

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
Химический институт им. А.М. Бутлерова

**Межрегиональная предметная олимпиада
Казанского федерального университета
по предмету «Химия»**

Очный тур

2023-2024 учебный год

Задания для 8 и 9 классов

Казань – 2024

Содержание:

8 класс.....	1
9 класс.....	6

Рекомендации

Максимальный балл за каждую задачу – 25.

При решении расчётных задач желательно использовать численные значения с точностью до четырёх значащих цифр. Особенно это касается относительных **атомных масс**, которые рекомендуется использовать с **точностью до сотых**.

Успехов!

Серов Н.Ю., Курамшин Б.К.

8 класс

Задача 1. Кислые и некие соли

Хорошо известно, что при взаимодействии многоосновных кислот с основаниями может произойти полное или частичное замещение водорода на металл. При этом образуются нормальные или кислые соли.

Так, например, при взаимодействии кислоты K_1 с гидроксидом натрия в зависимости от взятого соотношения реагентов могут получиться только соли C_1 и C_2 , причем соль C_1 способна дальше взаимодействовать со щелочью, а C_2 – нет. При реакции кислоты K_2 с гидроксидом калия могут получиться соли C_3 – C_5 , из которых C_5 не способна реагировать со щелочью, а C_3 и C_4 могут реагировать дальше, причем с одним молем взятой соли C_3 может прореагировать больше щелочи, чем с одним молем C_4 .

?1. Приведите формулы и названия кислот K_1 и K_2 , а также солей C_1 – C_5 , если дополнительно известно, что кислоты K_1 и K_2 являются кислородсодержащими и имеют одинаковую молярную массу 98 г/моль.

?2. Напишите уравнения реакций образования солей C_1 – C_5 из соответствующей кислоты и гидроксида. Не забудьте расставить коэффициенты.

Следует отметить тот факт, что в некоторых случаях не все протоны из состава кислоты способны замещаться на ионы металла. Так, например, в случае кислоты K_3 , содержащей 3,69% водорода по массе, только лишь два водорода являются кислыми и могут замещаться при образовании солей, а в кислоте K_4 , содержащей 4,58% водорода, может подвергнуться замещению лишь один протон.

?3. Установите формулы кислот K_3 и K_4 , ответ подтвердите расчетом. Дополнительно известно, что кислоты K_2 – K_4 образованы одним и тем же элементом.

Одноосновные кислоты неспособны образовывать кислые соли, поскольку имеют в своем составе лишь один протон, который можно заместить на атом металла. Однако это правило не всегда выполняется. Так, например, одноосновная кислота K_5 может образовывать с гидроксидом калия как нормальную, так и кислые соли. Кислота K_5 является бинарным веществом, причем один из элементов является элементом второго периода Периодической системы.

?4. Приведите формулу и название кислоты K_5 , а также уравнения трех реакций, когда с одним молем гидроксида калия реагирует один, два и три моля кислоты K_5 соответственно.

Задача 2. Загадка...

Химик Аким оказался гостем далекой галактики, некоторые естественные показатели которой отличаются от нашей. Аким нашел обитаемую планету, на которой главной используемой жидкостью является вещество **A**. Увидев знакомую на вид и по свойствам жидкость, Аким обрадовался и решил остаться и исследовать планету, так похожую на Землю. Довольно быстро он обнаружил, однако, что некоторые свойства **A** несколько отличаются от привычных. Чтобы объяснить это, он измерил давление, которое создаёт 1,000 г паров этой жидкости в сосуде объёмом 1,00 л при температуре 400 К: барометр показал 166,3 кПа.

?1. Какую жидкость обнаружил Аким на планете?

?2. Рассчитайте молярную массу **A** с этой планеты. Чем объясняется расхождение с ожидаемой молярной массой? Как обычно записывают формулу такой жидкости?

?3. Какие физические свойства **A** могут помочь Акиму удостовериться в том, что на данной планете эта жидкость не вполне обычная?

Воздух планеты не принес, в отличие от **A**, сюрпризов: его молярная масса почти точно равна 29 г/моль. Аким решил исследовать промышленность планеты. Оказалось, что производство аммиака на планете начинается с нагревания паров **A** с газом **Б**, который является основным компонентом природного газа на данной планете. При этом образуется только самый легкий на данной планете газ **В** с плотностью по воздуху 0,14 и газ **Г** с плотностью по воздуху 1,00. последний факт удивил Акима, так же, как и то, что расчеты в записях местного химика-технолога показывали, что реакция **A** с **Б** протекает согласно стехиометрии в массовом соотношении 1:1,05.

На второй стадии **В** реагирует при повышенном давлении в присутствии катализатора с азотом, что для Акима новостью уже не было.

?4. Что представляют собой газы **Б**, **В** и **Г**?

?5. Запишите уравнение реакции **A** с **Б**, описанное в задаче, и уравнение реакции получения аммиака.

?6. Какую массу аммиака можно получить из 1 м³ (н.у.) природного газа на этой планете, если выход первой реакции составляет 60%, второй – 55%, объёмная доля **Б** в природном газе составляет 85%?

?7. Исходя из химического состава данной планеты, стоит ли Акиму оставаться жить на этой планете? Объясните.

Чувствуя масштаб проблемы и уникальность случая, Аким понял, что и массовый элементный состав живых организмов на этой планете должен отличаться от земного.

?8. Какими были бы массовые доли кислорода, водорода, углерода и азота в теле человека на этой планете? У земных людей эти величины составляют в среднем 65, 10, 18 и 3% соответственно.

Дополнительная информация: уравнение Менделеева-Клапейрона: $pV = nRT$.

Задача 3. Таинственные превращения

Вещество **X** получают простой реакцией обмена соли **A**, окрашивающей пламя горелки в фиолетовый цвет, с бескислородной солью **B**, содержащей 34,05% хлора по массе. Выпадающий осадок **X** представляет собой кристаллогидрат, при аккуратном обезвоживании которого масса твердой фазы уменьшается в 1,046 раз. При дальнейшем нагревании остатка он разлагается с выделением смеси газов, которая при охлаждении разделяется на красно-бурую жидкость **B**, представляющей собой простое вещество, и газ **Г**, поддерживающий горение. При этом масса образовавшейся жидкости **B** составляет 38,87% от массы изначального **X**.

?1. Определите вещества **X**, **A**, **B**, **B**, **Г**.

?2. Запишите уравнения описанных реакций (3 реакции).

?3. Как **X** реагирует с а) разбавленным раствором серной кислоты, б) раствором HBr ? Запишите уравнения реакций.

Для определения плотности **X** образец его кристаллов взвесили на точных весах (показания составили 128,5 мН), а затем взвесили тот же образец в состоянии, погруженном в холодную воду (вес в таком состоянии составил 96,3 мН).

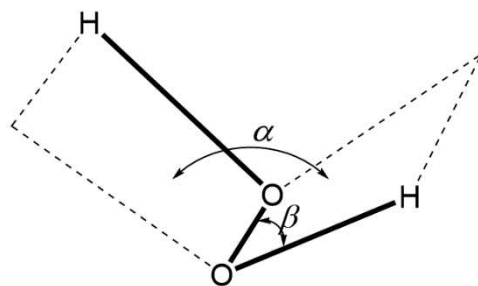
?4. Рассчитайте плотность твердого **X**.

?5. Какую массу **X** можно выделить из 200 г насыщенного при 100°C раствора при его охлаждении до 10°C ? При 10°C в 100 г чистой воды можно растворить $0,110 \text{ см}^3 \text{ X}$, а при 100°C – $1,351 \text{ см}^3 \text{ X}$.

Задача 4. Структурная химия

Структура молекул определяет свойства вещества, поэтому в химии принято подробно описывать геометрию молекул.

Интересный пример геометрического разнообразия представляет собой молекула перекиси водорода (H_2O_2), в которой атомы кислорода и водорода образуют сложную фигуру, в которой два атома кислорода и каждый из атомов водорода образуют плоскость. Угол между такими плоскостями (на рисунке обозначен α) называется диэдральным углом, а угол между связями (O–O и O–H) – валентным углом (на рисунке обозначен β). Валентный угол определяется отталкиванием связей и пар электронов атома кислорода друг от друга, а диэдральный – дополнительно химическим окружением молекулы.



?1. При каком значении диэдрального угла атомы водорода располагаются:
a) максимально близко друг к другу, *б)* максимально далеко друг от друга?

Диэдральный угол влияет на полярность молекулы перекиси водорода: суммарный дипольный момент (характеристика полярности) молекулы является векторной суммой дипольных моментов (векторов смещения электронной плотности вдоль связи) отдельных связей.

?2. Какие связи в молекуле H_2O_2 полярны, а какие – неполярны? К какому из атомов смещена электронная плотность по полярным связям?

?3. В газовой фазе диэдральный угол в молекуле H_2O_2 составляет $90,2^\circ$, а в твердой фазе – $111,5^\circ$. В каком состоянии молекулы перекиси водорода более полярны – в газе или в кристаллическом состоянии? Коротко объясните.

Для описания химического связывания важна симметрия молекулы, которая определяется наличием:

- центра симметрии (для каждого атома в молекуле существует другой такой же атом, расположенный с первым атомом и центром симметрии на одной прямой на том же расстоянии от центра симметрии, что первый атом);

- плоскости симметрии (для каждого атома в молекуле существует другой такой же атом, расположенный по другую сторону от плоскости на том же расстоянии от нее, причем перпендикуляры из атомов на эту плоскость образуют одну прямую);

- осей симметрии n -го порядка (прямых, при вращении молекулы вокруг которых на угол $360^\circ/n$ молекула переходит сама в себя).

?4. Рассмотрите молекулу перекиси водорода с диэдральным углом
a) 180° , *б)* 0° . Определите, какие элементы симметрии присутствуют в такой молекуле (если есть оси симметрии – укажите, какого порядка).

Интересным примером геометрии молекул является геометрия S_2F_{10} : в ней все валентные углы близки к 90° . При этом диэдральный угол F–S–S–F (атомы для примера отмечены на рисунке) определяется тем, что пары электронов атомов фтора отталкиваются друг от друга и максимально удаляют связи сера-фтор друг от друга.

?5. Сколько неподеленных электронных пар имеет каждый атом фтора в составе S_2F_{10} ?

?6. Каков диэдральный угол в молекуле S_2F_{10} ?

?7. Ось симметрии какого порядка есть в молекуле S_2F_{10} ? Сколько у этой молекулы плоскостей симметрии? Есть ли в этой молекуле центр симметрии?

9 класс

Задача 1. Ионная

Хорошо известно, что ионные соединения в водных растворах могут участвовать в реакциях ионного обмена. В таблице ниже приведены некоторые сведения о взаимодействии водных растворов солей A_1 – A_5 с выбранными реагентами.

Соль	Цвет водного раствора	Массовая доля металла, %	Реагент	Наблюдаемый эффект
A_1	синий	39,82	$BaCl_2$	белый осадок
A_2	зеленый	26,86	$AgNO_3$	слегка желтоватый осадок
A_3	бесцветный	20,48	$Pb(NO_3)_2$	ярко-желтый осадок
A_4	зеленоватый	36,76	Na_2S	черный осадок
A_5	розовый	45,39	KF	розовый осадок

?1. Определите формулы солей A_1 – A_5 , если дополнительно известно, что в составе соединений A_1 и A_4 присутствует один и тот же анион, а массовая доля в таблице приведена в пересчете на безводную соль. Ответ подтвердите расчетами и уравнениями реакций.

Иногда реакции ионного обмена бывают осложнены протеканием других процессов, например, окислительно-восстановительными реакциями. Так, при взаимодействии слегка розоватого раствора соли A_6 (содержащей 30,70% металла по массе) с раствором гидроксида натрия образуется белый осадок, который на воздухе быстро буреет. Реакция грязно-желтого раствора соли A_7 (с содержанием металла 34,43%) с йодидом калия приводит к образованию темного осадка, если же при этом использовать избыток йодида калия, то темный осадок не образуется, а раствор окрашивается в насыщенный бурый цвет.

?2. Установите формулы солей A_6 и A_7 , ответ подтвердите расчетами. Приведите уравнения процессов, описанных в задаче.

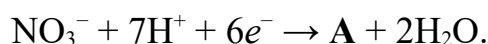
Нередко реакции ионного обмена с участием катионов слабых оснований и анионов слабых кислот осложняются процессами гидролиза. В таблице ниже представлены некоторые сведения о солях A_8 и A_9 , а также результаты взаимодействия их водных растворов с раствором карбоната натрия. Оба образующихся осадка растворимы в соляной кислоте, причем при растворении в первом случае наблюдается выделение бесцветного газа, а во втором – нет.

Соль	Цвет водного раствора	Массовая доля металла в соли, %	Наблюдаемый эффект	Массовая доля металла в осадке, %
A ₈	бесцветный	47,97	белый осадок, бесцветный газ	58,17
A ₉	бесцветный	15,77	белый осадок, бесцветный газ	34,59

?3. Установите формулы солей A₈ и A₉, а также составы образующихся осадков, ответ подтвердите расчетами. Приведите уравнения образования упомянутых осадков.

Задача 2. Электролизная

Трёхэлементное вещество A можно получить, например, электролитическим восстановлением раствора азотной кислоты на холоду. Если использовать для проведения электролиза ячейку с разделенными катодным и анодным пространством и амальгамированные электроды, то на одном из электродов протекает преимущественно полуреакция:



Электролиз проводят в среде серной кислоты. По окончании электролиза сульфат-ионы удаляют хлоридом бария, и в результате упаривания получают соль, которую часто записывают как «A·HCl».

?1. Определите формулу A. Как называется это вещество?

?2. На каком электроде протекает приведенная полуреакция – на катоде или на аноде?

?3. Из каких частиц состоит в действительности A·HCl? Изобразите их структурные формулы.

?4. Какое время необходимо проводить электролиз, чтобы получить при силе тока 24 А 10,00 г «A·HCl»?

В реальном синтезе A·HCl обычно получается примесь NH₄Cl, который также образуется при восстановлении азотной кислоты.

?5. Определите, какая часть тока пошла на электролиз с образованием A, а какая – на электролиз с образованием ионов аммония, если в полученном продукте доля NH₄Cl составляет 8% по массе, а 10% тока теряется на иные побочные процессы.

?6. Предложите способ получения чистого A из A·HCl (запишите уравнение реакции).

Раствор **A** способен реагировать с солями железа(II) и железа(III). С первыми **A** реагирует в щелочной среде с образованием осадка коричневого цвета. Со вторыми – в кислой среде с выделением газа с плотностью по воздуху 1,52. Кроме того, «**A**·HCl» при нагревании разлагается с образованием тех же азотсодержащих продуктов, что и в реакциях с солями железа. При этом с кислотой **B** «**A**·HCl» взаимодействует с образованием малорастворимого соединения **B**, содержащего 15,39% C и 61,5% O.

?7. Запишите уравнения описанных реакций, определите формулу **B**. Дайте веществу **B** название. Изобразите структурную формулу аниона, входящего в его состав.

Задача 3. Зубодробительная

Стехиометрические смеси веществ X_1 с X_2 и X_2 с X_3 при нагревании до температуры 900°C реагируют с образованием одних и тех же двух продуктов (но в разных количествах): простого вещества **X** и газа **Г** (*реакции 1, 2*). Если в двух опытах взять одинаковые навески X_2 и соответствующие порции X_1 (в первом эксперименте) и X_3 (во втором), а после нагревания и протекания реакций **Г** количественно поглотить раствором $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (*реакция 3*), то массы выпавших белых осадков будут относиться как 1:2.

X растворяется в концентрированной азотной кислоте с образованием X_4 (*реакция 4*) – одного из немногих водорастворимых веществ элемента **X**, которое после упаривания из раствора и дальнейшего прокаливания при определенных температурах превращается в X_5 с потерей массы 31,0% (*реакция 5*), который, в свою очередь, при дальнейшем нагревании уменьшается в массе еще в 1,024 раз (*реакция 6*). Реакция X_5 с HNO_3 приводит к образованию X_4 и X_6 (*реакция 7*). X_6 способно поглощать газ **Г** с образованием X_3 (*реакция 8*).

Взаимодействие X_4 с раствором NaOH приводит к выпадению осадка X_7 (*реакция 9*), растворимого в избытке NaOH с образованием X_8 (*реакция 10*), в котором КЧ центрального атома равно 3. Интересно, что раствор, полученный из X_7 и хлорной кислоты (*реакция 11*), при медленном защелачивании образует соединение X_9 (*реакция 12*), катион которого представляет собой 3 тетраэдра из атомов **X**: центральный, содержащий ион O^{2-} в центре, и 2 крайних, которые имеют с центральным по одной общей грани, причем остальные грани крайних тетраэдров координируют по одному гидроксид-иону как μ_3 -мостиковый лиганд. Окислительно-восстановительных процессов в последней реакции не происходит. Массовая доля металла в X_9 составляет 69,96%.

?1. Определите формулы веществ X_1 – X_9 , элемент **X**. Обоснуйте расчетом.

?2. Запишите уравнения реакций 1–12.

?3. Какую форму имеет анион в составе X_8 ?

?4. Изобразите строение катиона в составе X_9 (как умеете – мы поймем).

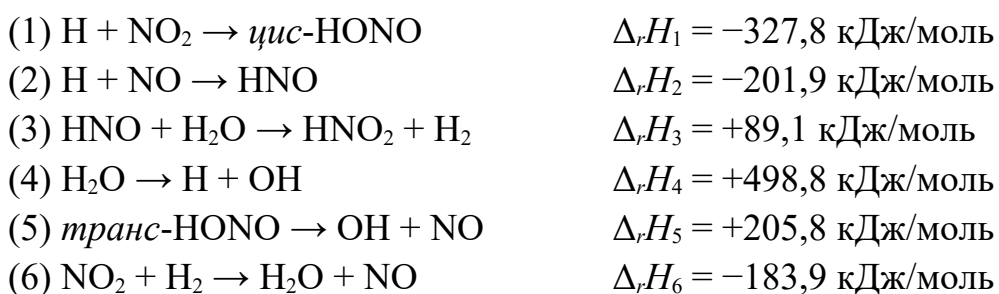
Задача 4. Атмосферная

Химия «в колбе» ощутимо отличается от атмосферной химии: в атмосфере Земли, интенсивно облучаемой Солнцем, происходит множество необычных реакций, образуется множество необычных частиц.

Так, оказывается, что на химию атмосферы влияет присутствие в ней небольших количеств изомеров азотистой кислоты. Будем далее обозначать их HONO и HNO_2 . Присутствие третьего изомера, содержащего в отличие от первых двух цикл, по-видимому, незначительно.

?1. Изобразите структурные формулы изомеров HONO , HNO_2 и циклической HNO_2 . Укажите их форму.

Важность данных молекул для атмосферной химии связана с тем, что при их распаде на свету образуются OH -радикалы, участвующие в дальнейшем в других процессах. Ситуацию осложняет существование *цис*- и *транс*-изомеров HONO . Ниже представлены термохимические уравнения некоторых процессов, происходящих в атмосфере с их участием.



Дополнительно известно, что энергия связи в молекуле водорода равна 436 кДж/моль.

?2. Рассчитайте энтальпии реакций распада *цис*- HONO и HNO_2 на OH -радикалы и NO , а также энтальпии изомеризации *транс*- HONO в *цис*- HONO и *транс*- HONO в HNO_2 . Сделайте вывод о том, какой из трёх изомеров наиболее стабилен.

?3. Рассчитайте длину волны света (в нм), который способен разорвать молекулу *транс*- HONO согласно реакции (5). Сделайте вывод о том, способен ли на это видимый белый свет.

Некоторые энтальпии реакций не удастся измерить экспериментально, и тогда они рассчитываются из некоторых предсказуемых теоретически параметров: энергий ионизации частиц (энтальпий отрыва электрона, I), сродства к электрону (энтальпий присоединения электрона, A), сродства к протону (эн-

тальпий присоединения H^+ к частице, A_H). Например, энтальпию реакции (1) можно рассчитать, либо опираясь $A_H(NO_2)$, либо опираясь на $A_H(NO_2^-)$.

?4. Получите 2 выражения для $\Delta_r H_1$: через $A_H(NO_2)$ и через $A_H(NO_2^-)$ (в каждом случае используйте и другие необходимые упомянутые параметры других частиц).

Дополнительная информация:

энергия одного кванта света равна:

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с – постоянная Планка;

$c = 2,998 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме;

λ – длина волны света.

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ РЯД НАПРЯЖЕНИЙ МЕТАЛЛОВ

Li, Rb, K, Cs, Ba, Sr, Ca, Na, Mg, Be, Al, Mn, Zn, Cr, Fe, Cd, Co, Ni, Pb, (H), Bi, Cu, Hg, Ag, Pd, Pt, Au

РАСТВОРИМОСТЬ СОЛЕЙ, КИСЛОТ И ОСНОВАНИЙ В ВОДЕ

анион катион	OH ⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻	CH ₃ COO ⁻
H ⁺		P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	P
NH ₄ ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P
K ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Na ⁺	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
Ag ⁺	-	P	P	H	H	H	H	H	M	H	-	H	P
Ba ²⁺	P	P	M	P	P	P	P	H	H	H	H	H	P
Ca ²⁺	M	P	H	P	P	P	M	H	M	H	H	H	P
Mg ²⁺	H	P	M	P	P	P	M	H	P	H	H	H	P
Zn ²⁺	H	P	M	P	P	P	H	H	P	H	-	H	P
Cu ²⁺	H	P	P	P	P	-	H	H	P	-	-	H	P
Co ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	-	H	P
Hg ²⁺	-	P	-	P	M	H	H	-	P	-	-	H	P
Pb ²⁺	H	P	H	M	M	H	H	H	H	H	H	H	P
Fe ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P
Fe ³⁺	H	P	P	P	P	-	-	-	P	-	-	H	P
Al ³⁺	H	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	H	P
Cr ³⁺	H	P	P	P	P	P	-	-	P	-	-	H	P
Sn ²⁺	H	P	H	P	P	M	H	-	P	-	-	H	P
Mn ²⁺	H	P	P	P	P	P	H	H	P	H	H	H	P

P – растворимо **M** – малорастворимо (< 0,1 M) **H** – нерастворимо (< 10⁻⁴ M) **-** – не существует или разлагается водой

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.008																	2 He 4.0026
2	3 Li 6.941	4 Be 9.0122															9 F 18.998	10 Ne 20.180
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305															17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
4	19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.61	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
5	37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc 98.906	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.75	52 Te 127.60	53 I 126.91	54 Xe 131.29
6	55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57 La 138.91	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.20	83 Bi 208.98	84 Po [209]	85 At [210]	86 Rn [222]
7	87 Fr [223]	88 Ra [226]	89 Ac [227]	104 Rf [265]	105 Db [268]	106 Sg [271]	107 Bh [270]	108 Hs [277]	109 Mt [276]	110 Ds [281]	111 Rg [280]	112 Cn [285]	113 Nh [284]	114 Fl [289]	115 Mc [288]	116 Lv [293]	117 Ts [294]	118 Og [294]
*	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm [145]	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97				
**	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.029	93 Np [237]	94 Pu [242]	95 Am [243]	96 Cm [247]	97 Bk [247]	98 Cf [251]	99 Es [252]	100 Fm [257]	101 Md [258]	102 No [259]	103 Lr [262]				