

Задачи на радиоактивность

из заданий международных олимпиад 1993 – 2003 годов.

IChO 1993 Задача 3.

β -радиоактивный изотоп иода-131 используется в медицине for analytical procedures to determine thyroid endocrine disorders by scintigraphy. Константа распада ^{131}I , k , равна $9.93 \cdot 10^{-7} \text{ c}^{-1}$.

- 1) Напишите уравнение распада ^{131}I .
- 2) Расчитайте период-полураспада ^{131}I в днях.
- 3) Расчитайте время (в днях), необходимое для снижения радиоактивности образца содержащего ^{131}I до 30% от первоначальной.
- 4) Расчитайте минимальное количество ^{131}I , радиоактивность которого можно зарегистрировать при помощи счетчика Гейгера, регистрирующего активность до $10^{-4} \mu\text{c}$. Прим.: 1 Кюри равен $1 \text{ c} = 3.7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду.

IChO 1994 Задача 43. (из сборника подготовительных задач)

- 1) Какой нуклид образуется при β^- -распаде ^{80}Ge ?
- 2) Какой нуклид образуется при α -распаде ^{184}Gd ?
- 3) У свинца 4 стабильных изотопа, 204, 206, 207 и 208. Один из них является конечным продуктом в последовательно цепочке распадов ^{238}U . Какой именно?
- 4) Сколько происходит β^- -распадов в радиоактивном ряду ^{238}U ?
- 5) В природном Вi всего один стабильный изотоп ^{209}Bi . При облучении его α -частицами испускаются два нейтрона. Запишите описанную ядерную реакцию.

IChO 1994 Задача 44. (из сборника подготовительных задач)

Два важнейших радионуклида, которые попали в биосферу в результате Чернобыльской аварии, ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30$ лет) и ^{131}I ($T_{1/2} = 8,0$ дней).

- 1) Рассчитайте время, за которое активность ^{137}Cs уменьшится на 10%.
- 2) Какой нуклид образуется в результате β^- -распада ^{137}Cs ?
- 3) Ядра образованные при распаде ^{137}Cs находятся в так называемом метастабильном состоянии. Что это значит?
- 4) Что происходит при расщеплении ^{235}U ? Почему эту реакцию возможно использовать для получения ядерной энергии в ядерных реакторах?
- 5) Атом ^{137}Cs образуется в результате 4 последовательных β^- -распадов. Какой нуклид образуется непосредственно при делении урана?
- 6) Вышеупомянутый процесс деления происходит с выделением одного нейтрона. Назовите второй нуклид, образующийся в процессе деления ^{235}U .

IChO 1994 Задача 45. (из сборника подготовительных задач)

- 1) В природном уране содержится 99,28% ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5 \cdot 10^9$ лет) и 0,72% ^{235}U ($T_{1/2} = 7,1 \cdot 10^8$ лет) Рассчитайте активности изотопов в 1,0 грамме свежеприготовленного U_3O_8 .

2) Мария и Пьер Кюри выделили ^{226}Ra ($T_{1/2} = 1600$ лет) из одного из минералов урана. К какому ряду природного урана принадлежит ^{226}Ra ?

3) В минерале урана, с которым в течении 20000 лет не происходило химических превращений, скорости распада ^{226}Ra и одного из изотопов урана одинаковы. Объясните почему.

ICHO 1994 Задача 46. (из сборника подготовительных задач)

Для измерения объема крови пациента использовали радионуклид ^{113}In , период полураспада которого равен 100 минут. $3,0 \cdot 10^6$ Бк этого нуклида впрыснули в вену. Через 30 минут на пробу взяли 1,0 мл крови. Измеренная активность равнялась 400 Бк. Рассчитайте объем крови пациента, считая, что в течении 30 минут радионуклид не выделялся из крови и равномерно в ней растворился.

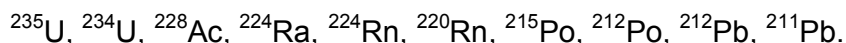
ICHO 1994 Задача 8.

Часть 1. Изотопы урана.

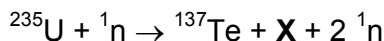
^{238}U в результате последовательных α - и β -распадов превращается в изотоп свинца – ^{206}Pb .

1) Сколько α - и β -распадов претерпевает ядро ^{238}U пока оно не превратится в ^{206}Pb ?

2) Один из данных нуклидов образуется в цепочке радиоактивного распада ^{238}U . Какой именно?



Под действием тепловых нейтронов ^{235}U делится на два осколка, испуская (обычно) 2-3 новых нейтрона. Например:



3) Идентифицируйте продукт X.

Период полураспада ^{238}U равен $4,5 \cdot 10^9$ лет, период полураспада ^{235}U равен $7,0 \cdot 10^8$ лет. Природный уран содержит 99,28 % ^{238}U и 0,72 % ^{235}U .

4) Рассчитайте отношение скоростей распадов изотопов урана.

5) Минерал содержит 50% урана. Рассчитайте активность ^{238}U в 1,0 кг этого минерала.

Часть 2. Закон радиоактивного распада.

Рассмотрите следующую цепочку распадов:



Периоды полураспадов: ^{97}Ru : 2,7 дня и ^{97}Tc : $2,6 \cdot 10^6$ лет. В момент времени $t = 0$, радиоактивный источник, содержащий только ^{97}Ru , имеет активность $1,0 \cdot 10^9$ Бк.

6) Рассчитайте суммарную активность этого источника в момент времени $t = 6,0$ дней.

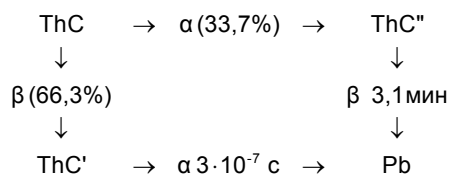
7) Рассчитайте суммарную активность этого источника через 6000 лет.

ICHO 1996 Задача 44. (из сборника подготовительных задач)

Один из отцов основателей современной радиохимии Австрийский физик Ф.Лерх инициировал в 1910 г. изучение радиоактивных свойств тория. В настоящее время цепочка радиоактивного распада природного изотопа тория $^{232}_{90}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,40 \cdot 10^{10}$ лет) детально изучена, что позволяет решать практические задачи, такие как определение возрастов руд в земной коре.

1) Хорошо известно, что $^{232}_{90}\text{Th}$ в результате нескольких последовательных распадов превращается в $^{212}_{83}\text{Bi}$, традиционно обозначаемый ThC. Сколько α - и β -частиц испускается в этой цепочке распадов.

2) ThC ($T_{1/2} = 60,5$ мин.) может распадаться согласно схеме:



Напишите уравнения реакций распадов, используя современные обозначения ядерных частиц с массовыми и зарядовыми числами.

3) Во всем ториевом семействе наиболее устойчивым нуклидом является $^{228}_{88}\text{Ra}$ (мезоторий-1 или MsTh_1) с периодом полураспада 5,76 лет. Рассчитайте, сколько грамм Ra-228 содержится в ториевой руде (ThSiO_4), содержащей 1,000 г тория.

4) Для определения возраста циркононой руды из Вирджинии (США) была взята проба, содержащая Th-232 и конечный продукт распада – свинец. Обнаружилось, что проба содержит 56,5 мг свинца на один грамм тория. Рассчитайте возраст руды.

ИсО 1996 Задача 49. (из сборника подготовительных задач)

Наиболее важный метод определения возраста в археологии – датирование по $^{14}_6\text{C}$. Этот метод обладает высокой чувствительностью, благодаря большому периоду полураспада $^{14}_6\text{C}$ ($T_{1/2} = 5730$ лет) и малой распространенности изотопа в природном углероде. Если образец газ, его можно поместить в счетчик Гейгера, чтобы повысить чувствительность. В одном из экспериментов 0,010 моль метана поместили в счетчик.

1) Напишите уравнение описывающее β -распад $^{14}_6\text{C}$.

Через 30 минут счетчик был включен. За 5 минут он зарегистрировал 2000 распадов.

2) Рассчитайте число распавшихся ядер $^{14}_6\text{C}$ за первые 30 минут, когда счетчик был выключен.

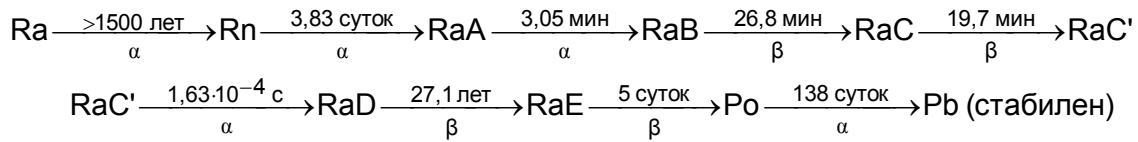
3) Рассчитайте начальное число атомов $^{14}_6\text{C}$ в образце и мольную долю $^{14}\text{CH}_4$ в метане, использованном для эксперимента.

ИсО 1996 Задача 3.

В 1908 г. Э.Резерфорд совместно с немецким физиком Г.Гейгером определил скорость испускания α -частиц радием (в природе этот элемент представлен практически одним нуклидом $^{226}_{88}\text{Ra}$) и установил, что 1,00 г радия испускает $x = 3,42 \cdot 10^{10}$ α -частиц в секунду.

В 1911 г. Резерфорд и американский физикохимик Б.Болтвуд измерил скорость образования гелия из радия. Этот эксперимент, направленный на установление более точного значения числа Авогадро, показал, что молярный объем идеального газа установлен достаточно точно. В этом эксперименте образец соли радия, очищенный от продуктов распада, содержащий $m_1 = 192$ мг радия, поместили в установку и измерили объем выделяющегося гелия. Через 83 дня ($t = 83,0$ суток) эксперимента было собрано $6,58 \text{ мм}^3 \text{ He}$ ($V(\text{He}) = 6,58 \text{ мм}^3$ при 0°C и 1 атм).

Для объяснения этого эксперимента необходима кинетическая схема радиоактивного распада радия, которая приведена ниже (периоды полураспада частиц указаны над стрелками, тип распада – под стрелками)



1) Напишите уравнения первых пяти из приведенных в схеме радиоактивных превращений с использованием современных обозначений, указывая заряды и массовые числа всех участвующих в превращениях ядер.

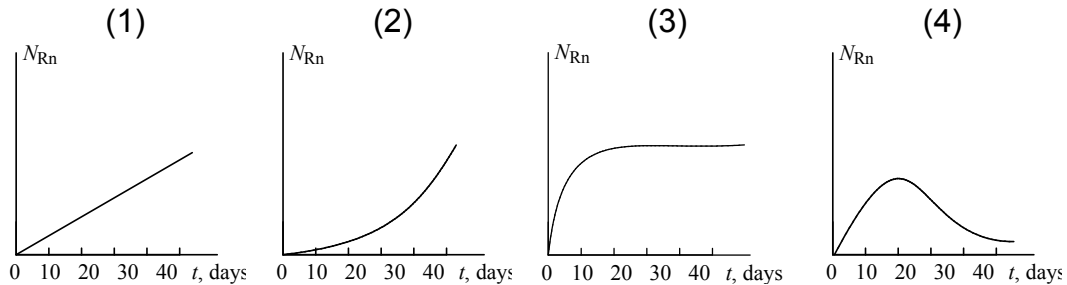
2) В качестве первого грубого приближения примите, что периоды полураспада всех продуктов радиоактивных превращений, кроме RaD и Po, пренебрежимо малы по сравнению с временем измерения t . Используя это приближение, рассчитайте:

- количество атомов гелия, образующихся из каждого распадающегося атома радия;
- общее количество атомов гелия, образовавшихся за время проведения эксперимента.

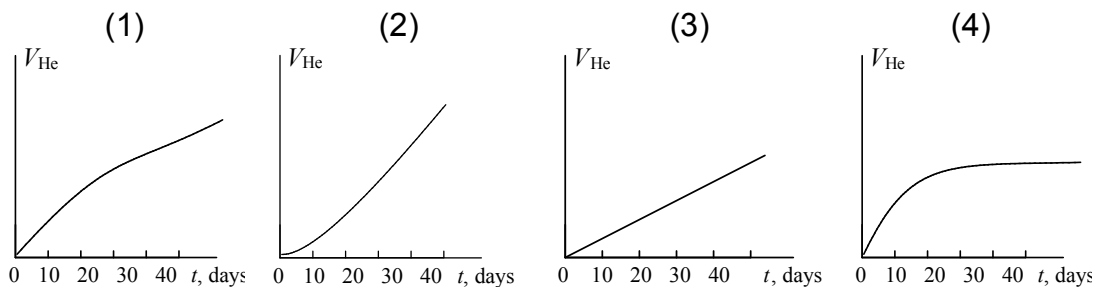
3) Рассчитайте приблизительное значение числа Авогадро из этих экспериментальных данных.

Для более точного расчета числа Авогадро нельзя пренебрегать периодом полураспада радона ($T_{1/2}(\text{Rn}) = 3,83$ суток), так как он сопоставим с временем проведения эксперимента t и не все атомы радона распались к концу эксперимента.

4) Укажите, какой из графиков, приведенных ниже, иллюстрирует зависимость изменения числа атомов радона $N(\text{Rn})$ от времени эксперимента:

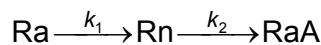


5) Укажите, какой из графиков, приведенных ниже, соответствует экспериментальной зависимости изменения объема гелия от времени:



6) Выберите уравнение зависимости константы скорости распада k любого данного нуклида от времени его полураспада $T_{1/2}$: $k = 1 / T_{1/2}$; $k = \ln 2 / T_{1/2}$; $k = \ln 2 \cdot T_{1/2}$; $k = \pi / T_{1/2}$.

7) Используя короткую кинетическую схему:



(где k_1 и k_2 – константы скорости соответствующих реакций) и график, выбранный вами в пункте 4), найдите правильное соотношение между числом атомов радона в конце эксперимента $N'(\text{Rn})$ и числом атомов радия $N(\text{Ra})$:

8) Рассчитать число атомов радона $N'(\text{Rn})$, используя скорость распада радия, приведенную выше ($\lambda = 3,42 \cdot 10^{10}$ α -частиц в секунду).

9) Определите, какое число атомов гелия может образоваться из атомов радона, оставшихся к концу эксперимента $N'(\text{Rn})$, если все эти атомы распадаются до RaD.

10) Используя ответы на вышеприведенные вопросы, рассчитайте уточненное значение:

а) числа образующихся атомов гелия;

б) число Авогадро.

IChO 1998 Задача 18. *(из сборника подготовительных задач)*

Радиоизотопы используются в медицине в двух направлениях. Радиотерапия позволяет облучать активные части клеток, чтобы вызывать смерть клеток. Ядерное проецирование позволяет при помощи радиоизотопов изучать особенности метаболизма в органах. Одна из таких технологий подразумевает определение объема крови пациента.

1) Три радиофармацевтические препарата содержат, соответственно, радиоизотопы ^{71}Zn ($T_{1/2} = 2,4$ мин), ^{67}Ga ($T_{1/2} = 78,25$ ч) и ^{68}Ge ($T_{1/2} = 287$ дней), каждый с активностью $7,0 \cdot 10^7$ Бк/мл. Для каждого препарата определите:

а) активность в Бк/мл по истечении 30 мин времени;

б) активность в Бк/мл по истечении 30 мин времени и после разбавления 10 мл раствора радиофармацевтического препарата до 25 мл.

2) Не принимая во внимания химические эффекты, объясните, какие преимущества имеет ^{67}Ga по отношению к двум другим радиоизотомам для определения объема крови пациента.

3) Названные радиоизотопы распадаются путем β -распада (^{71}Zn) и электронного захвата (^{67}Ga и ^{68}Ge). Назовите продукты этих ядерных реакций.

4) Фармацевтический препарат цитрат галлия ($\text{GaC}_6\text{H}_5\text{O}_6 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), обогащенный ^{67}Ga ($5,0 \cdot 10^{-5}$ мольных %), содержит 10,25 мг Ga. Сразу же после количественного синтеза цитрата галлия, радиофармацевтический препарат растворяют в 100 мл воды. Через 8 часов со времени приготовления, 1 мл раствора вводят внутрь пациента, и через 1 час 1 мл крови берут у пациента.

а) Рассчитайте активность в Бк одного мл раствора цитрата галлия.

б) Если проба крови обладала активностью 165,6 Бк, чему равнялся объем крови пациента?

IChO 1998 Задача 2.

Часть 1. Установление времени исторических событий с помощью Pb-210.

Натан Томпсон был первым обитателем острова Лорд Хов, решившим посадить некоторые европейские лиственные деревья в своем парке. К сожалению, точная дата посадки семян неизвестна, поскольку его книга записей была утеряна в море во время шторма. На протяжении многих лет пыльца европейских дуба и вяза скапливалась на дне озера. Очень маленькие количества радиоактивного Pb-210 (время полураспада 22,3 г) одновременно осаждались вместе с пылью. (Следует отметить, что европейские дуб и вяз опыляются с самого первого года роста.)

В 1995 г. Группа исследователей взяла со дна озера образец осадочных отложений. Эта проба была разрезана на тонкие слои толщиной 1 см и исследована на содержание пыли и Pb-210. Экспериментаторы установили, что:

1) первые частички пыли европейских дуба и вяза появляются на глубине 50 см;

2) радиоактивность Pb-210 в верхней части осадочного слоя составляет 356 Бк / кг, а на глубине 50 см – 1,4 Бк / кг.

1) В каком году Натан Томпсон посеял семена?

Радиоактивный Pb-210 является одним из продуктов распада U-238. Уран-238 присутствует в земной коре, и в результате ряда процессов небольшие количества Pb-210 выпадают с дождями и соосаждаются с частицами, которые накапливаются на дне озера.

Уран-238 распадается по следующей цепочке: U-238 → U-234 → Th-230 → Ra-226 → Rn-222 → Po-218 → Bi-214* → Pb-210 → Pb-206 (стабильный)

Примечание: звездочкой помечены короткоживущие изотопы, время полураспада которых составляет минуты и дни.

2) Какая из стадий распада объясняет, каким образом Pb-210 попадает в дождевую воду, тогда как U-238, из которого он образуется, встречается только в земной коре?

- U-238 → U-234
- U-234 → Th-230
- Th-230 → Ra-226
- Ra-226 → Rn-222

Часть 2. Разделение радиоизотопов для использования в медицине.

Изотоп Ga-67 используется для диагностики лимфомы. Его в основном получают при бомбардировке мишеней, обогащенных Zn-68 (>98%), протонами с высокой энергией в течение 11 ч. В природном цинке содержание Zn-68 составляет 18,8%. Конструкция мишени такова, что могут получаться и другие радиоизотопы:

Радиоизотоп	Время полураспада
Co-55	18,2 ч
Ni-57	36,0 ч
Co-57 (продукт распада Ni-57)	270 дней
Cu-64	12,7 ч
Cu-67	61,7 ч
Zn-65	244 дня
Ga-67	78,35 ч
Ga-66	9,4 ч

Через 12 ч после окончания бомбардировки Ga-67 связывают катионообменной смолой. Затем остальные радионуклиды и Zn-68 элюируют, оставляя Ga-67 связанным в колонке.

Изотопы Cu-64 и Co-55 имеют идеальное время полураспада для использования в медицинских целях, поэтому весьма желательно выделить их из промывного раствора (элюента).

Коэффициент распределения D является мерой распределения ионов металла между ионообменной смолой и элюентом. Для данных ионообменной смолы и элюента величина D определяется так:

$$D = \frac{\text{радиоактивность 1 мг смолы}}{\text{радиоактивность 1 мл элюента}}$$

Для приемлемого разделения ионов двух металлов величины их коэффициентов D должны различаться как минимум на 10 единиц.

3) Промывной раствор выпаривают досуха. Полученный остаток повторно растворяют в небольшом количестве 0,2 М раствора хлороводородной кислоты в 96% метаноле. Этот раствор затем пропускают через ионообменную колонку с анионитом. Оцените от 1 до 4 (1 – лучшая) эффективность систем растворителей, приведенных в листе ответов и предназначенных для элюирования Cu-64 и Co-55. Используйте данные графиков (рис. 1,2)

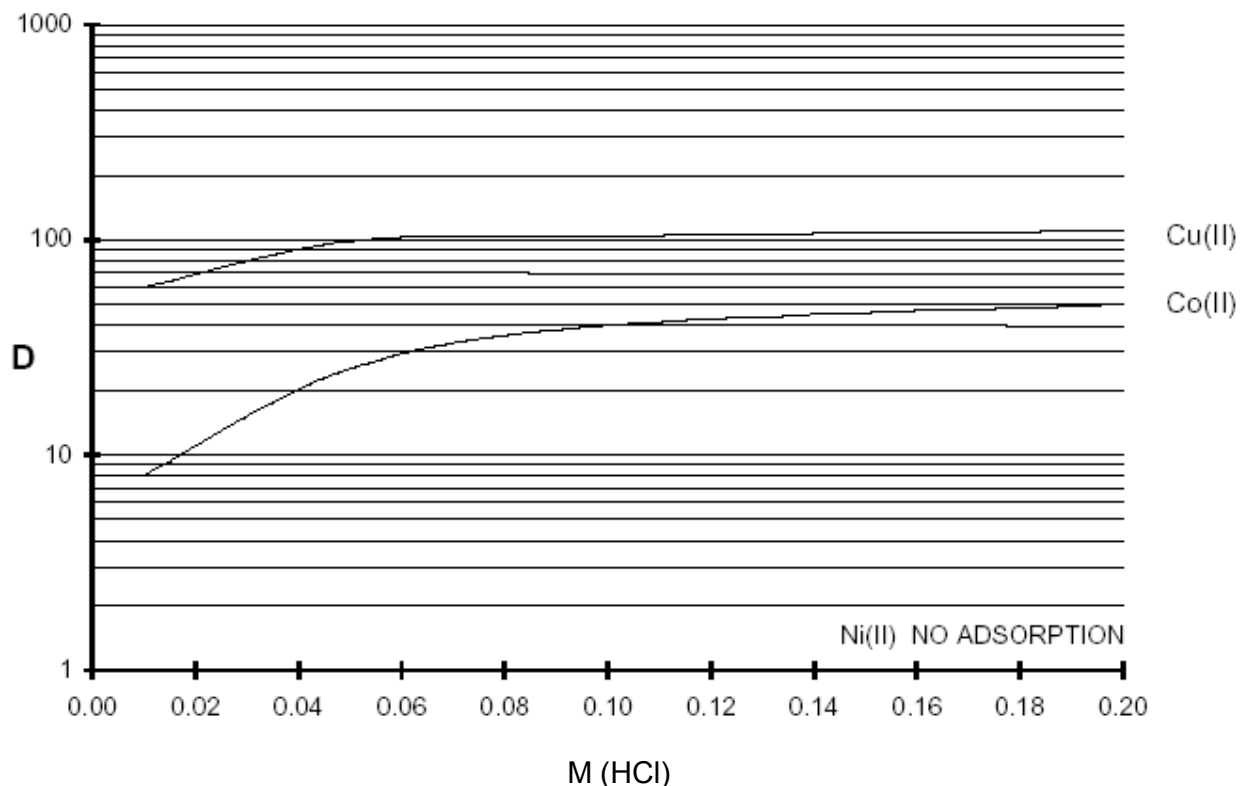


Рис. 1. Зависимость коэффициента распределения D ионов металлов между ионообменной смолой и 96%-ным метанолом от концентрации HCl (для Zn величина $D > 1000$).

A	0,2 М HCl в 96% метаноле	для удаления Ni-57, после чего
	2,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Cu-64, после чего
	1,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Co-55
B	0,2 М HCl в 96% метаноле	для удаления Ni-57, после чего
	2,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Co-55, после чего
	1,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Cu-64
C	2,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Co-55, после чего
	1,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Cu-64
D	0,2 М HCl в 96% метаноле	для удаления Ni-57, после чего
	3,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Co-55, после чего
	4,0 М HCl в 55% изопропаноле	для удаления Cu-64

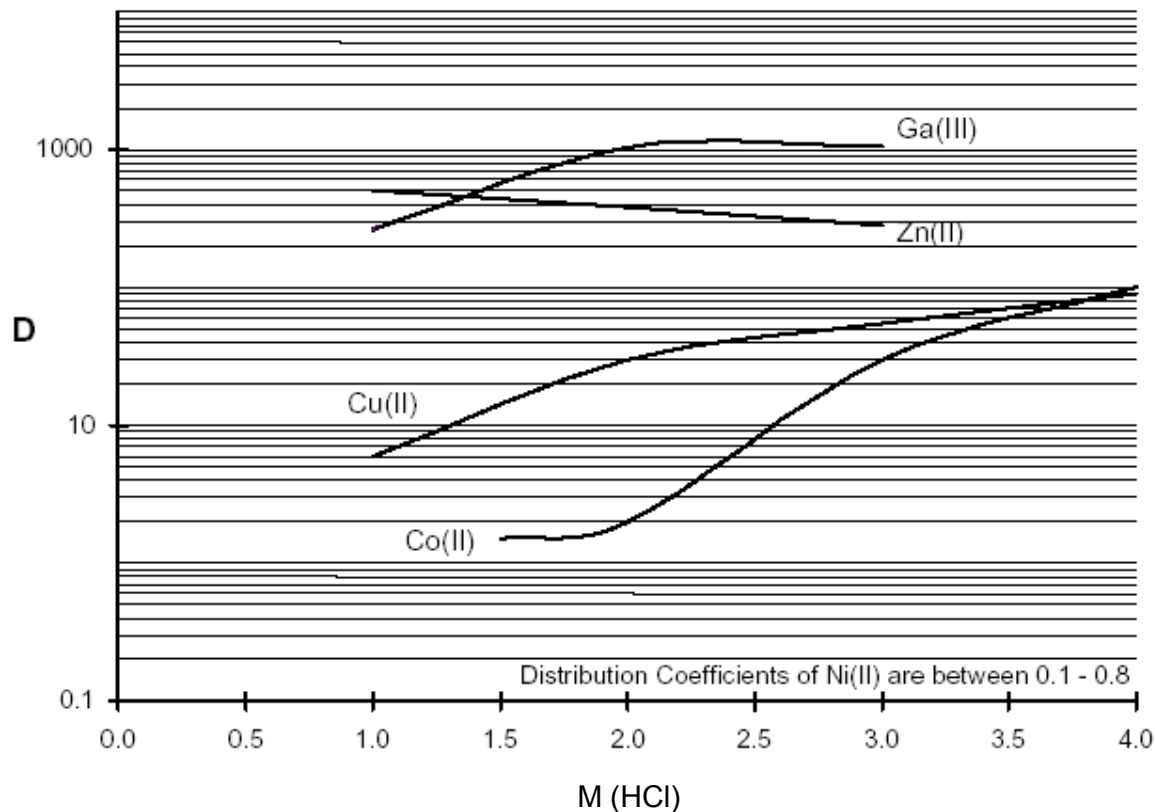


Рис. 2. Зависимость коэффициента распределения D ионов металлов между ионообменной смолой и 55% -ным изопропанолом от концентрации HCl .

4) Присутствие некоторых долгоживущих радионуклидов в радиоизотопных препаратах может мешать использованию в медицине $Cu-64$, $Co-55$ и $Ga-67$. Справедливо или нет следующее утверждение:

- $Ni-57$ может присутствовать в качестве примеси в $Co-55$;
- $Co-57$ будет мешать медицинскому применению $Co-55$;
- $Cu-67$ будет мешать медицинскому применению $Cu-64$;
- $Ga-66$ будет мешать медицинскому использованию $Ga-67$;
- $Ga-67$ будет мешать медицинскому использованию $Cu-67$.

5) Если произошло загрязнение одного из препаратов $Cu-64$, $Co-55$ или $Ga-67$, то какой из приведенных способов позволит понизить количество примесей ненужных изотопов? Справедливо или нет следующее утверждение:

- удалить $Ni-57$ перед выделением $Co-55$;
- отделить изотоп $Ni-57$ из материала облученной мишени, перед выделением $Ga-67$;
- разделить радионуклиды ближе к окончанию бомбардировки;
- дождаться распада $Ni-57$ и затем выделить $Co-55$.

6) Цинк с природным распределением изотопов был использован вместо обогащенного $Zn-68$ при бомбардировке мишени протонами высокой энергии. Справедливо или нет следующее утверждение:

- $Ga-67$ будет получаться с увеличенным в 5 раз выходом;
- $Ga-67$ будет получаться с пониженным в 5 раз выходом;

с) Ga-67 будет получаться с меньшим выходом, а количество примесей Cu-64, Co-55, Ni-57 будет увеличиваться;

д) Ga-67 будет получаться с меньшим выходом, а количество примесей Cu-64, Co-55, Ni-57 останется прежним.

ИсО 1999 Задача 3. (из сборника подготовительных задач)

Часть 1.

Радиоактивная цепочка $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ состоит из нескольких последовательных α - и β -распадов.

1) Первые две ступени распада урана-238 включают образование $^{234}_{90}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 24,10$ дней) и $^{234}_{91}\text{Pa}$ ($T_{1/2} = 6,66$ ч). Напишите уравнения ядерных реакций первых двух стадий распада ^{238}U и рассчитайте полную кинетическую энергию продуктов реакции в МэВ. Атомные массы:

$$m(^{238}\text{U}) = 238,05079 \text{ а.е.м.} \quad m(^{234}\text{Th}) = 234,04360 \text{ а.е.м.}$$

$$m(^{234}\text{Pa}) = 234,04332 \text{ а.е.м.} \quad m(^4\text{He}) = 4,00260 \text{ а.е.м.} \quad 1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ} / c^2$$

2) Промежуточным продуктом распада ^{238}U является $^{226}_{88}\text{Ra}$ ($T_{1/2} = 1620$ лет), который испуская α -частицы, образует $^{222}_{86}\text{Rn}$ ($T_{1/2} = 3,83$ дней). Рассчитайте объем радона находящегося в вековом равновесии с радием, если масса радия равна 1,00 кг и молярный объем при данных условиях равен 25,0 л.

3) Активность одного из членов радиоактивного ряда ^{238}U уменьшается в 10 раз за 12,80 дней. Рассчитайте константу распада и период полураспада этого радионуклида.

Часть 2.

Одними из стабильных продуктов расщепления ^{235}U нейтронами являются $^{98}_{42}\text{Mo}$ и $^{136}_{54}\text{Xe}$.

4) Принимая, что эти нуклиды образовались непосредственно в процессе деления, напишите суммарное уравнение ядерной реакции расщепления.

5) Рассчитайте энергию, выделяющуюся на один акт деления, в МэВ и Дж.

6) Рассчитайте энергию, выделяемую 1 граммом ^{235}U , в кВт-час.

Используйте следующие значения атомных масс:

$$m(^{235}\text{U}) = 235,04393 \text{ а.е.м.} \quad m(^{98}\text{Mo}) = 97,90551 \text{ а.е.м.}$$

$$m(^{146}\text{Xe}) = 135,90722 \text{ а.е.м.} \quad m(n) = 1,00866 \text{ а.е.м.} \quad 1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

ИсО 1999 Задача 3.

Один из рядов естественного радиоактивного распада начинается с нуклида $^{232}_{90}\text{Th}$ и заканчивается стабильным нуклидом $^{208}_{82}\text{Pb}$.

1) Какое количество β^- -распадов происходит в этом ряду? Подтвердите свой ответ расчетом.

2) Какое количество энергии в МэВ выделяется при превращении атома $^{232}_{90}\text{Th}$ в атом $^{208}_{82}\text{Pb}$?

3) Рассчитайте скорость выделения энергии (т.е. мощность) в Вт (1 Вт = 1 Дж / с), производимой 1,00 кг $^{232}_{90}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,40 \cdot 10^{10}$ лет).

4) Навеску $^{228}_{90}\text{Th}$ ($T_{1/2} = 1,91$ года) – члена ториевого ряда, массой 1,00 г хранили в контейнере 20,0 лет. Периоды полураспада всех остальных промежуточных нуклидов существенно малы по сравнению с периодом полураспада $^{228}_{90}\text{Th}$. Какой объем гелия в см^3 при 0°C и 1 атм образовался в контейнере за это время?

5) Установлено, что образец одного из нуклидов ториевого ряда после выделения содержит $1,5 \cdot 10^{10}$ атомов и имеет скорость распада 3440 распадов в минуту. Определите период полураспада этого нуклида в годах.

В этой задаче используйте следующие значения атомных масс и констант:

$$m(^{232}\text{Th}) = 232,03805 \text{ а.е.м.} \quad N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \quad 1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$m(^{208}\text{Pb}) = 207,97664 \text{ а.е.м.} \quad m(^4\text{He}) = 4,00260 \text{ а.е.м.} \quad 1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ} / c^2$$

ICHO 2001 Задача 10. (из сборника подготовительных задач)

Возраст Гренландской горы.

Одни из наиболее древних горных формирований находятся в регионе Исуа в Гренландии. Их возраст определяют по наличию в них радиоактивных и стабильных изотопов.

Радиоактивный изотоп урана – ^{238}U распадается с периодом полураспада $4,468 \cdot 10^9$ лет до стабильного изотопа свинца – ^{206}Pb . В отличие от ^{206}Pb , ^{204}Pb не образуется при радиоактивном распаде других изотопов, и поэтому величину $n(^{204}\text{Pb})$ можно считать независимой от времени в данном образце минерала. В момент времени $t = 0$, когда минерал выкристаллизовывается, изотопы свинца могут быть включены в него в качестве примеси. Начальные количества изотопов $n_0(^{238}\text{U})$, $n_0(^{206}\text{Pb})$ и $n_0(^{204}\text{Pb})$ могут быть различными в различных образцах минерала. Однако, начальное отношение количеств изотопов свинца во всех случаях одинаково, $n_0(^{206}\text{Pb}) / n_0(^{204}\text{Pb})$, для всех образцов минерала, взятых с одного горного образования.

1) Выразите $n_t(^{206}\text{Pb})$, как функцию $n_t(^{238}\text{U})$, $n_0(^{206}\text{Pb})$, k и t , где t – время, прошедшее с момента образования минерала; и k – константа распада ^{238}U .

Различные образцы минерала содержат различные начальные количества изотопов-примесей ^{238}U и ^{206}Pb . Поэтому возраст данного минерала не может быть определен лишь только по значениям $n_t(^{206}\text{Pb})$ и $n_t(^{238}\text{U})$. Однако, $n(^{204}\text{Pb})$ пропорционально начальному значению свинца, и также пропорционально $n_0(^{206}\text{Pb})$. Отношения $n_t(^{238}\text{U})$, $n_t(^{206}\text{Pb})$ и $n(^{204}\text{Pb})$ различных образцов минерала взятых с одного горного образования могут быть установлены при помощи масс-спектрометрии. Найденные значения, отображенные точками на диаграмме с осями абсцисс $n_t(^{238}\text{U}) / n(^{204}\text{Pb})$ и ординат $n_t(^{206}\text{Pb}) / n(^{204}\text{Pb})$, (в идеале) образуют прямую линию. Возраст горы может быть определен по наклонному углу этой прямой.

Были измерены отношения количеств изотопов в различных образцах минерала горы Исуа:

$n_t(^{238}\text{U}) / n(^{204}\text{Pb})$	1,106	1,883	2,632	2,859	2,896	3,390
$n_t(^{206}\text{Pb}) / n(^{204}\text{Pb})$	12,098	12,733	13,305	13,567	13,488	13,815

2) Рассчитайте возраст Гренландской горы.

3) Какое значение имеет точка пересечения прямой с осью у на полученной диаграмме?

ICHO 2001 Задача 7. (из сборника подготовительных задач)

Деление ядер

1) Рассмотрите следующие реакции деления ^{235}U под действием медленных нейтронов:



Вставьте пропущенные частицы и числа.

2) Рассмотрим первую из указанных реакций. Неустойчивые продукты деления подвергаются серии β^- -распадов, давая Zr и Ce. Напишите суммарную ядерную реакцию и рассчитайте выделившуюся энергию (в МэВ). Используйте следующие значения атомных масс:

$$m(^{235}\text{U}) = 235,0493 \text{ а.е.м.} \quad m(^{94}\text{Zr}) = 93,9063 \text{ а.е.м.}$$

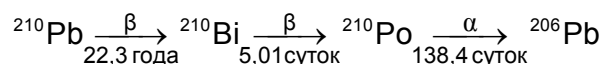
$$m(^{140}\text{Ce}) = 139,9054 \text{ а.е.м.} \quad m(n) = 1,00866 \text{ а.е.м.} \quad 1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ} / c^2$$

3) Один килограмм природного урана поместили в исследовательский ядерный реактор. Когда количество выделившейся энергии достигло 1 МВт·сут (МВтс), образец вынули из реактора. Чему равно содержание ^{235}U в полученном образце, если в природном уране оно равно 0,72%? Результат, полученный в пункте 2), можно рассматривать как среднюю энергию на один акт деления. Считайте, что вся энергия выделяется только при делении ^{235}U .

ICHO 2001 Задача 8. (из сборника подготовительных задач)

Радиоактивный распад

Радиоактивный изотоп ^{210}Bi , который является продуктом распада ^{210}Pb , в результате β^- -распада превращается в радиоактивный изотоп ^{210}Po , который испускает α -частицы и превращается в стабильный ^{206}Pb .



Образец радиохимически чистого ^{210}Bi был выделен из ^{210}Pb и оставлен для накопления ^{210}Po . Радиоактивность свежеочищенного ^{210}Bi составила 100 мкКюри. (1 Кюри = $3,7 \times 10^{10}$ Бк.)

- 1) Чему равна исходная масса образца ^{210}Bi ?
- 2) Рассчитайте время, через которое количество ^{210}Po в образце достигнет максимального значения. Чему равно это значение?
- 3) Определите скорость α -распада ^{210}Po и β^- -распада ^{210}Bi в это время.

ICHO 2001 Задача 3.

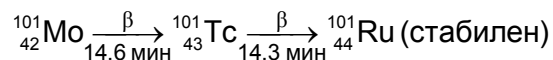
Индийский минерал

Минерал монацит, который в больших количествах входит в состав пляжного песка в индийском штате Керала, богат торием. Типичный образец монацита содержит около 9% ThO_2 и 0,35% U_3O_8 . Изотопы свинца ^{208}Pb и ^{206}Pb – стабильные конечные продукты серий радиоактивного распада, которые начинаются с ^{232}Th и ^{238}U , соответственно. Весь свинец (Pb), входящий в состав монацита, имеет радиогенную природу.

Соотношение атомов изотопов $^{208}\text{Pb} / ^{232}\text{Th}$ в образце монацита, измеренное масс-спектрометрически, равно 0,104. Периоды полураспада ^{232}Th и ^{238}U равны $1,41 \times 10^{10}$ лет и $4,47 \times 10^9$ лет, соответственно. Считайте, что все время с момента образования минерала атомы ^{208}Pb , ^{206}Pb , ^{232}Th и ^{238}U не выделялись из образца монацита.

- 1) Рассчитайте возраст образца монацита (с момента его образования).
- 2) Рассчитайте соотношение атомов изотопов $^{206}\text{Pb} / ^{238}\text{U}$ в образце монацита.
- 3) Торий-232 – важный материал для ядерной энергетики. При облучении тепловыми нейтронами каждый атом тория поглощает один нейтрон, и затем образующийся изотоп через последовательность β^- -распадов превращается в ^{233}U . Напишите уравнения ядерных реакций, протекающих при превращении ^{232}Th в ^{233}U .

При ядерном делении ^{233}U образуется сложная смесь радиоактивных продуктов. Один из продуктов – ^{101}Mo – претерпевает радиоактивный распад в соответствии со схемой:



- 4) Свежеприготовленный радиохимически чистый образец ^{101}Mo содержит 50000 атомов ^{101}Mo в начальный момент времени. Сколько атомов изотопов а) ^{101}Mo ; б) ^{101}Tc ; в) ^{101}Ru будет находиться в данном образце через 14,6 мин?

ICHO 2003 Задача 11. (из сборника подготовительных задач)

Радиоактивность и химическая реакционная способность

Ответьте «да» и «нет» на следующие вопросы:

- 1) Является ли γ -излучение радиоактивных веществ электромагнитным излучением?
- 2) Существуют ли стабильные изотопы с атомными номерами больше 83?
- 3) Существуют ли радиоактивные изотопы с атомными номерами меньше 82?
- 4) Образуют ли благородные газы соединения с другими элементами?
- 5) Является ли цезий элементом с наименьшей энергией ионизации среди нерадиоактивных элементов?

ICHO 2003 Задача 12. (из сборника подготовительных задач)

Углеродный метод определения возраста

^{14}C – β -радиоактивный изотоп с периодом полураспада $t_{1/2} = 5700$ лет. Он постоянно образуется в атмосфере в результате ядерных реакций между атомами азота и нейтронами под действием космических лучей. Предположим, что скорость образования этого изотопа не меняется в течение тысяч лет и равна скорости распада, так что количество ^{14}C в атмосфере остается постоянным. В результате изотоп ^{14}C наряду с ^{12}C и ^{13}C участвует во всех химических реакциях углерода. Он образует CO_2 с кислородом и в результате фотосинтеза попадает в живые организмы, где изотопное отношение $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ постоянно. Это свойство используют для определения возраста биологических образцов, полученных из мертвых организмов. В этих образцах отношение $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ уже не постоянно, а уменьшается с течением времени из-за распада ^{14}C . Удельная радиоактивность ^{14}C в живых организмах равна 0,277 Бк на грамм углерода (1 Бк соответствует одному распаду в секунду).

- 1) Рассчитайте возраст образца, в котором отношение $^{14}\text{C} / ^{12}\text{C}$ равно 0,25 от величины, соответствующей живому организму.
- 2) Что происходит с атомом ^{14}C при его распаде?
- 3) Что происходит с органической молекулой (например, ДНК, белок и др.), содержащей атом ^{14}C , при распаде этого атома?
- 4) Рассчитайте радиоактивность живого организма массой 75 кг, обусловленную распадом ^{14}C , и число атомов ^{14}C в организме, если массовая доля углерода равна 18,5%.

ICHO 2003 Задача 13. (из сборника подготовительных задач)

Уран

Уран U ($Z = 92$) – природный радиоактивный элемент, который представляет собой смесь ^{238}U (99,3%, $t_{1/2} = 4,47 \cdot 10^9$ лет) и ^{235}U (0,7%, $t_{1/2} = 7,04 \cdot 10^8$ лет). Оба радиоизотопа испускают α -частицы и образовались при первичном нуклеосинтезе. Их распад сопровождается серией α - ($^4\text{He}^{2+}$) и β^- -распадов, которые в конце концов приводят к стабильным изотопам свинца ^{206}Pb и ^{207}Pb ($Z = 82$). Эти серии образуют два (из трех природных) радиоактивных ряда. γ -излучение, которое испускается при некоторых превращениях, не влияет на состав ядер. ^{235}U менее устойчив, чем ^{238}U , и легко реагирует с тепловыми нейтронами; в результате этой реакции происходит деление ядер, которое используется в ядерных реакторах. Уравнение реакции деления: $^{235}\text{U} + n \rightarrow \text{U}^* \rightarrow \text{продукты деления} + 2-3 n + 200 \text{ МэВ}/(\text{ядро } ^{235}\text{U})$.

- 1) Рассчитайте общее число α - и β -частиц, испускаемых в каждом из двух природных радиоактивных рядов ($^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$ и $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb}$).
- 2) Объясните, почему в обоих радиоактивных рядах некоторые элементы появляются несколько раз.

3) Считая, что при первичном нуклеосинтезе число атомов обоих изотопов урана было одинаковым ($^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} = 1 : 1$), рассчитайте возраст Земли, т.е. время, прошедшее после нуклеосинтеза.

4) Рассчитайте массу углерода (в граммах), при сгорании которого выделяется столько же энергии, сколько при делении 1 г ^{235}U . Термохимическое уравнение сгорания углерода:

