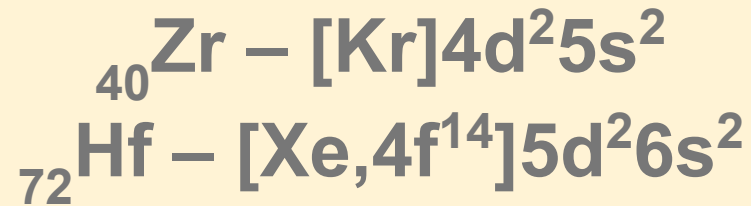


Zr, Hf

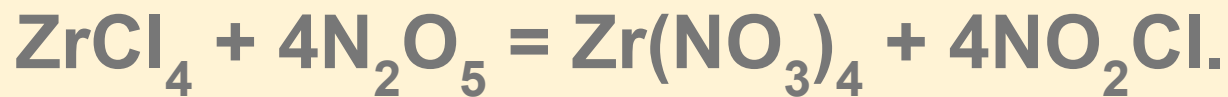
Общая характеристика



Устойчивая степень окисления (IV) в типичных соединениях MO_2 , MF_4 , MCl_4 , $\text{M}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

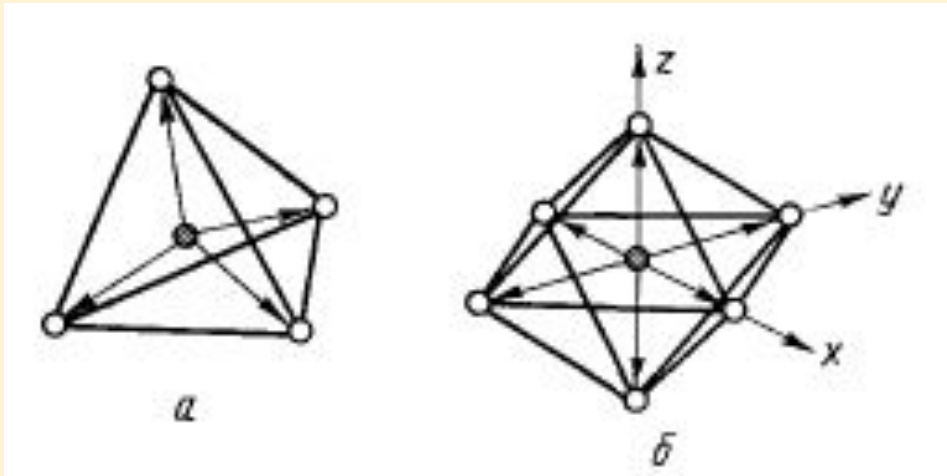
Существуют также неустойчивые степени окисления II и III: ZrF_2 , ZrCl_2 , ZrCl_3 . Соединений гафния со степенью окисления II и III известно очень мало.

- Zr и Hf не образуют в водных растворах нитратов, сульфатов, карбонатов и фосфатов из-за необратимого гидролиза этих солей и высокой склонности Zr и Hf к образованию одно и полиядерных комплексов с этими анионами, например $[\text{Hf}(\text{SO}_4)_3]^{2-}$.
- Нитраты, сульфаты и др. получают либо в безводных средах, либо при сплавлении с реагентами, служащими источниками данных анионов:



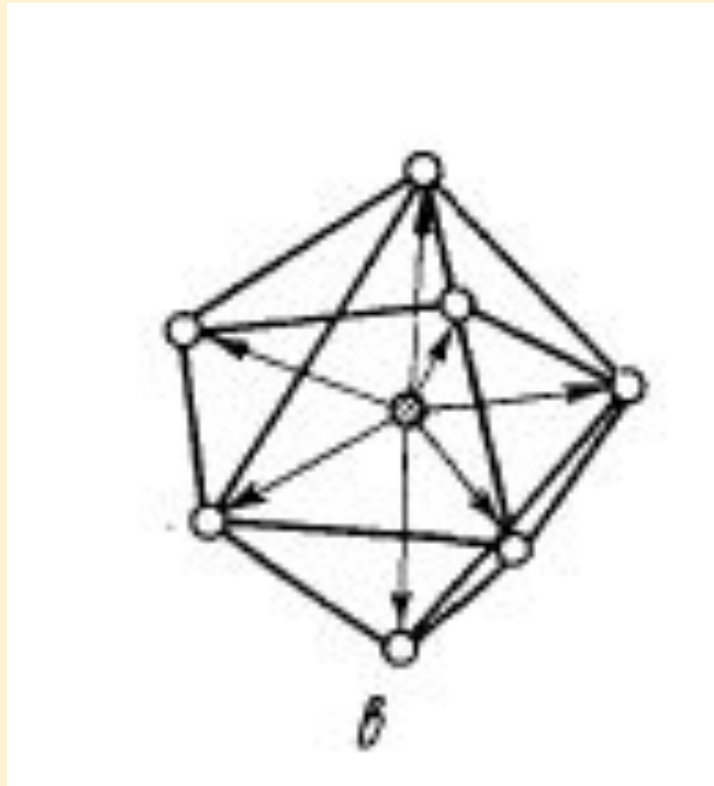
Свойство	Zr	Hf
Атомная масса	91,22	178,49
Атомный объем	146	13,43
Атомный радиус, ангстрем	1,62	1,59
Ионный радиус, ангстрем		
Me^{4+}	0,87*(0,82**)	0,84*(0,82**)
Стабильные изотопы, массовые числа	90,92,94,91,96	180, 178, 177, 179, 176, 174
Распространенность в земной коре, вес. %	0,02	$3,2 \cdot 10^{-4}$
Потенциал ионизации, эВ		
$Me^0 \rightarrow Me^+ + e$	6,95	5,5
$Me^+ \rightarrow Me^{2+} + e$	14,03	14,9
$Me^{2+} \rightarrow Me^{3+} + e$	24,11	21
$Me^{3+} \rightarrow Me^{4+} + e$	33,09	31
Т. Пл., $^{\circ}C$	1885 ± 15	2222 ± 30
Т. Кип., $^{\circ}C$	5000	5400

- Вследствие больших размеров атомов вокруг них может разместиться больше лигандов, чем вокруг атома титана.
- Для них наряду с к.ч. 4 и 6 довольно часто встречаются к.ч. 7 и 8.

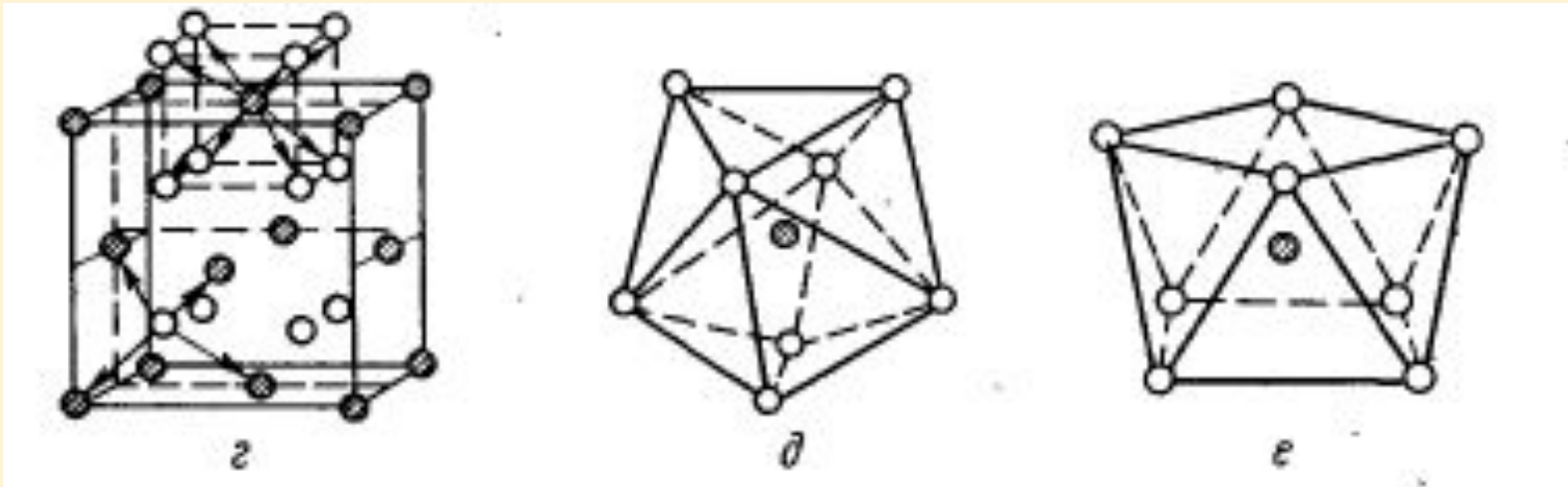


а-координационное
число 4, тетраэдр,
гибридизация sd^3 ;
б- координационное
число 6, октаэдр,
гибридизация d^2sp^3

При к. ч. 7 координационная сфера имеет форму бипирамиды(в).
(Na_3ZrF_7)



При к.ч. 8 координационная сфера может представлять собой куб(г), тригональный додекаэдр(д) ($\text{Li}_6[\text{BeF}_4][\text{ZrF}_8]$) или квадратную антипризму(е) ($\text{Cu}_3[\text{Zr}_2\text{F}_{14}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)



История открытия



Цирконий открыт в 1789 г. Свое название он получил по минералу циркону, исследуя который, М. Клапрот выделил оксид, названный им цирконовою землей.



**Гафний открыт в 1923г.
Д. Костер и Г. Хевеши.
Назван гафнием в
честь города, где было
сделано открытие
(Hafnia — латинское
название Копенгагена).**

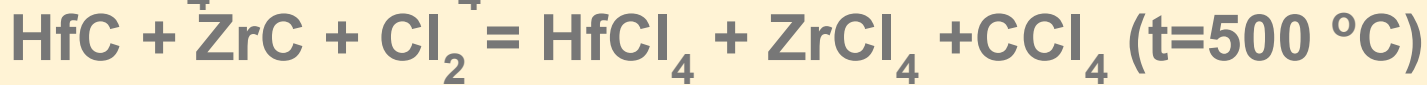
Минералы

- Цирконий в природе представлен минералом бадделеитом ZrO_2 и цирконом $ZrSiO_4$.



- Гафний собственных минералов не образует, но присутствует как примесь во всех минералах циркония.

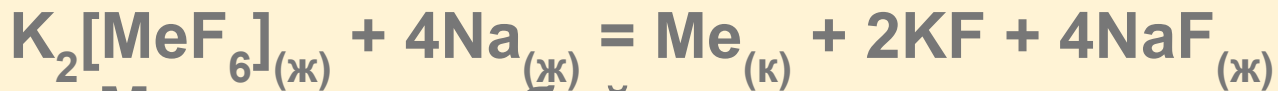
Получение



Металлические цирконий и гафний в виде губчатой массы

получают восстановлением и инертной среде тетрахлоридов

или комплексных фторидов:



Металлы особой чистоты получают при помощи иодидного

рафинирования:



$t_1 > t_2$

Реакция протекает в вакууме (0,01 Па), до 200 °С образуется

MeI_4 , выше 200 – Me и I_2 .

Разделение

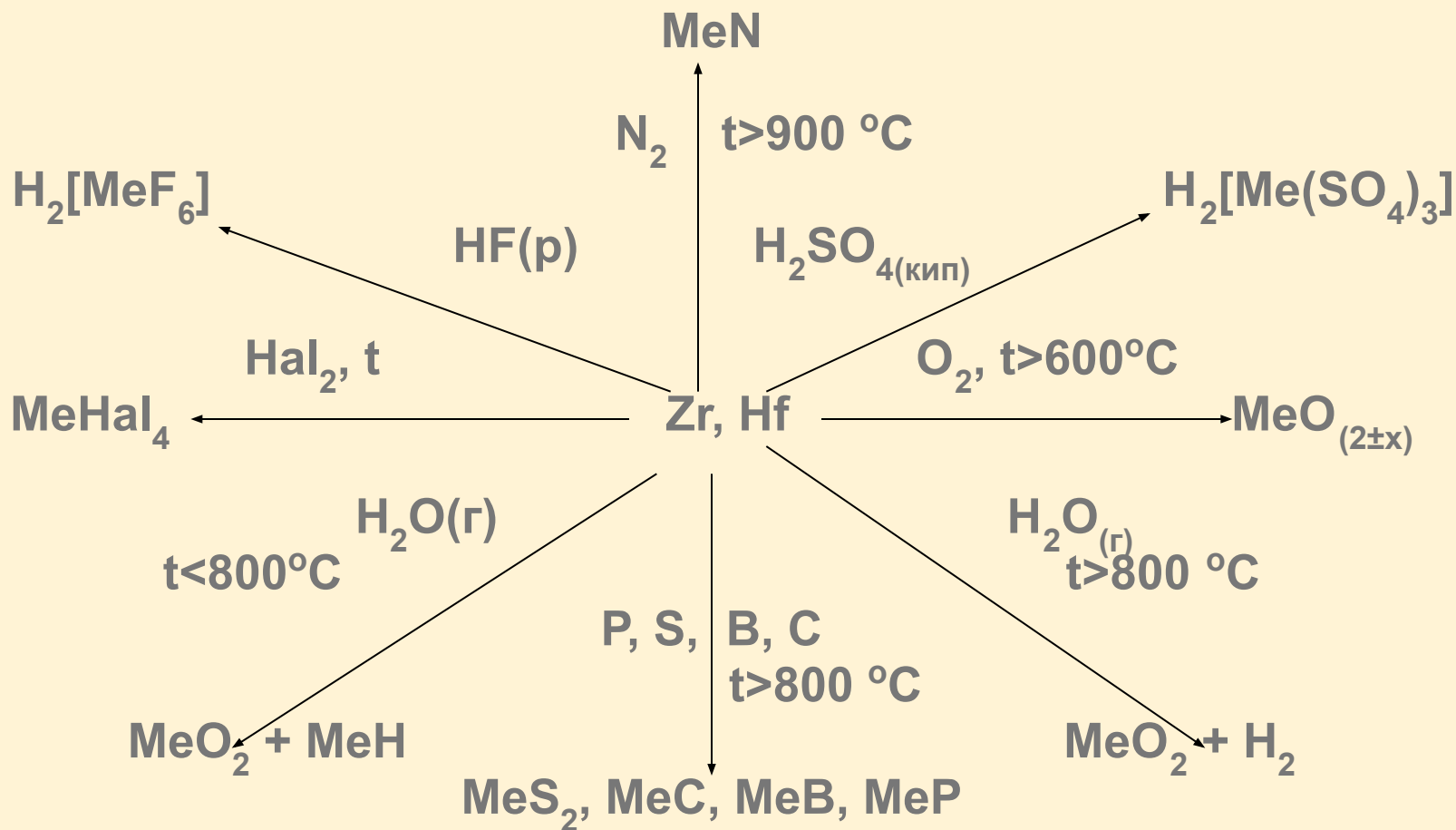
Цирконий и гафний разделяют, используя минимальные различия в свойствах соединений этих элементов. Промышленное применение пока нашли два метода:

- экстракционный, основанный на разной растворимости соединений циркония и гафния в метилизобутилкетоне или трибутилфосфате, и
- метод дробной кристаллизации комплексных фторидов, основанный на различной растворимости $K_2[HfF_6]$ и $K_2[ZrF_6]$ в воде.

Физико-химические свойства

- Цирконий и гафний, как и все переходные элементы,— металлы. Существуют в двух полиморфных модификациях:
- при низкой температуре их решетка гексагональная плотноупакованная (к.ч. 12; α -модификация),
- при высокой— объемно-центрированная и кубическая (к.ч. 8; β -модификация).

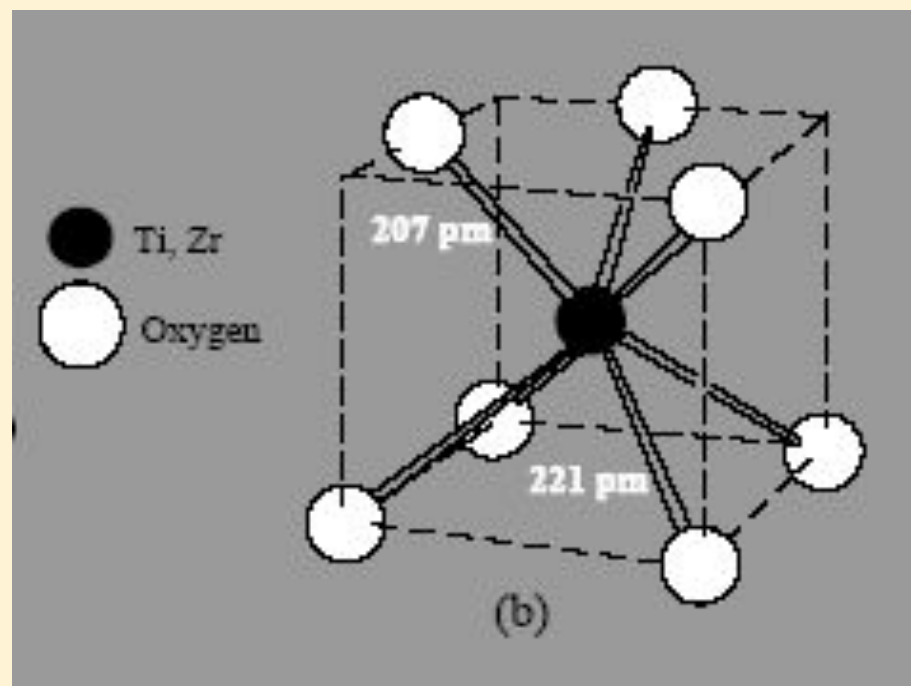
Химические свойства



Соединения с кислородом

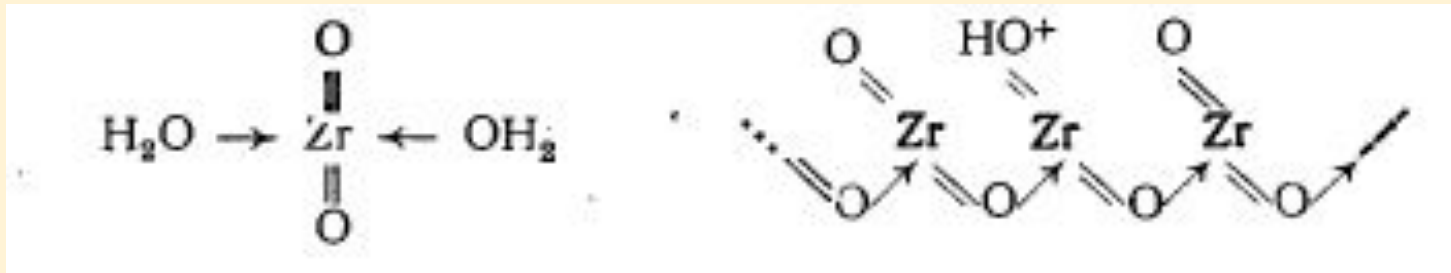
Оксиды

С кислородом образуют нестехиометрические оксиды состава $MeO_{(2\pm x)}$. Это белые кристаллические диамагнитные вещества, способные образовывать несколько полиморфных модификаций.

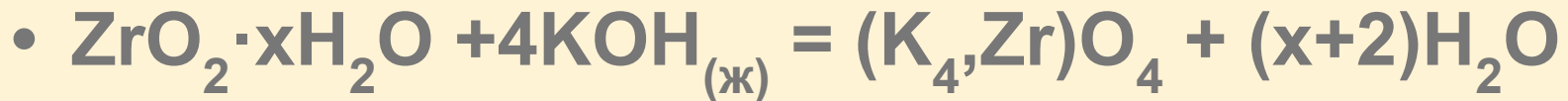


Гидроксиды.

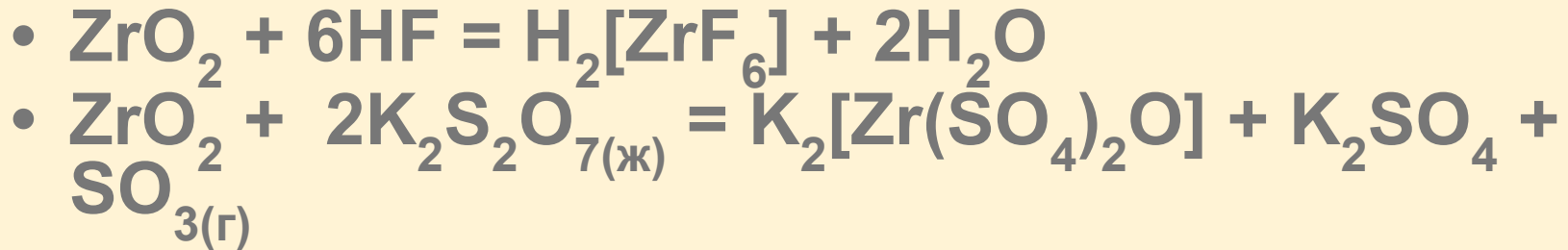
Гидроксиды у рассматриваемых элементов неизвестны. При добавлении оснований к растворам соединений M(IV) выпадают бесцветные, гелеобразные осадки, содержащие переменное количество молекул воды $MO_2 \cdot xH_2O$.



Свежеосажденные гидратированные диоксиды – химически активные соединения:



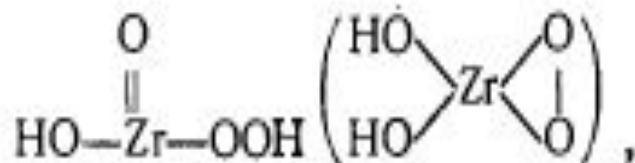
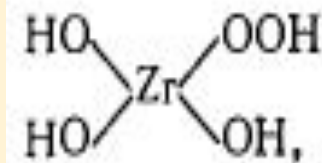
Прокаленные диоксиды - тугоплавкие, химически инертные вещества. Возможны только реакции:



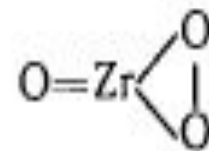
Пероксиды

- При взаимодействии щелочного раствора H_2O_2 с солями Zr или свежесосаждённым $\text{ZrO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$, образуются пероксидные соединения переменного состава. Области их существования определяются концентрацией H_2O_2 и температурой.

0 °C



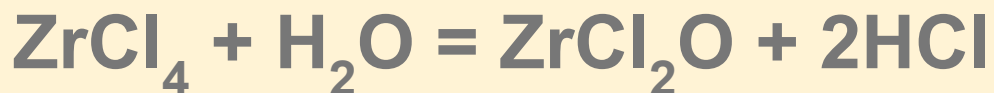
-20 °C



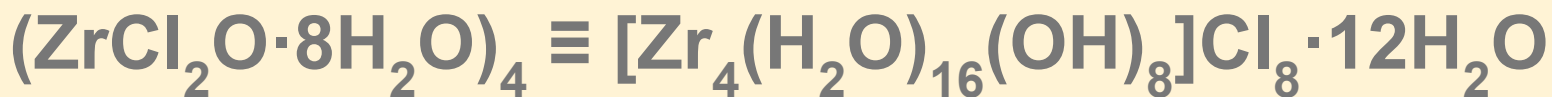
- У гафния возможно образование аналогичных соединений.

Галогениды

При комнатной температуре все тетрагалогениды - твердые вещества. Все галогениды с молекулярной кристаллической решеткой подвергаются полному гидролизу, но в разной степени:



Оксид-дихлорид циркония(IV) кристаллизуется из водных растворов в виде тетрамера:



Низшие галогениды

Низшие галогениды – тёмноокрашенные кристаллические вещества. При взаимодействии с водой быстро окисляются и гидролизуются. Менее летучи, чем тетрагалогениды.

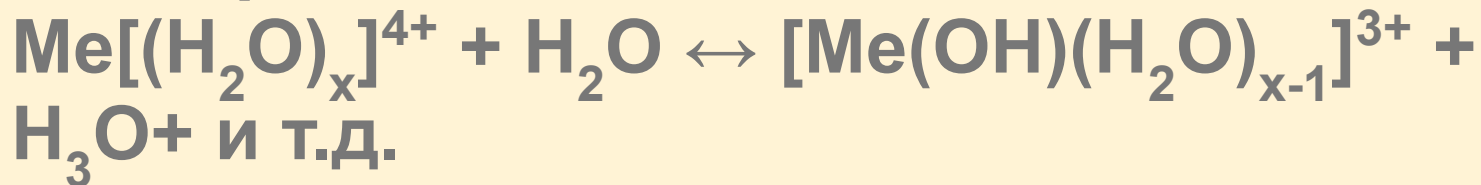
Получаются восстановлением соответствующих тетрагалогенидов в вакууме или атмосфере инертного газа:



Химия растворов

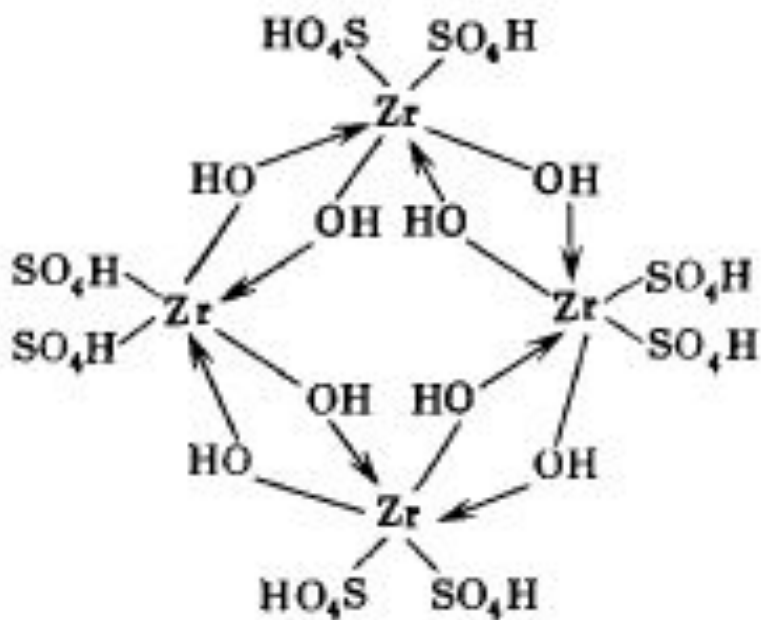
- Цирконий и гафний практически никогда в соединениях не присутствуют в виде одноатомных ионов
- Не образуют типичных ионных связей.
- Их соединения имеют преимущественно неионный характер и в большинстве случаев являются комплексными.
- В случае циркония и гафния те типы ионов и молекул, которые имеются в газовой фазе или в растворе, не обязательно существуют в твердом состоянии.

При гидролизе солей Zr и Hf возникают такие равновесия:

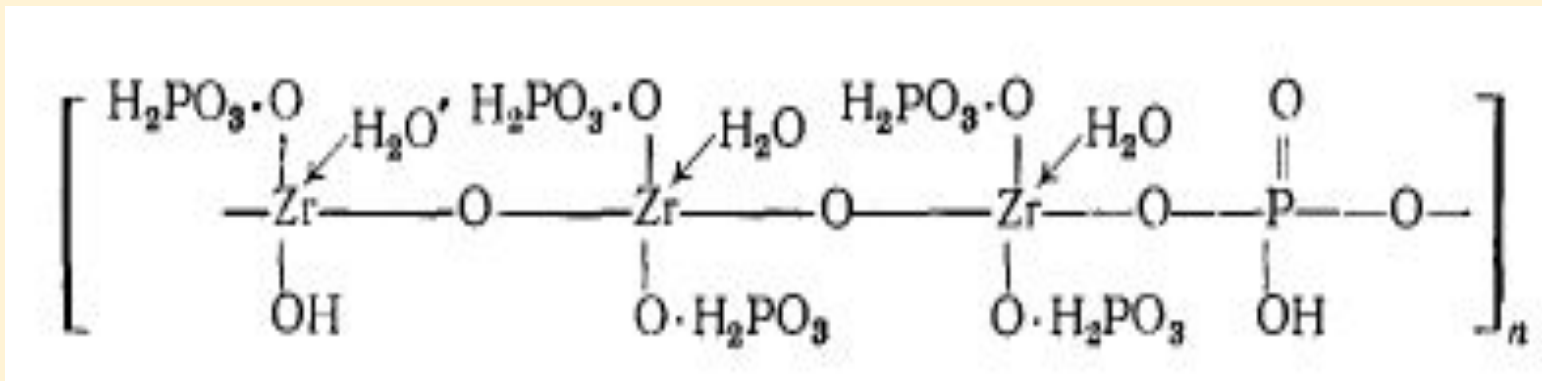


Цирконий и гафний в водных растворах H_2SO_4 находятся в виде комплексных анионов $[\text{Zr}(\text{SO}_4)_n(\text{OH})_{4n-3}]^{4n-3-}$, $[\text{Zr}(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_3]^{3-}$ и

которые в присутствии сульфатов щелочных металлов могут быть выделены в виде кристаллических осадков переменного состава: $[\text{Zr}(\text{SO}_4)_{4-6}(\text{OH})_{8-10}(\text{O})_{1-2}] \cdot x\text{H}_2\text{O}$



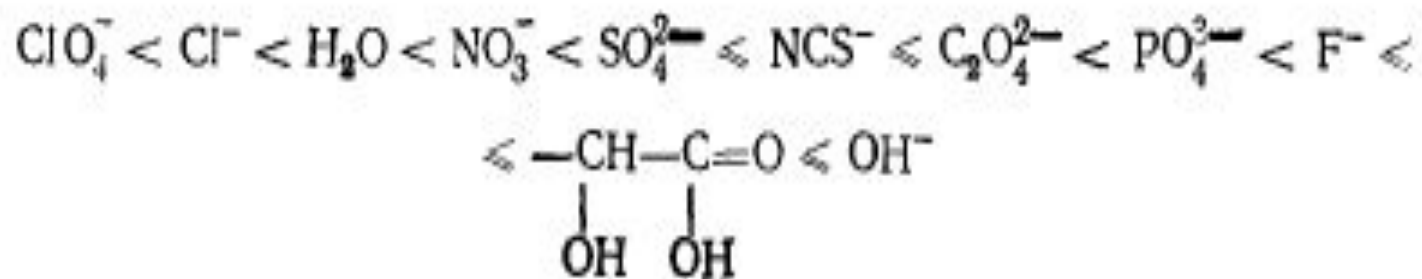
Фосфаты Zr и Hf наименее растворимые из всех известных фосфатов. Растворимость их в 6н. HCl равна соответственно 0,00012 и 0,00009 г/л.



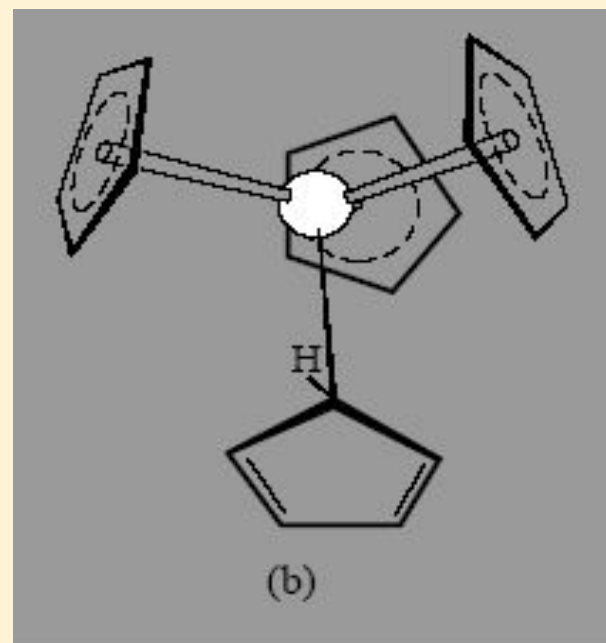
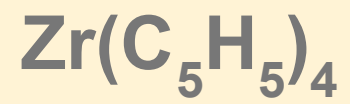
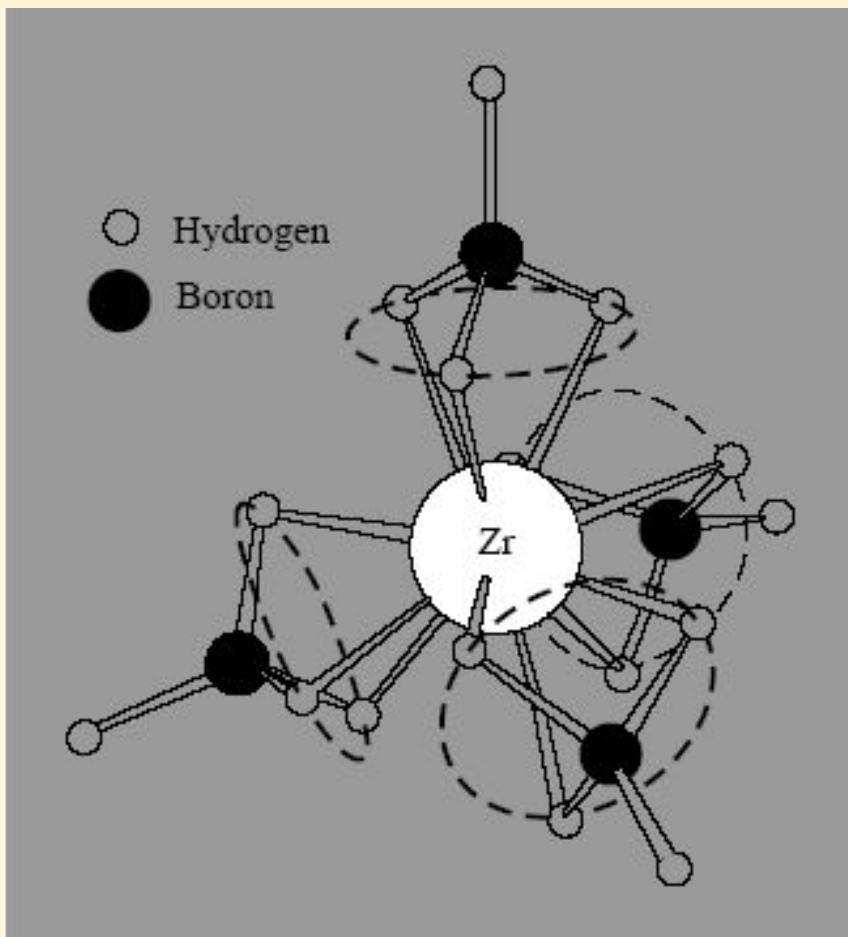
Комплексные соединения

- Zr и Hf образуют многочисленные ацидокомплексы и полиядерные гидроксооксоаквакомплексы.
- Zr и Hf могут быть центральными атомами как сложных катионов, так и сложных анионов.
- Устойчивость ацидокомплексов с галогенидными лигандами падает от F^- к I^- . Известны комплексы состава $K_3[ZrF_7]$, $Na_4[HfF_8]$ и др.
- Цирконий образует прочные оксалатные комплексы, не поддающиеся гидролизу $H_4[Zr(ox)_3O]$.

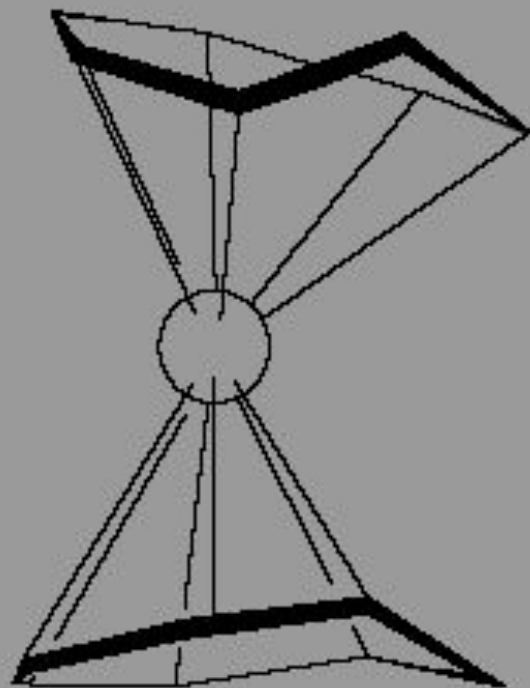
Анионы по их способности координироваться с атомами Zr и Hf должны располагаться так:



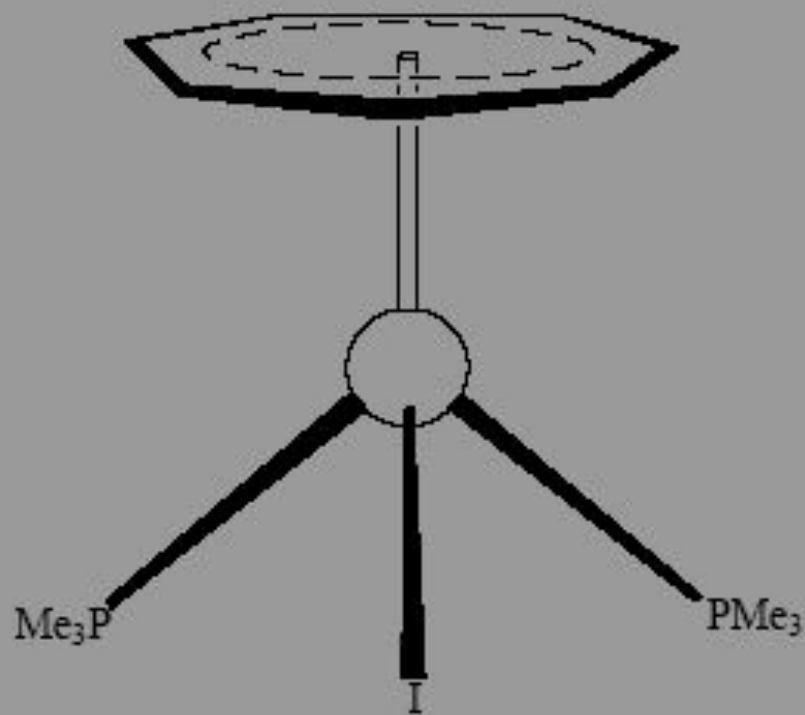
Возможность образования тех или иных комплексов увеличивается при увеличении концентрации лигандов в растворе.



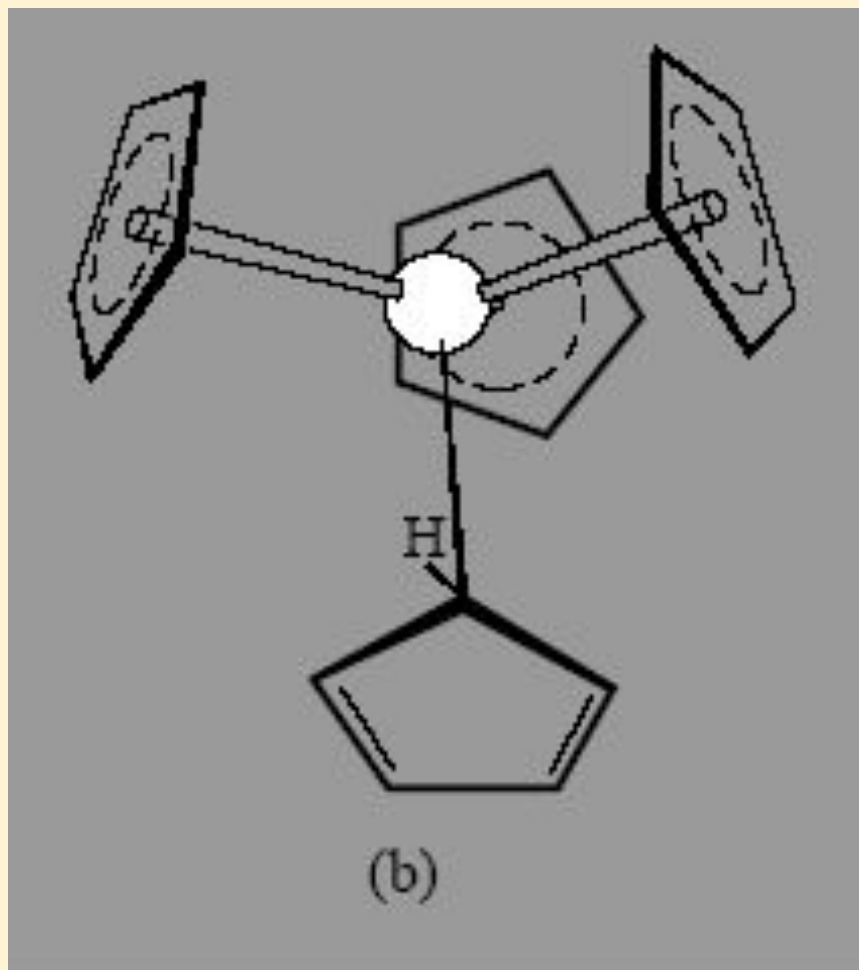
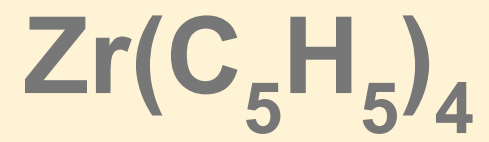
(b) $\text{Zr}(\eta^6\text{-C}_7\text{H}_8)_2$ and (c) $\text{Zr}(\eta^7\text{-C}_7\text{H}_7)(\text{PMe}_3)_2\text{I}$



(b)



(c)



Токсикология.

- Отравление цирконием и его соединениями проявляется болью в сердце, потливостью, головными болями.
- При хронических отравлениях отмечается снижение гемоглобина в крови.
- Гексафторциркوناتы относят к промышленным ядам токсического действия.
- Оксид и карбид гафния относят к малотоксичным соединениям.

Применение.

- Цирконий широко используют в качестве легирующих добавок к сталям для повышения их прочности и коррозионной стойкости, вязкости и твёрдости, в частности для бронебойных сталей.
- Малое сечение захвата для нейтронов у циркония позволяет использовать его как конструкционный материал для ядерных реакторов.
- У гафния же, наоборот, сечение велико, и из него изготавливают регулировочные стержни тех же реакторов для замедления нейтронов.
- Из карбидов и нитридов циркония, обладающих высокой твёрдостью, изготавливают резцы, свёрла, шлифовальные материалы.