

либо способом абсолютную активность препарата A и определить число ядер в препарате n .

В настоящей работе определяется период полураспада естественного радиоактивного изотопа калия с массовым числом 40. Препарат изготавливается из соли KCl . Абсолютную активность препарата A из-за малой активности природного калия рекомендуется определить методом, рассмотренным в работе № 3. Подсчет числа радиоактивных атомов в препарате может быть произведен следующим образом: по массе образца и известному химическому составу определить количество (в граммах) содержащегося в нем природного калия. Зная, что в природной смеси изотопов калия на долю радиоактивного изотопа $^{40}_{19}K$ приходится 0,0119%, определить массу (в граммах) содержащегося в образце изотопа калия $^{40}_{19}K$. Число атомов радиоактивного изотопа калия определится выражением:

$$n = \frac{6,025 \cdot 10^{23} \cdot m}{40}, \quad (82)$$

где $6,025 \cdot 10^{23}$ — число Авогадро, 40 — масса одного грамм-атома изотопа калия $^{40}_{19}K$ в граммах, m — масса изотопа калия $^{40}_{19}K$ в образце в граммах.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с устройством радиометра типа Б-2 по инструкции и подготовить его к работе.

2. Подать на торцовый счетчик высокое напряжение от высоковольтного выпрямителя радиометра типа Б-2. Величину рабочего напряжения счетчика определить по счетной характеристике счетчика, выбрав рабочую точку на середине плато.

3. Получить у лаборанта толстый препарат хлористого калия и определить его бета-активность по описанию работы № 3. Внести поправку на схему распада и определить абсолютную активность препарата A (см. схему распада в приложении № 7).

4. Сделав необходимые расчеты, определить содержащееся в препарате число атомов изотопа калия $^{40}_{19}K$.

5. По выражению (81) определить период полураспада изотопа калия $^{40}_{19}K$. Сравните полученный результат с табличным.

Результаты измерений и вычислений свести в отчетную таблицу.

Отчетная таблица

Скорость счета от образца с фоном, N_0	Скорость счета фона, N_f	Скорость счета бета-частиц от образца, $N_\beta = N_0 - N_f$	Толщина слоя поглощающего вещества бета-излучения, Δ	Поправка на телесный угол, ω	Поправка на поглощение, k	Площадь образца, S	Удельная активность соли, N_{KCl}	Удельная активность калия, N_K	Число атомов изотопа калия $^{40}_{19}K$ в образце, n	Период полураспада изотопа калия, T лет

Контрольные вопросы

1. Почему лишь некоторая часть элементов из различных мест таблицы Менделеева имеет естественные радиоактивные изотопы (калий, рубидий, уран), хотя искусственные радиоактивные изотопы могут быть изготовлены у всех элементов?

2. Почему метод определения периода полураспада, примененный в настоящей работе, не используется для определения периода полураспада короткоживущих изотопов?

РАБОТА № 9

СНЯТИЕ КРИВОЙ РАСПАДА БЕТА-АКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ЕСТЕСТВЕННОЙ РАДИОАКТИВНОСТИ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ БЕТА-АКТИВНОСТИ ВОЗДУХА

Приборы и принадлежности: 1. Радиометр типа Б-2. 2. Свинцовый домик с торцовым счетчиком. 3. Пылесос. 4. Ручной пресс. 5. Фильтровальная ткань ФПП-15. 6. Секундомер. 7. Газовый счетчик.

Естественная радиоактивность атмосферного воздуха обусловлена в основном наличием в воздухе радона, торона и продуктов их распада. Количество радона в воздухе определяется содержанием радия в почвах данной местности и условиями выхода радона из почвы. В различных почвах содержится примерно от $3 \cdot 10^{-13}$

до $6 \cdot 10^{-12}$ грамм радия на 1 грамм почвы. Радий испытывает альфа-распад и превращается в эманацию радия — радон ${}^{222}\text{Rn}$. Радон — радиоактивный инертный газ, диффундирующий из почвы в атмосферу. Распадается радон с испусканием альфа-частицы, период полураспада 3,825 дня. Концентрация радона в атмосферном воздухе колеблется в зависимости от места и времени наблюдения в пределах от 10^{-15} до 5×10^{-13} кюри/л. Продуктами распада радона являются последовательно радий А (${}^{218}\text{Po}$), радий В (${}^{214}\text{Pb}$), радий С (${}^{214}\text{Bi}$) и радий С' (${}^{214}\text{Po}$) (см. приложение № 6). Дальнейшие продукты распада можно не рассматривать, так как продукт распада радия С' — радий D — имеет период полураспада 22 года и не может достигнуть в атмосфере равновесной концентрации. Он осаждается и вымывается из атмосферы за гораздо более короткий срок. Торона в атмосферном воздухе содержится примерно в 10 раз меньше, чем радона.

Первой задачей настоящей работы является обнаружение естественных радиоактивных изотопов в атмосферном воздухе и снятие кривой их распада. Несмотря на малые концентрации естественных радиоактивных изотопов в атмосферном воздухе, их присутствие в атмосфере может быть обнаружено сравнительно простыми средствами. Все члены радиоактивного семейства урана за радоном являются металлами. Атомы металлов не могут находиться в атмосфере в свободном состоянии сколько-нибудь продолжительное время. При встречах с твердыми частицами дыма, пыли, капельками тумана, всегда присутствующих в атмосферном воздухе, они оседают на их поверхности. Пропуская значительный объем воздуха через фильтр, улавливающий твердые частицы, присутствующие в воздухе, можно сконцентрировать естественную радиоактивность этого объема атмосферного воздуха в небольшом объеме фильтра. Измерение активности фильтра не представляет трудности. Фильтры, предназначенные для улавливания твердых частиц, присутствующих в атмосферном воздухе, носят название аэрозольных фильтров. Для выполнения работы могут быть рекомендованы специальные аэрозольные фильтры марок ФП, ФПФ, ФПП. В качестве заменителей могут быть использованы вата, фильтровальная бумага.

Экспериментальная установка состоит из пылесоса с фильтродержателем и установки для измерения бета-радиоактивности фильтра.

Порядок выполнения первой задачи

1. Ознакомиться с устройством радиометра типа Б-2 по инструкции и подготовить его к выполнению измерений.

2. Подать на торцовый счетчик высокое напряжение с высоковольтного выпрямителя радиометра типа Б-2. Величину рабочего напряжения счетчика определить по счетной характеристике счетчика, выбрав рабочую точку на середине плато.

3. Измерить фон установки с относительной статистической точностью 5%.

4. Получить у лаборанта фильтр, укрепить его в фильтродержателе. Включить пылесос. Через 10 минут выключить пылесос, снять фильтр, спрессовать его и поместить под счетчик.

5. Снять кривую распада, чередуя 3 минуты измерения и одну минуту перерыва в течение часа. Результаты измерений занести в отчетную таблицу.

6. Построить кривую распада, откладывая по оси абсцисс время от начала измерения, а по оси ординат — логарифм скорости счета от фильтра без фона. По кривой распада определить время, за которое бета-активность фильтра убывает наполовину.

Отчетная таблица

Порядковый номер измерения	Скорость счета от фильтра с фоном, N_0	Скорость счета фона, $N_{\text{ф}}$	Скорость счета бета-частиц от фильтра без фона, $N_{\beta} = N_0 - N_{\text{ф}}$	Логарифм скорости счета бета-частиц от фильтра без фона, $\lg N_{\beta}$
1				
2				
3				
·				
·				
·				
15				

Второй задачей настоящей работы является определение удельной бета-активности атмосферного воздуха.

Трудности при определении концентрации естественных радиоактивных изотопов в атмосферном воздухе возникают из-за короткого времени жизни продуктов распада радона и наличия нескольких радиоактивных элементов с различными периодами полураспада. Действительно, активность фильтра, измеренная через некоторое время после прокачивания воздуха через фильтр, меньше активности прокачанного объема воздуха из-за распада части атомов, задержанных в фильтре. Для перехода от абсолютной активности фильтра к удельной активности атмосферного воздуха нужно активность фильтра отнести к единице объема прокачанного воздуха и учесть, что во время прокачивания воздуха до момента измерения происходит распад радиоактивных ядер, оседающих на фильтре.

Пусть в литре воздуха содержится n_0 радиоактивных атомов. При скорости прокачивания v л/мин на фильтре за время dt осаждаются $n_0 \cdot v \cdot dt$ радиоактивных атомов. Если к некоторому моменту времени t на фильтре уже накопилось n радиоактивных атомов, то за время dt из них распадается $\lambda \cdot n \cdot dt$. Следовательно, увеличение числа радиоактивных атомов на фильтре за время dt с учетом распада будет равно:

$$dn = n_0 \cdot v \cdot dt - \lambda \cdot n \cdot dt. \quad (83)$$

Для того чтобы найти количество накопившихся на фильтре радиоактивных атомов за время прокачивания t минут, нужно проинтегрировать уравнение по t и n от 0 до t и от 0 до n_t . Разделяя переменные и интегрируя, получим:

$$n_t = \frac{n_0 \cdot v}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda \cdot t}). \quad (84)$$

Выражение (84) устанавливает связь между количеством радиоактивных атомов n_t , накопившихся на фильтре к моменту окончания прокачивания t , и концентрацией радиоактивных атомов в воздухе n_0 . Активность фильтра A_t в момент t равняется:

$$A_t = \lambda \cdot n_t, \quad (85)$$

удельная активность воздуха Q определяется выражением

$$Q = \lambda \cdot n_0. \quad (86)$$

Тогда из выражения (84) активность фильтра A_t в момент времени t связана с удельной активностью воздуха Q соотношением

$$A_t = \frac{Q \cdot v}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t}), \quad (87)$$

откуда

$$Q = \frac{A_t \cdot \lambda}{v \cdot (1 - e^{-\lambda t})}. \quad (88)$$

Следовательно, для определения удельной активности атмосферного воздуха Q необходимо знать абсолютную активность фильтра A_t в момент окончания прокачивания t , скорость прокачивания v и постоянную распада λ . На практике обычно активность фильтра измеряется через некоторое время Δt после окончания прокачивания воздуха через фильтр. Активность фильтра в момент измерения $t + \Delta t$ связана с активностью фильтра в момент времени t соотношением

$$A_{t+\Delta t} = A_t \cdot e^{-\lambda \cdot \Delta t}. \quad (89)$$

Тогда окончательное выражение для определения удельной бета-активности атмосферного воздуха:

$$Q = \frac{A_{t+\Delta t} \cdot e^{\lambda \cdot \Delta t} \lambda}{v \cdot (1 - e^{-\lambda t})}, \quad (90)$$

где $A_{t+\Delta t}$ — абсолютная бета-активность фильтра через $t + \Delta t$ минут после начала прокачивания воздуха через фильтр, λ — постоянная распада бета-радиоактивных изотопов, осажденных на фильтре, Δt — время, прошедшее с момента окончания прокачивания воздуха через фильтр до середины интервала времени измерения активности фильтра, t — время от начала прокачивания воздуха через фильтр до окончания прокачивания, v — скорость прокачивания воздуха в литрах в минуту.

Точное определение значения постоянной распада естественной бета-радиоактивности атмосферного воздуха затрудняется присутствием в ней нескольких

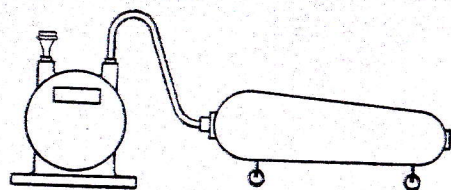


Рис. 37. Схема установки для отбора проб из атмосферного воздуха.

короткоживущих изотопов с различными периодами полураспада. Основная роль принадлежит двум изотопам радиоактивного семейства урана — радию $B(_{82}Pb^{214})$ и радию $C(_{83}Bi^{214})$ (см. приложение № 6). Среднее экспериментальное значение периода полураспада смеси естественных радиоактивных изотопов в атмосферном воздухе равно 35 минутам. Это значение можно использовать для определения постоянной распада.

Проделанный расчет выполнен в предположении, что радиоактивные аэрозоли атмосферного воздуха задерживаются фильтром со стопроцентной эффективностью. Такое предположение близко к истине при использовании аэрозольных фильтров из специального синтетического волокна, например, марок ФП, ФПА, ФПП. При скоростях прокачивания 1—2 л/мин через 1 см² поверхности фильтра эффективность пылеулавливания их превышает 99%. При увеличении скорости прокачивания эффективность уменьшается. Эффективность фильтра может быть определена путем прокачивания воздуха одновременно через два фильтра и последующего измерения активности каждого из них.

Внешний вид установки для отбора проб атмосферного воздуха, состоящей из пылесоса с фильтродержателем и газового счетчика, представлен на рисунке 37.

Порядок выполнения второй задачи

1. Подготовить к работе радиометр типа Б-2.
2. Укрепить фильтр в фильтродержателе и вместе с пуском секундомера включить пылесос. После прокачивания через фильтр двух тысяч литров воздуха выключить пылесос и заметить показания секундомера (момент времени t).

Секундомер не останавливать!

3. Поместить фильтр под счетчик и определить его абсолютную активность через 10 минут после окончания прокачивания. Для этого измерить среднюю скорость счета от фильтра, начав измерения через 8 минут после окончания прокачивания и продолжая их в течение 4 минут.

4. Внести поправки на фон и телесный угол. Точность измерения в настоящей работе в основном из-за незнания точного значения постоянной распада λ составляет около 20%, поэтому поправки на отражение от подложки, поглощение и самопоглощение бета-частиц в настоящей работе за малостью их не вводятся.

5. По определенной абсолютной активности фильтра $A_{t+\Delta t}$, пользуясь выражением (90), определить удельную бета-активность атмосферного воздуха. Результаты измерений и вычислений занести в отчетную таблицу.

Отчетная таблица

Скорость прокачивания воздуха, л/мин	Постоянная распада, λ	Время прокачивания, t	Время от момента окончания прокачивания до середины времени измерения, Δt	Скорость счета фона, N_{ϕ}	Скорость счета от препарата с фоном, N_0	Скорость счета бета-частиц от препарата, $N_{\beta} = N_0 - N_{\phi}$	Поправка на телесный угол, ω	Бета-активность фильтра в момент времени, $t + \Delta t$	Концентрация естественных бета-радиоактивных изотопов в атмосферном воздухе, Q

Контрольные вопросы

1. Какие радиоактивные изотопы содержатся в атмосферном воздухе и каков их источник? Что называется радиоактивным семейством урана?
2. Какая методика обнаружения радиоактивности в атмосферном воздухе применена в настоящей работе?
3. Сравните период убывания активности фильтра наполовину с периодами полураспада бета-радиоактивных

изотопов естественной радиоактивности воздуха. Чем объясняется их различие?

4. Сделайте вывод соотношения (90).

5. От чего зависит концентрация естественных радиоактивных аэрозолей в атмосферном воздухе?

РАБОТА № 10

АНАЛИЗ СЛОЖНОЙ КРИВОЙ РАСПАДА

Приборы и принадлежности: 1. Радиометр типа Б-2. 2. Свинцовый домик с торцовым счетчиком. 3. Образец серебра. 4. Полоний-бериллиевый нейтронный источник. 5. Два секундомера.

Простой способ экспериментального определения периода полураспада короткоживущего радиоактивного изотопа рассмотрен в работе № 7. Однако он применим лишь в том случае, когда препарат содержит один радиоактивный изотоп. В практике же очень часто возникает необходимость определения периодов полураспада нескольких радиоактивных изотопов, находящихся в составе одного радиоактивного препарата. Например, уверенное определение изотопного состава радиоактивного препарата обычно становится возможным только после определения периодов полураспада входящих в состав препарата радиоактивных изотопов.

В препаратах, содержащих несколько радиоактивных изотопов, период полураспада каждого из них может быть определен экспериментально путем анализа кривой распада, если различия в периодах полураспада изотопов значительны.

Рассмотрим простой случай, когда в препарате содержится два радиоактивных изотопа с периодами полураспада T_1 и T_2 . Пусть для определенности $T_1 < T_2$. Способом, аналогичным примененному в работе № 7 для вывода выражения (76), можно получить, что активность такого препарата будет изменяться со временем по закону:

$$A_t = A_1 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_1}} + A_2 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_2}}, \quad (91)$$

где A_1 и A_2 — активности первого и второго изотопов в начальный момент времени $t=0$. Пример сложной кривой распада представлен на рисунке 38. Активность

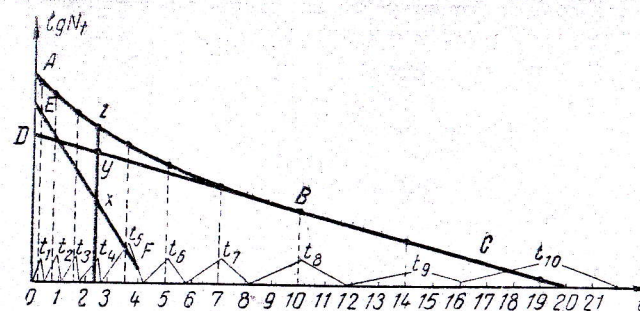


Рис. 38. Анализ сложной кривой распада.

препарата отложена по оси ординат в логарифмическом масштабе, время отсчитывается по оси абсцисс. Участок BC сложной кривой распада относится к тому времени, когда $t \gg T_1$ и в препарате остается практически лишь один изотоп с большим периодом полураспада T_2 , т. е.

$$A_t \simeq A_2 \cdot e^{-\frac{\ln 2 \cdot t}{T_2}}. \quad (92)$$

Зависимость $\lg A_t$ от времени в этом случае оказывается линейной. Используя выражение (79) по любым двум точкам, взятым на отрезке BC («хвост» сложной кривой распада), можно определить период полураспада T_2 изотопа.

Для определения периода полураспада другого изотопа T_1 нужно провести разложение сложной кривой распада на составляющие ее компоненты. Для этого прямолинейный участок BC экстраполируется влево до пересечения с осью ординат. Прямая DC представляет собой кривую распада изотопа с периодом полураспада T_2 . Для нахождения второго слагаемого необходимо из сложной кривой распада ABC вычесть простую компоненту DC.

Получающаяся в результате вычитания кривая EF представляет собой кривую распада изотопа с периодом полураспада T_1 и в полулогарифмическом масштабе должна быть прямой. По любым двум точкам на прямой EF с помощью выражения (79) определяется период