Тема 13. Благородные газы

	I A 1	II A 2		III B 3	IV B 4	V B 5	VI B 6	VII B 7	VIII B 8	VIII B 9	VIII B 10	I B 11	II B 12	III A 13	IV A 14	V A 15	VI A 16	VII A 17	VIII A 18
1	1,00794 1 H ВОДОРОД																		4,00260 2 He ГЕЛИЙ
2	6,941 3 Li ЛИТИЙ	9,01218 4 Be БЕРИЛЛИЙ												10,811 5 B БОР	12,0107 6 C УГЛЕРОД	14,0067 7 N АЗОТ	15,9994 8 O КИСЛОРОД	18,9984 9 F ФТОР	20,1797 10 Ne НЕОН
3	22,9898 11 Na НАТРИЙ	24,3050 12 Mg МАГНИЙ												26,9815 13 Al АЛЮМИНИЙ	28,0855 14 Si КРЕМНИЙ	30,9738 15 P ФОСФОР	32,065 16 S СЕРА	35,453 17 Cl ХЛОР	39,948 18 Ar АРГОН
4	39,0983 19 K КАЛИЙ	40,078 20 Ca КАЛЬЦИЙ		44,9559 21 Sc СКАНДИЙ	47,867 22 Ti ТИТАН	50,9415 23 V ВАНАДИЙ	51,9961 24 Cr ХРОМ	54,9380 25 Mn МАРГАНЕЦ	55,845 26 Fe ЖЕЛЕЗО	58,9332 27 Co КОБАЛЬТ	58,6934 28 Ni НИКЕЛЬ	63,546 29 Cu МЕДЬ	65,38 30 Zn ЦИНК	69,723 31 Ga ГАЛЛИЙ	72,63 32 Ge ГЕРМАНИЙ	74,9216 33 As МЫШЬЯК	78,96 34 Se СЕЛЕН	79,904 35 Br БРОМ	83,798 36 Kr КРИПТОН
5	85,4678 37 Rb РУБИДИЙ	87,62 38 Sr СТРОНЦИЙ		88,9058 39 Y ИТТРИЙ	91,224 40 Zr ЦИРКОНИЙ	92,9064 41 Nb НИОБИЙ	95,96 42 Mo МОЛИБДЕН	[98] 43 Tc ТЕХНЕЦИЙ	101,07 44 Ru РУТЕНИЙ	102,905 45 Rh РОДИЙ	106,42 46 Pd ПАЛЛАДИЙ	107,868 47 Ag СЕРЕБРО	112,411 48 Cd КАДМИЙ	114,818 49 In ИНДИЙ	118,710 50 Sn ОЛОВО	121,760 51 Sb СУРЬМА	127,60 52 Te ТЕЛЛУР	126,904 53 I ИОД	131,293 54 Xe КСЕНОН
6	132,905 55 Cs ЦЕЗИЙ	137,327 56 Ba БАРИЙ	*	174,967 71 Lu ЛЮТЕЦИЙ	178,49 72 Hf ГАФНИЙ	180,948 73 Ta ТАНТАЛ	183,84 74 W ВОЛЬФРАМ	186,207 75 Re РЕНИЙ	190,23 76 Os ОСМИЙ	192,217 77 Ir ИРИДИЙ	195,084 78 Pt ПЛАТИНА	196,967 79 Au ЗОЛОТО	200,59 80 Hg РТУТЬ	204,383 81 Tl ТАЛЛИЙ	207,2 82 Pb СВИНЕЦ	208,980 83 Bi ВИСМУТ	[209] 84 Po ПОЛОНИЙ	[210] 85 At АСТАТ	[222] 86 Rn РАДОН
7	[223] 87 Fr ФРАНЦИЙ	[226] 88 Ra РАДИЙ	* *	[262] 103 Lr ЛОУРЕНСИЙ	[267] 104 Rf РЕЗЕРФОРДИЙ	[270] 105 Db ДУБНИЙ	[271] 106 Sg СИБОРГИЙ	[274] 107 Bh БОРИЙ	[277] 108 Hs ХАССИЙ	[278] 109 Mt МЕЙТНЕРИЙ	[281] 110 Ds ДАРМШТАДТИЙ	[281] 111 Rg РЕНТГЕНИЙ	[285] 112 Cn КОПЕРНИЦИЙ	[286] 113 Uut	[289] 114 Fl ФЛЁРОВИЙ	[289] 115 Uup	[293] 116 Lv ЛИВЕРМОРИЙ	[294] 117 Uus	[294] 118 Uuo

* ЛАНТАНОИДЫ	138,905 57 La ЛАНТАН	140,116 58 Ce ЦЕРИЙ	140,908 59 Pr ПРАЗЕОДИМ	144,242 60 Nd НЕОДИМ	[145] 61 Pm ПРОМЕТИЙ	150,36 62 Sm САМАРИЙ	151,964 63 Eu ЕВРОПИЙ	157,25 64 Gd ГАДОЛИНИЙ	158,925 65 Tb ТЕРБИЙ	162,500 66 Dy ДИСПРОЗИЙ	164,930 67 Ho ГОЛЬМИЙ	167,259 68 Er ЭРБИЙ	168,934 69 Tm ТУЛИЙ	173,054 70 Yb ИТТЕРБИЙ
* * АКТИНОИДЫ	[227] 89 Ac АКТИНИЙ	232,038 90 Th ТОРИЙ	231,036 91 Pa ПРОТАКТИНИЙ	238,029 92 U УРАН	[237] 93 Np НЕПТУНИЙ	[244] 94 Pu ПЛУТОНИЙ	[243] 95 Am АМЕРИЦИЙ	[247] 96 Cm КЮРИЙ	[247] 97 Bk БЕРКЛИЙ	[251] 98 Cf КАЛИФОРНИЙ	[252] 99 Es ЭЙНШТЕЙНИЙ	[257] 100 Fm ФЕРМИЙ	[258] 101 Md МЕНДЕЛЕВИЙ	[259] 102 No НОБЕЛИЙ

Свойства группы благородных газов

Элемент	**He**	**Ne**	**Ar**	**Kr**	**Xe**	**Rn**
Атомный номер	2	10	18	36	54	86
Распространенность атмосфере, % об.	$5{,}2 \cdot 10^{-4}$	$18{,}2 \cdot 10^{-4}$	0,93	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$0{,}09 \cdot 10^{-4}$	–
Добыча, млн. м^3 в год	**160**	**0,35**	**400**	**0,12**	**0,01**	

Общие свойства благородных газов

- Благородные газы – элементы 0-й группы таблицы Менделеева, имеют завершенные внешние электронные оболочки. Вследствие этого они химически инертны в обычных условиях.
- Геохимия благородных газов очень своеобразна. Из-за того, что они не образуют никаких соединений в природе, их поведение не лимитируется непосредственно никакими химическими процессами. Распространенность благородных газов и распределение в окружающей среде определяются физическими процессами.
- В этом влиянии выделяются два аспекта – а) происхождение благородных газов и их изотопов и б) межфазное распределение в геологических системах (вода-газ).
- По происхождению изотопы благородных газов могут быть подразделены на:
- - первичные (нуклеосинтетические);
- - радиогенные – продукты ядерного распада и ядерного деления (в том числе – антропогенные, в атомных реакторах и при ядерных взрывах).

Изотопы благородных газов

He	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn
^{3}He (1,4·10^{-6})	^{20}Ne (90.48%)	^{36}Ar (0.34%)	^{78}Kr (0.35%)	^{124}Xe (0.095%)	^{219}Rn (τ½ 4 сек)
^{4}He (100%)	^{21}Ne (0.27%)	^{38}Ar (0.06%)	^{80}Kr (2.28%)	^{126}Xe (0.089%)	^{220}Rn (τ½ 56 сек)
	^{22}Ne (9.25%)	^{40}Ar (99.6%)	^{82}Kr (11.58%)	^{128}Xe (1.91%)	^{222}Rn (τ½ 3,8 дн)
			^{83}Kr (11.49%)	^{129}Xe (26.40%)	
			^{84}Kr (57.00%)	^{130}Xe (4.07%)	
			^{85}Kr (τ½ 10,8 лет)	^{131}Xe (21.23%)	
			^{86}Kr (17.30%)	^{132}Xe (26.91%)	
				^{134}Xe (10.44%)	
				^{135}Xe (τ½ 9,14 ч)	
				^{136}Xe (8.86%)	

^{3}He и др.	- первичные (нуклеосинтетические) изотопы
^{129}Xe, ^{131}Xe, и др.	- продукты ядерного распада или деления вымерших изотопов (^{129}I, ^{244}Pu)
^{4}He, ^{220}Rn, и др.	- продукты ядерного распада долгоживущих изотопов
	- техногенные изотопы – осколки ядерного деления в атомных реакторах
^{85}Kr, ^{135}Xe	- короткоживущие изотопы - осколки ядерного деления в атомных реакторах

Общие свойства благородных газов

- По своему геохимическому поведению благородные газы в классификации В.М.Гольдшмидта относятся к атмофильному классу.
- В магматических процессах благородные газы переходят в расплав при плавлении пород мантии и коры, и при снижении давления теряются из расплава при дегазации.
- При очень высоких давлениях молекулы благородных газов могут внедриться в кристаллическую решетку минералов, имеющих полости (например, в бериллы в пегматитах).
- В гидротермальном процессе благородные газы теряются из растворов при дегазации.

Общие свойства благородных газов

- Во внешних оболочках благородные газы почти полностью распределяются в атмосферу. При радиогенном образовании в коре (He, Ar, Rn) возникает поток благородных газов в атмосферу. (Это используется для решения некоторых геологических задач – *гелиевая съемка*, *радоновая съемка*).
- Воздействия на живые организмы благородные газы не производят (кроме радиоактивного радона).
- Добыча благородных газов: He получают попутно из газовых и нефтяных месторождений, Ne, Ar, Kr и Xe – из атмосферы попутно при производстве жидкого кислорода и азота.

Гелий

- Гелий имеет 2 стабильных изотопа – ^{3}He и ^{4}He. ^{4}He абсолютно преобладает в атмосфере Земли (^{3}He/^{4}He=1,4·10^{-6} – R_A) из-за того, что он образуется в Земной коре и мантии при α-распаде радиоактивных изотопов.
- Содержание гелия в атмосфере Земли отражает динамическое равновесие между потоком радиогенного гелия из Земной коры и диссипацией его в космическое пространство. Концентрация первичного изотопа ^{3}He в атмосфере Земли очень мала.
- Последствия генерации He в Земной коре используются в геологии – *гелиевая съемка*, как метод трассирования проницаемых зон (разломов и др.) в Земной коре.
- Отношение ^{3}He/^{4}He – индикатор мантийного источника вещества. В стеклах океанских базальтов (MORB) это отношение составляет 7,8 R_A. Такая величина считается характерной для современной мантии Земли. В Земной коре это отношение может снижаться до 0,01 R_A из-за генерации радиогенного ^{4}He.
- Гелий накапливается в подземных газах, и в некоторых нефтяных месторождениях в газовых шапках его содержание достигает 2%.

Гелий

- **Добыча.** Гелий в настоящее время извлекается попутно из месторождений углеводородов при подготовке нефти и газа к транспортировке. Мировая добыча гелия растет, и достигла 160 млн. куб. м. Основные производители – США (попутно из сланцевого газа) и Катар.
- В РФ основная добыча гелия ведется на Оренбургском газоконденсатном месторождении (5 млн. куб. м). В 2021 г. начал работать Амурский газоперерабатывающий завод, использующий газ Чаяндинского (Якутия) и Ковыктинского (Иркутская обл.) месторождений, богатых гелием. При выходе на проектную мощность (2025 г.) Амурский ГПЗ будет давать 60 млн. куб. м. гелия и станет крупнейшим в мире производителем этого газа.

Гелий

- **Использование** гелия в настоящее время очень многопланово:

- магнито-резонансная томография (30%);
- как легкий газ для заполнения шаров, метеозондов и пр. (17%);
- в аналитических, лабораторных и других научных целях (14%);
- в металлургии и машиностроении (сварка, получение сверхчистых материалов) (9%);
- производство полупроводников (5%);

а также – для глубокого охлаждения и получения сверхпроводящего состояния, поиска утечек в трубопроводах («гелиевые течеискатели»), заполнения светодиодных ламп, дыхательных смесей для водолазов и др.

Неон

- Соотношения распространенности изотопов неона ($^{20}Ne/^{22}Ne$) в атмосфере Земли совпадают с соотношениями для Солнца и хондритов, что указывает на первичное космогенное происхождение этого элемента в атмосфере.
- Небольшая часть атомов изотопа ^{21}Ne имеет радиогенное происхождение. Этот изотоп может образовываться при воздействии космических лучей и при α-захвате ядром ^{18}O (вследствие чего изотопный состав неона, захваченного в минералах, например, монаците может иметь соотношение $^{21}Ne/^{20}Ne$ на два порядка выше атмосферного).
- Концентрация неона в атмосфере очень небольшая (18 ppmv), что свидетельствует об очень малой доле космогенных газов в земной атмосфере.
- В природных процессах неон ведет себя инертно, и его концентрации и изотопные отношения не меняются.

- **Добыча.** Неон получают попутно при производстве жидкого кислорода.
- **Использование** неона в настоящее время очень невелико из-за вытеснения его более дешевыми аргоном и гелием.
- Неон используется для заполнения газоразрядных ламп, в гелий-неоновых лазерах и в криогенных установках.

Аргон

- Аргон – самый распространенный благородный газ в атмосфере Земли – 0,93% об. Это следствие генерации изотопа ^{40}Ar в Земной коре при распаде радиоактивного предшественника - ^{40}K (основная доля ^{40}K сейчас находится в Земной коре; она составляет лишь около 8% от исходного количества этого изотопа на начало жизни Земли).
- В изотопном составе аргона воздуха изотоп ^{40}Ar составляет подавляющую часть (99,6%), на долю «первичных», нерадиогенных изотопов приходится 0,4%.
- Отношение нерадиогенных изотопов $^{38}Ar/^{36}Ar$=0.188 очень близко к солнечному (0,186), подтверждая их первичное космогенное происхождение.
- Изотоп ^{40}Ar используется для датирования геологических объектов (*калий-аргоновый метод*; τ½(^{40}K)=1,248 млрд. лет). Применение этого метода в геологии сильно лимитировано *потерей радиогенного аргона* при нагреве пород (метаморфизм, гидротермальный процесс и др.).

Аргон

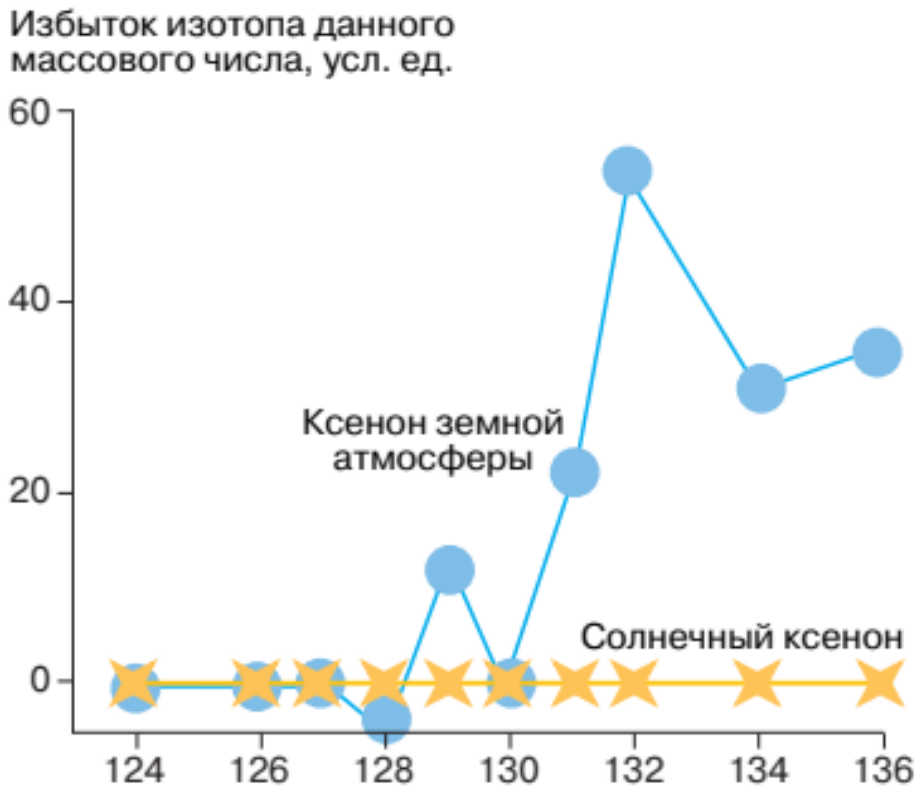
- **Добыча.** Аргон получают попутно при разделении воздуха на кислород и азот (эти газы в основном используются в металлургии – «кислородное дутье» и производстве азотных удобрений, соответственно). Мировая добыча аргона составляет около 400 млн. куб. м. Основные производители аргона сейчас – Германия, Нидерланды, Бельгия.
- **Использование.** Главное применение аргона – создание инертной атмосферы. Такая атмосфера нужна для производства и сварки некоторых металлов (например, Ti), и в химическом синтезе. Аргон используется для заполнения ламп накаливания, что дает их большую долговечность.
- В последние десятилетия аргон стал широко использоваться в быту - для заполнения стеклопакетов, аэрозольных баллонов, как «упаковочный газ» в пищевой промышленности и пр.

Криптон

- Соотношения изотопов криптона в атмосфере земли соответствуют космической распространенности, что указывает на их космогенное происхождение.
- Радиоактивный изотоп ^{85}Kr – один из продуктов деления урана в атомных реакторах. Мониторинг содержания этого изотопа в атмосфере используется ядерными державами как индикатор, позволяющий определить суммарное мировое производство плутония при контроле за распространением ядерного оружия.
- **Добыча.** Криптон получают попутно при производстве жидкого кислорода. Выделение его очень энергозатратно, что определяет высокую стоимость Kr, и ограничивает его коммерческое использование. Мировое получение криптона сейчас оценивается в 120 тыс. куб. м в год.
- **Использование.** Криптон используется в конструкции сверхмощных эксимерных лазеров. Его применяют в заполнении ламп накаливания для повышения срока службы.
- ^{85}Kr является β-излучателем, поэтому, хотя он образуется при работе АЭС, экологический ущерб от него незначителен.

Ксенон

- Ксенон – самый редкий из благородных газов в атмосфере Земли.
- Ксенон – наиболее «богатый» по числу стабильных изотопов благородный газ. Геохимия изотопов ксенона сложна, поскольку разные изотопы имеют разное происхождение.



По [Шуколюков Ю.А. Аномальный ксенон Земли, 1997]

- Изотопы с массами 124, 126, 128 и 130 – первичные космогенные.
- Изотоп ^{129}Xe оказался существенно более распространенным на Земле, чем должно быть для «первичных» изотопов. Причина этого - основная часть ^{129}Xe образовалась из радиоактивного предшественника – ^{129}I (τ½=15,7 млн. лет), захваченного растущей Землей и вскоре после этого распавшегося. Из этого следует, что благородные газы атмосферы Земли – это результат дегазации ее недр, а не какого-то внешнего поступления.
- Изотопы Xe с массами 131, 132, 134 и 136 также характеризуются избыточным распространением. В дополнение к первичной составляющей, они образуются при делении изотопов U и Pu, в том числе – вымершего ^{244}Pu (τ½=70 млн. лет).

Ксенон

- Радиоактивный ^{135}Xe ($\tau_{1/2}$=9,14 часа) имеет техногенное происхождение – он образуется в атомных реакторах при делении урана. Этот изотоп имеет очень большое сечение захвата нейтронов, его появление в урановом топливе тормозит цепную реакцию («ксеноновая яма» – один из факторов, повлиявших на развитие событий при Чернобыльской аварии). В природе этот изотоп отсутствует.

Ксенон

- **Проблема «пропавшего» ксенона.** Концентрация первичных изотопов ксенона ($^{124,126,128,130}Xe$) в атмосфере Земли оказалась примерно на 30% ниже, чем оценка по соотношению первичных изотопов других благородных газов. Этот дефицит послужил основанием для разнообразных гипотез внеземного (кометного, метеоритного) источника газов в атмосфере, активно обсуждаемых в планетологической литературе.
- В последние десятилетия получены экспериментальные данные, показывающие, что при T-P-условиях нижней мантии и ядра ксенон может образовывать соединения вида $Xe(Fe,Ni)_3$, а также - входить в кристаллическую решетку силикатов. Для других благородных газов такие эффекты не известны.
- Таким образом, зафиксированный дефицит ксенона может быть объяснен частичным уходом этого элемента в ядро Земли в ходе ее эволюции, и не требует привлечения «внеземных» гипотез.

Ксенон

- **Добыча.** Ксенон получают попутно при производстве жидкого кислорода. Из-за малой исходной концентрации выделение его очень дорого. Мировое получение криптона сейчас составляет около 10 тыс. куб. м в год.
- **Использование.** Несмотря на высокую стоимость, ксенон используется для производства мощных электроламп автомобилей.
- В конце XX века был разработан метод применения ксенона как средства для наркоза.

Радон

- Радон – радиоактивные элемент. Все три его изотопа, встречающихся в природе радиоактивны, они являются промежуточными звеньями в цепях распада U и Th. Наиболее долгоживущий изотоп ^{222}Rn - $\tau_{1/2}$=3,8 дня.
- Изотопы радона – наилучшие мигранты в цепях распада U и Th, но из-за короткого времени жизни роль их в распространении радиоактивности в природе ограничена.
- *Радоновая съемка* (благодаря небольшой сложности аппаратурной реализации) используется для трассирования подповерхностных разрывных нарушений при индустриальном строительстве.
- *Радоновая съемка* проводится при изысканиях для жилищного строительства, поскольку вклад Rn в формировании радиационного фона может быть существенным (до 30% в закрытых помещениях).
- Установлена корреляция между уровнем содержания радона в подвальных жилых помещениях и заболеваемостью раком легких.