

# Химия биогенных элементов

## s-элементы

Лекция 2

# План лекции

1. Общая характеристика  $s^1$  и  $s^2$  элементов
2. Природные ресурсы  $s^1$  и  $s^2$  элементов
3. Физические и химические свойства щелочных и щелочно-земельных металлов
4. Биологическая роль, применение в медицине и фармации, качественный анализ Li, Na, K, Cs, Be, Mg, Ca, Sr, Ba

# Периодическая система элементов

## PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

<http://www.ktf-split.hr/periodni/en/>

PERIOD	GROUP																18 VIIIA		
	1 IA	2 IIA		3-10 IIIB-VIIB										11 IB	12 IIB	13 IIIA		14 IVA	15 VA
1	1 H 1.0079 HYDROGEN																	2 He 4.0026 HELIUM	
2	3 Li 6.941 LITHIUM	4 Be 9.0122 BERYLLIUM											5 B 10.811 BORON	6 C 12.011 CARBON	7 N 14.007 NITROGEN	8 O 15.999 OXYGEN	9 F 18.998 FLUORINE	10 Ne 20.180 NEON	
3	11 Na 22.990 SODIUM	12 Mg 24.305 MAGNESIUM											13 Al 26.982 ALUMINIUM	14 Si 28.086 SILICON	15 P 30.974 PHOSPHORUS	16 S 32.065 SULPHUR	17 Cl 35.453 CHLORINE	18 Ar 39.948 ARGON	
4	19 K 39.098 POTASSIUM	20 Ca 40.078 CALCIUM	21 Sc 44.956 SCANDIUM	22 Ti 47.867 TITANIUM	23 V 50.942 VANADIUM	24 Cr 51.996 CHROMIUM	25 Mn 54.938 MANGANESE	26 Fe 55.845 IRON	27 Co 58.933 COBALT	28 Ni 58.693 NICKEL	29 Cu 63.546 COPPER	30 Zn 65.39 ZINC	31 Ga 69.723 GALLIUM	32 Ge 72.64 GERMANIUM	33 As 74.922 ARSENIC	34 Se 78.96 SELENIUM	35 Br 79.904 BROMINE	36 Kr 83.80 KRYPTON	
5	37 Rb 85.468 RUBIDIUM	38 Sr 87.62 STRONTIUM	39 Y 88.906 YTTRIUM	40 Zr 91.224 ZIRCONIUM	41 Nb 92.906 NIOBIUM	42 Mo 95.94 MOLYBDENUM	43 Tc (98) TECHNETIUM	44 Ru 101.07 RUTHENIUM	45 Rh 102.91 RHODIUM	46 Pd 106.42 PALLADIUM	47 Ag 107.87 SILVER	48 Cd 112.41 CADMIUM	49 In 114.82 INDIUM	50 Sn 118.71 TIN	51 Sb 121.76 ANTIMONY	52 Te 127.60 TELLURIUM	53 I 126.90 IODINE	54 Xe 131.29 XENON	
6	55 Cs 132.91 CAESIUM	56 Ba 137.33 BARIUM	57-71 La-Lu Lanthanide	72 Hf 178.49 HAFNIUM	73 Ta 180.95 TANTALUM	74 W 183.84 TUNGSTEN	75 Re 186.21 RHENIUM	76 Os 190.23 OSMIUM	77 Ir 192.22 IRIDIUM	78 Pt 195.08 PLATINUM	79 Au 196.97 GOLD	80 Hg 200.59 MERCURY	81 Tl 204.38 THALLIUM	82 Pb 207.2 LEAD	83 Bi 208.98 BISMUTH	84 Po (209) POLONIUM	85 At (210) ASTATINE	86 Rn (222) RADON	
7	87 Fr (223) FRANCIUM	88 Ra (226) RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinide	104 Rf (261) RUTHERFORDIUM	105 Db (262) DUBNIUM	106 Sg (266) SEABORGIUM	107 Bh (264) BOHRIUM	108 Hs (277) HASSIUM	109 Mt (268) MEITNERIUM	110 Uun (281) UNUNNIUM	111 Uuu (272) UNUNUNIUM	112 Uub (285) UNUNBIUM	114 Uuq (289) UNUNQUADIUM						

RELATIVE ATOMIC MASS (A)

GROUP IUPAC      GROUP CAS

ATOMIC NUMBER      SYMBOL      ELEMENT NAME

■ Metal    ■ Semimetal    ■ Nonmetal  
■ Alkali metal    ■ Chalcogens element  
■ Alkaline earth metal    ■ Halogens element  
■ Transition metals    ■ Noble gas  
■ Lanthanide  
■ Actinide

STANDARD STATE (25 °C; 101 kPa)

Ne - gas    Fe - solid  
Ga - liquid    Tc - synthetic

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)  
Relative atomic mass is shown with five significant figures. For elements with no stable nuclides, the value enclosed in brackets indicates the mass number of the longest-lived isotope of the element.

However three such elements (Th, Pa, and U) do have a characteristic terrestrial isotopic composition, and for these an atomic weight is tabulated.

LANTHANIDE

57 La 138.91 LANTHANUM	58 Ce 140.12 CERIUM	59 Pr 140.91 PRASEODYMIUM	60 Nd 144.24 NEODYMIUM	61 Pm (145) PROMETHIUM	62 Sm 150.36 SAMARIUM	63 Eu 151.96 EUROPIUM	64 Gd 157.25 GADOLINIUM	65 Tb 158.93 TERBIUM	66 Dy 162.50 DYSPROSIUM	67 Ho 164.93 HOLMIUM	68 Er 167.26 ERBIUM	69 Tm 168.93 THULIUM	70 Yb 173.04 YTTERBIUM	71 Lu 174.97 LUTETIUM
---------------------------------	------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	--------------------------------

ACTINIDE

89 Ac (227) ACTINIUM	90 Th 232.04 THORIUM	91 Pa 231.04 PROTACTINIUM	92 U 238.03 URANIUM	93 Np (237) NEPTUNIUM	94 Pu (244) PLUTONIUM	95 Am (243) AMERICIUM	96 Cm (247) CURIUM	97 Bk (247) BERKELIUM	98 Cf (251) CALIFORNIUM	99 Es (252) EINSTEINIUM	100 Fm (257) FERMIUM	101 Md (258) MENDELEVIUM	102 No (259) NOBELIUM	103 Lr (262) LAWRENCIUM
-------------------------------	-------------------------------	------------------------------------	------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	-----------------------------	--------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

# Свойства $s^1$ -элементов

Свойство	Li	Na	K	Rb	Cs
Металлический радиус, нм	0,152	0,186	0,227	0,248	0,265
Ионный радиус $\text{Э}^+$ , нм	0,068	0,102	0,138	0,149	0,170
Плотность заряда	14,7	9,8	7,2	6,7	5,9
Радиус гидратированного иона, нм	0,340	0,276	0,232	0,228	0,228
Энтальпия гидратации, $\Delta H_{\text{гидр}} \text{Э}^+$ , кДж/моль	-500	-390	-305	-280	-246
Энергии ионизации, эВ $I_1, \text{Э}^0 \rightarrow \text{Э}^+ + e^-$	5,390	5,138	4,339	4,176	3,893
Электроотрицательность (по Полингу)	0,98	0,93	0,82	0,82	0,79

# Свойства s<sup>2</sup>-элементов

Свойство	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra
Металлический радиус, нм	0,113	0,160	0,197	0,215	0,221	0,235
Ионный радиус Э <sup>2+</sup> , нм	0,034	0,074	0,104	0,120	0,138	0,144
Плотность заряда	58,8	27,0	19,2	16,7	14,5	13,9
Радиус гидратированного иона, нм	0,460	0,440	0,420	0,420	0,410	-
Энергии ионизации, эВ: I <sub>1</sub> , Э <sup>0</sup> → Э <sup>+</sup> +e <sup>-</sup>	9,32	7,65	6,11	5,69	5,21	5,28
Электроотрицательность (по Полингу)	0,98	0,93	0,82	0,82	0,79	

# Природные ресурсы s-элементов

Галит - NaCl



Сильвинит –  $m\text{NaCl} \cdot n\text{KCl}$



# Природные ресурсы s- элементов

Кальцит / мел / известняк /  
мрамор / исландский шпат =  
«солнечный камень» –  
 $\text{CaCO}_3$



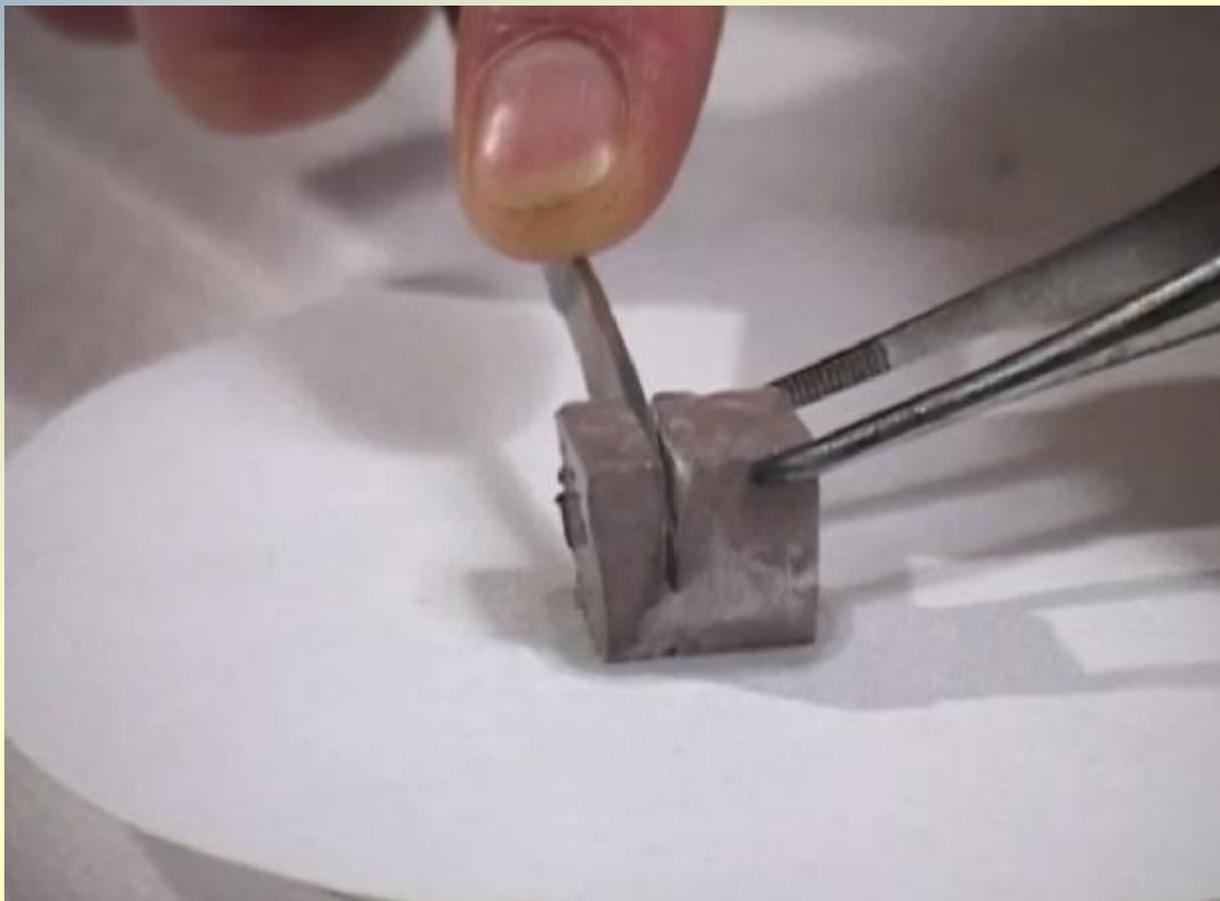
Магнезит –  $\text{MgCO}_3$



Доломит –  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$



# Физические свойства щелочных металлов



# Химические свойства s-элементов

- Взаимодействие с простыми веществами:  $\text{NaH}$ ;  $\text{Na}_2\text{C}_2$ ;  $\text{Na}_4\text{Si}$ ;  $\text{Na}_3\text{N}$ ;  $\text{Na}_3\text{P}$ ;  $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{S}$ ;  $\text{NaF}$ ;  $\text{NaCl}$ ;  $\text{NaI}$
- Взаимодействие со сложными веществами: с водой, с кислотами
- Оксиды ( $\text{Na}_2\text{O}$ ;  $\text{K}_2\text{O}$ ;  $\text{CaO}$ ) – основные
- Гидроксиды ( $\text{NaOH}$ ;  $\text{KOH}$ ;  $\text{Ca(OH)}_2$ ) – сильные основания

# Супероксиды, пероксиды и ОКСИДЫ

- $2\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{O}_2$
- $4\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}$
- $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}$
- $2\text{K} + \text{O}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{O}_2$
- $\text{K} + \text{O}_2 \rightarrow \text{KO}_2$
- $\text{K}_2\text{O}_2 + 2\text{K} \rightarrow 2\text{K}_2\text{O}$
- $\text{KO}_2 + 3\text{K} \rightarrow 2\text{K}_2\text{O}$
- $\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}_2$
- $2\text{Na}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{NaOH} + \text{O}_2\uparrow$

# Взаимодействие щелочных металлов с водой

- Щелочные металлы бурно реагируют с водой.
- В результате выделения большого количества теплоты натрий и калий расплавляются.
- Водород, выделяющийся во время реакции калия с водой, воспламеняется.

# Взаимодействие Li, Na и K с H<sub>2</sub>O



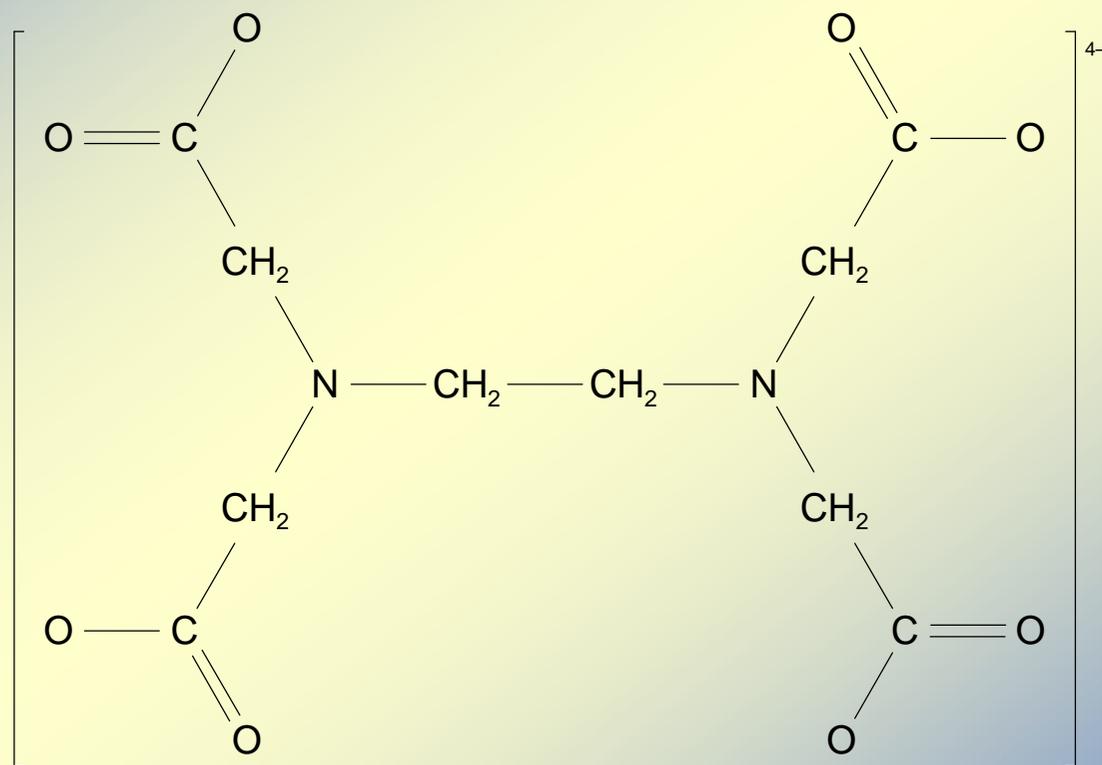
# Аквакомплексы и кристаллогидраты

- В водных растворах катионы s-элементов гидратированы и существуют в форме аквакомплексов:
- $[\text{Li}(\text{H}_2\text{O})_4]^+$ ;  $[\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_6]^+$ ;
- $[\text{Be}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ ;  $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ;  $[\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$
- Кристаллогидраты:
- $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = [\text{Ca}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_2$
- $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

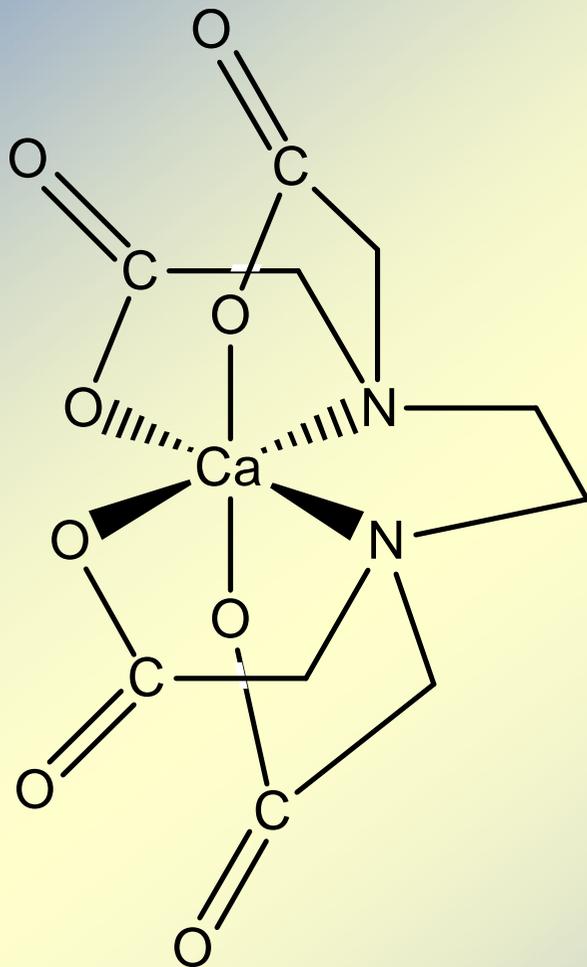
# Комплексные соединения

- Особое значение имеют комплексы магния, кальция, стронция и бария с полидентатными лигандами – полиаминополикарбоновыми кислотами.

# Формула этилендиаминтетраацетат-иона (ЭДТА<sup>4-</sup>)

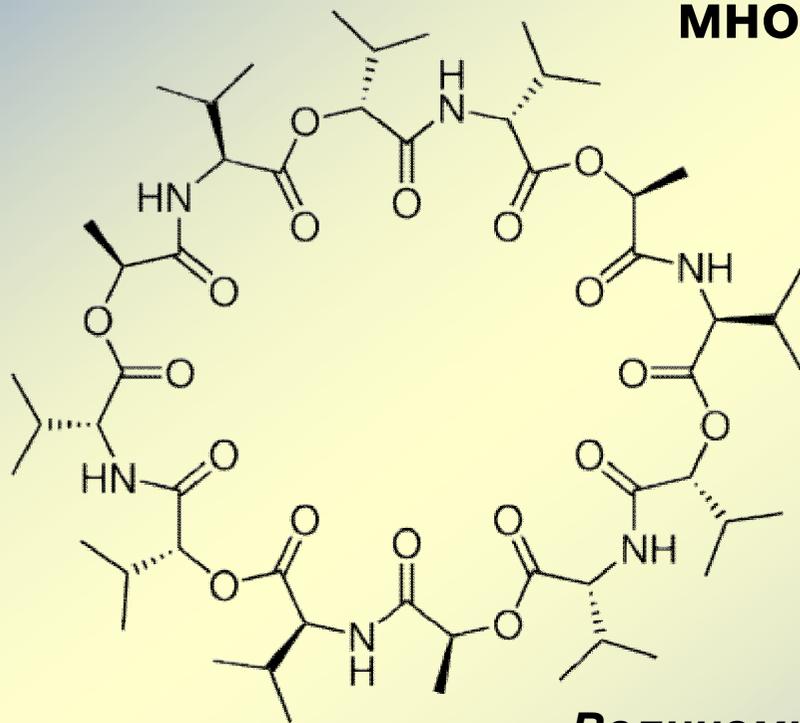


# Строение комплекса ЭДТА с ионом $\text{Ca}^{2+}$



# Ионофоры

**В настоящее время получено большое число комплексных соединений ионов щелочных металлов с циклическими полиэфирами, которые представляют собой плоский многоугольник**



*Валиномицин*

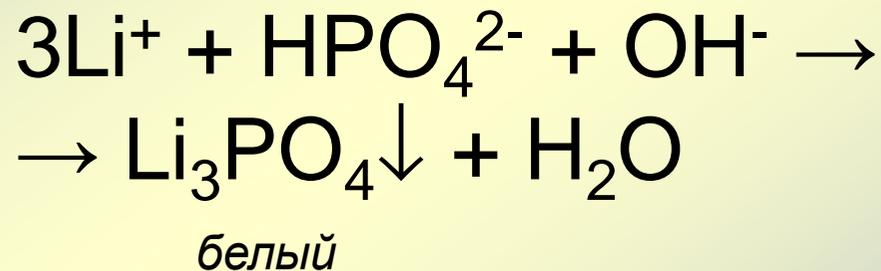
**Ионофоры – жирорастворимые молекулы, обычно синтезируемые микроорганизмами, выполняющие функцию переносчиков ионов через клеточную мембрану**

# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения лития

- $\text{Li}_2\text{CO}_3$  – психотропное средство
- Бензоат лития – входит в состав уродана (для лечения подагры).

# Качественный анализ солей ЛИТИЯ

Соли лития окрашивают  
бесцветное пламя  
горелки в карминно-  
красный цвет.



# Биологическая роль натрия

1.  $\text{Na}^+$  – важнейший катион внеклеточного пространства: основная роль в поддержании осмотического давления внеклеточной жидкости
  - Гипернатриемия – ( $> 145$  ммоль/л) при водном истощении – дегидратация клеток мозга
  - Гипонатриемия – ( $< 135$  ммоль/л) избыточное содержание воды в организме – гипергидратация клеток мозга
2.  $\text{Na}^+$  – создание биоэлектрического мембранного потенциала

# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения натрия

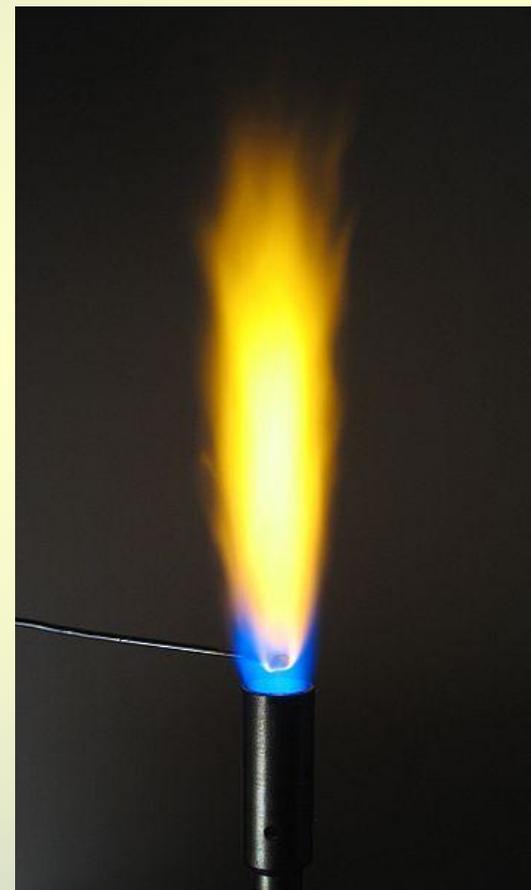
- NaF – для профилактики кариеса
- NaCl – для приготовления плазмозамещающих растворов (0,85%) и гипертонических растворов (3, 5 и 10%)
- NaBr – успокаивающее действие
- NaI – при недостатке йода в организме
- Цитрат натрия – консервант крови
- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  – лечение чесотки

# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения натрия

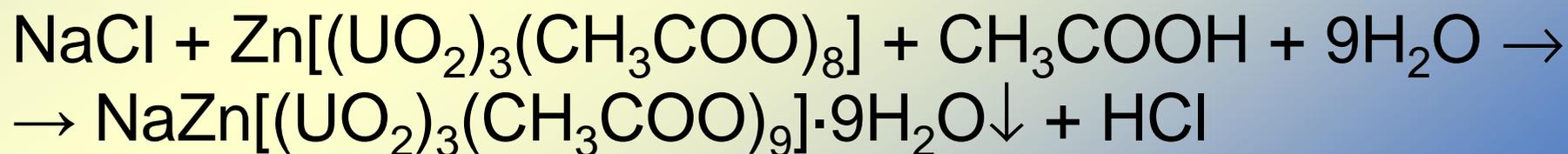
- $\text{NaHCO}_3$  – питьевая сода;
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – соль Глаубера;
- $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  – бура (как антисептик)

# Качественный анализ солей натрия

- Катион  $\text{Na}^+$  окрашивает бесцветное пламя горелки в жёлтый цвет



уранилацетат цинка



*жёлто-зеленые кристаллы*

# Биологическая роль соединений калия

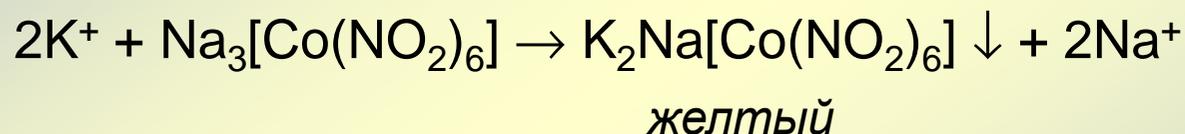
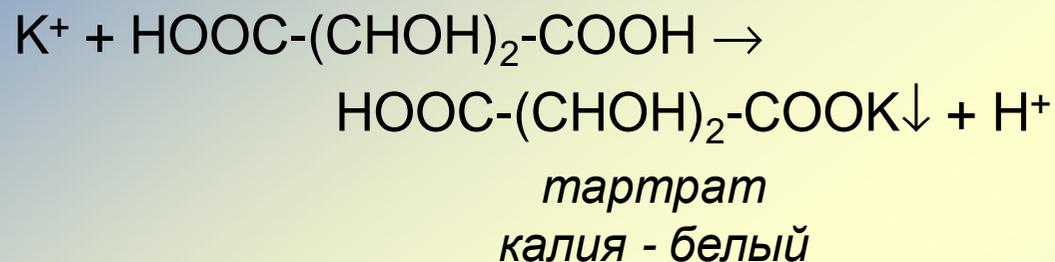
1.  $K^+$  – основной катион внутриклеточного пространства: основная роль в поддержании осмотического давления внутри клеток
2.  $K^+$  – создание биоэлектрического мембранного потенциала
3. Утилизация глюкозы клетками
4. Гипокалиемия ( $< 3$  ммоль/л) – мышечная слабость, аритмия

# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения калия

- $\text{KCl}$  – восполняющее дефицит калия
- $\text{KBr}$  – успокоительное
- $\text{KI}$  – восполняющее дефицит йода
- $\text{KMnO}_4$  – дезинфектант
- $\text{CH}_3\text{COOK}$  – мочегонное

# Качественный анализ солей калия

*винная кислота*



Соли калия окрашивают  
бесцветное пламя горелки  
в фиолетовый цвет



# Физические и химические свойства цезия

- Цезий является наиболее химически активным металлом, полученным в макроскопических количествах.
- Главное депо цезия в организме млекопитающих — мышцы, сердце, печень; в крови — до 2,8 мкг/л.
- Цезий малотоксичен; его биологическая роль в организме растений и животных окончательно не раскрыта.

# Реакция цезия с кислородом воздуха



# Ядовитость бериллия

- Летучие и растворимые соединения бериллия высокотоксичны. Бериллий обладает выраженным аллергическим и канцерогенным действием. Вдыхание воздуха, содержащего бериллий, приводит к тяжёлому заболеванию органов дыхания – бериллиозу.



# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения магния

- $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – «английская соль»;
- $\text{MgSO}_4$  – 25% р-р – магнезия – гипотоническое, обезболивающее и желчегонное действие;
- $\text{MgCO}_3$  – антацидное, противоязвенное;
- $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$  – белая магнезия – антацидное средство;
- $\text{MgO}$  – жженая магнезия – антацидное средство

# Взаимодействие магния с водой

- С холодной водой магний реагирует крайне медленно.
- Компактный магний с горячей водой реагирует с образованием оксида магния.
- $\text{Mg} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2$
- Мелкодисперсный магний реагирует с горячей водой с образованием гидроксида магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .
- $\text{Mg} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_2$

# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения магния

- Цитрат магния – восполняет дефицит  $Mg^{2+}$
- Витаминные комплексы с лактатом, оротатом, аспарагинатом магния.
- Глутаминат и аскорбинат магния – гипотоническое действие

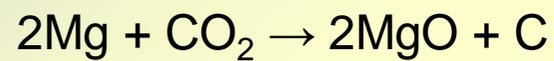
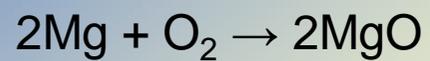
# Качественный анализ солей магния

- Соединения магния сгорают с ослепительно белым пламенем
- $\text{MgSO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{MgNH}_4\text{PO}_4 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$ 

*Ортофосфат магния  
аммония;  
белый,  
растворим в  $\text{CH}_3\text{COOH}$*

# Горение магния

Магний способен гореть не только в кислороде воздуха, но и в атмосфере углекислого газа.



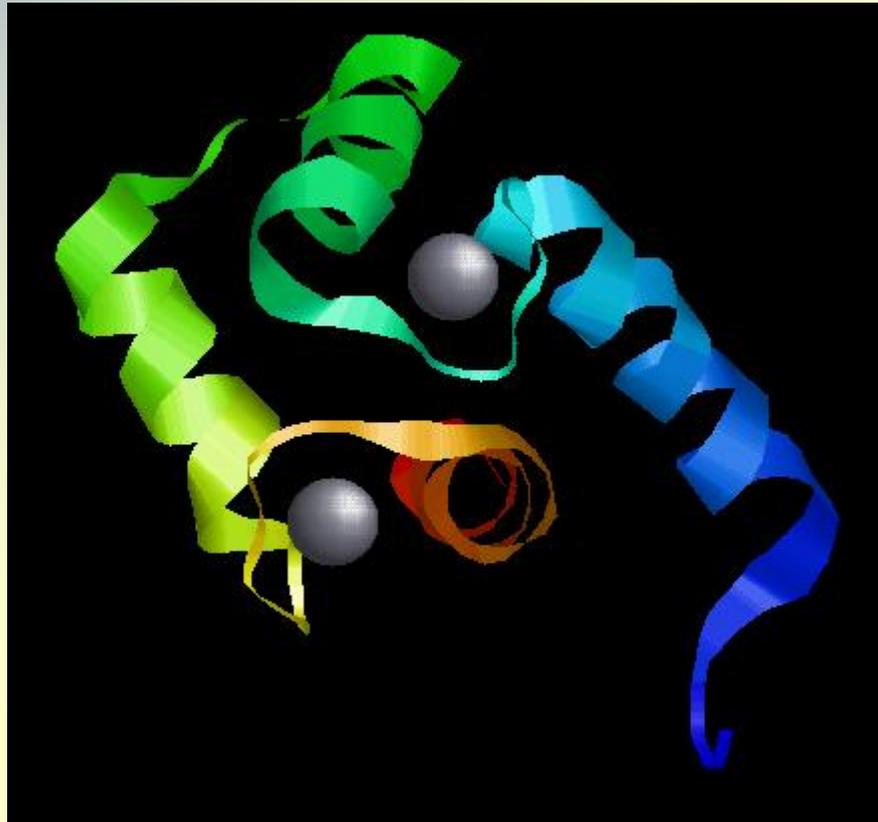
# Биологическая роль кальция

1. Основная масса кальция сосредоточена в костной ткани



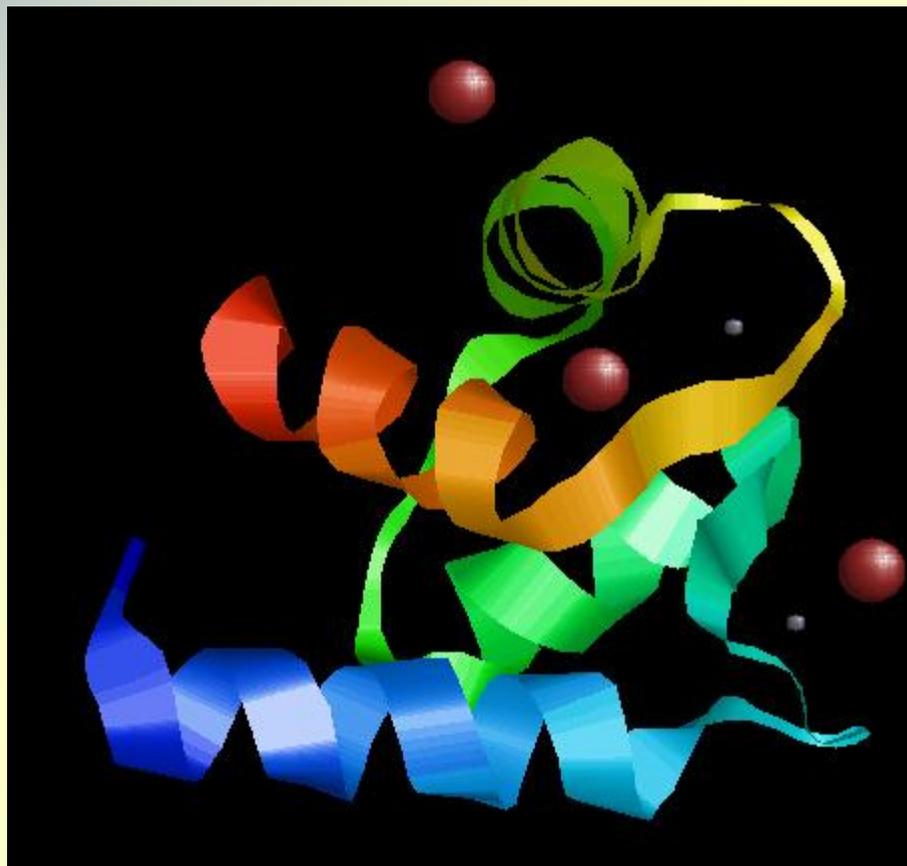
2.  $\text{Ca}^{2+}$  – катион внеклеточного пространства
3. Мышечное сокращение
4. Свёртывание крови
5. Активатор ферментативных процессов

# «EF-hands» - структурный мотив для связывания ионов кальция белками



Фрагмент N-конца кальмодулина  
человека с ионами кальция

Ионы цинка связываются с белком, но не конкурируют с кальцием, в отличие от ионов марганца



Фрагмент N-конца кальмодулина человека с ионами марганца и цинка

**Кальмодулин отвечает специфически на изменение концентрации кальция, в то время как в клетке концентрация ионов магния в 1000 раз выше**



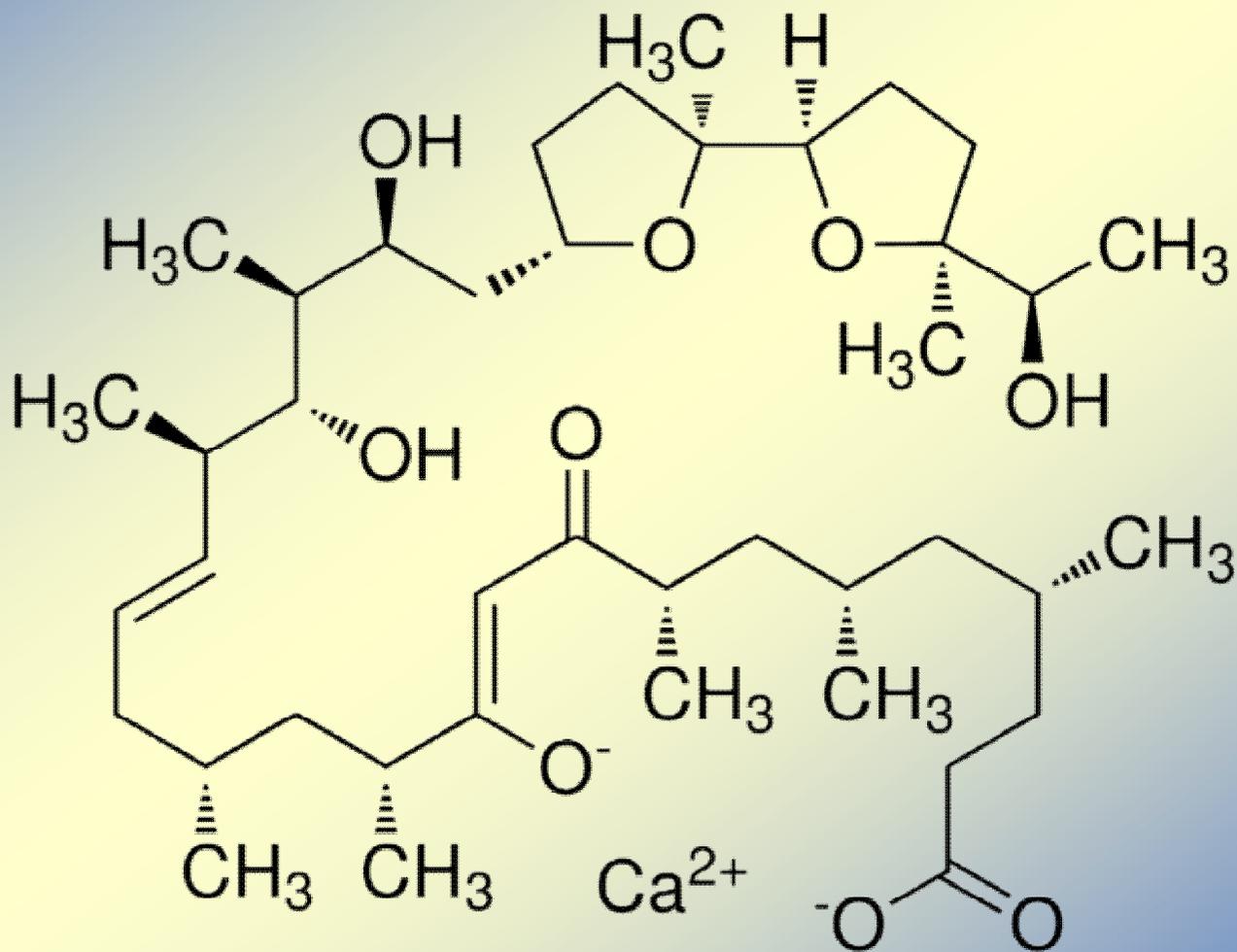
Фрагмент N-конца кальмодулина человека с ионами магния

## Соединения кальция в костной ткани, сходство ионов кальция и стронция, изоморфное замещение (проблема стронция-90)

- $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6](\text{OH})_2$  – гидроксиапатит
- $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6]\text{CO}_3$  – карбонатапатит
- Изоморфизм — свойство элементов замещать друг друга в структуре минерала
- У кальция и стронция одинаковый тип кристаллической решетки – кубическая гранецентрированная

- Стронций является аналогом кальция, поэтому он наиболее эффективно откладывается в костной ткани. Радиоактивный изотоп стронция (Стронций-90, бета-излучатель, период полураспада – 29 лет) облучает костную ткань и костный мозг, что увеличивает риск заболевания раком костного мозга. При поступлении большого количества изотопа может вызвать лучевую болезнь.

# Кальциевый ионофор – ИОНОМИЦИН



# Лекарственные средства, в состав которых входят соединения кальция

- $\text{CaCl}_2$  – противоаллергическое, гемостатическое
- $\text{CaCO}_3$  – антацидное, противоязвенное
- Лактат, пангамат, пантетонат, глюконат кальция – противоаллергическое, гемостатическое, восполняющее дефицит кальция

# Гипс

- $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$  – жженный гипс;
- $2(\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}) + 3 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$



# Качественный анализ солей бария

- Соединения бария окрашивают бесцветное пламя горелки в жёлто-зеленый цвет:



# Качественный анализ рентгеноконтрастного вещества – $\text{BaSO}_4$

- Для проведения анализа на подлинность препарат кипятят с насыщенным раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ :
- $\text{BaSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{BaCO}_3 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
- Осадок отфильтровывают, а в фильтрате определяют сульфат-ионы
- Осадок  $\text{BaCO}_3$  растворяют в  $\text{HCl}$  и в полученном растворе определяют ионы бария
- Проверка на чистоту (на примесь  $\text{BaCO}_3$ ): к определенному количеству препарата добавляют уксусную кислоту.  $\text{BaSO}_4$  отфильтровывают, а в фильтрате обнаруживают ионы бария.

# Неорганические соединения $s^1$ и $s^2$ элементов в фармации

- $K_3[Fe(CN)_6]$  – кач. опр.  $Fe^{2+}$ ;
- $K_4[Fe(CN)_6]$  – кач. опр.  $Zn^{2+}$  и  $Cu^{2+}$ ;
- $Na_2HPO_4$  – кач. опр.  $Mg^{2+}$ ;
- $Na_3[Co(NO_2)_6]$  – кач. опр.  $K^+$ ;
- $Na_2S_2O_3$  – колич. опр.  $I_2$ ;
- $KMnO_4$  – колич. опр.  $Fe^{2+}$ ;
- $Na_2B_4O_7$  – колич. опр.  $HCl$ ;
- $CaCl_2$  – кач. опр. цитрат-иона (нагревание);
- $BaCl_2$  – кач. опр. сульфат-иона

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**