

Химия переходных элементов

IV – V группы

Происхождения названий

- Ti – титаны, персонажи древнегреч. мифологии, дети Геи; название дал Мартин Клапрот.
- Zr – происхождение вероятно от араб. Zarkûn (киноварь) или от перс. zargun (золотистый цвет)
- Hf – в честь Копенгагена (лат. название города - Hafnia). Был предсказан с помощью квантов Бором.

IV группа

	Ti	Zr	Hf
Число стабильных изотопов	5	5	6
Электронная конфигурация атома	[Ar]3d²4s²	[Kr] 4d²5s²	[Xe]4f¹⁴5d²6s²
Сечение захвата тепловых нейтронов	4	0.18	105
Металлически й радиус	0.146	0.160	0.159
ЭО	1.54	1.33	1.30
СО	(-1), 0, (2), 3, 4	(-1), 0, (1), (2), (3), 4	(-1), 0, (1), (2), (3), 4

Природа сходства Zr и Hf (лантанидное сжатие)

Устойчивость высших степеней окисления
→ →

Ti Zr Hf

TiO , Ti_2O_3 , TiO_2 , но только ZrO_2 , HfO_2

TiF_2 , TiF_3 , TiF_4 , но только ZrF_4 , HfF_4

Координационные числа у Ti (6, реже 4),
у Zr и Hf (6, 7, 8, 9)

CO	ЭК	КЧ	соединения	
			Ti	Zr, Hf
-1	d ⁵	6	[M(bipy) ₃] ⁻	
0	d ⁴	6	Ti(CO) ₆	
+2	d ²	6	TiO, TiCl ₂	
+3	d ¹	6	[Ti(H ₂ O) ₆] ³⁺	ZrI ₃
+4	d ⁰	4	TiCl ₄	ZrCl ₄ (г)

Природные формы, получение

- **Ti** (0.6 %), 10-й элемент по распространённости (7-ой среди металлов)

FeTiO_3 – ильменит

TiO_2 – рутил, анатаз, брукит

CaTiO_3 – перовскит

Природные формы, получение

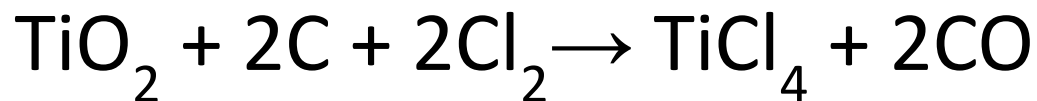
- **Zr** (0.02%), 21-й элемент по
распространенности

ZrSiO_4 – циркон

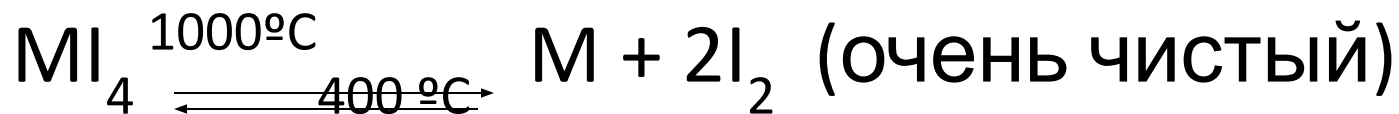
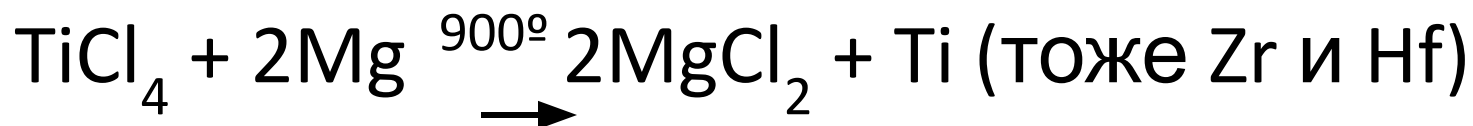
ZrO_2 – бадделит

Природные формы, получение

- **Hf** ($4 \cdot 10^{-4}$ %, сопутствует Zr), 52-й элемент по распространенности
- **Th** ($2 \cdot 10^{-3}$ %), ^{232}Th имеет период полураспада ~ 14 млрд лет



Дистилляция TiCl_4 (283°C) – FeCl_3 (317 °C)



ХТР

Ti открыт в рутиле 200 лет назад Клапротом

Zr открыт более 150 лет назад в цирконе

Hf – открыт 75 лет назад, X-ray спектры

Zr – малое сечение захвата нейтронов

ТВЭЛы, контейнеры для U

Hf – большое сечение захвата нейтронов

	Ti	Zr	Hf	Th
$T_{\text{пл}}^{\circ\text{C}}$	1668	1857	2227	1845

Ti

- ❑ легкий конструкционный материал (в 3-5 раз прочнее Al и Mg)
- ❑ ферротитан (0,1% Ti к стали - эластичность)
- ❑ Ti – Al сплавы (интерметаллиды $TiAl$ и $TiAl_3$)
- ❑ подлодки – немагнитность (коррозия 20 мкм за 1000 лет)
- ❑ NiTi – nitinol – NiTi Navel Ordnance Lab.

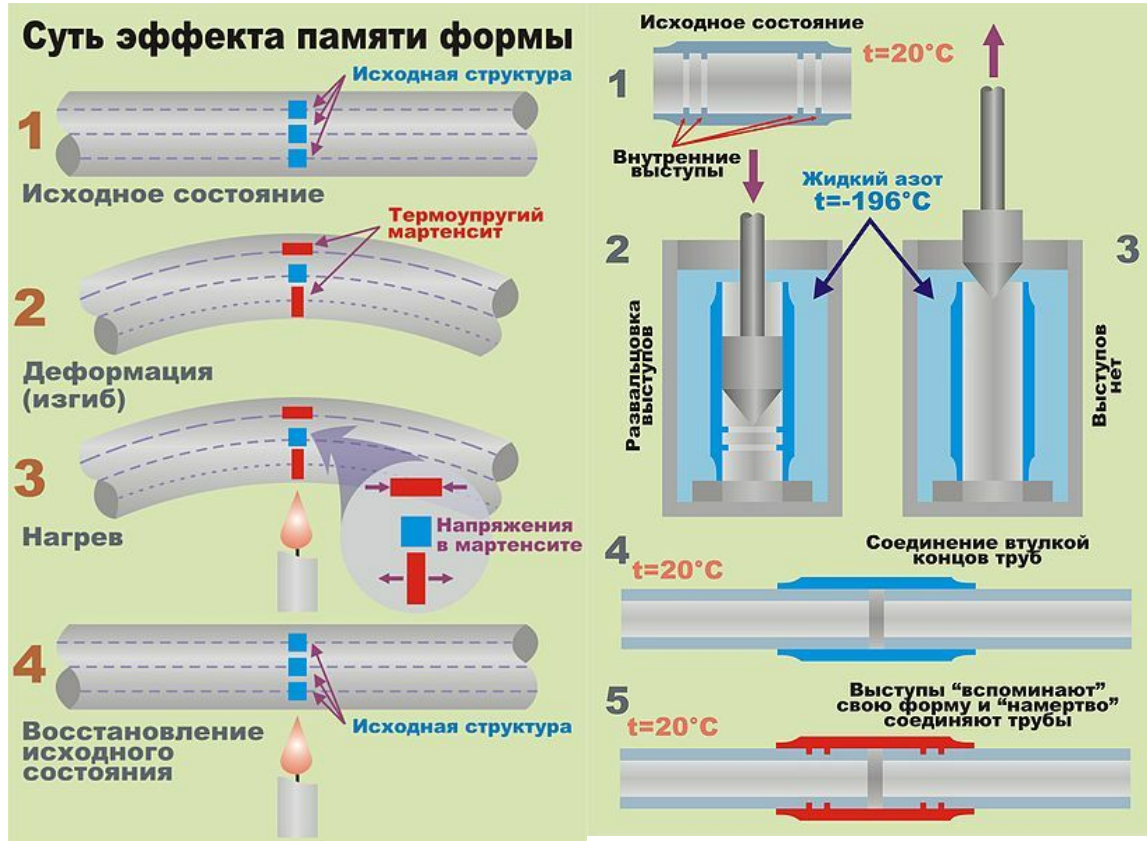
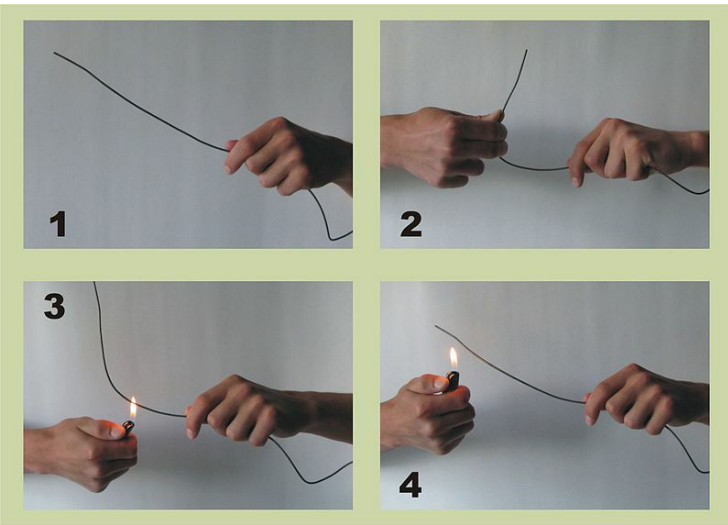
Zr

- ❑ сплавы, отражатель нейтронов

Hf

- ❑ поглотитель нейтронов

Материалы с эффектом памяти формы



Химические свойства

- Восстановители, пассивация
- С водородом МНх (обратимость, аккумуляторы, $1 \text{ г Ti} \rightarrow 2 \text{ л H}_2$)

- с кислородом ЭО_2 – **фианиты**



- $\Delta H_{\text{фкДж/моль}}$ 944 1080 1136 1190

- $T_{\text{пл}}, ^\circ\text{C}$ 1825 2680 2812 3050

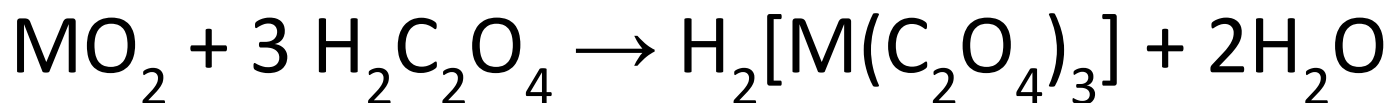
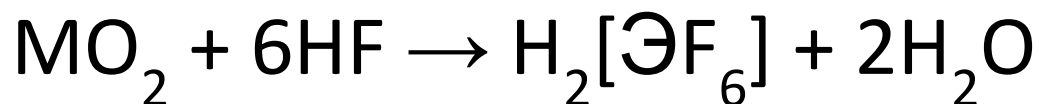
- Химическая инертность, Ti – белила, не взаимодействуют с H_2O , $\text{HNO}_{3(\text{p})}$, $\text{NaOH}_{(\text{p})}$

- $\text{MO}_2 + \text{KOH} (\text{K}_2\text{CO}_3) \xrightarrow{\text{сплав}} \text{K}_2\text{MO}_3$

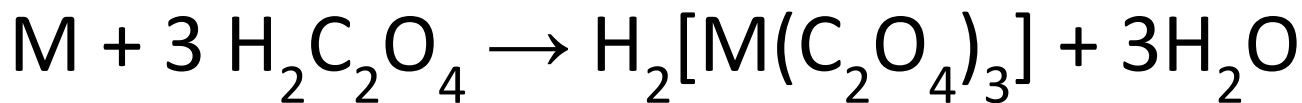
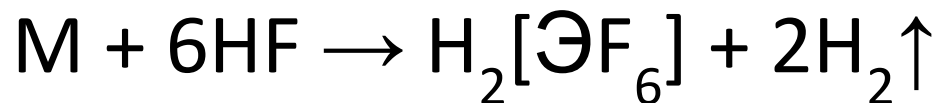
- $\text{K}_2\text{TiO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{KOH}$



—

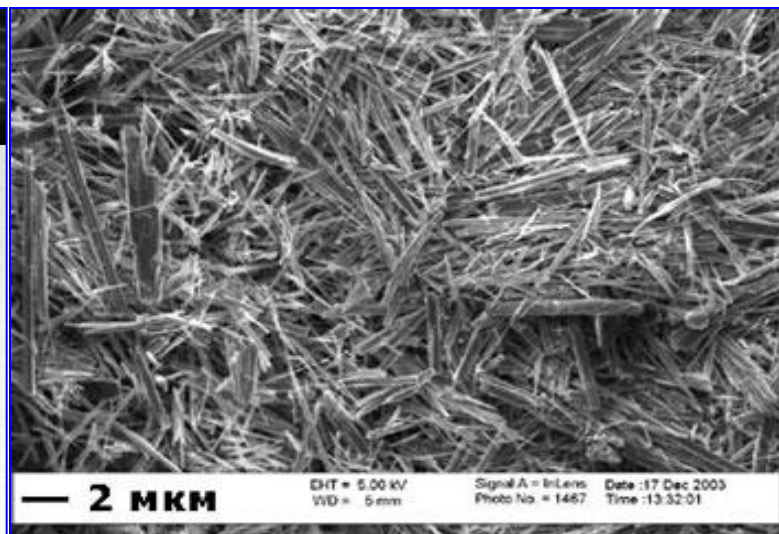
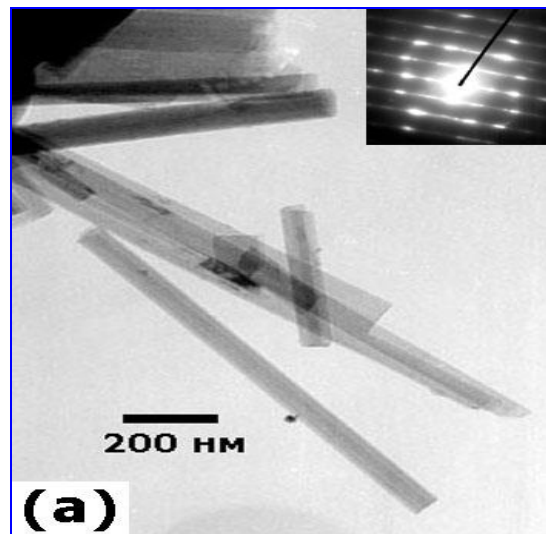
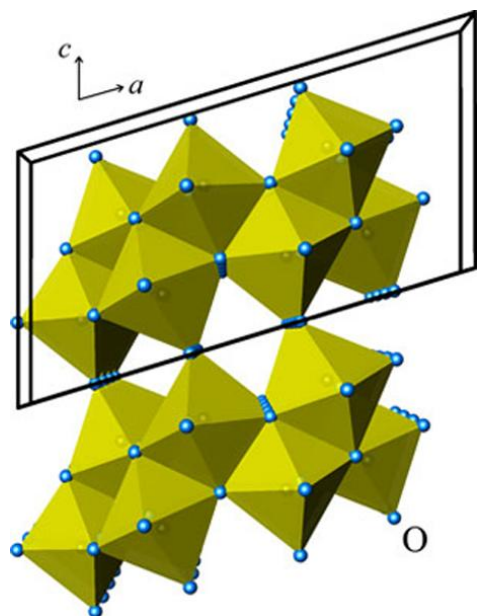


ИЛИ

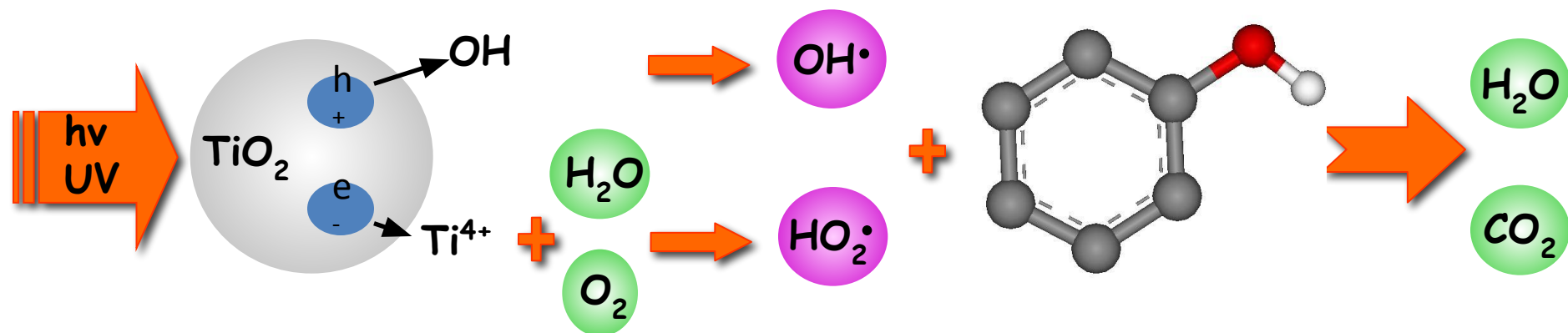


- $M + 2\Gamma_2 \rightarrow M\Gamma_4$
- $MO_2 + 2\Gamma_2 = M\Gamma_4 + O_2 \ (\Delta G > 0)$
- $2C + O_2 = 2CO \ (\Delta G \ll 0)$
- $MO_2 + 2C + 2Cl_2 \rightarrow MCl_4 + 2CO \ (\Delta G < 0)$

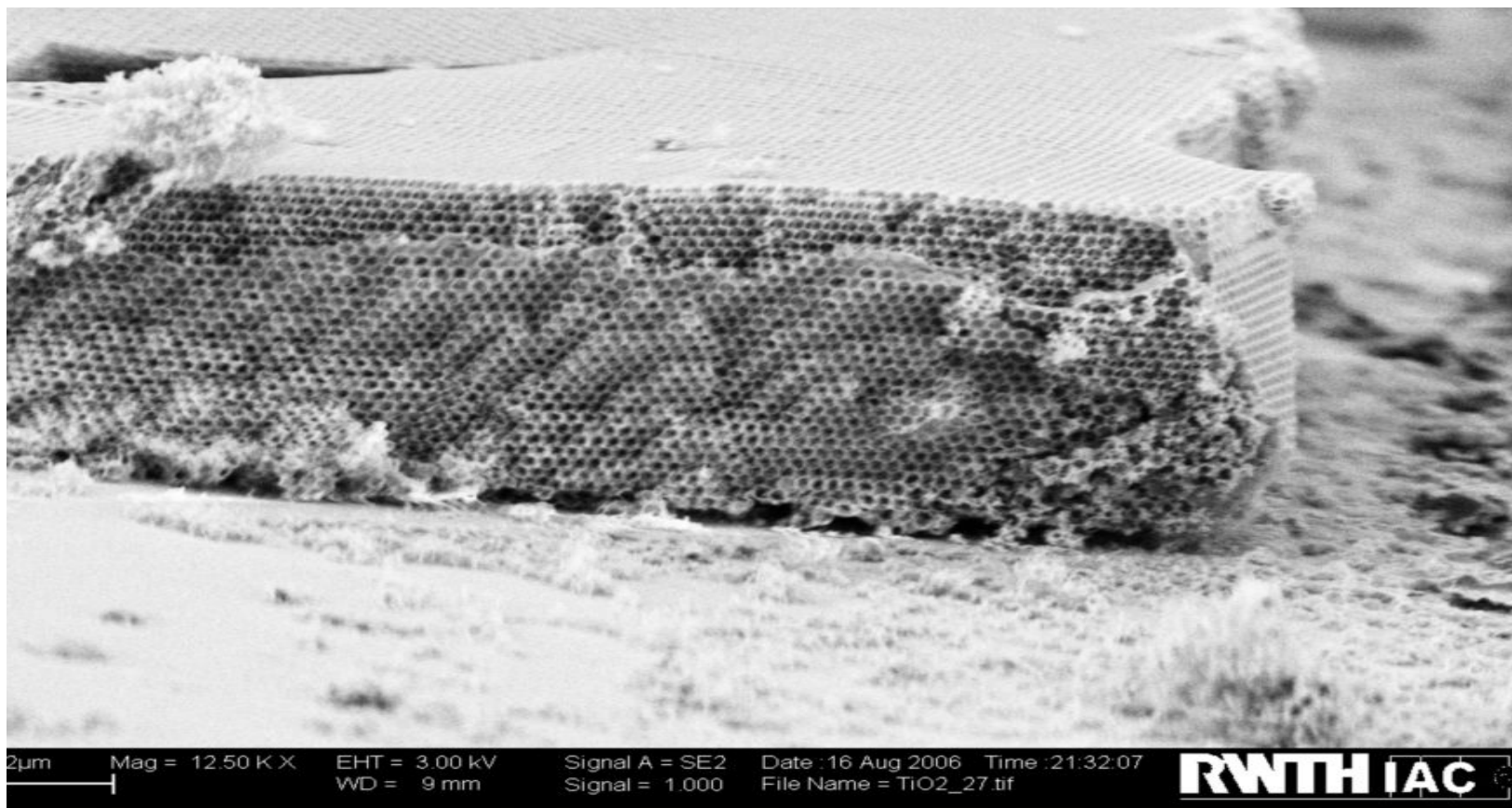
Фотокатализ (нанопроволока TiO_2)



Гидротермальная обработка геля $\text{TiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($T = 110 - 250^\circ\text{C}$; $t = 20$ ч)



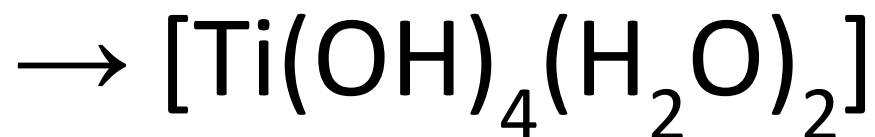
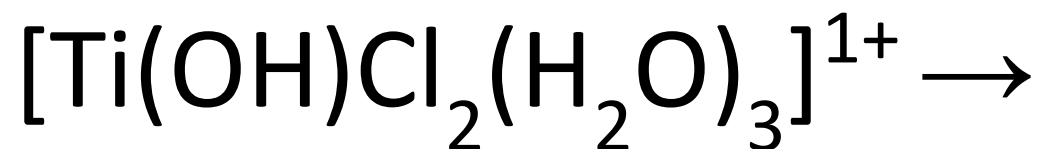
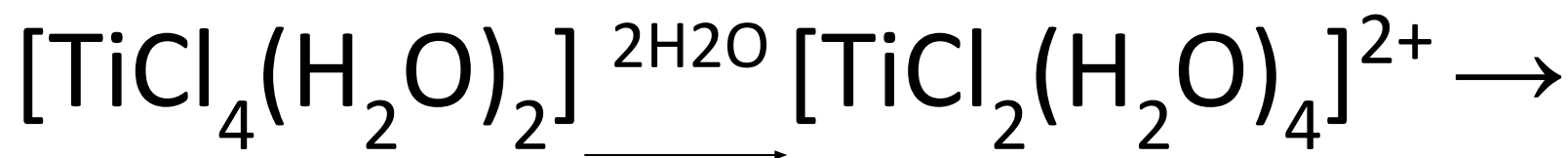
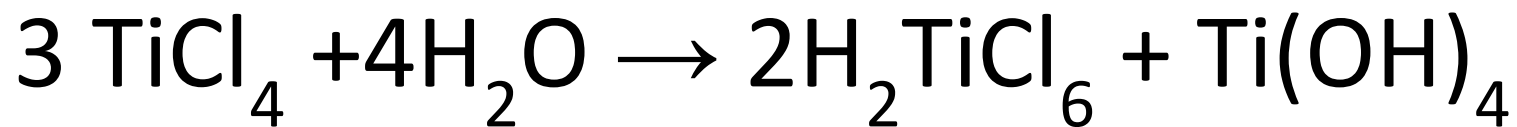
Фотонный кристалл TiO_2

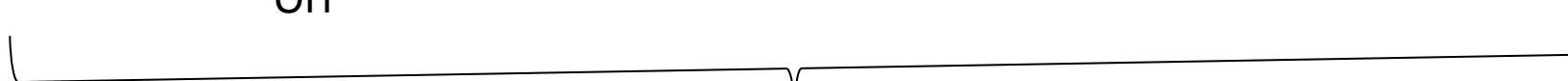
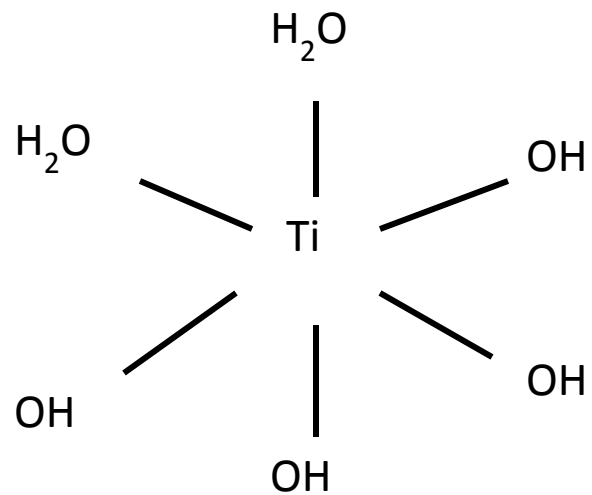
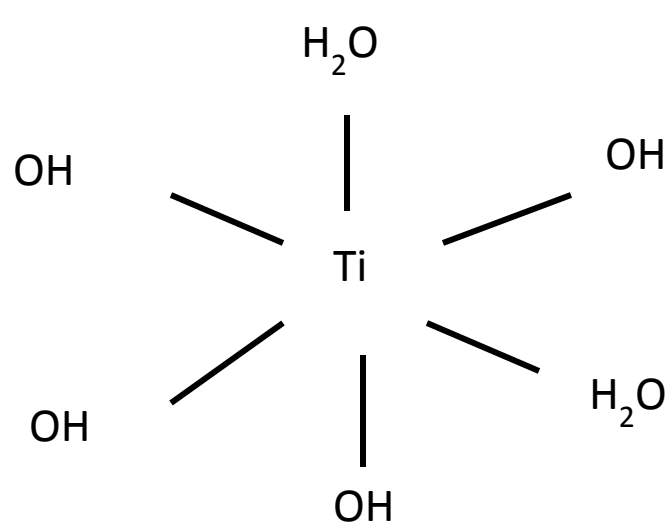


- MГ_4 – бесцветные, твердые вещества (исключение TiCl_4)
- Молекулярные решетки TiCl_4 ZrCl_4 HfCl_4 ThCl_4
- $t_{\text{пл}}^{\circ\text{C}}$ -23 437 432 770
- Устойчивость в парах, $\text{КЧ} = 4$, ковалентная связь, в кристаллическом состоянии – бесконечные цепи октаэдров ЭХ_6
- π – связывание: вакантные d-АО металла + неподеленные электронные пары галогена
- Катализаторы Циглера – Натта (гигроскопичность)

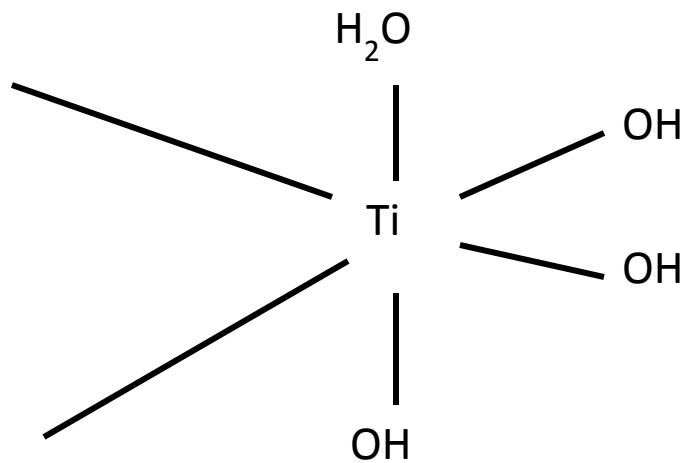
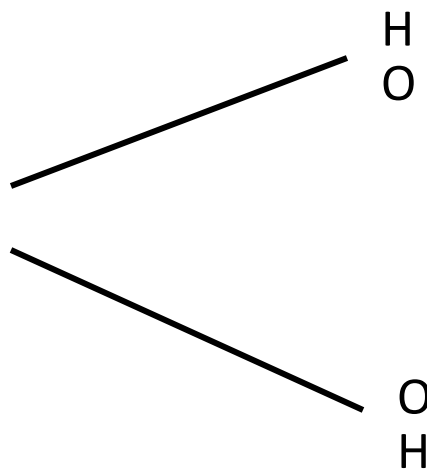
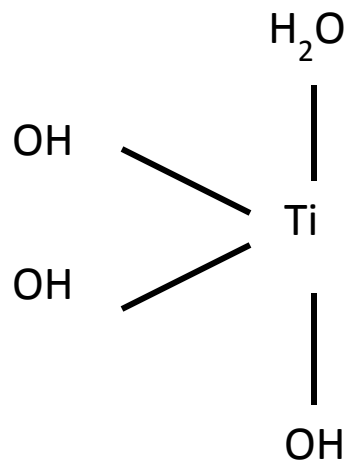


аэрозоль

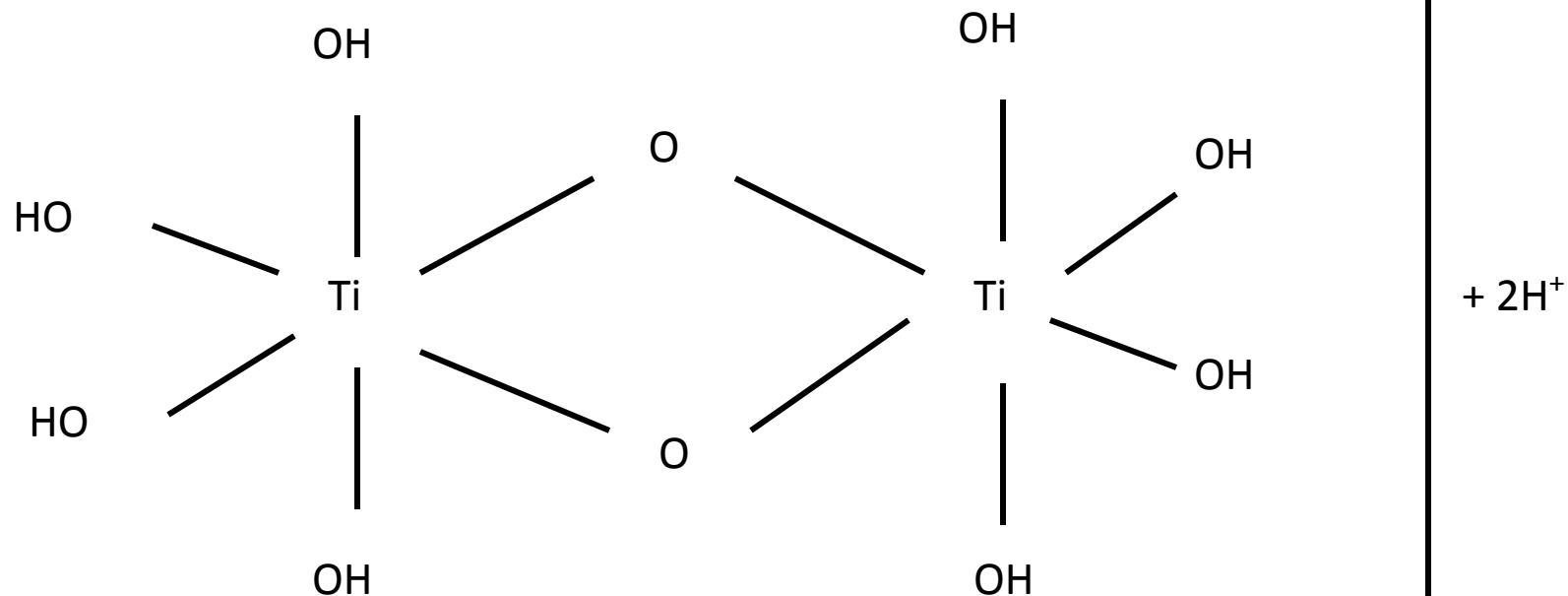
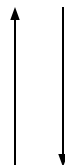




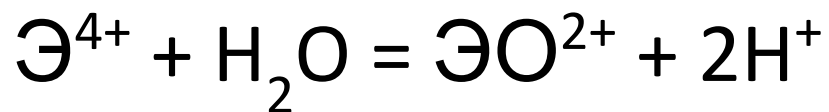
$-\text{2H}_2\text{O}$



Оловые мостики

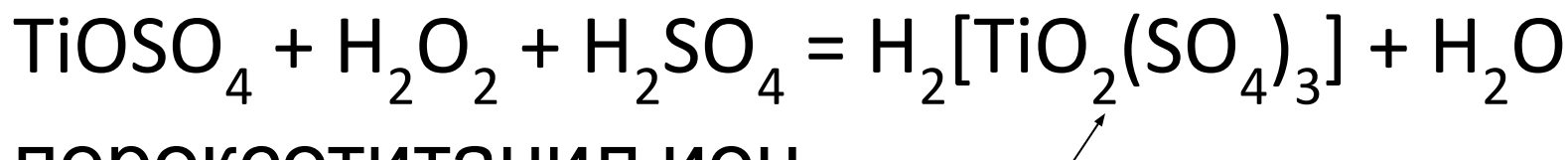
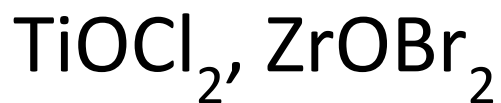


Оксоловые мостики



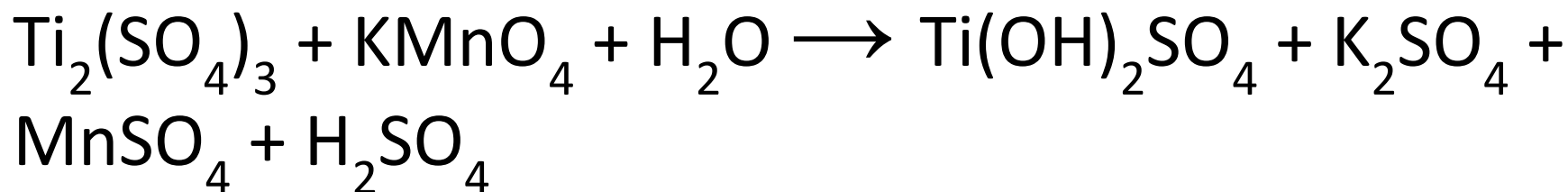
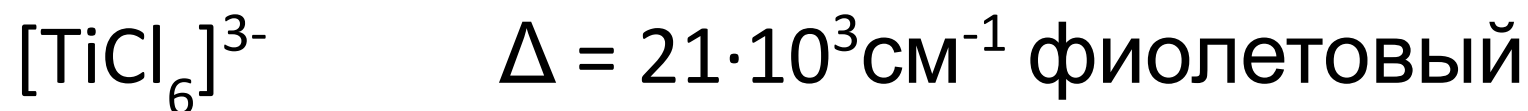
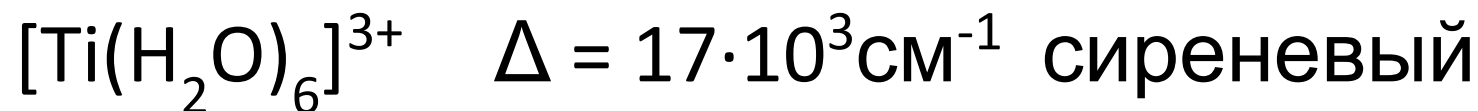
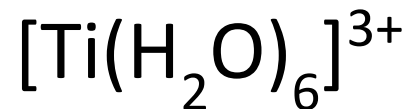
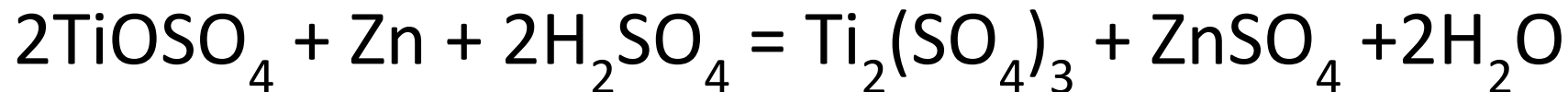
Солеобразующий характер MOГ_2 , $\text{MO}(\text{NO}_3)_2$

Соли титанила, цирконила



пероксотитанил ион

Соединения М (+3)



Низшие галогениды титана

Соединение	Окраска	Структура	Стандартная энтальпия образования, кДж/моль	Поведение при нагревании
TiF_3	Фиолетовая	Типа VF_3	-1319	$4\text{TiF}_3 \xrightarrow{950^\circ\text{C}} 3\text{TiF}_4 + \text{Ti}$
$\alpha\text{-TiCl}_3$	»	Типа BiI_3	-691	$2\text{TiCl}_3 \xrightarrow{475^\circ\text{C}} \text{TiCl}_4 + \text{TiCl}_2$
$\beta\text{-TiCl}_3$	Коричневая	Октаэдры, соединенные ребрами	-691	$\beta\text{-TiCl}_3 \xrightarrow{300^\circ\text{C}} \alpha\text{-TiCl}_3$
TiBr_3	Фиолетовая	Типа BiI_3	-553	$2\text{TiBr}_3 \xrightarrow{400^\circ\text{C}} \text{TiBr}_4 + \text{TiBr}_2$
TiI_3	»	Типа NbI_3	-335	$2\text{TiI}_3 \xrightarrow{350^\circ\text{C}} \text{TiI}_4 + \text{TiI}_2$
TiCl_2	Черная	Типа CdI_2	-477	Плавится при 1035°C
TiBr_2	»	»	-398	$\text{TiBr}_2 \xrightarrow{>400^\circ\text{C}} \text{Ti} + \text{Br}_2$
TiI_2	»	»	-255	$\text{TiI}_2 \xrightarrow{>400^\circ\text{C}} \text{Ti} + \text{I}_2$

Место в п.с.э.

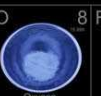
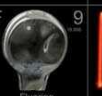
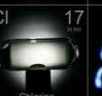
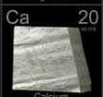
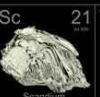
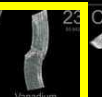
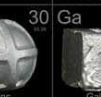
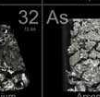
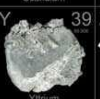
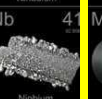
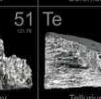
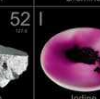
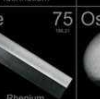
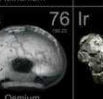
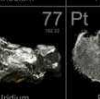
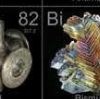
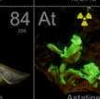
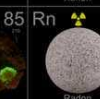
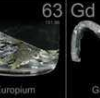
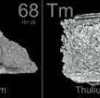
V – “ванадис” – богиня радости, красоты

Nb – “ниобея” – полубогиня, дочь Тантала

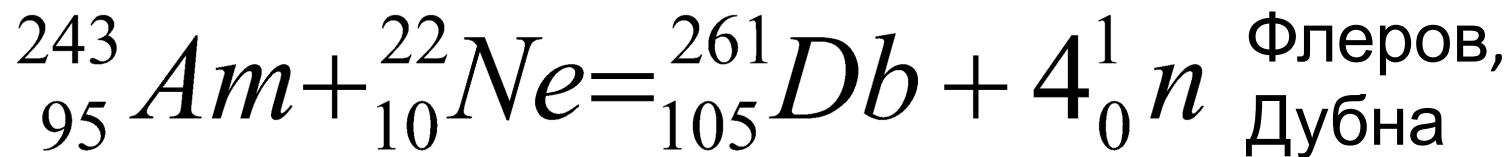
Ta – “тантал” – греческий полубог Тантал

The Elements

The Elements

 H 1 Hydrogen																	 He 2 Helium																	
 Li 3 Lithium	 Be 4 Beryllium																	 B 5 Boron	 C 6 Carbon	 N 7 Nitrogen	 O 8 Oxygen	 F 9 Fluorine	 Ne 10 Neon											
 Na 11 Sodium	 Mg 12 Magnesium																	 Al 13 Aluminum	 Si 14 Silicon	 P 15 Phosphorus	 S 16 Sulfur	 Cl 17 Chlorine	 Ar 18 Argon											
 K 19 Potassium	 Ca 20 Calcium	 Sc 21 Scandium	 Ti 22 Titanium	 V 23 Vanadium	 Cr 24 Chromium	 Mn 25 Manganese	 Fe 26 Iron	 Co 27 Cobalt	 Ni 28 Nickel	 Cu 29 Copper	 Zn 30 Zinc	 Ga 31 Gallium	 Ge 32 Germanium	 As 33 Arsenic	 Se 34 Selenium	 Br 35 Bromine	 Kr 36 Krypton																	
 Rb 37 Rubidium	 Sr 38 Strontium	 Y 39 Yttrium	 Zr 40 Zirconium	 Nb 41 Niobium	 Mo 42 Molybdenum	 Tc 43 Technetium	 Ru 44 Ruthenium	 Rh 45 Rhodium	 Pd 46 Palladium	 Ag 47 Silver	 Cd 48 Cadmium	 In 49 Indium	 Sn 50 Tin	 Sb 51 Antimony	 Te 52 Tellurium	 I 53 Iodine	 Xe 54 Xenon																	
 Cs 55 Cesium	 Ba 56 Barium			 Hf 72 Hafnium	 Ta 73 Tantalum	 W 74 Tungsten	 Re 75 Rhenium	 Os 76 Osmium	 Ir 77 Iridium	 Pt 78 Platinum	 Au 79 Gold	 Hg 80 Mercury	 Tl 81 Thallium	 Pb 82 Lead	 Bi 83 Bismuth	 Po 84 Polonium	 At 85 Astatine	 Rn 86 Radon																
 Fr 87 Francium	 Ra 88 Radium			 Rf 104 Rutherfordium	 Db 105 Dubnium	 Sg 106 Seaborgium	 Bh 107 Bohrium	 Hs 108 Hassium	 Mt 109 Meitnerium	 Ds 110 Darmstadtium	 Rg 111 Roentgenium	 Uub 112 Ununbium	 Uut 113 Ununtrium	 Uuq 114 Ununquadium	 Uup 115 Ununpentium	 Uuh 116 Ununhexium	 Uus 117 Ununseptium	 Uuo 118 Ununoctium																
 Radioactive elements Photographs show samples of the pure or nearly pure element except as follows. At, Bi, Fr, Ac, Pa, and Th show radioactive images containing minute traces of the element. Po, At, Th, Pa, and Am show artificial isotopes containing minute amounts of the element. Technetium shows a 70/90 bromine. Francium shows a Hubble Space Telescope image of the Eagle Nebula, which is usually hydrogen. Se, I, and Hg show the element as placed after which the element is named. 112, 114 had not been named yet in 2006. Poster and photography by Theodore W. Gray, RSC Research Ltd. All images courtesy of Theodore W. Gray, RSC Research Ltd. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or by any information storage or retrieval system, without permission in writing from Theodore W. Gray, RSC Research Ltd. Poster Copyright © 2006 Theodore W. Gray all rights reserved. Other uses of this poster: periodictable.com Real samples like these: element-collection.com																		 La 57 Lanthanum	 Ce 58 Cerium	 Pr 59 Praseodymium	 Nd 60 Neodymium	 Pm 61 Promethium	 Sm 62 Samarium	 Eu 63 Europium	 Gd 64 Gadolinium	 Tb 65 Terbium	 Dy 66 Dysprosium	 Ho 67 Holmium	 Er 68 Erbium	 Tm 69 Thulium	 Yb 70 Ytterbium	 Lu 71 Lutetium		
 Ac 89 Actinium	 Th 90 Thorium	 Pa 91 Protactinium	 U 92 Uranium	 Np 93 Neptunium	 Pu 94 Plutonium	 Am 95 Americium	 Cm 96 Curium	 Bk 97 Berkelium	 Cf 98 Californium	 Es 99 Einsteinium	 Fm 100 Fermium	 Md 101 Mendelevium	 No 102 Nobelium	 Lr 103 Lawrencium																				

		АР, Å	ИР, Э ⁵⁺	СО
₂₃ V	...3d ³ 4s ²	1.36	0.40	+5, +4, +3, (+2), 0, (-1), (-3)
₄₁ Nb	<u>...4d⁴5s¹</u>	1.46	0.70	+5, +4, (+3), (+2), 0, (-1)
Лантанидное сжатие				
₇₃ Ta	...5d ³ 6s ²	1.46	0.73	+5, (+4), (+3), (+2), 0, (-1)
₉₁ Pa	<u>.5f¹6d²7s²</u>	1.62	1.02	



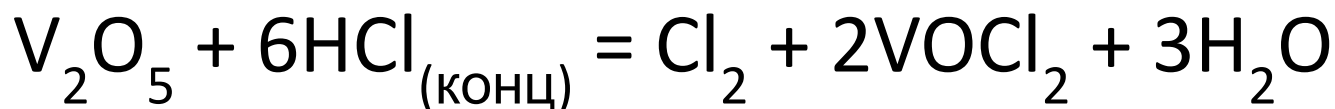
Сходство V^{5+} (0.40 Å) и P^{5+} (0.37 Å)

Оксоанионы ЭO_3^- (NaVO_3 , NaPO_3)

В высших степенях окисления – сходство с неметаллами, в низших – с металлами.

В форме простых веществ – типичные металлы

Катионные формы Э^{2+} , Э^{3+} (нестабильны)



ванадилхлорид

Класс соединений	формула	элементы	Характерные свойства
ПВ-металлы	Э	V-Pa	Тугоплавкость, химическая инертность
Оксиды	$\text{Э}_2\text{O}_5$	V-Pa	Плохо растворимы в H_2O , химическая инертность
Соли, содержащие Э^{5+} в оксианионах	(ЩЭ) ЭO_3 в растворах, в твердом состоянии	V-Pa	Образование изополисоединений

Класс соединений	формула	элементы	Характерные свойства
		V	Гетерополи- соединения
Гидраты оксидов	$\text{Э}_2\text{O}_5 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	V-Pa	Амфотерность, усиление основности $\text{V} \rightarrow \text{Pa}$
Соли	ЭX_5 , ЭOX_3	V(F) Nb $\rightarrow$ Pa V-Pa	Гидролиз в воде
Комплексы	(ЩЭ)ЭF ₆ (ЩЭ) ₂ ЭF ₇	V-Pa Nb-Pa	Различия в растворимости фторидов Nb и Ta

Степени окисления и стереохимия

Степень окисления	КЧ	Стереохимия	V
-3 (d^8)	5	—	$[\text{V}(\text{CO})_5]^{3-}$
-1 (d^6)	6	Октаэдр	$[\text{V}(\text{CO})_6]^-$
0 (d^5)	6	Октаэдр	$[\text{V}(\text{CO})_6]$
1 (d^4)	6	Октаэдр	$[\text{V}(\text{bipy})_3]^+$
	7	Одношапочный октаэдр	—
2 (d^3)	4	Плоский квадрат	—
	6	Октаэдр	$[\text{V}(\text{CN})_6]^{4-}$
		Тригональная призма	VS
3 (d^2)	3	Плоский треугольник	$[\text{V}\{\text{N}(\text{SiMe}_3)_2\}_3]$
	4	Тетраэдр	$[\text{VCl}_4]^-$
	5	Тригональная бипирамида	$[\text{V}(\text{NMe}_3)_2\text{Cl}_3]$
	6	Октаэдр	$[\text{V}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-}$
		Тригональная призма	—
	7	Сложная	—
	8	Додекаэдр	—

Степени окисления и стереохимия

Степень окисления	КЧ	Стереохимия	V
4 (d^1)	4	Тетраэдр	VCl_4
	5	Тригональная бипирамида	$[\text{VOCl}_2(\text{NMe}_3)_2]$
		Квадратная пирамида	$[\text{VO}(\text{acac})_2]$
	6	Октаэдр	$[\text{VCl}_4(\text{bipy})]$
	7	Пентагональная бипирамида	—
	8	Додекаэдр	$[\text{VCl}_4(\text{diars})_2]$
		Квадратная антипризма	$[\text{V}(\text{S}_2\text{CMe})_4]^{a)}$
5 (d^0)	4	Тетраэдр	VOCl_3
	5	Тригональная бипирамида	$\text{VCl}_5(\text{r})$
		Квадратная пирамида	$[\text{VOF}_4]^-$
	6	Октаэдр	$[\text{VF}_6]^-$
		Тригональная призма	—
	7	Пентагональная бипирамида	$[\text{VO}(\text{S}_2\text{CNEt}_2)_3]$
		Одношапочная тригональная призма	—
	8	Додекаэдр	$[\text{V}(\text{O}_2)_4]^{3-}$
		Квадратная антипризма	—

- **V** – 0.02% (22 место), сопутствует

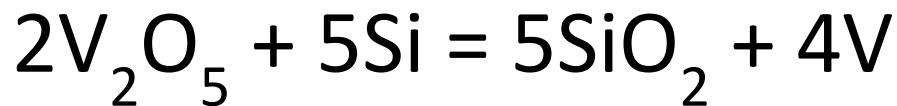
Fe (Fe^{3+} - 0.67 Å, V^{3+} - 0.65 Å)

Mn (V^{2+} - 1.0 Å, Mn^{2+} - 0.91 Å)

P (V^{5+} - 0.40 Å, P^{5+} - 0.37 Å)

$7 \cdot 10^3$
т/год

Из шлаков, Спицын В.И., танки Т-34



(феррованадий)

- **Nb** ~ $10^{-4}\%$ (64 место)

колумбит(Fe , Mn)(NbO_3)₂

$1,5 \cdot 10^3$
т/год

•**Ta** ~ 10^{-5} % (65 место)

танталит(Fe, Mn)(TaO₃)₂

Лопарит (Хибины) (Ca, Sr, Ce, Na, K)[(Nb, Ta, Ti)O₃]

Хлорирование в присутствии углерода

летучие хлориды

Ti, Nb, Ta

нелетучие хлориды

РЗЭ, ЩЗЭ, ЩЭ

Фракционная разгонка



Ванадинит $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$

$\downarrow$ + Na_2CO_3 (нагрев)

NaVO_3 (в
растворе)
 $\downarrow$ NH_3

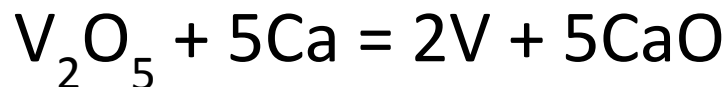
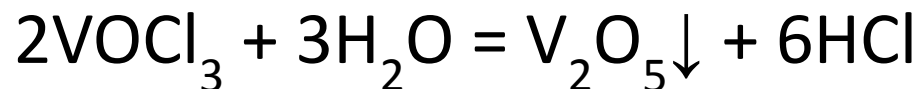
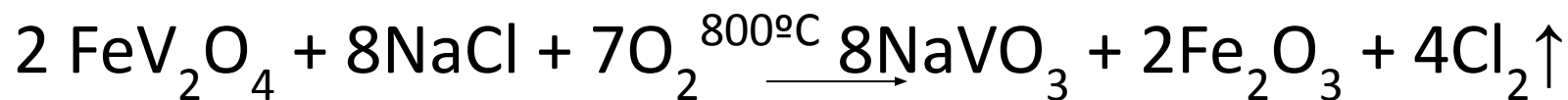
NH_4VO_3 (плохо
растворим)
 $\downarrow$ нагрев

$\text{V}_2\text{O}_5 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

$\downarrow$ Al
 V (Fe)

При выплавке стали V переходит в шлаки в форме FeV_2O_4 (структура шпинели)

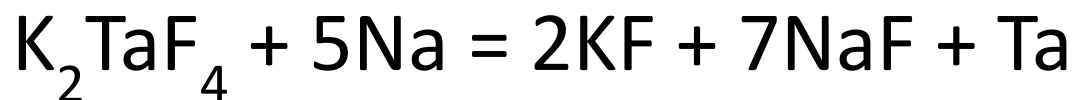
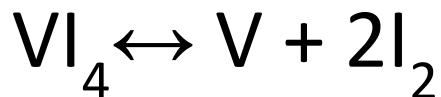
Далее обжигают смесь

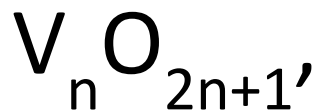
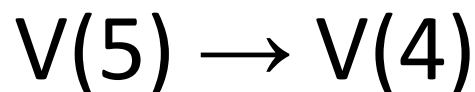
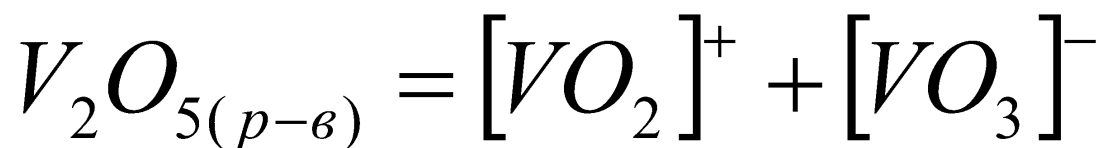
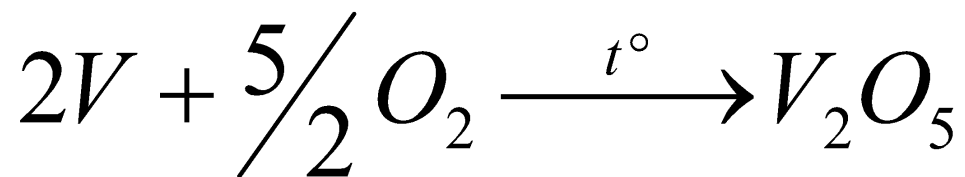


(восстановление инициируют йодом)

	V	Nb	Ta	Pa
$T_{\text{пл}}\text{ }^{\circ}\text{C}$	1920	2500	2996	1570
$T_{\text{кип}}\text{ }^{\circ}\text{C}$	3400	4930	~5500	4500
структура	ОЦК	ОЦК	ОЦК	ОЦК < 1170
$T_{\text{пл}}\text{ }^{\circ}\text{C ЭСl}_5$	-20 (VCl_4)	+194	+221	
$T_{\text{пл}}\text{ }^{\circ}\text{CЭС}$	2830	3500	3900	
$D, \text{ г/см}^3$	6,1	8,6	16,6	15,4

- Высокая химическая инертность V, особенно Nb и Ta
- V – растворяется только в концентрированных HNO_3 , H_2SO_4 , царской водке при высоких температурах
взаимодействие с O_2 , N_2 , S, Si – раскислитель
- Nb и Ta – высокая коррозионная стойкость, только HF или HF + HNO_3 , инертность к щелочам, металлотермия в Ta тиглях, химическая аппаратура, геттеры





нафталин $\rightarrow$ фталевый
ангидрид

Оксиды ванадия

V_2O_5 – структура из тригональных бипирамид

$\dots V_n O_{2n+1} (V_3 O_7, V_4 O_9, V_6 O_{13}) \dots$

VO_2 – рутил (искаженный/неискаженный)

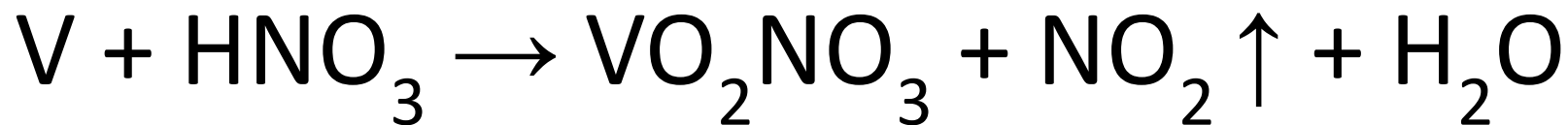
$\dots V_n O_{2n-1} (V_4 O_7, V_5 O_9, V_6 O_{11}, V_7 O_{13}, V_8 O_{15}) \dots$

V_2O_3 – структура корунда

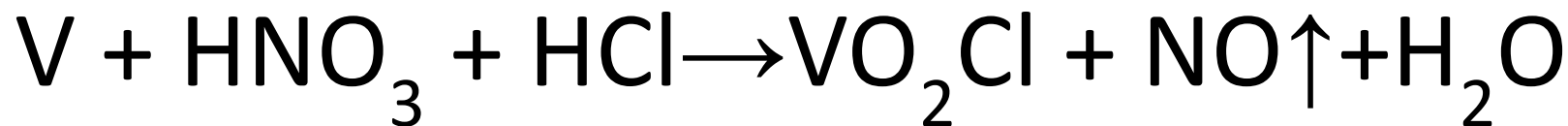
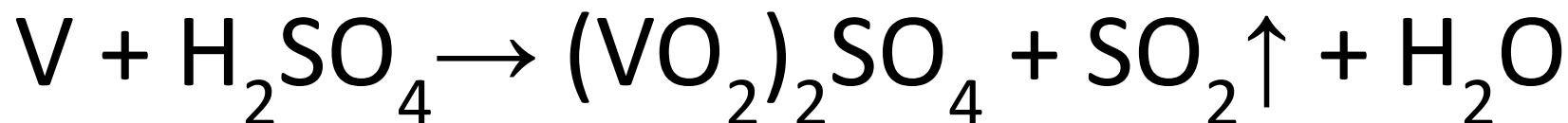
$\dots VO_{1.35} \dots$

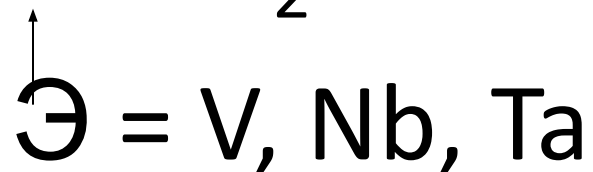
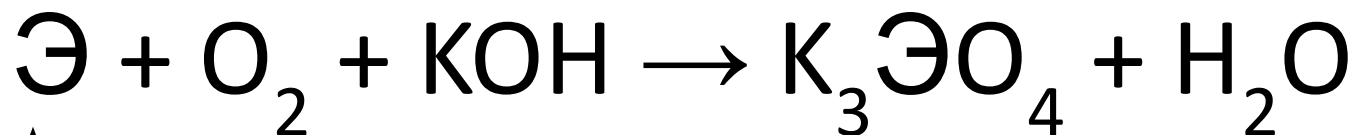
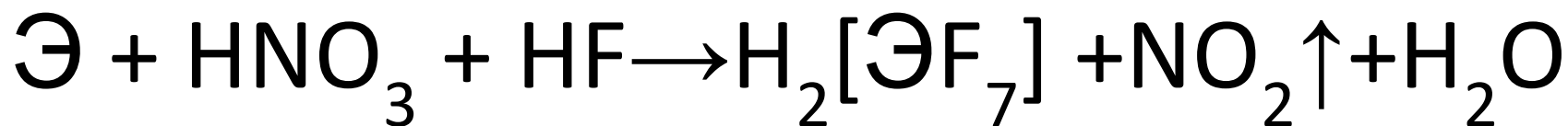
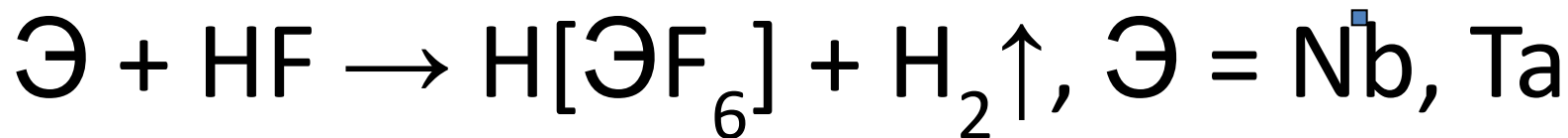
VO – структура NaCl

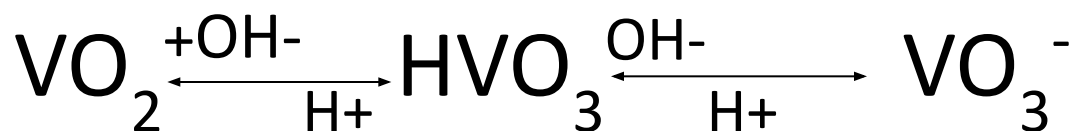
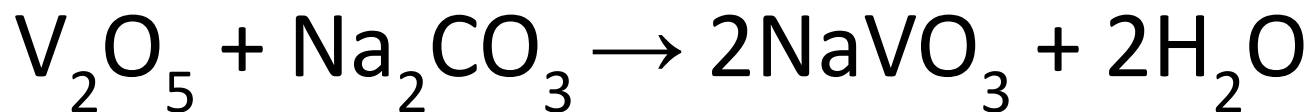
$\dots VO_{0.8}$



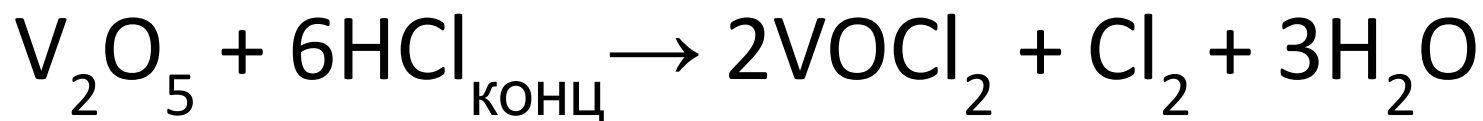
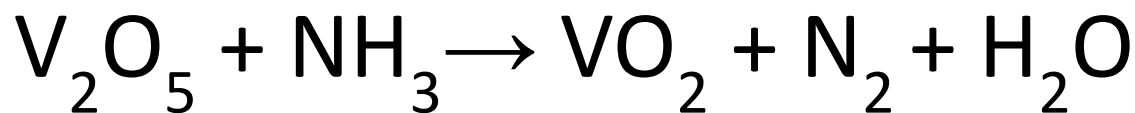
ванадин-нитрат



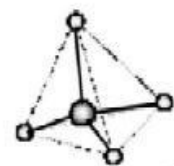
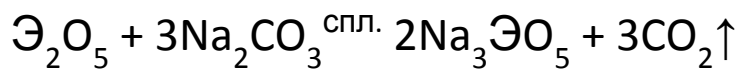
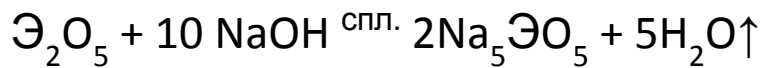




метаванадат- ион



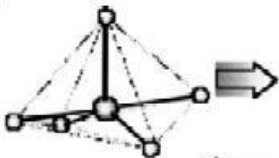
Ванадиевые бронзы $\text{Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$



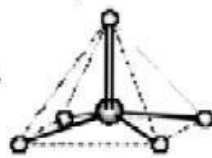
Тетраэдр



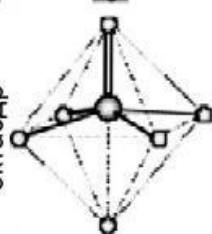
Тригональная бипирамида



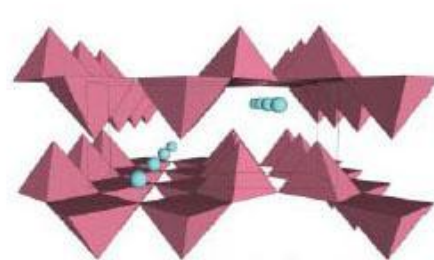
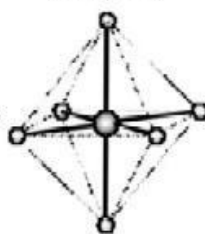
Квадратная пирамида



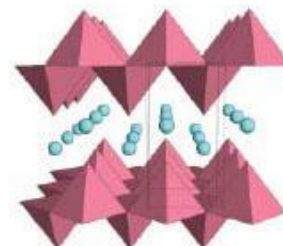
Искаженный октаэдр



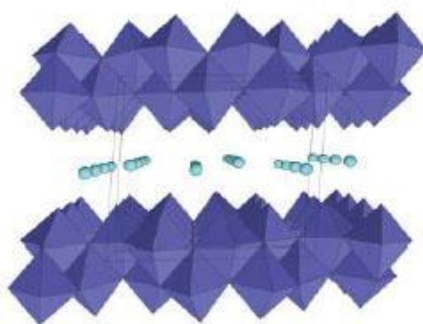
Правильный октаэдр



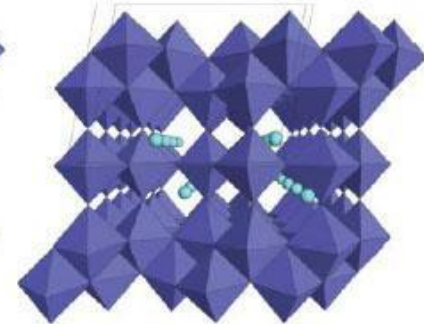
LiV_2O_5



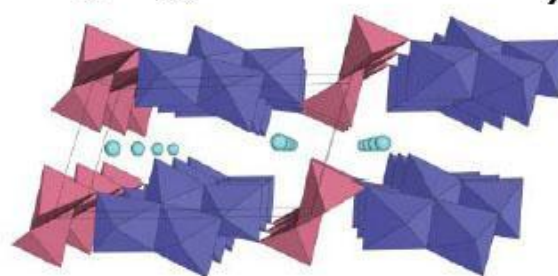
LiVO_2



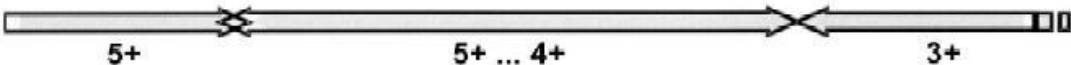
$\text{LiV}_4\text{O}_{10}$



$\text{Li}_x\text{V}_6\text{O}_{13}$



LiV_3O_8



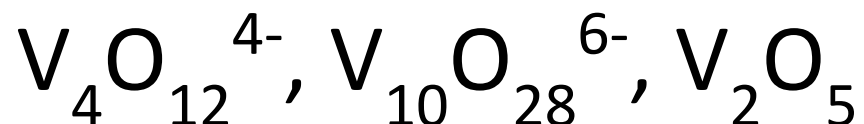
Катионные и анионные формы V^{5+} в водном растворе

- В сильнощелочной среде VO_4^{3-}
- Аналогия VO_4^{3-} и PO_4^{3-} , тетраэдр sp^3
- $HPO_4^{2-} \rightarrow (PO_3)_n^{n-}$ в жестких условиях
- $2HVO_4^{2-} = H_2O + V_2O_7^{4-}$ при слабых кислотах

- Изополисоединения



Дальнейшее подкисление дает



Изополиванадаты

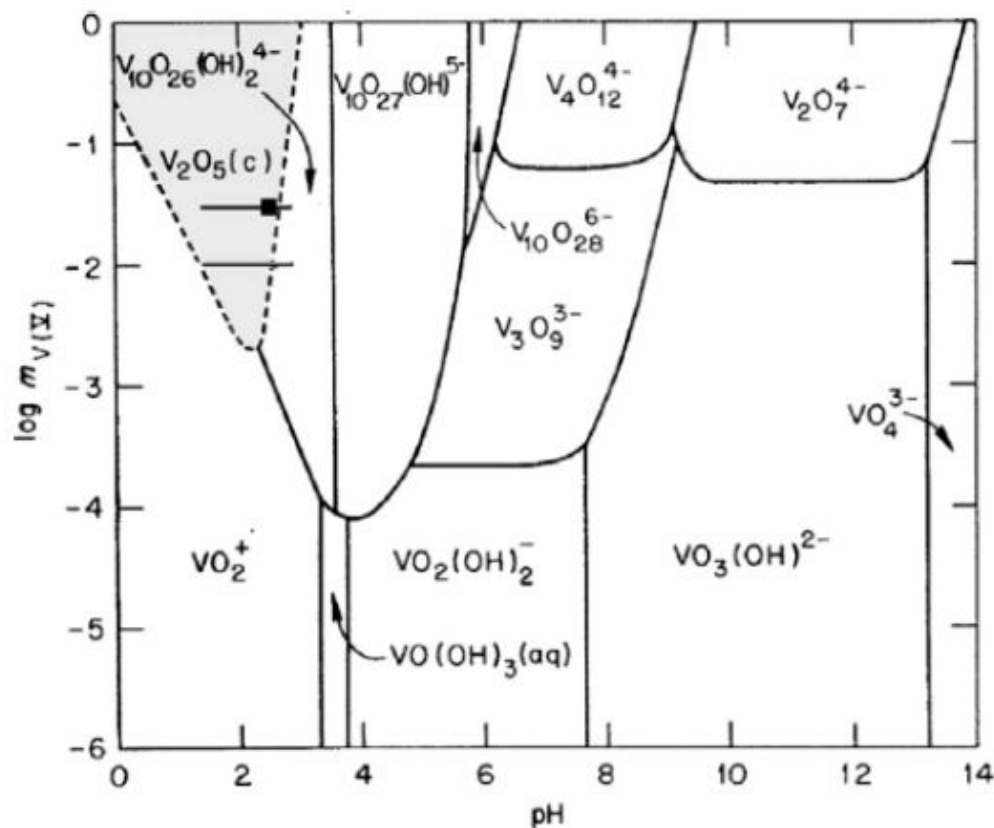


Figure 1. Predominance diagram of $V(V)-OH^-$ under 25 °C with ionic strength of 1 m as a function of vanadium concentration $m_{V(V)}$ and pH [Adapted from Baes, C. F., Jr.; Mesmer, R. E. *The Hydrolysis of Cations*; Robert E. Krieger Publishing Company, Inc.: Malabar, FL, 1976.] Horizontal lines in the shaded region indicate conditions studied here, though at higher temperature.

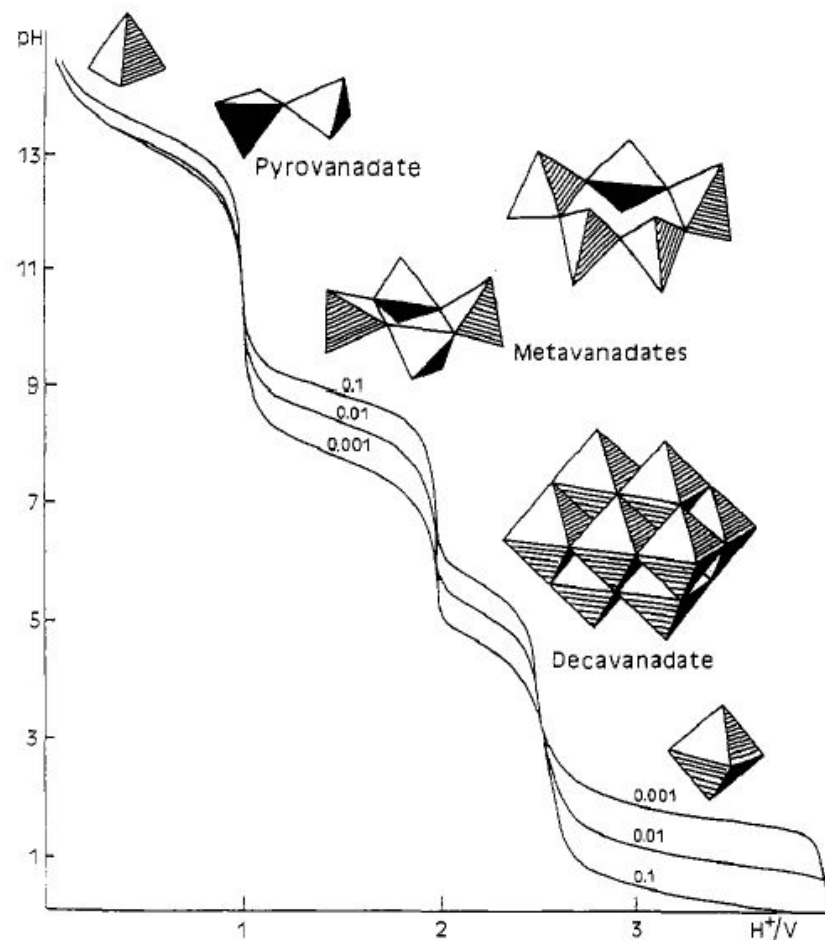


Figure 2. Structural evolution of $V(V)$ aqueous species as a function of pH for different concentrations ranging from 10^{-3} to 10^{-1} mol L^{-1} .

Закономерности (по мере уменьшения pH)

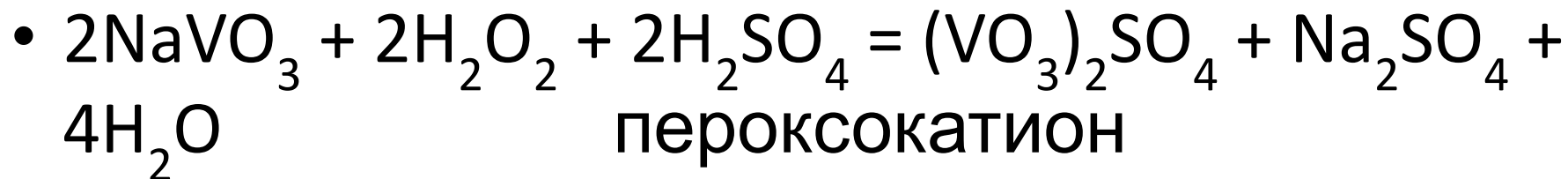
- Повышение КЧ от 4 до 6
- Усиление окраски
- Усиление способности к полимеризации
- Усиление кислотных свойств

Пероксидные соединения



пероксоанион

фиолетовый (pH > 12), желтая (pH = 7-9)



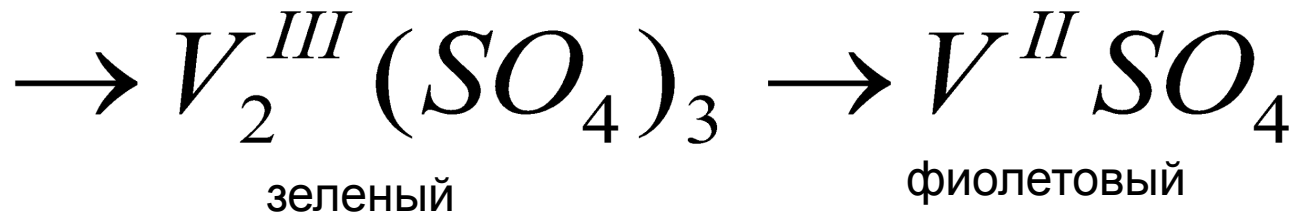
пероксокатион

красно-коричневый (pH < 7)



зеленый

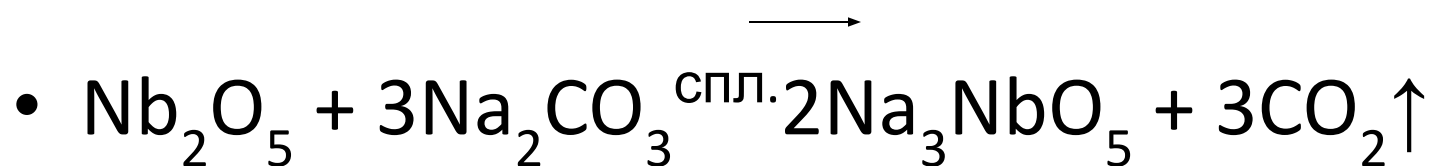
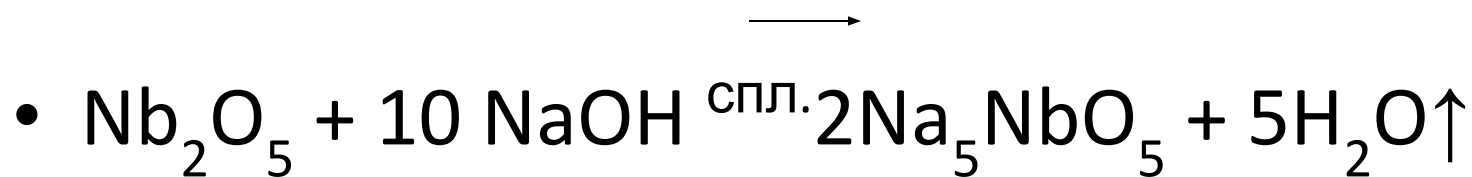
фиолетовый



$\text{VSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – ванадиевый купорос

Степень окисления	Оксид	Гидрат оксида	Свойства гидрата оксида	Продукты взаимодействия со щелочью и кислотой
+5	V_2O_5	HVO_3 , метаванадиевая кислота	Кислотные	$NaVO_3$, Na_3VO_4 и другие ванадаты, VO_2NO_3 и другие соли ванадина
+4	VO_2	$VO(OH)_2$, гидроксид ванадила	Амфотерные	Na_2VO_3 и другие ванадиты, $VOSO_4$ и другие соли ванадила
+3	V_2O_3	$V(OH)_3$, гидроксид ванадия (III)	Основные	$V_2(SO_4)_3$ и другие соли ванадия (III)
+2	VO	$V(OH)_2$, гидроксид ванадия (II)	Основные	VSO_4 и другие соли ванадия (II)

- $\text{Nb (Ta)} + \text{O}_2^{\text{тo}} \longrightarrow \text{Nb}_2(\text{Ta}_2)\text{O}_5$
- $\text{Э}_2\text{O}_5$ – химически инертны, не реагируют с H_2O , водными растворами кислот и оснований

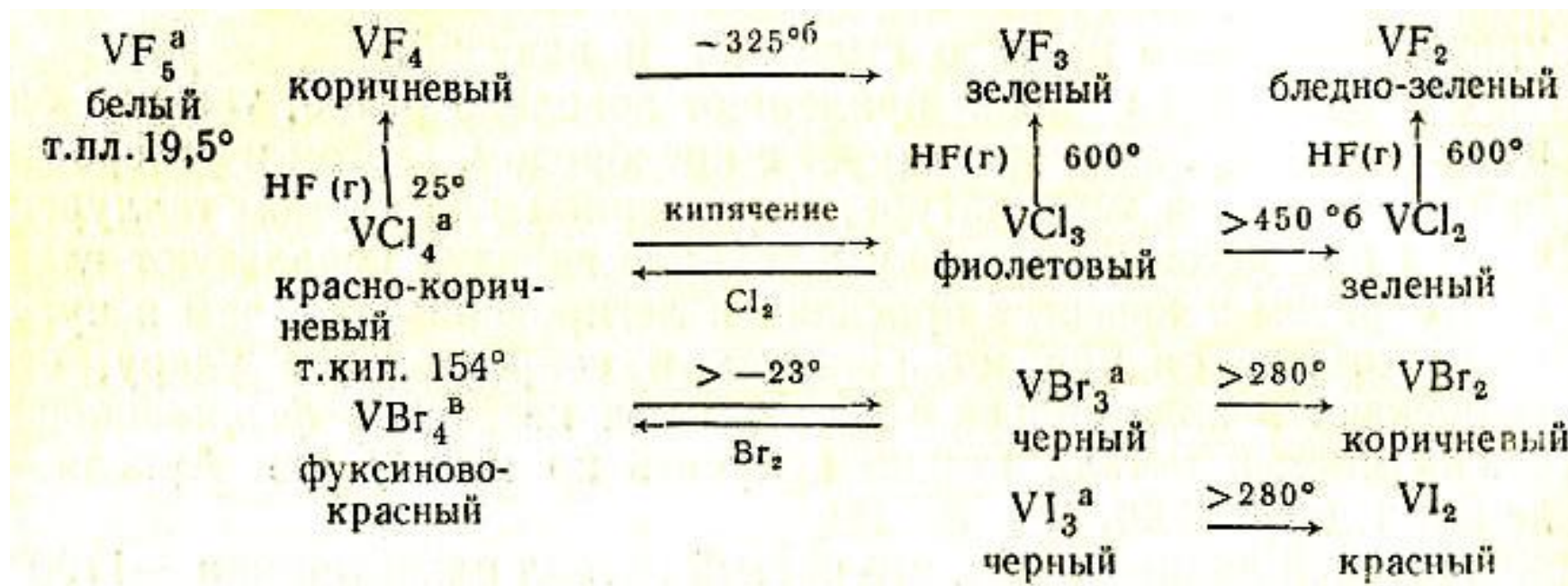


Галогениды ванадия

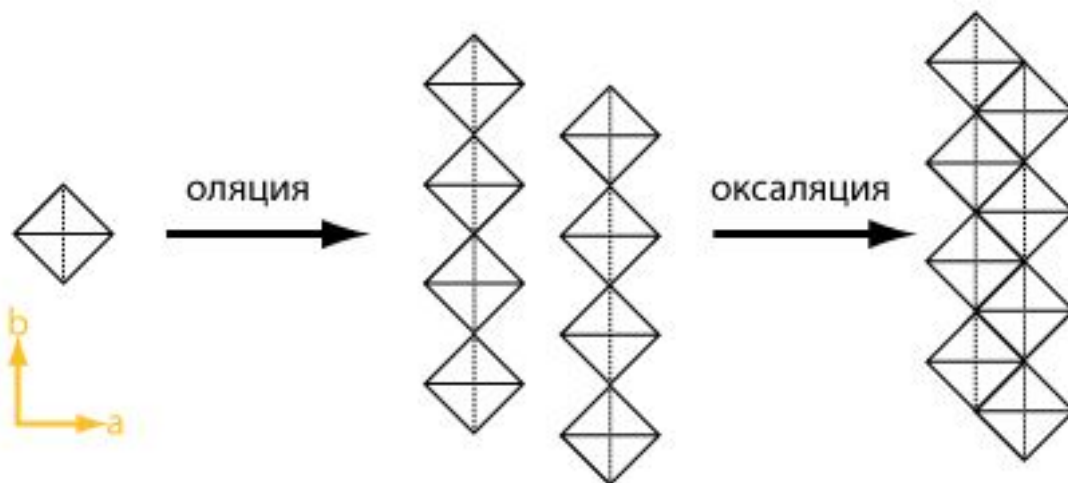
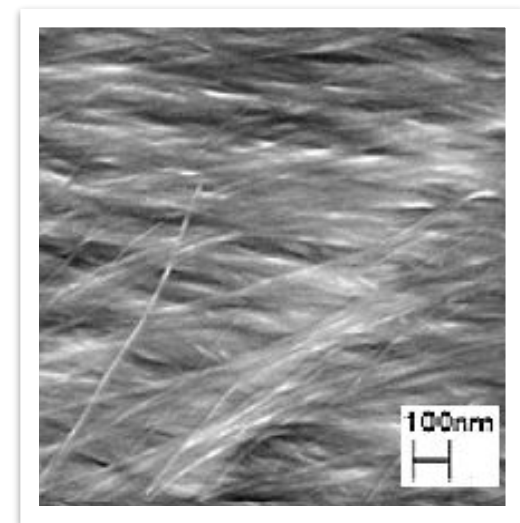
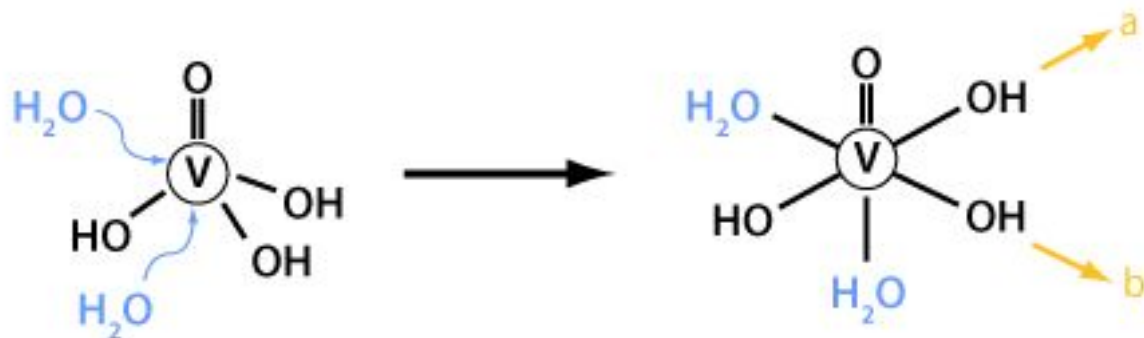
V^{5+} образует только фторид

V^{4+} образует все галогениды, кроме йодида

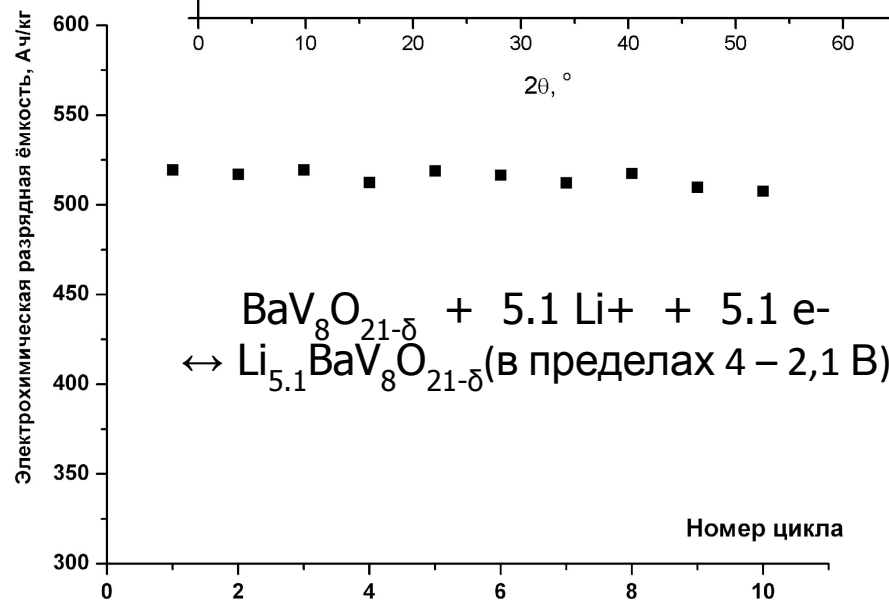
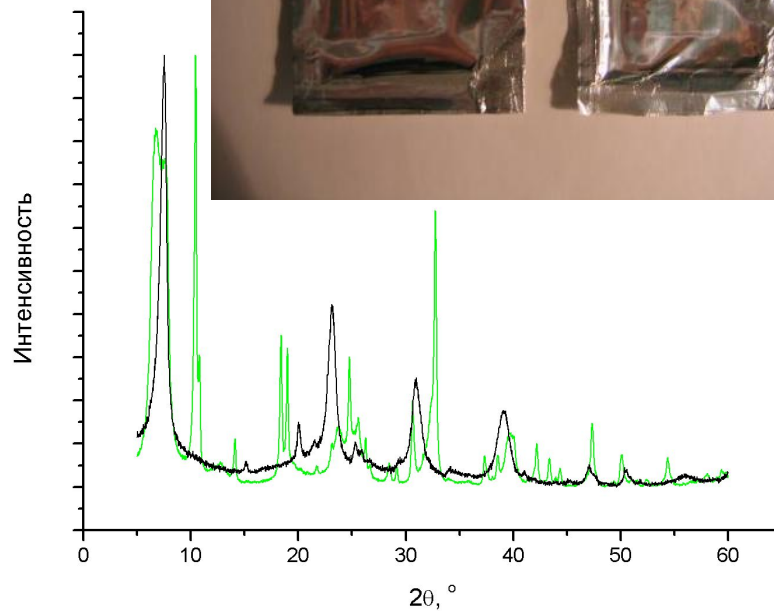
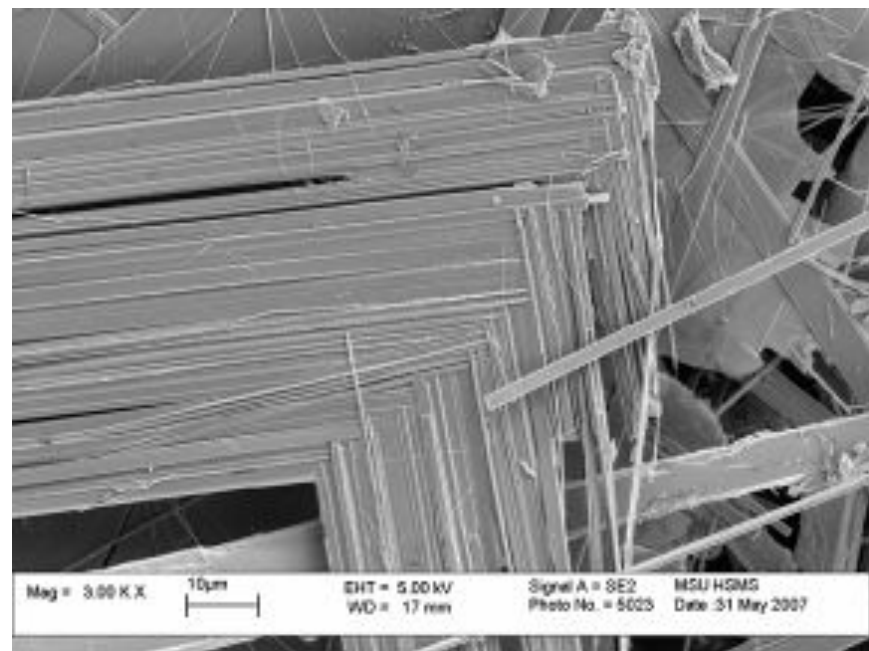
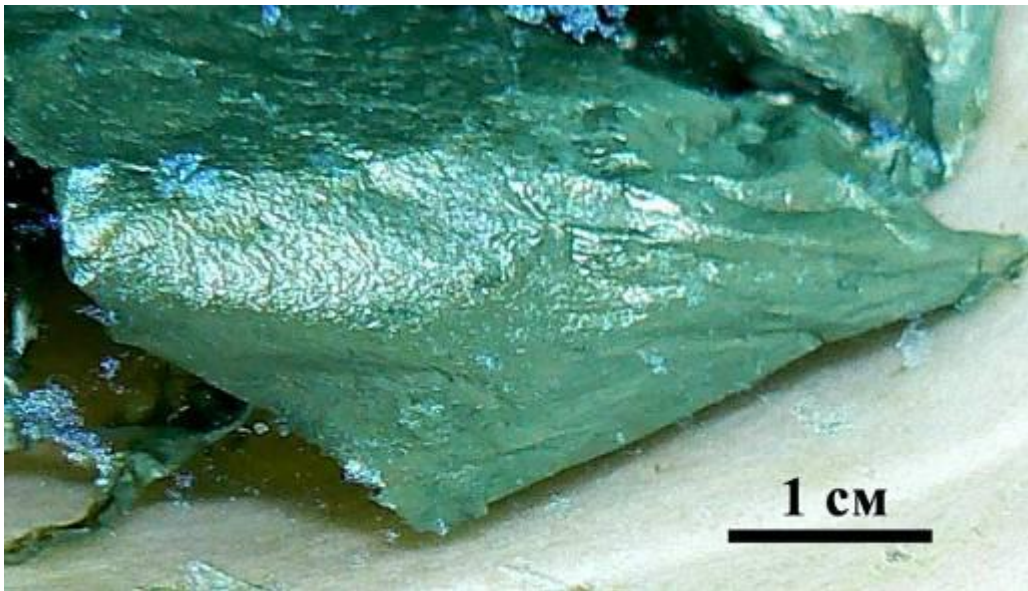
Для V^{3+} и V^{2+} известны все галогениды



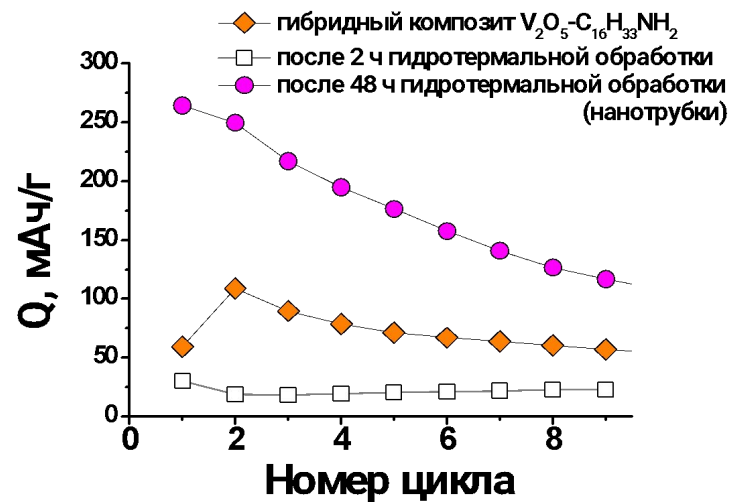
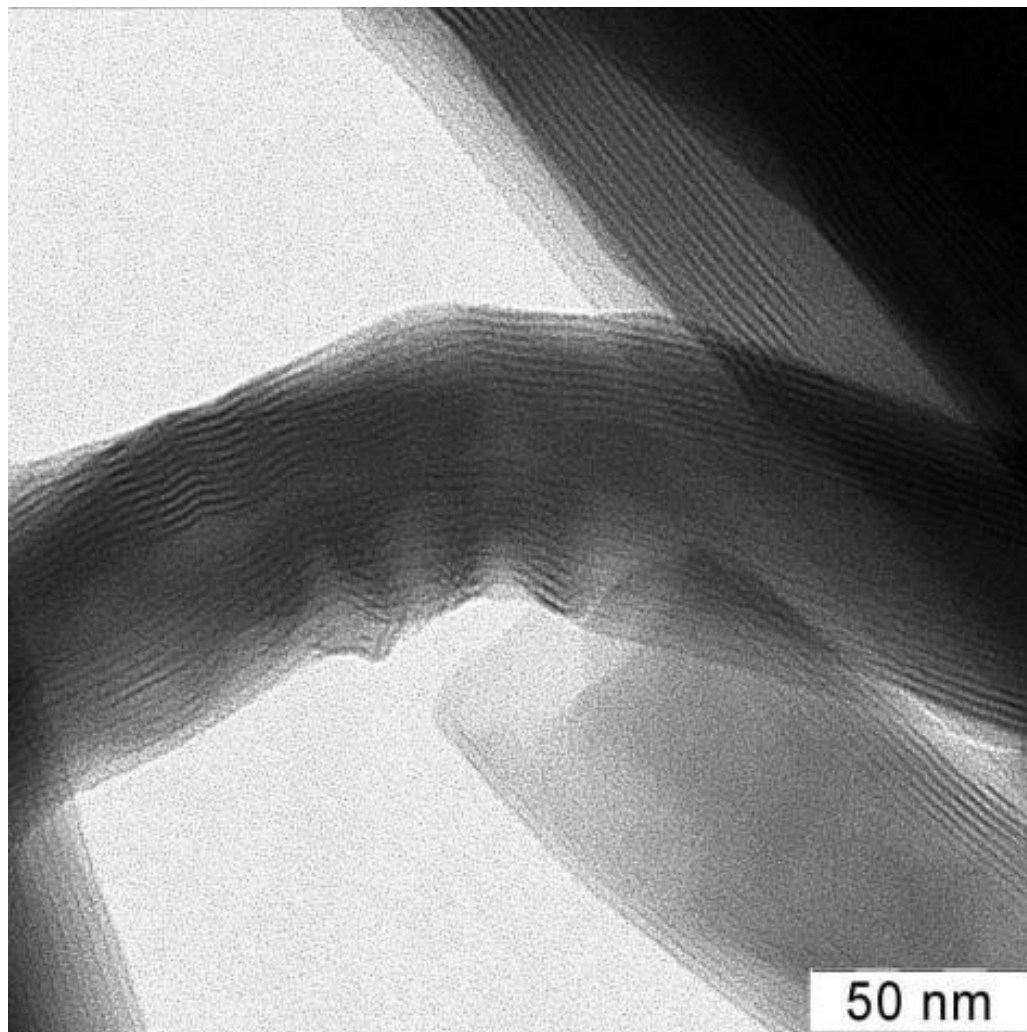
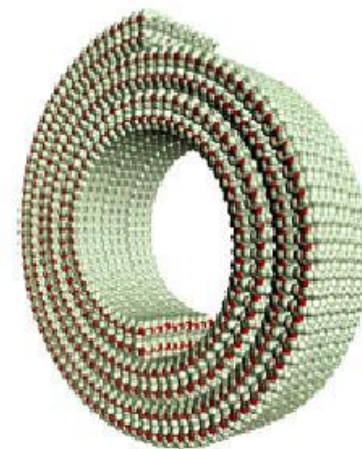
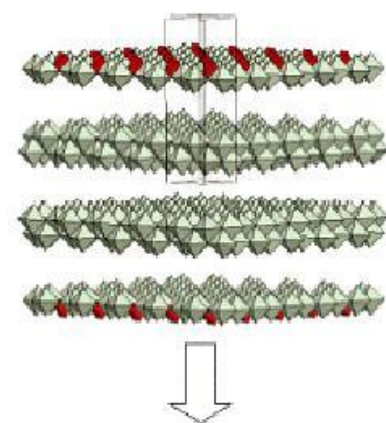
Ванадий (V) в растворах



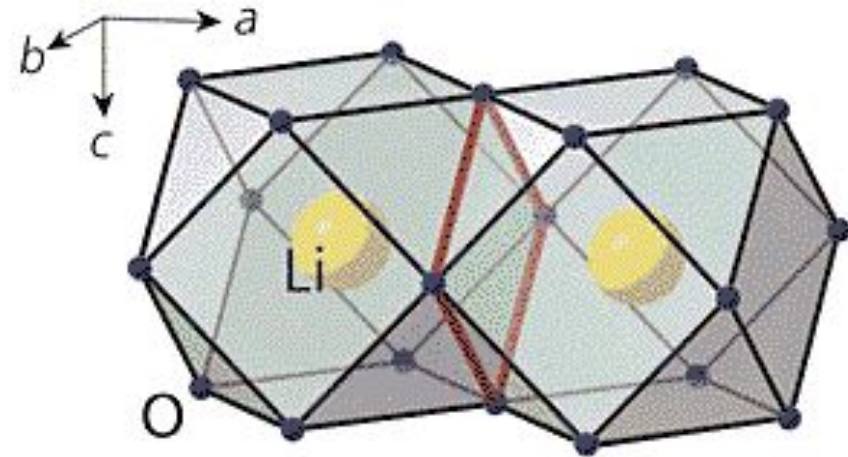
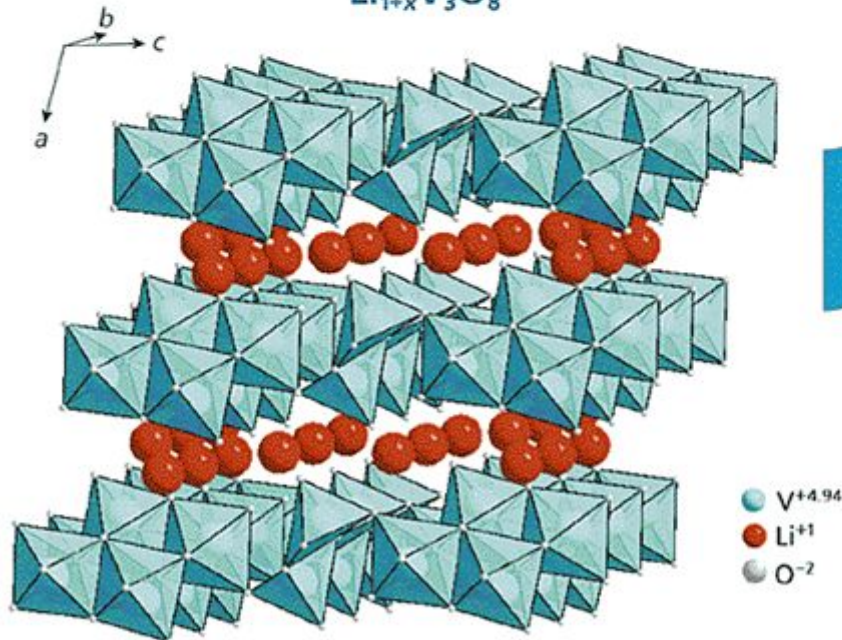
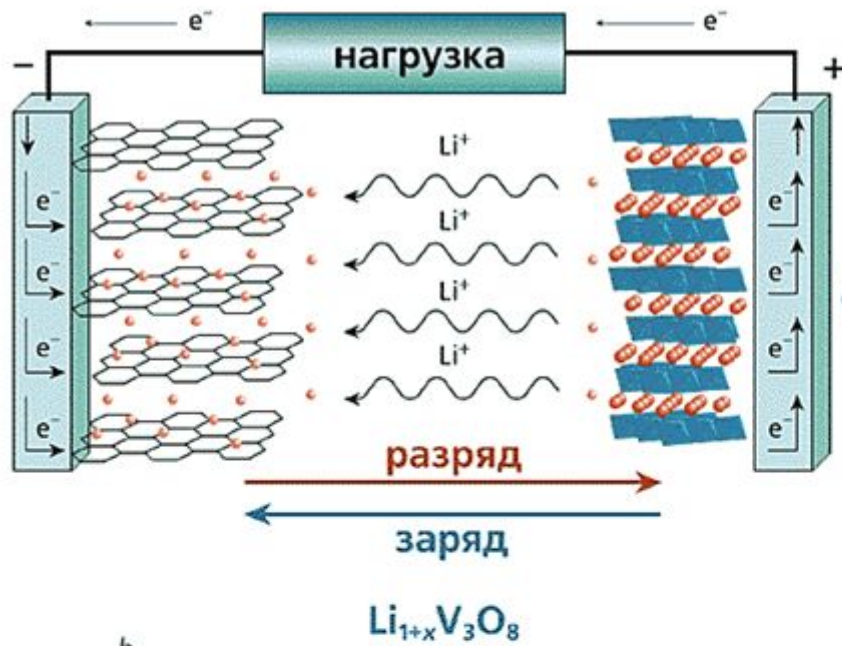
Нитевидные кристаллы



Нанотрубки



Аккумулятор



- Системы с высоким потенциалом полуреакции
- Высокая емкость
- Высокая площадь поверхности для быстрой перезарядки
- Сохранение свойств при циклировании
- Малая токсичность и невысокая стоимость
- Удобная морфология, позволяющая изготавливать электроды различной формы

Заключение

1. Максимальная степень окисления V, Nb, Ta +5, однако в таких соединениях велик вклад ковалентной связи
2. Для ванадия характерно образование оксо-анионов и изополикислот
3. Химическая активность элементов в форме металлов низка, оксиды Nb_2O_5 и Ta_2O_5 инертны
4. Nb и Ta – элементы – близнецы, для V характерны окислительно-восстановительные реакции и слабо выраженные кислотные свойства высшего оксида
5. Использование V, Nb, Ta – металлургия, V – катализ и химические источники тока
6. Биологическая роль V – фиксация азота растениями, для человека соединения ванадия токсичны.