

# Элементы 9 группы

Лекция 12

# Подгруппа кобальта

3	4	5	6	7	8	<u>9</u>	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

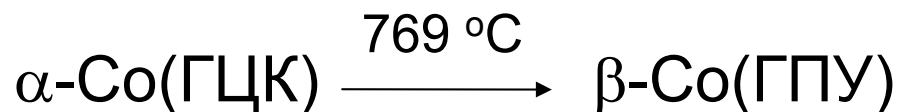
Co – кобальт, Rh – родий, Ir – иридий

# Свойства элементов

	Co	Rh	Ir
Ат. №	27	45	77
Эл. Конф.	$3d^7 4s^2$	$4d^8 5s^1$	$4f^{14} 5d^7 6s^2$
R(ат.), пм	125	134	136
$I_1$ , эВ	7.86	7.46	9.1
$I_2$ , эВ	17.06	18.01	17.0
$\chi$ (A-R)	1.70	1.45	1.55
С.О.	2,3,(4)	(1),2,3,4,(6)	(1),2,3,4,5,(6)

# Свойства металлов

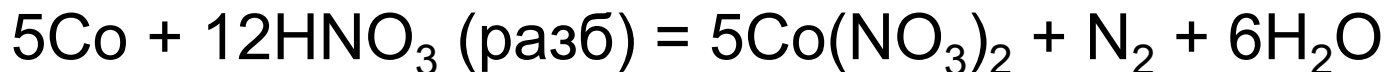
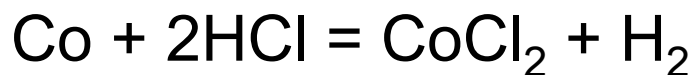
	Co	Rh	Ir
Т.пл., °С	1490	1960	2443
Т.кип., °С	3100	3730	4405
$\Delta_a H^0$ , кДж/моль	428	557	665
d, г/см <sup>3</sup>	8.90	12.41	22.56
$\sigma$ , См/м ( $\cdot 10^6$ )	15	23	21
T <sub>c</sub> , °С	1130	–	–
Стр.тип	Cu, Mg	Cu	Cu
$E^0(M^{n+}/M^0)$ , В	–0.277 (n=2)	+0.76 (n=3)	+1.0 (n=3)



# Химические свойства Co

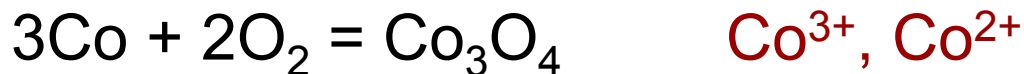
1. Пассивируется концентрированными  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  и царской водкой

2. Растворяется в кислотах-неокислителях

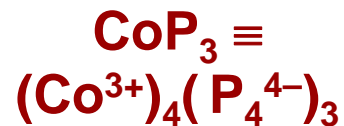
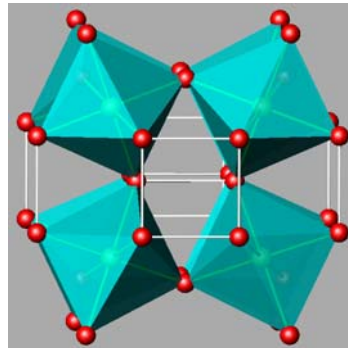
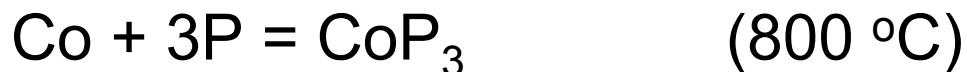
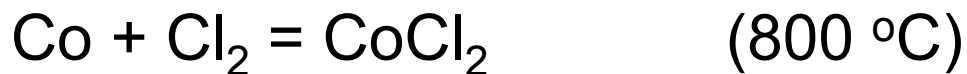


3. Не растворяется в щелочах

4. Реагирует с кислородом при нагревании



5. Реагирует с галогенами и другими неметаллами



# Химические свойства Rh, Ir

## 1. Окисление кислородом

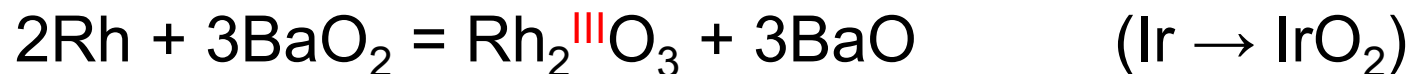
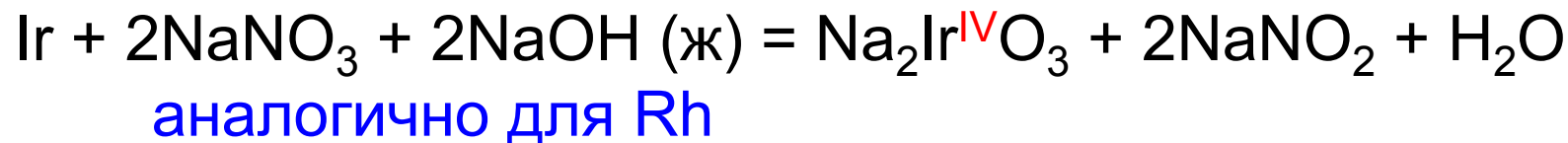


## 2. Окисление фтором

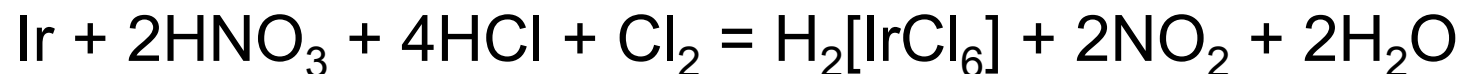


## 3. Не растворяются в кислотах-окислителях и щелочах

## 4. Щелочное окисление



## 5. Растворение в кислой среде

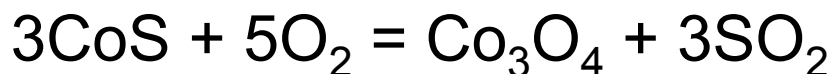


# Получение Co, Rh, Ir

Кобальт Содержание в природе (0.002 %)

основные минералы:  $\text{CoAs}_2$  кобальтовый шпейс, смальтит,  
 $\text{CoAs}_3$  скуттерудит;  $\text{CoAsS}$  кобальтовый блеск, кобальтит;

Обжиг сульфидов:



Восстановление:  $\text{Co}_3\text{O}_4 + 4\text{C} = 3\text{Co} + 4\text{CO}$

$\text{CoAs}_3$



Производство кобальта ~60 тыс. т. ежегодно

Родий, Иридий Содержание в природе (1-2  $10^{-6}$  %)

Получают переработкой платиновых руд



# Получение Co, Rh, Ir

Кобальт Содержание в природе (0.002 %)

ОСНОВНЫЕ

$\text{CoAs}_3$  сульфид

Обжиг сульфидов

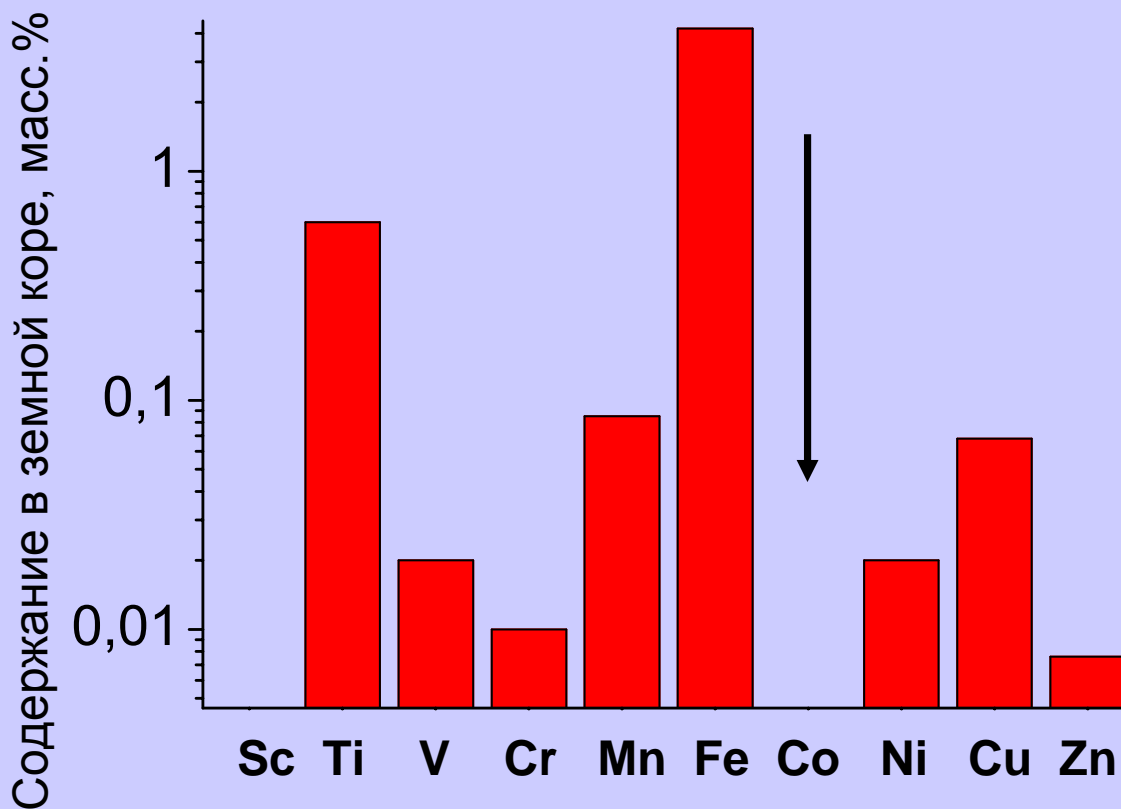
$3\text{CoS} + 2\text{O}_2 \rightarrow 3\text{Co}_2\text{O}_3 + 3\text{S}$

Восстановление оксидов

Процесс

Родий, Иридий

Получают переработкой платиновых руд



малитит,  
альтит;





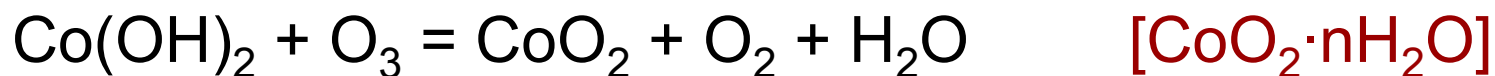
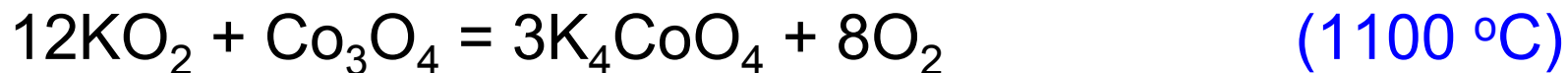
# Применение Co, Rh, Ir

1. Co коррозионно-стойкие сплавы
2. Co производство красок и эмалей
3. Co производство витамина B12
4. Rh, Ir химическая посуда, аппаратура, термопары
5. Rh производство катализаторов
6. Ir нанесение защитных покрытий
7. Rh, Ir изготовление ювелирных изделий
8. Ir производство сверхтвердых сплавов



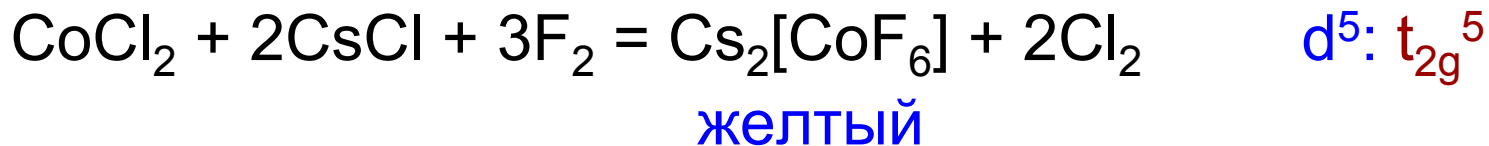
# Соединения Co(IV)

## 1. Получение оксопроизводных



также известны  $\text{Ba}_2\text{CoO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CoO}_3$

## 2. Получение фторопроизводных

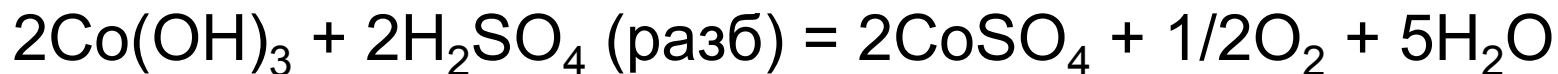
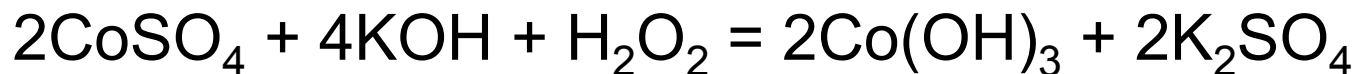


## 3. Неустойчивы в водной среде

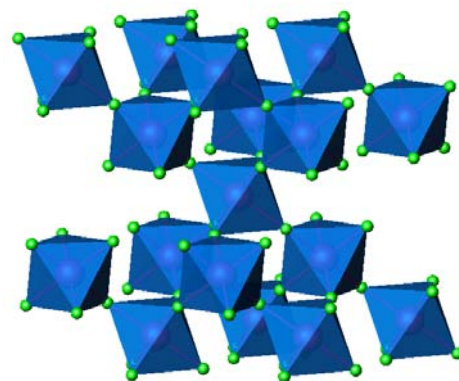
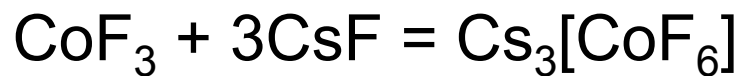
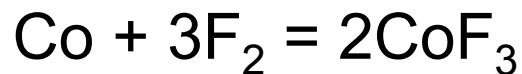


# Соединения Co(III)

## 1. Гидроксид



## 2. Фторид



# Комплексы Co(III)

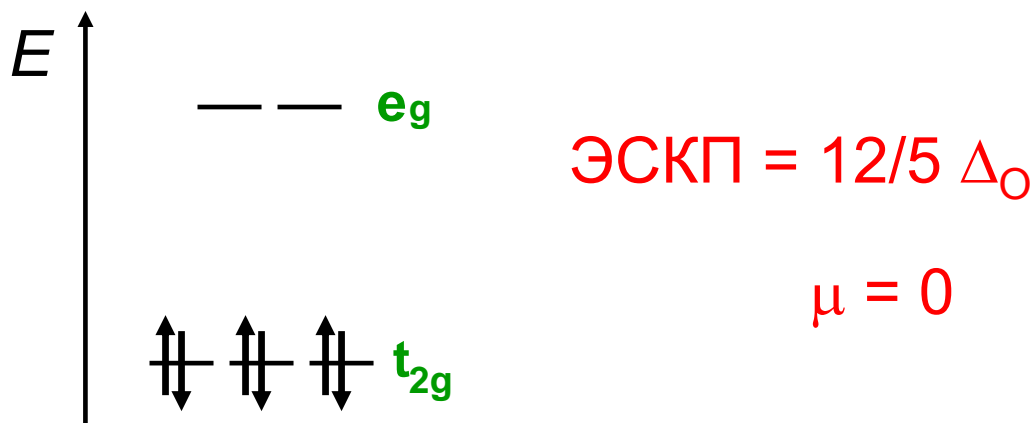
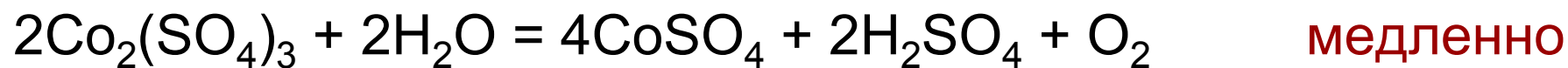
## 1. Устойчивы низкоспиновые комплексы Co(III)

с лигандами сильного поля

исключение:  $[\text{CoF}_6]^{3-}$  высокоспиновый,  $t_{2g}^4 e_g^2$



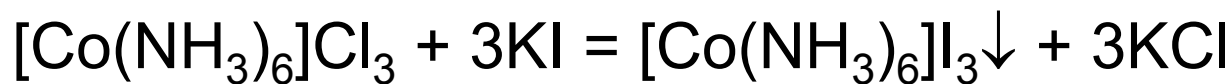
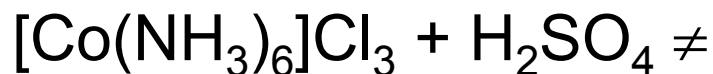
## 2. Аквакомплекс низкоспиновый $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ синий



# Комплексы Co(III)

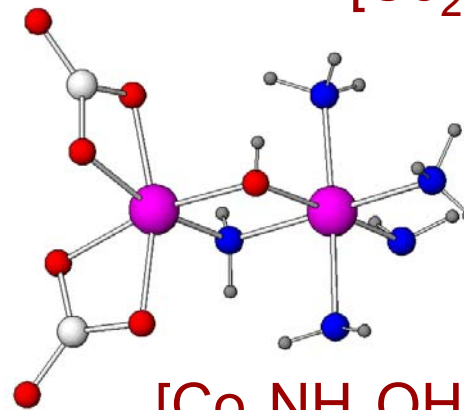
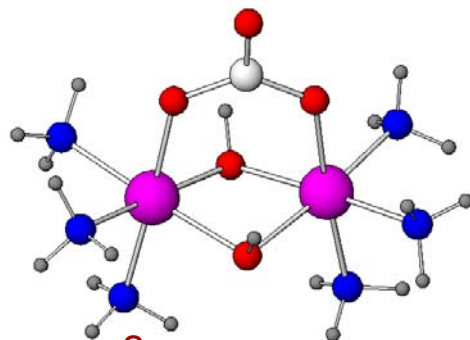
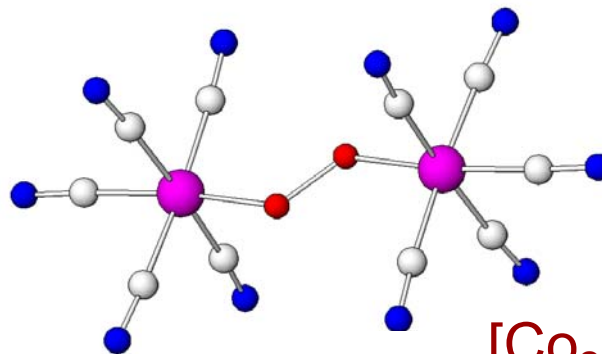
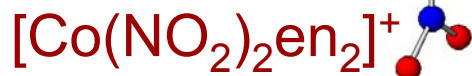
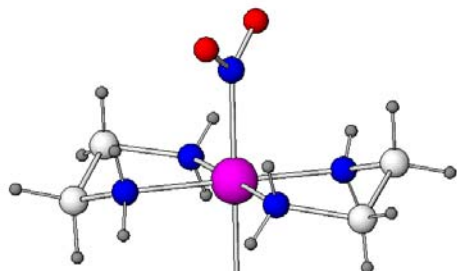
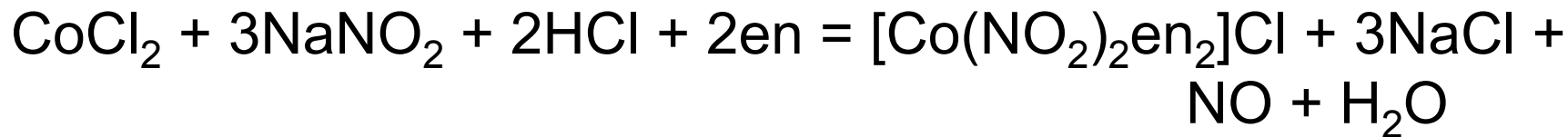
## 3. Аммиакаты

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$	желтый
$[\text{CoCl}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$	красный
$[\text{CoCl}_2(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}$	2 изомера
$[\text{CoCl}_3(\text{NH}_3)_3]$	2 изомера



# Комплексы Co(III)

## 4. Хелатные и биядерные комплексы



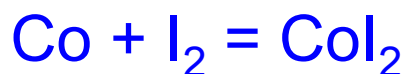
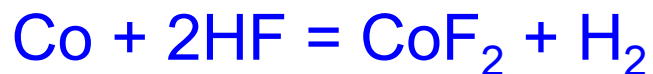
# Соединения Co(II)

## 1. Галогениды

---

	CoF <sub>2</sub>	CoCl <sub>2</sub>	CoBr <sub>2</sub>	CoI <sub>2</sub>
т.пл.	1200°C	740°C	678 °C	570°C
Цвет	розовый	синий	зеленый	черный
Стр.	TiO <sub>2</sub>	CdCl <sub>2</sub>	CdI <sub>2</sub>	CdI <sub>2</sub>
тип				

---



CoF<sub>2</sub> нерастворим в воде

CoCl<sub>2</sub>, CoBr<sub>2</sub>, CoI<sub>2</sub> растворимы, гидратированы в растворе

# Соединения Co(II)

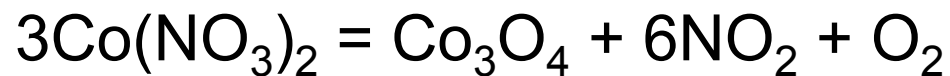
2. Оксид **CoO** зеленый, т.пл. 1805 °С

Структура NaCl, ZnS,  $\Delta_f H^0_{298} = -239$  кДж/моль

Только основные свойства  $\text{CoO} + 2\text{HCl} = \text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$

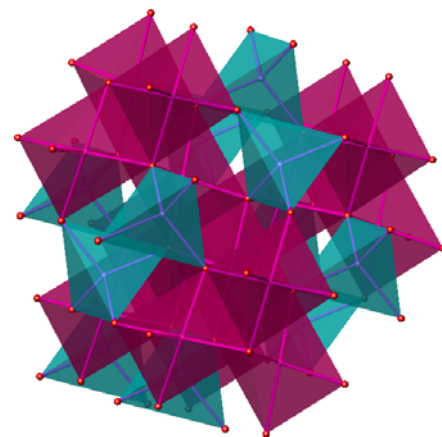


3. Оксид **Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>** ( $\equiv \text{Co}_2\text{O}_3 \cdot \text{CoO}$ ), нормальная шпинель



4. Гидроксид **Co(OH)<sub>2</sub>**  $pK_b = 4.4$

преимущественно основные свойства

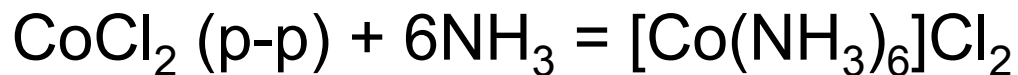


**Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**

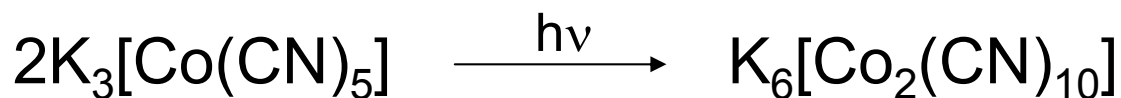


# Комплексы Co(II)

1. Менее устойчивы, чем комплексы Co(III)

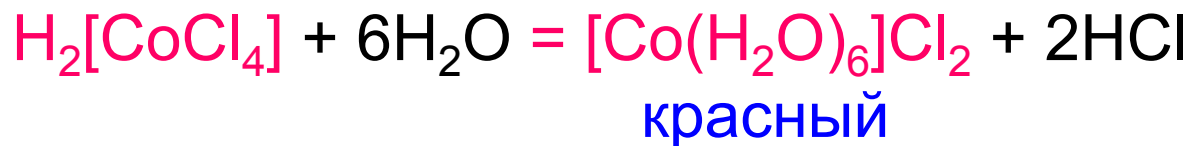
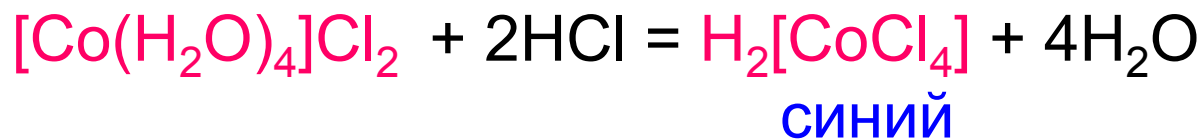
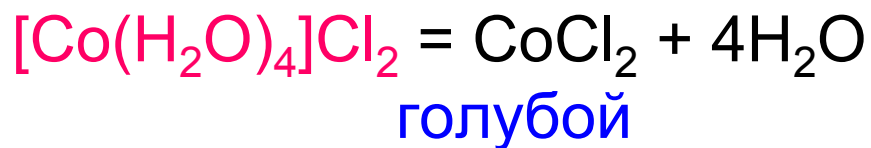
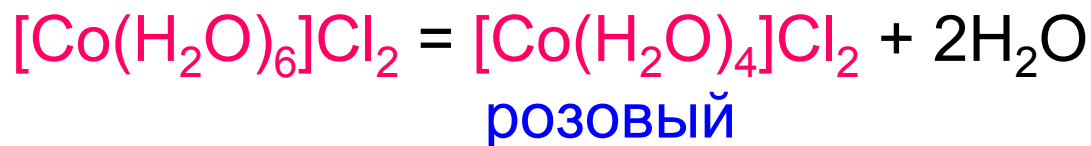
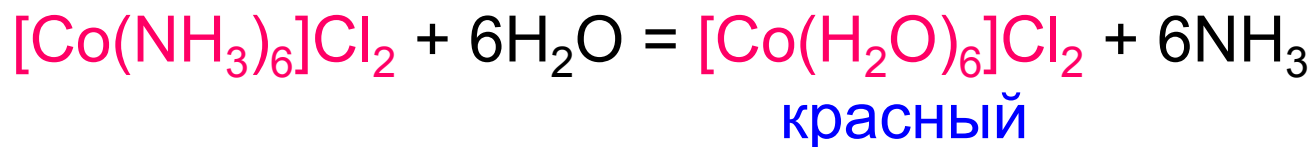
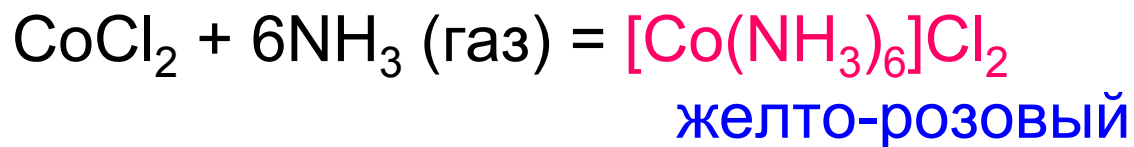


2. С лигандами сильного поля



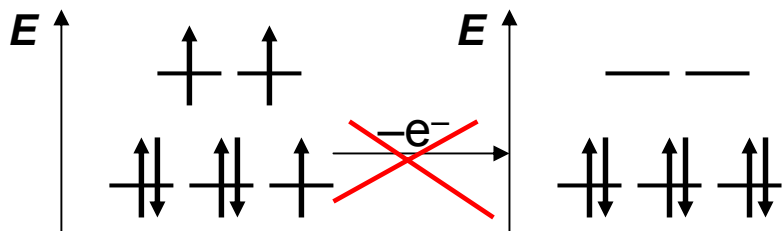
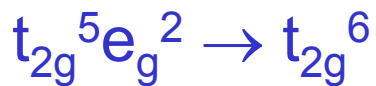
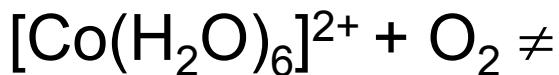
# Комплексы Co(II)

3. Окраска зависит от к.ч. и природы лиганда:

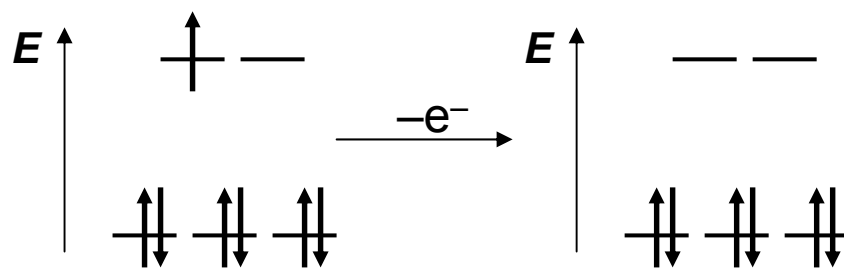
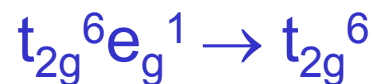
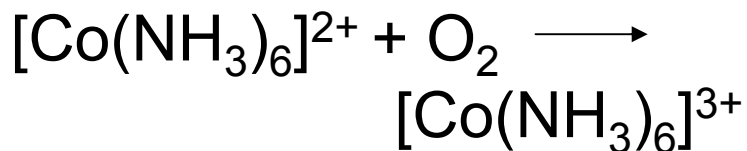


# Комплексы Co(II)

## 4. Окисление комплексов Co(II)



*Требуется  
перестройка*

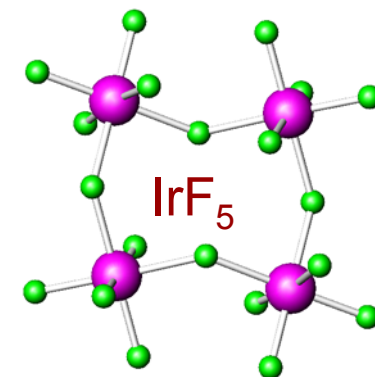
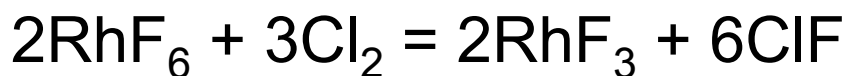
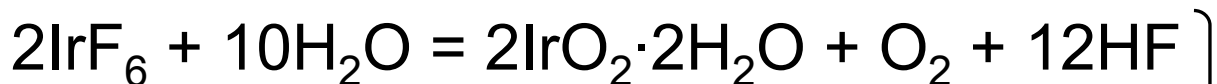
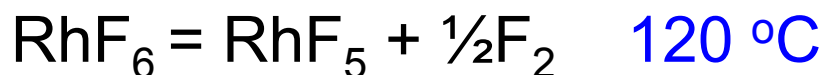


*Не требуется  
перестройка*

# Высшие с.о. Rh, Ir

## 1. Соединения Rh, Ir (VI)

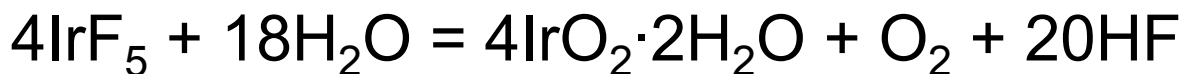
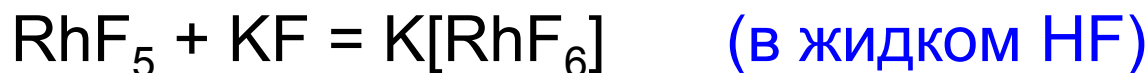
Известны  $\text{RhF}_6$ ,  $\text{IrF}_6$ ,



*сильные  
окислители*

## 2. Соединения Rh, Ir (V)

Известны  $\text{RhF}_5$ ,  $\text{IrF}_5$  (тетрамеры)



# Соединения Rh, Ir (IV)

1. Оксид  $\text{IrO}_2$  (единственный оксид Ir)

2. Галогениды Rh, Ir (IV)

Известны  $\text{RhF}_4$ ,  $\text{IrF}_4$ ,

$\text{IrO}_2 + 4\text{HCl} + 2\text{KCl} = \text{K}_2[\text{IrCl}_6] + 2\text{H}_2\text{O}$  темно-красный

$(\text{NH}_4)_2[\text{IrCl}_6] + 2\text{H}_2 = \text{Ir} + 2\text{NH}_3 + 6\text{HCl}$

$\text{K}_2[\text{IrCl}_6] + 2\text{KI} = \text{K}_3[\text{IrCl}_6] + \frac{1}{2}\text{I}_2$

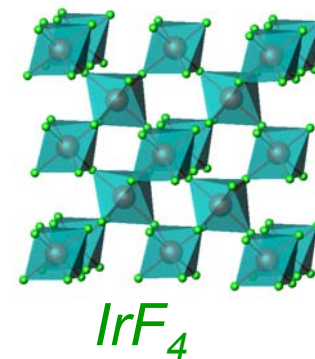
$\text{Rh(IV)}$  – очень сильный окислитель

3. Комплексы  $\text{Ir(IV)}$

$2\text{KCl} + 2\text{Cl}_2 + \text{Ir} = \text{K}_2[\text{IrCl}_6]$  слабый окислитель

Известна кислота  $\text{H}_2[\text{IrCl}_6]$

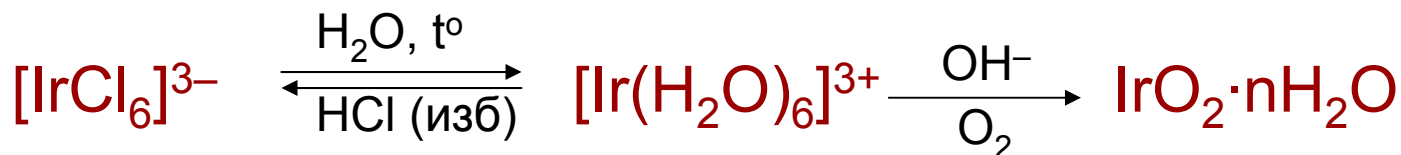
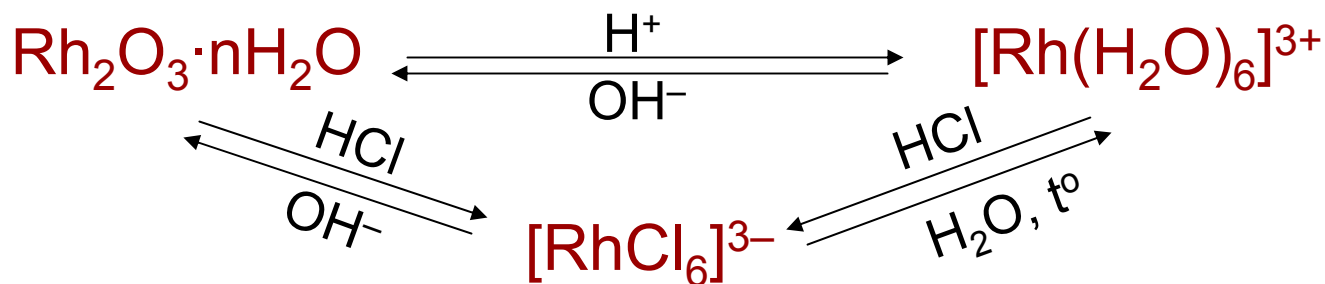
$\text{K}_2[\text{IrCl}_6] + 6\text{KOH} = \text{K}_2[\text{Ir(OH)}_6] + 6\text{KCl}$



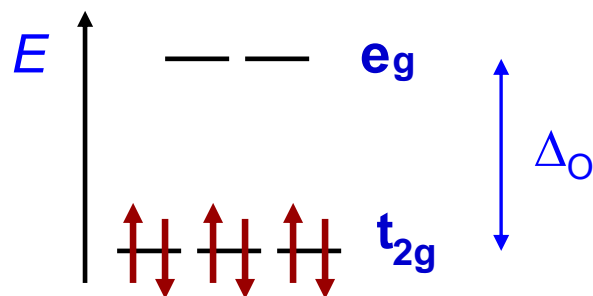
# Соединения Rh, Ir (III)

## 1. Наиболее устойчивая с.о. для Rh, Ir

Известны все  $\text{MX}_3$  и  $\text{Rh}_2\text{O}_3$



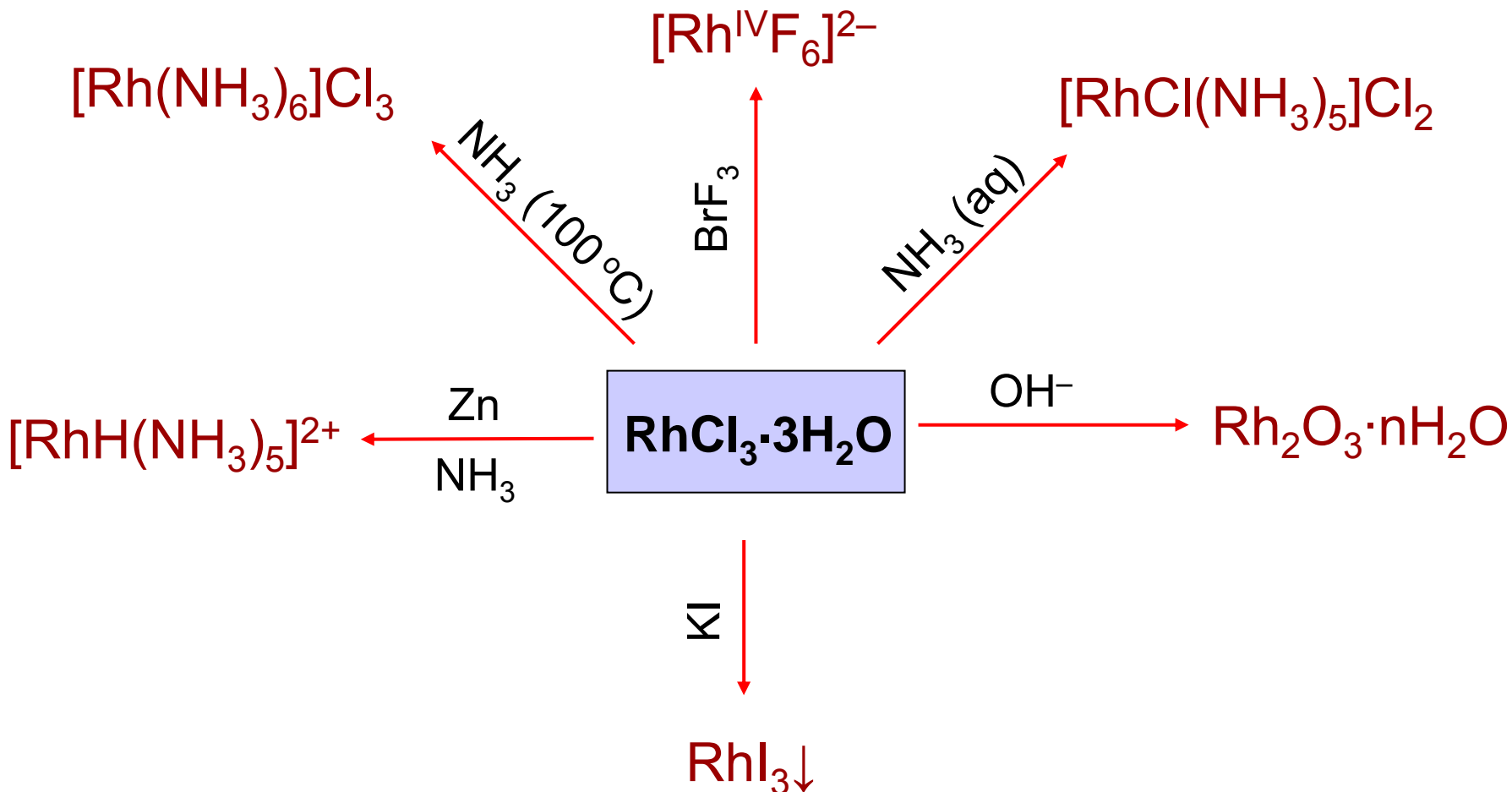
## 2. Все комплексы октаэдрические, низкоспиновые



$$\text{ЭСКП} = 12/5 \Delta_o$$

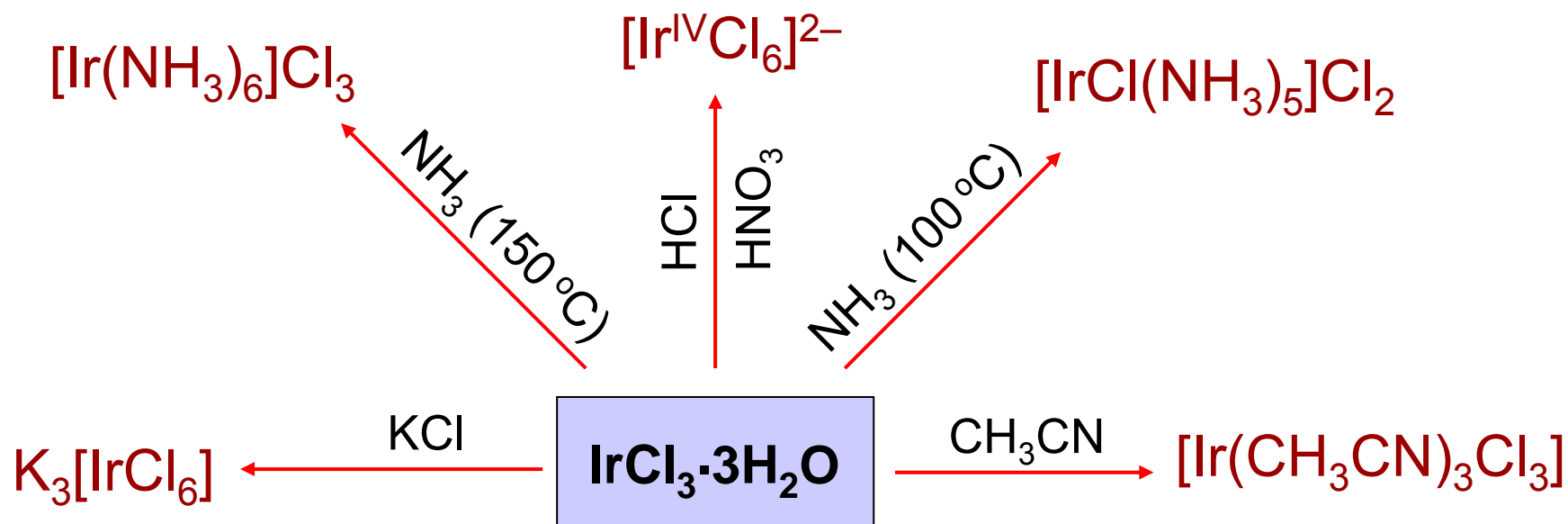
# Соединения Rh, Ir (III)

## 3. Комплексы Rh(III)



# Соединения Rh, Ir (III)

## 4. Комплексы Ir(III)



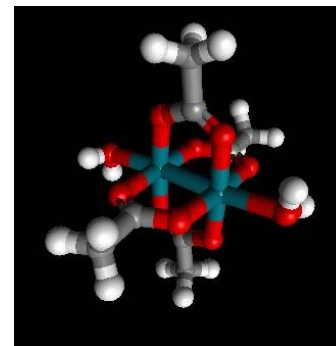
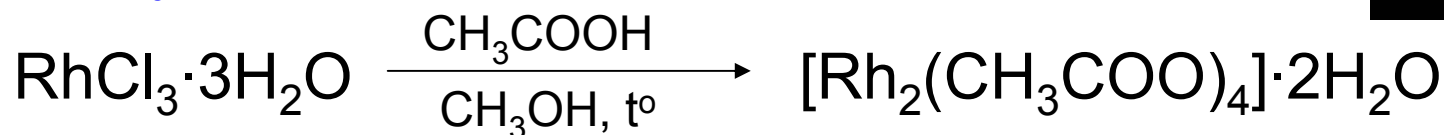


# Соединения Rh, Ir (II)

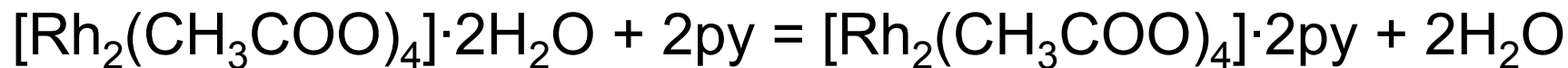
1. Все комплексы Rh(II) имеют остов  $Rh_2^{4+}$

2. Комплексы Ir(II) моноядерные  $Ir^{2+}$

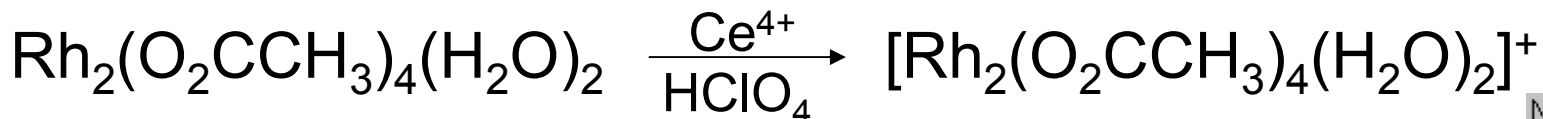
3. Получение



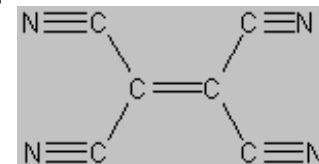
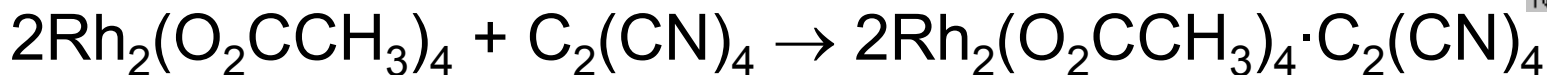
4. Замещение внешнего лиганда



5. Окисление  $Rh_2^{4+}$

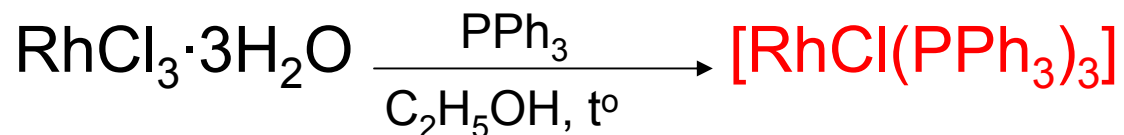


6. Образование полимера

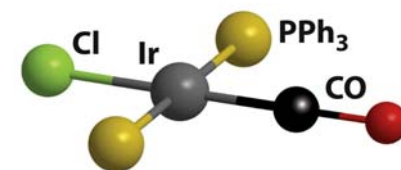
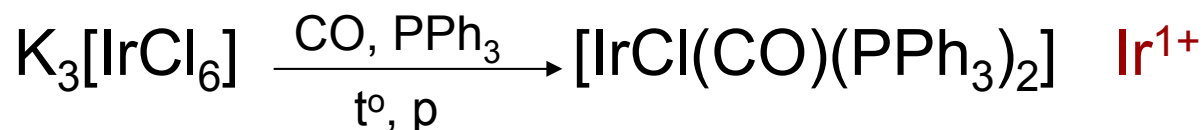


# Низшие с.о. Rh, Ir

## 1. Получение



Rh<sup>1+</sup>

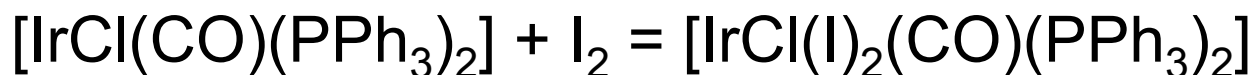


**6** *trans*-[IrCl(CO)(PPh<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

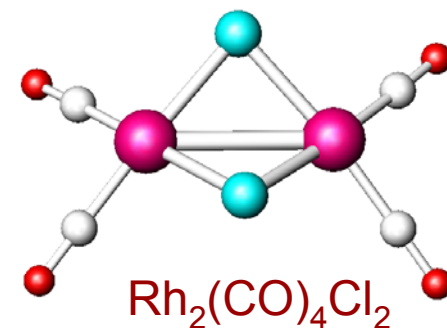
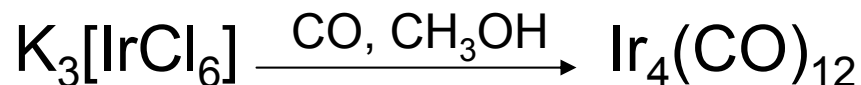
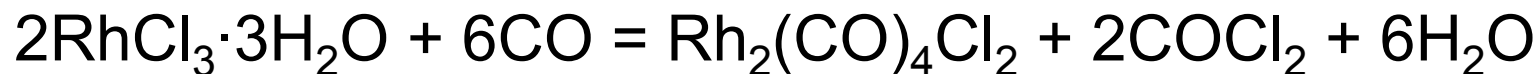
Structure 21.4  
General and Organometallic Chemistry, Fourth Edition  
© 2006 by S.T. Lippard, D.M. Paine, T.L. Charney, J.P. Kennedy, M.T. Himes and F.A. Armstrong

## 2. Все комплексы Rh(I), Ir(I) квадратные, d<sup>8</sup>

легко окисляются d<sup>8</sup> → d<sup>6</sup>

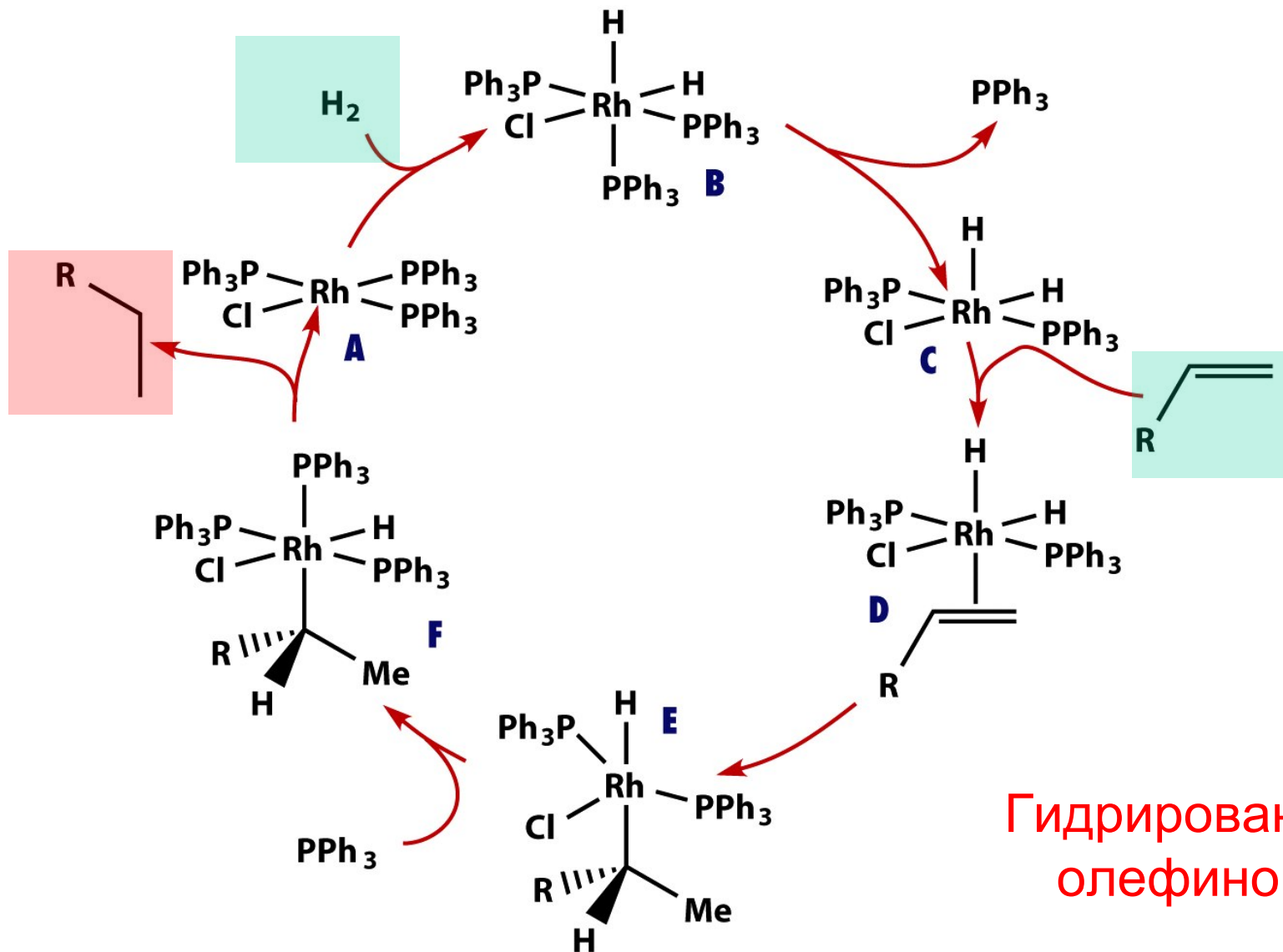


## 3. Карбонилы



**Rh<sub>2</sub>(CO)<sub>4</sub>Cl<sub>2</sub>**

# Rh(I) в катализе



Гидрирование  
олефинов

Figure 25-5

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