

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

2024-2025 учебный год

Задания для 8 и 9 классов

Казань – 2025

Содержание:

8 класс.....	1
9 класс.....	4

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. Элементы-соседи

Элементы X , Y , Z , U – неметаллы, расположенные в одной группе таблицы Менделеева. X , Y , Z образуют с U соединения X_1 , Y_1 , Z_1 , в которых эти элементы имеют высшую степень окисления. Массовая доля U в ряду X_1 , Y_1 , Z_1 убывает, в Y_1 она составляет 37,8%.

?1. Определите, о каких элементах X , Y , Z , U и веществах X_1 , Y_1 , Z_1 идёт речь.

Вещество X_1 имеет довольно сложную структуру. Оно состоит из отдельных молекул с привычной формулой только в газовой фазе. Твердый X_1 либо состоит из молекул-тримеров (то есть $(X_1)_3$), либо устроен как полимер. Твердый Y_1 также образует либо полимер, либо состоит из молекул-тетрамеров (то есть $(Y_1)_4$).

?2. Изобразите структурные формулы молекул, из которых состоит X_1 в газовой и твердой фазе, а также тетрамерные молекулы Y_1 в твердой фазе. Учтите, что они не содержат связей $X-X$ и $U-U$.

Z_1 отличается от двух своих аналогов тем, как он реагирует с водой. Если X_1 и Y_1 с водой дают одноподобные продукты X_2 и Y_2 , то продукт реакции Z_1 с водой – вещество Z_2 , состоит из молекул, каждая из которых содержит 13 атомов. Во всех случаях взаимодействие с водой не сопровождается изменением степеней окисления элементов.

?3. Определите формулы веществ X_2 , Y_2 , Z_2 .

?4. Как вы думаете, какое из веществ X_1 , Y_1 , Z_1 наиболее медленно реагирует с водой? Кратко поясните ваш выбор.

Задача 2. Эксперименты в лаборатории

Химики Рашит и Альберт нашли в школьной лаборатории красивый сиреневый порошок вещества X в неподписанном бьюксе. Рашит и Альберт хотели быстро взвесить вещество, чтобы приступить к количественному анализу найденной красоты, но, к своему удивлению, не обнаружили в школьной лаборатории точных аналитических весов. А к простым рычажным весам с не меньшим удивлением не нашлись разновесы и точные грузики.

Тогда ребята измельчили порошок и решили сделать много равных по массе небольших порций порошка X , уравновешивая последовательно друг с дру-

гом порции порошков. Ребята сделали их достаточно, чтобы использовать их как свою единицу измерения.

В первом опыте 200 порций порошка **X** были прокалены в колбе, причем все выделяющиеся газы поглощались в приемнике 1 (с P_2O_5) и затем остаток – в приемнике 2 (с CaO). Твердый продукт, оставшийся после прокаливания, оказался легче, чем 110 порций, и тяжелее, чем 109 порций. Вещество в приемнике 1 до опыта имело массу, равную 300 порциям, а после опыта – больше 347 порций, но меньше 348 порций. Вещество в приемнике 2 до опыта имело массу 300 порций, а после опыта – больше 343 порций, но меньше 344 порций.

Во втором опыте Рашит и Альберт установили, что **X** нерастворимо в воде, но растворимо в растворе соляной кислоты с выделением бесцветного газа без запаха. Если в этом опыте использовать 300 порций порошка **X**, то полученный раствор с фторидом натрия даёт осадок, масса которого после просушивания составляет чуть больше 197, но меньше 198 порций.

Рашит с Альбертом покумекали над полученными данными и через некоторое время сообразили, что несмотря на неточность измерений (с точностью до целых порций), они могут остановиться на 4 металлах, которые могли содержаться в **X** и удовлетворяют данным о массе твердого остатка в первом опыте и осадка во втором опыте. Вспомнив материал лекций по неорганической химии, они догадались и о том, какой из 4 металлов выбрать и быстро определили формулу самого вещества **X**.

?1. Какие вещества поглощаются в поглотителе 1 и поглотителе 2 в первом опыте? Запишите уравнения реакций, происходящих при поглощении.

?2. Согласно качественному описанию, какой анион содержит вещество **X**? Кратко обоснуйте.

?3. Согласно качественному описанию, к какому классу соединений относится твердый остаток после прокаливания **X** в первом опыте?

?4. Если степень окисления металла в **X** равна $+n$, то как можно записать общую формулу осадка, выпадающего в опыте 2?

?5. Определите, какие 4 металла и в каких степенях окисления (они должны быть реалистичными!) подходят под данные о массе твердого остатка в первом опыте и массе осадка во втором опыте. Приведите ваши расчеты.

?6. Определите формулу вещества **X**.

Задача 3. Запутанные растворы

Водные **растворы 1, 2 и 3, 4** содержат кроме водорода и кислорода только 1 элемент **X**. Растворы содержат только по одному растворенному веществу и имеют кислую среду.

Раствор 1 имеет концентрацию 201,0 г/л. **Раствор 1** объемом 200,0 мл содержит суммарно $1,244 \cdot 10^{25}$ атомов Н, $2,402 \cdot 10^{23}$ атомов Х, $7,062 \cdot 10^{24}$ атомов О. **Раствор 1** и **раствор 2** имеют одинаковую массовую долю растворенного вещества, при этом плотность второго раствора равна 1,088 г/мл, а молярная концентрация **раствора 2** равна 5,37 М. **Раствор 3** объемом 2,00 мл требует для полной нейтрализации 10,5 мг NaOH, при этом каждый миллилитр **раствора 3** содержит 6,87 мг растворенного вещества. **Раствор 4** содержит молекулы растворенного вещества и воды в соотношении 1:10, при этом атомов водорода в **растворе 4** на 61% больше, чем атомов кислорода.

Раствор 1 при очень аккуратном обезвоживании с помощью P_2O_5 (*реакция 1*) образует чистое растворенное вещество, представляющее собой взрывоопасную маслянистую жидкость. При дополнительной обработке этой жидкости P_2O_5 (*реакция 2*) образуется жидкий оксид, при небольшом нагревании разлагающийся на простые вещества (*реакция 3*). **Раствор 2** легко растворяет металлический алюминий (*реакция 4*). Нагревание **раствора 3** ведет к образованию компонентов **растворов 2** и **4** (*реакция 5*), а на свету постепенно превращается в компонент **раствора 2** (*реакция 6*).

?1. Рассчитайте молярную массу растворенного вещества, содержащегося в **растворе 1**, определите его формулу. Приведите ваши расчеты.

?2. Рассчитайте плотность **раствора 1** и массовую долю растворенного вещества в нем. Приведите ваши расчеты.

?3. Определите формулы растворенных веществ, содержащихся в **растворах 2, 3** и **4**. Приведите ваши расчеты.

?4. Запишите уравнения *реакций 1 – 6*.

?5. Изобразите структурные формулы растворенных веществ, содержащихся в **растворах 1** и **3** и оксида, образовавшегося в *реакции 2*.

Задача 4. Немного похимичить

В руки химика Ибрагима попал небольшой набор веществ: медный купорос, нитрат железа(III) (в виде нонагидрата), раствор аммиака, хлорид бария. Ибрагим, пользуясь стеклянной посудой, нагреванием, достаточным количеством воды и оборудованием для сбора в том числе неустойчивых веществ, но не привлекая ничего иного, решил получить следующие вещества:

- 1) белый осадок вещества, состоящий из 3 элементов;
- 2) белый осадок вещества, состоящий из 2 элементов;
- 3) бурый газ;
- 4) бурый осадок;
- 5) летучее бесцветное вещество, агрессивно реагирующее с водой;

- 6) фиолетово-синий раствор;
- 7) основной компонент воздуха;
- 8) веселящий газ.

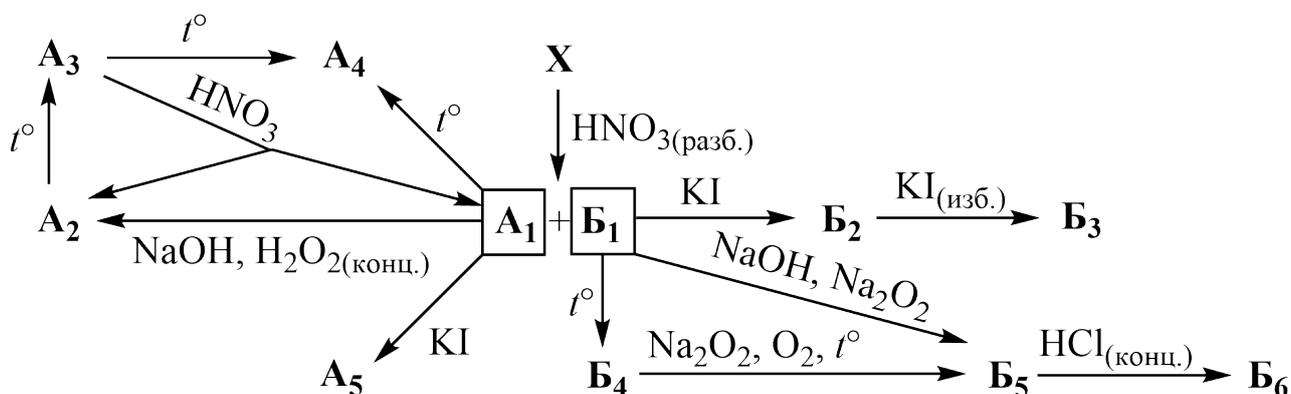
?1. Запишите формулы исходных веществ, имеющих у Ибрагима.

?2. Для каждого его синтеза составьте уравнения реакций, которые ему предстоит провести (иногда синтез – одностадийный, иногда в нем – несколько стадий и, значит, несколько реакций).

9 класс

Задача 1. Атомный сплав

Сплав **X** состоит из двух элементов **A** и **B**, являющихся соседями по Периодической системе, и применяется в атомной энергетике. Ниже приведена цепочка превращений:



Соединения **A₂** и **B₂** имеют темно-коричневый цвет, **A₃** окрашено в оранжевый цвет, а малорастворимое в воде соединение **A₅** имеет ярко-желтый цвет. Массовая доля йода в **A₅** меньше, чем в **B₂** в 1,17 раз.

?1. Определите элементы **A** и **B**. Приведите формулы соединений **A₁-A₅**, образованных элементом **A**, и соединений **B₁-B₆**, образованных элементом **B**. Дополнительно известно, что анион в соединениях **B₃** и **B₆** состоит из пяти атомов.

?2. Приведите уравнения реакций, не забыв расставить коэффициенты.

Задача 2. Непростые соединения

Бинарное соединение **A** необычного состава образует темно-красные легкоплавкие кристаллы. **A** – ионное соединение, в котором молярные массы пятиатомного катиона и трёхатомного аниона относятся как 1,46:1. Вещество **A** может быть получено реакцией простых веществ молекулярного строения **X** и **Y**, образующими белую воскообразную массу и темно-красную тяжелую жидкость, соответственно. При таком методе получения **A** основным продуктом оказывается другое бинарное соединение **B** желтого цвета. При нагревании **B** обратимо разлагается на **Y** и вещество **C**. Молярная масса **B** больше молярной массы **C** в 1,59 раз.

Все описанные выше вещества реагируют с избытком раствора щелочи (*реакции 1–5*), а процессы, происходящие с **A**, **B** и **C** в горячем растворе щелочи, можно описать следующими схемами (реакции не уравнены):



При реакции **Y** с горячим раствором KOH образуются соли **D** и **G** (*реакция 4*), а реакция **X** с KOH при нагревании приводит к образованию неустойчивого газа **H** несколько тяжелее воздуха и соли **I** (*реакция 5*) с таким же качественным составом, что и соль **F**.

?1. Определите вещества **A**, **B**, **C**, **X**, **Y**, напишите уравнения *реакций 1-5*.

?2. Изобразите структурные формулы с указанием геометрии ионов, из которых состоит **A**, молекулы **C**, анионов солей **E**, **F**, **G**, **I**.

Известен ряд соединений, содержащих катионы, схожие с катионом в составе **A**, например, трёхэлементные соединения **Q** и **W** одинакового качественного состава. Известны массовые доли двух элементов в их составе:

	Элемента, образующего X	Элемента, образующего Y
Q	13,89%	11,94%
W	13,44%	17,34%

Известно, что **Q** содержит катионы **R**, анионы **T** и **S** в соотношении 2:1:1. **W** содержит катионы **R** и **U**, анионы **T** и **S** в соотношении 3:1:2:2. Катионы **R** и **U** – аналоги катиона, содержащегося в составе **A**. **S** – одноатомный анион, **T** состоит из атомов 2 элементов.

?3. Определите третий элемент **Z**, содержащийся в составе **Q** и **W**. Ответ обоснуйте расчетом.

?4. Определите формулы Q и W. Запишите их формулы, соответствующие их ионному строению.

Задача 3. Металл дурет от этого газа

Металл **M** был известен еще в средние века, когда его соединения использовались в качестве пигментов и для окрашивания стекол в зеленый цвет. Этот легкий металл в настоящее время имеет огромное промышленное значение в производстве сталей, сплавов и покрытий. При комнатной температуре **M** пассивируется в концентрированных азотной и серной кислотах, что объясняет области его применения.

M пассивируется также газом **A** при нормальных условиях, поэтому его используют для транспортировки этого активного и опасного газа. При нагревании **M** с **A** протекает реакция образования бинарного вещества **X₁**, в котором массовая доля одного из элементов равна 39,3% (*реакция 1*). Если же пропускать избыток **A** над твердыми **X₁** и хлоридом калия, то образуется **X₂** – вещество, в котором **M** проявляет неустойчивую высшую степень окисления и образует октаэдрический анион (*реакция 2*). Бинарное вещество **X₃**, содержащее **M** в той же степени окисления, можно получить реакцией **X₂** с сильной кислотой Льюиса, например, **BF₃** (*реакция 3*). При нагревании **X₃** постадийно разлагается: сначала с образованием **X₄** (*реакция 4*), а затем **X₁** (*реакция 5*).

?1. Определите неизвестные вещества **M**, **A**, **X₁** – **X₅**.

?2. Напишите уравнения *реакций 1-5*.

Неустойчивая соль **X₆**, содержащая тот же анион, что и **X₂**, и тетраэдрические катионы, является потенциальным окислителем для ракетного топлива. При температурах выше -65°C она разлагается с образованием **X₁** и образованием газовой смеси, плотность которой при -60°C и 0,6 атм составляет 1,76 г/л. При охлаждении этой газовой смеси до -140°C конденсируется жидкость, а оставшийся газообразный фтор имеет объём в 2,669 раз меньше, чем исходная смесь при исходной температуре.

?3. Определите формулу соли **X₆**, дайте ей название, запишите уравнение реакции её разложения. Кратко обоснуйте ответ расчетом.

M достаточно легко взаимодействует с газом **B** с плотностью по водороду 14. В герметичный цилиндрический сосуд с внутренним радиусом 15 см и высотой 45 см закачали **B** до давления 0,4 атм. При нагревании протекла реакция образования **Y₁**, при этом давление в сосуде в ходе реакции уменьшилось в 4 раза (*реакция 6*). Считайте, что *реакция 6* протекла количественно.

При нормальных условиях Y_1 – бесцветная жидкость. Если подействовать на нее металлическим натрием в среде тетрагидрофурана (органический растворитель), то можно получить продукт восстановления – анион Y_2^{2-} (*реакция 7*). Добавляя затем небольшое количество воды, можно частично гидролизовать Y_2^{2-} до форм Y_3^{2-} и Y_4^{2-} .

Y_2^{2-} представляет собой тригональную бипирамиду из атомов M ; аксиальные атомы содержат по три лиганда B , а экваториальные – по одному. При этом над каждым ребром экваториального фрагмента M_3 дополнительно содержится по одному мостиковому B .

Y_3^{2-} состоит из двух экваториальных фрагментов, содержащихся в Y_2^{2-} , которые образуют октаэдр.

Y_4^{2-} же состоит из трех экваториальных фрагментов Y_2^{2-} , которые расположены друг над другом.

Известно, что анионы Y_n^{2-} имеют такой же качественный состав, как и Y_1 .

?4. Определите вещества B и Y_1 . На сколько грамм изменится масса сосуда после извлечения из него продукта реакции? Запишите уравнение *реакции 6*.

?5. Определите формулы анионов Y_2^{2-} – Y_4^{2-} . Схематично изобразите их строение.

?6. Запишите ионное уравнение *реакции 7*, если известно, что единственным побочным продуктом является газ B .

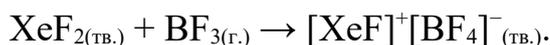
Задача 4. Благородные доны!

Ксенон и криптон – благородные газы, которые образуют ряд относительно стабильных соединений. Химия ксенона развита гораздо сильнее, чем химия соединений криптона, так как одни из ключевых исходных соединений благородных газов – это фториды, и в случае криптона даже их получение затруднено. Так, энтальпия образования твердого XeF_2 составляет -108 кДж/моль, что связано с образованием достаточно прочных связей ксенон-фтор. Энергия связей $Kr-F$ – рекордно низкая и составляет 46 кДж/моль. Энергия связи $F-F$ равна 159 кДж/моль.

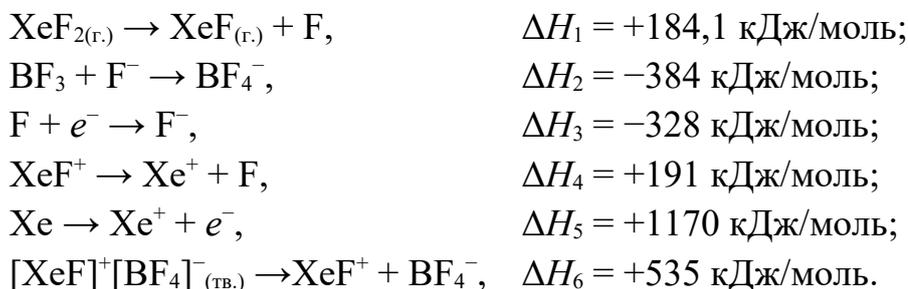
?1. Рассчитайте среднюю энергию связи $Xe-F$ в молекуле XeF_2 , если энтальпия возгонки твердого XeF_2 составляет $53,5$ кДж/моль.

?2. Рассчитайте энтальпию образования KrF_2 из простых веществ в газовой фазе.

Один из путей стабилизации благородных газов в положительных степенях окисления – образование солей, в которых благородный газ входит в состав катионов. Например, такая соль образуется по реакции:



Оценим термодинамическую выгодность этой реакции. В качестве справочных данных будем опираться на известные по прямым и косвенным измерениям термохимические величины:



?3. Выведите выражение для энтальпии образования упомянутой соли (через ΔH_i и параметры, данные в условии выше). Рассчитайте энтальпию реакции получения $[\text{XeF}]^+[\text{BF}_4]^-_{(\text{тв.})}$ из $\text{XeF}_{2(\text{тв.})}$ и $\text{BF}_{3(\text{г.})}$.

?4. Рассчитайте энергию ионизации нейтральной частицы $\text{XeF}_{(\text{г.})}$.

?5. Как влияет давление на равновесие в реакции получения $[\text{XeF}]^+[\text{BF}_4]^-_{(\text{тв.})}$? Кратко обоснуйте.

?6. На реакции с небольшим значением энтальпии сильно влияет энтропийный фактор. Каков знак $\Delta_r S$ процесса синтеза $[\text{XeF}]^+[\text{BF}_4]^-_{(\text{тв.})}$? Изобразите качественный вид графика зависимости $\Delta_r G^\circ$ от температуры и сделайте вывод о том, при каких температурах (при низких или при высоких) лучше проводить синтез.

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												5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
3	11 Na 22.990	12 Mg 24.305												13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.066	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]					