



Элементы 10 группы

Неорганическая химия, 1 курс, 2025/2026

Подгруппа никеля

3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg

Ni – никель, Pd – палладий, Pt – платина

Свойства элементов

	Ni	Pd	Pt
Ат. №	28	46	78
Эл. Конф.	$3d^8 4s^2$	$4d^{10} 5s^0$	$4f^{14} 5d^9 6s^1$
R(ат.), пм	125	137	139
I_1 , эВ	7.46	8.34	9.0
I_2 , эВ	18.17	18.34	18.6
χ (A-R)	1.75	1.35	1.44
С.О.	2,(3),(4)	2,4	2,4,(6)

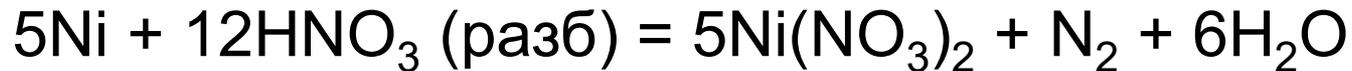
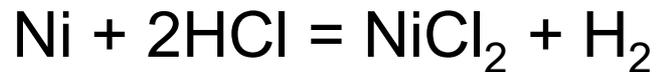
Свойства металлов

	Ni	Pd	Pt
Т.пл., °С	1453	1552	1796
Т.кип., °С	2900	3410	4200
$\Delta_a H^\circ$, кДж/моль	430	378	565
d, г/см ³	8.90	12.02	21.45
σ , См/м ($\cdot 10^6$)	13	10	10
T _c , °С	358	–	–
Стр.тип	Cu	Cu	Cu
E°(M ²⁺ /M ⁰), В	–0.257	+0.92	+0.98

Химические свойства Ni

1. Пассивируется концентрированными H_2SO_4 , HNO_3 и царской водкой

2. Растворяется в кислотах



3. Не растворяется в щелочах

4. Реагирует с кислородом при нагревании

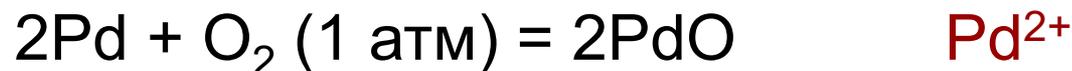


5. Реагирует с галогенами



Химические свойства Pd, Pt

1. Окисление кислородом

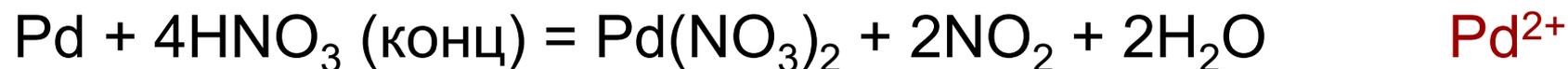


2. Окисление фтором



3. Не растворяются в кислотах-неокислителях и щелочах

4. Взаимодействуют с кислотами-окислителями



5. Растворяют H_2 , не реагируя

Получение Ni, Pd, Pt

Никель 0.02 % в земной коре

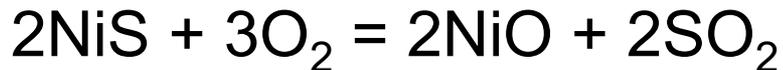
основные минералы: NiS желтый колчедан, миллерит;

NiAsS белый колчедан, хлоантит;

(Ni,Mg)₆[Si₄O₁₀(OH)₈]·4H₂O гарниерит;

(Ni,Fe)₉S₈ пентландит

Обжиг сульфидов:



Восстановление: $\text{NiO} + \text{C} = \text{Ni} + \text{CO}$

Палладий $8 \cdot 10^{-6}$ % в земной коре, получают из отходов производства Ni, Cu, также самородный

Платина 10^{-5} % в земной коре, самородная

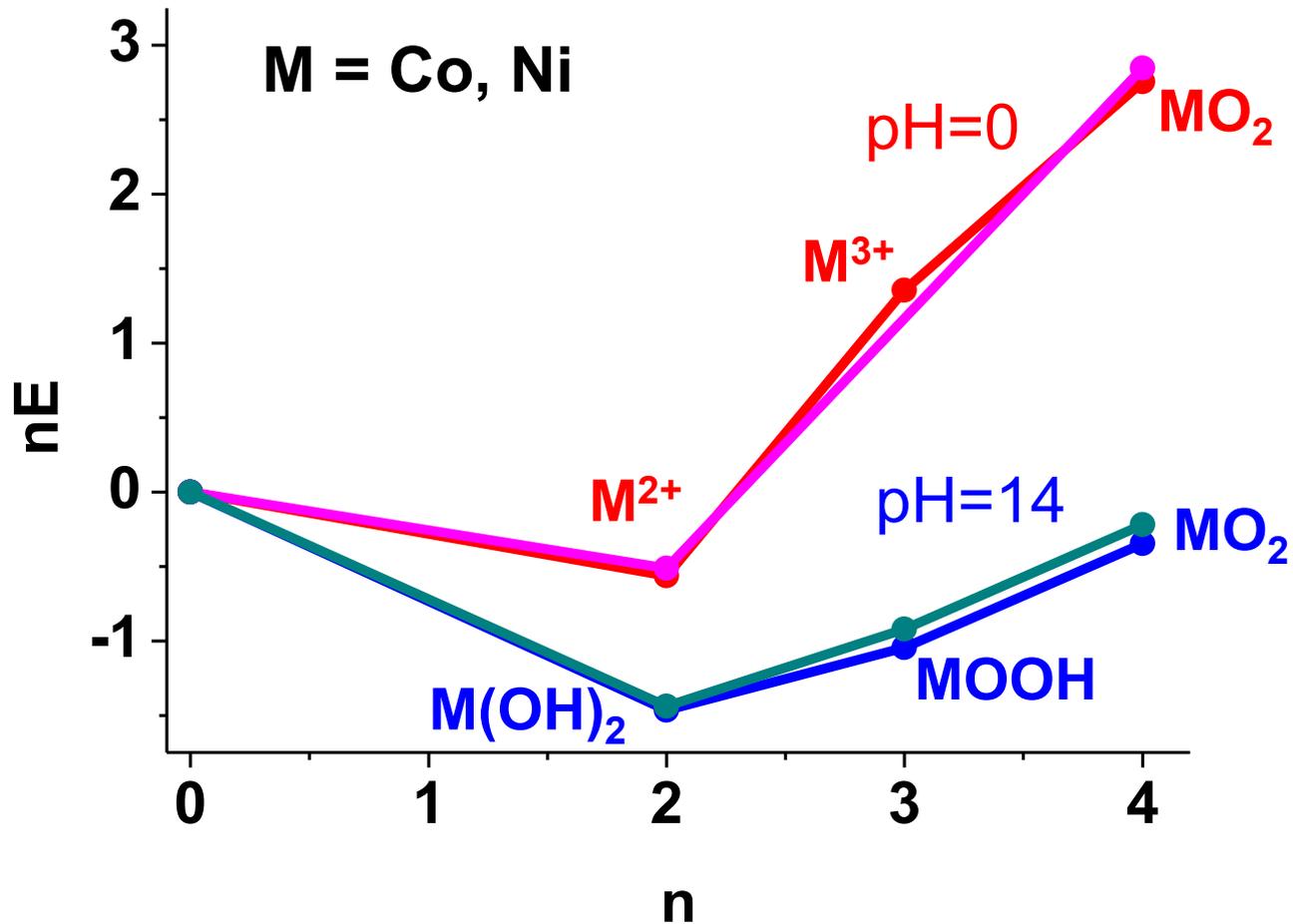


Применение Ni, Pd, Pt

1. Ni монетные сплавы
2. Ni жаропрочные сплавы
3. Ni тонкие покрытия
4. Ni в аккумуляторах
5. Pt химическая посуда, аппаратура, термопары
6. Pt, Pd катализаторы
7. Pd глубокая очистка водорода
8. Pt создание лекарственных препаратов
9. Pd создание датчиков, сенсоров
10. Pt изготовление ювелирных изделий



Диаграмма Фроста для Co, Ni



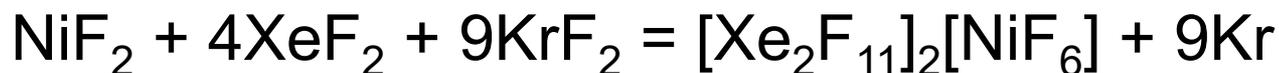
Co, Ni: похожие red/ox свойства

Соединения Ni(IV)

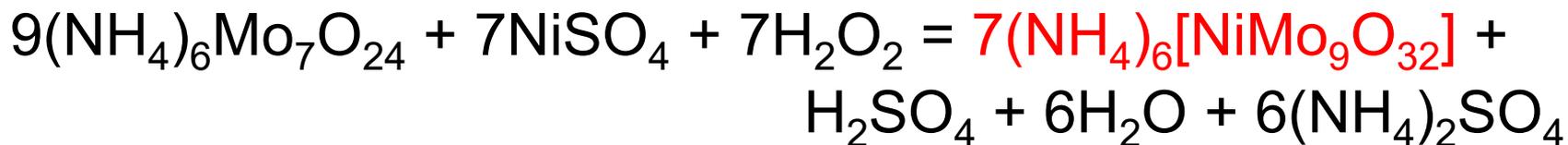
1. Производные Ni(IV) неустойчивы

2. Известны оксопроизводные $\text{NiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, BaNiO_3 , SrNiO_3

3. Фторопроизводные

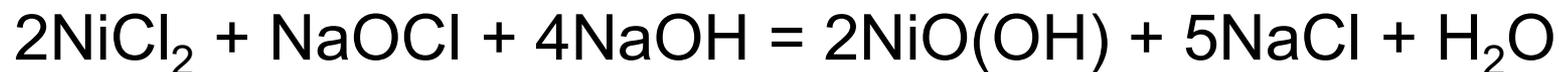


4. Стабилизируется в гетерополисоединениях

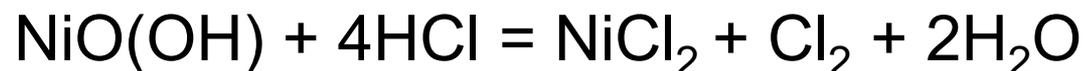


Соединения Ni(III)

1. Известен гидроксид NiO(OH)



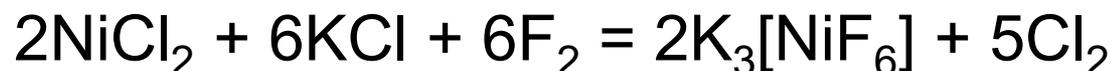
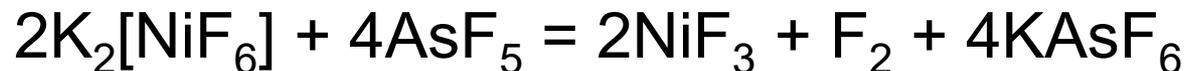
Устойчив только в щелочной среде



2. Известны никелаты(III)



3. Фториды и фторокомплексы



Сравнение комплексов Fe, Co, Ni(III)

Fe(III): d^5

Устойчивы:

аква- и фторокомплексы, комплексы с лигандами
сильного поля, хелатные комплексы

Слабые окислители

Co(III): d^6

Устойчивы только октаэдрические комплексы с лигандами
сильного поля, конфигурация t_{2g}^6

Слабые окислители

Ni(III): d^7

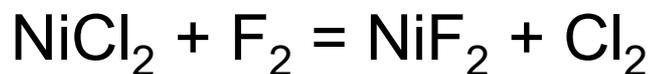
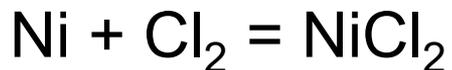
Относительно устойчивы только фторокомплексы

Сильные окислители

Соединения Ni(II)

1. Галогениды

	NiF_2	NiCl_2	NiBr_2	NiI_2
т.пл.	1450°C	970°C	919°C	797°C
Цвет	желто-зеленый	золотистый	желто-коричневый	черный
Стр. тип	TiO_2	CdCl_2	CdI_2	CdI_2



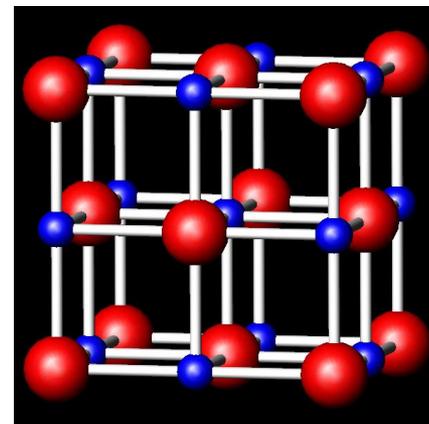
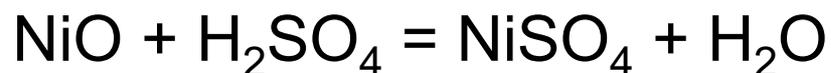
NiF_2 растворим в воде в отличие от FeF_2 , CoF_2

NiCl_2 , NiBr_2 , NiI_2 растворимы, гидратированы в растворе

Соединения Ni(II)

2. Оксид NiO

структура NaCl, т.пл. 1984 °C

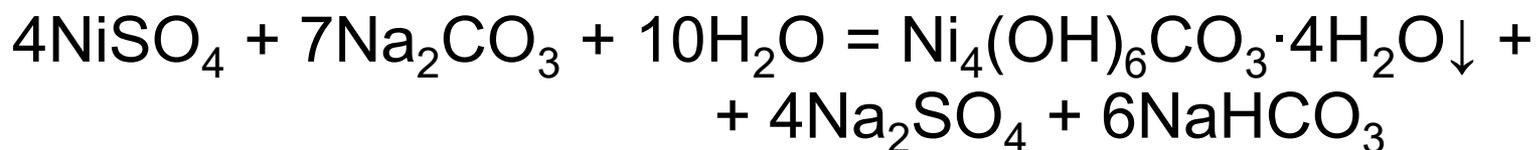
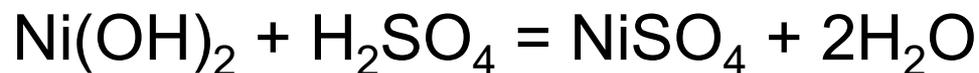


NiO

3. Гидроксиды



преимущественно основные свойства



Соединения Ni(II)

4. Сравнение гидроксидов Fe, Co, Ni (II)



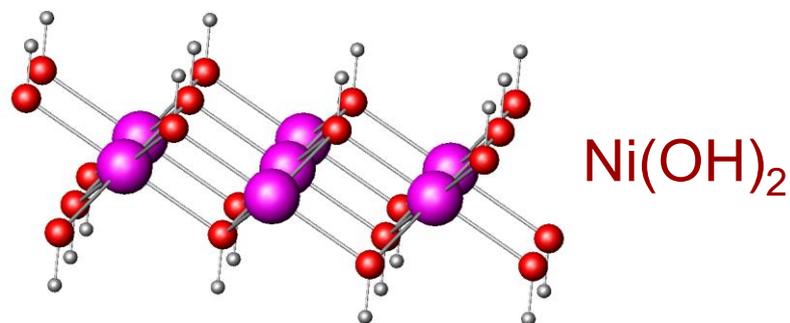
$$pK_b = 3.9$$



$$pK_b = 4.4$$



$$pK_b = 4.6$$



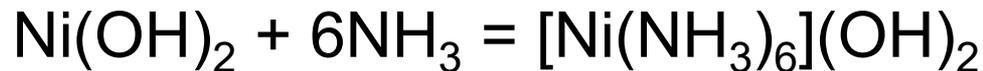
Уменьшение радиуса M^{2+}

Ослабление основных свойств

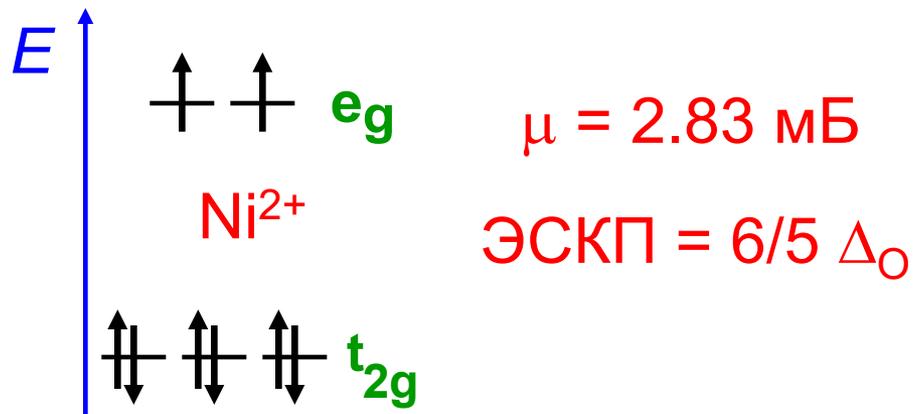
Уменьшение способности к окислению

Комплексы Ni(II)

1. Стабильность аммиакатов $M(II)$ увеличивается по ряду
 $Fe \rightarrow Co \rightarrow Ni$



2. Большинство комплексов октаэдрические,
но другие к.ч. распространены – 4 и 5.



Комплексы Ni(II)

3. Тетраэдрические комплексы

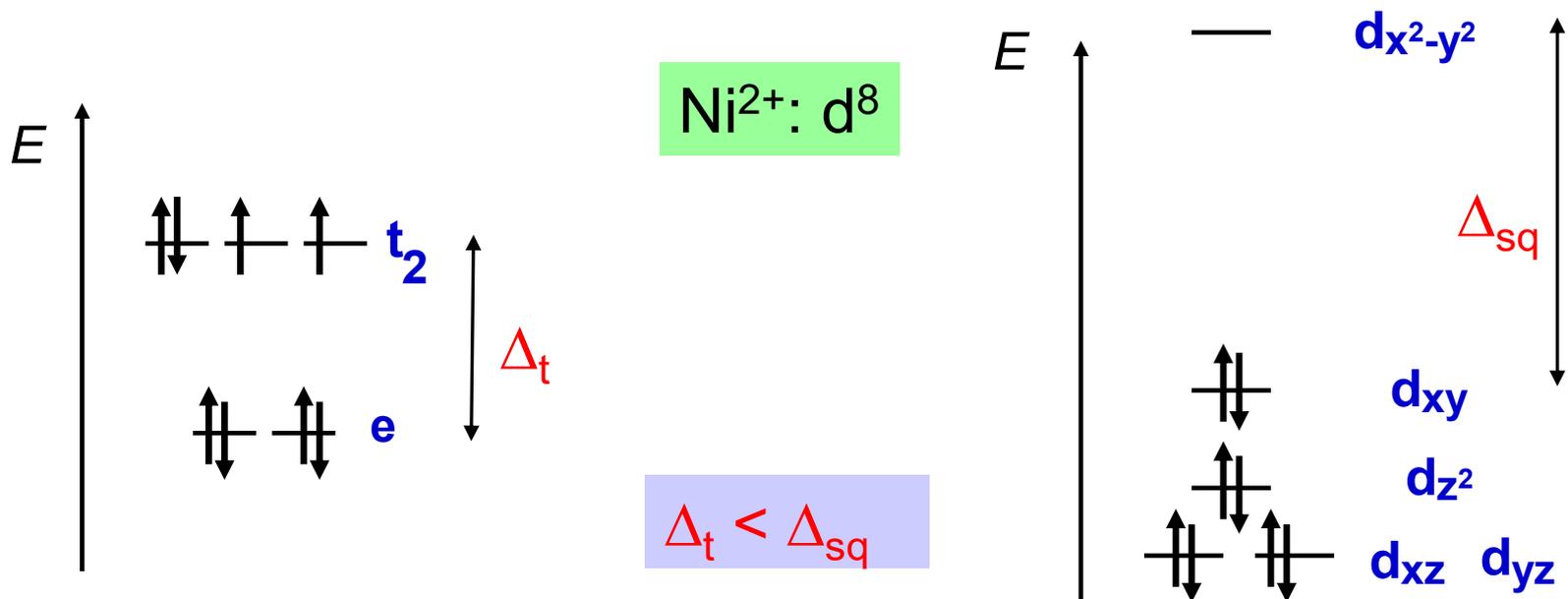


только с лигандами слабого поля

4. Квадратные комплексы

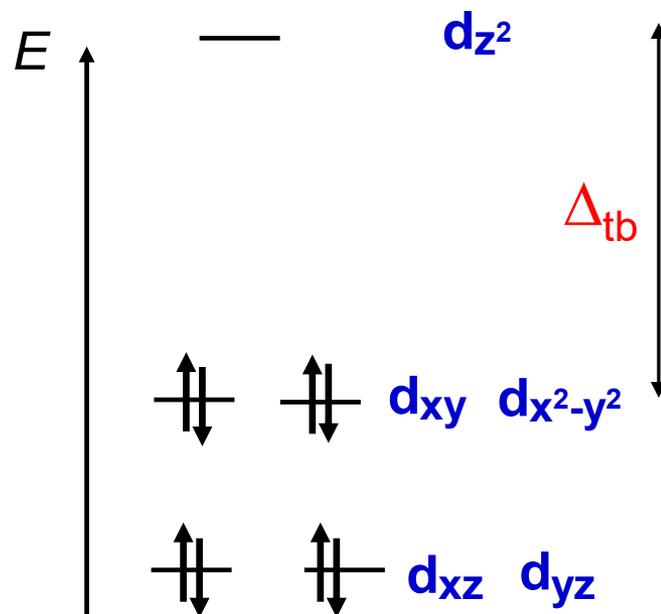
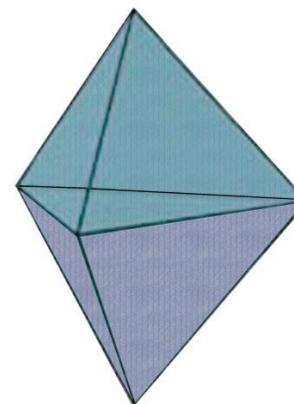
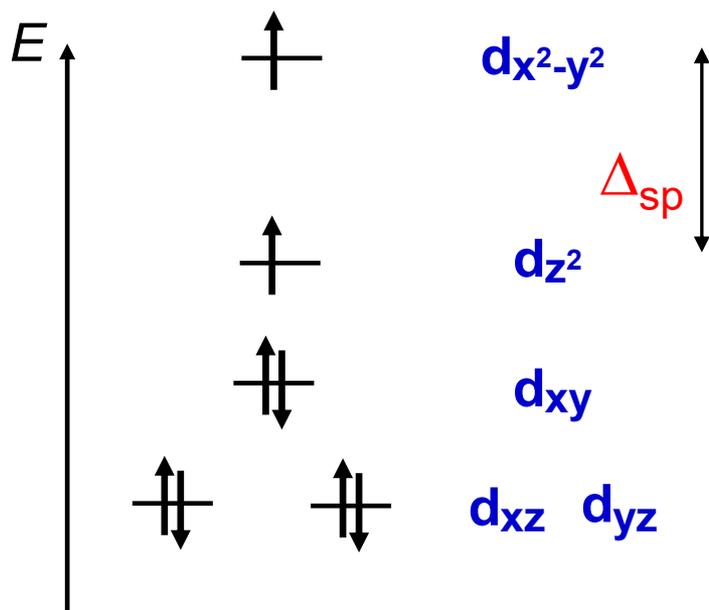
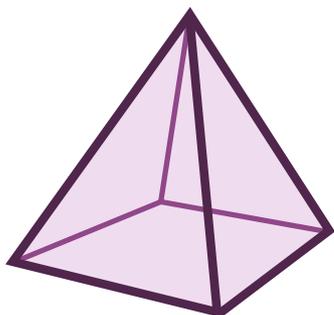


только с лигандами сильного поля



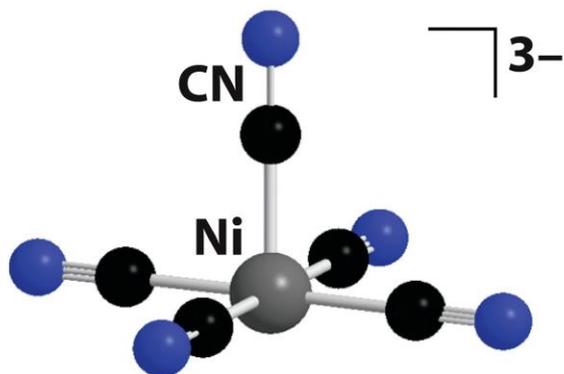
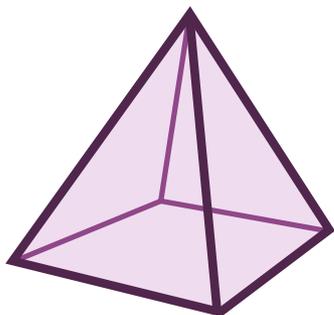
Комплексы Ni(II)

5. Квадратная пирамида и тригональная бипирамида

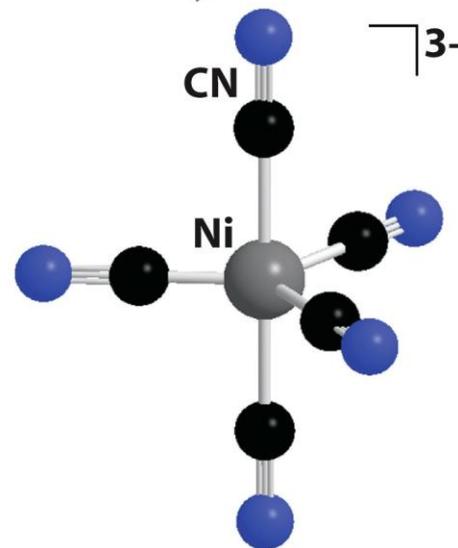
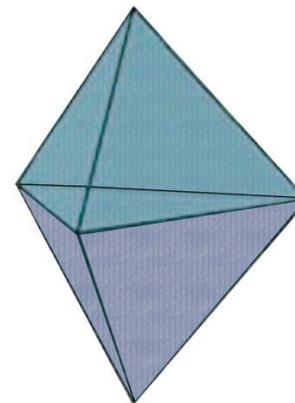


Комплексы Ni(II)

5. Квадратная пирамида и тригональная бипирамида



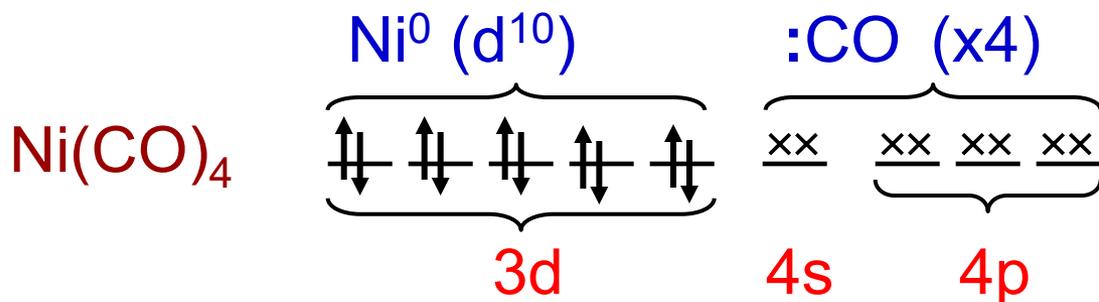
квадратная пирамида



тригональная бипирамида

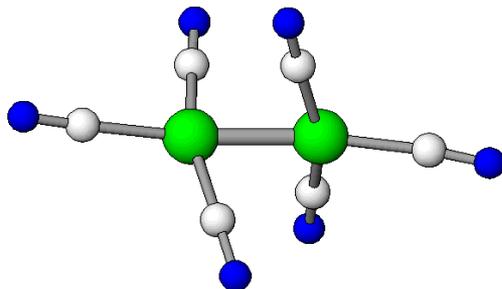
Соединения Ni в низших с.о.

1. Карбонилы



sp^3
тетраэдр

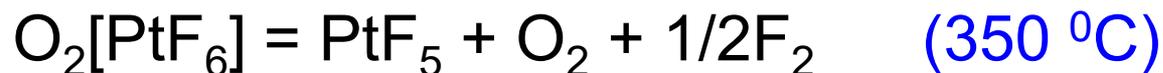
2. Цианиды



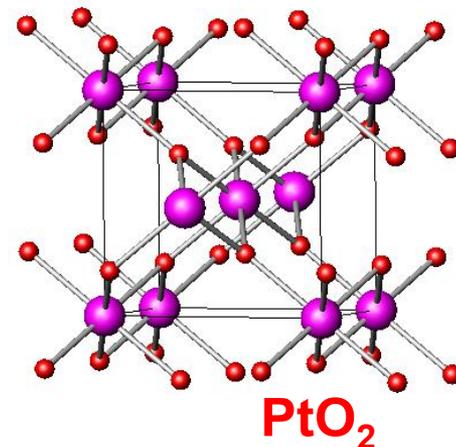
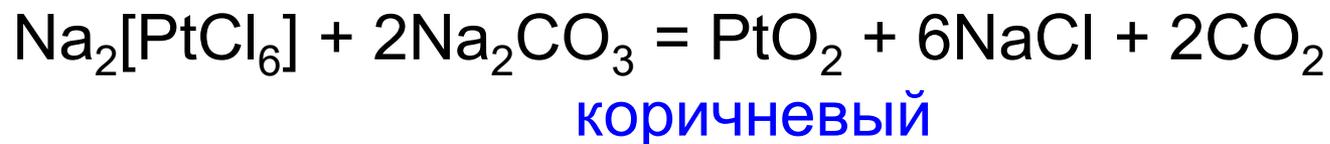
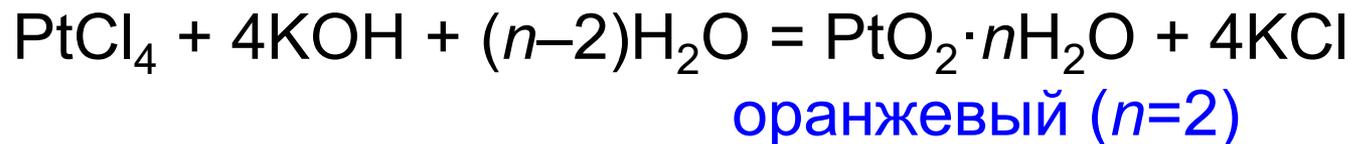
Соединения Pd, Pt (IV)

1. Основные с.о. Pd, Pt +2, +4.

Известен PtF_6 — фторокислитель



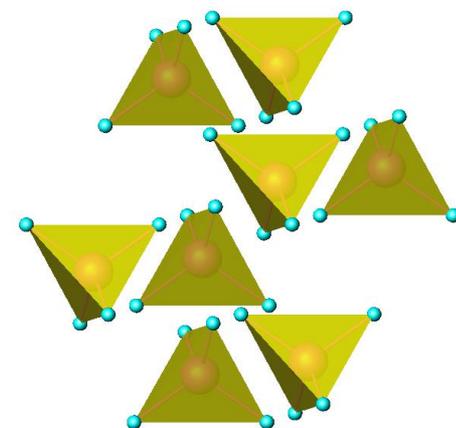
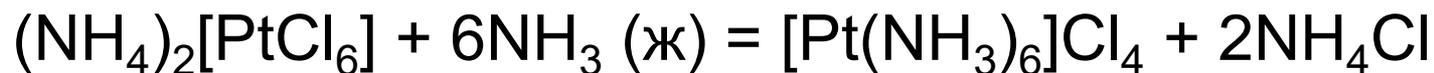
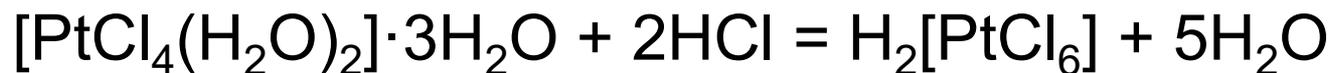
2. Оксиды PdO_2 , PtO_2



Соединения Pd, Pt (IV)

2. Галогениды

Известны PdF₄, PtX₄



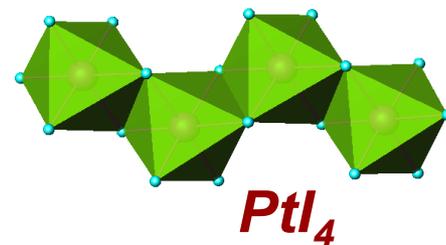
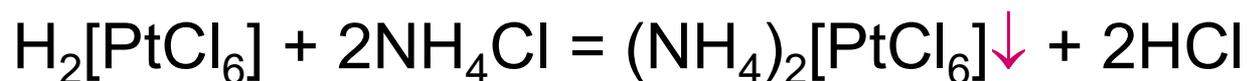
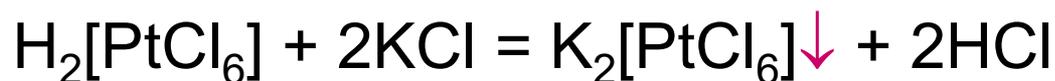
PtCl₄

Соединения Pd, Pt (IV)

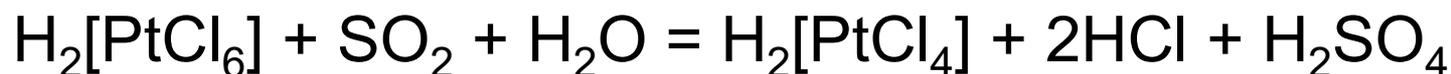
Платинохлороводородная кислота $(\text{H}_3\text{O})_2[\text{PtCl}_6]$

оранжевые кристаллы, т.пл. $60\text{ }^\circ\text{C}$

известны гидраты $(\text{H}_3\text{O})_2[\text{PtCl}_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n = 1, 2, 3, 4, 6$)



Восстановление:



Соединения Pd, Pt (II)

1. Галогениды.

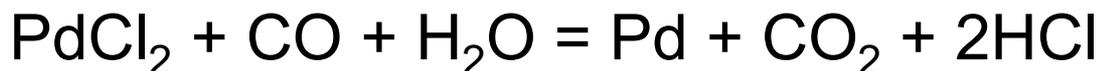
Известны все MX_2 , кроме PtF_2 (?)



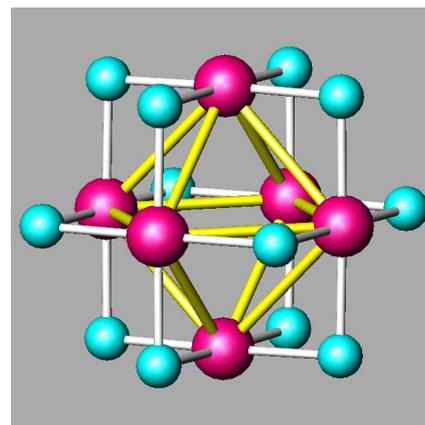
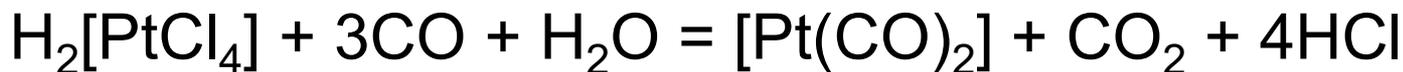
Образование комплексов:



Восстановление:



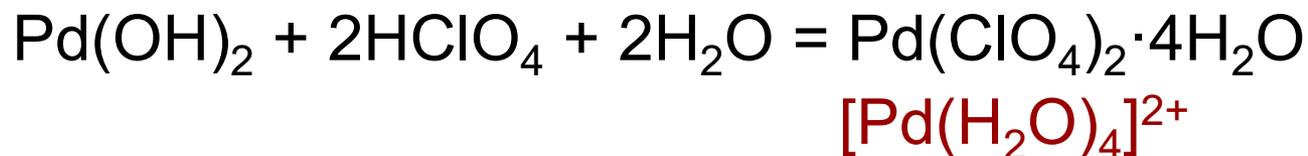
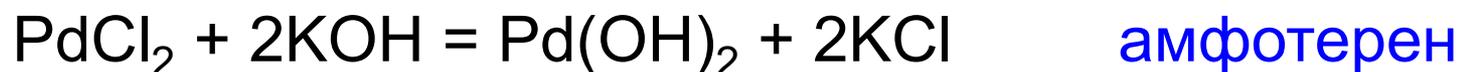
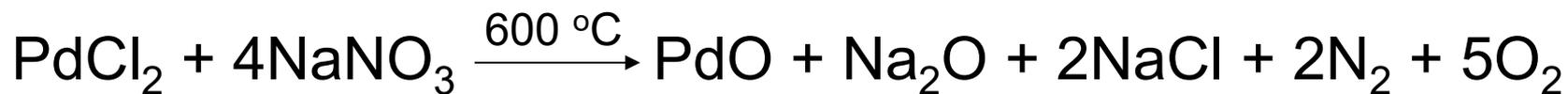
α -PdCl₂



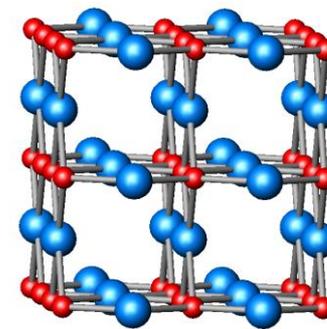
Соединения Pd, Pt (II)

2. Оксиды

PdO т.разл. = 900 °С, **PtO** т.разл. = 350 °С



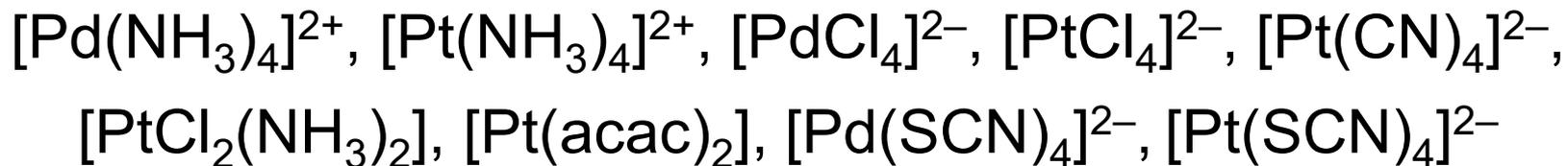
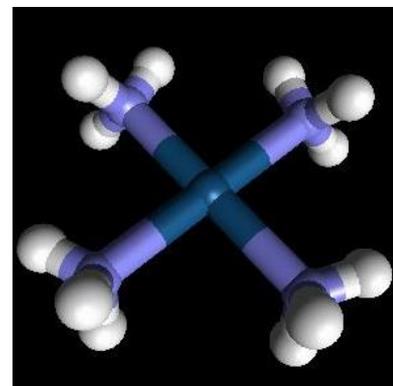
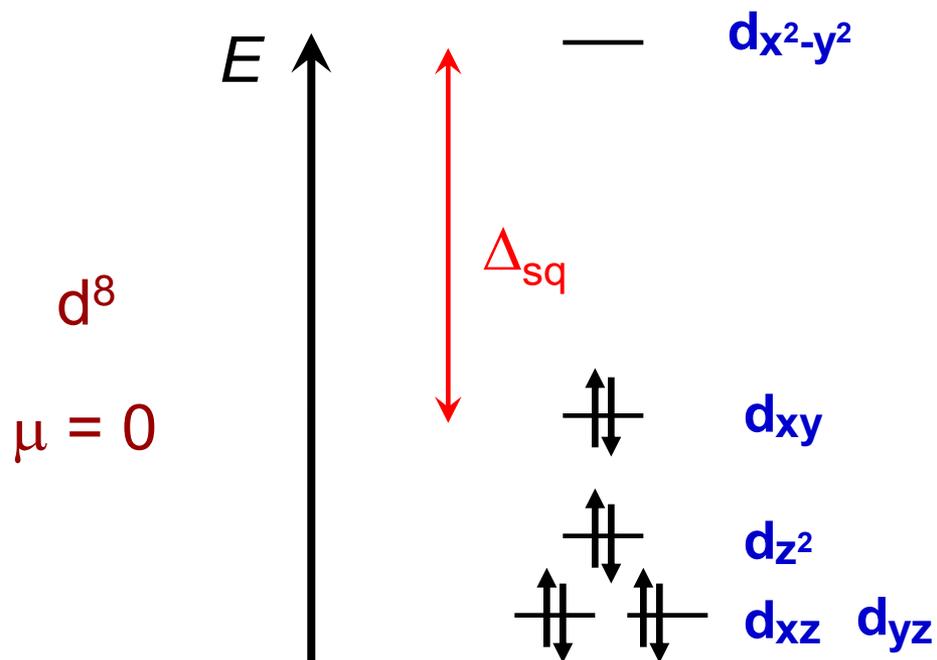
квадратные комплексы



PdO

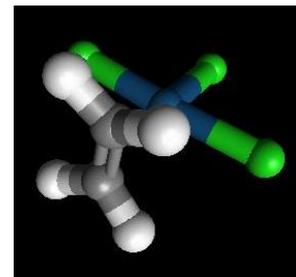
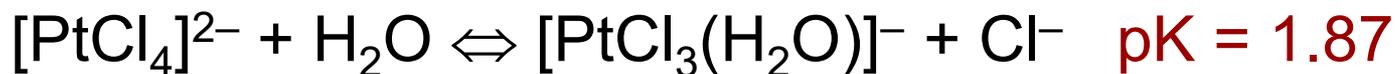
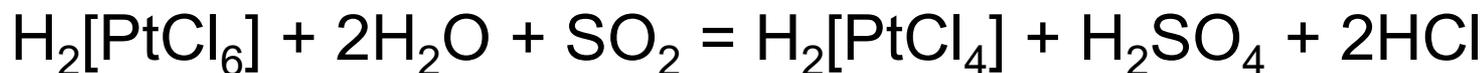
Комплексы Pd, Pt (II)

1. Почти все комплексы имеют квадратное строение



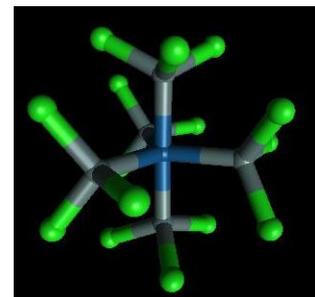
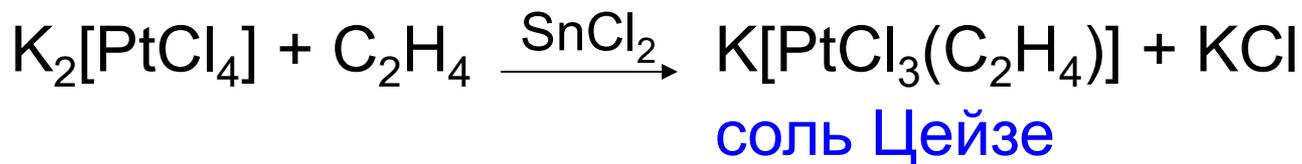
Комплексы Pd, Pt (II)

2. Получение и свойства комплексов



$[\text{PtCl}_3(\text{C}_2\text{H}_4)]^-$

3. Комплексы со сложными лигандами

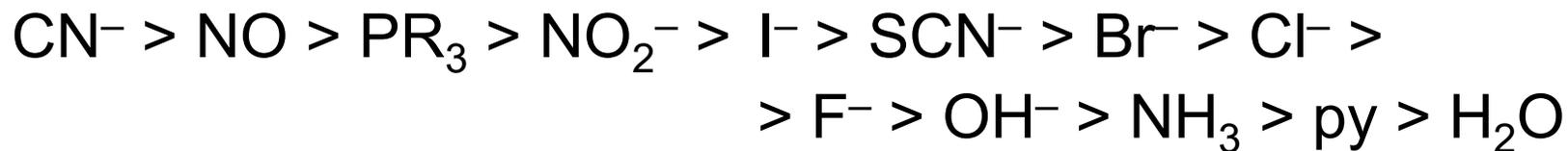


$[\text{Pt}(\text{SnCl}_3)_5]^{3-}$

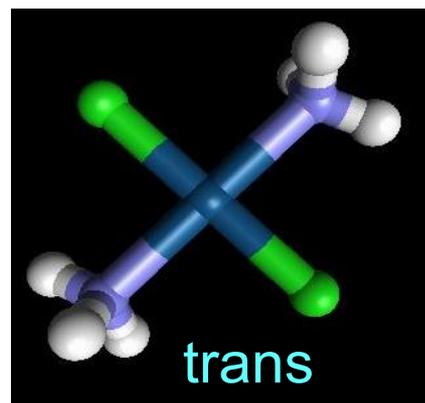
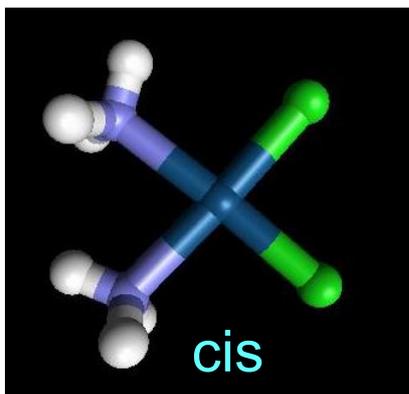
Комплексы Pd, Pt (II)

4. Трансвлияние в квадратных комплексах

Ряд трансвлияния (Черняев, 1926):

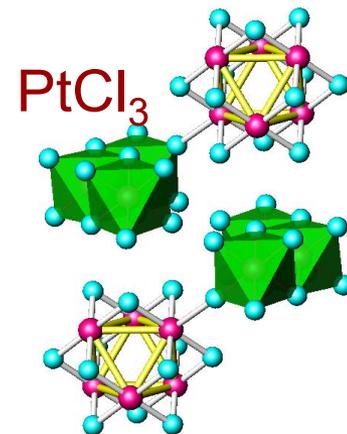
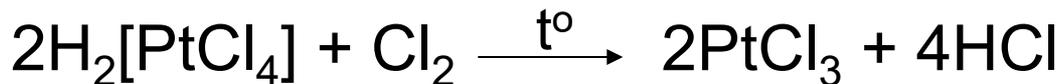


В ряду убывает способность *лабилизирующего* действия на транс-расположенный лиганд

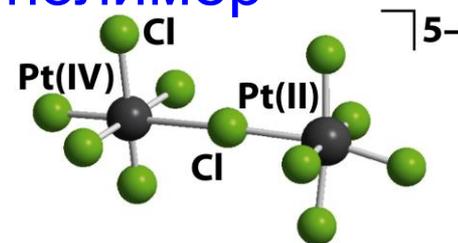
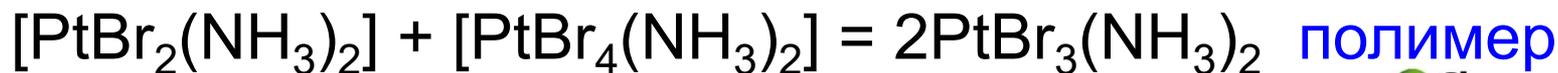


Соединения Pt (II, IV)

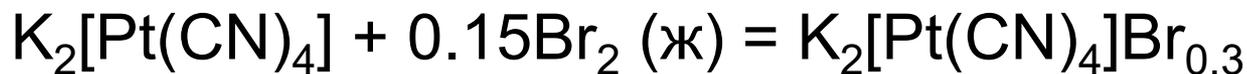
1. Смешанно-валентные галогениды PtCl₃, PtBr₃, PtI₃, Pt₃I₈



2. Смешанно-валентные комплексы

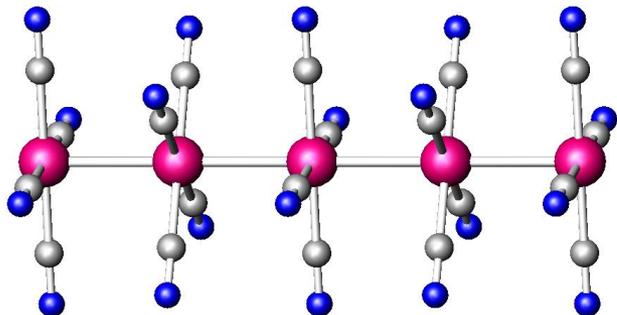


3. Невалентные комплексы



светло-желтый

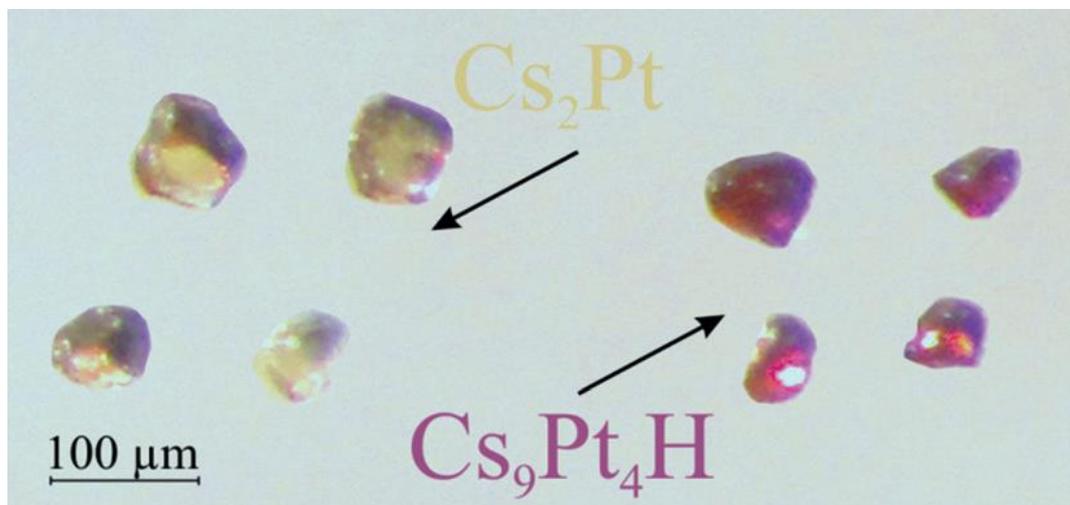
бронзовый



Формально – Pt^{2.3+}
одномерный металлический проводник, d(Pt–Pt) = 289 пм

Низшие с.о. Pd, Pt

1. Карбонилы крайне неустойчивые, известны галоген-карбонилы, например, $\text{Pd}_2(\text{CO})_2\text{Cl}_2$
2. Известны комплексы с самыми сильными π -акцепторами $[\text{Pd}(\text{PF}_3)_4]$, $[\text{Pt}(\text{PF}_3)_4]$ (sp^3 , тетраэдр, $18e^-$)
3. Только для Pt известны отрицательные с.о. (-2)
 $2\text{Cs} + \text{Pt} = \text{Cs}_2\text{Pt}$ (200 °C)
 $8\text{Cs} + \text{CsH} + 4\text{Pt} = \text{Cs}_9\text{Pt}_4\text{H}$ (400 °C)



Получение платиновых металлов

1. Основное состояние *самородное*
2. Содержание в земной коре (масс.% $\cdot 10^{-6}$)

Ru	10	Rh	2	Pd	8
Os	2	Ir	1	Pt	10

3. Типичный состав платиновой руды

Pt (80%), Rh+Ir (5%), Pd (1%), Os (0.5%), Au (0.5%), Ru (0.1%) + оксиды Fe, Mn + сульфиды Ni, Cu

4. Осмиридид

15-40% Ir + 50-80% Os + силикаты Al, Fe, Co, Ni, Mn

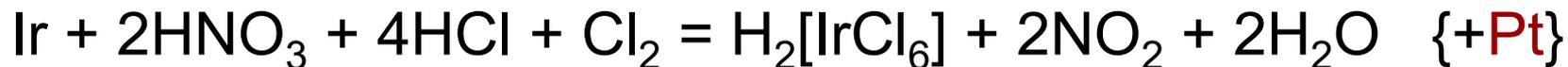
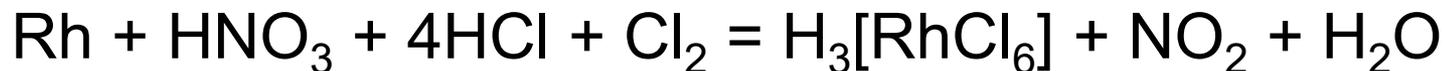
5. Pd выделяют из отходов производств Ni, Cu
6. Ru: минерал RuAs_2 – лаурит, в составе руд Ni

Разделение платиновых металлов

1. Отделение Pd в виде $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$

2. Растворение Pt, Rh, Ir в царской водке,

насыщенной хлором



3. Осаждение $(\text{NH}_4)_2[\text{PtCl}_6]$

4. Осаждение $(\text{NH}_4)_3[\text{RhCl}_6]$ из спиртового раствора

5. Щелочное окисление Ru, Os;

восстановление спиртом до RuO_2

Разделение платиновых металлов

6. Выделение металлов

