

### Задача 9-2

В городах, ныне входящих в состав Германии, было в разное время открыто 16 химических элементов. Эти элементы зашифрованы номерами от 1 до 16 в порядке очередности их открытия (1 – открытый раньше всего). На приведенной на следующей странице карте эти номера подписаны рядом с городами, в которых было совершено открытие.

Известно, что:

- Среди элементов 1–10 2 s-элемента, 3 p-элемента, 3 d-элемента и 2 f-элемента.
- Среди элементов 1–10 максимально возможная степень окисления составляет +1 для 2-х элементов, +2 для 1-го элемента, +3 для 1-го элемента, +4 для 2-х элементов, +5 для 2-х элементов, +6 для 1-го элемента, +7 для 1-го элемента.
- Атомные массы элементов 1–10 возрастают в ряду:

$$1 < 8 < 6 < 3 < 4 < 7 < 5 < 10 < 9 < 2.$$

- Все элементы 1–10 способны напрямую взаимодействовать с кислородом. В реакциях одинаковых масс каждого из этих элементов с кислородом при высокой температуре массы полученных оксидов возрастают в ряду элементов:

$$4 < 9 < 2 < 7 < 5 < 10 < 3 < 6 < 8 < 1.$$

- В реакциях одинаковых масс элементов 1–10 со фтором при нагревании массы полученных фторидов возрастают в ряду элементов:

$$5 < 6 < 4 < 9 < 2 < 7 < 10 < 3 < 8 < 1.$$

- Атомные (ковалентные) радиусы элементов 1–10 возрастают в ряду:

$$1 < 8 < 7 < 4 < 10 < 3 < 2 < 9 < 6 < 5.$$

- Плотности элементов 1–10 при стандартных условиях возрастают в ряду:

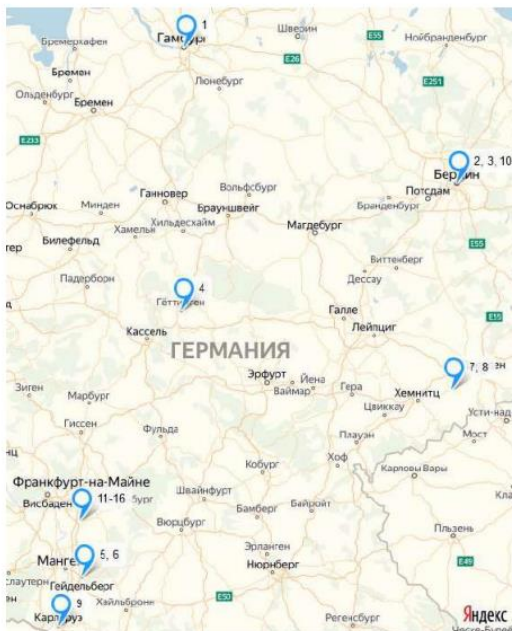
$$6 < 1 < 5 < 8 < 3 < 7 < 4 < 9 < 2 < 10.$$

- Температуры плавления элементов 1–10 возрастают в ряду:

$$5 < 6 < 1 < 7 < 4 < 8 < 2 < 9 < 3 < 10.$$

#### **Вопросы:**

1. Определите элементы 1–10.
2. Запишите формулы оксидов и фторидов, упомянутых в условии задачи.
3. Напишите символы элементов 11–16. В каком городе они были открыты?
4. Приведите 2 примера реакций между какими-либо двумя элементами, открытыми в Германии, чтобы в этих двух реакциях участвовало 4 разных элемента.



## Решение задачи 9-2 (автор: Седов И.А.)

1, 2. Задачу можно решить совершенно разными способами. В приведенном ниже решении мы будем исходить из того, что ничего не знаем об истории открытия элементов и опираемся только на их физические и химические свойства.

Прежде всего отметим, что масса фторида, получаемого окислением 1 г элемента, равна  $(M+19n)/M=1+19 n/M$ , где  $M$  – атомная масса элементов,  $n$  – число атомов фтора, приходящихся на 1 атом элемента во фториде. Поэтому массы фторидов (и аналогичным образом оксидов) возрастают в порядке, обратном возрастанию отношений  $M/n$ , т.е. эквивалентов.

Эквиваленты в реакции со фтором возрастают в ряду:  $1 < 8 < 3 < 10 < 7 < 2 < 9 < 4 < 6 < 5$ . Эквиваленты в реакции с кислородом возрастают в ряду:  $1 < 8 < 6 < 3 < 10 < 5 < 7 < 2 < 9 < 4$ .

Обращают на себя внимание элементы 5 и 6. Они имеют низкую температуру плавления и плотность, большой атомный радиус. Кроме того, эквиваленты всех остальных элементов для реакций со фтором и кислородом изменяются в одном и том же порядке, а у 5 и 6 эквиваленты для реакции со фтором выше, чем с кислородом. Кислород обычно не окисляет элементы до более высокой степени окисления, чем фтор, однако щелочные металлы за исключением лития при сгорании образуют пероксиды или надпероксиды, поэтому эквивалент снижается в 2 или 4 раза по сравнению с оксидами. Итак, 5 и 6 – щелочные металлы, причем высокие по сравнению с другими элементами значения атомных радиусов и эквивалентов в реакции со фтором дают возможность полагать, что 5 – Cs, 6 – Rb. Отметим, что среди оставшихся элементов нет s-элементов и элементов с максимально возможной степенью окисления +1.

Обратим внимание на то, что атомная масса элемента 7 ниже, чем у цезия, но его эквивалент в реакции с кислородом выше, чем у цезия, а у элемента 4 выше чем у 7, при том что его атомная масса ниже, чем у 7. Вероятнее всего, элемент 7 окисляется кислородом до степени окисления +3, а элемент 4 – до +2. Значит, 4 – Cd, а 7 (с большей атомной массой) – In. Элемент 3 имеет атомную массу и эквивалент в реакции с кислородом между рубидием и цезием, значит, он окисляется до степени окисления +4, а так как его атомная масса меньше, чем у кадмия, то это Zr.

Среди оставшихся элементов больше нет элементов с максимально возможной степенью окисления меньше +4. Эквивалент элемента 10 лежит в промежутке между цезием и цирконием (от 22,8 до 33,2), а атомная масса выше, чем у цезия. Если он окисляется кислородом до степени окисления +5, то его атомная масса лежит в пределах 133–166 – элементов с такими свойствами нет. Если он окисляется до степени окисления +6, диапазон возможных атомных масс составляет 137–199, сюда попадают W и Re. Для +7 подходит только Re. Прежде чем сделать выбор, рассмотрим элементы 9 и 2 с еще большими атомными массами и эквивалентами. Из условия следует, что элемент 2 открыт раньше многих других элементов, а потому он не может быть искусственно полученным. Окисляться кислородом до +4 и выше из встречающихся в природе элементов с атомной массой больше, чем у рения, могут только Th, Pa и U. Однако эквивалент тория при окислении кислородом до Th+4 (58) больше эквивалента кадмия (56), и он не подходит. Значит, 2 – U, 9 – Pa. Уран проявляет максимальную степень окисления +6, поэтому элемент 10 может быть только рением Re.



Теперь известно, что 1 и 8 – p-элементы 2–4 периодов с максимальными степенями окисления +4 и +5. Они не могут быть газами судя по плотности и температуре плавления. Легкоплавкий элемент 1 – Р. Другой элемент 8 с большей атомной массой и максимальной степенью окисления +4 – Ge (названный в честь Германии).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Элемент	P	U	Zr	Cd	Cs	Rb	In	Ge	Pa	Re
Оксид	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ZrO <sub>2</sub>	CdO	CsO <sub>2</sub>	RbO <sub>2</sub>	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	GeO <sub>2</sub>	Pa <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Re <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Фторид	PF <sub>5</sub>	UF <sub>6</sub>	ZrF <sub>4</sub>	CdF <sub>2</sub>	CsF	RbF	InF <sub>3</sub>	GeF <sub>4</sub>	PaF <sub>5</sub>	ReF <sub>7</sub> или ReF <sub>6</sub>

3. Последними элементами, открытыми в Германии, являются искусственно полученные элементы от 107-го до 112-го: Bh, Hs, Mt, Ds, Rg, Cn. Они были синтезированы на ускорителе в городе Дармштадт, в честь которого получил название элемент дармштадтий (Ds).

4.  $4\text{Cs} + \text{Ge} = \text{Cs}_4\text{Ge}$ ,  $\text{In} + \text{P} = \text{InP}$

Варианты:  $4\text{Rb} + \text{Ge} = \text{Rb}_4\text{Ge}$ ,  $2\text{Cs} + 5\text{P} = \text{Cs}_2\text{P}_5$ ;

$4\text{Cs} + \text{Ge} = \text{Cs}_4\text{Ge}$ ,  $3\text{Cd} + 2\text{P} = \text{Cd}_3\text{P}_2$  и другие комбинации реакций металлов с германием и фосфором

### Система оценивания:

1.	По 1 баллу за каждое верное соответствие номера и элемента	10 баллов
2.	По 0.3 балла за каждую формулу из 20 перечисленных <i>засчитываются даже если перепутан номер элемента</i>	6 баллов
3.	По 0.25 балла за каждый верный символ элемента, 0.5 балла за название города	2 балла
4.	По 1 баллу за уравнения реакций	2 балла
<b>ИТОГО: 20 баллов</b>		