

Химия естественных радиоактивных элементов

Лекция-2



Дмитрий Иванович Мычко

доцент кафедры неорганической
химии

Белорусского государственного
университета,

кандидат химических наук, доцент

М.т.8-029-1147577; e-mail:

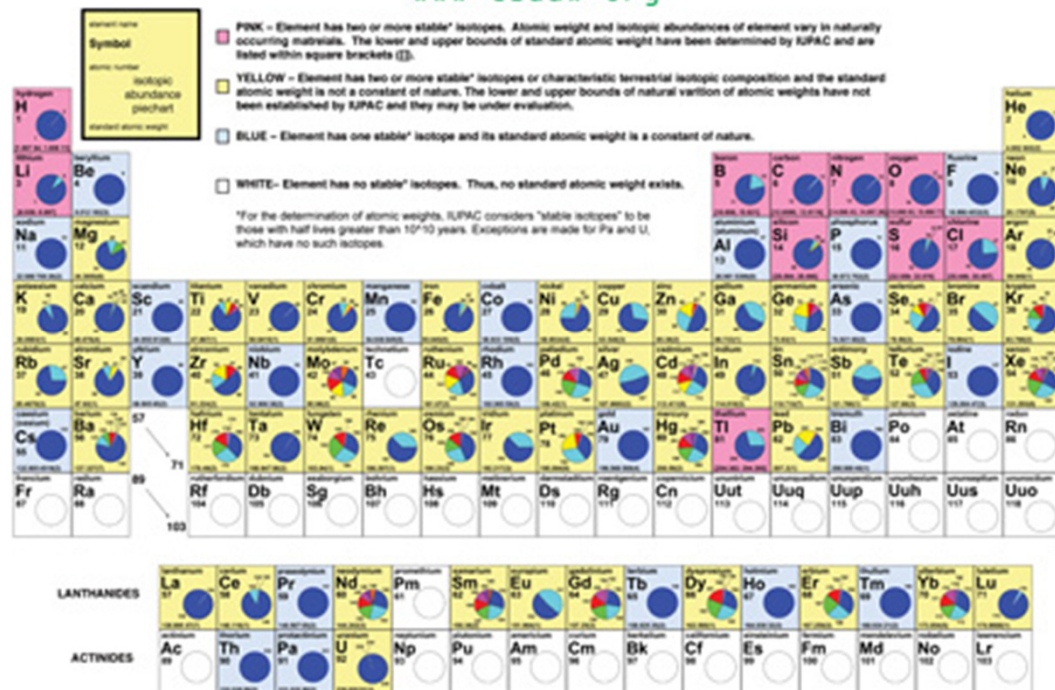
dimbsu@gmail.com

Самостоятельная работа

Вариант 1	Вариант 2
<p>Определите массу полония-210, который содержится в 1 тонне урана-238. Периоды полураспада урана и полония соответственно равны $4,5 \cdot 10^9$ и 0,38 лет</p>	<p>Сколько α-частиц излучает 0,01 мг полония-210 каждую секунду.</p> <p>Определите массу полония-210, который содержится в 1 тонне урана-238. Периоды полураспада урана и полония соответственно равны $4,5 \cdot 10^9$ и 0,38 лет</p>

IUPAC Periodic Table of the Isotopes

www.ciaaw.org



Величины, используемые для характеристики гигиенических норм радиоэлементов.

- **Доза 50%-ного выживания ($СД_{50}$)** – доза излучения, приводящая к гибели 50% облученных за определенный срок (обычно в течение 30 суток после облучения).
 - **Допустимое содержание (ДС)** – такое среднегодовое содержание радиоактивных веществ в организме, при котором эквивалентная доза равна ПДД для персонала.
-

-
- **Допустимая мощность дозы (ДМД)** – отношение ПДД ко времени облучения в течение года.
 - **Коэффициент всасывания (радиоактивного вещества)** – отношение количества радиоактивного вещества, поступившего в кровь, к общему количеству радиоактивного вещества, введенного в организм.
-

-
- **Коэффициент отложения (радиоактивного вещества в органе)** – отношение количества радиоактивного вещества, поступившего в данный орган из крови, к количеству радиоактивного вещества, находящемуся в крови.
 - **Минимально значимая активность (МЗА)** – наибольшая активность открытого источника на рабочем месте, не требующая регистрации или получения разрешения на работу с ним органов Государственного санитарного надзора.
-

-
- **Минимальная абсолютно смертельная доза (МАСД)** – наименьшая доза, при которой наблюдается 100% гибель облученных за определенный срок (обычно в течение 30 суток после облучения).
 - **Мощность выброса / сброса** – величина радиоактивного выброса, сброса в единицу времени.
-

-
- **Период полувыведения (биологический)** – время, за которое активность нуклида, накопленного в организме, уменьшается вдвое только вследствие процессов биологического выделения.
 - **Период полувыведения (эффективный)** – время, за которое активность нуклида, накопленного в организме, уменьшается вдвое за счет процессов биологического выделения и радиоактивного распада нуклида.
-

-
- **Предельно допустимая доза (ПДД)** – наибольшее значение индивидуальной эквивалентной дозы за год, которое при равномерном воздействии в течении 50 лет не вызовет в состоянии здоровья персонала неблагоприятных изменений, обнаруживаемых современными методами.
 - **Предельно допустимый выброс** – установленная компетентными органами величина активности выбросов.
-

-
- **Предельно допустимый сброс** – установленная компетентными органами величина активности радиоактивных сбросов.
 - **Пороговая доза (лучевого поражения)** – минимальная доза, вызывающая данный биологический эффект.
-

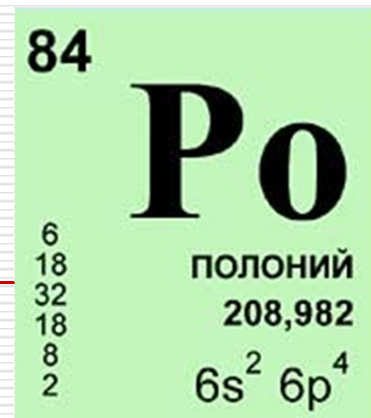
-
- **Снимаемое загрязнение (поверхностей)** – часть загрязнения поверхностей радионуклидами (радиоактивными веществами), которая удаляется самопроизвольно или применяемым способом дезактивации.
 - **Тканевая доза $D_{тк}$** – поглощенная доза в биологической ткани.
 - **Фиксированное загрязнение (поверхностей)** – часть загрязнения поверхностей радионуклидами (радиоактивными веществами), которая не удаляется применяемым методом дезактивации.
-

-
- **Эффективная поглощенная энергия**
Еэф – сумма произведений поглощенной энергии всех приходящихся на один распад ядра заряженных частиц на соответствующее значение коэффициента качества и других необходимых коэффициентов (например, коэффициент распределения).
Эффективная поглощенная энергия выражается в единицах МэВ/расп.
-

-
- В.Ф.Козлов.
 - «Справочник по радиационной безопасности»
-

Тема лекции 2

Химия Полония

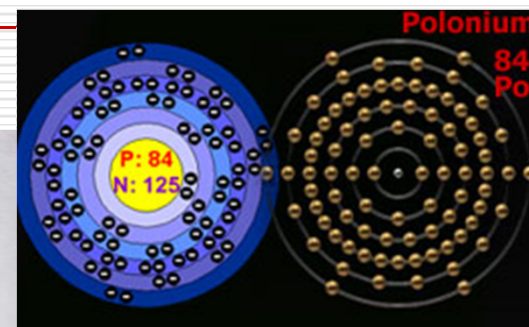


- История открытия
 - Нахождение в природе
 - Изотопы
 - Определение полония
 - Выделение полония
 - Физические свойства
 - Химические свойства
 - Биологическая активность
 - Техника работы с полонием
 - Применение полония
-

Полоний / Polonium



(фото с сайта lispme.de)



История открытия

Элемент открыт в 1898
Марией Склодовской-Кюри
и Пьером Кюри
при изучении
радиоактивности
урановой руды –
смоляной обманки



Урановая смоляная обманка (урановая смолка)

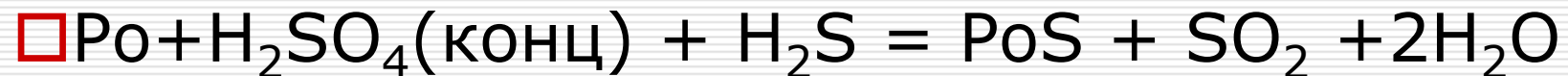
- наиболее распространённый минерал урана - **настуран** (от др.-греч. ναστός — уплотнённый и лат. *uranium* — уран); синонимы: **уранинит**, **урановая смоляная руда**.
- Формула: От UO_2 до U_3O_8



-
- Первый образец полония, содержащий 0,1 мг этого элемента, был выделен в 1910.
 - Элемент назван в честь родины Марии Склодовской-Кюри — Польши (лат. *Polonia*).
-

Выделение полония

Был выделен из урановой руды вместе с Bi_2S_3 из кислого раствора действием H_2S :



□ PoS более летуч, чем Bi_2S_3 , может быть отделен вакуумной возгонкой

Нахождение в природе

Радионуклиды полония входят в состав естественных радиоактивных рядов:

□ ^{210}Po ($T_{1/2} = 138,376$ суток), ^{218}Po ($T_{1/2} = 3,10$ мин) и ^{214}Po ($T_{1/2} = 1,643 \times 10^{-4}$ с) — ряд ^{238}U ;

□ ^{216}Po ($T_{1/2} = 0,145$ с) и ^{212}Po ($T_{1/2} = 2,99 \times 10^{-7}$ с) — в ряд Th;

□ ^{215}Po ($T_{1/2} = 1,781 \times 10^{-3}$ с) и ^{211}Po ($T_{1/2} = 0,516$ с) — в ряд ^{235}U .

□ Полоний всегда присутствует в урановых и ториевых минералах.

ИЗОТОПЫ ПОЛОНИЯ

- ❑ Полоний - один из самых многоизотопных элементов
 - ❑ На начало 2006 года известны 33 изотопа полония в диапазоне массовых чисел от 188 до 220.
 - ❑ Кроме того, известны 10 метастабильных возбуждённых состояний изотопов полония.
 - ❑ Стабильных изотопов не имеет.
-

-
- Некоторые изотопы полония, входящие в радиоактивные ряды урана и тория, имеют собственные наименования, которые сейчас в основном рассматриваются как устаревшие:
-

Изотоп	Название	Обозначение	Радиоактивный ряд
210Po	Радий F	RaF	238U
211Po	Актиний C'	AcC'	235U
212Po	Торий C'	ThC'	232Th
214Po	Радий C'	RaC'	238U
215Po	Актиний A	AcA	235U
216Po	Торий A	ThA	232Th
218Po	Радий A	RaA	238U

-
- ^{210}Po ($T = 138,376$ суток),
 - ^{218}Po ($T = 3,10$ мин) и
 - ^{214}Po ($T = 1,643 \cdot 10^{-4}$ с) — в ряд ^{238}U ;
 - ^{216}Po ($T = 0,145$ с) и
 - ^{212}Po ($T = 2,99 \cdot 10^{-7}$ с) — в ряд Th;
 - ^{215}Po ($T = 1,781 \cdot 10^{-3}$ с) и
 - ^{211}Po ($T = 0,516$ с) — в ряд ^{235}U
-

Образование Po в урановой руде:

$^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{Th} \rightarrow ^{234}\text{Pa} \rightarrow ^{234}\text{U} \rightarrow ^{230}\text{Th} \rightarrow ^{228}\text{Ra} \rightarrow \dots \rightarrow ^{222}\text{Rn} \rightarrow ^{218}\text{Po} \rightarrow ^{214}\text{Pb} \rightarrow ^{214}\text{Bi} \rightarrow ^{214}\text{Po} \rightarrow ^{210}\text{Pb} \rightarrow (\beta, 23 \text{ года}) \rightarrow ^{210}\text{Bi} \rightarrow (\beta, 5 \text{ дней}) \rightarrow ^{210}\text{Po} (\alpha, 138,4 \text{ дня}) \rightarrow ^{206}\text{Pb}.$

-
- В подавляющем количестве случаев ^{210}Po распадается на основное состояние ^{206}Pb с испусканием альфа-частиц с энергией 5.3 МэВ:

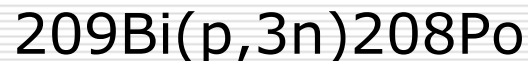
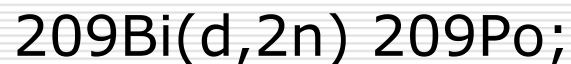


- только ничтожная доля (0,00122%) ядер ^{210}Po распадается на возбужденное (803 кэВ) состояние ^{206}Pb , которое распадается с испусканием гамма-квантов (выход γ -квантов составляет $1,1 \cdot 10^{-3}\%$).
 - полоний-210 (природный радионуклид) – практически чистый альфа-излучатель ($T=138,401$ дня),
-

Искусственные изотопы полония

□ Наиболее долгоживущие искусственные изотопы: ^{208}Po ($T=2.898$ лет) и ^{209}Po ($T=102$ лет).

□ Эти изотопы можно получить, используя бомбардировку ускоренными в циклотроне пучками альфа-частиц, протонов или дейтронов мишеней из свинца или висмута:



□ Все остальные изотопы полония имеют периоды полураспада от 8.8 дней (^{206}Po) до долей микросекунды

Распространённость в природе

- Основным источником ^{210}Po в окружающей среде является ^{222}Rn , выделяющийся из почвы.
-

Соотношение U/Po в руде

- В 1 тонне урановой руды содержится 100 микрограмм полония. В основном это ^{210}Po .
 - Для количества ядер (N) изотопов урана (^{238}U) и полония (^{210}Po) в естественной смеси и их периодами полураспада ($T_{1/2}$) справедливо соотношение:
$$^{210}\text{Po}/T_{1/2}(\text{Po}) = ^{238}\text{U}/T_{1/2}(\text{U})$$
 - В урановых рудах равновесное отношение урана к полонию составляет $1,9 \cdot 10^{10}$.
 - В равновесии с 1 г радия находится 0,2 мг полония
-

-
- Равновесное содержание полония в земной коре $2 \times 10^{-14}\%$ по массе.
 - Для средних широт Северного полушария средние концентрации ^{210}Po составляют $0,12 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³.
 - Концентрация ^{210}Po в почве колеблется в пределах $(7,4-22,2) \cdot 10^{-2}$ Бк/г в зависимости от типа почвы;
 - В атмосферных осадках — $(0,37-9,2) \cdot 10^{-2}$ Бк/л;
 - В воде открытых водоемов концентрация ^{210}Po в 10 - 100 раз меньше.
-

Определение полония

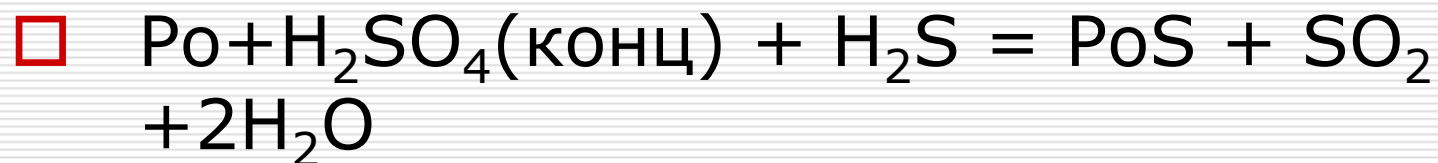
- ❑ Основным методом определения полония является радиометрический, основанный на регистрации α -излучения ^{210}Po .
 - ❑ Массы полония более 1 мкг могут быть определены с помощью γ -счета (Π - $10^{-3}\%$ распада ^{210}Po , $E_\gamma = 0,803$ МэВ) или калориметрически (удельное тепловыделение ^{210}Po составляет около 140 Вт/г).
 - ❑ Преимущества этих методов определения полония заключаются в том, что они не требуют разрушения образца.
-

Выделение полония

1. из урановой смолки, в которой на 1 т руды приходится 0,1 мг Po:

Po концентрируется в соединениях висмута,

Ra - сходный с барием .



□ PoS более летуч, чем Bi_2S_3 , может быть отделен вакуумной возгонкой

Выделяют полоний из солей радия и старых радоновых ампул (активный осадок радона)

- Сначала извлекают RaD(^{210}Pb), который и выдерживают для накопления полония. На 1 г Ra приходится 0,2 мг Po
-

Методы выделения

- экстракцией,
 - ионным обменом,
 - хроматографией,
 - ВОЗГОНКОЙ
-

Разделение RaD и Po

- анодное выделение полония на платине из нитратных растворов,
 - осаждение PbS сероводородом или CuS,
 - кристаллизации бромидов из концентрированных растворов HBr.
-

-
- Контактное выделение на менее благородных металлах:



(0,1 н р-р HNO_3 + HCl)

- Выделение из горячего раствора HCl на Ag проволоке, порошке или фольге в присутствии гидразина или SO_2
-

-
- Выделение на Pt в присутствии хинона, гидрохинона
 - Выделение на Pt, насыщенной H_2 , из разбавленного раствора HCl (выход Po – 98%)
-

Выделение Po электролизом

- Используется для окончательной очистки
 - На Pt-катоде из раствора уксусной кислоты при плотности тока 4 мА/см²
 - Bi и Pb выделяются при больших плотностях тока
 - С поверхности электрода Po извлекается вакуумной возгонкой
-

Методом ВОЗГОНКИ

- В виде PoS при
 - $500\text{ }^{\circ}C$ – в вакууме,
 - $900\text{ }^{\circ}C$ – при атмосферном давлении.
 - PbS и Bi_2S_3 возгоняются при более высоких температурах
 - Металлический Po получают термическим разложением в вакууме сульфида PoS или при $500\text{ }^{\circ}C$.
-

Выделение Po экстракцией

- используется хорошая растворимость хелатных комплексов этого элемента в органических растворителях:
 - 20% трибутилфосфат в дибутиловом эфире;
 - Дитизоном в хлороформе из соляно- или азотнокислой среды с pH 0,2-5 (экстрагируется до 95%);
 - 0,25M р-р тионилтрифторацетата (ТТА) в бензоле при pH < 2
 - из солянокислой среды органическими растворителями (ацетилацетоном, и др.)
 - Vi из органической фазы реэкстрагируется 6 н HCl, Po – извлекается HNO₃
-

Методы ионообменного отделения полония

- от других элементов, в частности от теллура
 - основаны на образовании устойчивых ацидокомплексов типа PoX_6^{2-}
 - Для этой цели могут быть использованы как катиониты, так и аниониты.
 - Выделение весовых количеств затруднено из-за влияния α -радиации на материал колонки
-

Получение полония-210 в граммовых количествах

- синтезируют искусственно, облучая металлический 209Bi нейтронами в ядерных реакторах. Получившийся 210Bi за счет β -распада превращается в 210Po.



- При облучении на циклотроне того же изотопа висмута протонами по реакции $209\text{Bi} + p \rightarrow 209\text{Po} + n$ образуется самый долгоживущий изотоп полония 209Po ($T=102$ лет).
-

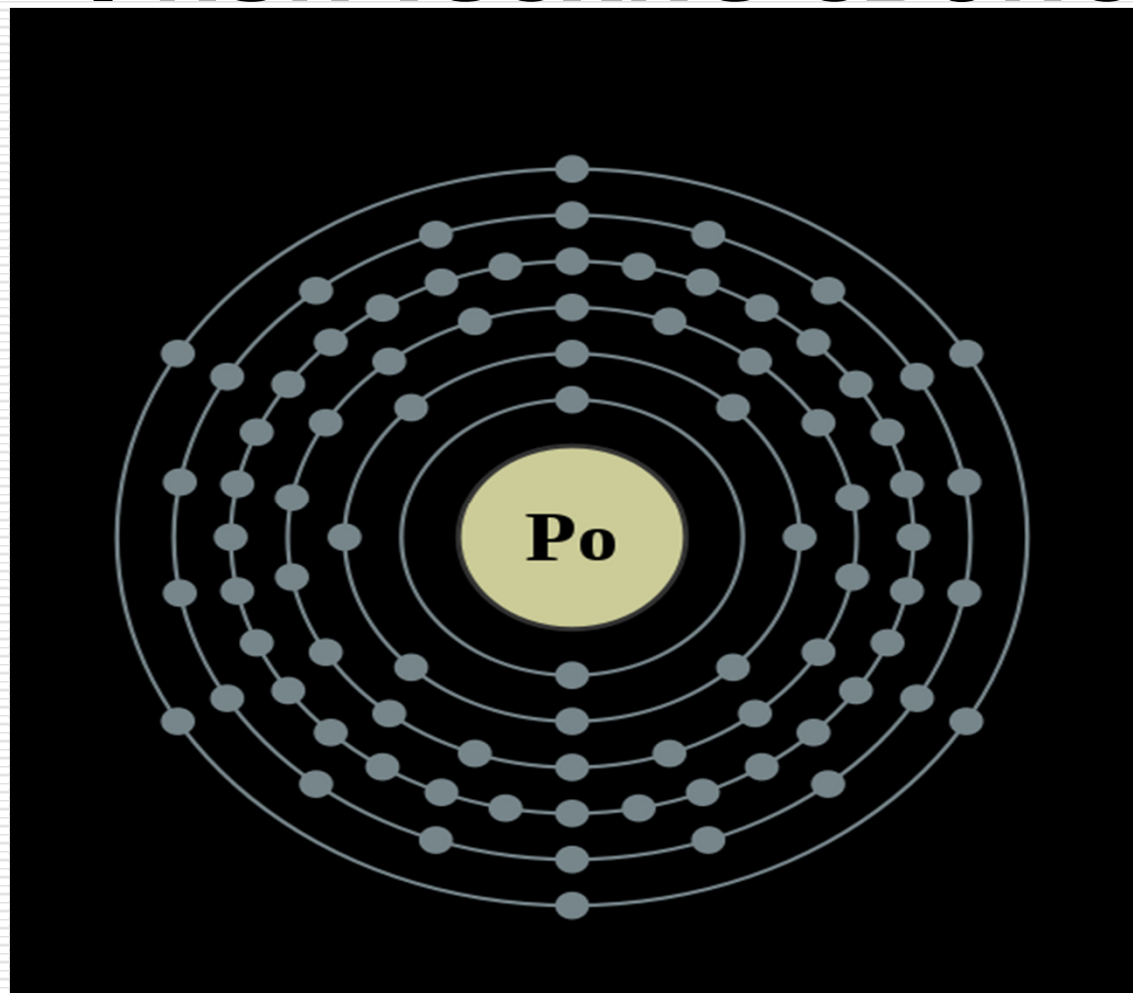
Для выделения полония из больших количеств облученного висмута используются

- вакуумная сублимация;
 - Экстракция;
 - Соосаждение полония с носителями из расплавленного висмута.
-

Процесс экстракции полония из расплавленного висмута

- при 400—500° С гидроксидом натрия в инертной атмосфере
 - является технологическим способом извлечения Po из облученного висмута.
 - За две последовательные экстракции этим методом удастся извлечь 99,5% полония.
-

Физические свойства



Свойства атома полония

- Символ, атомный номер - Po, 84
 - Атомная масса - 208,9824 u
 - молярная масса - 208,9824 г/моль
 - Электронная конфигурация
[Xe] 4f¹⁴5d¹⁰6s²6p⁴
-

Внешний вид простого вещества

- В толстых слоях ($0,5 \text{ мг/см}^2$) полоний –

серебристо-белый мягкий металл, светящийся в темноте

- В тонких слоях имеет желтую окраску, которая по мере увеличения толщины слоя переходит в чёрную
-



Термодинамические свойства простого вещества

- Плотность (при н. у.) - 9,32 г/см³
 - Температура плавления 527 К
 - Температура кипения 1235 К
 - Теплота плавления - 10 кДж/моль
 - Теплота испарения - 102,9 кДж/моль
 - Молярная теплоёмкость - 26,4 Дж/(К·моль)
 - Молярный объём - 22,7 см³/моль
 - Удельное электросопротивление для α- и β-форм при 0оС соответственно равно (мкОм.см) 42 и 44.
 - Термический коэффициент линейного расширения $2,35 \cdot 10^{-5}$.
-

Простое вещество

- ❑ По внешнему виду полоний похож на любой самый обыкновенный металл.
 - ❑ По легкоплавкости - на свинец и висмут.
 - ❑ По электрохимическим свойствам - на благородные металлы.
 - ❑ По оптическому и рентгеновскому спектрам - только на самого себя.
-

-
- Полоний - легкоплавкий и сравнительно низкокипящий;
 - температуры его плавления и кипения соответственно 254 и 962 °С.
-

Химические свойства полония и его соединений

□ Положение в периодической системе и электронное строение атома

□ Электронная конфигурация

В основном состоянии нейтральные атомы полония имеют электронную конфигурацию $[\text{Xe}] 4f^{14}5d^{10}6s^26p^4$

□ Элементы аналоги – S, Se, Te

□ подобную конфигурации селена и теллура.

Свойства атома полония

- Радиус атома - 176 пм
 - Ковалентный радиус 146 пм
 - Радиус иона(+6e) 67 пм
 - Электроотрицательность - 2,3 (шкала Полинга)
 - Электродный потенциал
 $\text{Po}^{3+} + 3e = \text{Po}, 0,56 \text{ В}$
 $\text{Po}^{2+} + 2e = \text{Po}, 0,65 \text{ В}$
 - Энергия ионизации
(первый электрон) - 813,1 (8,43)
кДж/моль (эВ)
-

Степени окисления в соединениях

- На основании этого у полония можно ожидать следующие устойчивые степени окисления: -2 , $+2$, $+4$ и $+6$.
- Наиболее устойчивым из них является $Po(+4)$
- Степень окисления -2 проявляется в образовании полонидов.
- $+2$ - в образовании галогенидов и некоторых других солей (например, сульфидов).
- $+4$ - PoO_2 , галогениды PoG_4 и др. соли.

Свойства простого вещества

Аллотропные модификации:

- низкотемпературная α -форма с кубической решеткой,
 - высокотемпературная β -форма с ромбической решёткой.
 - Фазовый переход из одной формы в другую происходит при $36\text{ }^{\circ}\text{C}$.
 - при комнатной температуре свежеприготовленный полоний находится в высокотемпературной форме (его подогревает собственное излучение – выделение тепла происходит в самом образце при испускании полонием α -частиц).
 - Полоний является единственным химическим элементом, который при низкой температуре образует одноатомную простую кубическую кристаллическую решётку
 - Параметры решётки $3,350\text{ \AA}$
-

Химические свойства металлического полония

- С молекулярными водородом и азотом не взаимодействует.
 - При нагревании с металлами образуются полониды, изоморфные с соответствующими теллуридами.
 - Растворяется в азотной и соляной кислотах.
 - Не реагирует с водой, гидратом аммиака, азотом
 - Не образует катионов в растворе
 - Проявляет окислительно-восстановительные свойства
 - Реагирует со щелочами при спекании, с кислородом, атомарным водородом, галогенами.
-

Взаимодействие с кислородом

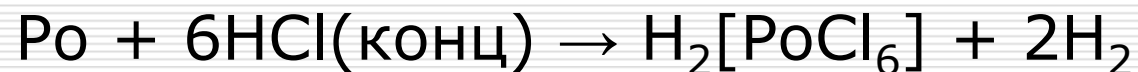
- ❑ Элементарный полоний окисляется на воздухе.
 - ❑ С кислородом полоний быстро реагирует при нагревании, образуя при 250°C диоксид PoO_2 .
 - ❑ Известны следующие оксиды полония: PoO , PoO_2 и PoO_3 (в индикаторных количествах?).
 - ❑ Наиболее устойчивым является PoO_2
-

Образование полонидов

- $\text{Po} + \text{M} = \text{MPo}$ (350 °C, M – Pb, Hg), чёрного цвета
 - $\text{Po} + 8\text{NaOH}(\text{конц}) + 2\text{Al} = 3\text{Na}_2\text{Po} + 2\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]$
 - ZnPo, PtPo, NiPo образуются в виде плёнок при осаждении сублимированного в вакууме Po на металл
-

Взаимодействие с кислотами

- Металлический полоний медленно растворяется в 2н HCl, образуя раствор Po(II),



Катион Po^{2+} окрашен в розовый цвет.

Взаимодействие с кислотами

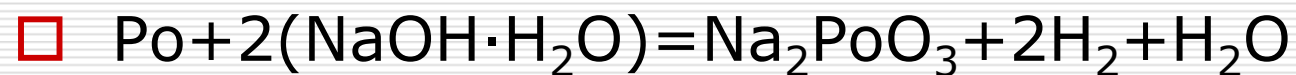
- ☐ Металлический полоний легко растворяется в концентрированной (но не разбавленной) азотной кислоте с выделением оксидов азота:



- ☐ Реагирует с концентрированной горячей серной кислотой:

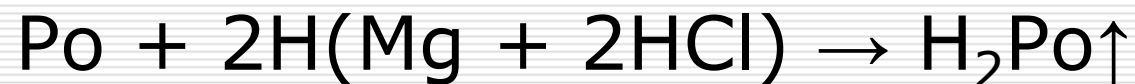


Взаимодействие со щелочами при спекании



Взаимодействие с молекулярным водородом

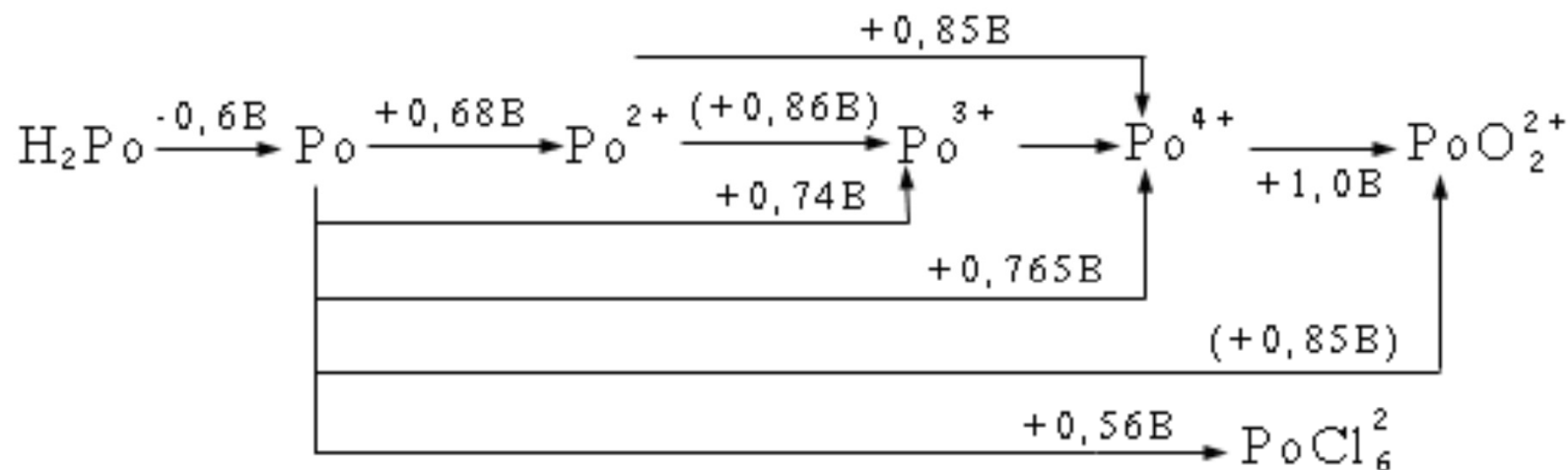
- При растворении полония в соляной кислоте в присутствии магния образуется полоноводород:



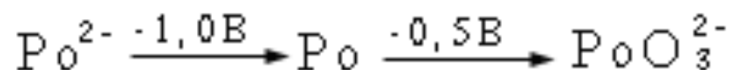
- Характерны восстановительные свойства, более сильные, чем у H_2S
-

Окислительно-восстановительные свойства соединений полония

в кислотных растворах:



в щелочных растворах:



Окислительные свойства соединений полония

- ❑ SnCl_4 быстро осаждает полоний из раствора, вероятно, в металлическом состоянии.
 - ❑ Из растворов в соляной и плавиковой кислот микроколичества полония осаждаются вместе с селеном и теллуром под действием SO_2 ;
 - ❑ в концентрированной HCl осаждения полония с теллуром не происходит.
 - ❑ N_2H_4 восстанавливает полоний до $\text{Po}(\text{II})$ в уксусной кислоте на холоду и в серной при нагревании.
 - ❑ $\text{Fe}(\text{II})$ не восстанавливает $\text{Po}(\text{IV})$ в растворе.
 - ❑ Металлический полоний осаждается из холодных кислых растворов его солей под действием $\text{Ti}(\text{III})$, фосфорноватистой кислоты (H_3PO_2) и гипосульфита натрия (NaH_2PO_2).
-

Свойство в состоянии Po(VI)

- Состояние Po(VI) мало изучено, что обусловлено высокой радиоактивностью полония.
 - Формы существования (вероятно): PoO_3 , $\text{PoO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
 - образуется при анодном окислении слоёв Po в кислом растворе в микроколичествах
 - PoO_3 растворяется в перекиси водорода
 - экспериментальное подтверждение существования Po(VI) дает изучение распределения Po(IV) между его азотно- или солянокислыми растворами и метилизобутилкетонем в присутствии сильных окислителей (Ce^{4+} , Cr^{6+}).
-

Свойство в состоянии Po(VI)

- Для потенциала пары Po(+6)/Po(+4) было вычислено значение около 1,5 В.
 - Рассчитанный радиус иона Po(6+) равен 0,67 А.
 - По свойствам близок с Te(VI), но с еще менее выраженными кислотными свойствами
-

Свойство в состоянии Po(IV)

- Четырехвалентное состояние полония наиболее распространено.
 - Вычисленное значение ионного радиуса Po^{4+} лежит в интервале 1,02—1,15 Å.
-

Диоксид полония PoO_2

- получается непосредственно из элементов при 250°C .
 - известны две кристаллические модификации: низкотемпературная **желтого цвета** с гранецентрированной решеткой ($a = 5,626-5,687 \text{ \AA}$) и высокотемпературная **красного цвета** с тетрагональной решеткой ($a = 5,44 \text{ \AA}$, $c = 8,34 \text{ \AA}$).
-

Химические свойства PoO_2

- аналогичны свойствам TeO_2 .
 - При взаимодействии PoO_2 с кислотами образуются соли Po(IV) .
 - PoO_2 растворим в воде, соляной кислоте, ацетоне и некоторых др. кетонах.
 - При растворении PoO_2 в щелочах образуются полонаты:
$$\text{PoO(OH)}_2 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{PoO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$$
 - При растворении в минеральных и некоторых органических (например, уксусной, щавелевой и др.) кислотах — соответствующие соли полония (IV).
-

Химические свойства PoO_2

- При нагревании PoO_2 темнеет, приобретая шоколадный цвет при температуре возгонки (885°C при давлении кислорода 1 атм);
 - разлагается на элементы в вакууме при 500°C
 - восстанавливается до металла водородом при 200°C и аммиаком или сероводородом при 250°C .
-

Гидроксид полония (IV)

- вероятной формулы $\text{PoO}(\text{OH})_2$
- получается при действии водного раствора аммиака на кислый раствор свежеполученных PoCl_4 или PoBr_4
- выпадает светло-желтый $\text{PoO}(\text{OH})_2$, растворимый в щелочах;
- $\text{PoO}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- \leftrightarrow \text{PoO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$.
 $K = [\text{PoO}_3^{2-}] / [\text{OH}^-]_2 = 8,2 \cdot 10^{-5}$ при 22°C .

Гидроксид полония (IV)

- обладает амфотерными свойствами в большей степени, чем гидроксид телура (IV).
 - трудно растворима в воде и растворах NaOH,
 - легко растворяется в разбавленных кислотах.
-

Амфотерные свойства гидроксида полония (IV)

- $\text{PoO}(\text{OH})_2 + 2\text{KOH} = \text{K}_2\text{PoO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$,
полонит калия
 - $\text{PoO}(\text{OH})_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Po}(\text{SO}_4)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$, сульфат полония (IV), темно-пурпурного цвета
 - $\text{Po}(\text{SO}_4)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ – бесцветный
 - Полониты гидролизуются сильнее, чем соли полония(IV)
-

Кислородсодержащие соединения полония

Карбонат полония.

- Полагают, что образуется в виде белого твердого вещества при длительной обработке гидроксида полония (IV) водой, насыщенной углекислым газом
-

Хромат полония.

- Оранжево-желтый
 - получают действием хромового ангидрида на тетрахлорид или гидроксид полония
 - легко гидролизуется водой с образованием основного хромата PoOCrO_4 .
-

Иодат полония $\text{Po}(\text{IO}_3)_4$

- выпадает под действием йодноватой кислоты на азотнокислый раствор $\text{Po}(\text{IV})$
 - Растворимость $\text{Po}(\text{IO}_3)_4$ в пересчете на ^{210}Po падает с увеличением концентрации иодат-иона: от 9,55 мг/л в 0,045 М $\text{HIO}_3 + 2\text{M HNO}_3$ до 1,72 мг/л в 0,167 М $\text{HIO}_3 + 2\text{M HNO}_3$
-

Основной нитрат полония.

- Действие разбавленной HNO_3 (0,1—0,2 М) на гидроксид полония (IV) или тетрахлорид полония приводит лишь к образованию белых неустойчивых продуктов присоединения состава $\text{PoO}_2 \cdot x\text{HNO}_3$;
 - Диоксид полония малорастворим в HNO_3 .
-

Фосфат полония

- ❑ белое желатинообразное вещество состава $2\text{PoO}_2 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$,
 - ❑ образуется при действии 1М двухзамещенного фосфата аммония на PoCl_4 или 2 М фосфорной кислоты на гидроксид полония.
 - ❑ Фосфат полония плохо растворим в воде, но растворяется в разбавленных щелочах и кислотах.
 - ❑ В 0,5 М фосфорной кислоте растворимость его составляет 6,7 мг $210\text{Po}/\text{л}$, в фосфатах щелочных металлов — еще меньше .
-

Основной сульфат $2\text{PoO}_2 \cdot \text{SO}_3$

- продукт обработки гидроксида или хлорида полония (IV) 0,02—0,25 н. H_2SO_4 .
 - Аналогично получается основной селенат $2\text{PoO}_2 \cdot \text{SeO}_3$.
 - Эти соединения разлагаются до диоксида при температурах 550 и 400° С соответственно.
 - При обработке хлорида и гидроксида полония (IV) концентрированной (>0,5 н.) H_2SO_4 образуется белый гидратированный дисульфат полония $\text{Po}(\text{SO}_4)_2$. Он менее растворим в воде, чем основная соль.
 - Гидрат дисульфата полония обезвоживается до образования темно-пурпурной безводной соли при нагревании до 100° С или промывке сухим эфиром
-

Соли органических кислот.

- образуются элементарноорганические соединения следующих типов: PoR_2 , PoR_4 , PoR_3X , PoR_2X_2 и PoRX_3 , где R — алкил или арил, X — галоген.
 - Впервые органические производные полония (II) и (IV) были получены В. Г. Хлопиным и его учениками методом специфических носителей.
 - также методом, основанном на процессах β -распада ^{210}Bi в составе различных органических соединений этого элемента
-

Ацетат полония

- белое твердое вещество,
 - получают при обработке гидроксида или хлорида полония (IV) разбавленной уксусной кислотой.
 - Возрастание растворимости ацетата полония-210 от 0,2 мг/л в 0,1М CH_3COOH до 82,5 мг/л в 2М CH_3COOH свидетельствует о комплексообразовании .
-

Цианид и оксалат полония

получены аналогично ацетату .

Цитрат полония.

- Растворимость PoO_2 в 1М лимонной кислоте соответствует 10,2 мг 210Po /л.
 - **Цитрат (ион)** ($\text{C}_3\text{H}_5\text{O}(\text{COO})_3^{3-}$) — ион лимонной кислоты,
-

Комплексные соединения

- образует прочные комплексные соединения, в которых он находится в степени окисления +4
- Комплексообразование идет в растворах галогеноводородных кислот, уксусной, щавелевой и некоторых других органических кислот.
- Для Po (IV) характерно образование устойчивых гидроксокомплексов.
- Получено большое число комплексных соединений общей формулы $Me[PoX_6]$, где Me-K, Rb-K, Rb, Cs, NH₄, X – галоген;

Комплексные соединения

- гексахлорополониты цезия, рубидия, калия и аммония жёлтого цвета, изоморфны аналогичным солям Те.
 - Известно большое число полоний-органических соединений типа R_2PoX_2 , $RPoX_3$ и $R=PoX$, где R – органический радикал.
 - 4-валентный полоний даёт большое число комплексных соединений с органическими растворителями: ацетоном, изопропиловым эфиром, метилизобутилкетонам, трибутилфосфатом и др.
-

Галогениды полония

- Свойства галогенидов полония близки к свойствам соответствующих соединений теллура, но отличаются
 - галогениды Po(II) более стабильны, а Po(IV) — менее стабильны, чем их теллуровые диалогиды.
 - Все известные галогениды полония ковалентны, летучи, легко гидролизуются.
 - Три-галогениды полония неизвестны.
-

Соединения полония с галогенами

- $\text{Po} + \text{Г}_2 = \text{PoГ}_2$ (при 150-200 °С; Г – Cl, Br);
 - $\text{Po} + 2\text{Г}_2 = \text{PoГ}_4$ (при 300 - 350 °С; Г – Cl, Br)
 - $\text{PoГ}_4 = \text{PoГ}_2 + \text{Г}_2$ (термическим разложением)
 - галогениды полония (II) и (IV) растворимы в избытке галогеноводородных кислот
 - PoF_4 – белое вещество
 - PoCl_4 – кристаллы **ярко-желтого** цвета
 - PoBr_4 – кристаллы **ярко-красного** цвета
 - PoI_4 – летучее твердое вещество **черного** цвета
-

Соединения полония с галогенами

- По группе ↓ прочность ковалентной связи Э-Г уменьшается, а ионный характер усиливается
-

Тетрафторид полония PoF_4

- получен в виде твердого вещества белого цвета:
 - $\text{PoO}(\text{OH})_2 + 4\text{HF} = \text{PoF}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{PoCl}_4 + 4\text{HF} = \text{PoF}_4 + 4\text{HCl}$
 - Растворимость его растет с увеличением концентрации кислоты, что указывает на комплексообразование
 - Сообщают об образовании летучего фторида полония, возможно гексафторида, при действии фтора на ^{208}Po , находящийся на платиновой подложке:
 - $\text{Po} + 3\text{F}_2 = \text{PoF}_6$
-

Тетрахлорид полония PoCl_4

- твердое вещество ярко-желтого цвета, плавящееся в атмосфере хлора около 300°C
 - образуется при выпаривании солянокислых растворов Po(IV) ,
 - при нагревании PoO_2 в парах CCl_4 , SOCl_2 , PCl_5
 - при непосредственном взаимодействии металла с сухим хлором при 200°C .
-

Тетрахлорид полония

- ❑ весьма гигроскопичен
 - ❑ под действием влаги воздуха превращается в белое твердое вещество, возможно основной хлорид
 - ❑ Растворение в воде также приводит к гидролизу;
 - ❑ умеренно растворим в этаноле и различных кетонах
 - ❑ при температуре 300°C на воздухе или в атмосфере кислорода превращается в PoO_2
-

Тетрабромид полония PoBr_4

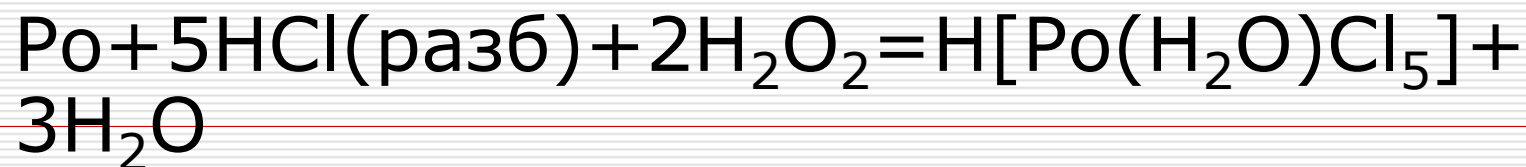
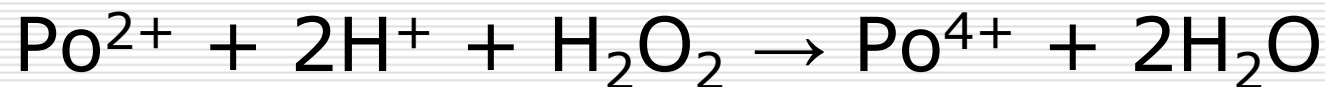
- ярко-красное твердое вещество,
 - плавится в атмосфере брома при 330°C
 - кипит при 360°C
 - получается непосредственным бромированием металлического полония в течение 1 ч при 250°C и давлении паров брома 200 мм. рт. ст.
 - еще быстрее в токе азота, насыщенного парами брома, при $200\text{--}250^\circ\text{C}$.
 - растворим в этаноле, ацетоне и других кетонах и частично в жидком бrome.
 - гигроскопичен и легко гидролизуется до белого основного бромида.
 - при нагревании в вакууме при 200°C или при восстановлении сероводородом на холоду превращается в пурпурно-коричневый дибромид полония PoBr_2 , возгоняющийся с легким разложением при 110°C и давлении $3 \cdot 10^{-2}$ мм рт. ст.
 - диспропорционирует в атмосфере азота при $270\text{--}280^\circ\text{C}$.
-

Тетраиодид полония PoI_4

- ❑ твердое вещество черного цвета,
 - ❑ возгоняется в атмосфере азота при 200°C с частичным разложением до металла
 - ❑ образуется из элементов при 40°C и давлении 1 мм рт. ст.
 - ❑ при действии $0,1\text{ M HI}$ на диоксид или гидроксид полония(IV),
 - ❑ осаждается $0,1\text{ M HI}$ из разбавленных солянокислых растворов Po(IV)
 - ❑ слегка растворим в ацетоне и этаноле ($\sim 1\text{ г/л}$).
-

Соединения Po(+2)

- Неустойчивы, под действием собственного излучения окисляется и переходят в Po(IV).
- Процесс окисления сложен:
- предполагается, что полоний окисляется перекисью водорода, образующейся в растворах под действием α -излучения:



Моноксид полония PoO

- твердое вещества черного цвета
 - образуется при самопроизвольном разложении $\text{Po}(\text{SO}_3)_2$ и $\text{Po}(\text{SeO}_3)_2$.
 - Соответствующее основание выпадает в виде темно-желтого осадка при действии щелочей на свежеприготовленный раствор двухвалентного полония.
 - На воздухе или в присутствии влаги быстро окисляется до $\text{Po}(\text{IV})$ /
-

Моносουλфид полония PoS

- получен действием сероводорода на растворы четырех- и двухвалентного полония в виде черного осадка,
 - нерастворимого в сульфиде аммония и разбавленной HCl.
 - сравнительно хорошо растворим в концентрированной HCl;
 - произведение растворимости равно примерно $5,5 \cdot 10^{-29}$
 - при нагревании до 275°C в вакууме PoS разлагается на простые вещества, что можно использовать для получения чистого металлического полония.
-

Дихлорид полония PoCl_2

- ❑ твердое вещество рубинового цвета,
 - ❑ возгоняется в атмосфере азота при 190°C .
 - ❑ образуется при термоллизе PoCl_4 в вакууме (200°C) или при восстановлении его водородом (200°C), сероводородом и CO (150°C) или сернистым газом (на холоду).
-

Гидролиз полония в водных растворах и образование псевдоколлоидов

- ❑ в растворах, содержащий полоний, постоянно образуются и разлагаются озон и пероксид водорода
 - ❑ Полоний обладает более основными свойствами, чем селен и теллур:
 - ❑ образование дисульфита и тетранитрата полония
 - ❑ слабокислый характер гидроксида полония (IV), растворяющейся в водных растворах щелочей, но не аммиака.
-

Гидролиз полония в водных растворах и образование псевдоколлоидов

- $\text{pH} = 1\text{--}4$ полоний находится в ионном негидролизованном состоянии;
 - при $\text{pH} = 6\text{--}7$ наблюдается гидролиз и образование положительно заряженных коллоидных частиц,
 - при $\text{pH} = 8\text{--}13$ существует равновесие ионов полония с его нерастворимыми соединениями
-

Образование псевдоколлоидов

- Полоний, находящийся в растворах в микроконцентрации, весьма склонен к образованию коллоидов в слабокислых, нейтральных и щелочных растворах, приводящему к значительной адсорбции его на стеклянных стенках посуды, бумажных фильтрах и т. п.
 - Образование коллоидов наблюдалось в растворах, в которых значение произведения растворимости соединений полония никак не могло быть достигнуто.
 - Максимум сорбции на стекле наблюдался при $\text{pH} = 5,5$, на бумаге — при $\text{pH} = 2,3$.
 - При $\text{pH} = 2-3$ сорбция уменьшалась с добавкой BaCl_2 или $\text{La}(\text{NO}_3)_3$, что свидетельствует о высокой степени ионности полония в указанной области pH .
-

Биологическая активность

- ❑ Полоний-210 высокотоксичен, имеет период полураспада 138 дней и 9 часов.
 - ❑ Его удельная активность настолько велика, что, хотя он излучает только альфа-частицы, брать его руками нельзя, результатом будет лучевое поражение кожи и, возможно, всего организма:
 - ❑ полоний довольно легко проникает внутрь сквозь кожные покровы.
 - ❑ Он опасен и на расстоянии, превышающем длину пробега альфа-частиц, так как его соединения саморазогреваются и переходят в аэрозольное состояние.
 - ❑ ПДК в водоемах и в воздухе рабочих помещений $11,1 \times 10^{-3}$ Бк/л и $7,41 \times 10^{-3}$ Бк/м³.
 - ❑ Поэтому работают с полонием-210 лишь в герметичных боксах.
-

Токсическое действие полония

- Точных сведений о воздействии радиационного отравления полонием на человека не существуют, так как опыты на человеке не проводились (проводились, однако, измерения кинетики малых доз полония в организме человека, а также наблюдения нескольких известных случаев острого или хронического отравления полонием).
 - Для животных ^{210}Po - один из наиболее токсичных радионуклидов.
 - При введении полония собакам в количестве 1,85—6,66 кБк/г у животных развивается острая лучевая болезнь с гибелью через 10 -25 сут.
 - При введении полония в количестве 0,092 кБк/г развивается хроническое поражение, также приводящее к 100% гибели животных через 6—12 мес.
-

-
- При введении ^{210}Po в количествах, вызывающих острое или подострое течение лучевой болезни, состояние животных в первые дни (5—7 сут) не отличается от нормального. В дальнейшем они становятся вялыми, снижается аппетит, падает масса тела. Часто отмечаются поносы со слизью или примесью крови и рвота, появляется сильная жажда. У животных развиваются светобоязнь, конъюнктивит, ринит с кровянистыми выделениями; на коже, слизистой оболочке рта и конъюнктиве глаз обнаруживаются точечные кровоизлияния; шерсть теряет блеск, становится взъерошенной. Собаки перестают ухаживать за собой. В финальной части заболевания собаки лежат неподвижно, не реагируют на раздражение, отказываются от пищи, теряют в массе до 30—40 % по отношению к исходной и погибают
-

-
- При хроническом (в течение 6 мес) введении собакам ^{210}Po в количестве $3,7 \cdot 10^{-5}$ кБк/г к концу 1 и 2 мес. отмечены небольшое снижение массы тела, кишечные расстройства, дистрофические нарушения.
 - Введение ^{210}Po в количестве $3,7 \cdot 10^{-7}$ кБк/г не приводит к каким-либо выраженным клиническим нарушениям.
 - К числу отдаленных последствий относят циррозы печени, нефросклерозы, дисгормональные нарушения, гиперплазия передней доли гипофиза, щитовидной железы, а также опухоли толстого кишечника, семенников, предстательной железы, надпочечников, подкожной клетчатки, гипофиза, щитовидной железы, молочных желез и матки.
-

-
- У животных с циррозами печени возникают аденомы и аденокарциномы печени, исходящие из эпителия ложных желчных путей. При подкожном введении собакам ^{210}Po в количестве 74 кБк/кг опухоли почек развиваются у 20% животных со средним латентным периодом 9,9 лет и кумулятивной дозе около 5,3 Гр. У 2 из 20 собак обнаружен рак мочевого пузыря. Риск развития рака почек у собак составляет $380 \cdot 10^{-6}$ сГр $^{-1}$.
 - Поступление ^{210}Po через дыхательные пути обуславливает возникновение опухолей легких. Основной тип опухолей — плоскоклеточный рак (50 % случаев).
-

Источники поступления в организм человека

- В среднем за сутки в организм человека с пищей поступает $3,7 \cdot 10^{-2} - 3,7 \cdot 10^{-1}$ Бк ^{210}Po .
- В регионах, где человек потребляет пищу морского происхождения, а также питается мясом северных оленей (карибу) наблюдается повышенное поступление ^{210}Po в организм: 2,2 - 11,1 Бк/сут.
- В зубах и других костях жителей РФ содержание ^{210}Po составляет 1,9 Бк/кг.
- Клетки костной поверхности за счет ^{210}Po получают дозу $29 \cdot 10^{-6}$ в Гр/год, клетки костного мозга — $3,9 \cdot 10^{-6}$ в Гр/год.

-
- Общее содержание ^{210}Po в организме человека составляет 18,5 Бк, из них 11,8 Бк в костях, 6,3 Бк в мягких тканях.
 - На долю пищевого поступления приходится 2,78 Бк, а 85 % общего содержания ^{210}Po обусловлено распадом ^{210}Pb .
 - У пастухов, питающихся мясом северных оленей, во всех тканях ^{210}Po содержится в 10 раз больше.
 - Коэффициент всасывания ^{210}Po из ЖКТ при поступлении его в составе белков составляет 0,43, с минеральными солями — 0,33;
 - наименьшая величина получена при поглощении ^{210}Po лишайниками — 0,125.
-

-
- Величина всасывания из ЖКТ человека равна 0,2.
 - Основное количество полония фиксируется в поверхностном слое кожи толщиной 500 мкм.
 - Депо этого излучателя в коже являются придатки, в частности волосяные фолликулы.
 - Через кожные покровы человека за первые сутки всасывается 2 % нанесенного полония.
 - К исходу суточной экспозиции отложение ^{210}Po в организме резко возрастает и достигает 0,21%.
 - При повреждении кожного покрова резорбция ^{210}Po усиливается. Всасывание ^{210}Po через ссадины увеличивается в 40 раз, из кожномышечных ран — в 750 раз по сравнению с резорбцией через неповрежденную кожу.
 - Еще интенсивнее ^{210}Po всасывается из мышечной ткани (20% общего количества в течение первого часа).
-

-
- При ожоге I и II степени за 1 ч контакта радионуклида всасывается в 6 раз больше, чем за это же время через неповрежденную кожу, что обусловлено активной гиперемией участка ожога.
 - При ожоге II степени поступление полония в организм увеличивается в 2 раза.
 - При ожоге III степени поступление полония в организм резко снижается (0,0015 % нанесенного количества или 11% величины всасывания через интактную кожу).

-
- Наибольшее количество ^{210}Po (на 1 г ткани) наблюдается в почках, крови и лимфатических узлах.
 - Полоний элиминируется с калом в 10—20 раз больше, чем с мочой.
 - При поступлении с пищей ^{210}Po наибольшая экскреция с мочой наблюдается через 24 ч, с калом — через 3 сут.
 - Из всего поступившего полония доли 0,1; 0,1; 0,1 и 0,7 переносятся в печень, почки, селезенку и все другие ткани соответственно.
 - Из организма человека ^{210}Po выводится с $T_b = 80$ сут.
-

-
- **Курение** увеличивает поступление ^{210}Po в организм человека, поскольку радионуклид переходит в воздушную среду при температуре сгорания табака.
 - В сигарете содержится 7 (3 — 24) мБк ^{210}Po .
 - Из этого количества при курении в пепле остается 3 мБк, а в табачный дым переходит 4 мБк.
 - При этом в легких курильщика, выкуривающего 10—60 сигарет в сутки, создаются концентрации ^{210}Po 1,66 мБк/г, что выше, чем у некурящих в 7—9 раз, и соответствует дозам 0,027—0,04 мГр/год. Поступление ^{210}Po при курении в 10 раз выше, чем плутония, даже в период максимальных выпадений последнего.
-

-
- По оценке специалистов, основанной на математической модели радиационного отравления, разработанной на основе данных по опытам над животными,
 - летальная доза полония-210 для взрослого человека оценивается в пределах от 0,1-0,3 ГБк (0,6-2 мкг), при попадании изотопа в организм через лёгкие,
 - до 1-3 ГБк (6-18 мкг), при попадании в организм через пищеварительный тракт.
 - Более долгоживущие полоний-208 (период полураспада 2,898 года) и полоний-209 (период полураспада 103 года) обладают несколько меньшей радиотоксичностью на единицу веса, обратно пропорционально периоду полураспада.
 - Сведений о радиотоксичности других, короткоживущих изотопов полония мало.

-
- В организме человека полоний ведет себя подобно своим химическим гомологам, [селену](#) и [теллуру](#), концентрируется в печени, почках, селезёнке и костном мозге.
 - Период полувыведения из организма – от 30 до 50 дней, выделяется в основном через почки.
 - Есть сообщения об успешном использовании [2,3-димеркаптопропанола](#)
 - для выведения полония из организма крыс — 90 % животных, которым внутривенно вводилась смертельная доза полония-210 (9 нг/кг веса), выжили, тогда как в контрольной группе все крысы погибли в течение полутора месяцев.
-

Гигиенические нормативы определяют правила работы с полонием.

- Для ^{210}Po группа радиационной опасности А, минимально значимая активность (МЗА) = $3,7 \cdot 10^3$ Бк.
-

Предельно допустимы концентрации ^{210}Po для категории А

Р -растворимое соединение, НР – нерастворимое соединение,
ДСА - допустимое содержание радионуклида в критическом органе,
ПДП - предел годового поступления радионуклида в организм,
ДК_А - допустимая концентрация радионуклида в воздухе рабочей зоны

Радио- нуклид	Состояние радионук- лида в соединении	Критический орган	ДС _А , Бк	ПДП, Бк/год	ДК _А , Бк/л
^{210}Po	Р	Селезенка	$4,1 \cdot 10^1$	$2,4 \cdot 10^4$	—
		Почки	$8,1 \cdot 10^1$	$2,2 \cdot 10^4$	—
	НР	Кость	$7,4 \cdot 10^2$	$3,1 \cdot 10^5$	—
		Легкие	$2,7 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^3$	$3,4 \cdot 10^{-3}$

-
- При оценке влияния ^{210}Po на здоровье персонала основное внимание обращают на исследование наиболее чувствительных к действию полония органов, их функционального состояния, к числу которых относят прежде всего печень и почки. Обязательным является тщательное исследование крови.
 - Накопление в организме ^{210}Po в количествах, превышающих допустимые, является основанием для выведения человека из условий, где он может подвергаться дополнительному воздействию радионуклида.
-

-
- При работе с закрытыми источниками γ -излучения мощность дозы за защитой не должна быть выше 0,014 мЗв/ч.
 - В этом случае при 36-часовой рабочей неделе и постоянном пребывании в помещении экспозиционная доза не превышает 0,5 ПДД, т. е. 0,025 Зв/год.
 - На расстоянии 0,5 м такую мощность дозы создает источник ^{210}Po активностью 2590 ГБк.
 - При работе с источниками ^{210}Po активностью меньше указанной можно не принимать мер по защите от γ -излучения.
 - Источник ^{210}Po активностью 7,4 ГБк на расстоянии 0,5 м создает мощность дозы, равную среднему космическому фону $4,0 \cdot 10^{-8}$ Гр/ч. Удельная активность составляет $1,66 \cdot 10^5$ ГБк/г.
-

-
- Удельная активность ^{210}Po составляет 4,5 кюри/мг, что соответствует 10^{13} распадов/мин·мг, а
 - максимальное количество ^{210}Po , допустимое для организма человека - 0,02 мккюри, т.е. работа с миллиграммовыми количествами полония опасна.
 - В экспериментах с полонием необходимо учитывать также
 - радиационные эффекты, происходящие под действием α -излучения: разложение растворителя, разрушение частиц твёрдого осадка, увеличение хрупкости и разрушение стекла.
 - при хранении образцов полония в запаянных ампулах в них происходит нарастание давления гелия (гелий, выделяемый источником полония в 1 кюри, оказывает давление на стенки капилляра объёмом 0,3 мм³, равное 0,4 атм).
-

Неотложная помощь включает

- дезактивацию кожи водой с мылом, затем 5 % раствором унитиола или 5% раствором оксатиола, пастой-47.
 - При попадании ^{210}Po на кожу или в рану в количествах, не поддающихся дезактивации, показано иссечение пораженных участков. Внутрь - противоядие от тяжелых металлов (antidotum metallorum — 50 мл). Питье молока, слизистые отвары, яичный белок
 - Полоний выводится из организма в основном вместе с калом и мочой. Больше всего его выводится в первые несколько дней. За 50 дней выводится около половины попавшего в организм полония. Наличие полония у зараженных им людей идентифицируется по слабому гамма-излучению выделений.
-

Меры безопасности при работе с полонием

- ❑ При работе с полонием приходится соблюдать особую осторожность - это один из самых опасных радиоэлементов.
 - ❑ Хотя полоний-210 излучает только альфа-частицы, брать его руками нельзя, результатом будет лучевое поражение кожи и, возможно, всего организма:
 - ❑ полоний довольно легко проникает внутрь сквозь кожные покровы.
 - ❑ опасен и на расстоянии, превышающим длину пробега альфа-частиц.
 - ❑ Его соединения саморазогреваются, переходят в аэрозольное состояние и заражают воздух.
 - ❑ Поэтому работают с полонием лишь в герметичных боксах.
-

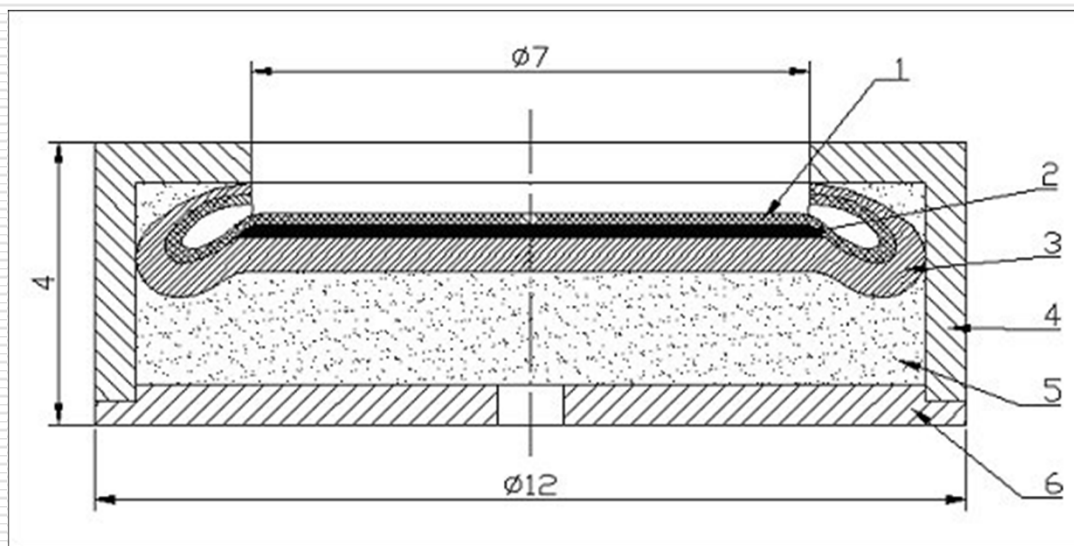
-
- ❑ Максимальная допустимая дозовая нагрузка на организм при попадании ^{210}Po внутрь всего 0.03 мкКи
 - ❑ (6.8.10-12 г). При одинаковом весе ^{210}Po в $2.5 \cdot 10^{11}$ раз токсичнее, чем синильная кислота. Попав в организм человека, полоний через ток крови распространяется по тканям.
 - ❑ Попадание внутрь организма человека одной стотысячной миллиграмма полония в 50% случаев приводит к летальному исходу.
 - ❑ Полоний весьма летучий металл, на воздухе за 45 часов 50% его испаряется при температуре 55°C.
-

-
- ПДК в водоемах и в воздухе рабочих помещений $11,1 \cdot 10^{-3}$ Бк/л и $7,41 \cdot 10^{-3}$ Бк/м³.
 - При работе с открытыми и жидкими препаратами полония существует реальная возможность выделения газообразных летучих продуктов.
 - Особенно опасными для загрязнения окружающей среды являются различные операции, связанные с возгонкой металлического полония, а также с переработкой галогенидов и гидрида.
-

-
- При работе электростанций, работающих на органическом топливе, например, угле и сланце, с летящей золой в атмосферу поступают естественные радионуклиды, в том числе полоний.
 - Сланцевые и угольные электростанции равной мощности обуславливают эквивалентную дозу облучения легких у жителей окрестных районов в пределах 0,01—0,2 мЗв/год, что составляет не более нескольких процентов естественного фона.
 - Основной вклад в дозу на легкие за счет выбросов электростанций вносит ^{210}Po , а естественное облучение в основном формируется за счет коротко-живущих продуктов распада ^{222}Rn .
-

Применение полония

Альфа-источники на основе полония-210 "Факт-1"



□ **1** - защитная пленка Al_2O_3 (толщиной 2,5-3 мкм); **2** - полоний-210; **3** - слой никеля (толщиной 60-100 мкм); **4** - стальной корпус; **5** - клей; **6** - крышка

Характеристики альфа-источника "Факт-1":

- поток альфа-частиц $6 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$ (или $1,5 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1} \text{ см}^{-2}$)
 - активность рабочей поверхности до 40 мКи (или $100 \text{ мКи} \cdot \text{см}^{-2}$)
 - энергия альфа-частиц около 4,8 МэВ
-

Назначение

- установка предназначалась для радиационной обработки полупроводниковых изделий (транзисторы, микросхемы и т.п.), в процессе которой проводилось формирование комплекса технических характеристик полупроводниковых изделий (ППИ).
-

Нейтронный источник

- Полоний-210 в сплавах с бериллием и бором применяется для изготовления компактных и очень мощных нейтронных источников, практически не создающих γ-излучения (но, к сожалению, короткоживущих, ввиду малого времени жизни ^{210}Po : $T_{1/2} = 138,376$ суток).
 - Это герметичные металлические ампулы, в которые заключена покрытая полонием-210 керамическая таблетка из карбида бора или карбида бериллия.
 - Такие нейтронные источники легки и портативны, совершенно безопасны в работе и очень надежны. Например, латунная ампула диаметром два и высотой четыре сантиметра каждую секунду дает до 90 миллионов нейтронов.
-

Нейтронный источник

- В изотопных источниках нейтроны получаются в результате ядерных реакций (α, n): на легких ядрах, например, ${}^9\text{Be}(\alpha, n){}^{12}\text{C}$ или ${}^{11}\text{B}(\alpha, n){}^{14}\text{N}$
 - В качестве источников альфа-частиц используются альфа-активные изотопы ${}^{210}\text{Po}$, ${}^{226}\text{Ra}$, ${}^{239}\text{Pu}$, ${}^{241}\text{Am}$.
-

-
- Удельное энерговыделение полония велико – 140 Ватт/г. 1 см³ ²¹⁰Po выделяет 1320 Вт тепла.
 - Капсула, содержащая 0.5 г полония, нагревается до 500°C. Эта мощность весьма велика, она легко приводит полоний в расплавленное состояние, поэтому его сплавляют, например, со свинцом.
 - эти сплавы имеют заметно меньшую энергоплотность (150 Вт/см³), но более удобны к применению и безопасны.
 - Такие сплавы используются для создания в термоэлектрических источниках, которые в частности применяются в космических аппаратах.
-

Компактные источники тепла для автономных космических установок

- В виде сплавов полония со свинцом, иттрием или самостоятельно для производства мощных и весьма компактных источников тепла, например:
 - На искусственных спутниках Земли
 - В 1969, 1970 и 1973 годах на «Луноходах»
-

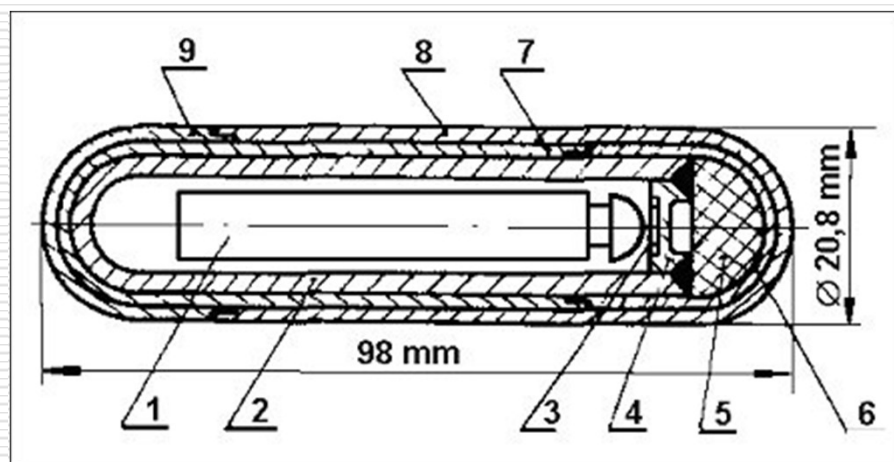
Система электропитания "Орион-1" состоит из:

- ❑ Радиоизотопного термоэлектрического генератора (РИТЭГ), в котором тепловая энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивного изотопа полония-210, превращается в электрическую с помощью кремний-германиевых термоэлектрических преобразователей.
 - ❑ Системы преобразования энергии, где выработанный РИТЭГом электрический ток трансформируется и стабилизируется до значений, необходимых для питания бортовой аппаратуры.
-

-
- Термоэлектрические генераторы искусственных спутников Земли "Космос-84" и "Космос-90" функционировали: первый в течение 111 суток (с 3 сентября до 24 декабря 1965 года), второй - 222 суток (с 18 сентября 1965 года по 28 апреля 1966 года), что соответствовало техническому заданию на разработку указанных изделий.
-

В 1969, 1970 и 1973 годах на "Луноходах" был установлен радиоизотопный источник тепла ВЗ-Р70-4.

- 1 - капсула (тантал) с полонидом иттрия; 2 - силовая оболочка (сплав на основе тантала); 3 - геттер (спрессованная стружка иттрия); 4 - крышка силовой оболочки (сплав на основе тантала); 5 - демпфер (спрессованная стружка из сплава на основе ниобия); 6 - крышка антикоррозионной оболочки (сплав на основе ниобия); 7 - оболочка антикоррозионная (сплав на основе ниобия); 8 - оболочка противоударная (сплав на основе ниобия); 9 - крышка противоударной оболочки (сплав на основе ниобия)



Технические характеристики РИТ

- тепловая мощность, Вт 150-170
 - диаметр, мм, не более 20,8
 - высота, мм, не более 100
 - масса, г, не более 200
-

подтверждение высокого качества и надежности радиоизотопного источника тепла на основе полония-210:

- ❑ Сохранение герметичности при аварии ракетно-космического комплекса в декабре 1969 года на космодроме "Байконур", когда ракета взорвалась на высоте в несколько километров и тепловой блок, содержащий РИТ, упав на полигоне, был обнаружен в герметичном состоянии.
 - ❑ "Луноход-1" функционировал 322 суток (с 17 ноября 1970 года по 4 октября 1971 года), а "Луноход-2" 220 суток, что существенно превышало требования технического задания (105 суток).
-

-
- ❑ Один кубический сантиметр полония-210 выделяет около 1320 Вт тепла.
 - ❑ Эта мощность весьма велика, она легко приводит полоний в расплавленное состояние, поэтому его сплавляют, например, со свинцом. Хотя эти сплавы имеют заметно меньшую энергоплотность (150 Вт/см³), тем не менее они более удобны к применению и безопасны, так как полоний-210 испускает альфа-частицы, проникающая способность и длина пробега которых минимальны.
-

Полоний также используется

- ❑ в устройствах для снятия статического электричества.
 - ❑ В некоторых устройствах такого рода может содержаться полоний с активностью до 500 мкКи (около 0.1 микрограмм).
 - ❑ Этого количества теоретически достаточно, чтобы убить 5000 человек.
-

В электродных сплавах

- автомобильных свечей зажигания для уменьшения напряжения возникновения искры.
-

Ядерные детонаторы

- Полоний-210 может послужить в сплаве с легким ИЗОТОПОМ ЛИТИЯ (${}^6\text{Li}$) веществом, которое способно существенно снизить критическую массу ядерного заряда и послужить своего рода ядерным детонатором.
-

-
- Полоний является стратегическим металлом, должен очень строго учитываться, и его хранение должно быть под контролем государства ввиду угрозы ядерного терроризма.
-