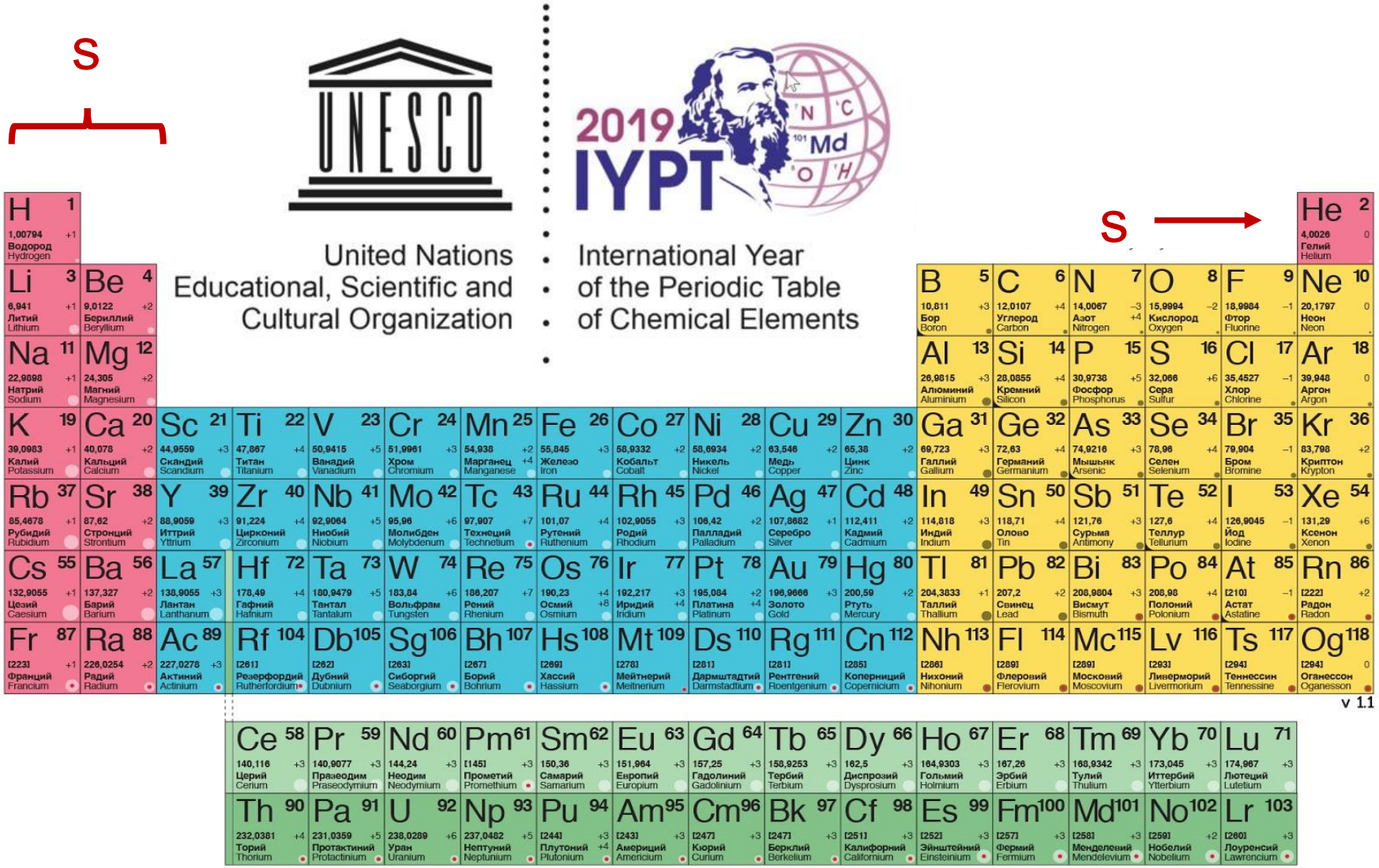
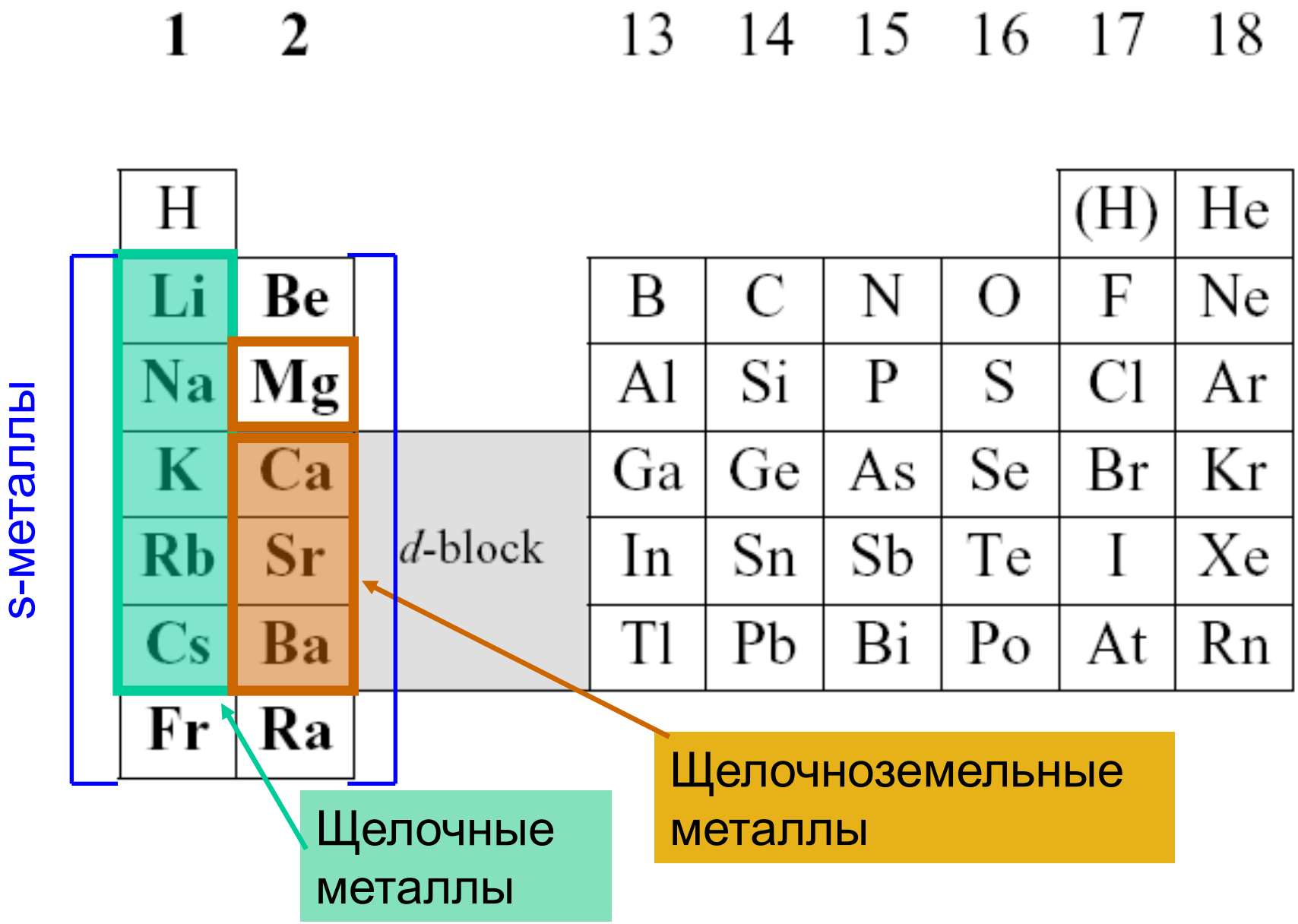
Элементы 2й группы

Неорганическая химия, 1 курс, 2025/2026

S-элементы в Периодической системе



Щелочные и щелочноземельные металлы

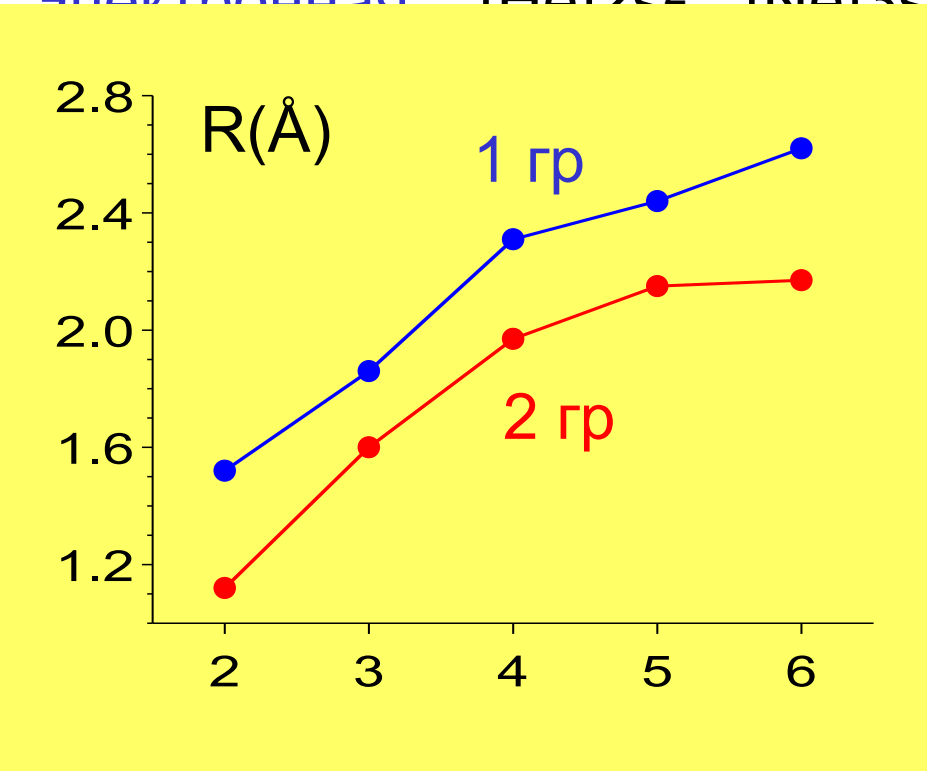


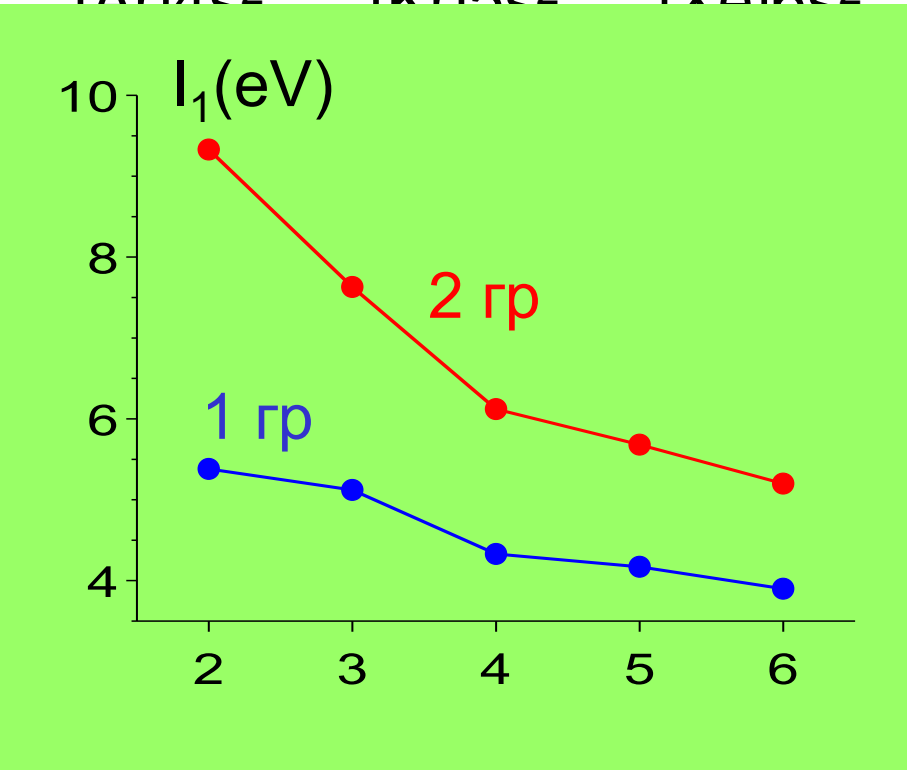
Свойства элементов 2 группы

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Электронная конфигурация	$[He]2s^2$	$[Ne]3s^2$	$[Ar]4s^2$	$[Kr]5s^2$	$[Xe]6s^2$
R_M (Å)	1.12	1.60	1.97	2.15	2.17
$R_{M^{2+}}$ (Å)	0.27	0.72	1.00	1.18	1.35
I_1 (эВ)	9.33	7.63	6.12	5.68	5.20
I_2 (эВ)	18.2	15.0	11.9	11.0	10.0
χ^P	1.57	1.31	1.00	0.95	0.89
χ^{A-R}	1.47	1.23	1.04	0.99	0.97
С.О.	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2

Свойства элементов 2 группы

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Электронная	$[He]2s^2$	$[Ne]3s^2$	$[Ar]4s^2$	$[Kr]5s^2$	$[Xe]6s^2$

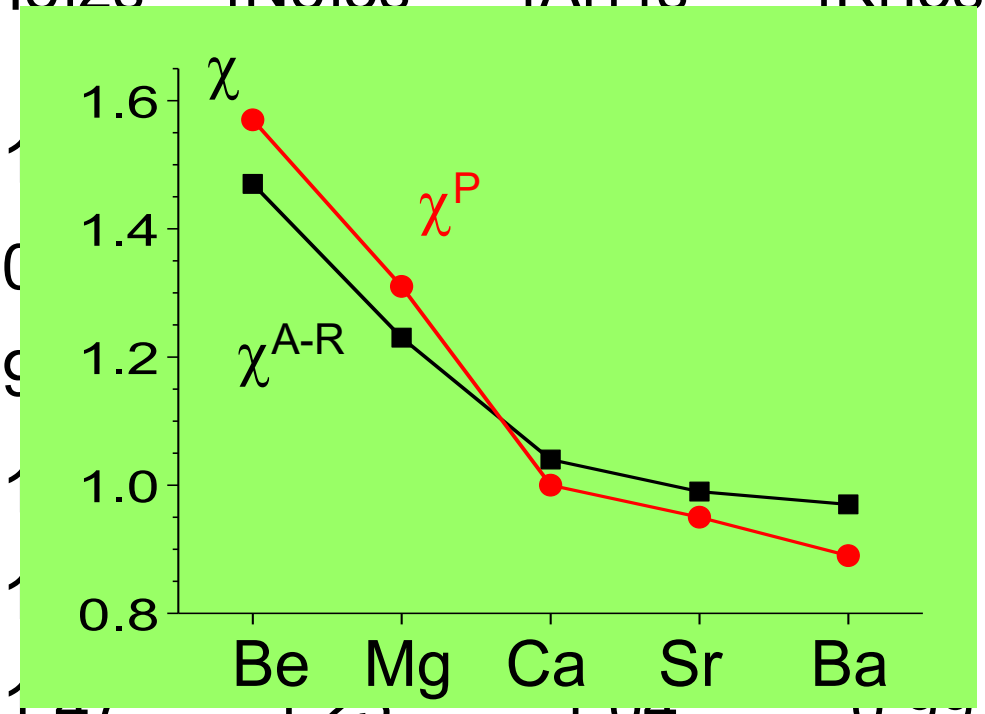




С.О.	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2

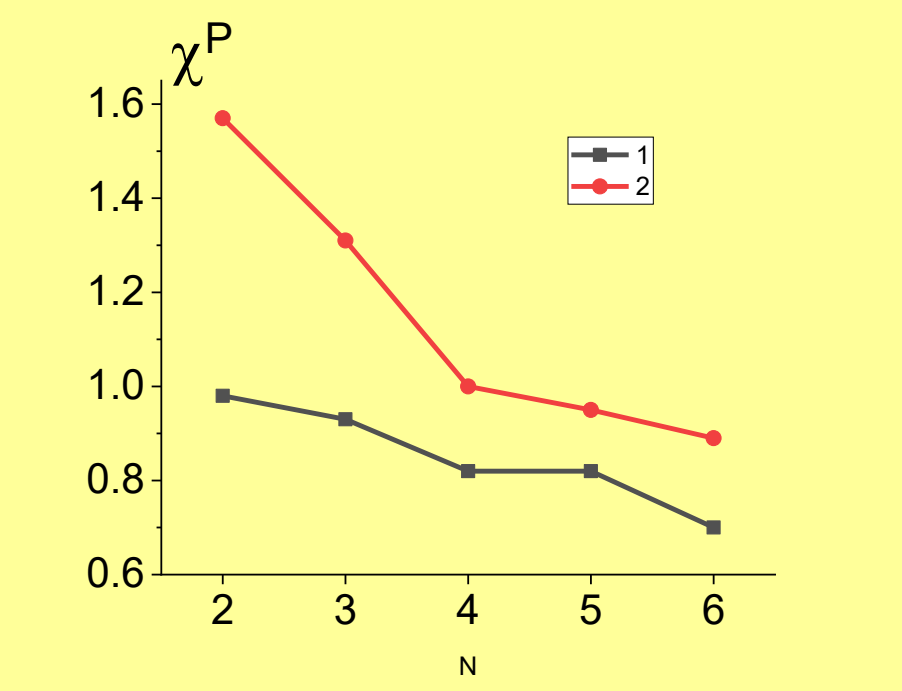
Свойства элементов 2 группы

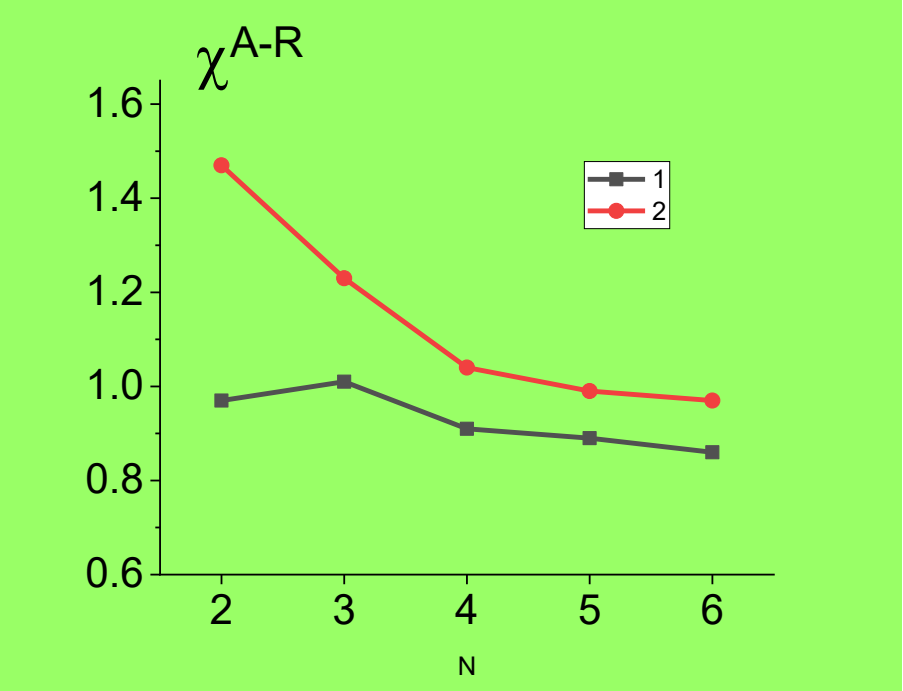
	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Электронная конфигурация	$[He]2s^2$	$[Ne]3s^2$	$[Ar]4s^2$	$[Kr]5s^2$	$[Xe]6s^2$
R_M (Å)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	2.17
$R_{M^{2+}}$ (Å)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	1.35
I_1 (эВ)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	5.20
I_2 (эВ)	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	10.0
χ^P	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	0.89
χ^{A-R}	1.47	1.23	1.04	0.99	0.97
С.О.	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2



Свойства элементов 2 группы

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Электронная	$[He]2s^2$	$[Ne]3s^2$	$[Ar]4s^2$	$[Kr]5s^2$	$[Xe]6s^2$
χ^{A-R}	1.47	1.23	1.04	0.99	0.97
С.О.	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2



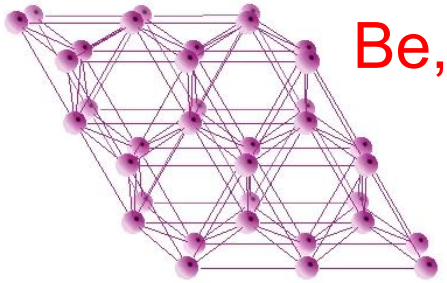


Свойства элементов 2 группы

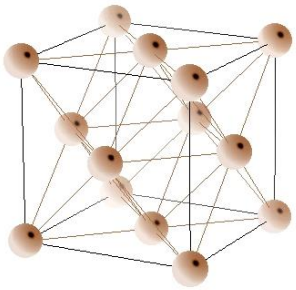
	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Электронная конфигурация	$[He]2s^2$	$[Ne]3s^2$	$[Ar]4s^2$	$[Kr]5s^2$	$[Xe]6s^2$
R_M (Å)	1.12	1.60	1.97	2.15	2.17
$R_{M^{2+}}$ (Å)	0.27	0.72	1.00	1.18	1.35
I_1 (эВ)	9.33	7.63	6.12	5.68	5.20
I_2 (эВ)	18.2	15.0	11.9	11.0	10.0
χ^P	1.57	1.31	1.00	0.95	0.89
χ^{A-R}	1.47	1.23	1.04	0.99	0.97
С.О.	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2	0, +2

Свойства металлов 2 группы

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Т.пл. (°C)	1289	650	842	768	729
Т.кип. (°C)	2472	1090	1494	1382	1805
d (г/см^3)	1.85	1.74	1.54	2.62	3.51
$E_{M^{2+}/M}$ (В)	–1.85	–2.38	–2.87	–2.89	–2.90
$\Delta_{ат}H^0_{298}$ (кДж/моль)	324	146	178	164	178
Стр. тип	Mg	Mg	Cu	Cu	Fe

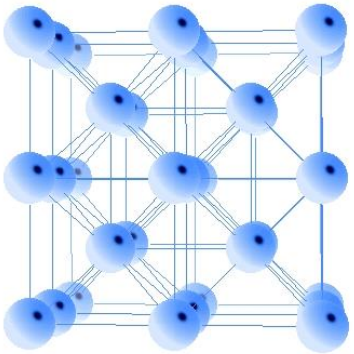


Be, Mg



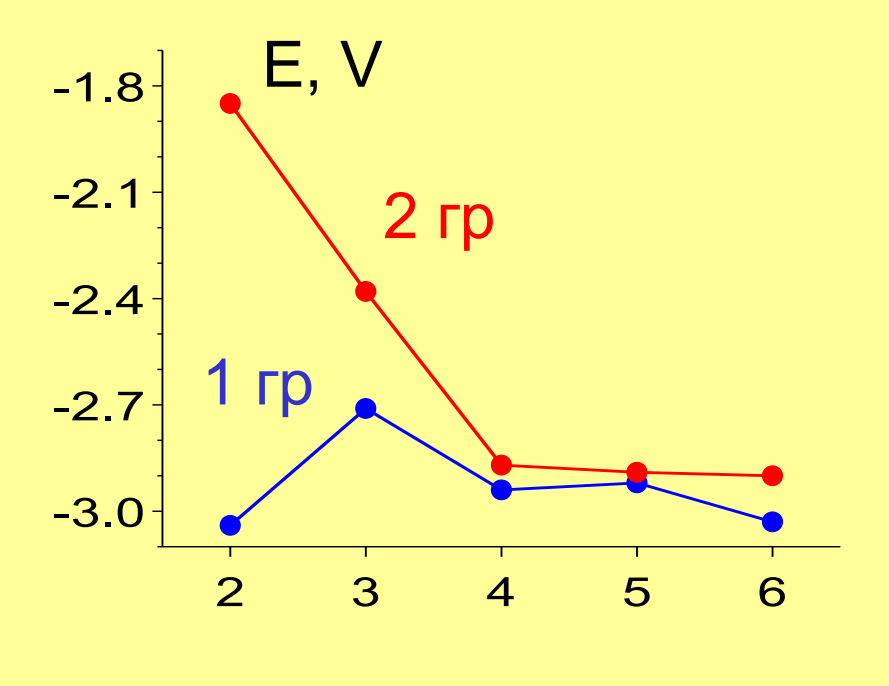
Ca, Sr

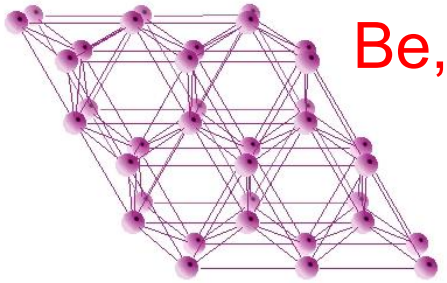
Ba



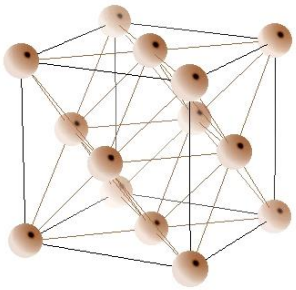
Свойства металлов 2 группы

	Be	Mg	Ca	Sr	Ba
Т.пл. (°C)				768	729
Т.кип. (°C)				882	1805
d (г/см^3)				2.62	3.51
E $_{M^{2+}/M}$ (В)				–2.89	–2.90
$\Delta_{ат}H^0_{298}$ (кДж/моль)				164	178
Стр. тип				Cu	Fe



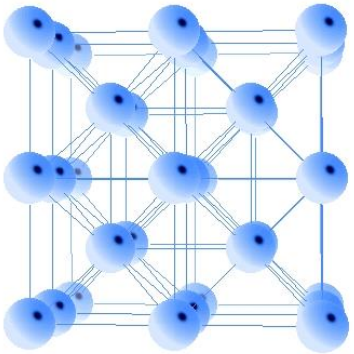


Be, Mg



Ca, Sr

Ba



Нахождение в природе

Be

берилл, <u>изумруд</u>,
аквамарин $Be_3Al_2Si_6O_{18}$
хризоберилл $Be(AlO_2)_2$
бертрандит $Be_4Si_2O_7(OH)_2$

Mg

магнезит $MgCO_3$
доломит $CaCO_3 \cdot MgCO_3$
оливин $(Mg,Fe)_2SiO_4$
карналлит
$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

Ca

гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
мел, мрамор, известняк
$CaCO_3$

Sr

стронцианит $SrCO_3$
<u>целестин</u> $SrSO_4$

Ba

барит $BaSO_4$
витерит $BaCO_3$

Нахождение в природе

Be

берилл, изумруд,

аквамарин B

хризоберилл

бертрандит

Mg

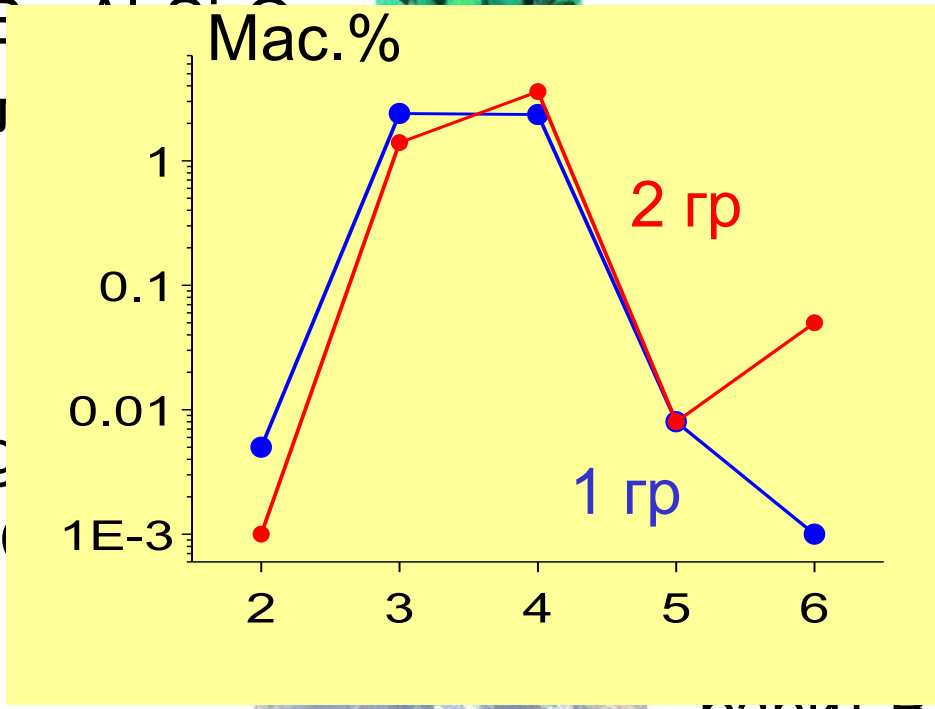
магнезит Mg

доломит Ca

оливин (Mg,

карналлит

$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$



Ca

гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$

амор, известняк

анит $SrCO_3$

н $SrSO_4$

барит $BaSO_4$

витерит $BaCO_3$

Получение металлов

Получение <u>магния</u> из доломита:

$MgCO_3$

$2MgO$

$Mg + 2$

$MgCl_2$

<u>Другие</u>

BeF_2

$4CaO$

Sr, Ba

Получение металлов

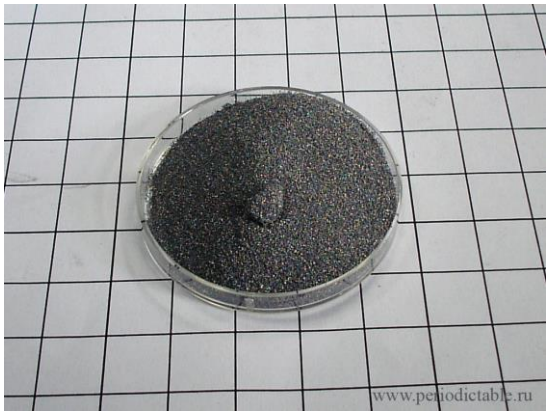
Получение <u>магния</u> из доломита:

$MgCO_3 \cdot CaCO_3 = MgO + CaO + 2CO_2$ (обжиг)

$2MgO + 2CaO + FeSi = 2Mg + Fe + Ca_2SiO_4$

$Mg + 2HCl$ (б/в) $= MgCl_2 + H_2$

$MgCl_2 = Mg + Cl_2$ (электролиз расплава)



<u>Другие металлы</u>:

$BeF_2 + Mg = MgF_2 + Be$ 1200°C

$4CaO + 2Al = 3Ca + CaAl_2O_4$ (алюмотермия)

Sr, Ba – аналогично Ca

или $BaCl_2 = Ba + Cl_2$ (электролиз расплава)

Применение

Be: в качестве нейтронных отражателей
для изготовления легких и прочных сплавов

Mg: в авиастроении
в медицине
в пиротехнике
в органическом синтезе

Ca: в оптике (CaF_2)
в металлургии
в медицине (фосфаты)
в производстве соды, цемента и бетона

Sr: в пиротехнике

Ba: для поглощения рентгеновских лучей
в красках и пигментах, пиротехнике

Основные химические свойства

1. Все металлы взаимодействуют с O_2; Be и Mg – с N_2:

$2Be + O_2 = 2BeO$

$Ba + O_2 = BaO_2$ (500-700 ^oC)

$3Mg + N_2 = Mg_3N_2$ (500 ^oC)

2. Ca, Sr, Ba реагируют с водой, Mg – при нагревании:

$Ca + 2H_2O = Ca(OH)_2 + H_2$

3. Все металлы реагируют с кислотами,

Be пассивируется HNO_3 (конц)

$Ca + 2CH_3COOH = Ca(CH_3COO)_2 + H_2$

4. Бериллий растворяется в щелочах:

$Be + 2KOH + 2H_2O = K_2[Be(OH)_4] + H_2$

Основные химические свойства

5. Магний растворим в NH_4Cl, бериллий – в NH_4F:

$$Mg + 2NH_4Cl + 2H_2O = MgCl_2 + 2NH_3 \cdot H_2O + H_2$$

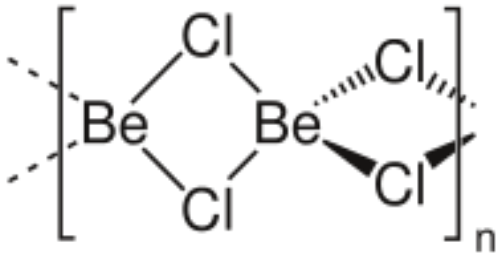
$$Be + 4NH_4F + 2H_2O = (NH_4)_2[BeF_4] + 2NH_3 \cdot H_2O + H_2$$

6. Все металлы реагируют с галогенами, серой и фосфором

$$Be + Cl_2 = BeCl_2$$

$$Ca + S = CaS$$

$$4Ba + 3P_4 = 4BaP_3$$



7. Ca, Sr, Ba растворяются в жидком аммиаке:

$$Sr + 2NH_3(ж) = Sr(NH_2)_2 + H_2$$

8. Все металлы образуют гидриды MH_2

Радий и его свойства

1. Ra – металл, т.пл. 699 ^{o}C, т.кип. 1535 ^{o}C, d = 5.0 г/см^3

2. Самый устойчивый изотоп ^{226}Ra ($\tau_{1/2}$ = 1622 года),
   в природе – как промежуточный продукт распада ^{238}U,
   α-эмиттер

3. Химически очень активен, реагирует с O_2, N_2 при н.у.

4. Изоморфен барию (стр. тип α-Fe)

5. $Ra(OH)_2$ умеренно растворим,
   более сильное основание, чем $Ba(OH)_2$

6. Нерастворимые соли:

   $RaSO_4$, $RaCO_3$, $Ra_3(PO_4)_2$

   $RaCl_2 + Na_2SO_4 = RaSO_4\downarrow + 2NaCl$ (для выделения)

Радий и его свойства

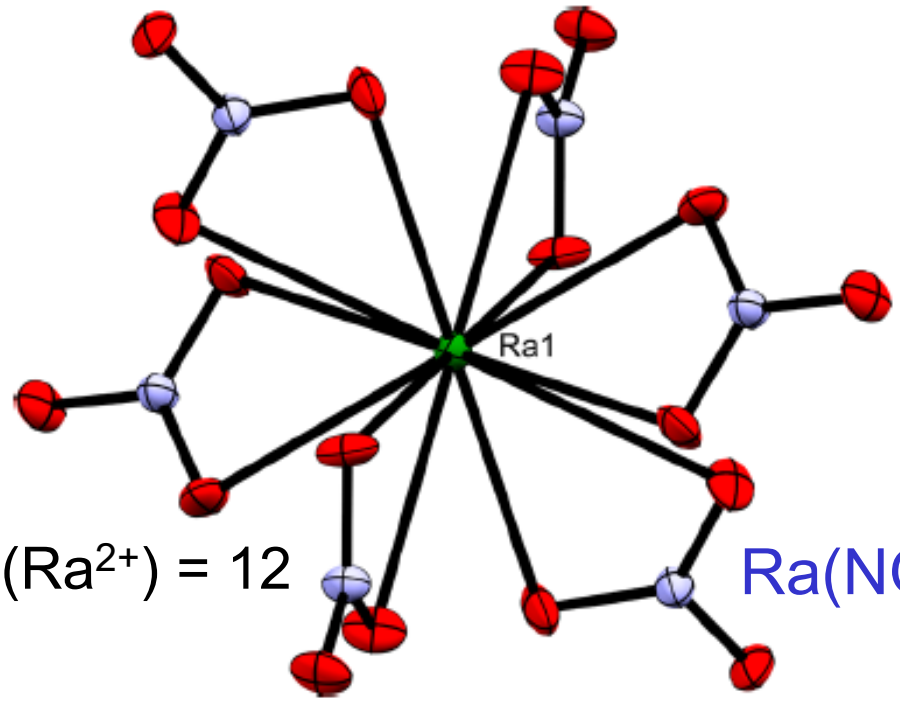
1. Ra – металл, т.пл. 699 ^{o}C, т.кип. 1535 ^{o}C, d = 5.0 г/см^3

2. Самый у а),
в природ а ^{238}U,
иттер

3. Химичес и н.у.

4. Изострук

5. $Ra(OH)_2$
боле



к.ч. (Ra^{2+}) = 12

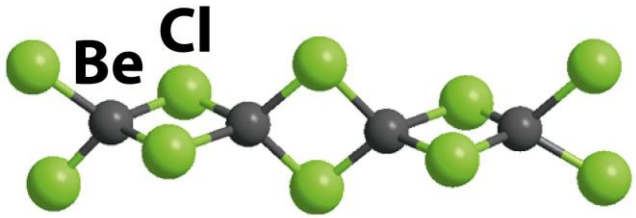
$Ra(NO_3)_2$

6. Нерастворимые соли:

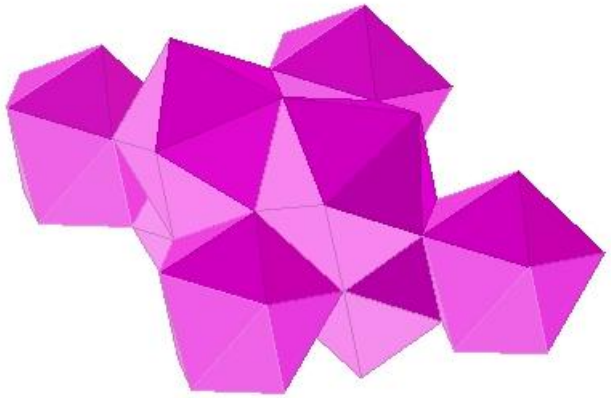
$RaSO_4$, $RaCO_3$, $Ra_3(PO_4)_2$

$RaCl_2 + Na_2SO_4 = RaSO_4\downarrow + 2NaCl$ (для выделения)

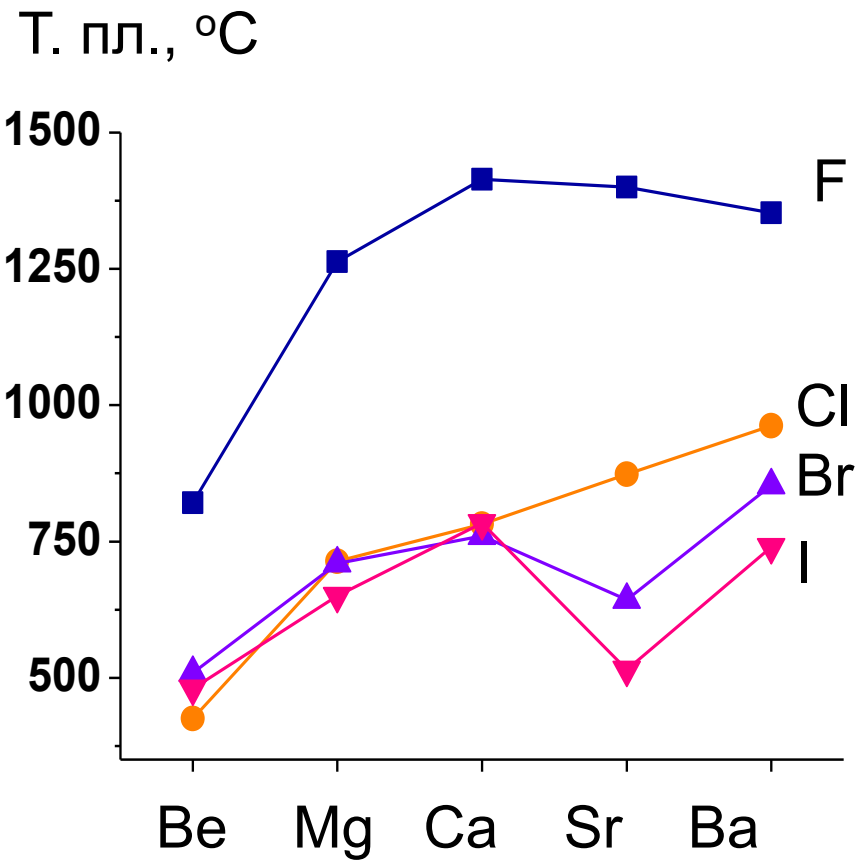
Галогениды металлов 2 группы



$BeCl_2$



$BaCl_2$



Получение MX_2

1. Прямое галогенирование

$Mg + Cl_2 = MgCl_2$ 200 °C

$Ba + Br_2 = BaBr_2$ 500 °C

2. Галогенирование оксидов

$2BeO + CCl_4 = 2BeCl_2 + CO_2$ 800 °C

$BeO + C + Cl_2 = BeCl_2 + CO$ 700 °C

3. Обезвоживание гидратов в токе HCl, HBr (кроме Be)

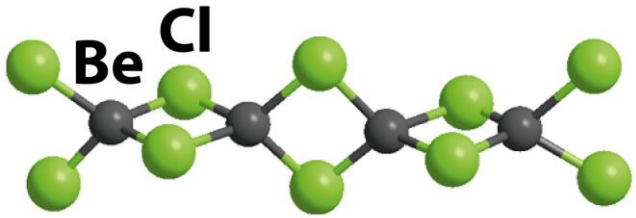
$CaCl_2 \cdot 6H_2O = CaCl_2 + 6H_2O$ 400 °C

4. Гидрогалогенирование

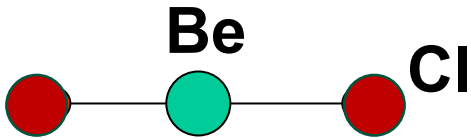
$BeO + 2HCl = BeCl_2 + H_2O$ 250 °C

Свойства MX_2

1. Все MX_2 кипят без разложения



в кристалле



в паре

2. Образование оксогалогенидов

$MgCl_2 \cdot 6H_2O = MgCl_2 \cdot 4H_2O + 2H_2O$ 120 °C

$MgCl_2 \cdot 4H_2O = MgCl_2 \cdot 2H_2O + 2H_2O$ 150 °C

$MgCl_2 \cdot 2H_2O = MgCl_2 \cdot H_2O + H_2O$ 240 °C

$2MgCl_2 \cdot H_2O = Mg_2OCl_2 + 2HCl + H_2O$ 400 °C

Свойства MX_2

3. Взаимодействие с водой

$CaCl_2 + 6H_2O = CaCl_2 \cdot 6H_2O$ Т.пл.(мин) = –55 ^oC

4. Гидролиз хлорида бериллия

$[Be(H_2O)_4]Cl_2 = Be(OH)_2 + 2HCl + 2H_2O$

кипячение р-ра

5. Фториды (кроме BeF_2) плохо растворимы в воде

$Ca(NO_3)_2 + 2KF = CaF_2\downarrow + 2KNO_3$

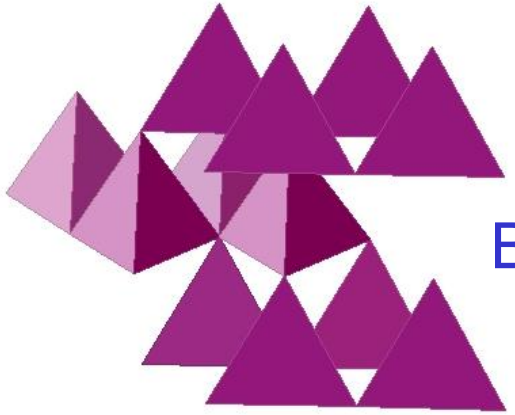
6. BeF_2 образует комплексные фториды

$BeCl_2 + 4(NH_4)F = (NH_4)_2[BeF_4] + 2NH_4Cl$

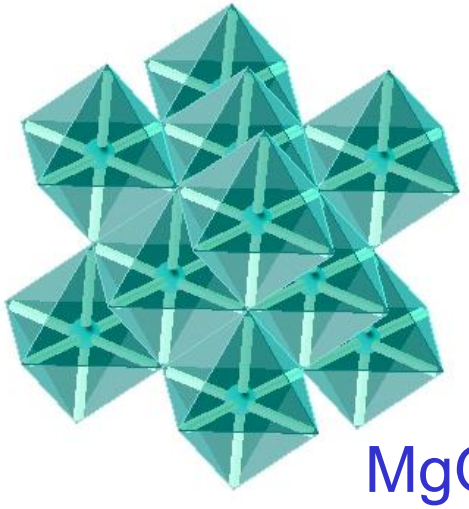
$(NH_4)_2[BeF_4] = BeF_2 + NH_4F$ 800 ^oC

Оксиды, пероксиды и гидроксиды

	BeO	MgO	CaO	SrO	BaO
Т. пл., ^{o}C	2470	2850	2614	2420	1920
$\Delta_f H^0_{298}$, кДж/моль	–598	–602	–636	–590	–558
Твердость	9.0	6.5	4.5	3.5	3.0
К.ч. металла	4	6	6	6	6



BeO



MgO – BaO

Оксиды, пероксиды и гидроксиды

1. Растворяются в кислотах

   $BeO + 2HCl = BeCl_2 + H_2O$

   $SrO + 2CH_3COOH = Sr(CH_3COO)_2 + H_2O$

2. BeO растворяется в щелочах

   $BeO + 2NaOH + H_2O = Na_2[Be(OH)_4]$

3. SrO и BaO окисляются до пероксида

   $2BaO + O_2 \Leftrightarrow 2BaO_2$ 500-700 ^oC

4. Реагируют (кроме BeO) с оксидами d-металлов при нагревании

   $BaO + CuO = BaCuO_2$

   $CaO + Fe_2O_3 = CaFe_2O_4$

Оксиды, пероксиды и гидроксиды

5. BeO, MgO теряют реакционную способность после прокаливания

6. Пероксиды SrO_2, BaO_2 образуются при нагревании металлов или оксидов на воздухе,
CaO_2, MgO_2 неустойчивы, BeO_2 неизвестен

7. Пероксиды SrO_2, BaO_2 выделяют O_2 в кислой среде

$$SrO_2 + H_2SO_4 = SrSO_4\downarrow + H_2O + ½O_2$$

8. Пероксиды SrO_2, BaO_2 – окислители

$$BaO_2 + CO = BaCO_3$$

$$2BaO_2 + S = SO_2 + 2BaO$$

Оксиды, пероксиды и гидроксиды

9. Образуют гидроксиды

$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$

$MgCl_2 + 2KOH = 2KCl + Mg(OH)_2$

$BeCl_2 + 2NH_3 + 2H_2O = Be(OH)_2 + 2NH_4Cl$

10. $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, $Ba(OH)_2$ растворимы в горячей воде, $Mg(OH)_2$ – в р-рах солей аммония

$Mg(OH)_2$ (тв) + $2NH_4Cl$ (aq) = $MgCl_2 + 2NH_3 \cdot H_2O$

pK_b = 2.6

11. $Be(OH)_2$ $Mg(OH)_2$ $Ca(OH)_2$ $Sr(OH)_2$ $Ba(OH)_2$

Увеличение силы основания

Соли кислородных кислот

1. Фосфаты, гидрофосфаты, карбонаты и сульфаты Ca-Ba плохо растворимы

$BaCl_2 + Na_2SO_4 = BaSO_4\downarrow + 2NaCl$

$SrCl_2 + Na_2CO_3 = SrCO_3\downarrow + 2NaCl$

$CaCl_2 + Na_2HPO4 = CaHPO_4\downarrow + 2NaCl$

$MgCl_2 + 2NaHCO_3 = MgCO_3\downarrow + 2NaCl + H_2O + CO_2$

2. Карбонаты разлагаются при нагревании

$SrCO_3 = SrO + CO_2$ (T)

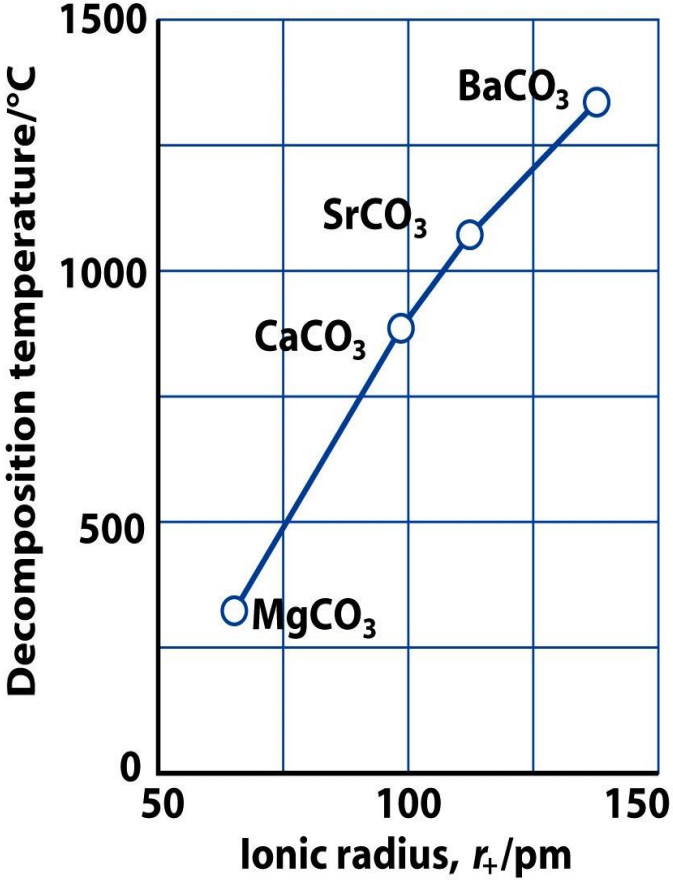


Figure 11-4
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

Соли кислородных кислот

3. Растворение за счет образования кислых солей

$CaCO_3\downarrow + CO_2 + H_2O = Ca(HCO_3)_2$

$CaSO_4\downarrow + H_2SO_4(к) = Ca(HSO_4)_2$

4. Be и Mg образуют гидроксосоли

$5MgCl_2 + 5Na_2CO_3 + 2H_2O = Mg(OH)_2\cdot 3MgCO_3\downarrow + 10NaCl + Mg(HCO_3)_2$

$2BeCl_2 + 2Na_2CO_3 + H_2O = Be(OH)_2\cdot BeCO_3\downarrow + 4NaCl + CO_2$

$Be(OH)_2\cdot BeCO_3\downarrow + 3(NH_4)_2CO_3 = 2(NH_4)_2[Be(CO_3)_2] + 2NH_3\cdot H_2O$

Проявление различной основности гидроксидов !

Жесткость воды

Жесткость воды – присутствие растворимых солей

Следствие – образование осадков и взвеси $MgCO_3$, $CaCO_3$, $CaSO_4$, $Fe_2O_3 \cdot xH_2O$

Временная жесткость – $M(HCO_3)_2$, M = Mg, Ca, Fe

Удаление кипячением

$$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3\downarrow + CO_2\uparrow + H_2O$$

Постоянная жесткость – MSO_4, MCl_2, M = Mg, Ca, Fe

Удаление карбонатным методом

$$CaSO_4 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + Na_2SO_4$$

или деминерализацией через ионообменные смолы

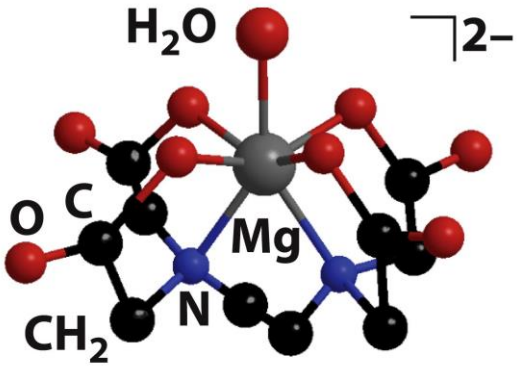
Комплексные соединения

1. Be образует комплексные соединения с простыми лигандами
2. Be образует летучие комплексные соединения

$4Be(OH)_2 + 6CH_3COOH = Be_4O(CH_3COO)_6 + 7H_2O$

$2[Be(OH)_2 \cdot BeCO_3] + 6CH_3COOH = Be_4O(CH_3COO)_6 + 2CO_2 + 5H_2O$

3. Mg, Ca образуют устойчивые комплексы с полидентатными лигандами
4. Sr, Ba образуют комплексы с краун-эфирами (аналогия с щелочными металлами)



6 $[Mg(edta)(OH_2)]^{2-}$

Structure 11-6
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

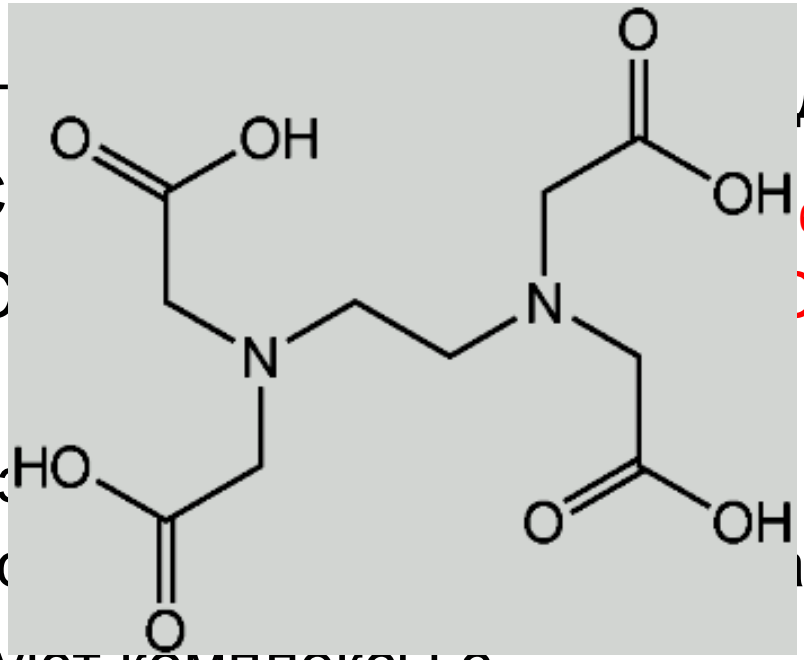
Комплексные соединения

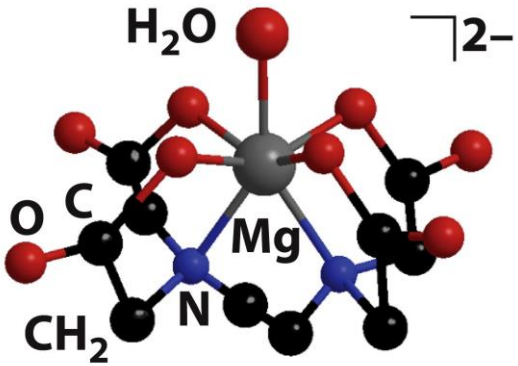
1. Be образует комплексные соединения с простыми лигандами
2. Be образует [illegible] динения

$4Be(OH)_2 + 6C$ [illegible] $_6 + 7H_2O$

$2[Be(OH)_2 \cdot BeC$ [illegible] $CH_3COO)_6 + 2CO_2 + 5H_2O$

3. Mg, Ca образ[illegible] комплексы с [illegible] ами
4. Sr, Ba образуют комплексы с краун-эфирами (аналогия с щелочными металлами)



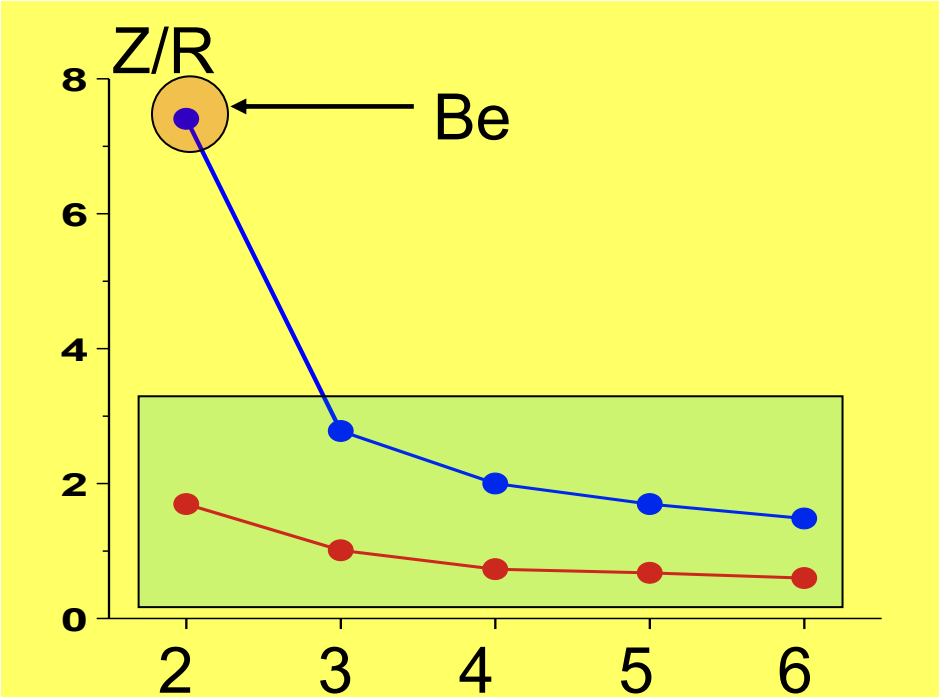


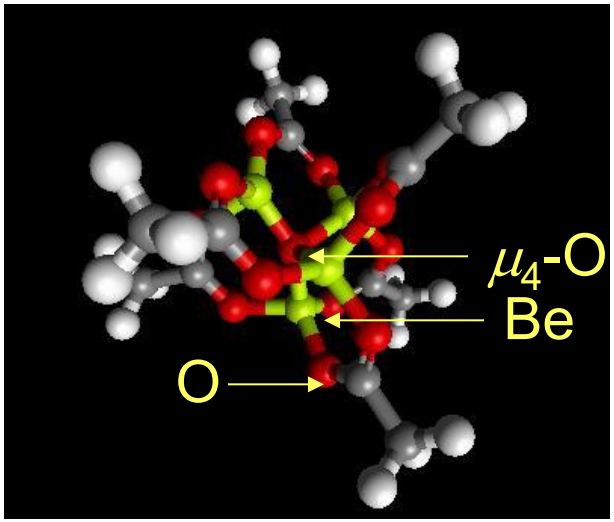
6 $[Mg(edta)(OH_2)]^{2-}$

Structure 11-6
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

Особые свойства бериллия

1. Be пассивируется HNO_3 (конц)
2. Be, BeO растворяются в щелочах
3. BeF_2 хорошо растворим в воде
4. Be образует комплексные соединения $M_2[BeF_4]$, $M_2[Be(CO_3)_4]$, $Be_4O(CH_3COO)_6$





$Be_4O(CH_3COO)_6$

Особые свойства бериллия

1. Be пасс

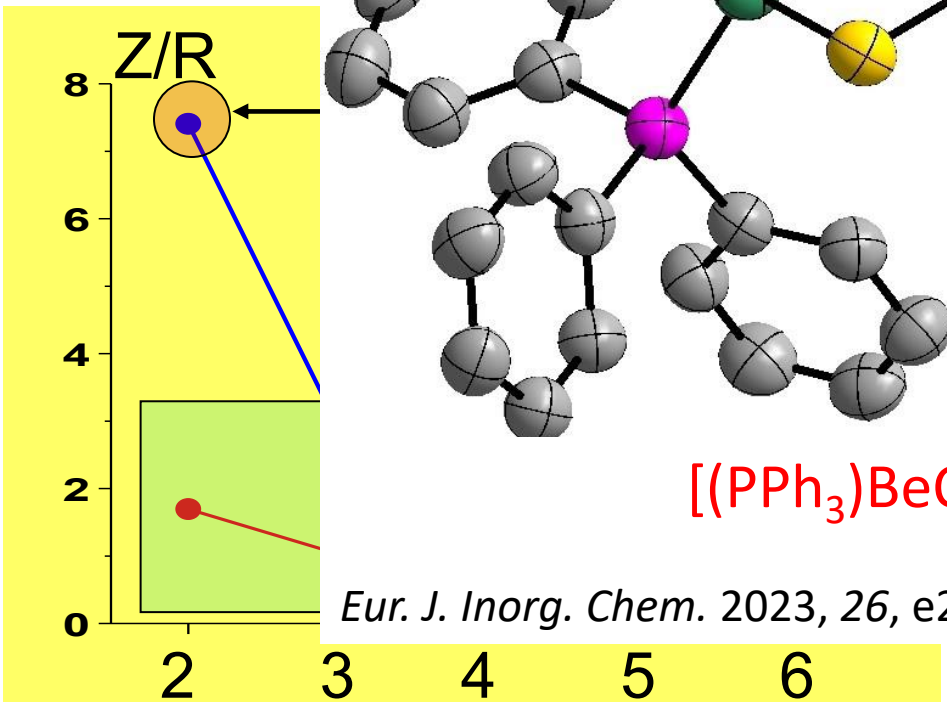
2. Be, BeC

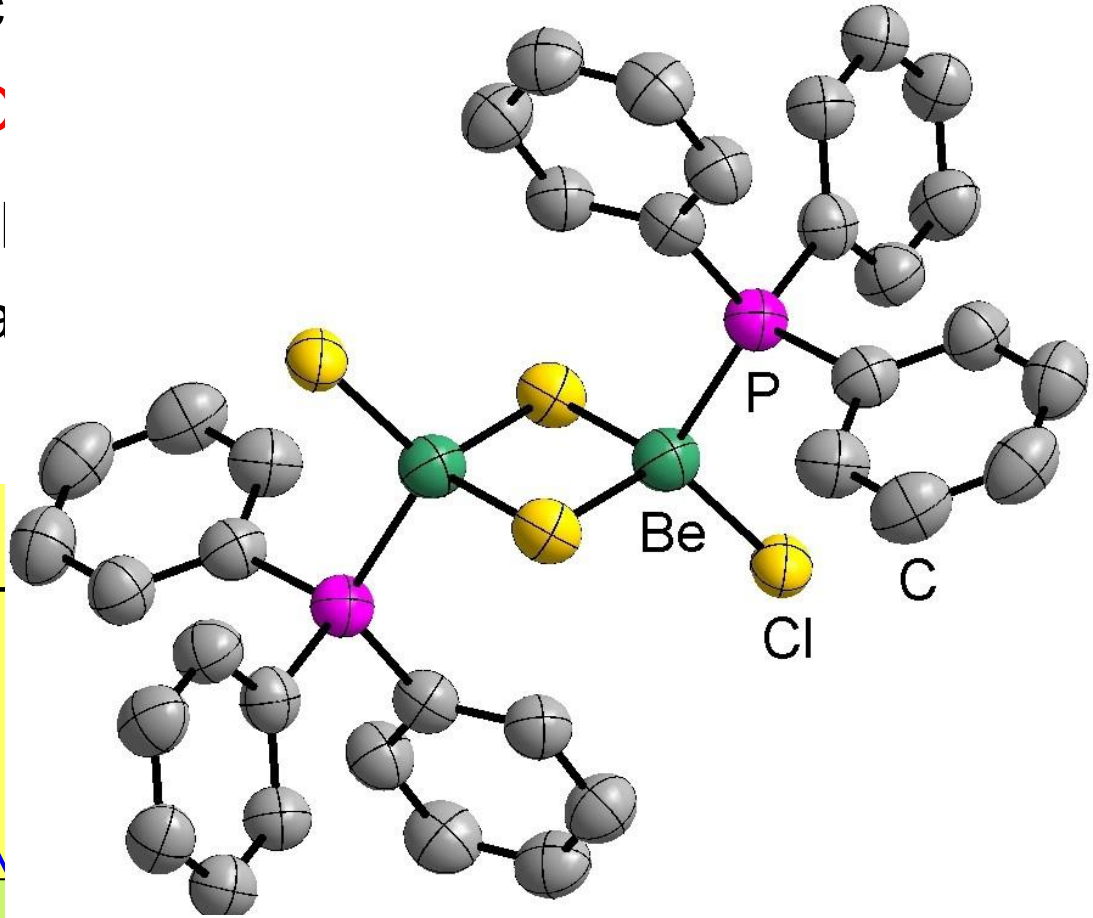
3. BeF_2 хо

4. Be обра

eF_4],

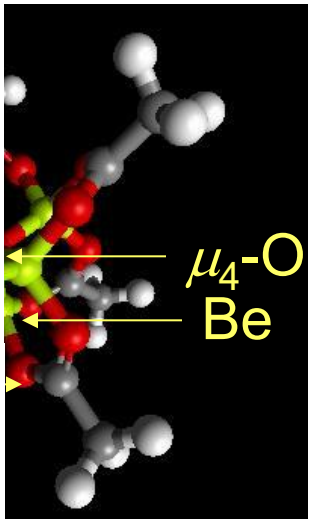
$CH_3COO)_6$





$[(PPh_3)BeCl_2]_2$

Eur. J. Inorg. Chem. 2023, *26*, e202300199



$Be_4O(CH_3COO)_6$

Диагональное сходство

Основная причина:
близость Z/R (Z^2/R)

Li ↔ Mg:

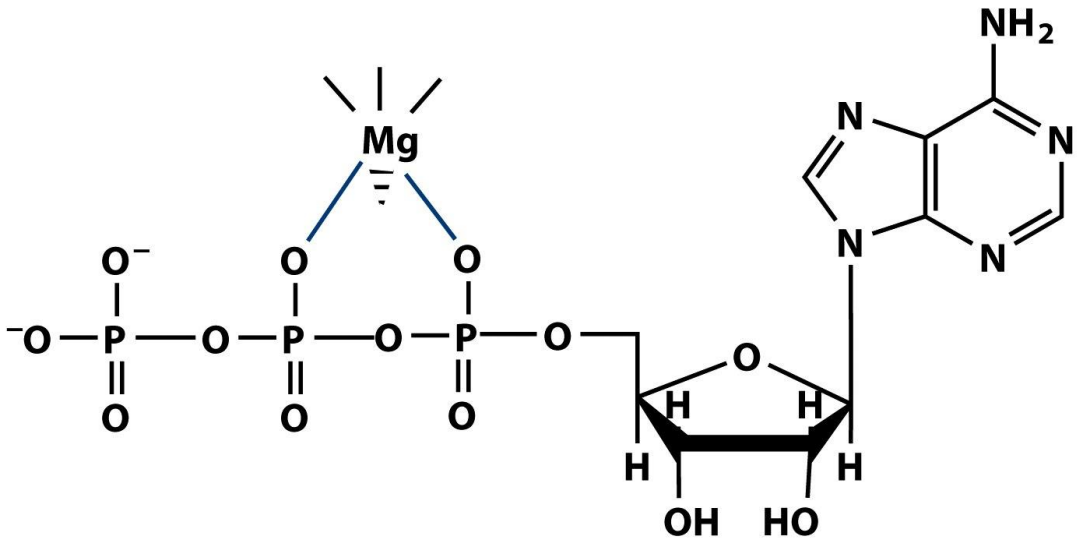
1. Реагируют с N_2
2. Не образуют пероксидов при взаимодействии с O_2
3. Образуют малорастворимые гидроксиды, фториды
4. Нитраты разлагаются до оксидов при невысокой *T*

$$4LiNO_3 = 2Li_2O + 4NO_2 + O_2$$

$$2Mg(NO_3)_2 = 2MgO + 4NO_2 + O_2$$

Биологическая роль Mg, Ca

1. АТФ существует в виде комплекса с Mg^{2+}



1 Mg–ATP complex

Structure 26-1
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

2. Фосфаты Ca^{2+} вместе с коллагеном формируют кости

Биологическая роль Mg, Ca

3. Поглощение CO_2 Mg-карбоксилазой

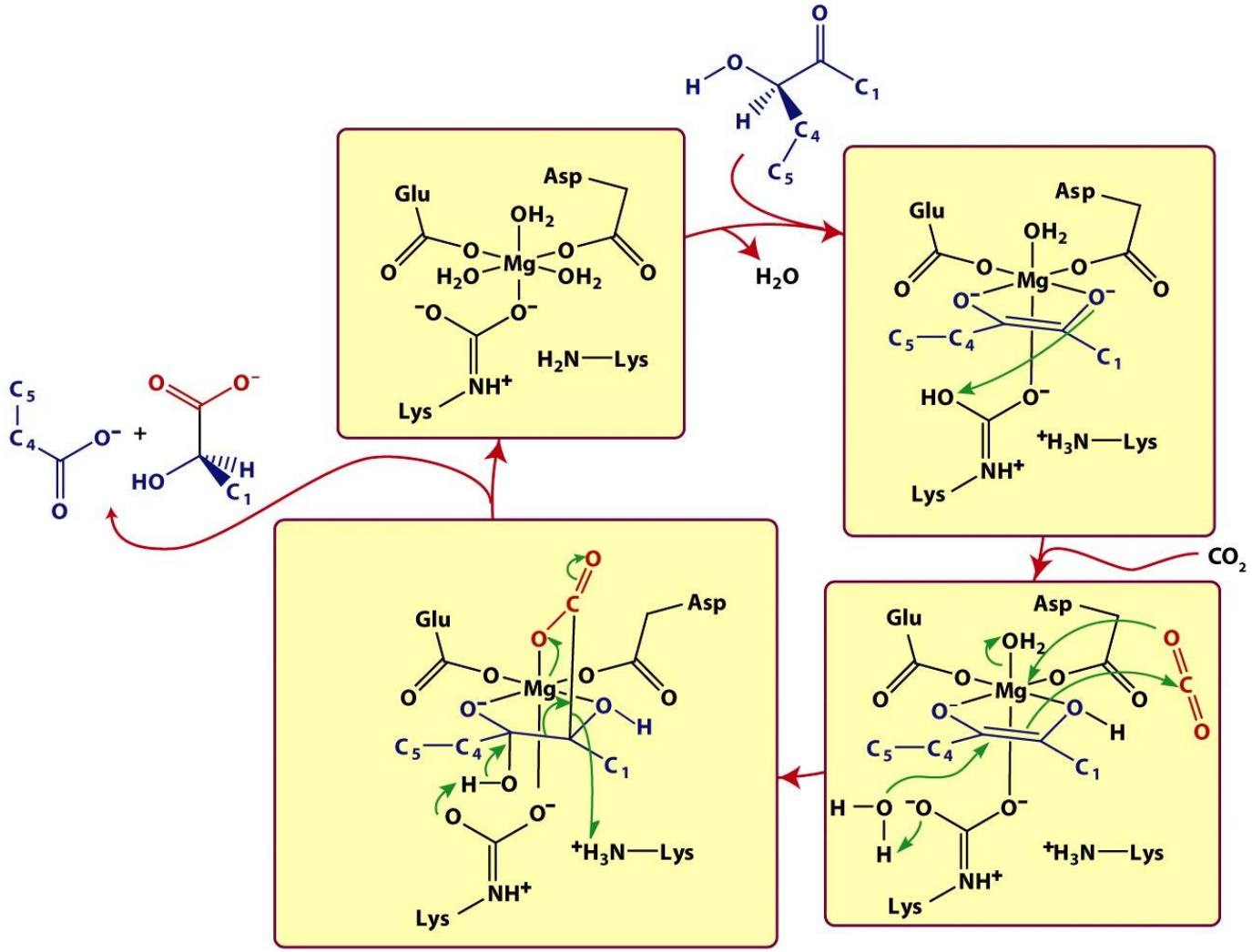


Figure 26-29
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong