

# Химическая технология ядерного топлива

## Тема 3. Фториды урана

**Амелина Галина Николаевна**  
доцент ОЯТЦ ИЯТШ  
334-10 к.

# Фториды урана

$UF_3$

$UF_4$

$U_4F_{17}$

$U_2F_9$

$UF_5$

$UF_6$

$U_4F_{17} \equiv 3 \, UF_4 \times UF_5$

$U_2F_9 \equiv UF_4 \times UF_5$

# Тетрафторид урана $UF_4$

$t_{\text{пл.}} = 1036 \text{ } ^\circ\text{C}$

$t_{\text{кип.}} = 1417 \text{ } ^\circ\text{C}$

малорастворимая соль

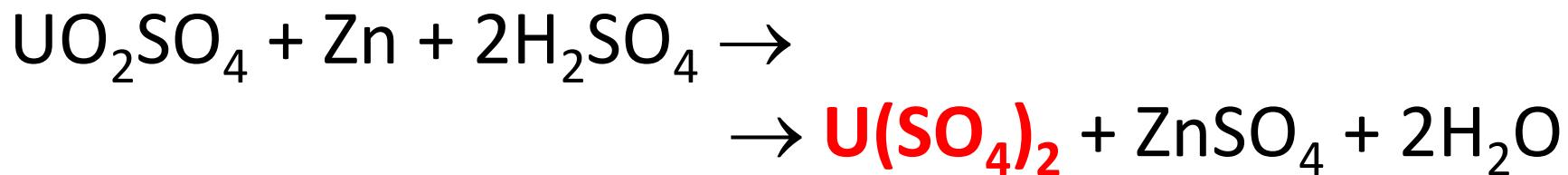
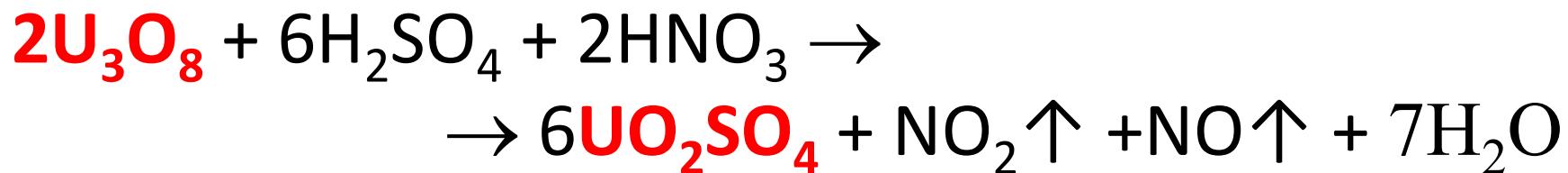
изоморфен

с  $\text{ThF}_4$ ,  $\text{PuF}_4$ ,  $\text{CeF}_4$ ,  $\text{HfF}_4$ ,  $\text{ZrF}_4$



# Методы получения $UF_4$

1) «Мокрый» способ (осаждение из р-ров):



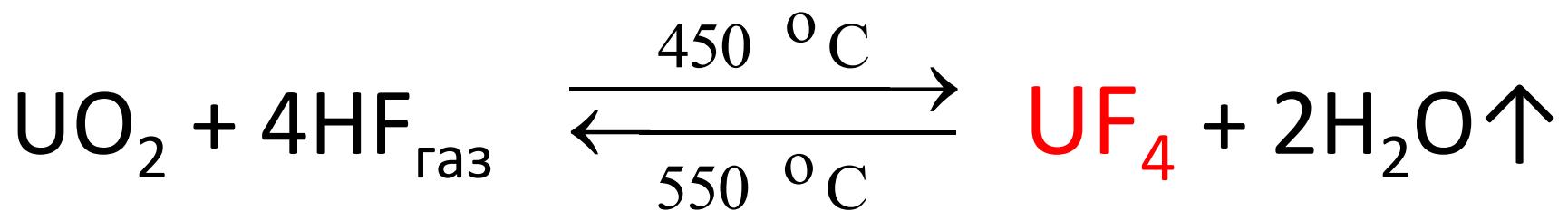
# Тетрафторид урана $UF_4$

## Кристаллогидраты $UF_4$ :

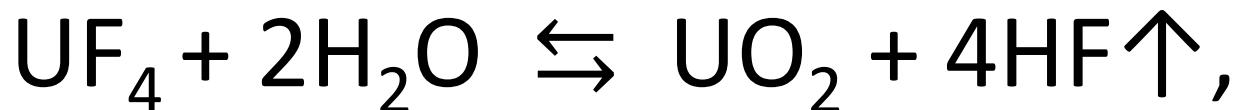
- при 20 °C –  $UF_4 \cdot 2,5H_2O$  –  
труднофильтруемый зеленый  
аморфный осадок;
- при 40–60 °C –  $UF_4 \cdot 1,5H_2O$ ;
- при 90–100 °C –  $UF_4 \cdot 0,5H_2O$  –  
крупные бирюзовые хорошо  
фильтрующиеся кристаллы

## Методы получения $UF_4$

### 2) Газофазное гидрофторирование:



### Пирогидролиз ( $> 500 \text{ } ^\circ\text{C}$ ):

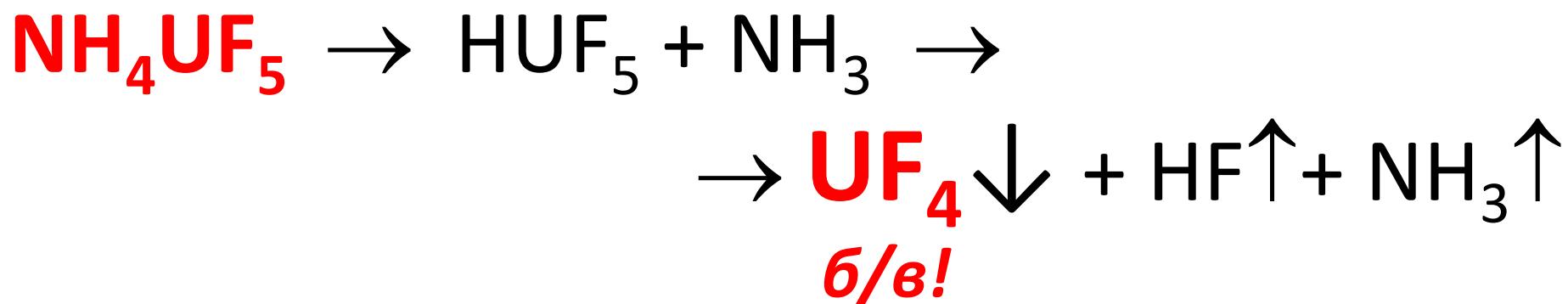


## Методы получения $UF_4$

Комплексные соли типа

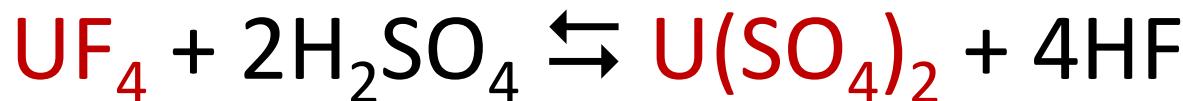
$MeUF_5$ ,  $Me_2UF_6$ ,  $Me_3UF_7$  и т.д.

3) Термическое разложение (500 °C) :

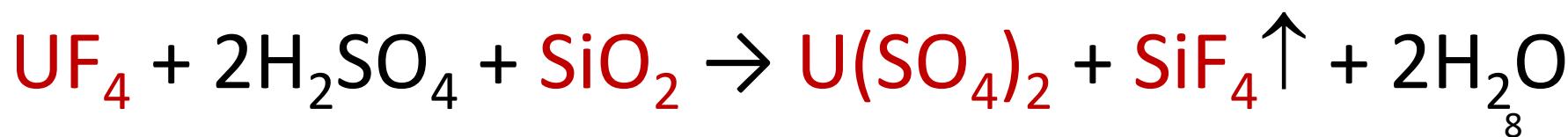
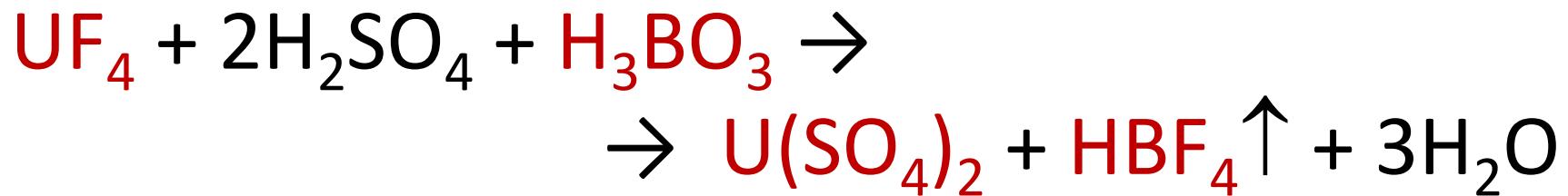


# Тетрафторид урана $UF_4$

1) С к-тами – неокислителями (горяч., конц.) – медленно:



В присутствии комплексообразователей (связывание иона фтора) – быстро:

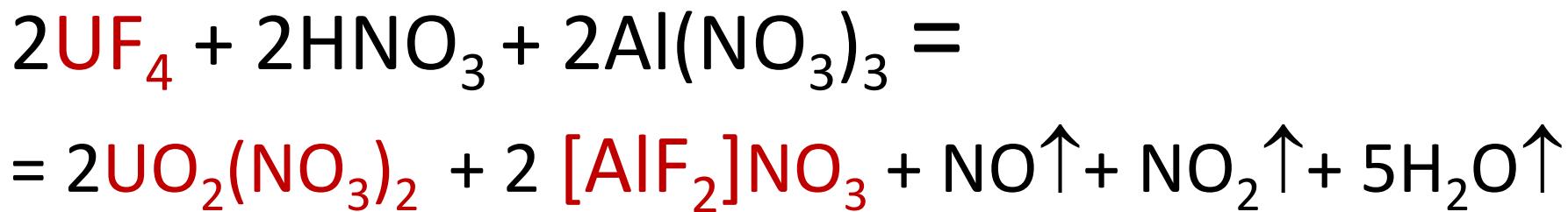


# Тетрафторид урана $UF_4$

2) В к-тах-окислителях и в р-рах в присутствии окислителей (с образованием  $UO_2^{2+}$ ) - легко



В присутствии комплексообразователей (связывание иона фтора):



# Тетрафторид урана $UF_4$

## 3) Растворы

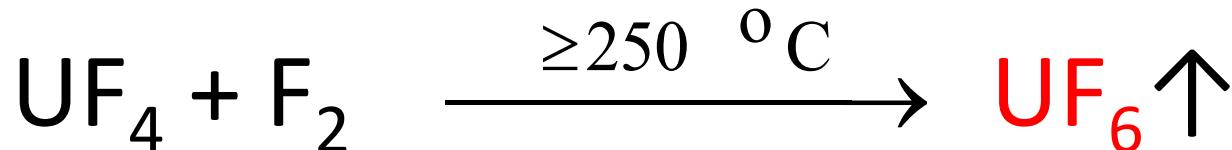
- щелочей,
- гидроксида аммония,
- соды

при нагревании превращают  $UF_4$  в  $U(OH)_4$  – нерастворимый, но легко вскрываемый к-тами.

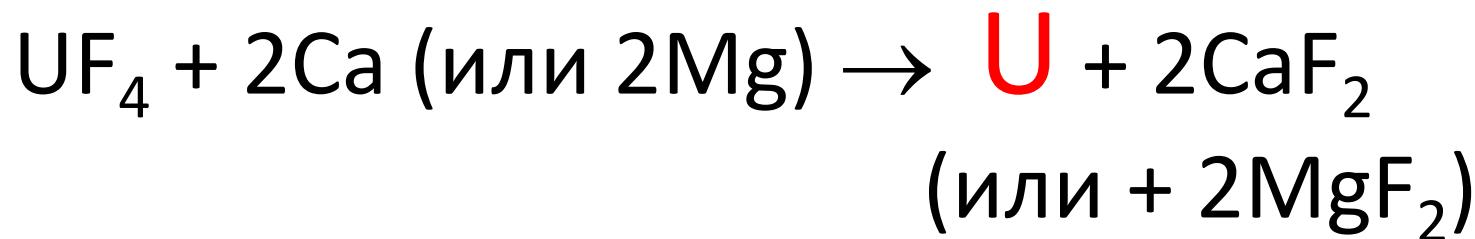
# Тетрафторид урана $UF_4$

## *Применение*

1) Получение гексафторида урана



2) Получение металлического урана



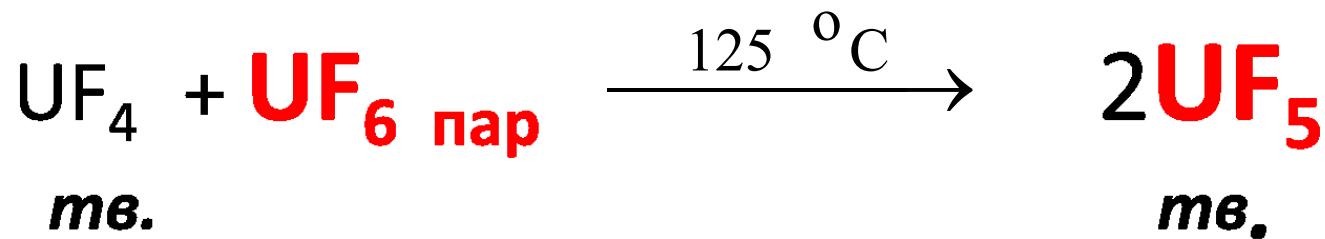
# Пентафторид и промежуточные фториды урана

$\mathbf{UF}_4$	$U_4F_{17}$	$U_2F_9$	$UF_5$
-----------------	-------------	----------	--------

$U_4F_{17}$	$\equiv$	$3 \, UF_4 \times UF_5$
$U_2F_9$	$\equiv$	$UF_4 \times UF_5$

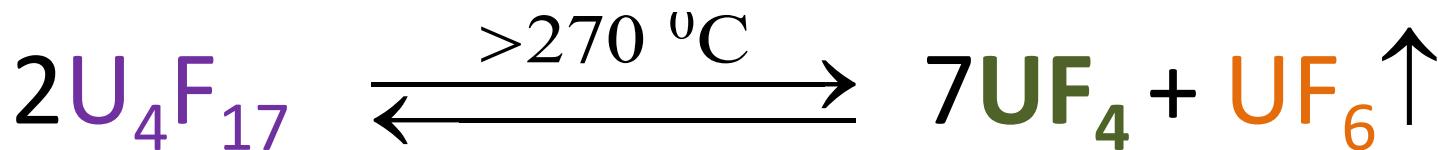
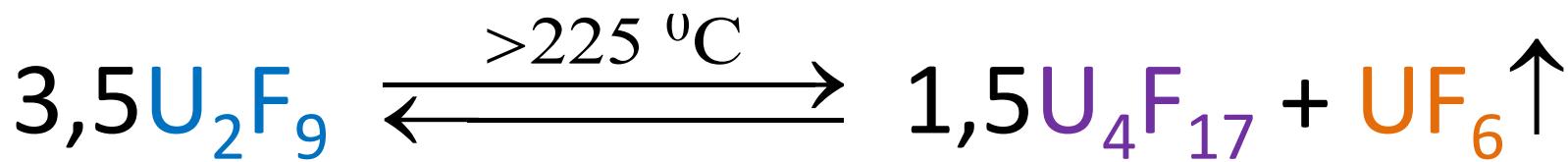
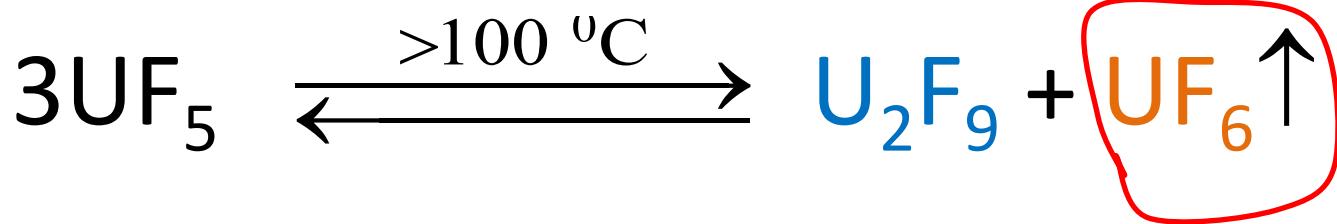
# Пентафторид и промежуточные фториды урана

Синтез **UF<sub>5</sub>** (сопропорционирование):



*Сопропорционирование идет через  
образование промежуточных фторидов  
U<sub>2</sub>F<sub>9</sub> и U<sub>4</sub>F<sub>17</sub>*

# Диспропорционирование $\text{UF}_5$ и промежуточных фторидов:



# Пентафторид и промежуточные фториды урана

Гидролиз (*сопровождается  
диспропорционированием*):



Ряд склонности к гидролизу



# Гексафторид урана $UF_6$

- $UF_6$  – бесцветное кристаллическое вещество, возгоняется без плавления (сублимирует)
- Единственное устойчивое летучее соединение урана



# Гексафторид урана $UF_6$

**Используется для разделения  
природных изотопов  
урана-235 и урана-238**

# Гексафторид урана $UF_6$

**Плотность** <sub>тв</sub> 25 °C = 5,06 г/см<sup>3</sup>

**Плотность** <sub>тв</sub> 62 °C = 4,87 г/см<sup>3</sup>

**Плотность** <sub>жид</sub> 69 °C = 3, 6 г/см<sup>3</sup>

**t** <sub>сублимации</sub> = 56,5 °C – давление 760 мм рт. ст.

**t** <sub>плавления</sub> = 64,05 °C – давление 1134 мм рт. ст.

# Гексафторид урана $UF_6$

## Диаграмма фазового состояния $UF_6$

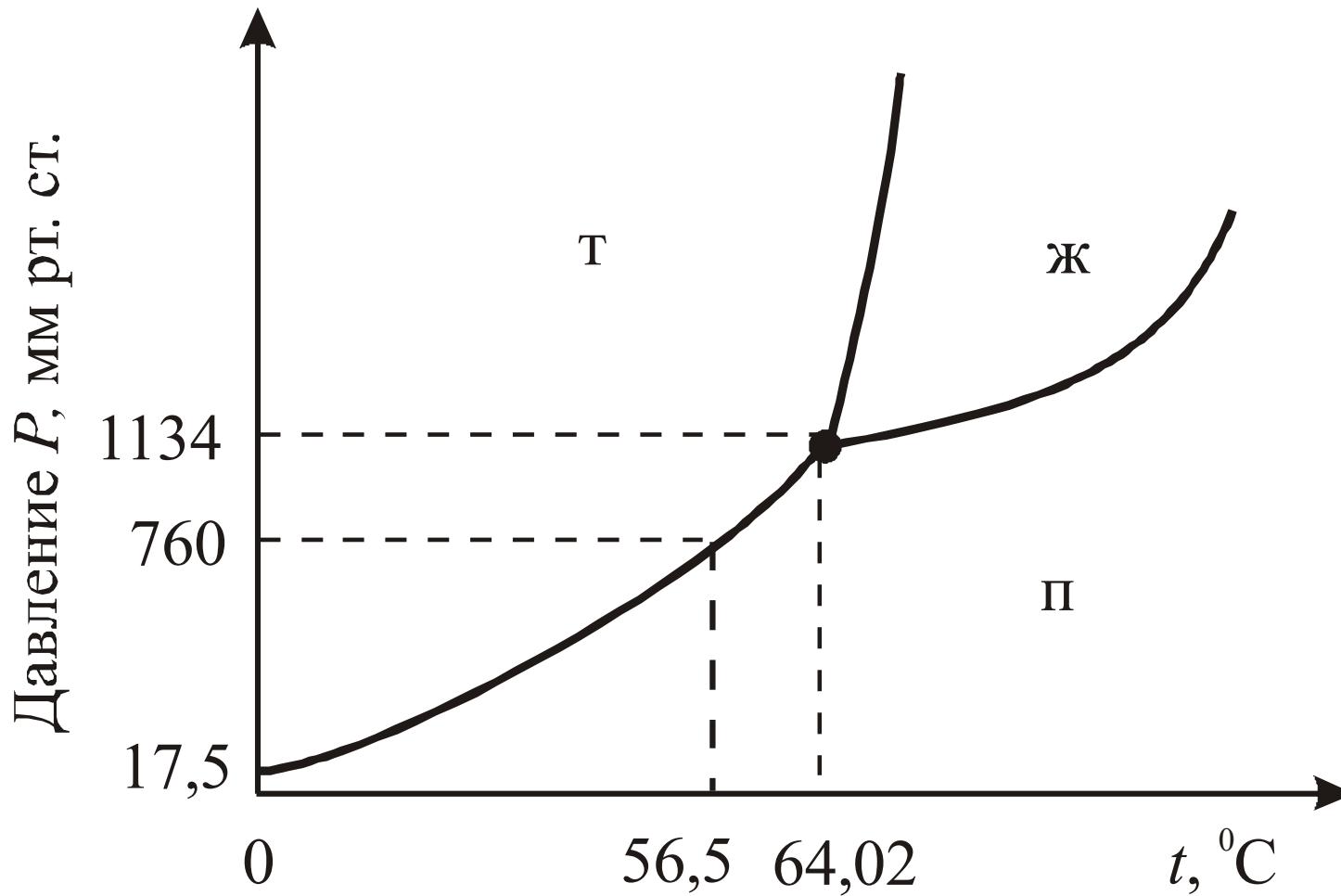


Диаграмма состояния ГФУ имеет важное значение для понимания ряда технологических операций производства  $UF_6$

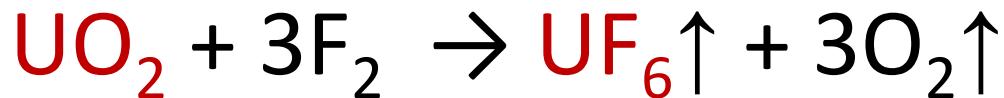
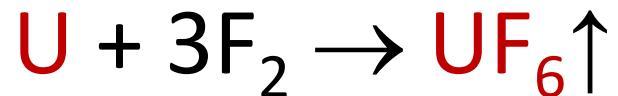
# Методы получения $UF_6$

1. Прямым фторированием элементным фтором
2. Фторированием фторгалогенами
3. Диспропорционирование
4. Прокаливанием тетрафторида урана

# Методы получения $UF_6$

## 1. Прямое фторирование элементным фтором

*Фторировать можно любое соединение урана, не содержащее щелочных металлов*



# Методы получения $UF_6$

## 2. Диспропорционирование $UF_5$ :



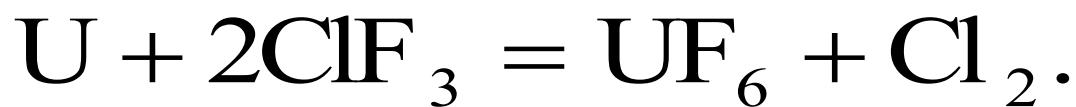
## 3. Прокаливание тетрафторида урана в атмосфере кислорода:



# Методы получения $UF_6$

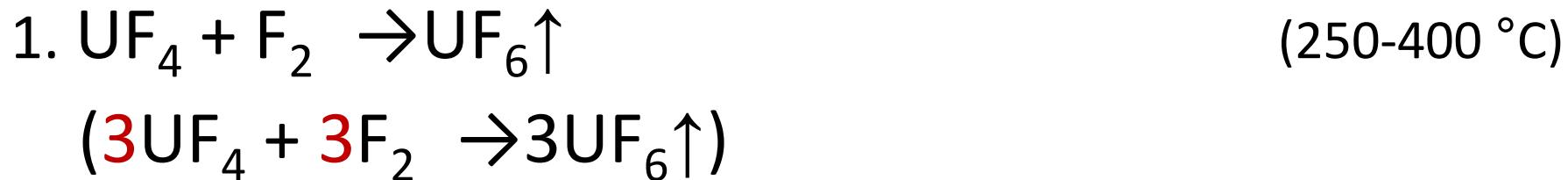
## 4. Фторирование фторгалогенами:

- *Трифторид хлора и трифторид брома – специфические вещества, жидкости, обладающие сильнейшими окислительными свойствами.*
- *При температуре 60–100°C металлический уран и его соединения хорошо фторируются галогенфторидами:*

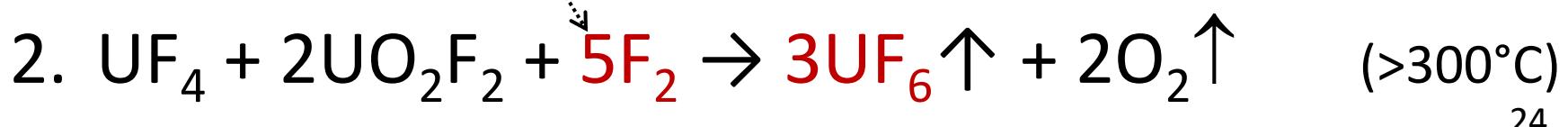


# Методы получения $UF_6$

## Промышленные методы получения $UF_6$



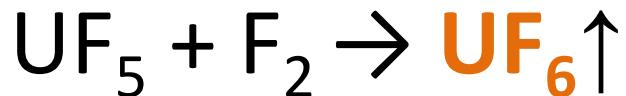
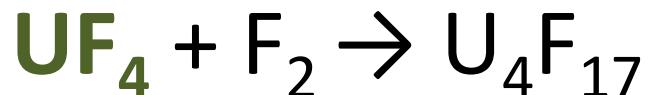
*Для снижения расхода элементного фтора возможно  
проведение предварительного гидрофторирования:*



# Методы получения $UF_6$

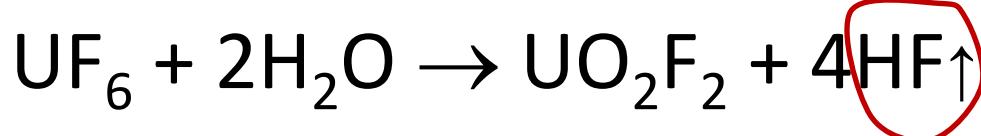
## Фторирование $UF_4$

элементным фтором является стадийным процессом с образованием промежуточных фторидов

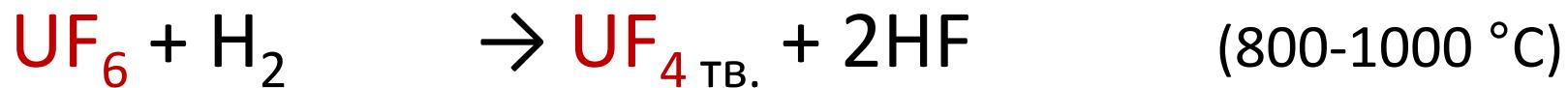


# Химические свойства $\text{UF}_6$

1. Интенсивно взаимодействует с водой (гидролиз)

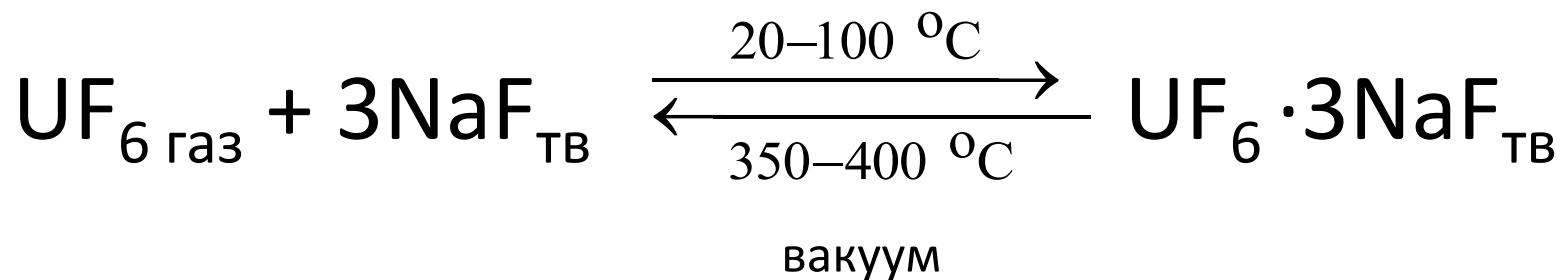


2. Является умеренным окислителем:



# Химические свойства $\text{UF}_6$

## Улавливание гексафторида урана



# Химические свойства $UF_6$

- Активно реагирует почти со всеми металлами
- С сухим воздухом, с кислородом, с азотом не взаимодействует

## Уранилфторид $\text{UO}_2\text{F}_2$

