

f-Элементы

Лантаноиды и актиноиды

Лекции 17-18

f-элементы в Периодической системе

H	1	
6,941	+1	
Водород Hydrogen		
Li	3	Be 4
6,941 Литий Lithium	+1	9,0122 Бериллий Beryllium
Na	11	Mg 12
22,9898 Натрий Sodium	+1	24,305 Магний Magnesium
K	19	Ca 20
39,0983 Калий Potassium	+1	40,078 Кальций Calcium
Sc	21	Ti 22
44,9559 Скандий Scandium	+3	47,867 Титан Titanium
V	23	Cr 24
50,9415 Ванадий Vanadium	+5	51,9961 Хром Chromium
Mn	25	Fe 26
54,938 Марганец Manganese	+2	55,045 Железо Iron
Co	27	Ni 28
58,9332 Марганец Manganese	+3	58,6934 Кобальт Cobalt
Cu	29	Zn 30
65,34 Медь Copper	+2	63,546 Никель Nickel
Ga	31	Ge 32
69,723 Галлий Gallium	+2	72,63 Германий Germanium
As	33	Se 34
74,9216 Арсеник Arsenic	+4	78,96 Селен Selenium
Br	35	Kr 36
79,004 Бром Bromine	+4	83,798 Криптон Krypton
In	49	Sn 50
118,71 Олово Tin	+4	121,76 Сурьма Antimony
Sb	51	Te 52
127,8 Сурьма Antimony	+3	128,9045 Иод Iodine
I	53	Xe 54
131,29 Ксенон Xenon	+1	131,29 Ксенон Xenon
Cs	55	Ba 56
132,9055 Цезий Cesium	+1	137,327 Барий Barium
La	57	Hf 72
130,9055 Лантан Lanthanum	+3	178,49 Гафний Hafnium
Ta	73	W 74
180,9479 Тантал Tantalum	+5	183,84 Вольфрам Tungsten
Re	75	Os 76
186,207 Рений Rhenium	+7	190,23 Оsmий Osmium
Ir	77	Pt 78
192,217 Иridий Iridium	+3	195,064 Платина Platinum
Pt	78	Au 79
196,9666 Золото Gold	+2	196,9666 Ртуть Mercury
Hg	80	Tl 81
200,59 Ртуть Mercury	+2	204,3833 Таллий Thallium
Tl	81	Pb 82
207,2 Свинец Lead	+1	208,9804 Висмут Bismuth
Pb	82	Bi 83
208,98 Полоний Polonium	+3	208,98 Полоний Polonium
Po	84	At 85
2101 Астат Astatine	+4	2101 Астат Astatine
Rn	86	Og 118
2221 Радон Radon	+2	2941 Оганессон Oganesson



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



- International Year
- of the Periodic Table
- of Chemical Elements
-

B	5	C	6	N	7	O	8	F	9	Ne	10
10,811 Бор Boron	+3	12,0107 Углерод Carbon	+4	14,0067 Азот Nitrogen	+3	15,9994 Кислород Oxygen	+2	18,0004 Фтор Fluorine	+1	20,1797 Неон Neon	
Al	13	Si	14	P	15	S	16	Cl	17	Ar	18
26,9915 Алюминий Aluminum	+3	28,0855 Кремний Silicon	+4	28,9738 Фосфор Phosphorus	+5	32,0868 Сера Sulfur	+6	35,4527 Хлор Chlorine	+1	39,948 Аргон Argon	
Ga	31	Ge	32	As	33	Se	34	Br	35	Kr	36
69,723 Галлий Gallium	+3	72,63 Германий Germanium	+4	74,9216 Мышьяк Arsenic	+3	78,96 Селен Selenium	+4	79,004 Бром Bromine	+1	83,798 Криптон Krypton	
In	49	Sn	50	Sb	51	Te	52	I	53	Xe	54
118,71 Олово Tin	+4	121,76 Сурьма Antimony	+3	127,8 Сурьма Antimony	+4	128,9045 Иод Iodine	+1	131,29 Ксенон Xenon	+6	131,29 Ксенон Xenon	
Tl	81	Pb	82	Bi	83	Po	84	At	85	Rn	86
204,3833 Таллий Thallium	+1	207,2 Свинец Lead	+2	208,9804 Висмут Bismuth	+3	208,98 Полоний Polonium	+4	2101 Астат Astatine	+1	2101 Астат Astatine	
Pb	82	Bi	83	Po	84	At	85	Rn	86		

v 1.1

4f
5f

Ce	58	Pr	59	Nd	60	Pm	61	Sm	62	Eu	63	Gd	64	Tb	65	Dy	66	Ho	67	Er	68	Tm	69	Yb	70	Lu	71
140,116 Церий Cerium	+3	140,9077 Празеодимий Praseodymium	+3	144,24 Неодимий Neodymium	+3	[145] 145 Прометий Promethium	+3	150,36 Самарий Samarium	+3	151,964 Европий Europium	+3	157,25 Гадолиний Gadolinium	+3	158,9253 Тербий Terbium	+3	162,5 Диспрозий Dysprosium	+3	164,9303 Голмий Holmium	+3	167,26 Эрбий Erbium	+3	168,9342 Тулий Thulium	+3	173,045 Иттербий Terbium	+3	174,967 Лютений Lutetium	+3
Th	90	Pa	91	U	92	Np	93	Pu	94	Am	95	Cm	96	Bk	97	Cf	98	Es	99	Fm	100	Md	101	No	102	Lr	103
232,0381 Торий Thorium	+4	231,0359 Протактиний Protactinium	+5	238,0289 Уран Uranium	+6	237,0482 Нептуний Neptunium	+5	2441 Плутоний Plutonium	+3	[243] 243 Америций Americium	+3	[247] 247 Кюрий Curium	+3	[247] 247 Берклий Berkelium	+3	[251] 251 Калифорний Californium	+3	[252] 252 Эйнштейний Einsteinium	+3	[257] 257 Фермий Fermium	+3	[258] 258 Менделевий Mendelevium	+3	[259] 259 Нобелий Nobelium	+2	[260] 260 Лоуренсий Lawrencium	+3

Название по ИЮПАК (1986 год) – лантаноиды, актиноиды
Альтернативно – лантаниды, актиниды (разрешено ИЮПАК)

f-металлы

4f-металлы – лантаноиды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Chapter 22 Opener

Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition

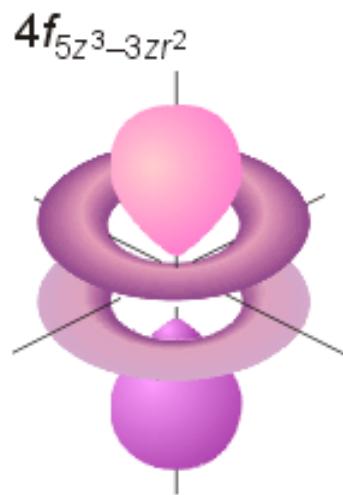
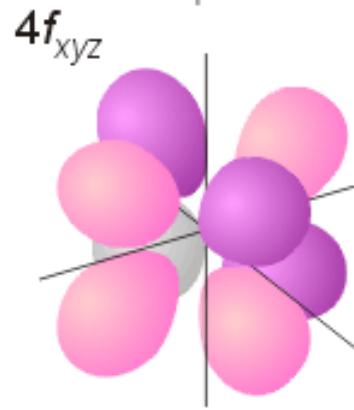
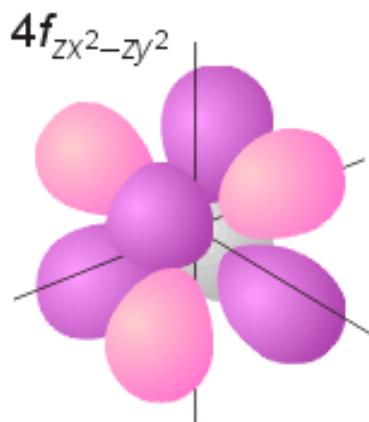
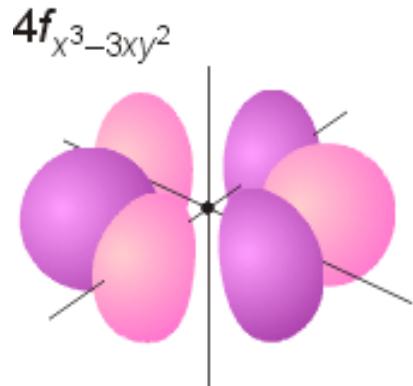
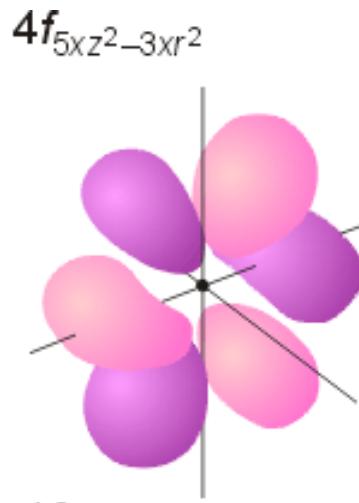
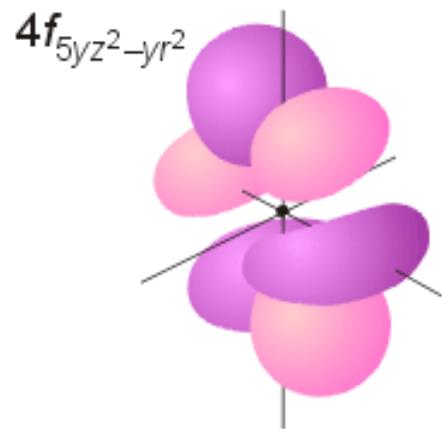
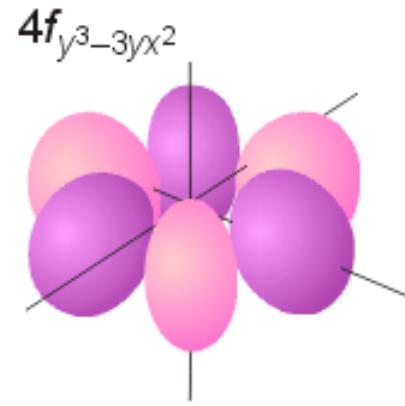
© 2006 by D.F. Shriver, P.W. Atkins, T.L. Overton, J.P. Rourke, M.T. Weller, and F.A. Armstrong

5f-металлы – актиноиды

f-металлы

1. Заполняется *f*-подуровень $n-2$ периода
2. Лантоиды: степени окисления +3 для всех элементов, а также Ce^{4+} , Eu^{2+}
3. Лантоиды: радиус уменьшается от La до Lu
(лантанидное сжатие)
4. Актиноиды: химически очень разнообразны, с.о. от +2 до +7
5. Все актиноиды, а также Рт радиоактивны
6. Для всех *f*-элементов характерны высокие координационные числа

f-орбитали



Лантоноиды

4f-металлы – лантоноиды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Chapter 22 Opener

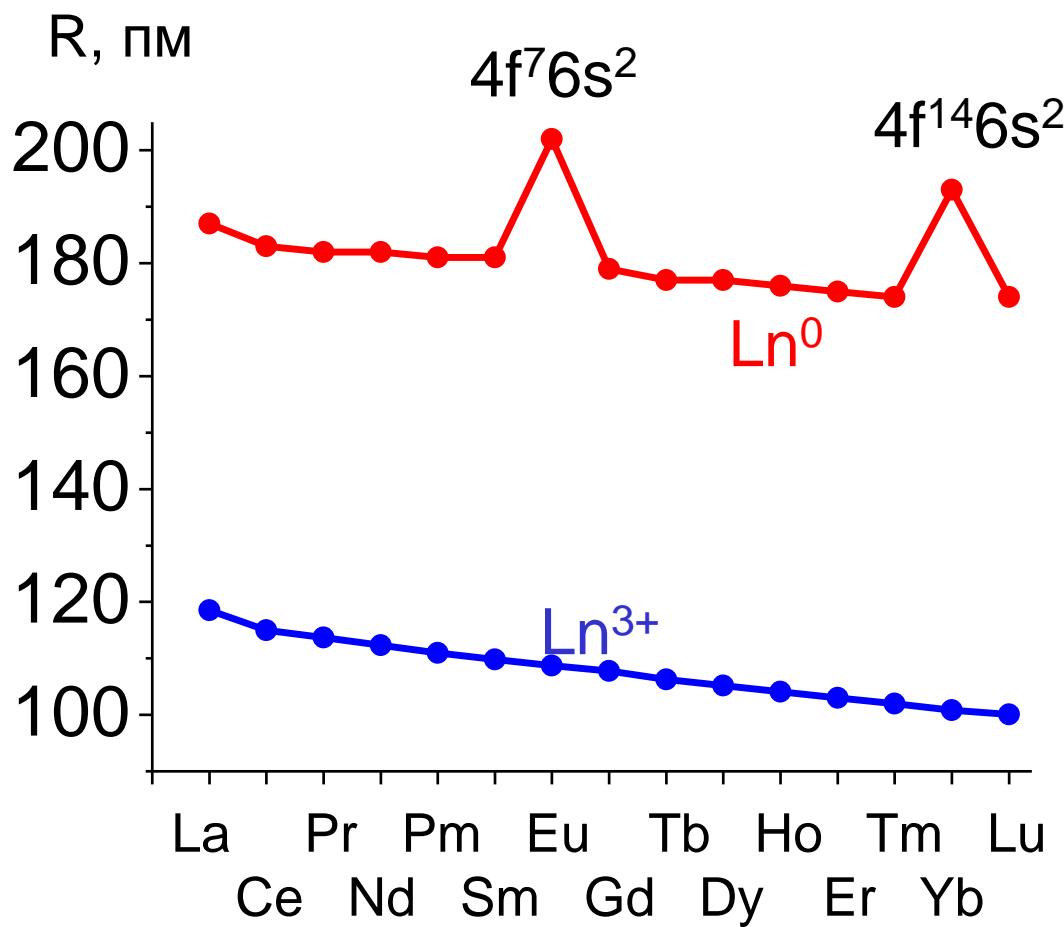
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition

© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

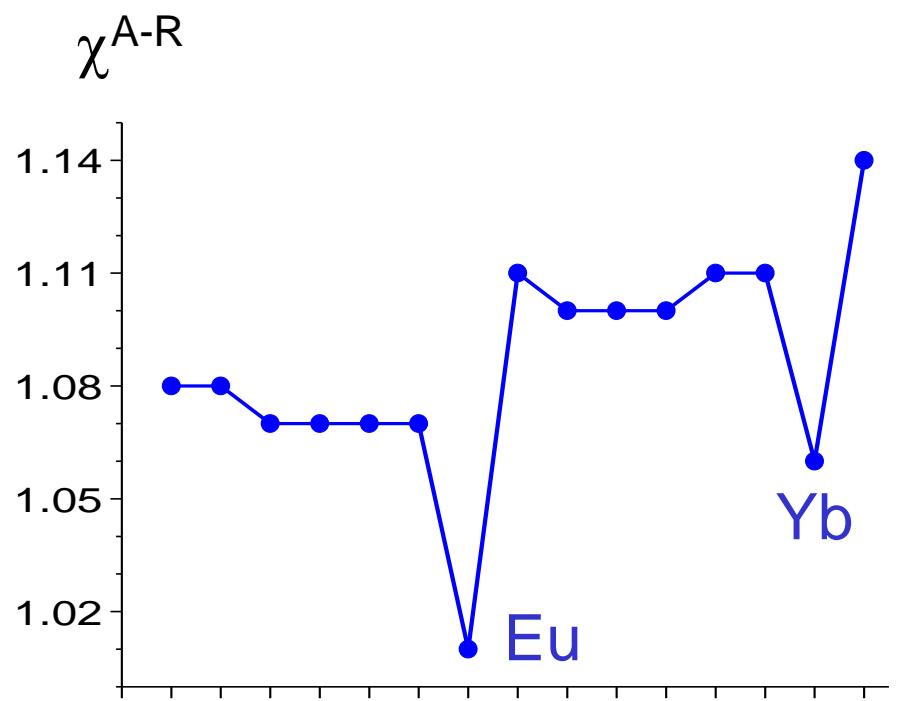
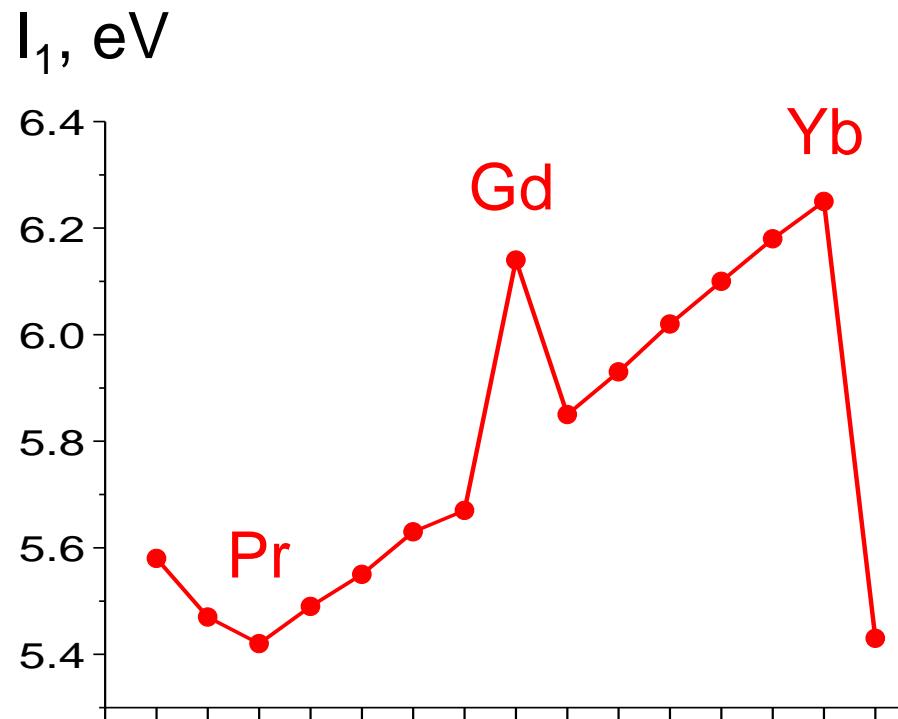
Электронная конфигурация Ln

M	M ⁰	M ³⁺	с.о.
La	[Xe]5d ¹ 6s ²	[Xe]	3
Ce	[Xe]4f ¹ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹	3, 4
Pr	[Xe]4f ³ 6s ²	[Xe]4f ²	3, 4
Nd	[Xe]4f ⁴ 6s ²	[Xe]4f ³	(2), 3
Pm	[Xe]4f ⁵ 6s ²	[Xe]4f ⁴	3
Sm	[Xe]4f ⁶ 6s ²	[Xe]4f ⁵	2, 3
Eu	[Xe]4f ⁷ 6s ²	[Xe]4f ⁶	2, 3
Gd	[Xe]4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ⁷	3
Tb	[Xe]4f ⁹ 6s ²	[Xe]4f ⁸	3, 4
Dy	[Xe]4f ¹⁰ 6s ²	[Xe]4f ⁹	(2), 3, (4)
Ho	[Xe]4f ¹¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁰	3, (4)
Er	[Xe]4f ¹² 6s ²	[Xe]4f ¹¹	3
Tm	[Xe]4f ¹³ 6s ²	[Xe]4f ¹²	(2), 3
Yb	[Xe]4f ¹⁴ 6s ²	[Xe]4f ¹³	2, 3
Lu	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹ 6s ²	[Xe]4f ¹⁴	3

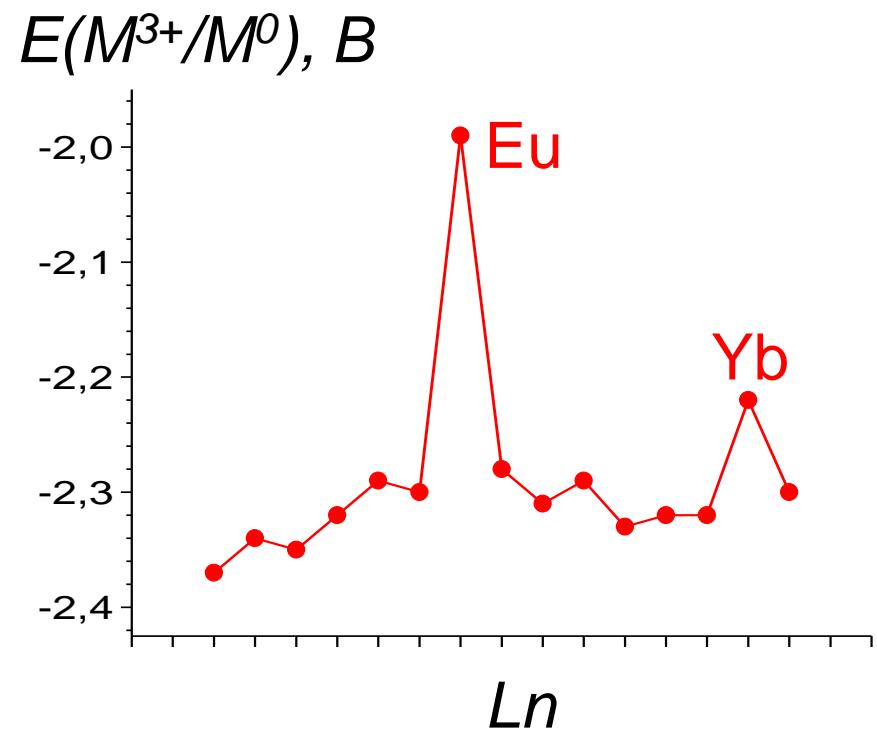
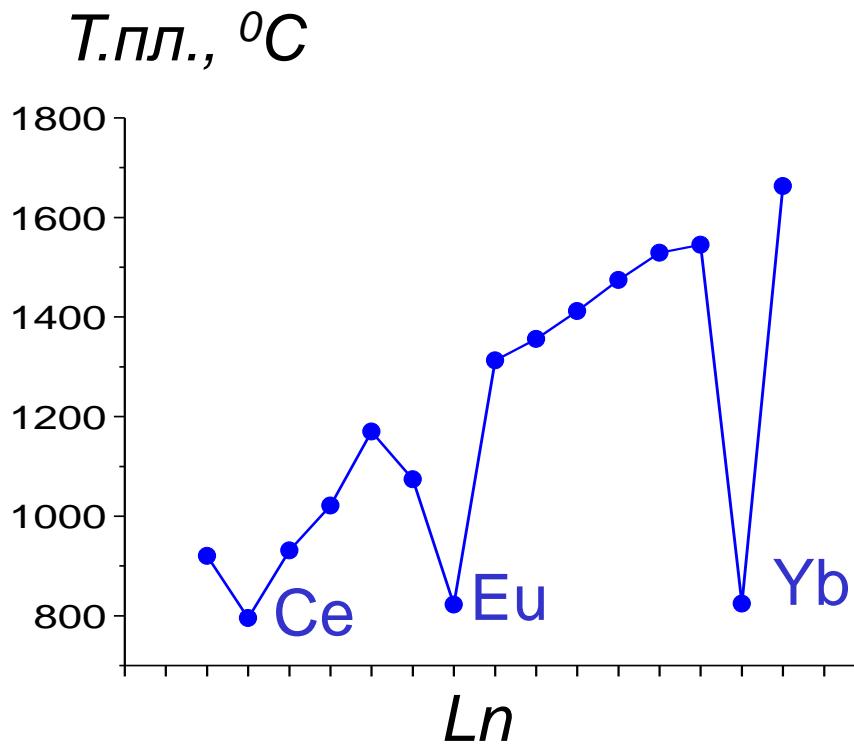
Атомные и ионные радиусы Ln



Свойства элементов

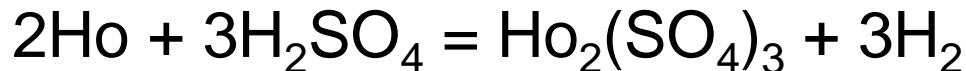


Физические свойства Ln

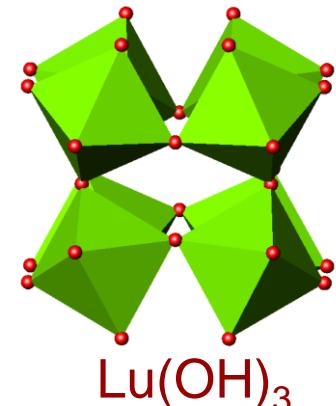


Химические свойства Ln

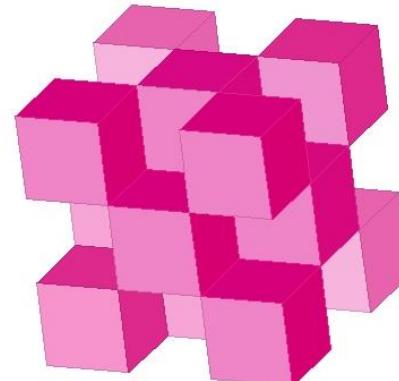
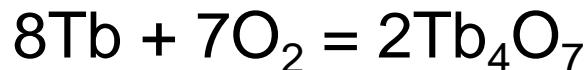
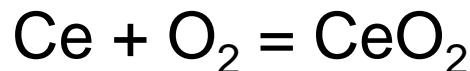
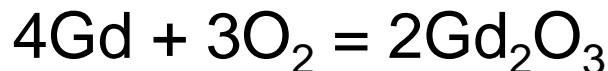
1. Химическая активность убывает по ряду La→Lu
2. Растворяются в кислотах



3. Окисляются влагой воздуха



4. Реагируют с кислородом при нагревании

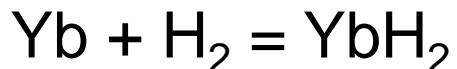
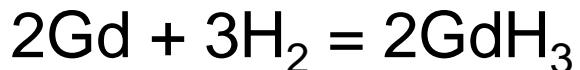


Химические свойства Ln

5. Реагируют с галогенами при нагревании



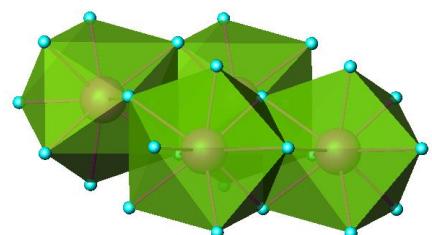
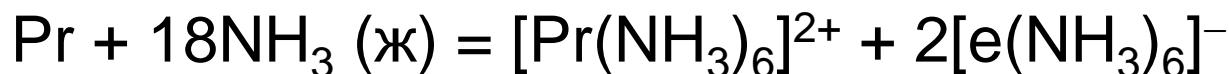
6. Реагируют с халькогенами, углеродом, кремнием, бором, фосфором, водородом при нагревании



7. Реагируют с аммиаком при нагревании

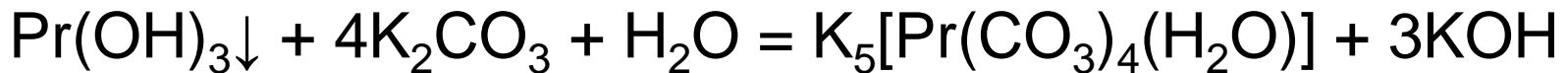
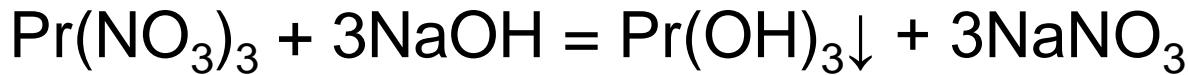


8. Растворяются в жидком аммиаке



Соединения Ln

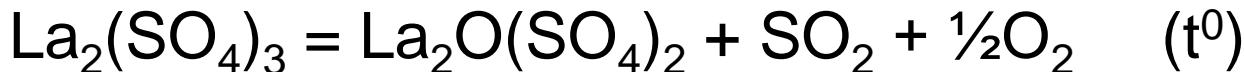
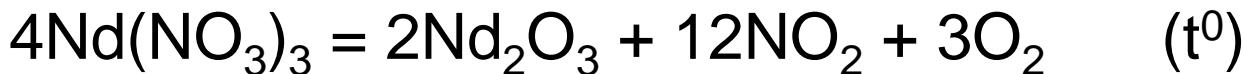
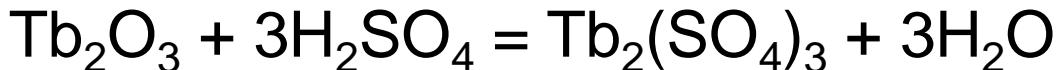
1. Образуют тугоплавкие оксиды Ln_2O_3 и гидроксиды $\text{Ln}(\text{OH})_3$
2. Сила оснований уменьшается в ряду $\text{La}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Lu}(\text{OH})_3$



3. Сильные основания, только тяжелые Ln образуют гидроксокомплексы

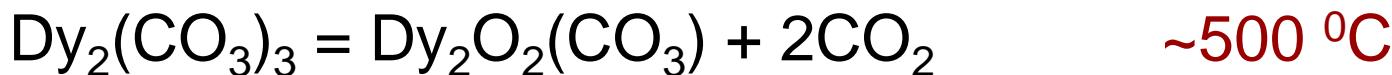
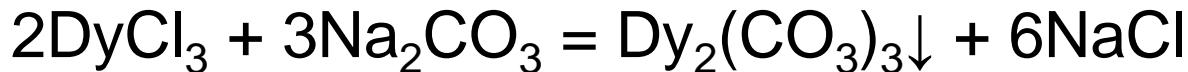


4. Растворимы в воде нитраты, сульфаты, хлориды.

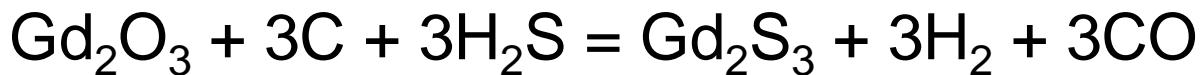


Соединения Ln

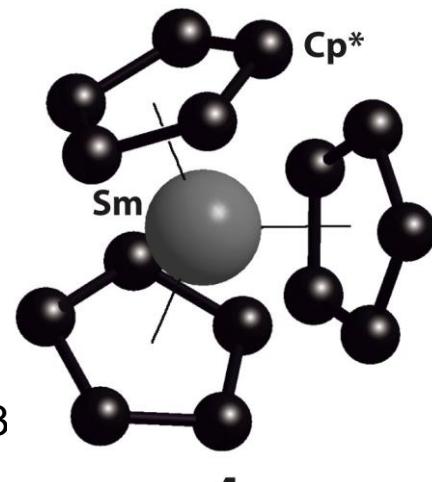
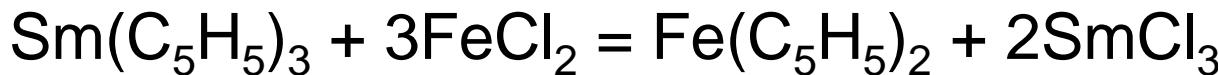
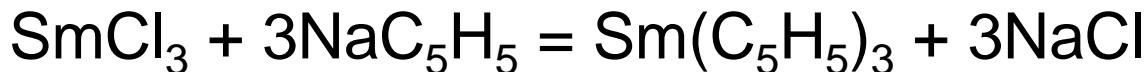
5. Не растворимы в воде фосфаты, оксалаты, карбонаты



6. Сульфиды гигроскопичны



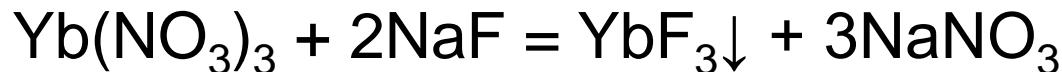
7. Образуют «сэндвичевые» соединения



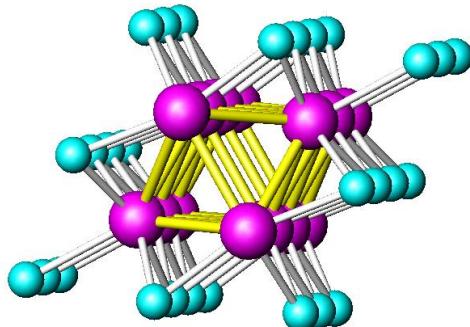
4

Соединения Ln

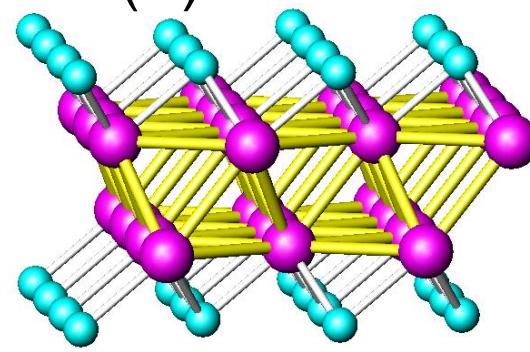
8. Галогениды тугоплавки, фториды нерастворимы



9. В низких степенях окисления (<2) Ln образуют кластерные галогениды и халькогениды



Gd_5Br_8

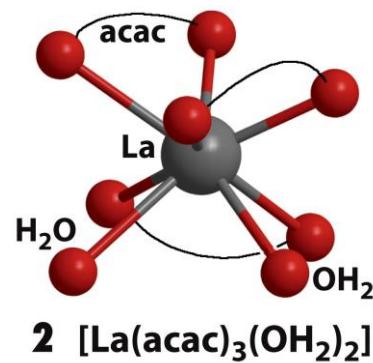
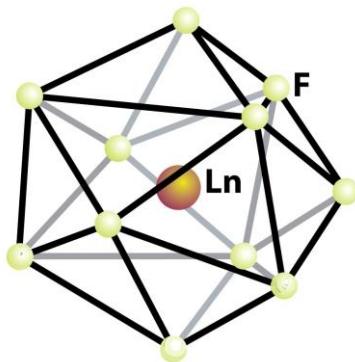


TbBr

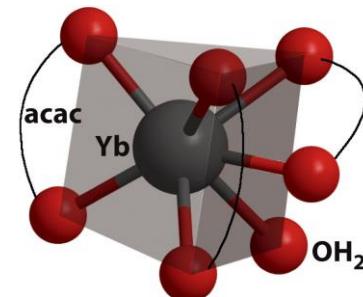
Комплексы лантаноидов (III)

Общие закономерности:

1. Реакционная способность и стереохимия комплексов не зависят от f^n конфигурации
2. Расположение лигандов определяется оптимальным электростатическим взаимодействием M-L
3. Наиболее стабильны «стереонасыщенные» хелатные комплексы лантанидов
4. Характерные координационные числа уменьшаются в ряду $\text{La} \rightarrow \text{Lu}$



Structure 22-2
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



Structure 22-1
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

Окраска комплексов лантаноидов(III)

Ион	$4f^n$	окраска
La^{3+}	0	бесцветный
Ce^{3+}	1	бесцветный
Pr^{3+}	2	зеленый
Nd^{3+}	3	лиловый
Pm^{3+}	4	желтый
Sm^{3+}	5	желтый
Eu^{3+}	6	светло-розовый
Gd^{3+}	7	бесцветный
Tb^{3+}	8	светло-розовый
Dy^{3+}	9	желтый
Ho^{3+}	10	желтый
Er^{3+}	11	красно-розовый
Tm^{3+}	12	светло-зеленый
Yb^{3+}	13	бесцветный
Lu^{3+}	14	бесцветный



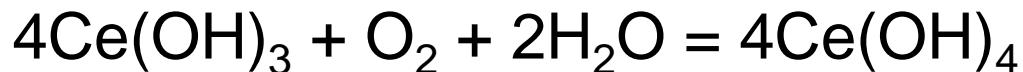
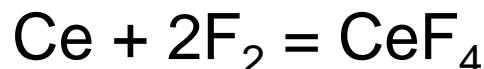
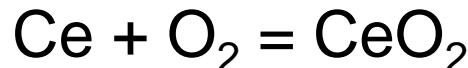
Особенности Ce(IV)

1. CeO₂

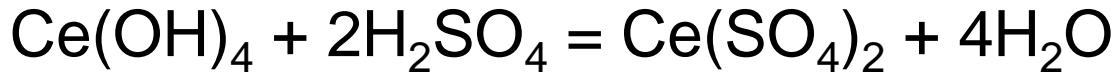
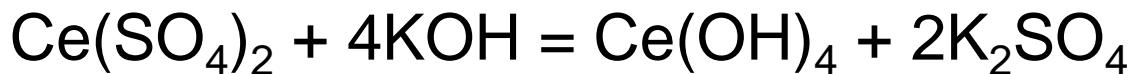
Ce⁴⁺: 4f⁰

т.пл. 2400 °C, структура флюорита

2. Получение



3. Ce(OH)₄ или CeO₂·xH₂O – амфотерный гидроксид



4. Образуются пероксиды



Особенности Ce(IV)

5. Соли Ce(IV) гидролизуются



6. Комплексы Ce(IV) устойчивы



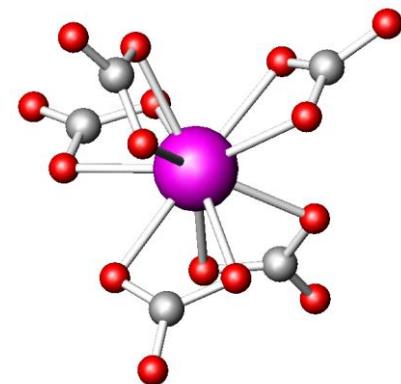
7. Соединения Ce(IV) – сильные окислители



8. $E^0(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1.72 \text{ В}$ 1M HClO₄

$E^0(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1.61 \text{ В}$ 1M HNO₃

$E^0(\text{Ce}^{4+}/\text{Ce}^{3+}) = 1.44 \text{ В}$ 1M H₂SO₄



Особенности Eu(II)

1. Получение



$\text{Eu}^{2+}: 4f^7$

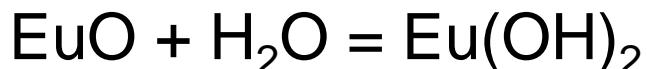


2. EuO – наиболее устойчив

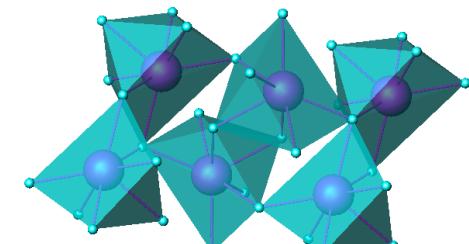
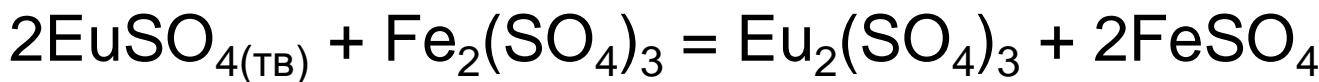
т.пл. 1980 °C, структура NaCl



только основные свойства

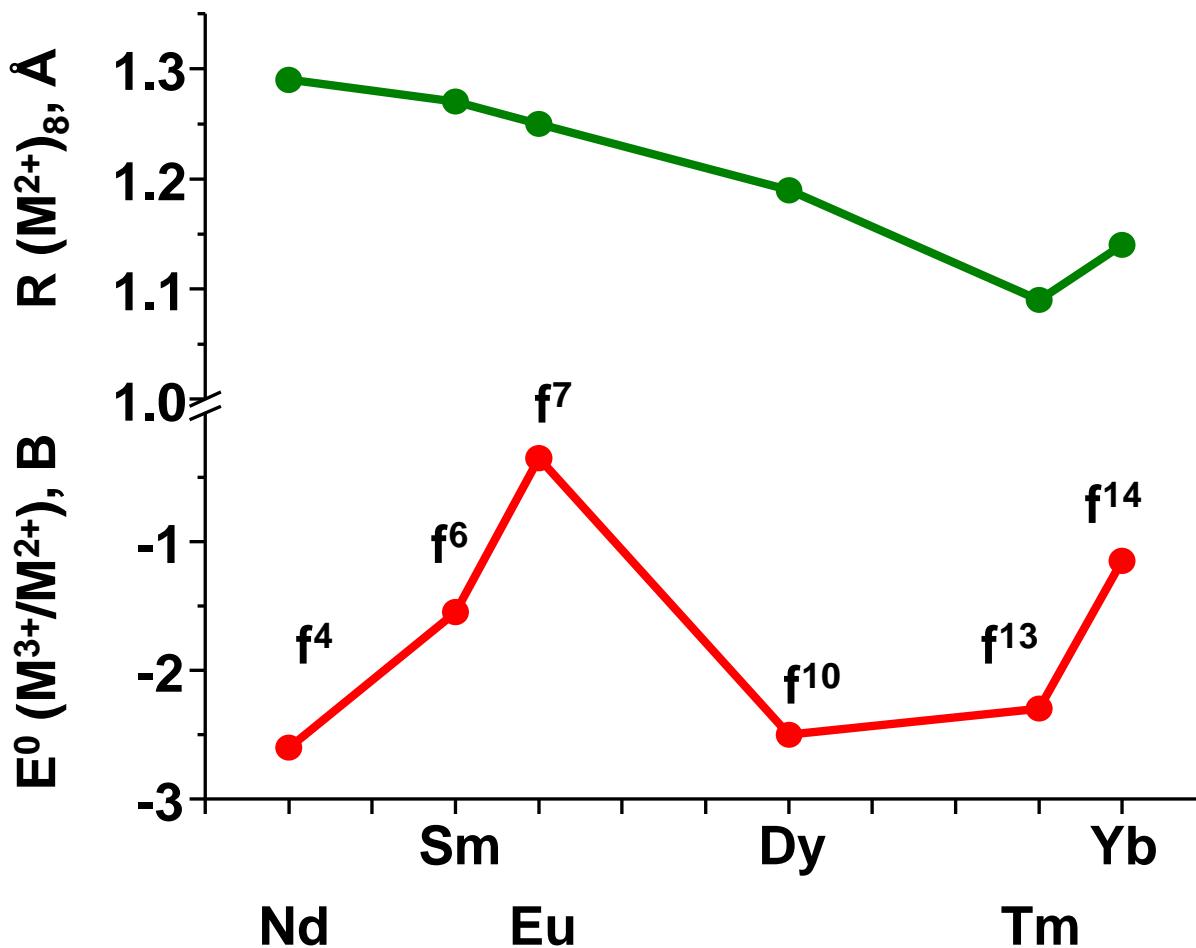


3. Восстановитель: $E^0(\text{Eu}^{3+}/\text{Eu}^{2+}) = -0.35$ В



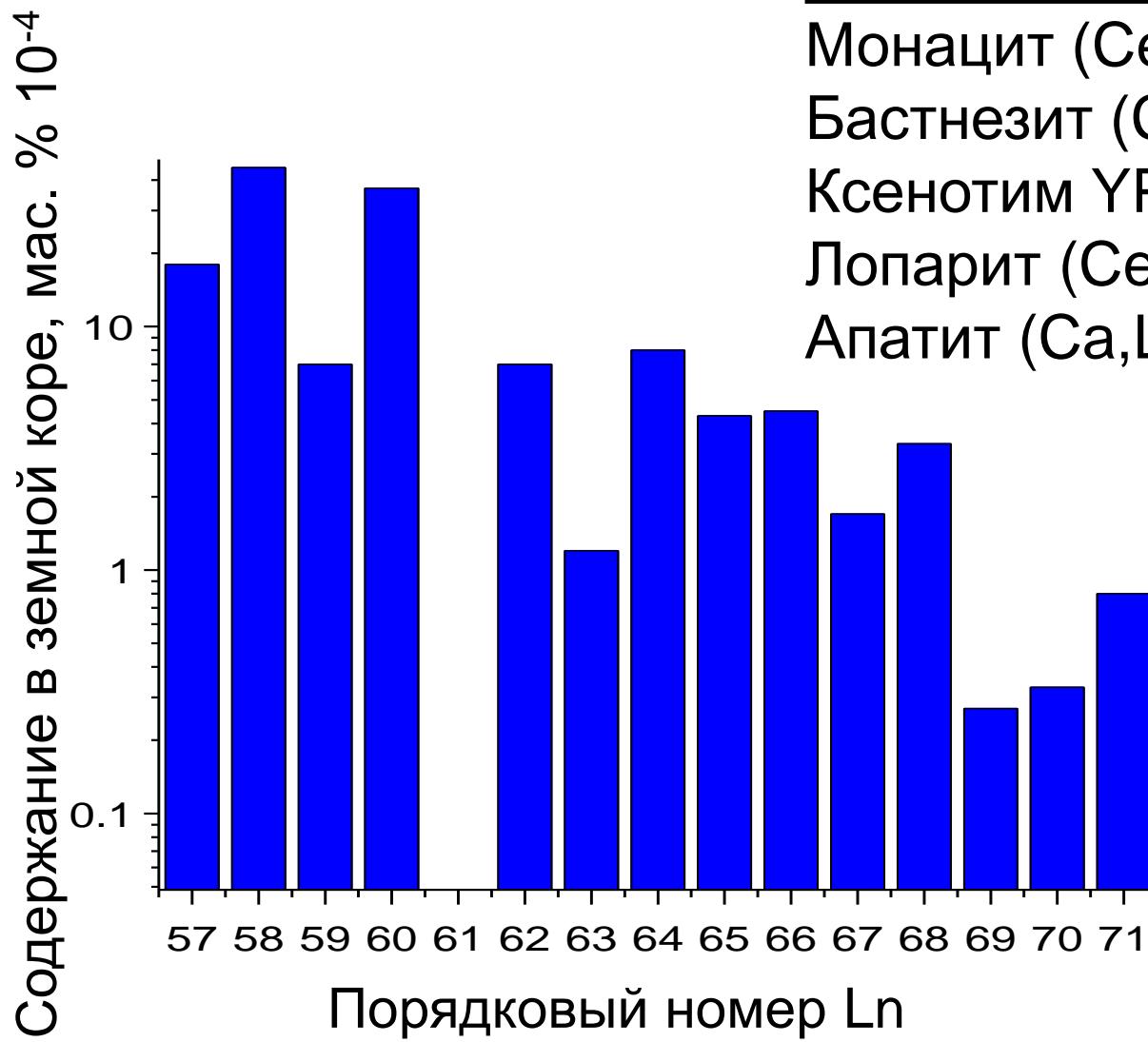
4. Сходство Eu(II) \Leftrightarrow Ca(II), Sr(II), Ba(II)

Особенности лантаноидов (II)



Все соединения Ln(II), кроме Eu(II) и Yb(II)
окисляются даже в кислой среде

Лантоноиды в природе



Основные минералы:

Монацит $(Ce,La,Nd,Y,Th)PO_4$

Бастнезит $(Ce,La,Y)CO_3$

Ксенотим YPO_4

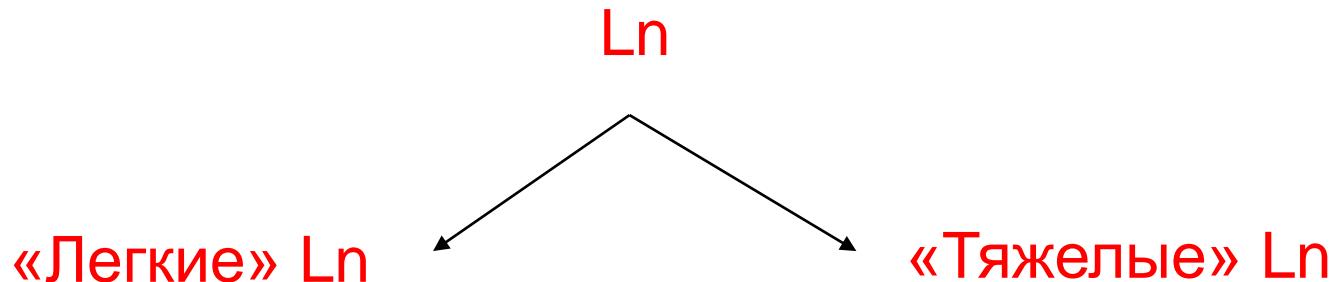
Лопарит $(Ce,Na,Ca)(Ti,Nb)O_3$

Апатит $(Ca,Ln)_5(PO_4)_x(F,OH)_y$



Ксенотим

Лантаноиды в природе



Монацит $(Ce, La, Nd, Y, Th)PO_4$

Бастнезит $(Ce, La, Y)CO_3$

Апатит $(Ca, Ln)_5(PO_4)_x(F, OH)_y$

Лопарит $(Ce, Na, Ca)(Ti, Nb)O_3$

Ксенотим YPO_4

Гадолинит $Gd_2Fe[Be_2Si_2O_{10}]$

Эвксенит $YNbTiO_6$

La ~ 25%

Ce ~ 35%

Pr ~ 7%

Nd ~ 17%

Sm ~ 5%

Gd ~ 20%

Dy ~ 12%

Tb ~ 5%

Y ~ 60%

Разделение лантаноидов

Основные этапы:

1. Отделение Ce(IV)
2. Отделение Eu(II)
3. Разделение остальных РЗЭ
4. Выделение металлов

Метод 1

Дробная кристаллизация и
осаждение двойных солей

Метод 2

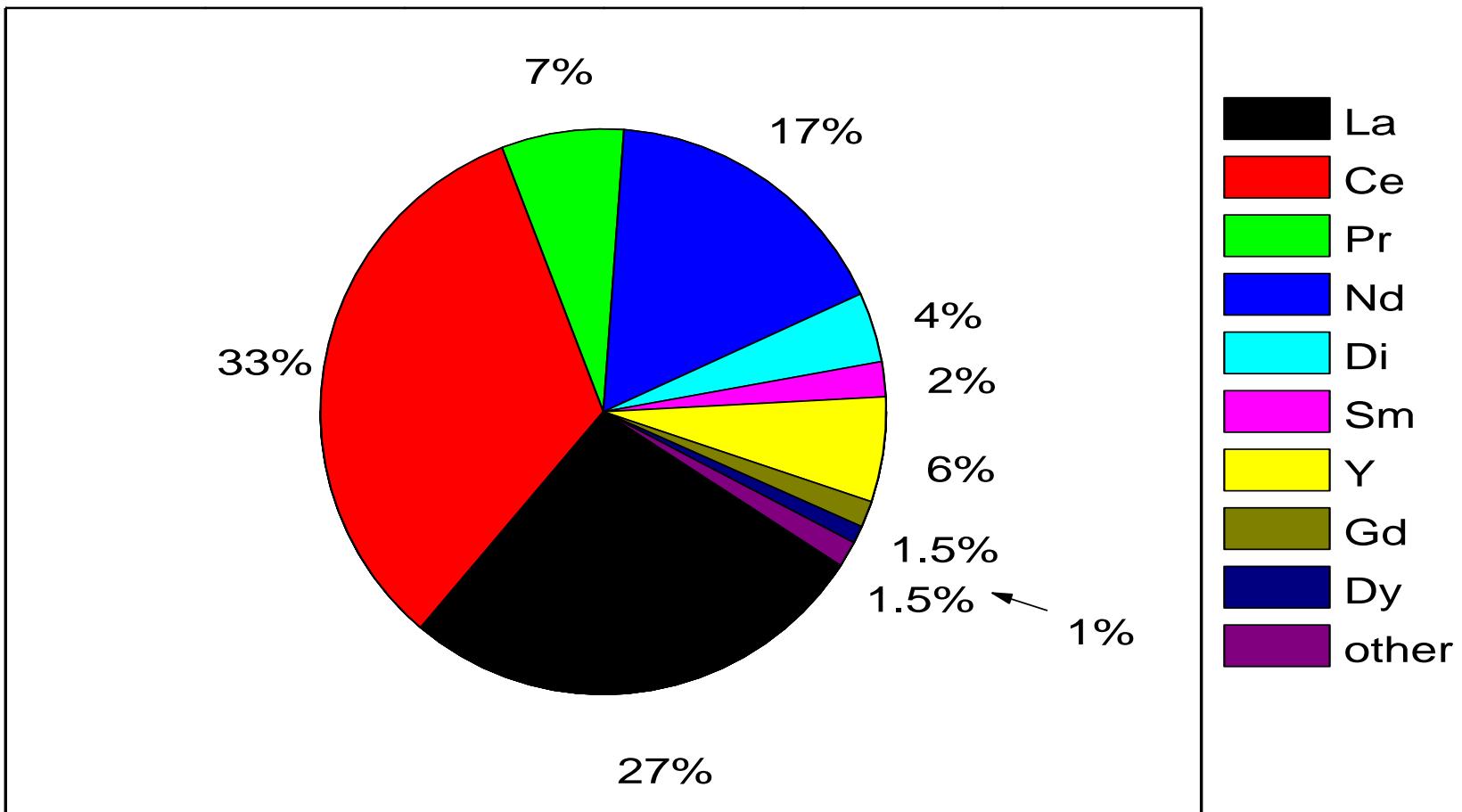
Экстракция
трибутилфосфатом

Метод 3

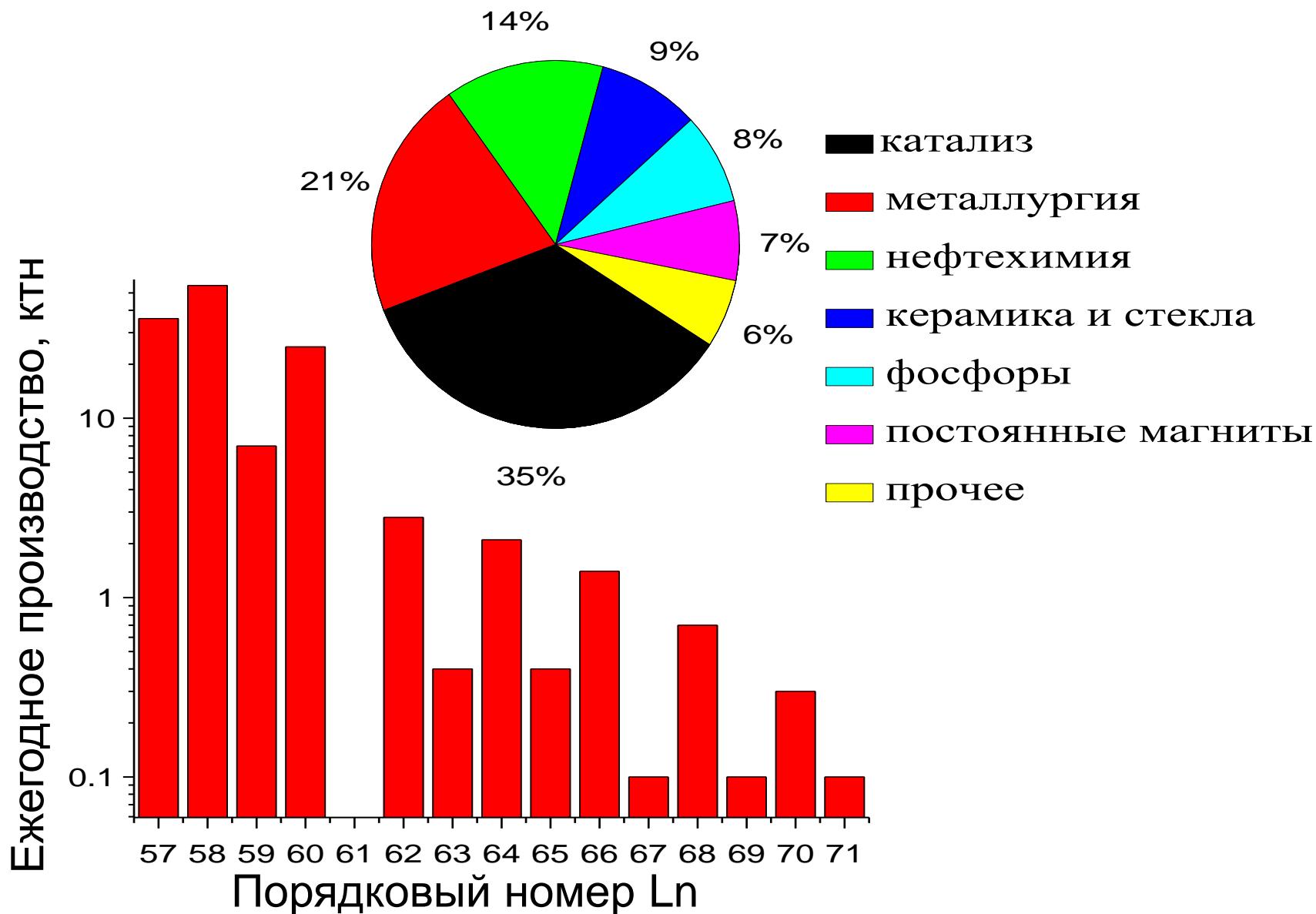
Ионообменная
хроматография

Основная реакция выделения: $2\text{LnF}_3 + 3\text{Ca} = 2\text{Ln} + 3\text{CaF}_2$

Производство РЗЭ



Применение Sc, Y, Ln



Применение Sc, Y, Ln



Y-флюорит



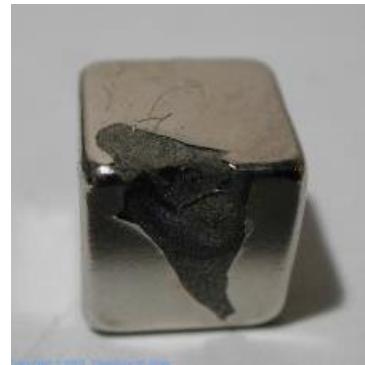
Еу-лампа



$\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$



Мишметалл
La/Ce



Nd-магнит



YAG

Актиноиды

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Rf

Chapter 22 Opener

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

5f-металлы – актиноиды

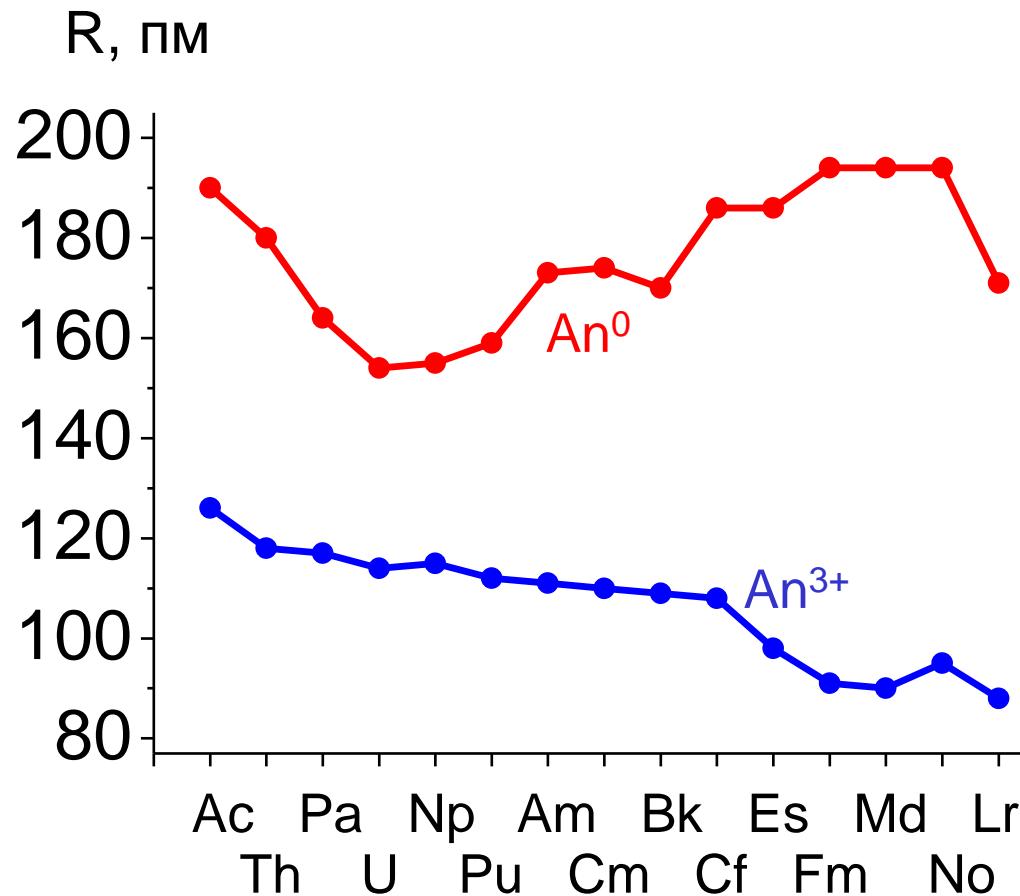
Актиний и актиноиды

Символ	Z	Наиболее стабильный изотоп	Период его полураспада	Год открытия
Ac	89	^{227}Ac	22 года	1899
Th	90	^{232}Th	10^{10} лет	1828
Pa	91	^{231}Pa	30000 лет	1917
U	92	^{238}U	$4.5 \cdot 10^9$ лет	1789
Np	93	^{237}Np	$2 \cdot 10^6$ лет	1940
Pu	94	^{244}Pu	$8 \cdot 10^7$ лет	1940
Am	95	^{243}Am	7000 лет	1944
Cm	96	^{247}Cm	$1.5 \cdot 10^7$ лет	1944
Bk	97	^{247}Bk	1400 лет	1949
Cf	98	^{251}Cf	890 лет	1950
Es	99	^{252}Es	471 день	1954
Fm	100	^{257}Fm	101 день	1954
Md	101	^{258}Md	56 дней	1955
No	102	^{259}No	58 минут	1958
Lr	103	^{262}Lr	3 минуты	1961

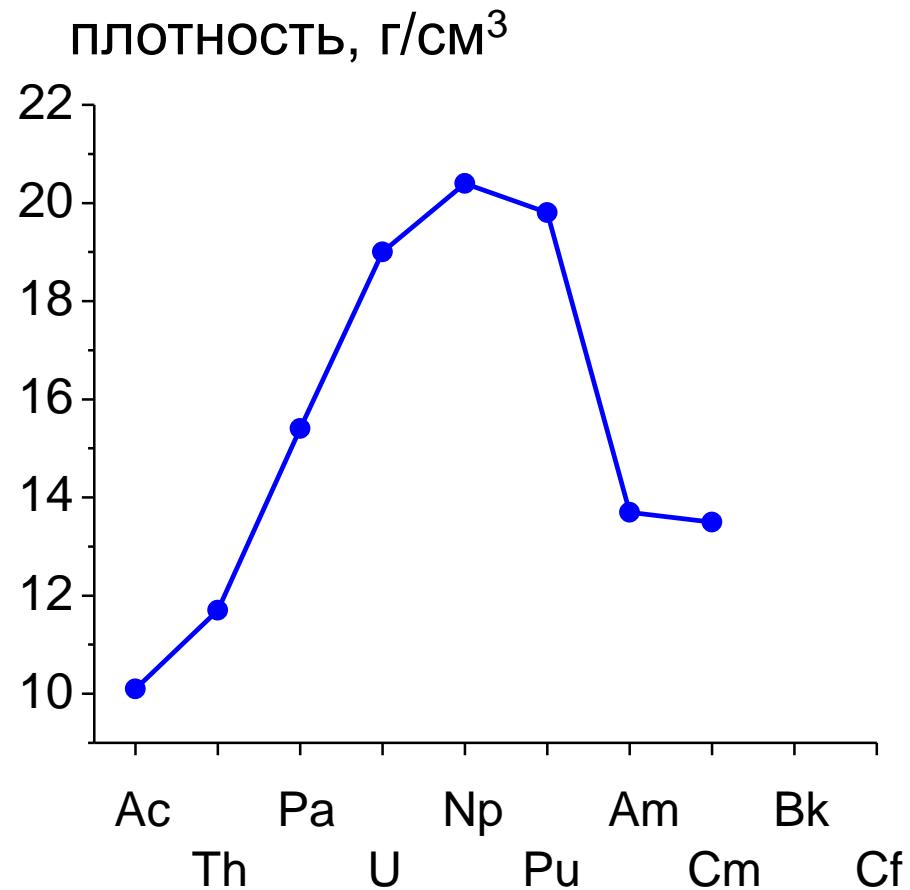
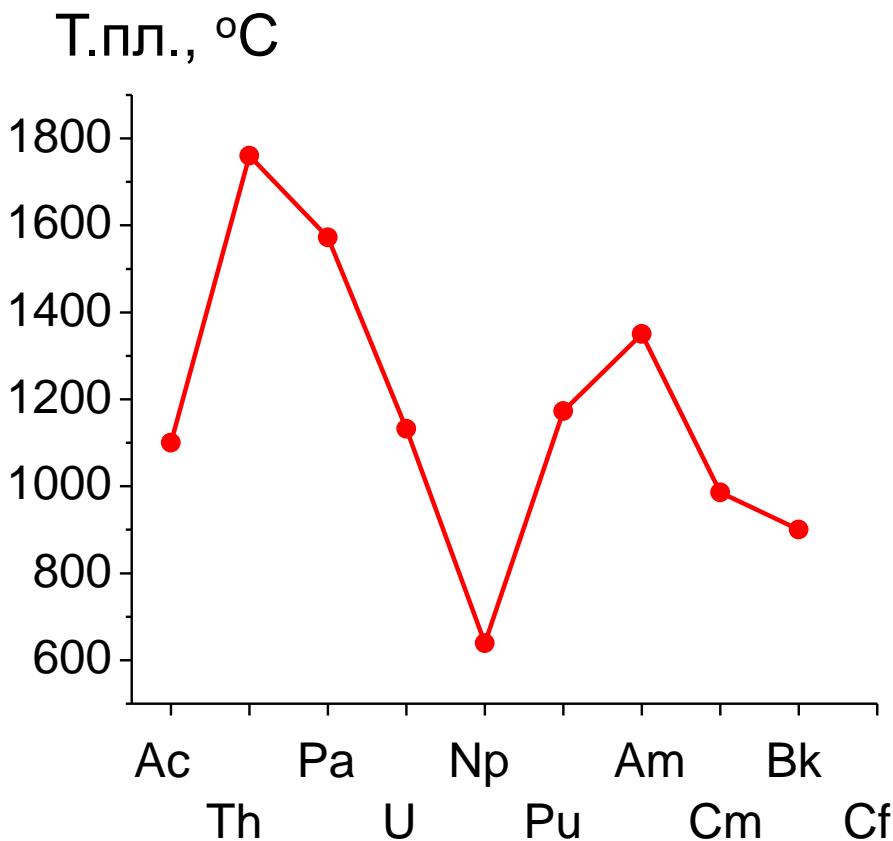
Электронная конфигурация An

	M ⁰ [Rn]	M ³⁺ [Rn]	C.O.		M ⁰ [Rn]	M ³⁺ [Rn]	C.O.
Ac	6d ¹ 7s ²	5f ⁰	3				
Th	6d ² 7s ²	6d ¹	(2),3,4	Bk	5f ⁹ 7s ²	5f ⁸	(2),3,4
Pa	5f ² 6d ¹ 7s ²	5f ²	3,4,5	Cf	5f ¹⁰ 7s ²	5f ⁹	2,3,(4)
U	5f ³ 6d ¹ 7s ²	5f ³	3,4,(5),6	Es	5f ¹¹ 7s ²	5f ¹⁰	2,3
Np	5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	5f ⁴	(3),4,5,6,7	Fm	5f ¹² 7s ²	5f ¹¹	2,3
Pu	5f ⁶ 7s ²	5f ⁵	3,4,5,6,7,(8)	Md	5f ¹³ 7s ²	5f ¹²	(1),2,3
Am	5f ⁷ 7s ²	5f ⁶	2,3,4,5,6,(7)	No	5f ¹⁴ 7s ²	5f ¹³	2,3
Cm	5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	5f ⁷	2,3,4,(5)	Lr	5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	5f ¹⁴	3

Атомные и ионные радиусы An



Изменение свойств актиноидов



Обзор актиноидов

1. Заполняется f -подуровень 5-го периода
2. Близость $5f$ и $6d$ орбиталей обеспечивает легкость перехода электронов между ними
3. Для всех актиноидов характерны высокие координационные числа
4. Элементы от Ра до Ст проявляют разнообразие степеней окисления
5. Для тяжелых актиноидов характерна устойчивая степень окисления +3

Различия лантаноидов и актиноидов

1. Актиноиды не имеют стабильных изотопов
2. 4f-орбитали не принимают участия в ковалентной связи, 5f-орбитали – принимают
3. Легкие актиноиды похожи на d-металлы с тем же числом валентных электронов: образуют устойчивые комплексы и проявляют высокие с.о.

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt
Ac	Th	Pa	U	(Np)	(Pu)	(Am)	(Cm)

Свойства металлов

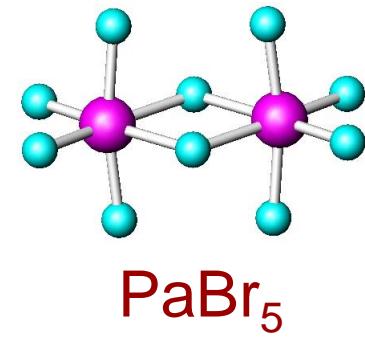
1. Хорошо изучены свойства металлов от **Ac** до **Cm**.
Химия **Lr** почти не исследована.
2. Наиболее подробно изучена химия **Th** и **U**
3. Все металлы серебристые, темнеют на воздухе.
4. Для всех металлов известно много полиморфных модификаций.
5. Все металлы относительно плохо проводят электрический ток и тепло.
6. Все металлы устойчивы к действию щелочей.

Свойства металлов

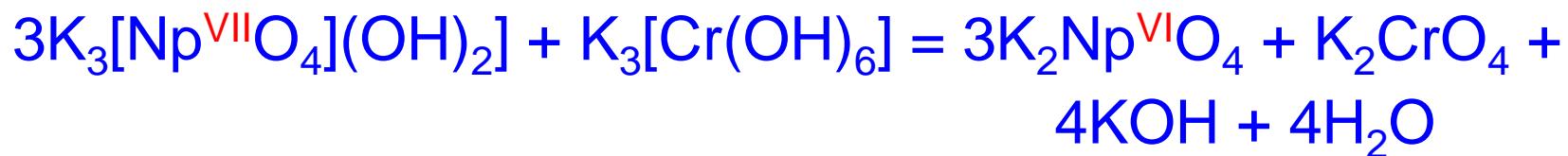
7. Все металлы растворяются в кислотах. Только актиний растворяется в воде:



8. **Pa** – наименее активный металл, не реагирует с разбавленными кислотами



9. Максимальная с.о. наиболее устойчива для **Np** (+7)



Получение актинидов

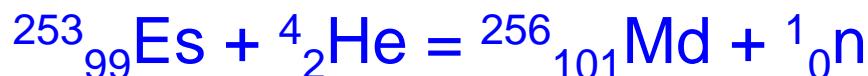
1. Только Th и U получают химическими методами
2. Остальные элементы получают в результате ядерного синтеза

Бомбардировка нейtronами:



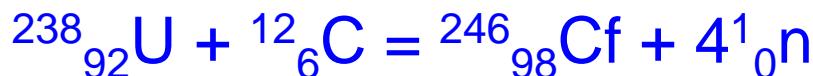
Гленн
Сиборг
1912-1999

Бомбардировка α -частицами:



Георгий
Флёров
1913-1990

Бомбардировка ядрами углерода:



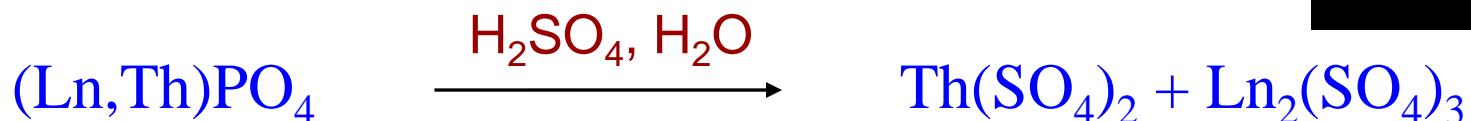
Получение тория

Th распространен так же, как и свинец (0.0001 мас.%)

Основные минералы:

монацит $(\text{Ln}, \text{Th})\text{PO}_4$, торит $\text{Th}(\text{SiO}_4)_2$

монацит



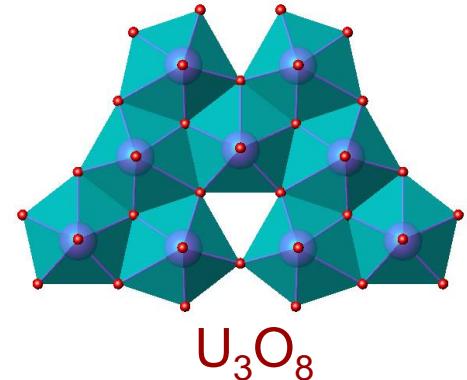
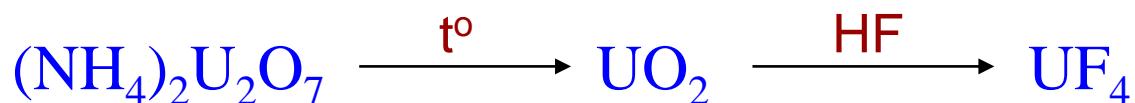
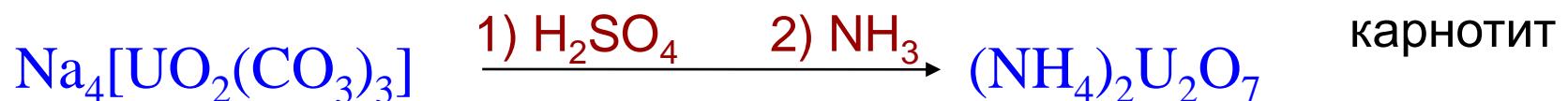
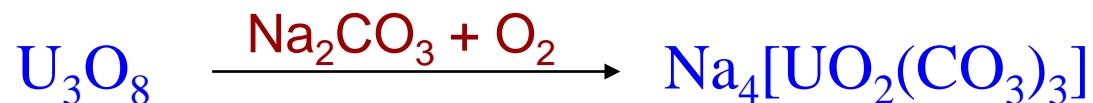
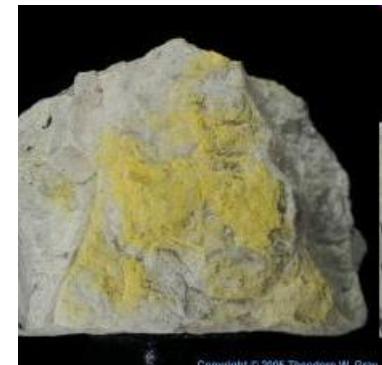
торит



Получение урана

U в 2 раза меньше в земной коре, чем Th

Основные минералы *карнотит* и *урановая смолка*



Химия тория

1. Реагирует с кислотами



2. Реагирует с неметаллами



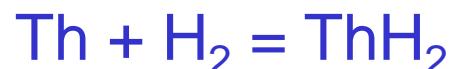
Th^{IV}



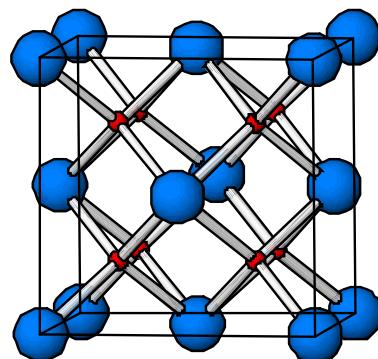
Th^{IV}



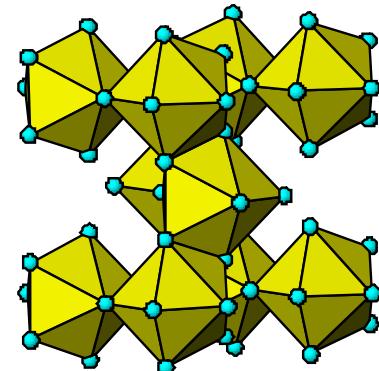
Th^{IV}



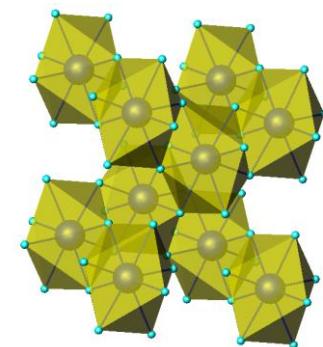
Th^{II}



ThO_2
 ThH_2



ThCl_4



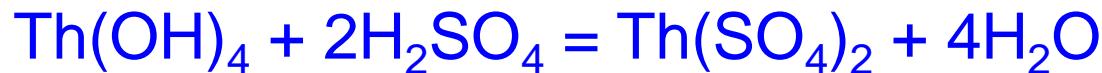
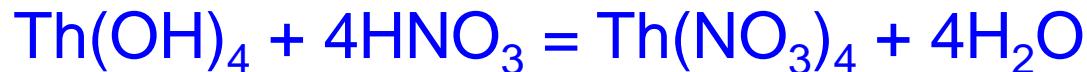
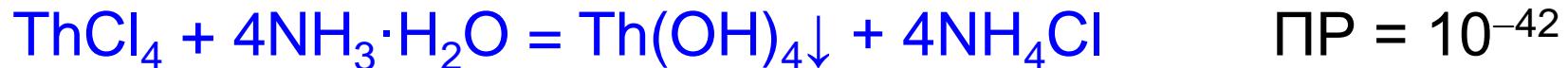
ThBr_4

Оксид и гидроксид тория

1. Оксид тугоплавок



2. Гидроксид Th^{IV} нерастворим в воде



3. Соли Th^{IV} устойчивы в растворе, не гидролизуются

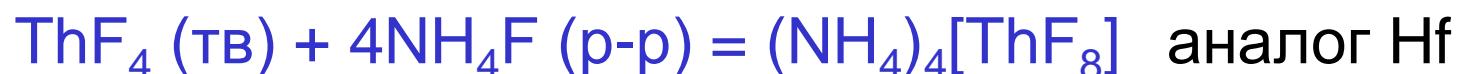


4. Известны пероксиды



Галогениды тория

	ThF_4	ThCl_4	ThBr_4	ThI_4
Цвет	Бесцв.	Бесцв.	Бесцв.	Желтый
Т.пл., °C	1070	770	678	566
Т.кип., °C	1680	920	880	837
$\Delta_f H^0_{298}$, кДж/моль	-482	-285	-227	-160
К.ч. в кристалле	8	8	8	8
Раств. в воде	$\text{ПР} = 10^{-25}$	P	P	P



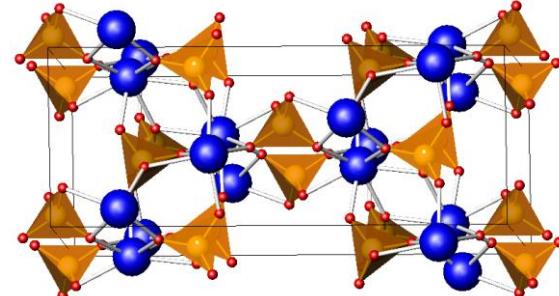
Комплексы тория

Высокие координационные числа

К.ч. = 7



К.ч. = 8



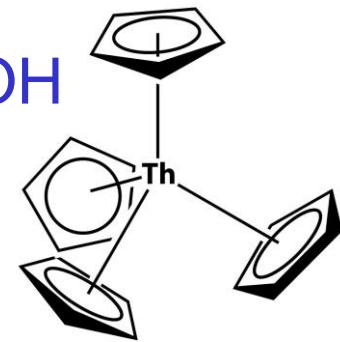
К.ч. = 9



К.ч. = 10



К.ч. = 20



Восстановление тория(IV)

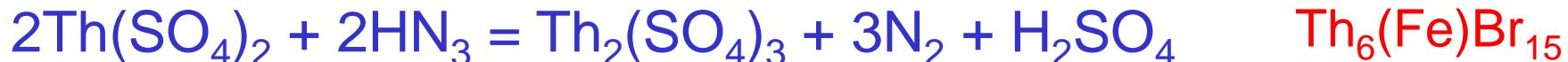
1. Реакции сопропорционирования



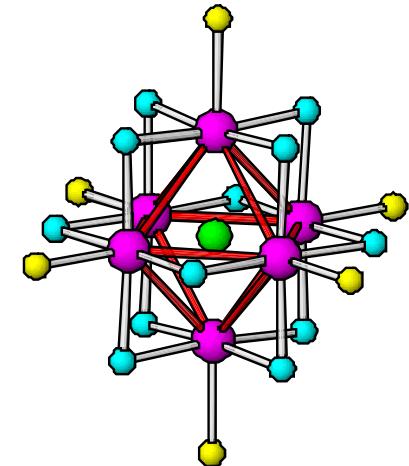
2. Реакции тория с неметаллами



3. Восстановление солей Th^{IV}



соли Th^{III} устойчивы только в сильно кислой среде

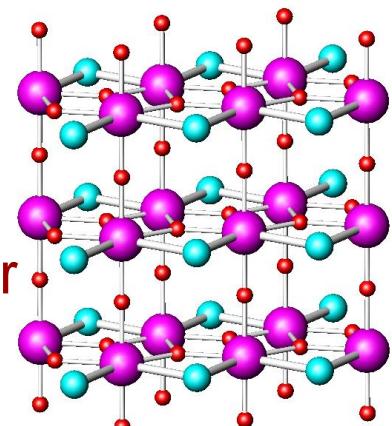


Химия урана

1. Уран – активный металл



2. Реакции с галогенами



3. Реакции с кислотами



Соединения урана(VI)

1. UF_6 – окислитель и фторирующий агент



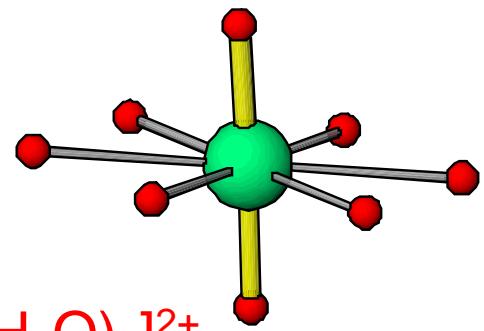
2. Кислородные соединения U^{VI} устойчивы



3. Пероксид U^{VI}



$$d(\text{U}\equiv\text{O}) = 188 \text{ пм}, \quad d(\text{U}-\text{O}) = 223 \text{ пм}$$

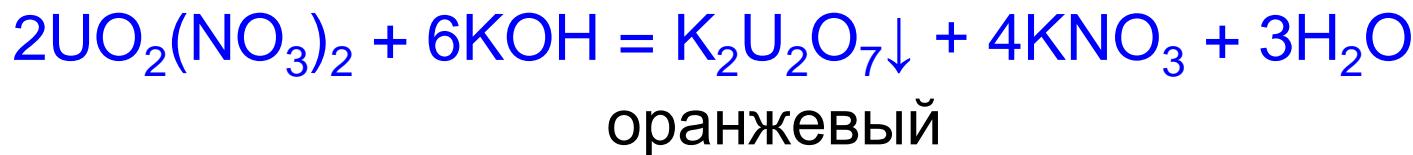
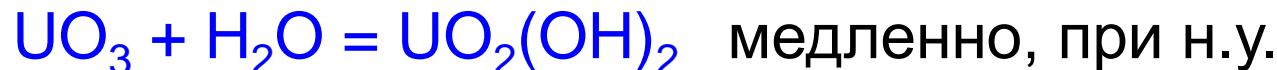


Соединения урана(VI)

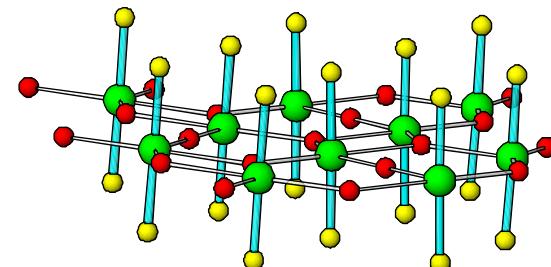
4. Оксид и гидроксид U^{VI}



Амфотерность:

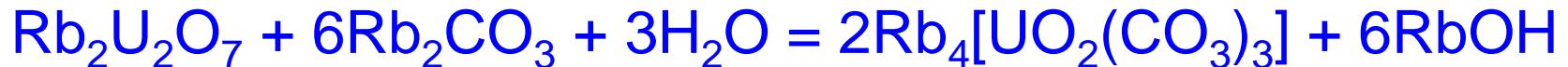


Анион $\text{U}_2\text{O}_7^{2-}$ в $\text{Rb}_2\text{U}_2\text{O}_7$

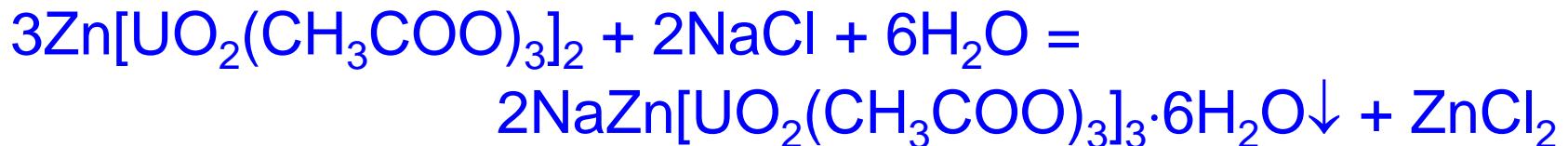


Комплексы урана(VI)

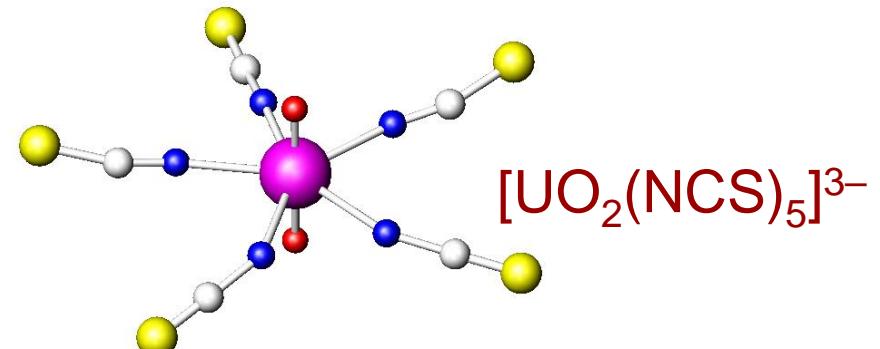
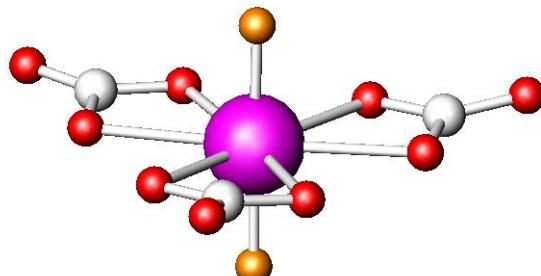
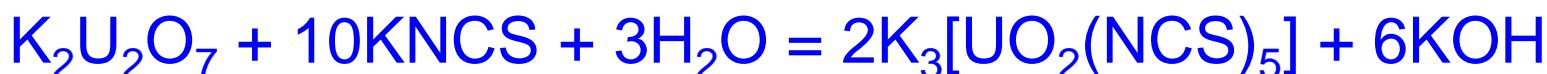
Комплексы U^{VI} делают уран похожим на d-металлы



желтый, растворим



желтый осадок



Соединения урана в низких с.о.

1. Оксиды



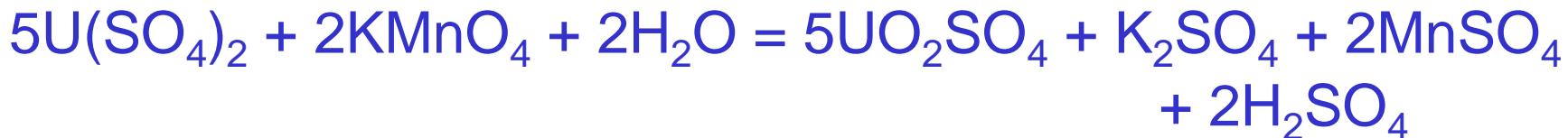
UO_2 темно-коричневый, т.пл. = 2775 °C

2. Свойства U^{IV}



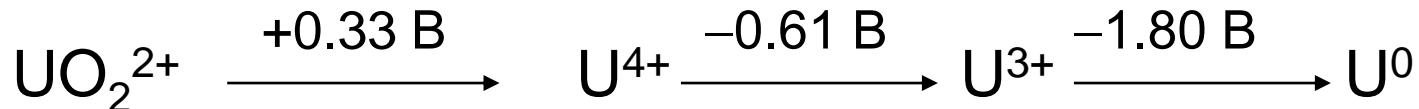
U(OH)_4 растворим только в кислотах

3. Окисление и восстановление U^{IV}

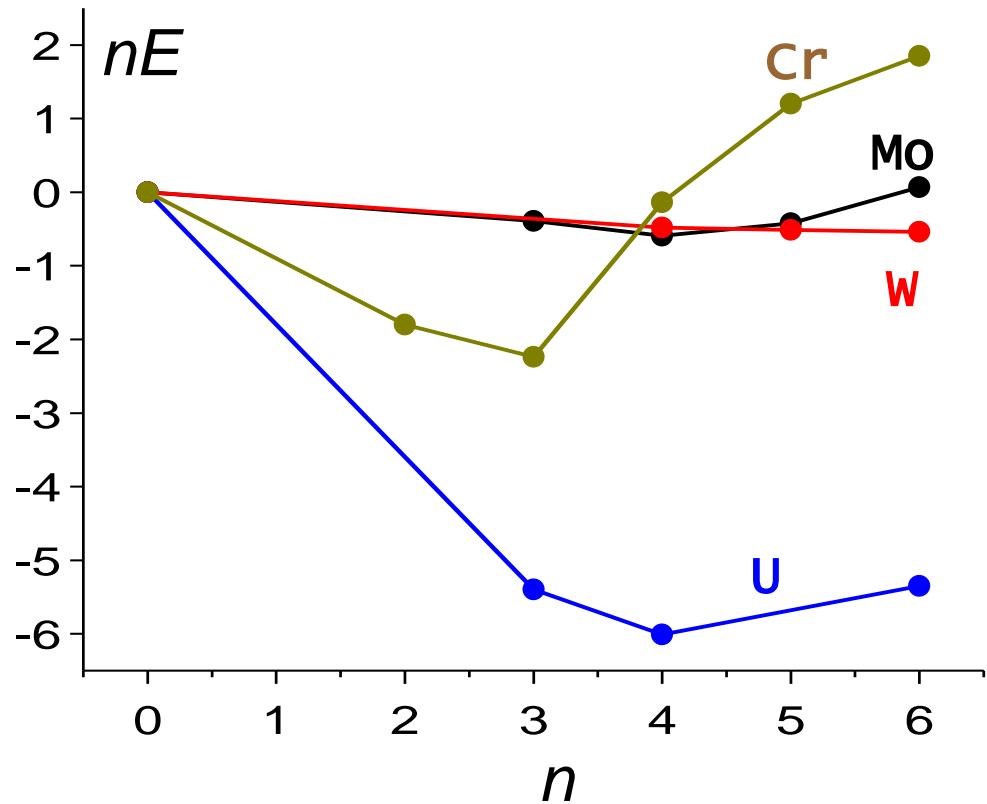


Red/Ox свойства соединений урана

1. Диаграмма Латимера для pH = 0

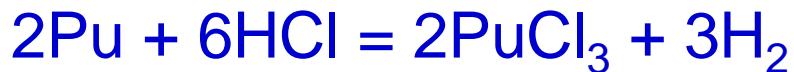


2. Диаграмма Фроста
для pH = 0



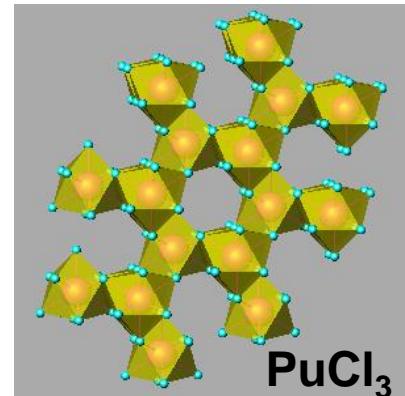
Химия плутония

1. Pu растворяется в кислотах-неокислителях, но не реагирует с водой и щелочами



Соли Pu^{3+} окрашены в зеленый цвет

Растворы $[\text{Pu}(\text{H}_2\text{O})_9]^{3+}$ – в фиолетовый



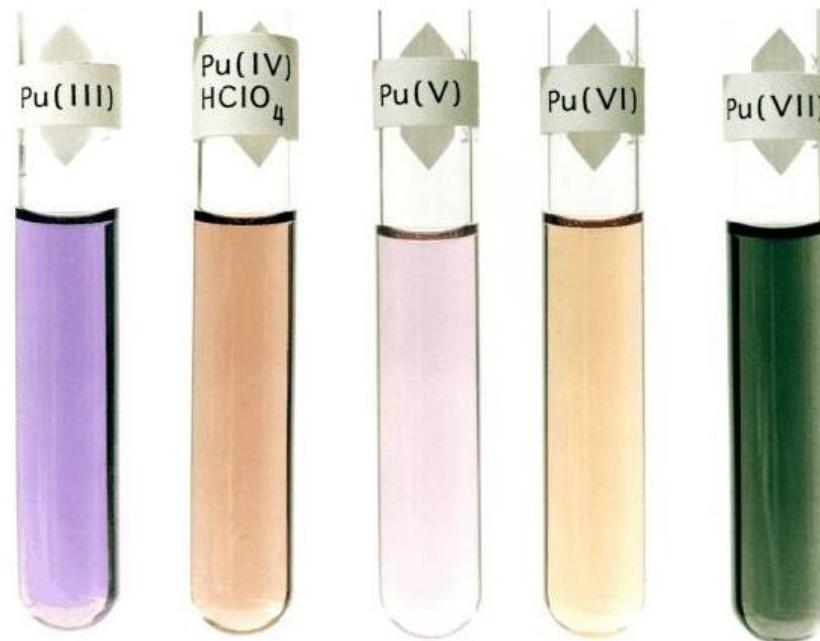
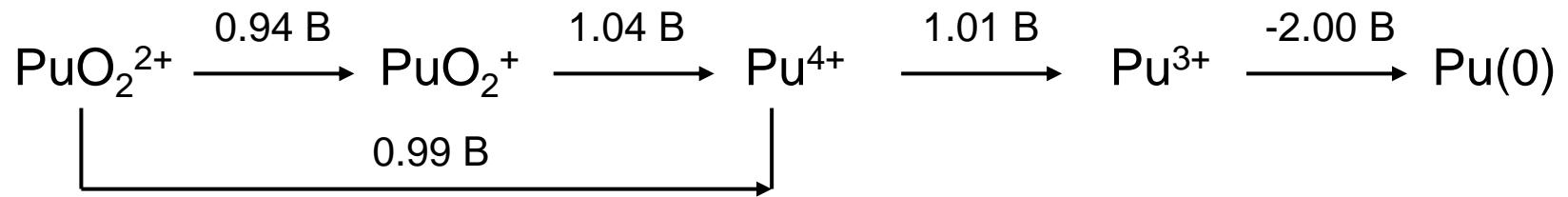
2. Pu демонстрирует наибольшее разнообразие с.о.



3. Наиболее устойчивые степени окисления +3 и +4

Химия плутония

4. **Pu** демонстрирует легкость перехода между с.о. от +3 до +6



Радиоактивность An



Фукусима (2011)



Чернобыль (1986)