



Элементы 1й группы: Водород и щелочные металлы

Неорганическая химия, 1 курс, 2025/2026

Водород – общие сведения

Простейший атом: 1 протон, 1 электрон

$1s^1$

1 группа

Имеет 1 валентный электрон – аналогия с щелочными металлами

17 группа

Требуется 1 валентный электрон до достижения оболочки инертного газа – аналогия с галогенами

Самый распространенный элемент во Вселенной – 90% атомов, 75% массы

Изотопы водорода

	^1H	$^2\text{H (D)}$	$^3\text{H (T)}$
название	протий	дейтерий	тритий
распростр. в природе	99.984 %	0.016 %	10^{-15} %
масса изотопа	1.0078	2.0141	3.0160
период полураспада	стабилен	стабилен	12.3 года
спин ядра	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$

$$E_{\text{св}}(\text{H-H}) - E_{\text{св}}(\text{D-D}) = 7.76 \text{ кДж/моль}$$

	H_2O	D_2O
т. пл., °C	0	3.83
т. кип., °C	100	101.42
d_{max} , г/см ³	1	1.1053
K_w (298)	$1 \cdot 10^{-14}$	$2 \cdot 10^{-15}$



“тяжелая”
вода

Свойства атомарного водорода



Радиус	21 pm	37 pm	133 pm
Эл. конф.	$1s^0$	$1s^1$	$1s^2$

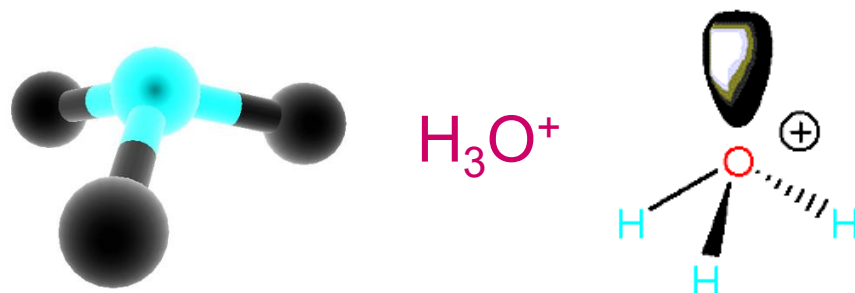


$$I_1 = 13.6 \text{ эВ (1312 кДж/моль)}$$

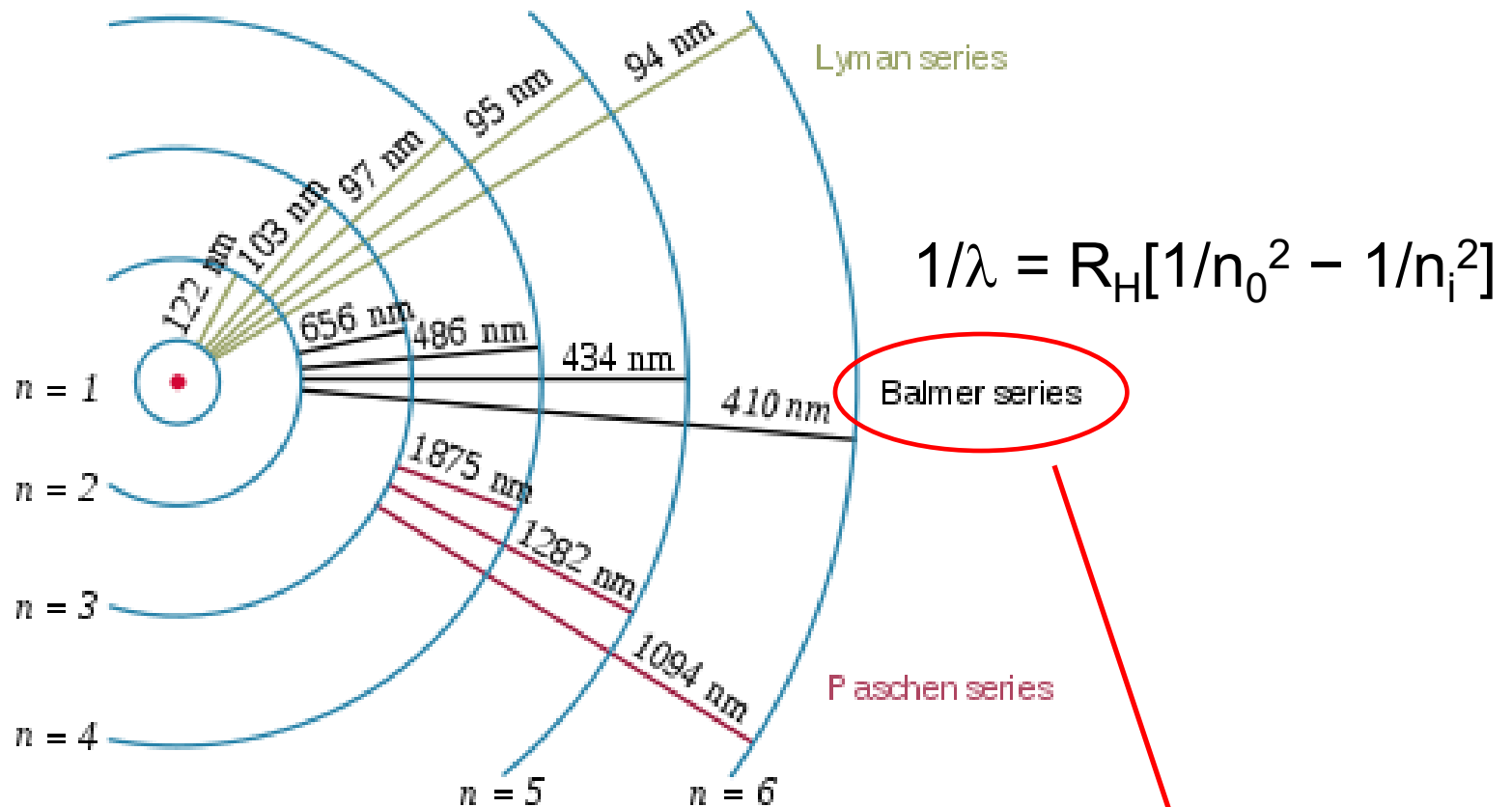
$$A_e = 0.75 \text{ эВ (72.35 кДж/моль)}$$



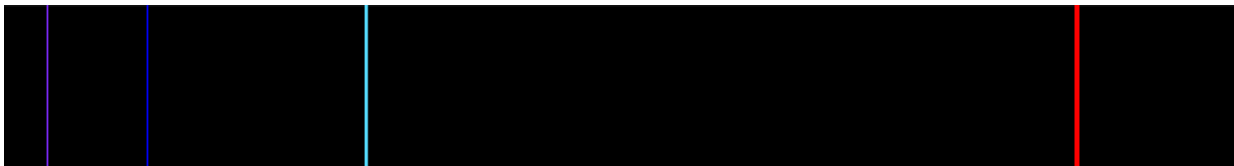
$$\Delta_h \text{H}^0(298) = -1091 \text{ кДж/моль}$$



Спектральные серии водорода



Спектр водорода в видимой области



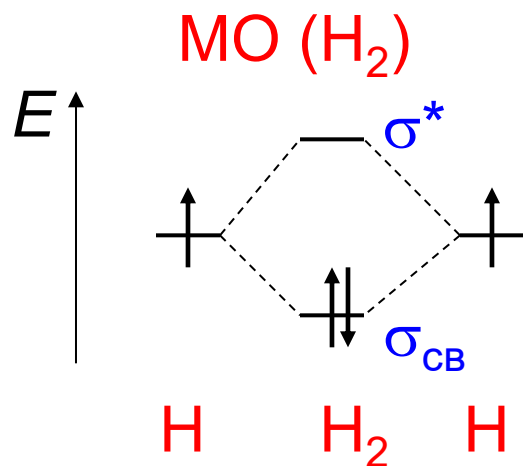
Молекулярный водород

H_2 газ без цвета, запаха и вкуса

Плохо растворим во всех растворителях

Т.пл. = $-259.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (13.7 K); Т.кип. = $-252.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (20.3 K)

$$\Delta_{\text{ат}} \text{H}_{298}^0 = 435 \text{ кДж/моль}$$



Молекулярные ионы:

$$\text{H}_2^+: (\sigma_{\text{CB}})^1 \text{ к.с.} = 1/2$$

$$\text{H}_2^-: (\sigma_{\text{CB}})^2(\sigma^*)^1 \text{ к.с.} = 1/2$$

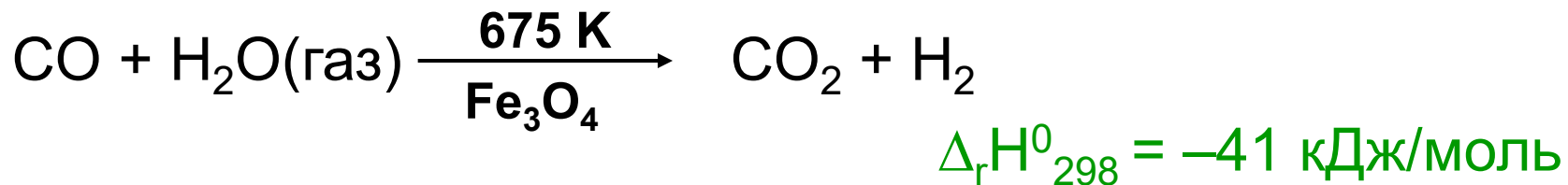
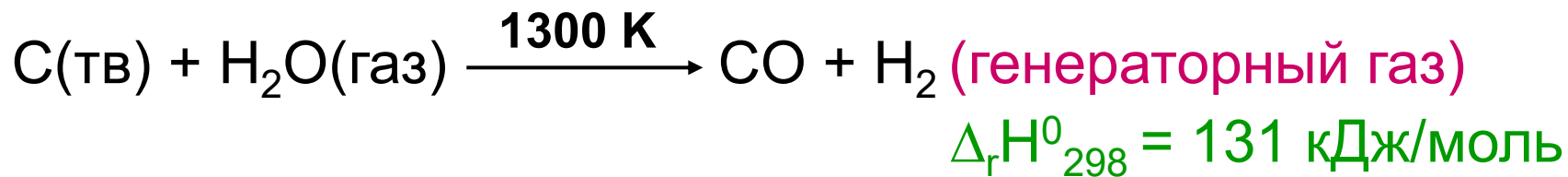
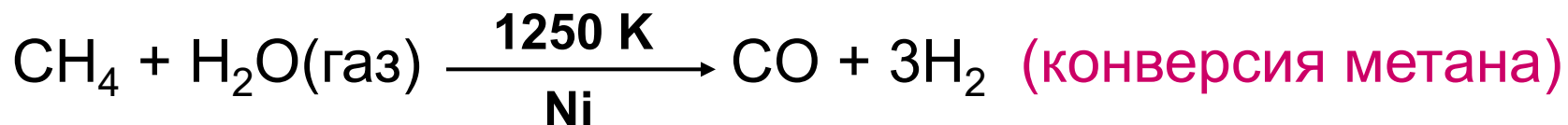
$$d(\text{H}-\text{H}) = 74 \text{ pm}$$

Двухатомные молекулы и ионы

	H_2^+	H_2	H_2^-
E			
$2\sigma (\sigma^*)$	—	—	↑ —
$1\sigma (\sigma_{CB})$	↑ —	↑↓ —	↑↓ —
К.С.	$\frac{1}{2}$	1	$\frac{1}{2}$
$d, \text{\AA}$	1.06	0.74	1.12
$E,$ кДж/моль	255	435	142

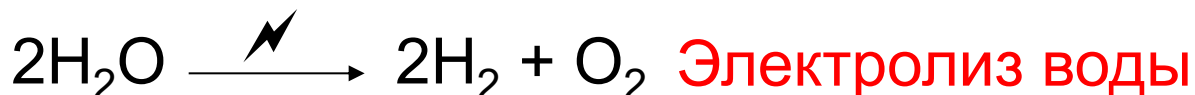
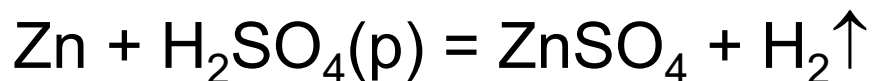
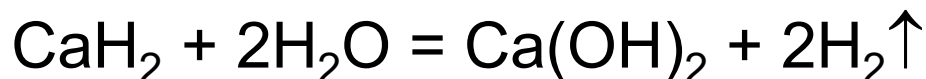
Получение и свойства водорода

1. Получение в промышленности



Получение и свойства водорода

2. Получение в лаборатории



3. Низкая реакционная способность

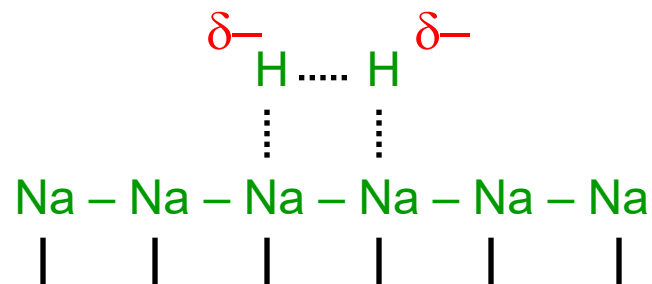
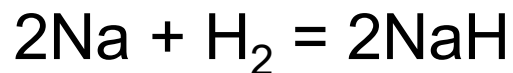
$$T_{\text{ат}} = 2000 \text{ К.}$$

На холоду в темноте реагирует только с F_2

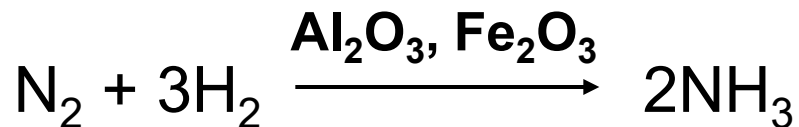
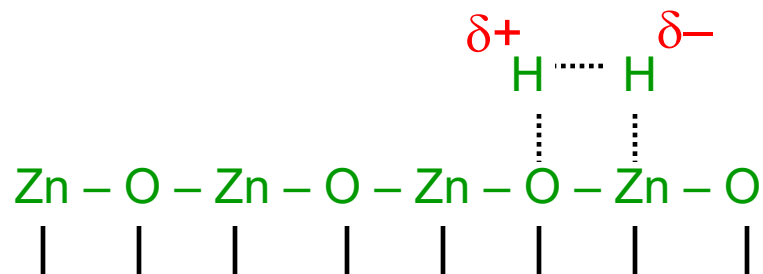
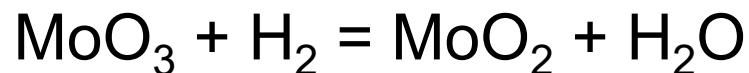
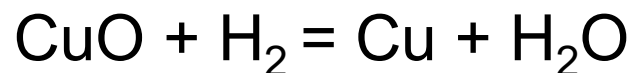
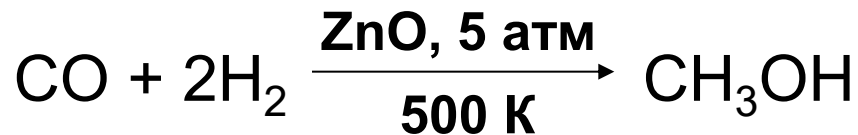


Получение и свойства водорода

4. Активация гомолитической диссоциации

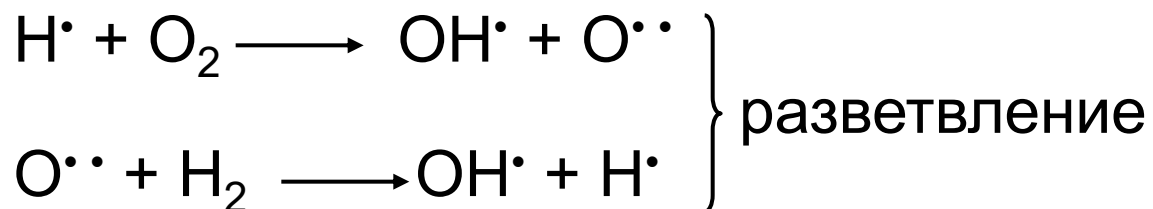


5. Активация гетеролитической диссоциации



Получение и свойства водорода

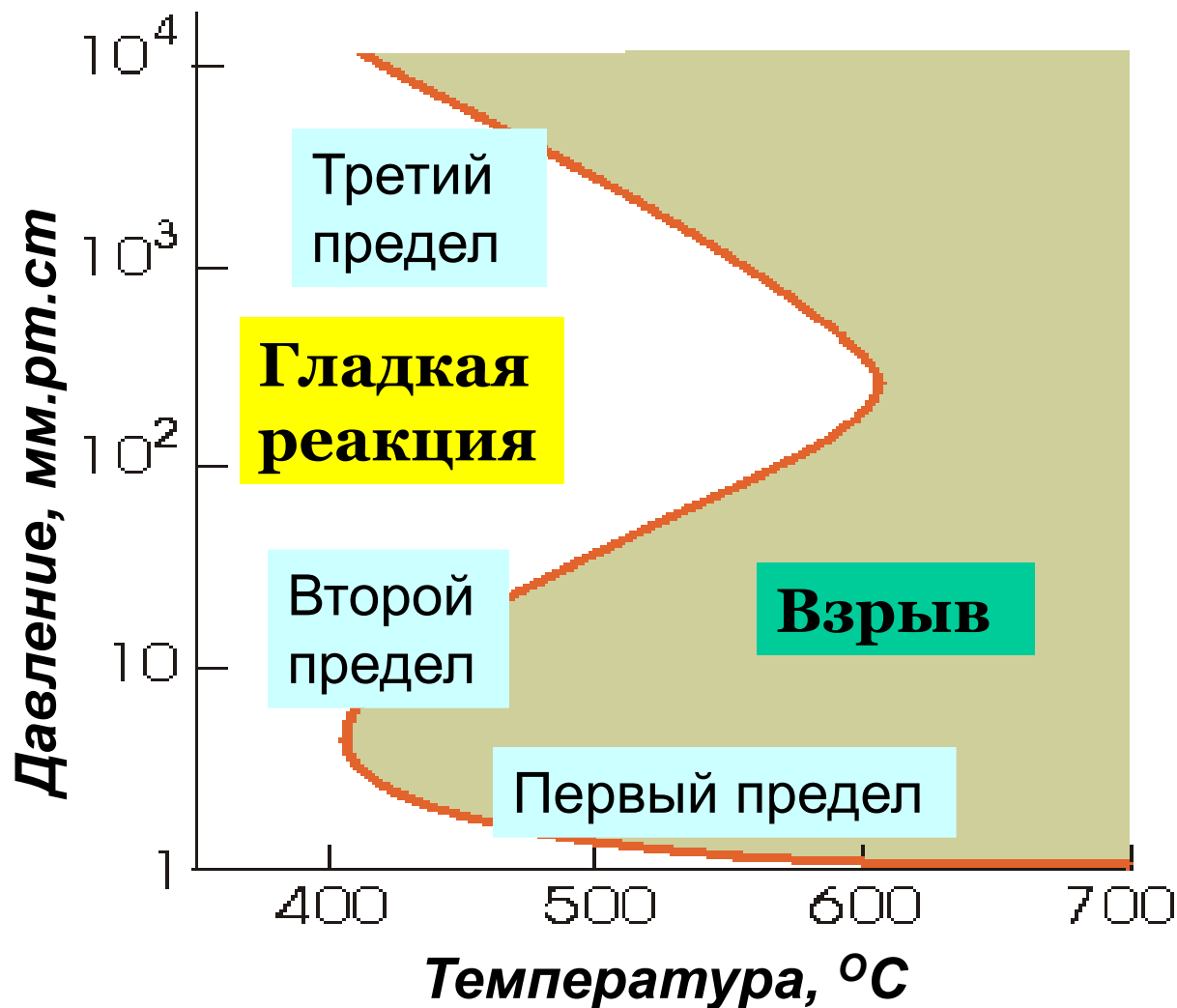
6. Инициация радикалов



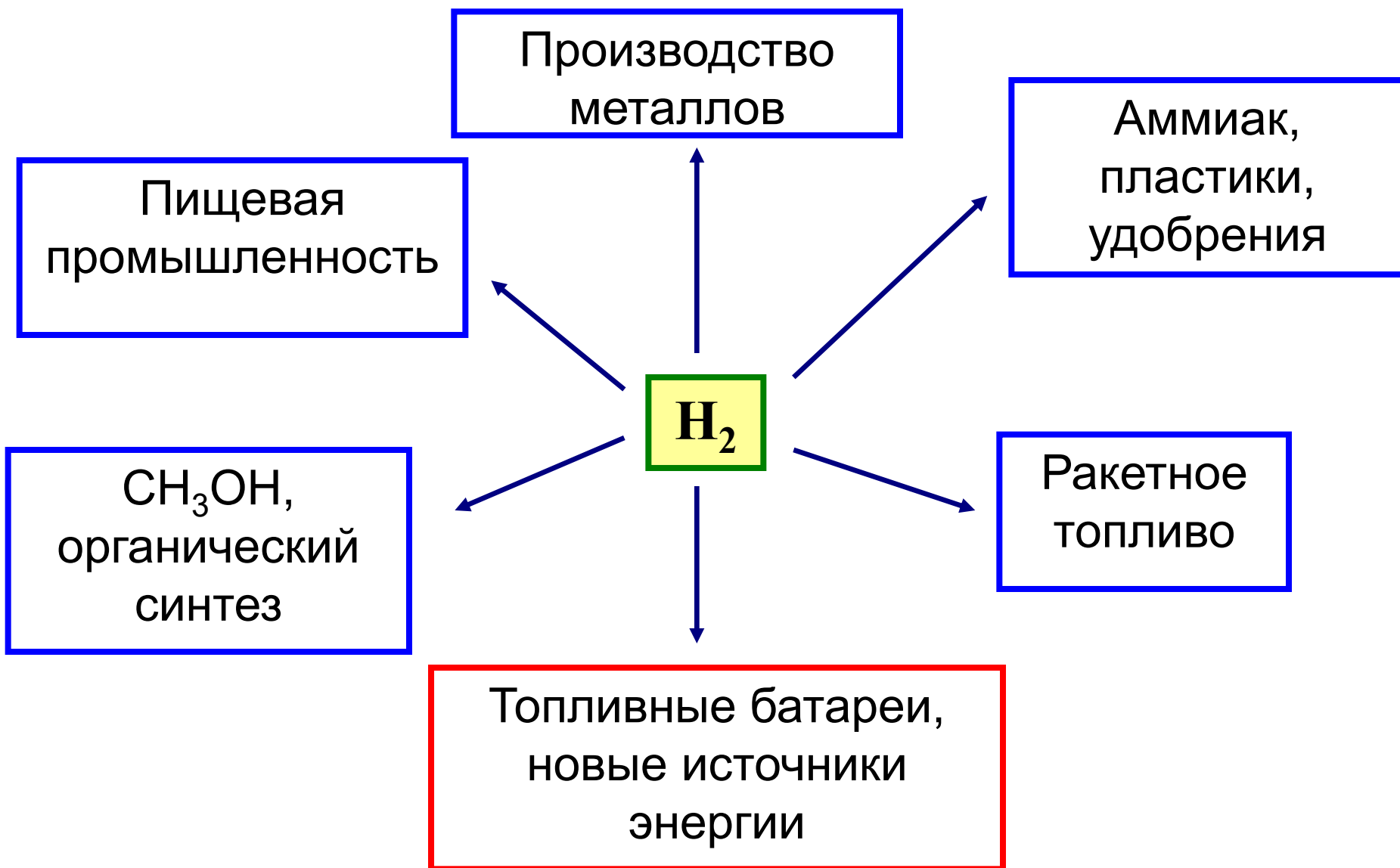
Цепные реакции

Взрывоопасность водорода

Для реакции $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$



Применение водорода

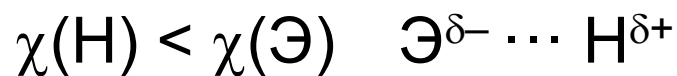
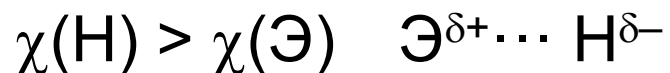


Образование химической связи

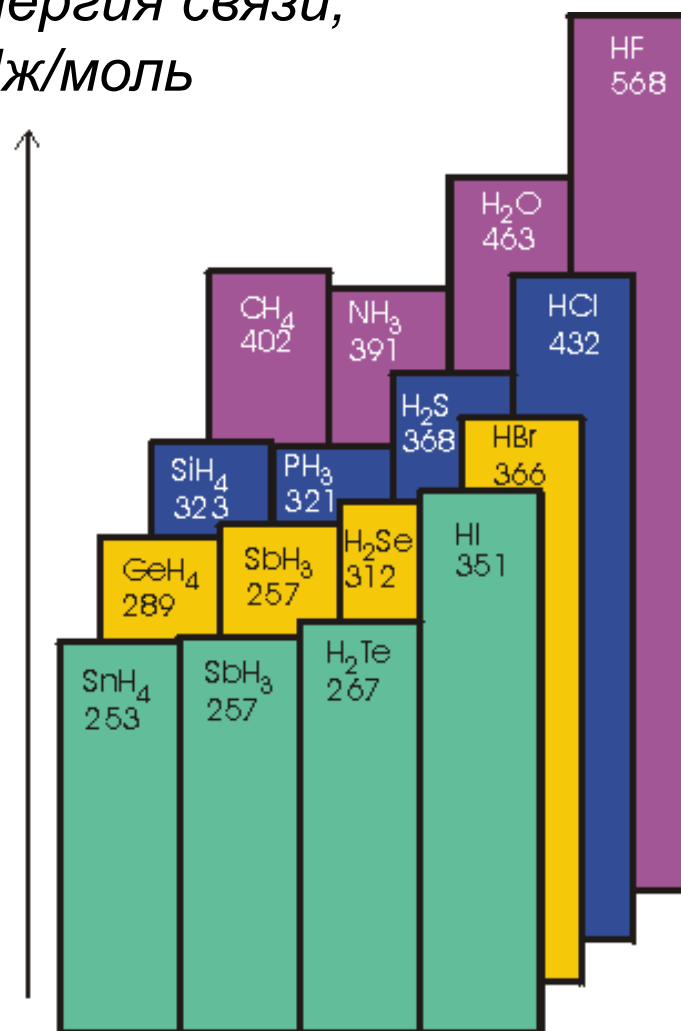
$$\chi^p(\text{H}) = 2.1$$

Si	Ge	B	H	As	P	C
1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.6

$$E(\text{H}-\text{H}) = 435 \text{ кДж/моль}$$



Энергия связи,
кДж/моль



Водородная связь

Водородная связь образуется между связанным водородом и электроотрицательными элементами, имеющими неподеленную электронную пару

Е, кДж/моль

H $\cdots$ FH 29

H $\cdots$ OH₂ 25

H $\cdots$ NH₃ 17

H $\cdots$ SH₂ 7

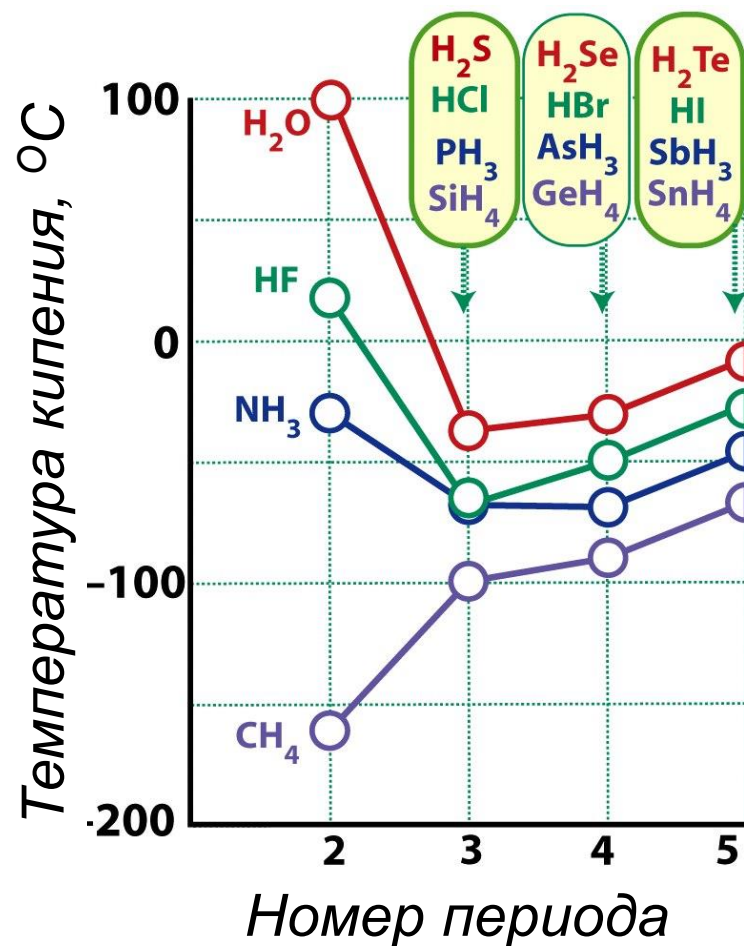
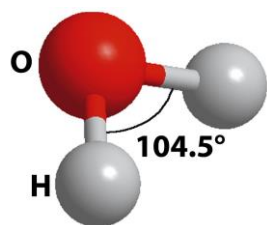


Figure 9-4

Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition

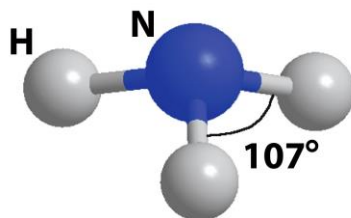
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong

Водородная связь



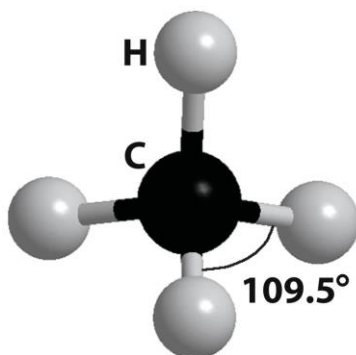
вода

Structure ...
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



аммиак

Structure ...
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



метан

Structure ...
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

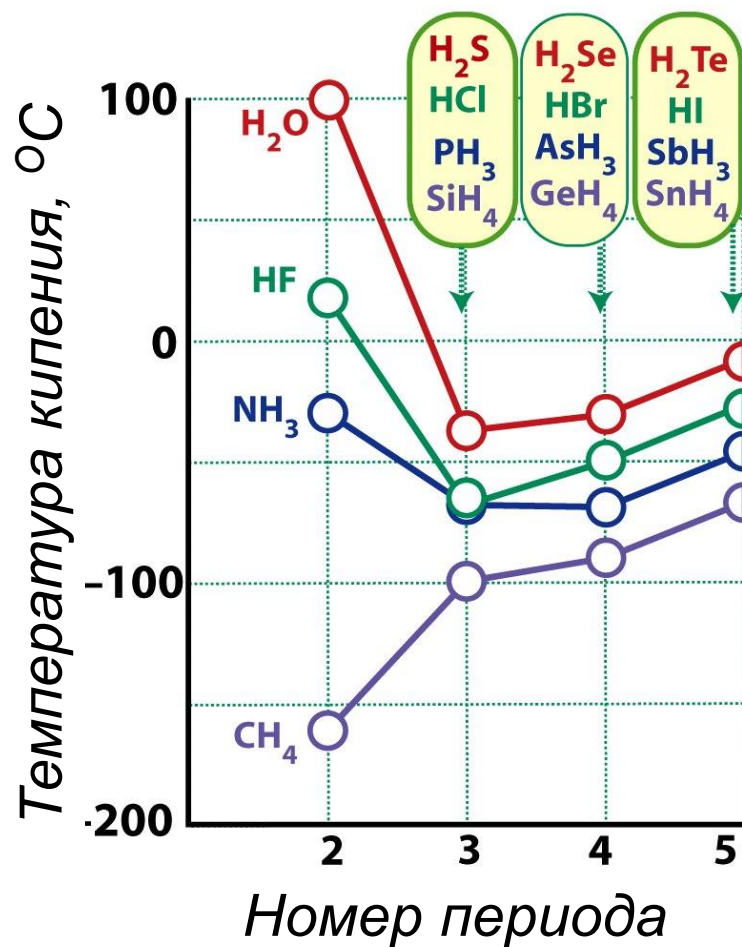


Figure 9-4

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

Гидриды

	1	2											13/III	14/IV	15/V	16/VI	17/VII	18/VIII
	Li	Be											B	C	N	O	F	He
2	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ne
3	K	Ca	Sr	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
4	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
6																		



солеобразные

металлические

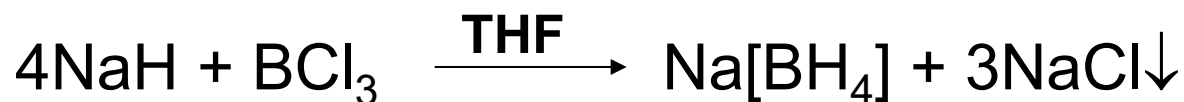
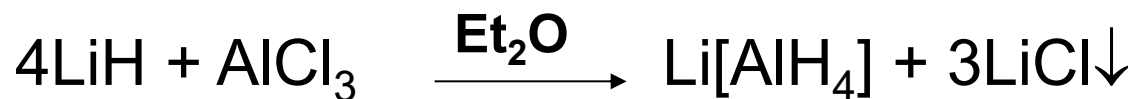
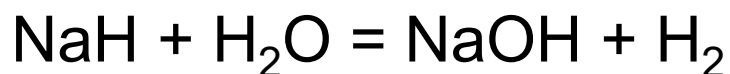
полимерные

молекулярные

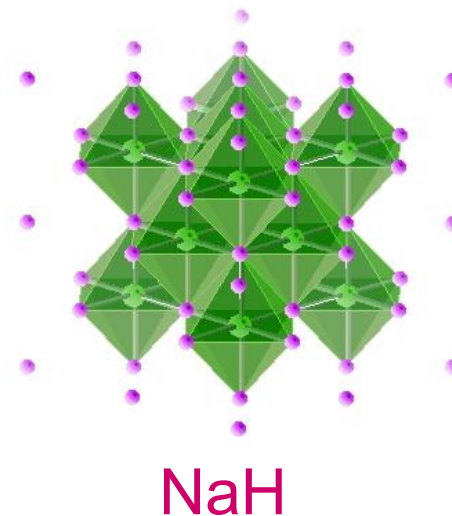
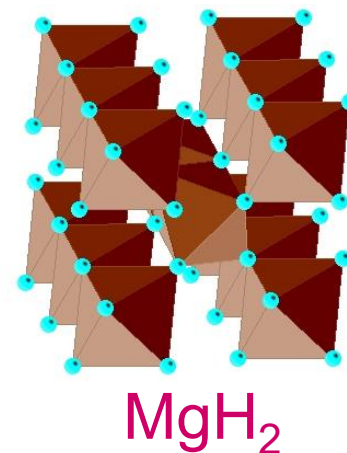
неизвестны

Гидриды

1. Солеобразные гидриды



Солеобразные гидриды обладают структурами галогенидов щелочных и щелочноземельных металлов:

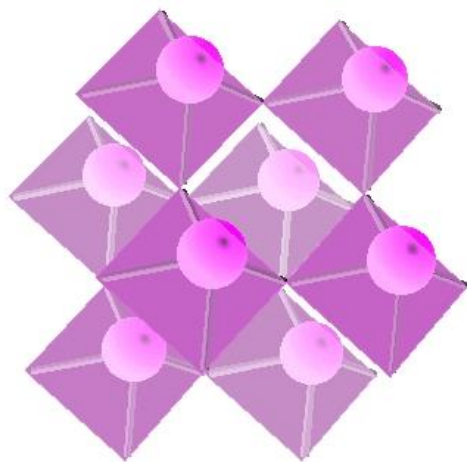
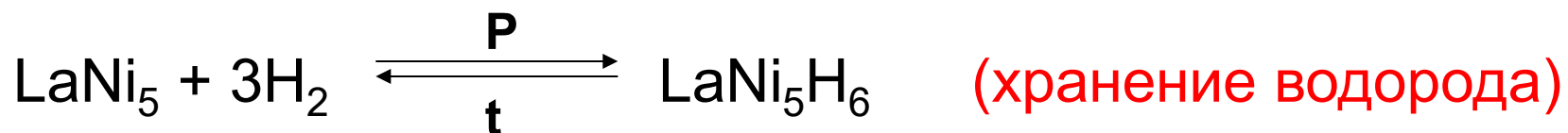


Ионные соединения!

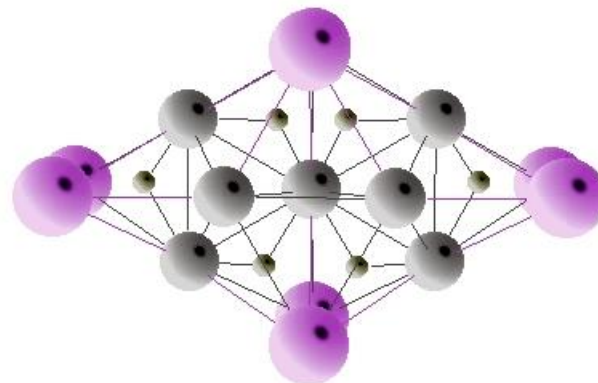
Гидриды

2. Металлические гидриды

Металлическая проводимость, нестехиометрия



ZrH_x

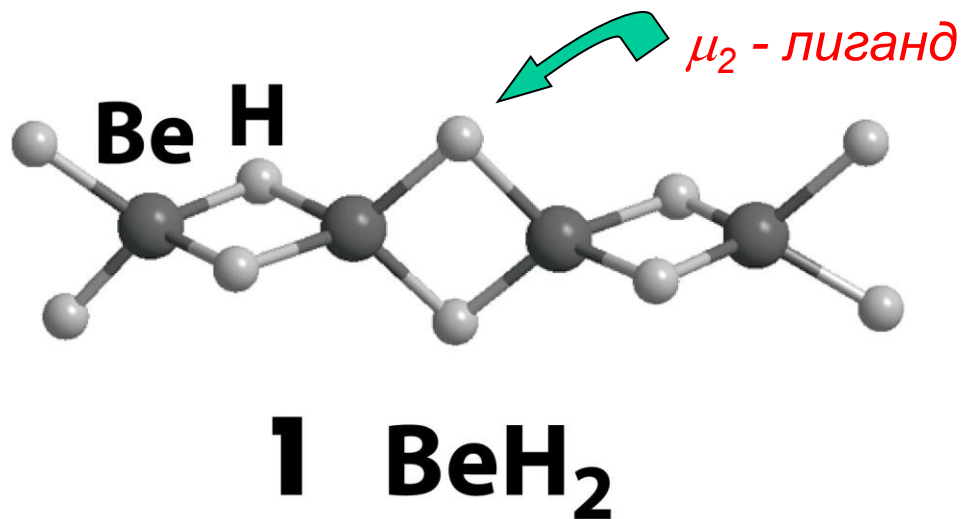
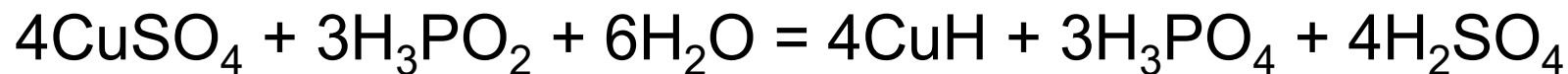
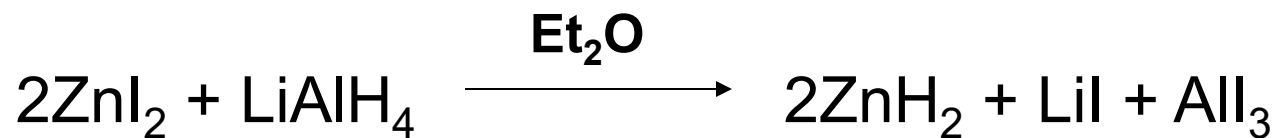


LaNi_5H_6

Гидриды

3. Полимерные гидриды

Устойчивы к действию воды и разбавленных кислот



Свойства элементов 1 группы

	Li	Na	K	Rb	Cs
Электр. конф.	[He]2s ¹	[Ne]3s ¹	[Ar]4s ¹	[Kr]5s ¹	[Xe]6s ¹
R _M (Å)	1.52	1.86	2.31	2.44	2.62
R _M ⁺ (Å)	0.74	1.02	1.38	1.49	1.70
I ₁ (эВ)	5.38	5.12	4.33	4.17	3.90
χ ^P	0.98	0.93	0.82	0.82	0.70
χ ^{A-R}	0.97	1.01	0.91	0.89	0.86
C.O.	0, +1	0, +1	0, +1	0, +1	0, +1

Свойства элементов 1 группы

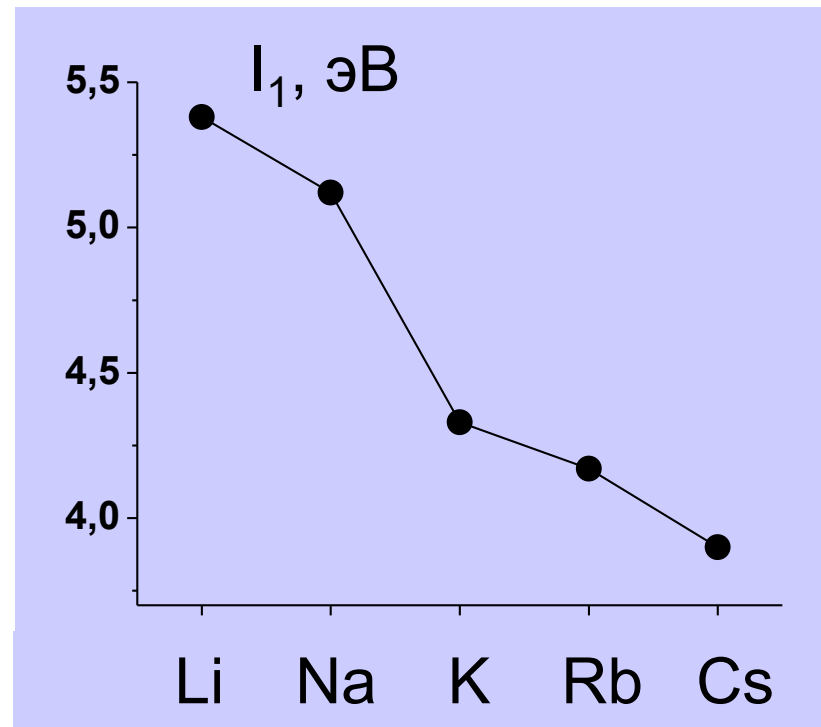
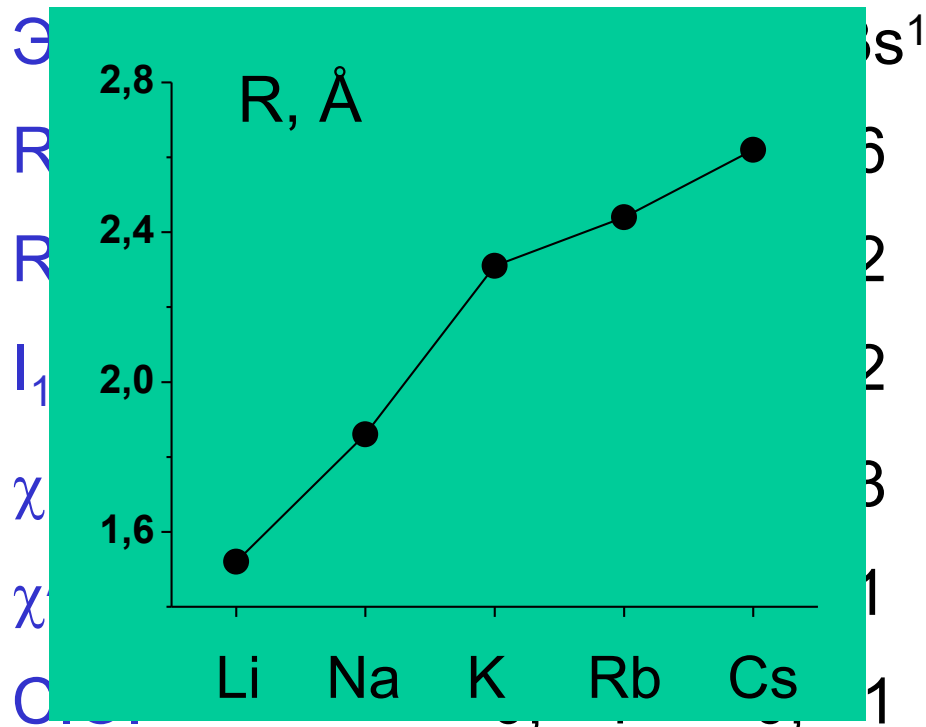
Li

Na

K

Rb

Cs



Свойства элементов 1 группы

Электр. конф. [He]

R_M (Å)

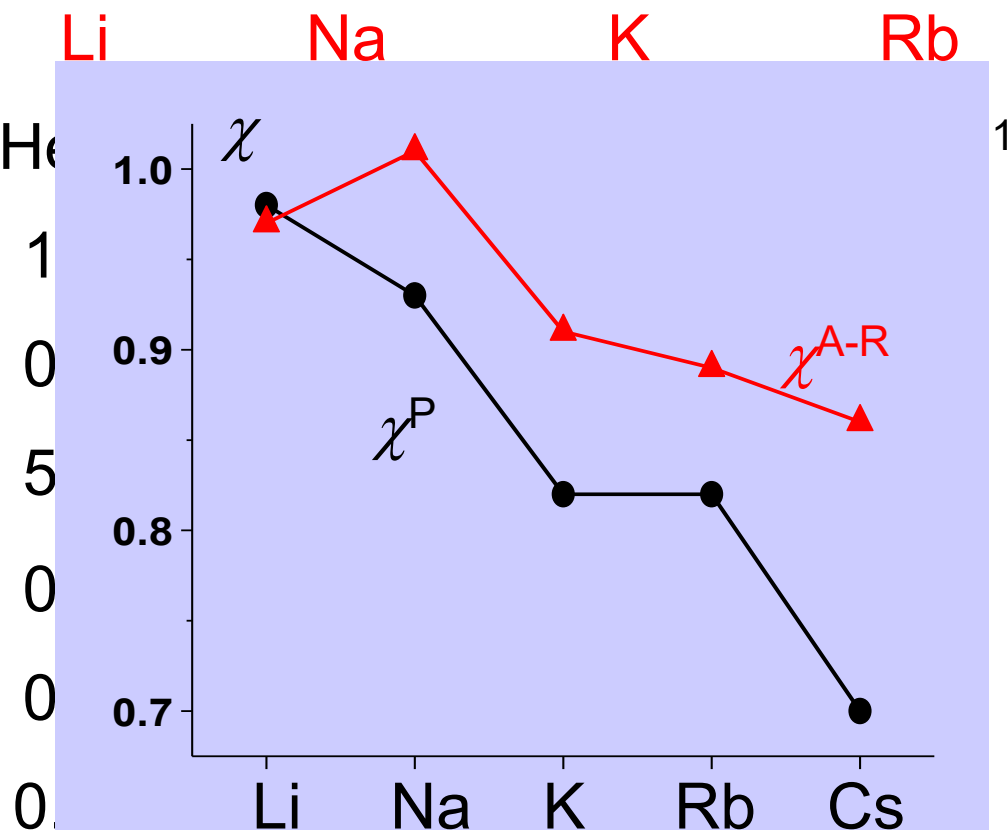
R_{M^+} (Å)

I_1 (эВ)

χ^P

χ^{A-R}

C.O.



[Xe]6s¹

2.62

1.70

3.90

0.70

0.86

0, +1

Свойства элементов 1 группы

	Li	Na	K	Rb	Cs
Электр. конф.	[He]2s ¹	[Ne]3s ¹	[Ar]4s ¹	[Kr]5s ¹	[Xe]6s ¹
R _M (Å)	1.52	1.86	2.31	2.44	2.62
R _{M⁺} (Å)	0.74	1.02	1.38	1.49	1.70
I ₁ (эВ)	5.38	5.12	4.33	4.17	3.90
χ ^P	0.98	0.93	0.82	0.82	0.70
χ ^{A-R}	0.97	1.01	0.91	0.89	0.86
C.O.	0, +1	0, +1	0, +1	0, +1	0, +1

Свойства щелочных металлов

	Li	Na	K	Rb	Cs
Т.пл. (°C)	180	98	64	40	29
Т.кип. (°C)	1342	883	759	688	671
d (г/см ³)	0.53	0.97	0.86	1.53	1.90
E _{М⁺/М} (В)	-3.04	-2.71	-2.94	-2.98	-3.03
Δ _{ат} Н ⁰ ₂₉₈ (кДж/моль)	161	108	90	82	78
E _{М-М} (кДж/моль)	110	74	55	49	44
Цвет в пламени	Красный	Желтый	Фиолетовый	Розовый	Голубой

Свойства щелочных металлов

Li

Na

K

Rb

Cs

64

40

29

Т.п.

Т.кп.

d (г/см³)

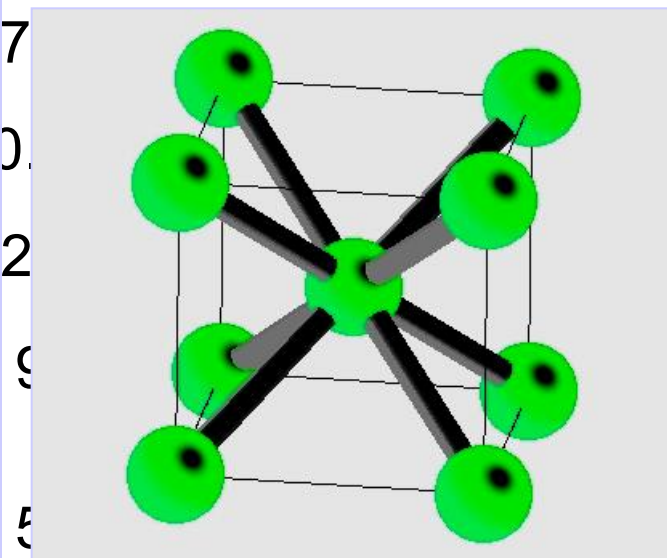
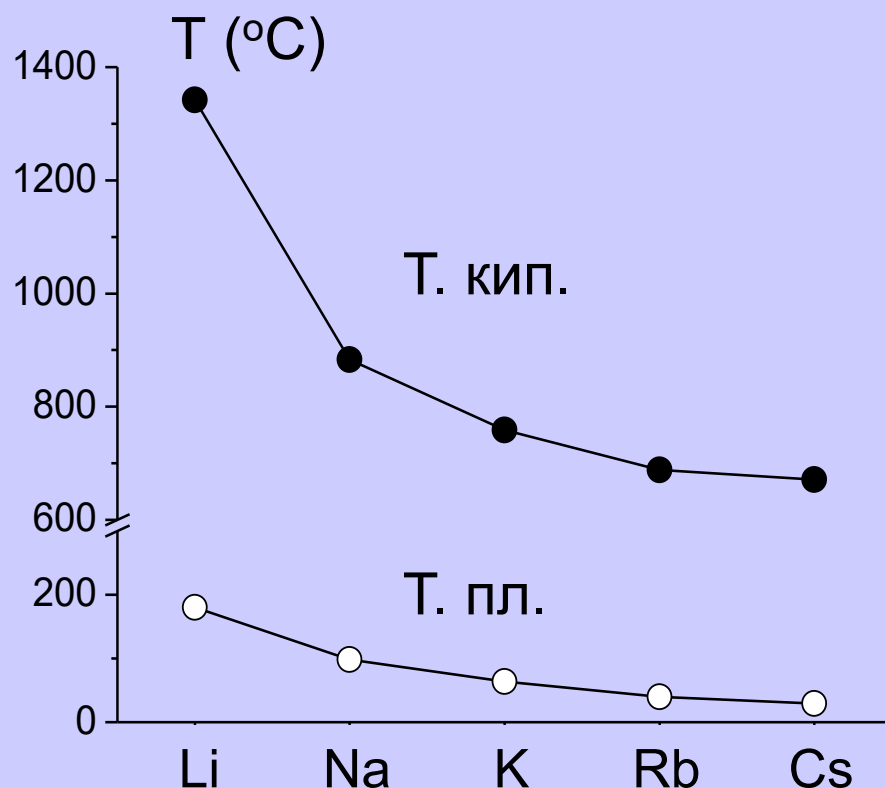
Е_м

Δ_{ат}

(кДж/моль)

Е_{м-ион}

Цвет



Летовый Розовый Голубой

Свойства щелочных металлов

	Li	Na	K	Rb	Cs
Т.пл. (°C)	180	98	64	40	29
Т.кип. (°C)	1342	883	759	688	671
d (г/см ³)	0.53	0.97	0.86	1.53	1.90
E _{М⁺/М} (В)	-3.04	-2.71	-2.94	-2.98	-3.03
Δ _{ат} Н ⁰ ₂₉₈ (кДж/моль)	161	108	90	82	78
E _{М-М} (кДж/моль)	110	74	55	49	44
Цвет в пламени	Красный	Желтый	Фиолетовый	Розовый	Голубой

Свойства щелочных металлов

Т.пл. (°C)

Т.кип. (°C)

d (г/см³)

$E_{M^+/M}$ (В)

$\Delta_{\text{ат}} H_{298}^0$
(кДж/моль)

E_{M-M} (кДж/моль)

Цвет в пламени

Li

Na

K

Rb

Cs

$E (M^+/M), \text{В}$

-2,7

-2,8

-2,9

-3,0

-3,1

Li

Na

K

Rb

Cs

9

71

90

03

8

4

убой

Свойства щелочных металлов

	Li	Na	K	Rb	Cs
Т.пл. (°C)	180	98	64	40	29
Т.кип. (°C)	1342	883	759	688	671
d (г/см ³)	0.53	0.97	0.86	1.53	1.90
E _{M⁺/M} (В)	-3.04	-2.71	-2.94	-2.98	-3.03
Δ _{ат} H ⁰ ₂₉₈ (кДж/моль)	161	108	90	82	78
E _{M-M} (кДж/моль)	110	74	55	49	44
Цвет в пламени	Красный	Желтый	Фиолетовый	Розовый	Голубой
λ, нм	671	589	770	780	852
	610		767	795	894
			404	420	455

Минералы щелочных металлов

Li Сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

Na Галит NaCl

Мирабилит $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Чилийская селитра NaNO_3

Бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Криолит Na_3AlF_6

K Сильвин KCl

Карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Сильвинит $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$

Rb, Cs

Сопутствуют калию



Галит



Чилийская селитра

Минералы щелочных металлов

Li Сподумен $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$

Na Галит NaCl

Мирабилит $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$

Чилийская селитра

Бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

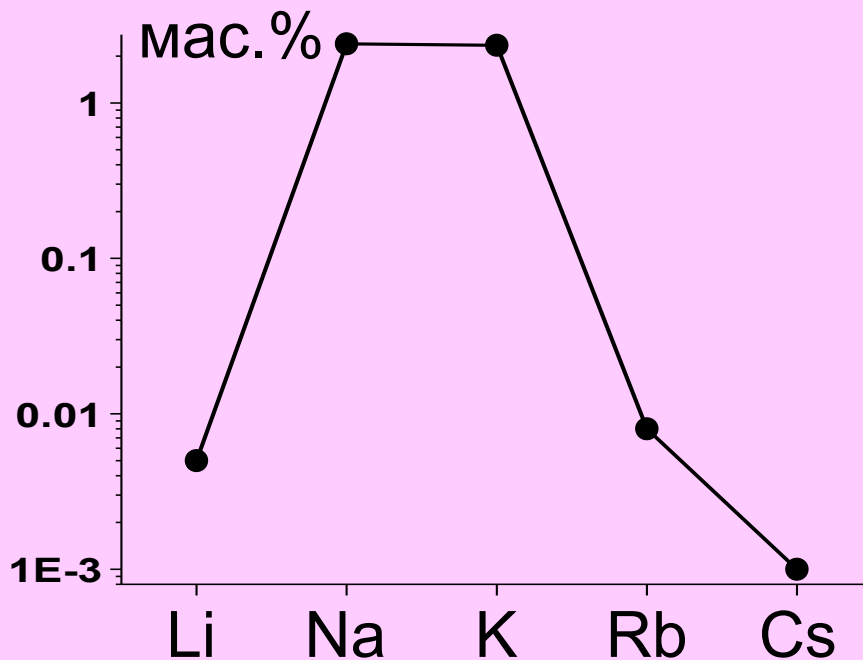
Криолит Na_3AlF_6

K Сильвин KCl

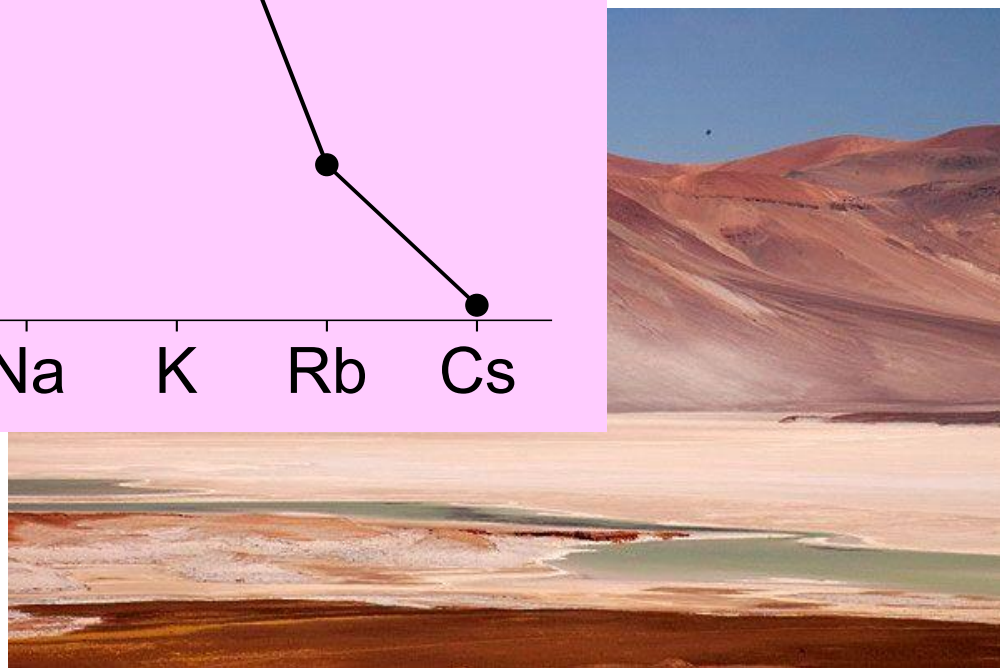
Карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

лаузит

ию



Галит



Чилийская селитра

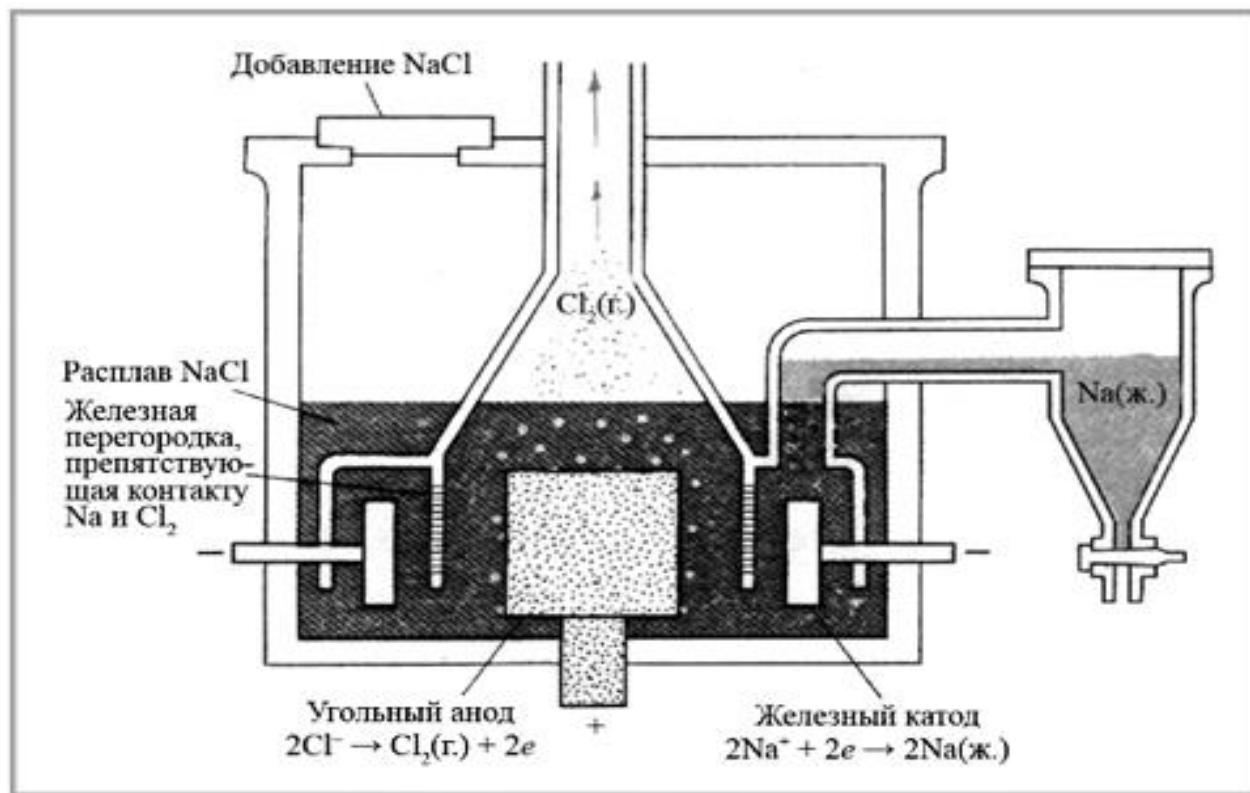
Получение щелочных металлов

Промышленное получение натрия (процесс Даунса):

Электролиз расплава $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ при 580°C

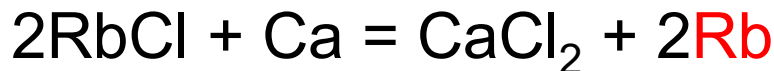
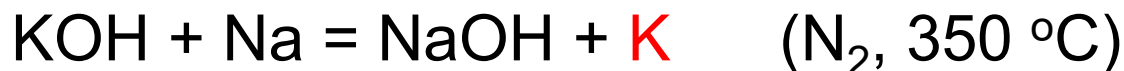
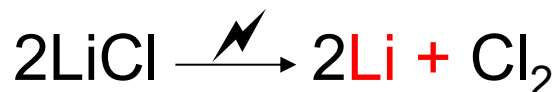
На катоде: $\text{Na}^+(\text{ж}) + e^- = \text{Na}(\text{ж})$

На аноде: $2\text{Cl}^-(\text{ж}) = \text{Cl}_2(\text{г}) + 2e^-$



Получение щелочных металлов

Получение других щелочных металлов:



Кристаллы Cs

Применение щелочных металлов

1. **Li**: источники тока, аккумуляторы



2. **Li**: легкие сплавы Li-Mg-Al, Li-Al-Cu

3. **Na**: в химической промышленности

4. **Na**: в пищевой промышленности



5. **Na**: хлоралкалиновое производство

6. **Na**: производство стекла

7. **Na, K**: производство удобрений

8. **Na, K**: в медицине

9. **Rb, Cs**: в оптических устройствах

10. **Cs**: «атомные часы»



Основные химические свойства

1. Окисление кислородом (горение)



Известен $\text{Cs}_4\text{O}_6 \equiv \text{Cs}_4(\text{O}_2^{2-})(\text{O}_2^-)_2$ пероксид-надпероксид

2. Взаимодействие с водой



3. Образование озонидов

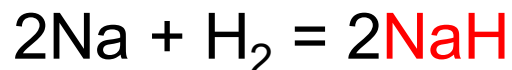


Основные химические свойства

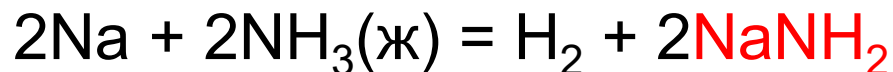
4. Окисление галогенами

$2\text{Na} + \text{Cl}_2 = 2\text{NaCl}$ бурно для всех металлов и галогенов

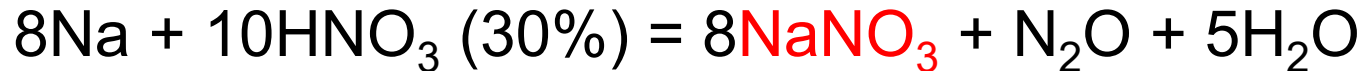
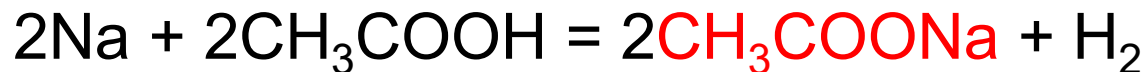
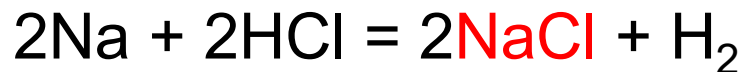
5. Образование солеобразных гидридов



6. Растворение в жидком аммиаке

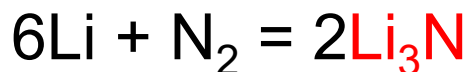


7. Растворение в кислотах



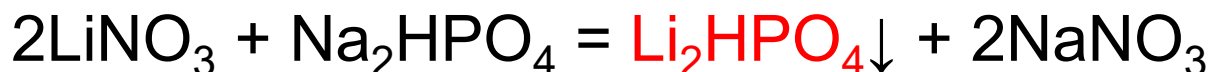
Особые свойства лития

1. Литий реагирует с азотом, образуя устойчивый нитрид

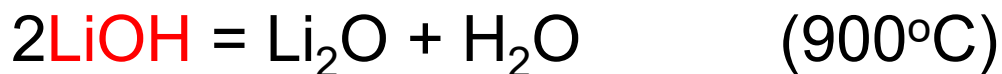


2. Литий реагирует с углем, образуя карбиды Li_2C_2 и Li_4C_3

3. Фторид, карбонат и фосфат лития плохо растворимы в воде



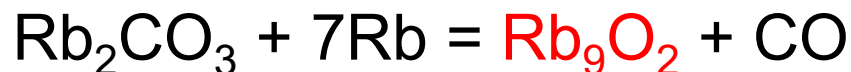
4. Гидроксид и карбонат лития разлагаются при нагревании в жидкой или твердой фазе



5. Литий не образует квасцов

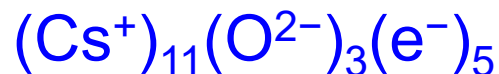
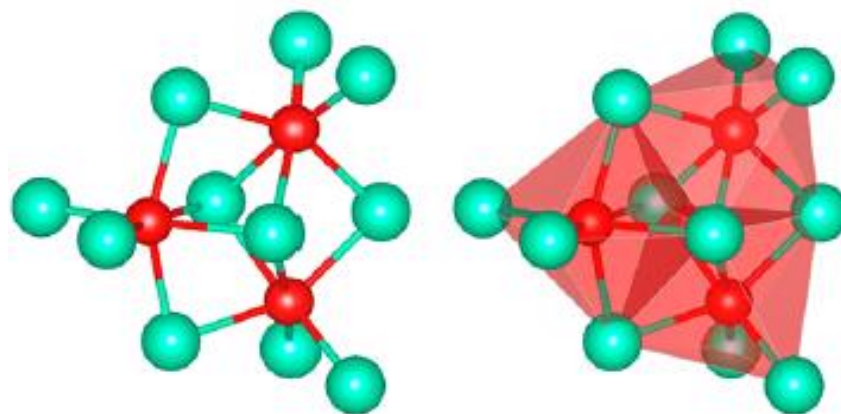
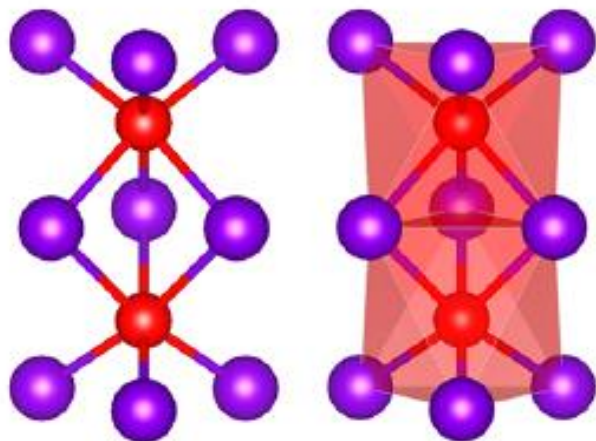
Особые свойства рубидия и цезия

Образуют субоксиды

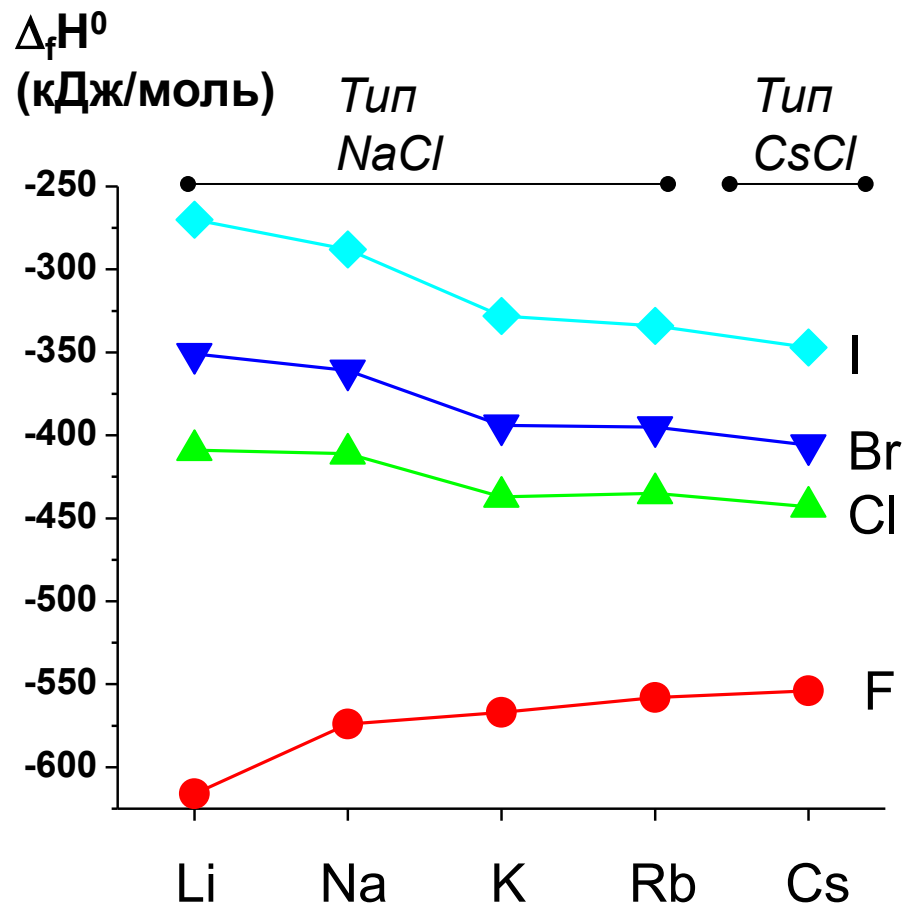
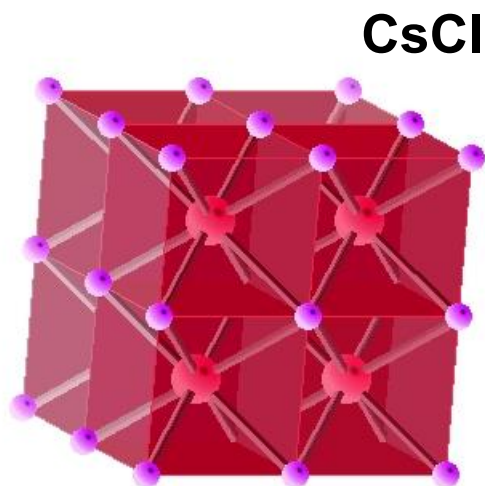
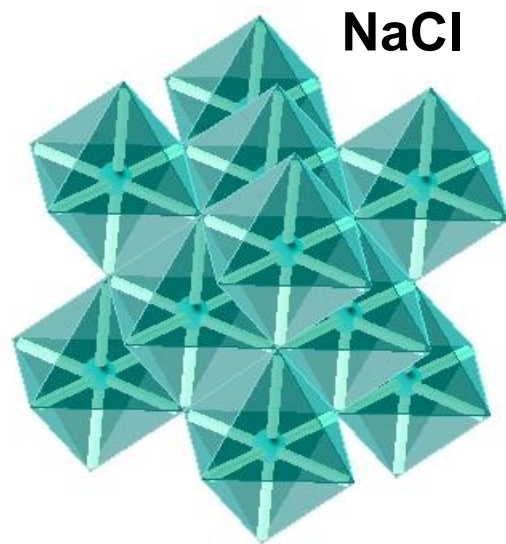


$$d(\text{M}-\text{O}) = 350-400 \text{ pm}$$

Аналогично:

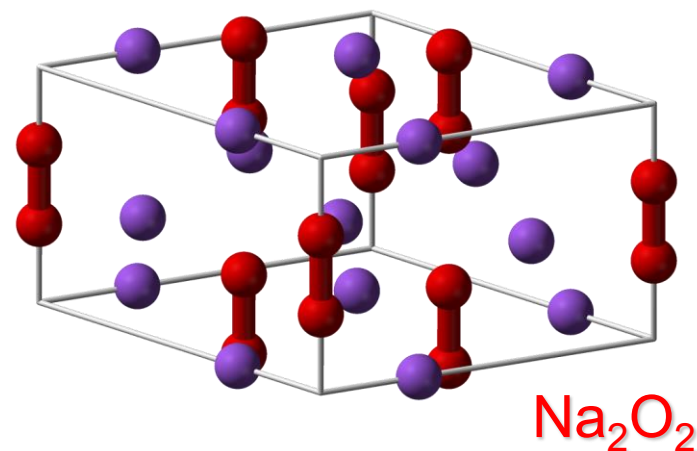
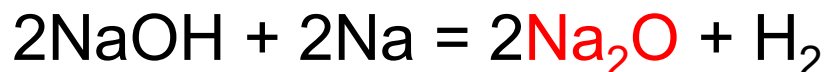
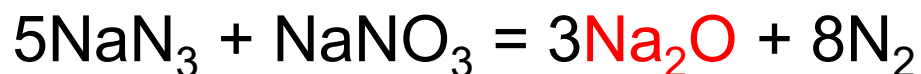
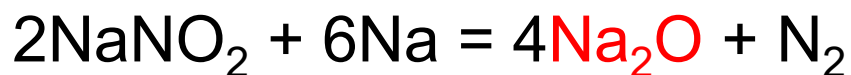


Галогениды щелочных металлов

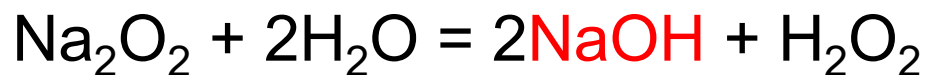


Оксиды, пероксиды и гидроксиды

1. Получение оксидов:

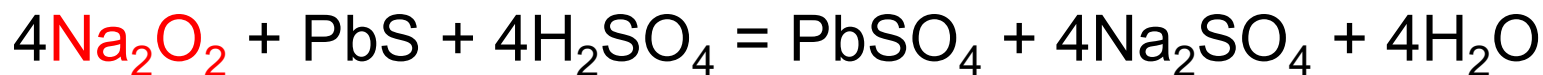
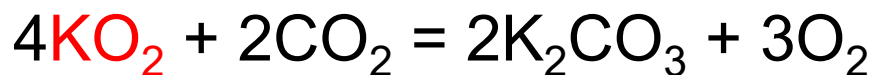


2. Взаимодействие оксидов и пероксидов с водой:

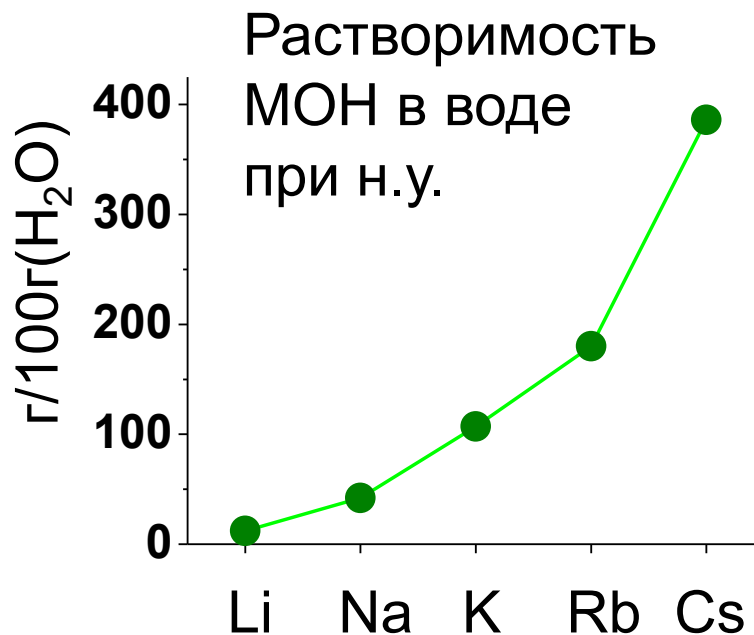
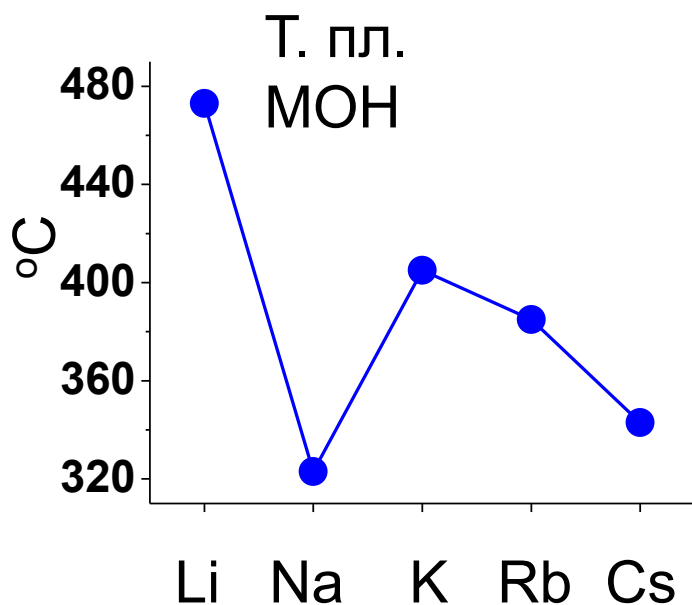


Оксиды, пероксиды и гидроксиды

3. Окислительные свойства пероксидов:



4. Гидроксиды (кроме LiOH) растворимы в воде и плавятся без разложения



МОН – сильные основания

LiOH

NaOH

KOH

RbOH

CsOH

Увеличение радиуса катиона M^+

Ослабление связи $M-OH$

Увеличение степени диссоциации

Увеличение силы основания

Получение щелочи и соды

Хлоралкалиновое производство:

Электролиз раствора NaCl с инертным анодом и диафрагмой

На катоде: $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^- + \text{H}_2$

На аноде: $2\text{Cl}^- = \text{Cl}_2(\text{г}) + 2\text{e}^-$

Суммарно: $2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2$

Получение соды методом Сольвэ
(свыше 30 млн. тонн в год):

1. Насыщение рассола аммиаком и углекислым газом



2. Разложение бикарбоната натрия

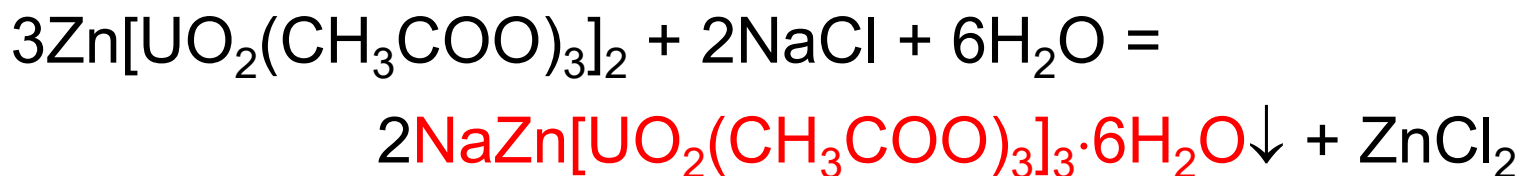


Малорастворимые соли

1. Только **Li** образует много нерастворимых солей

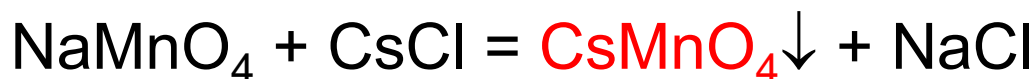


2. Нерастворимые соли **Na**:



желтый осадок

3. Нерастворимые соли **K, Rb, Cs** однотипны



Также известны $\text{M}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$, $\text{M}_3[\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Биологическая роль Na, K

Na/K насос: создает высокую концентрацию Na^+ вне клетки, K^+ - внутри клетки

Транспорт катионов против концентрации, используется при проведении нервного импульса

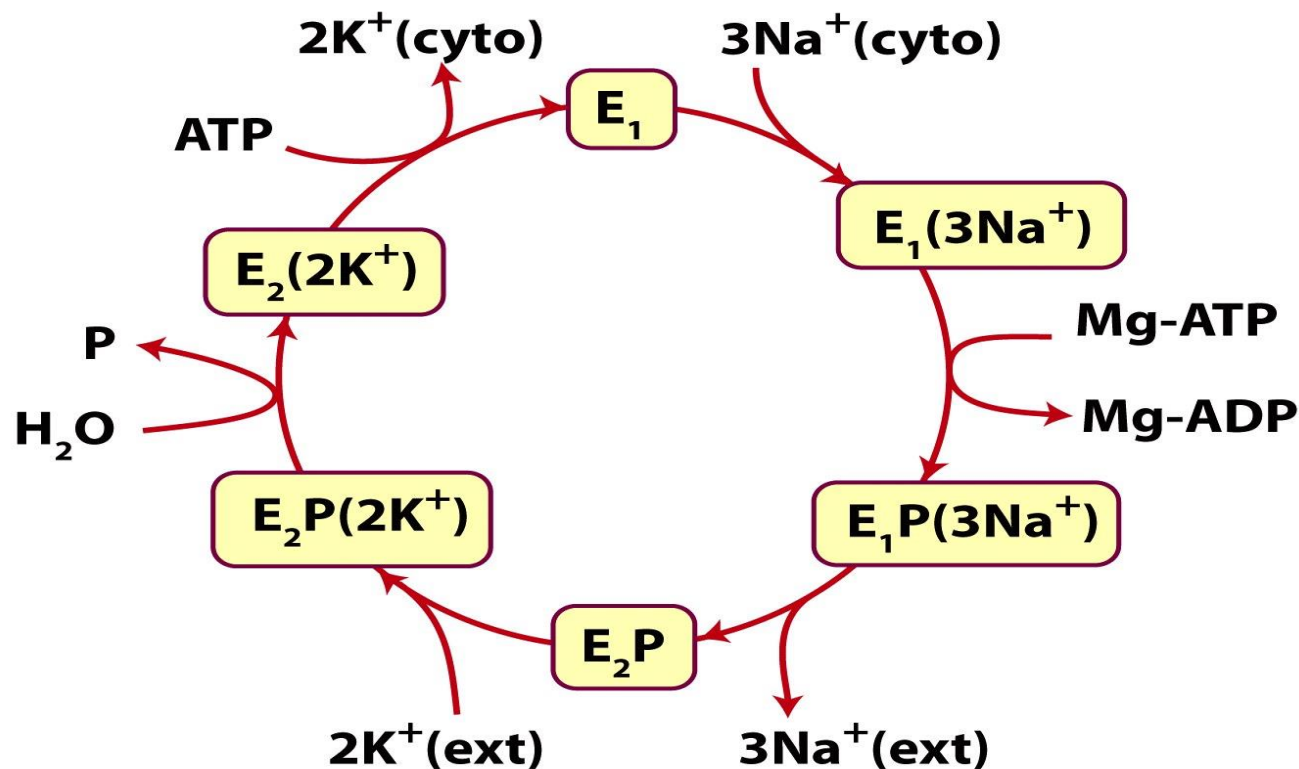


Figure 26-6
Shriver & Atkins Inorganic Chemistry, Fourth Edition
© 2006 by D. F. Shriver, P. W. Atkins, T. L. Overton, J. P. Rourke, M. T. Weller, and F. A. Armstrong