний взаимодействует с водой с образованием гидратированного оксида кремния (IV):



В более концентрированных щелочных растворах происходит растворение образующегося оксида кремния (IV) с образованием силикатов:



Какая из двух приведенных выше реакций (1) или (2) будет преобладающей при растворении кремния в растворе гидроксида натрия (NaOH) с массовой долей растворенного вещества равной:

- 1.1.  $5 \cdot 10^{-6}\%$  ?    1.2.  $3 \cdot 10^{-3}\%$  ?    1.3.  $6 \cdot 10^{-4}\%$  ?

2. Химический состав гидравлических вяжущих веществ характеризуется гидравлическим (основным) модулем ( $m_0$ ):

$$m_0 = \frac{\omega(\text{CaO})}{\omega(\text{SiO}_2) + \omega(\text{Al}_2\text{O}_3) + \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)}$$

где  $\omega$  - массовая доля (в %) соответствующих компонентов в смеси.

Рассчитайте гидравлический модуль портландцемента:

2.1. состава №1 (см. табл. 4.1).

2.2. состава №2 (см. табл. 4.1).

2.3. состава №3 (см. табл. 4.1).

2.4. состава №4 (см. табл. 4.1).

2.5. состава №5 (см. табл. 4.1).

2.6. состава №6 (см. табл. 4.1).

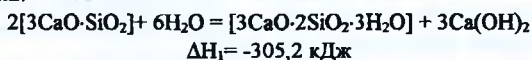
2.7. состава №7 (см. табл. 4.1).

**Таблица 4.1** Составы портландцемента для решения расчетных задач.

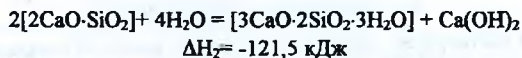
Компонент портландцементного клинкера	Состав портландцемента, в масс.% <i>Номер состава</i>						
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Алит $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	45	50	45	40	52	52	47
Белит $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	28	20	25	30	18	23	24
Целит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	15	5	14	12	12	10	13
Целит $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	10	17	15	14	15	13	14
Оксид магния $\text{MgO}$	2	3	1	4	3	2	2

3. При твердении цемента происходят реакции гидратации компонентов, его составляющих:

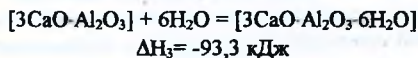
*гидратация алита:*



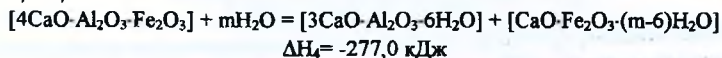
*гидратация белита:*



*гидратация целита:*



*гидратация целита:*



Рассчитайте теплоту, выделяющуюся при полной гидратации:

3.1. 1.8 тонн портландцемента состава №1 (см. табл. 4.1).

3.2. 3.2 тонн портландцемента состава №2 (см. табл. 4.1).

3.3. 1.5 тонн портландцемента состава №3 (см. табл. 4.1).

3.4. 3.5 тонн портландцемента состава №4 (см. табл. 4.1).

3.5. 1.4 тонн портландцемента состава №5 (см. табл. 4.1).

3.6. 2.2 тонн портландцемента состава №6 (см. табл. 4.1).

3.7. 3.2 тонн портландцемента состава №7 (см. табл. 4.1).

4. Водородный показатель (рН) воды, используемой в технологии бетонных работ, должен находиться в пределах от 4 до 12.5. Можно ли для приготовления бетонных смесей использовать воду, содержащую:

- 4.1. 0.001 моль/л HCl ?
- 4.2. 0.001 моль/л NaOH ?
- 4.3. 0.01 моль/л CH<sub>3</sub>COOH ?
- 4.4. 0.005 моль/л CH<sub>3</sub>COOH ?
- 4.5. 0.005 моль/л NH<sub>4</sub>Cl ?
- 4.6. 0.002 моль/л Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ? (Учитывайте только первую ступень гидролиза соли.)

Константы диссоциации слабых электролитов, необходимые для расчета констант и степеней гидролиза соответствующих солей приведены в табл.4.2. Величина ионного произведения воды (K<sub>w</sub>) равна 10<sup>-14</sup>.

**Таблица 4.2** Константы диссоциации некоторых слабых электролитов.

Электролит	K <sub>дисс</sub>
Угольная кислота H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ↔ H <sup>+</sup> + HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	4.45·10 <sup>-7</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ↔ H <sup>+</sup> + CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	4.69·10 <sup>-11</sup>
Уксусная кислота CH <sub>3</sub> COOH ↔ CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup> + H <sup>+</sup>	1.8·10 <sup>-5</sup>
Гидрат аммиака NH <sub>3</sub> ·H <sub>2</sub> O ↔ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> + OH <sup>-</sup>	1.8·10 <sup>-5</sup>

5. Наличие в воде, используемой в технологии бетонных работ растворимых сульфатов и хлоридов приводит к неконтролируемому изменению сроков схватывания и твердения бетона, вызывает коррозию цементного камня и стальной арматуры в железобетоне. По этой причине содержание сульфат-ионов (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) не должно превышать 2.7 г/л, а хлорид-ионов (Cl<sup>-</sup>) - 1.2 г/л. Пригодна ли для изготовления бетона вода, содержащая:

- 5.1. 0.015 моль/л MgCl<sub>2</sub> и 0.020 моль/л MgSO<sub>4</sub> ?
- 5.2. 0.012 моль/л MgCl<sub>2</sub> и 0.032 моль/л MgSO<sub>4</sub> ?
- 5.3. 0.021 моль/л MgCl<sub>2</sub> и 0.017 моль/л MgSO<sub>4</sub> ?

6. Для получения каустического доломита (магнезиального вяжущего вещества) природный доломит прогревают при температуре 650-750 °С. При этом протекает следующая химическая реакция:



Рассчитайте массовую долю магния в природном и каустическом доломите. Что произойдет при прогревании природного доломита при более высокой температуре? Запишите уравнение реакции.

7. Почему карбонат кальция легко растворяется в соляной кислоте и практически нерастворим в серной кислоте? Ответ подтвердите уравнениями реакций.

8. Растворы жидкого стекла, которые используются в строительстве, содержат от 50 до 70% воды и имеют плотность от 1.3 до 1.5 г/см<sup>3</sup>.

а) Рассчитайте молярную концентрацию данных растворов, считая, что растворенным веществом является метасиликат натрия Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>.

б) Какую среду: кислую, нейтральную или щелочную имеет раствор жидкого стекла? Почему?

в) Почему растворы жидкого стекла нельзя долго хранить на воздухе? Запишите уравнение реакции метасиликата натрия с углекислым газом воздуха.

9. Для получения рентгенозащитных строительных растворов используют портландцемент и баритовый песок ( $\text{BaSO}_4$ ) с добавкой соединений лития или бора. Между тем известно, что ионы  $\text{Ba}^{2+}$  обладают ярко выраженным токсическим действием. Объясните, почему использование сульфата бария в качестве заполнителя строительных растворов не требует ограничений, а сам раствор полностью экологически безопасен. Рассчитайте, в каком объеме воды можно растворить 1 грамм сульфата бария, если величина произведения растворимости (ПР)  $\text{BaSO}_4$  равна  $1.1 \cdot 10^{-10}$ .

### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Суворов А.В., Никольский А.Б. Общая химия. - СПб.: Химия, 1995. - 624с.
2. Угай Я.А. Неорганическая химия. - М.: Высшая школа, 1989. - 463с.
3. Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. Химические свойства неорганических веществ. - М.: Химия, 1997. - 480с.
4. Химия: Справочное издание / В.Шретер, К.-Х. Лаутеншлегер, Х. Бибрак и др. - М.: Химия, 1989. - 684с.
5. Домокеев А.Г. Строительные материалы. - М.: Стройиздат, 1989. - 495с.
6. Байер В.Е. Архитектурное материаловедение. - М.: Стройиздат, 1989. - 183с.
7. Свиридов В.В., Попкович Г.А., Васильева Г.И. Задачи, вопросы и упражнения по общей и неорганической химии. - Мн.: Университетское, 1991. - 350с.
8. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии. - Л.: Химия, 1981. - 280с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ХИМИЯ КАЛЬЦИЯ .....	4
1.1. Кальций. Электронное строение атома .....	4
1.2. Кальций. Физические и химические свойства .....	4
1.3. Химические свойства важнейших соединений кальция .....	5
2. ХИМИЯ КРЕМНИЯ .....	7
2.1. Кремний. Электронное строение атома .....	7
2.2. Кремний. Физические и химические свойства .....	8
2.3. Кислородсодержащие соединения кремния .....	9
3. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	15
3.1. Материалы и изделия из силикатных расплавов .....	15
3.2. Керамические материалы .....	16
3.3. Минеральные вяжущие материалы и изделия из них .....	16
4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ .....	17
4.1. Техника безопасности .....	17
4.2. Лабораторная работа .....	18
4.3. Контрольные задания .....	19
РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	22

### УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители:      **СТРОКАЧ** Петр Павлович  
                          **ХАЛЕЦКИЙ** Виталий Анатольевич  
                          **ГУЛЕВИЧ** Алла Леонидовна  
                          **ПОДОЛЕЦ** Лидия Алексеевна

Методические указания  
к лабораторным и практическим работам курса «Общая химия»  
по теме «Химия кальция и кремния»  
для студентов специальности  
Т 19.02 «Производство строительных изделий и конструкций»

Ответственный за выпуск: Халецкий Виталий Анатольевич  
Редактор: Строкач Таисия Владимировна

Подписано к печати 10.03.99г. Бумага писчая. Формат 60×84 1/16. Гарнитура  
Таймс. Усл. п. л. 1,4. Уч. изд. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 454.  
Бесплатно. Отпечатано на ризографе Брестского политехнического института.  
224017, Брест, ул. Московская, 267.