



**Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева**  
**ОТВЕТЫ НА ЗАДАНИЯ**  
посвященной 150-летию периодической системы химических элементов  
Д.И. Менделеева XIX Российской дистанционной олимпиады школьников  
по химии (XVII Международной дистанционной олимпиады  
школьников «Интер-Химик-Юниор-2019»)

**При составлении ответов использованы материалы, присланные участниками олимпиады**

1. Название или открытие каких химических элементов связано с русскими учеными? Дайте краткую информацию.

**Ответ:** (Аксенова Арина, Школа № 1900, г. Москва)

Химические элементы, названные в честь России и российских ученых

Рутений – элемент № 44.

Ruthenia — латинское название Руси

Открыт профессором кафедры химии Казанского университета Карлом Карловичем Клаусом. Клаус был современником и другом основоположников русских химических школ — Н. Н. Зинина и А. А. Воскресенского, а также учителем А.М. Бутлерова. Рутений – единственный из открытых в России химических элементов, который получен естественным путём, извлечён из минерального сырья (платиновой руды).

Самарий – элемент № 62.

Уральский горный инженер В.Е. **Самарский** в середине XIX века открыл минерал, позже названный самарскитом.

В 1878 году французский химик Марк Делафонтен обнаружил в составе самарскита новый элемент. А через год другой французский химик Лекок де Буабодран дал новому элементу его современное название — самарий.

Элемент назван в честь Василия Евграфовича Самарского - Быховца. С 1845 по 1861 гг. он был начальником штаба Корпуса горных инженеров и предоставил химикам для исследования образцы уральского минерала.

Менделевий – элемент № 101.

Первые 17 атомов менделевия синтезировали в 1955 году американские учёные А. Гиорсо, Б. Харви, Г. Чоппин, С. Томпсон и Г. Сиборг. Затем ученые ОИЯИ в Дубне синтезировали для исследований сотни атомов менделевия. Назван в честь Дмитрия Ивановича **Менделеева**, создателя периодической системы элементов.

Дубний – элемент № 105.

Впервые был получен на ускорителе в **Дубне** в 1970 году группой Георгия Николаевича Флёрва Лаборатории ядерных реакций Объединённого института ядерных исследований (СССР) и независимо в Беркли (США) группой учёных Радиационной лаборатории имени Эрнста Лоуренса. Рабочая группа ИЮПАК в 1993 году сделала вывод, что честь открытия элемента должна быть разделена между группами из Дубны и Беркли.

Получил название в честь выдающихся заслуг советских и российских учёных из города, в котором он был впервые получен. Дубна – город учёных, наукоград. Главным градообразующим предприятием является Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ). Построенные в Дубне синхротрон и синхрофазотрон в 60-х годах были крупнейшими в мире ускорителями заряженных частиц и сыграли значительную роль в развитии физики.

В этом институте с 1965 по 1981 гг. были синтезированы химические элементы с порядковыми номерами 102, 103, 104, 105, 107. С момента основания Объединённого института ядерных исследований из 18 элементов, которые с тех пор были открыты во всём мире, 11 получены в этом институте.

Флеровий – элемент № 114.

Элемент назван в честь Лаборатории ядерных реакций Объединённого института ядерных исследований и выдающегося советского и российского физика-ядерщика, основателя этой лаборатории **Георгия Николаевич Флёрва**. Впервые синтезирован российскими учёными этого института в декабре 1998 года.

Получение нового элемента российскими учёными было подтверждено в 2004 и в 2006 годах в сотрудничестве Дубна-Ливермор в Дубне, а также в 2009 году в Национальной лаборатории имени Лоуренса в Беркли (США).

Московский – элемент № 115.

Элемент был впервые получен в 2003 году совместной командой российских и американских учёных в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне, Россия.

Московский является чрезвычайно радиоактивным веществом: его наиболее стабильный известный изотоп Mc-290 имеет период полураспада всего 0,8 секунды.

С химической точки зрения представляет загадку. Его свойства изучаются теоретически, учёные опираются на формулы и установленные наукой закономерности. Хотя в периодической таблице московский стоит под висмутом, но в химическом плане его сравнивают не столько с ним, сколько с таллием и щелочными металлами.

#### Оганесон – элемент № 118.

Элемент оганесон назван в честь своего первооткрывателя, академика **Юрия Цолаковича Оганесяна**. Оганесон принадлежит к инертным газам, имеет завершённую электронную конфигурацию, что означает его химическую инертность и нулевую, по умолчанию, степень окисления. Однако соединения тяжёлых благородных газов (начиная с криптона) с сильными окислителями (например, фтором или кислородом) всё же существуют. По мере роста порядкового номера электроны удаляются от ядра, поэтому лёгкость окисления инертного газа сильными окислителями от криптона к радону возрастает. Учёные предполагают, что оганесон, хотя и будет химически малоактивным по сравнению с большинством других элементов, но по сравнению с предыдущими инертными газами будет достаточно активен.

Помимо выше перечисленных элементов с исследованиями русских ученых связано открытие других сверхтяжелых химических элементов в Объединённом институте ядерных исследований (г. Дубна).

2. В периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева не все элементы расположены в порядке увеличения атомных масс. Какие это элементы? Какова, по Вашему мнению, причина этой «аномалии»?

**Ответ:** В периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева элементы аргон и калий; кобальт и никель, также теллур и йод, а также некоторые тяжелые радиоактивные элементы расположены не в порядке увеличения атомных масс. Кажущееся несоответствие в расположении некоторых элементов в периодической системе Д.И. Менделеева вызвано распространением на Земле **изотопов** этих элементов. У аргона, например, из трех стабильных изотопов  $Ar^{36}$  (0,337%),  $Ar^{38}$  (0,063%) и  $Ar^{40}$  (99,600%) наиболее распространен на Земле тяжелый изотоп  $Ar^{40}$ , а у калия – легкий. Распространенность же элементов и их изотопов во Вселенной отличается от их распространенности на нашей планете. Считается, в частности, что при образовании планет из межзвездной пыли легкие изотопы аргона остались в космическом пространстве.

Элементы, которые расположены не в порядке увеличения атомных масс (*Минько Анастасия (093), «Ангарский лицей №2» имени М.К. Янгеля, г.Ангарск, Иркутская область*):

1. Аргон (Ar) и Калий (K)
2. Кобальт (Co) и Никель (Ni)
3. Теллур (Te) и Йод (I)
4. Торий (Th) и Протактиний (Pa)
5. Уран (U) и Нептуний (Np)
6. Сиборгий (Sg) и Борий (Bh)

3. Сера и хром существенно отличаются по своим физическим и химическим свойствам. В то же время некоторые соединения серы и хрома похожи по своим химическим свойствам. Какие это соединения? В чем причина близости химических свойств этих соединений?

**Ответ:** (*Съедин Денис (002), г. Макеевка, СШ № 4*) Сходны по свойствам соединения серы(VI) и хрома(VI). Например, высшие оксиды этих элементов  $SO_3$  и  $CrO_3$  являются типичными кислотными оксидами, реагирующими с водой с образованием серной ( $H_2SO_4$ ) и хромовой ( $H_2CrO_4$ ) кислот. Как серная, так и хромовая кислоты – сильные кислоты, проявляющие окислительные свойства и склонны к образованию поликислот (например,  $H_2S_2O_7$  и  $H_2Cr_2O_7$ ). Как сульфаты, так и хроматы бария и свинца являются практически нерастворимыми солями; относительно низкая растворимость присуща сульфату и хромату кальция, причем для обеих солей с повышением температуры растворимость не растет, а понижается. Сходные химические свойства соединений серы (VI) и хрома(VI) объясняются наличием шести валентных электронов на внешнем энергетическом уровне их атомов, а также схожей структурой внешних оболочек ионов  $S^{6+} - 1s^2 2s^2 2p^6$  и  $Cr^{6+} - 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ .

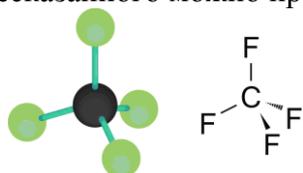
4. Почему отличаются по своей структуре молекулы  $\text{CF}_4$ ,  $\text{XeF}_4$  и  $\text{SF}_4$ ? Определите геометрию этих молекул и предложите Ваш вариант объяснения их строения.

**Ответ.** (Александра Бочарова (039), г. Санкт-Петербург, лицей № 214) Для определения геометрической формы молекул используют метод отталкивания валентных электронных пар.

Согласно этой теории молекулы или ионы, содержащие только простые связи, на валентном уровне центрального атома М могут иметь два типа электронных пар: связывающие пары связей М-Х и неподеленные пары электронов Е. Эти связывающие и неподеленные пары электронов располагаются таким образом, чтобы их взаимное отталкивание было минимальным.

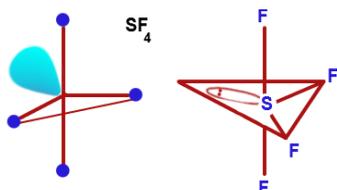
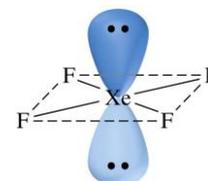
С увеличением электроотрицательности лиганда электронная плотность связывающей общей пары электронов смещается в сторону лиганда и уменьшается в области центрального атома, поэтому отталкивание этой пары будет меньшим, чем отталкивание других общих пар электронов.

В силу направленности ковалентной связи при определении геометрии молекул следует учитывать не только связывающие, но также и неподеленные электронные пары центрального атома. Неподеленные пары учитываются при выборе типа окружения центрального атома, (типа гибридизации атомных орбиталей) но не входят в описание геометрии. На основании вышесказанного можно проанализировать строение указанных молекул.



$\text{CF}_4$  – у углерода четыре связывающих электронных пар ( $\text{sp}^3$  - гибридизация) геометрическая форма – тетраэдр (в центре этого тетраэдра находится атом углерода, в вершинах тетраэдра - атомы фтора).

$\text{XeF}_4$  - четыре связывающие и две неподеленные электронные пары обуславливают октаэдрическое окружение ( $\text{sp}^3\text{d}^2$  - гибридизация), в котором последние располагаются в противоположных вершинах, что приводит к геометрии **квадрата**.

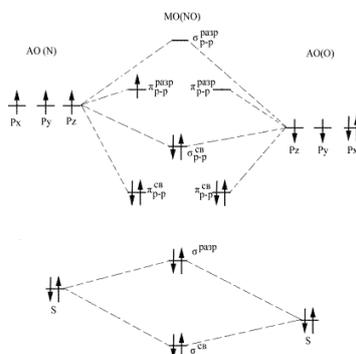


$\text{SF}_4$  - четыре связывающие и одна неподеленная электронные пары обуславливают окружение тригональной бипирамиды, в котором неподеленная пара занимает **экваториальное положение**, что приводит к геометрии, которая носит название «качели». ( $\text{sp}^3\text{d}$  - гибридизация). В **экваториальном** положении отталкивание неподеленной электронной пары **меньше**, чем в **аксиальном**.

5. Ковалентная химическая связь между атомами в молекулах образуется с помощью электронных пар. Поэтому большинство молекул содержат четное число электронов. Встречаются, однако, и молекулы с нечетным числом электронов. Приведите примеры таких молекул с ковалентной химической связью. Объясните образование химической связи в этих молекулах.

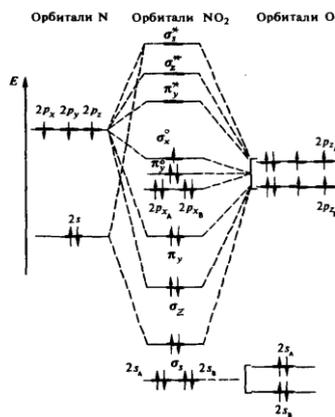
**Ответ.** (Топилов Ислон (086), школа № 6, г. Янгиер, Республика Узбекистан)

Природу химической связи в рассматриваемых молекулах можно объяснить на основе метода молекулярных орбиталей (МО). Для молекулы  $\text{NO}$ , например, расположение электронов на молекулярных орбиталях происходит следующим образом:

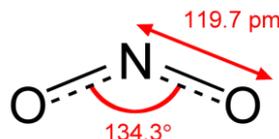


Кратность связи в молекуле  $\text{NO}$ , таким образом, равна 2,5.

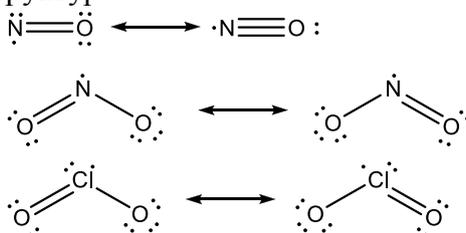
Для молекулы  $\text{NO}_2$  схема расположения электронов на молекулярных орбиталях имеет вид:



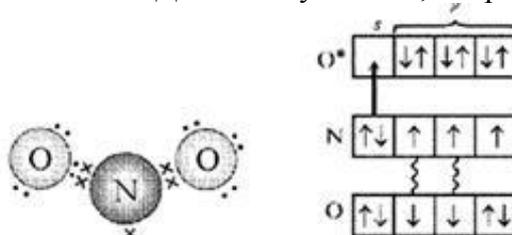
Молекула  $\text{NO}_2$  имеет угловую форму. Порядок связи 1,5 (имеет промежуточное значение между длиной одинарной и двойной связей). Длина связи = 0,1197 нм.



Связь в рассматриваемых молекулах можно объяснить также с помощью метода валентных связей и концепции резонанса структур:



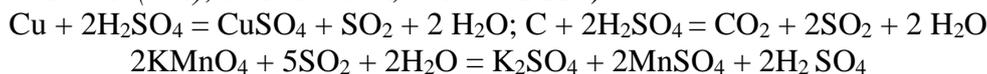
Для объяснения химической связи можно использовать также и представления об образовании донорно-акцепторной связи. Для молекулы  $\text{NO}_2$ , например, получаем:



Примерами других соединений с нечетным количеством электронов являются:  $\text{CuS}$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{FeCl}_3$  и др.

6. При действии концентрированной серной кислоты на смесь порошков меди и углерода образовались газообразные продукты реакции объемом **40,32 л** (н.у.). Образовавшуюся газовую смесь пропустили через избыток раствора перманганата калия, при этом объем газов уменьшился в пять раз. Определите содержание меди и углерода в исходной смеси, напишите уравнения всех протекающих реакций и определите массу образовавшихся солей в растворе.

**Ответ:** (Фомина Юлия (001), г. Челябинск, школа № 116)



Таким образом, после пропускания образовавшейся газовой смеси через раствор перманганата калия остается только оксид углерода (IV).

$$V(\text{CO}_2) = 40,32 / 5 = 8,06 \text{ л}; \nu(\text{CO}_2) = 8,06 / 22,4 = 0,36 \text{ моль.}$$

$$\nu(\text{C}) = \nu(\text{CO}_2) = 0,36 \text{ моль}; m(\text{C}) = 0,36 \text{ моль} \cdot 12 = 4,32 \text{ г.}$$

В реакции с углеродом выделилось оксида серы (IV)

$$\nu_1(\text{SO}_2) = 2 \cdot \nu(\text{CO}_2) = 0,36 \cdot 2 = 0,72 \text{ моль};$$

$$V_1(\text{SO}_2) = 0,72 \cdot 22,4 = 16,13 \text{ л.}$$

Значит в реакции с медью выделилось оксида серы (IV)

$$V_2(\text{SO}_2) = 40,32 - 8,06 - 16,13 = 16,13 \text{ л.}$$

$$\nu_2(\text{SO}_2) = 16,13 / 22,4 = 0,72 \text{ моль}$$

$$v(\text{Cu}) = v_2(\text{SO}_2) = 0,72 \text{ моль}; m(\text{Cu}) = 0,72 \text{ моль} \cdot 64 = 46,08 \text{ г.}$$

$$m(\text{смеси}) = 4,32 + 46,08 \text{ г} = 50,40 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{Cu}) = 46,08 \cdot 100 / 50,40 = 91,43\%$$

$$\omega(\text{C}) = 4,32 \cdot 100 / 50,40 = 8,57\%$$

Общее количество оксида серы (IV) в смеси

$$v(\text{SO}_2) = 0,72 + 0,72 = 1,44 \text{ моль}$$

Отсюда найдем массу образовавшегося сульфата

$$v(\text{K}_2\text{SO}_4) = 1,44 / 5 = 0,29 \text{ моль}; m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 174 \cdot 0,29 = 50,46 \text{ г.}$$

$$v(\text{MnSO}_4) = 1,44 \cdot 2 / 5 = 0,58 \text{ моль}; m(\text{MnSO}_4) = 151 \cdot 0,58 = 87,58 \text{ г.}$$

7. Элемент **X** образует четыре соединения с кислородом: **A**, **B**, **C** и **D**. При сгорании элемента **X** образуется соединение **A** с содержанием кислорода **41,0%** (реакция 1). При нагревании соединения **A** можно получить вещество **B** с содержанием кислорода **25,8%** (реакция 2). Соединение **C** (**58,2%** кислорода) используется для регенерации кислорода из углекислого газа в замкнутых помещениях (реакция 3). Название четвертого соединения **D** (**67,6%** кислорода) происходит от названия одной из аллотропных модификации кислорода. Определите, о каком элементе идет речь, если при растворении **0,186 г.** соединения **B** в воде получается только щелочь (реакция 4), для нейтрализации которой необходимо **30 мл 0,1 М** раствора серной кислоты (реакция 5). Напишите уравнения реакций 1 – 5.

**Ответ.** (Тургинбеков Алмаз (088), Школа-гимназия № 30, г. Нур-Султан, Республика Казахстан)

1. Определяем формулу вещества **A**. В общем виде формула соединения элемента **X** с кислородом записывается  $\text{X}_n\text{O}_m$ . Если кислорода в этом веществе **41,0%**, то элемента **X** – **59,0%**. Обозначим атомную массу элемента **X** через **M**. Можно составить следующее соотношение:

$\text{X}_n$	$\text{O}_m$
59%	41%
$M \cdot n$	$16 \cdot m$

Отсюда выразим массу элемента **X**:

$$M = \frac{59 \cdot 16 \cdot m}{41 \cdot n} = 23 \frac{m}{n}$$

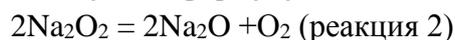
Учитывая, что **m** и **n** – индексы, только целые и положительные числа, методом подстановки находим, что при **m=n=1** атомная масса элемента **X** составит **23**. Это соответствует **Na**. Но вещества состава **NaO** не существует, следовательно, речь идет о **Na<sub>2</sub>O<sub>2</sub>** (это соединение **A**)



2. Таким же образом определяем формулу вещества **B**

$\text{X}_n$	$\text{O}_m$
74,2 %	25,8 %
$M \cdot n$	$16 \cdot m$

$$M = \frac{74,2 \cdot 16 \cdot m}{25,8 \cdot n} = 46 \frac{m}{n}; \text{ при } m=1 \text{ и } n=2 \text{ получаем формулу соединения B – Na}_2\text{O – оксид натрия}$$



3. Определяем формулу вещества **C**

$\text{X}_n$	$\text{O}_m$
41,8 %	58,2 %
$M \cdot n$	$16 \cdot m$

$$M = \frac{41,8 \cdot 16 \cdot m}{58,2 \cdot n} = 11,5 \frac{m}{n}; \text{ при } m=2 \text{ и } n=1 \text{ получаем формулу соединения B – NaO}_2\text{– надпероксид натрия}$$



4. Определяем формулу вещества **D**

$\text{X}_n$	$\text{O}_m$
32,4 %	67,6 %
$M \cdot n$	$16 \cdot m$

$$M = \frac{32,4 \cdot 16 \cdot m}{67,6 \cdot n} = 7,67 \frac{m}{n}; \text{ при } m=3 \text{ и } n=1 \text{ получаем формулу соединения B – NaO}_3\text{– озонид натрия}$$



$$v(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{0,186 \text{ г}}{62 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,003 \text{ моль}$$

Как видно из реакции (4)  $v(\text{NaOH}) = 2v(\text{Na}_2\text{O}) = 0,006 \text{ моль}$

$2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O}$  (реакция 5); из этого уравнения видно, что кислоты потребуется в **2** раза меньше, чем было взято щелочи. Определяем количество вещества серной кислоты,

потраченной на нейтрализацию щелочи:  $v(\text{H}_2\text{SO}_4) = C_m \cdot V = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,03 \text{ л} = 0,003 \text{ моль}$ , что соответствует условию задачи. Ответ: речь идет об элементе Na

8. Колбу с находящимся в ней при давлении **11,2** атм. и температуре **0 °C** аммиаком заполнили **2,90** масс. % раствором ортофосфорной кислоты ( $\rho = 1,014 \text{ г/см}^3$ ). Рассчитайте массовые доли (в %) веществ в полученном растворе.

**Ответ.** (Аксенова Арина (096), Школа № 1900, г. Москва). Пусть объем колбы  $V_k = 1 \text{ л}$ . и объем аммиака в колбе при давлении 11,2 атм.  $V_2 = 1 \text{ л}$ . При постоянной температуре  $p_1/p_2 = V_2/V_1$ .

При н.у. аммиак из колбы займет объем  $V_1 = p_2 \cdot V_2 / p_1 = 11,2 \cdot 1 / 1 = 11,2 \text{ л}$ . Количество вещества аммиака  $n(\text{NH}_3) = V_1 / V_m = 11,2 / 22,4 = 0,5 \text{ моль}$ ,  $m(\text{NH}_3) = n \cdot M = 0,5 \cdot 17 = 8,5 \text{ г}$ . Количество вещества фосфорной кислоты, заполнившей колбу:

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = V \cdot \rho \cdot \omega / M = 1000 \cdot 1,014 \cdot 0,029 / 98 = 0,3 \text{ моль.}$$

$$m(\text{р-ра } \text{H}_3\text{PO}_4) = V \cdot \rho = 1000 \cdot 1,014 = 1014 \text{ г.}$$

Уравнения взаимодействия аммиака и кислоты:



Раствор после реакции:  $m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра } \text{H}_3\text{PO}_4) + m(\text{NH}_3) = 1014 + 8,5 = 1022,5 \text{ г}$ .

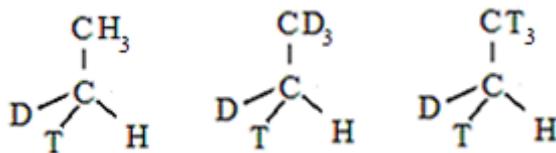
$$m(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = n \cdot M = 0,1 \cdot 115 = 11,5 \text{ г. } m((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = n \cdot M = 0,2 \cdot 132 = 26,4 \text{ г.}$$

$$\omega(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4) = 11,5 / 1022,5 = 0,0112 \text{ или } 1,12 \%. \omega((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4) = 26,4 / 1022,5 = 0,0258 \text{ или } 2,58 \%.$$

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100 - 2,58 - 1,12 = 96,3 \%$$

9. Предложите химические формулы трех соединений предельных углеводородов с наименьшей молекулярной массой, обладающих оптической изомерией.

**Ответ.** С наименьшей молекулярной массой будут производные этилена, у которых некоторые атомы водород заменен на дейтерий (D), тритий (T). Можно также использовать и изотопы углерода ( $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ):



10. Один грамм трех соединений двухвалентного металла (M) с одинаковой брутто-формулой ( $\text{MX}_n$ ) содержит соответственно  $24,55 \cdot 10^{21}$ ,  $22,96 \cdot 10^{21}$  и  $4,965 \cdot 10^{21}$  атомов. Установите химические формулы этих соединений.

**Ответ.** Молярная масса веществ будет равна количеству вещества  $\nu$  атомов ( $24,55 \cdot 10^{21}$ ,  $22,96 \cdot 10^{21}$  и  $4,965 \cdot 10^{21}$ ), умноженному на  $(n+1)$ . Делим число атомов на число Авогадро ( $6,022 \cdot 10^{23}$ ) и получаем количество вещества  $\nu$  атомов рассматриваемых соединений (Калиев Чингиз (073), Назарбаев интеллектуальная школа, г. Павлодар, республика Казахстан):  $4,077 \cdot 10^{-2}$ ,  $3,813 \cdot 10^{-2}$  и  $8,245 \cdot 10^{-3}$  моль атомов. Молярные массы веществ, один грамм которых содержат рассчитанное число моль атомов, будут кратны величинам  $1/\nu$ , т.е. кратны 24,53; 26,23 и 121,3. В зависимости от величины  $n$  в формуле соединения  $\text{MX}_n$  получаем следующие величины молярных масс возможных соединений:

n	А	Б	В
1	49,06	52,46	242,6
2	73,59	78,69	363,9
3	98,12	104,9	485,2
4	122,6	131,2	606,5
5	147,2	157,4	727,8
<b>6</b>	<b>171,7</b>	<b>183,6</b>	<b>849,1</b>
7	196,2	209,8	970,4
8	220,8	236,1	1092
9	245,3	262,3	1213
10	269,8	288,5	1334

Величины  $n$ , равные 1 – 5 не соответствуют имеющимся атомным массам металлов периодической системы химических элементов. В нашем случае  $n=6$ . Искомый металл – **стронций**, соединения А, Б и В – азид  $\text{Sr}(\text{N}_3)_2$ , озонид  $\text{Sr}(\text{O}_3)$ , и полийодид  $\text{SrI}_6$ .