

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

ПРИРОДНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА, ОБУСЛОВЛЕННАЯ ИЗОТОПОМ РАДОН-222 И ПРОДУКТАМИ ЕГО РАСПАДА. ОЦЕНКА ПЕРИОДА ПОЛУРАСПАДА НЕКОТОРЫХ ИЗОТОПОВ ПОДСЕМЕЙСТВА РАДОНА-222.

Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

1. Цели и задачи работы.

Пронаблюдать на установке с детектором в защитном свинцовом домике радиоактивность изотопа $^{86}\text{Rn}^{222}$ и ближайших продуктов его распада из *радиоактивного семейства или радиоактивного ряда* $\text{U}^{238} - \text{Pb}^{206}$, сконцентрированных в фильтре при прокачке через него атмосферного воздуха с помощью пылесоса. Измерить кривую спада этой активности со временем и оценить по ней примерную величину *периода полураспада* для определенных изотопов подсемейства радона (изотопов ближайшего последующего за радоном участка радиоактивного ряда), определяющих эту активность, регистрируемую детектором установки.

Перед выполнением работы рекомендуется еще раз прочитать «Введение в физпрактикум», уделив дополнительное внимание пунктам: 1, 2, 3.1.1, 3.2, 3.4, 4.2, 4.3.

2. Вступление. Природный (естественный) фон ионизирующих излучений на Земле и его влияние на человека.

Природный или естественный фон ионизирующих излучений существует на Земле со времени образования планеты, подвергая непрерывно определенному воздействию всю ее биосферу, в т.ч. и людей. Естественный фон обусловлен, в основном, двумя факторами.

а). Излучением радиоактивных изотопов некоторых химических элементов, еще не распавшихся полностью за время, прошедшее с эпохи образования Солнечной системы и планеты Земля (ок. 5 млрд. лет), содержащихся в земной коре, в атмосфере и во всех материалах, добываемых в земле, в т.ч. и находящихся в объектах живой природы и в теле человека. Радиоактивные изотопы присутствуют на Земле со времени ее образования. В настоящее время на Земле сохранились 23 долгоживущих радиоактивных изотопа, имеющих период полураспада больше 10^7 лет. Наиболее распространенные из них это K^{40} , U^{238} и Th^{232} . Два последних изотопа образуют радиоактивные семейства, в которых после ряда последовательных распадов образуются стабильные ядра Pb^{206} и Pb^{208} соответственно.

б). Космическим излучением, возникающим при высокоэнергетических процессах в звездах и галактиках, достигающим поверхности Земли при прохождении через ее атмосферу. Основная часть космической составляющей естественного фона на Земле обусловлена влиянием Солнца. Роль космического излучения растет с ростом высоты над уровнем моря [1]. Влияние космической составляющей естественного фона обусловлено как первичным излучением звезд и галактик, так и вторичным излучением, возникающим в атмосфере Земли при взаимодействии ядер атомов атмосферы с первичным излучением, в т.ч. и радиоактивными изотопами, образующимися при этом взаимодействии (в частности, радиоактивным изотопом углерода ^{14}C , известным по радиоуглеродной хронометрии) [2].

Влияние естественного фона нельзя исключить в обычных условиях, поэтому обсуждать вредность или полезность этого фона в известной степени бессмысленно. Поскольку, как показывает опыт, вероятностные (стохастические) последствия облучения (наследственные мутации и онкозаболевания) пропорциональны величине *дозы облучения* (см. лаб. раб. №3), то даже малые дозы естественного фона не исключают полностью нежелательных последствий и должны контролироваться. Контроль дополнительного к естественному фону техногенного и медицинского облучения (излучение выбросов атомных электростанций, источники ионизирующих излучений в хозяйственной и научной деятельности, облучение по медицинским показаниям и т.п.), которое может привести не только к вероятностным последствиям, а и к лучевым заболеваниям, тем более обязателен (см. лаб. раб. №3 о государственном регулировании *допустимых доз ионизирующих излучений*).

Вредное влияние радиоактивных изотопов может быть вызвано не только их **внешним облучением** данного организма, но также и **внутренним облучением** при попадании радиоактивных веществ в организм с пищей, водой, при дыхании и т.п. Влияние внутреннего облучения гораздо более существенно, чем внешнего облучения, от которого можно защититься либо минимальным временем пребывания в поле излучения («защита временем»), либо большим расстоянием от источника излучения («защита расстоянием»), либо специальными хорошо поглощающими излучение экранами.

Сравнительно недавно (60-е – 70-е годы 20-го века) установлено, что для большинства населения Земли почти половину **эффективной эквивалентной дозы** (см. лаб. раб №3) облучения от естественного фона человек получает от попадающих в организм при дыхании изотопов подсемейства изотопа $^{86}\text{Rn}^{222}$ (радон – 222) и продуктов его распада, входящих в радиоактивное семейство $\text{U}^{238} - \text{Pb}^{206}$. Остальная доза естественного фона приблизительно в сопоставимой мере обусловлена следующими тремя факторами: радиоактивными изотопами, содержащимися в организме человека в составе естественной смеси изотопов, в основном изотопом калия K^{40} , радиоактивными изотопами, содержащимися в земной коре (семейства U^{238} , U^{235} (Th^{232}), K^{40} и др.), и космическим излучением. В силу сказанного даже упрощенные исследования радиоактивности атмосферного воздуха, обусловленной изотопами подсемейства Rn^{222} , представляют не только научный, но и общечеловеческий интерес. Данная лабораторная работа, суть которой известна еще с 30-х годов 20-го столетия, позволяет получить некоторое представление по этому вопросу.

3. Радиоактивные семейства. Семейство $^{92}\text{U}^{238} - ^{82}\text{Pb}^{206}$ и подсемейство $^{86}\text{Rn}^{222} - ^{82}\text{Pb}^{210}$.

В природе известны 4 радиоактивных семейства (ряда), изотопами которых в основном и обусловлена радиоактивность земных пород. Радиоактивные изотопы каждого семейства связаны «генетически», т.к. последующий изотоп семейства (дочерний) получается из предыдущего (материнского), как результат α - или β - распада [3]. Родоначальниками этих семейств являются следующие 4 долгоживущих изотопа (в скобках даны их периоды полураспада $T_{1/2}$):

$$^{92}\text{U}^{238} (4,47 \cdot 10^9 \text{ лет}) \quad ^{92}\text{U}^{235} (7 \cdot 10^8 \text{ лет}) \quad ^{92}\text{U}^{236} (2,4 \cdot 10^7 \text{ лет}) \quad ^{93}\text{Np}^{237} (2,2 \cdot 10^6 \text{ лет})$$

Семейство нептуния-237 из-за не слишком большого, по сравнению с возрастом Земли, периода полураспада изотопа-родоначальника, уже практически исчезло в земной коре и в настоящее время с целью изучения воспроизведено искусственно. В семействе урана-236 в настоящее время родоначальником фактически стал изотоп тория $^{90}\text{Th}^{232}$, возникающий при α -распаде ядра $^{92}\text{U}^{236}$, и имеющий период полураспада $1,4 \cdot 10^{10}$ лет, значительно превышающий период полураспада своего материнского ядра. Следует отметить, что естественная смесь изотопов урана в настоящее время в основном (почти на 100%) представлена изотопом U^{238} (содержание изотопа $^{92}\text{U}^{235}$, представляющего интерес для атомной энергетики, в естественной смеси изотопов урана составляет величину порядка 0,7%, остальное – другие изотопы урана).

Радиоактивное семейство $^{92}\text{U}^{238}$, заканчивающееся стабильным (нерадиоактивным) изотопом свинца $^{82}\text{Pb}^{206}$, представлено на прилагаемой схеме (см. ниже), полученной в результате соответствующих исследований. Атом Rn^{222} , образующийся в последовательности процессов распада изотопов семейства, является атомом инертного газа, весьма слабо взаимодействующего с веществом. За время жизни порядка периода полураспада (3,8 суток) [4] атом Rn^{222} , диффундируя в земной коре из-за слабости взаимодействия с веществом, выходит в атмосферу из слоев близких к поверхности почвы, продолжая распады семейства уже в атмосфере. Аналогичные процессы с атомом Rn^{222} происходят и во всех материалах, добываемых из Земли и содержащих в той или иной степени химический элемент уран (строительные материалы, уголь, нефть, газ, различные руды, артезианская вода и т.п.). Атомы радона, вышедшего в атмосферу, практически полностью проходят сквозь фильтр пылесоса вследствие своей инертности. Атомы следующих за радоном членов радиоактивного семейства могут задерживаться фильтром пылесоса при прокачке через него атмосферного воздуха за счет адсорбции самих атомов, не являющихся инертными, либо они адсорбируются различными пылинками в атмосфере, которые потом задерживаются фильтром. Таким образом, фильтр пылесоса при сравнительно длительной прокачке через него атмосферного

воздуха становится в некоторой степени радиоактивным. Радиоактивность фильтра обусловлена изотопами подсемейства Rn^{222} - Pb^{210} , выделенного на схеме пунктирным прямоугольником. Вклад в эту радиоактивность изотопа Rn^{222} практически отсутствует из-за его ничтожной адсорбции на фильтре и на пылинках атмосферы, а изотопа Pb^{210} (и, соответственно, следующих за ним изотопов конца семейства) крайне мал из-за его большого периода полураспада по сравнению с продолжительностью лабораторной работы. Очевидно, что фактически основная радиоактивность фильтра обусловлена последовательностью распадов изотопов подсемейства, происходящих с подавляющей вероятностью, т.е. изотопами $\text{Po}^{218} \rightarrow \text{Pb}^{214} \rightarrow \text{Bi}^{214} \rightarrow \text{Po}^{214}$ [5].

Для регистрации ядерных излучений в данной лабораторной работе применяется обычный **сцинтилляционный детектор** (см. лаб. раб. № 2), у которого чувствительный к излучению сцинтилляционный кристалл NaJ(Tl) заключен для предохранения от атмосферной влаги и механических повреждений в герметическую оболочку из тонкостенного алюминия (фотоны сцинтилляций выходят из кристалла на фотоумножитель через специальное прозрачное стеклянное окно, вставленное в оболочку). Такой детектор способен регистрировать только γ -излучение с энергией большей 20 – 30 кэВ и сравнительно жесткое (энергии больше нескольких сотен кэВ) β -излучение. α -излучение, даже большой энергии, и мягкое γ и β -излучение практически полностью поглощаются оболочкой кристалла, т.е. не регистрируются. Приведенные схемы распада изотопов подсемейства радона-222 (см. ниже) позволяют легко сделать вывод о том, что применяемый в работе детектор регистрирует только жесткое β -излучение распадов изотопов Pb^{214} и Bi^{214} из основного состояния этих ядер и γ -излучение дочерних ядер этих изотопов, на возбужденные уровни которых и происходят указанные β -распады. Так как время жизни возбужденных γ -уровней ядер весьма мало (порядка единиц – сотен наносекунд), оно практически не влияет на временную характеристику спада радиоактивности фильтра после его прокачки пылесосом, определяемую, в основном, периодами полураспада изотопов Pb^{214} и Bi^{214} . Необходимо отметить, что наличие в фильтре изотопа Po^{218} , являющегося материнским для Pb^{214} , несколько замедляет на начальном участке измерений падение регистрируемой детектором активности фильтра по сравнению с ожидаемой по периодам полураспада изотопов Pb^{214} и Bi^{214} [6]. Влияние изотопа Rn^{222} на ход измеряемой кривой спада активности весьма незначительно из-за его ничтожной концентрации в фильтре, а также из-за большого, по сравнению со временем проведения измерений в лабораторной работе, периода полураспада. Сравнительно большая статистическая погрешность результатов измерений из-за малой активности, набираемой фильтром после пылесоса, т.е. сравнительно небольшого числа импульсов регистрации этой радиоактивности детектором за время экспозиции, вообще делает проблемными выводы о более-менее точном характере измеряемой в лабораторной работе временной зависимости активности фильтра [7].

4. Закон радиоактивного распада и его экспериментальное изучение.

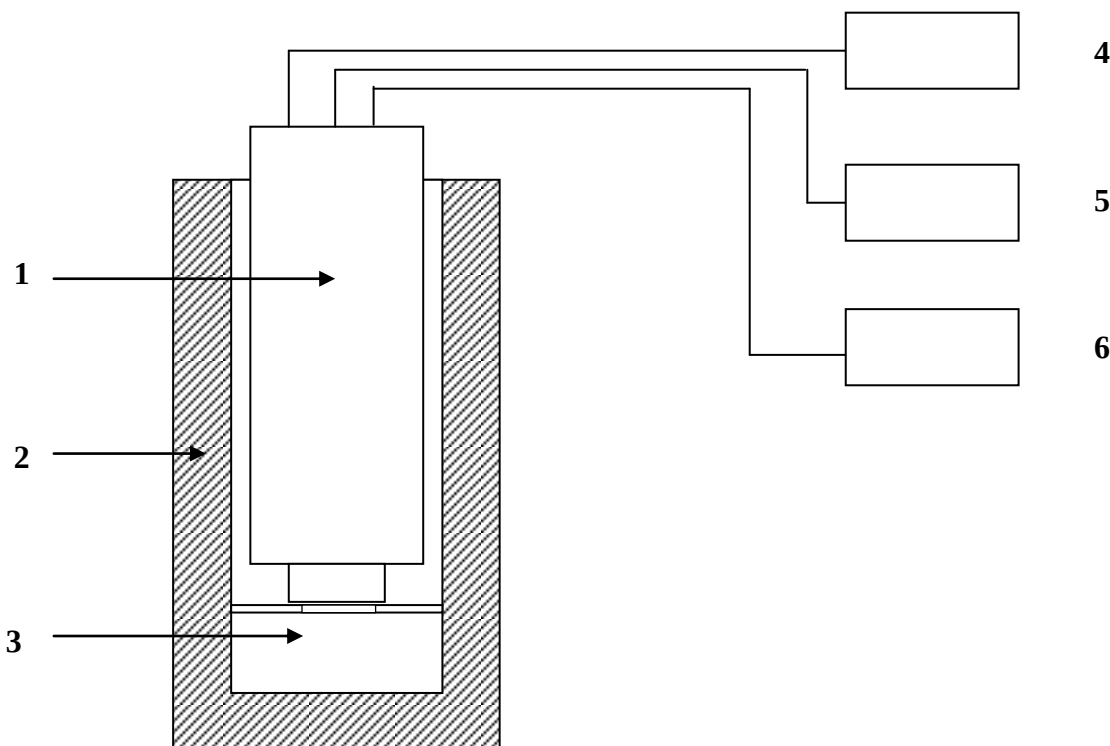
Закон радиоактивного распада, т.е. зависимость от времени t числа N радиоактивных ядер, оставшихся в радиоактивном источнике к этому моменту, если в нулевой момент времени это число равнялось N_0 имеет, как известно, следующий вид: $N = N_0 \cdot \exp(-\ln 2 \cdot t/T)$, где $T = T_{1/2}$ – период полураспада ядер данного изотопа, т.е. время, в течение которого исходное количество радиоактивных ядер уменьшается вдвое. Очевидно, что активность радиоактивного источника, определяемая числом радиоактивных превращений (распадов), происходящих в источнике в единицу времени, пропорциональна числу радиоактивных ядер в источнике, и, следовательно, интенсивности испускаемого источником излучения. Таким образом, регистрируемая пересчетным прибором интенсивность излучения или скорость счета импульсов детектора $I(t) = \Delta N / \Delta t$, т.е. количество импульсов ΔN , регистрируемых за определенное время экспозиции Δt (или в единицу времени), пропорциональна, как уже отмечалось выше, активности источника и имеет такую же временную зависимость. Роль скорости счета, очевидно, может играть просто число N импульсов, регистрируемых за некоторое, определенное для данного эксперимента время экспозиции. По измеренной в предлагаемом эксперименте зависимости $N(t)$ можно оценить примерный период полураспада радиоактивных изотопов, накопленных в фильтре после прокачки его пылесосом.

Реальная зависимость $N(t)$ в данном исследовании представляется, в основном, суммой 3-х экспонент с различными показателями соответственно 3-м различным периодам полураспада изотопов $Po^{218} \rightarrow Pb^{214} \rightarrow Bi^{214}$, которая не может быть математически точно представлена одной экспонентой с каким-то промежуточным периодом полураспада. Однако, через время, равное двум-трем периодам полураспада изотопа Po^{218} , кривая $N(t)$ будет более близка к одной экспоненте (ввиду не очень большого различия в периодах полураспада изотопов Pb^{214} и Bi^{214} – см. схему распада изотопов подсемейства радона), с некоторым промежуточным $T_{1/2}$, порядка 20 – 40 мин. Именно этот результат, с учетом оговоренного приближения и довольно больших случайных ошибок измерений вследствие малой статистики (малых величин N из-за малой активности измеряемого радиоактивного источника), должен быть получен в результате данной лабораторной работы. Очевидно, что в зависимости $N(t)$ важно учитывать только излучение радиоактивности, накопленной в фильтре при прокачке его в пылесосе. Фон «чистого» фильтра, должен быть исключен [8]. Существенное уменьшение погрешности проводимого эксперимента достигается применением свинцового защитного контейнера для детектора и исследуемого радиоактивного источника («свинцовый домик»), который всегда имеет смысл применять при исследовании малых активностей для исключения (при достаточной толщине свинца) влияния внешнего естественного фона, т.е. постоянной составляющей в измеряемой зависимости $N(t)$, необходимость исключения которой была отмечена [9].

Глава 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для наблюдения радиоактивности атмосферного воздуха за счет радионуклидов подсемейства радона-222 и оценки периода полураспада этих изотопов, в лабораторной работе используется соответствующая экспериментальная установка, блок-схема которой приведена на рис.

1. Сцинтилляционный детектор: кристалл сцинтиллятора – NaJ(Tl), фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), электронный усилитель сигналов детектора – см. лаб. раб. №2.
2. Свинцовый защитный контейнер для детектора и исследуемых образцов («свинцовый домик»).
3. Камера для исследуемых на радиоактивность образцов продуваемой пылесосом «пушистой» ткани – фильтра, закрываемая свинцовой пробкой.
4. Высоковольтный блок питания БЛБHV3-09 для питания схемы фотоумножителя детектора.
5. Низковольтный блок питания (набор блоков серии ЕС для питания усилителя сигналов детектора).
6. Пересчетный прибор ПС02-4 для подсчета сигналов детектора.
7. Матерчатый фильтр и пылесос (на блок-схеме не обозначены).



Действие сцинтилляционного детектора (см. лаб. раб. № 2) состоит в следующем. Частицы (кванты) ядерных излучений, вылетевшие из радиоактивного источника и попавшие в кристалл сцинтиллятора, взаимодействуют с электронной структурой кристалла, передавая ей свою энергию. Эта энергия преобразуется при электронных переходах в кристалле в энергию световой вспышки (сцинтилляции). Вспышка света, попадая в фотоэлектронный умножитель, оптически соединенный с кристаллом сцинтиллятора, преобразуется в импульс электрического тока, который после соответствующего усиления сосчитывается пересчетным прибором. Таким образом, регистрация пересчеткой очередного импульса отражает факт регистрации детектором частицы (кванта) ядерных излучений. Очевидно, что число импульсов, зарегистрированных пересчетным прибором за некоторое время экспозиции, пропорционально интенсивности излучения, падающего на детектор, которая, в свою очередь, пропорциональна активности исследуемого радиоактивного объекта.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Измерить уровень природного (естественного) фона данной установки (интенсивность регистрации). Камера «свинцового домика» при этом пустая. Представить таблицу измерений.
2. Измерить уровень излучения «чистого» фильтра (интенсивность регистрации). Представить таблицу измерений. Сравнение с величиной природного фона даст сведения о «чистоте» фильтра.
3. Прокачать атмосферный воздух через фильтр с помощью пылесоса.
4. Измерить зависимость от времени интенсивности регистрации излучения от «грязного» фильтра после прокачки. Представить таблицу измерений и соответствующий график.
5. Вычислить оценочную величину периода полураспада радиоактивных изотопов «грязного» фильтра и сравнить с соответствующими периодами полураспада изотопов, приведенных на схеме распада изотопов подсемейства радона (схема приведена ниже).

Глава 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1). Проверить включение, а при необходимости подключить к сети 220 В лаборатории кабели питания приборов установки.

Оформление лабораторной работы должно соответствовать требованиям пункта 1 «Введения в физпрактикум».

2). Включить блок низковольтного питания серии ЕС, а затем высоковольтный блок БЛБHV3-09, установив рекомендуемое для применяемого детектора напряжение питания 1600 В (ручка «плавно» регулировки напряжения блока должна быть при этом введена до упора по часовой стрелке).

3). Порядок работы с пересчетным прибором ПС02-4 (упрощенное название: пересчетка). Прибор способен подсчитывать электрические импульсы любой полярности с амплитудой, превышающей порог срабатывания прибора. Время набора импульсов (время экспозиции) задается по выбору экспериментатора в самом приборе.

Включить прибор нажатием на красную кнопку «Сеть» (прибор выключается при отжатой кнопке, что достигается повторным нажатием на нее). Должна загореться линейка световой индикации. Система индикаторов арабских цифр осуществляет десятичную запись числа зарегистрированных импульсов (справа налево: единицы, десятки, сотни и т.д.). Прибор практически сразу же после включения готов к работе. Установить все кнопки верхнего ряда **кроме левой кнопки**, определяющей полярность сигнала в отжатое состояние. **(При отжатой кнопке прибор работает в соответствии с подписью над кнопкой, при нажатой кнопке – в соответствии с подписью под ней).** В указанном варианте прибор будет работать с импульсами положительной полярности, соответственно положительной полярности сигналов применяемого сцинтилляционного детектора после его усилителя, т.е. полярности сигналов на входе пересчетки, в автоматическом непрерывном режиме, при котором команды «Стоп», «Сброс» и «Пуск» будут вырабатываться автоматически внутри прибора под действием соответствующего генератора, а не

нажатием этих клавиш. Методика эксперимента в данной лабораторной работе позволяет использовать такой наименее трудоемкий для оператора порядок измерений. При желании, оператор, при нажатой кнопке “Однократный вывод”, управляет работой пересчетки вручную, нажатием клавиш “Сброс” и “Пуск”, если время экспозиции установлено нажатием какой-то из кнопок времени экспозиции (сигнал «Стоп» при этом вырабатывается автоматически). При всех отжатых кнопках времени экспозиции оператор управляет работой пересчетки нажатием клавиш “Сброс”, “Пуск”, “Стоп”, пользуясь внешним секундомером.

Нажать кнопку «N» прибора. В режиме нажатой кнопки «N» пересчетный прибор регистрирует число N импульсов, поступивших на вход пересчетки от внешнего источника сигналов за определенное время, установленное нажатием соответствующей кнопки времени экспозиции (от 0,1 до 1000 сек.). В режиме «T» (в данной работе этот режим не используется) прибор определяет время набора заданного количества импульсов.

Проверка правильности работы пересчетного прибора осуществляется при нажатой кнопке «Проверка». В этом случае на вход пересчетки поступают сигналы от внутреннего генератора с частотой 10 кГц. В режиме «Проверка» реальное время экспозиции меньше указанного над соответствующей кнопкой в 100 раз. При подсчете внешних сигналов (в данной работе импульсов сцинтилляционного датчика), когда кнопка «Проверка» отжата, время экспозиции соответствует гравировке – можно сравнить с секундомером наручных часов. Нажмите кнопку экспозиции, например, «100», а затем нажмите кнопку «Проверка». Пересчетка будет периодически производить набор импульсов генератора проверки в течение 1 сек. (при правильной работе пересчетки должно набираться ровно 10000 импульсов). Во время набора импульсов горит лампочка «Счет» в левом нижнем углу панели прибора. Время, в течение которого на индикаторе «горит» число набранных при очередной экспозиции импульсов, регулируется колесиком «Время индикации», и должно позволять оператору зарегистрировать результат измерений при сравнительно малом времени ожидания начала следующего измерения. Произвести проверку пересчетного прибора при нескольких различных временах экспозиции, а затем отжать кнопку “Проверка”, вернувшись в режим счёта внешних сигналов детектора.

4). Наблюдать подсчет пересчеткой импульсов от регистрации детектором частиц и квантов естественного фона внутри защитного контейнера, удалив из камеры под детектором исследуемый фильтр. **При всех измерениях на установке свинцовая пробка, закрывающая камеру, должна быть вставлена на место,** чтобы детектор был максимально защищен от внешнего излучения естественного фона, регистрируя только излучение исследуемого на радиоактивность объекта. Пронаблюдать значительное увеличение интенсивности регистрации импульсов естественного фона детектором при удалении его из свинцового домика (**проводить под руководством преподавателя, не уронив детектор и предварительно проверив наличие заземления,** т.к. на детектор подано питающее напряжение). Это наблюдение позволяет понять необходимость защитного контейнера при исследовании сравнительно малых активностей, так как наблюдать небольшое увеличение случайной величины на уровне ее низкого значения значительно достовернее, чем на уровне ее высокого значения [10].

5). Выполнить п. 1 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Измерить уровень природного (естественного) фона данной установки (интенсивность регистрации). Камера «свинцового домика» при этом пустая. Представить таблицу измерений.

Измерения проводить с временем экспозиции 100 с (**во всех дальнейших измерениях пользоваться этим временем экспозиции**), получив среднее по 5-ти измерениям. Время экспозиции отдельного измерения и количество измерений, по которым проводится усреднение, определяют точность результата измерений. Для случайной величины с пуассоновским распределением (см. лаб. раб. № 4), относительная погрешность δ величины $N_{\text{ср}}$ определяется выражением $\delta = (n \cdot N_{\text{ср}})^{-1/2}$, где n – количество измерений, по которым проводится усреднение. Указанное выше время экспозиции, определяющее величину $N_{\text{ср}}$, и количество усредняемых измерений выбраны на основе опыта такими, чтобы результаты лабораторной работы при

заданном общем времени ее проведения хотя бы приблизительно подтверждали рассматриваемые в работе явления и их закономерности.

6). Выполнить п. 2 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Измерить уровень излучения «чистого» фильтра (интенсивность регистрации). Представить таблицу измерений. Сравнение с величиной природного фона даст сведения о «чистоте» фильтра.

Измерить уровень радиации от «чистого» фильтра до его прокачки пылесосом, получив среднее по 5-и измерениям с указанным выше временем экспозиции. Очевидно, что результат этого пункта работы в пределах ошибки должен совпадать с результатом предыдущего пункта, так как любой нерадиоактивный объект не изменяет уровня естественного фона. После выполнения этой работы предшествующей группой должно было пройти достаточно большое время для распада основной массы радиоактивных изотопов подсемейства радона, накопленных в фильтре.

7). Выполнить п. 3 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Прокачать атмосферный воздух через фильтр с помощью пылесоса.

Поставить фильтр на прокачку в пылесос на время не менее, чем на 30 мин (уточнить у преподавателя), **приборы установки при этом не выключаются до конца лабораторной работы.** Ящик с пылесосом желательно выкатить в коридор, чтобы при закрытой двери лаборатории шум пылесоса не мешал работе. **Проследить, чтобы при закрытии двери не передавило сетевой шнур пылесоса** – возможно короткое замыкание проводов шнура.

8). Выполнить п. 4 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Измерить зависимость от времени интенсивности регистрации излучения от «грязного» фильтра после прокачки. Представить таблицу измерений и соответствующий график.

Измерить зависимость $N(t)$ для фильтра после прокачки его пылесосом, сделав на установке 20 – 25 измерений подряд с указанным выше временем экспозиции. Измерения проводить в автоматическом непрерывном режиме работы пересчетки при сравнительно небольшом интервале времени между измерениями (отрегулировать колесиком «Время индикации»), т.к. продолжительностью этого интервала в зависимости $N(t)$ пренебрегают.

Примечание.

При проведении линии графика усреднение экспериментальных данных, имеющих статистический разброс из-за вероятностного характера исследуемых процессов, провести «на глаз». При нормальной работе лабораторной установки и отсутствии ошибок эксперимента, получаемый график должен соответствовать графику, приведенному (или описанному словесно) в теоретическом введении в лабораторную работу или во «Введении в физпрактикум». Линия графика должна плавно проходить между экспериментальными точками так, чтобы минимизировать суммарное отклонение этих точек от проводимого графика (метод наименьших квадратов или метод максимума правдоподобия при математической обработке результатов эксперимента).

9). Повторить измерения пункта 5 порядка проведения работы для проверки стабильности работы установки. В пределах ошибки измерений результат уровня естественного фона не должен измениться. При значительном различии результатов необходима консультация преподавателя.

10). Выполнить п. 5 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.

Вычислить оценочную величину периода полураспада радиоактивных изотопов «грязного» фильтра и сравнить с соответствующими периодами полураспада изотопов, приведенных на схеме распада изотопов подсемейства радона (схема приведена ниже).

Построить зависимость $N(t)$, а лучше зависимость $\ln N(t)$ и, усреднив результаты «на глаз» соответственно экспоненциальной кривой либо прямой линией (что проще), определить, используя закон радиоактивного распада, примерное значение периода полураспада $T_{1/2}$. **При**

построении графика и вычислениях учесть результаты измерений пункта 6 порядка проведения работы по «чистому» фильтру. Отметим, что усреднение «на глаз» прямой линией можно произвести точнее, чем кривой, и именно поэтому логарифмическая зависимость при ручной обработке данных в данном случае предпочтительней.

Обработка данных, конечно, может быть произведена и с помощью компьютера, с использованием соответствующих математических методов (например, метода наименьших квадратов).

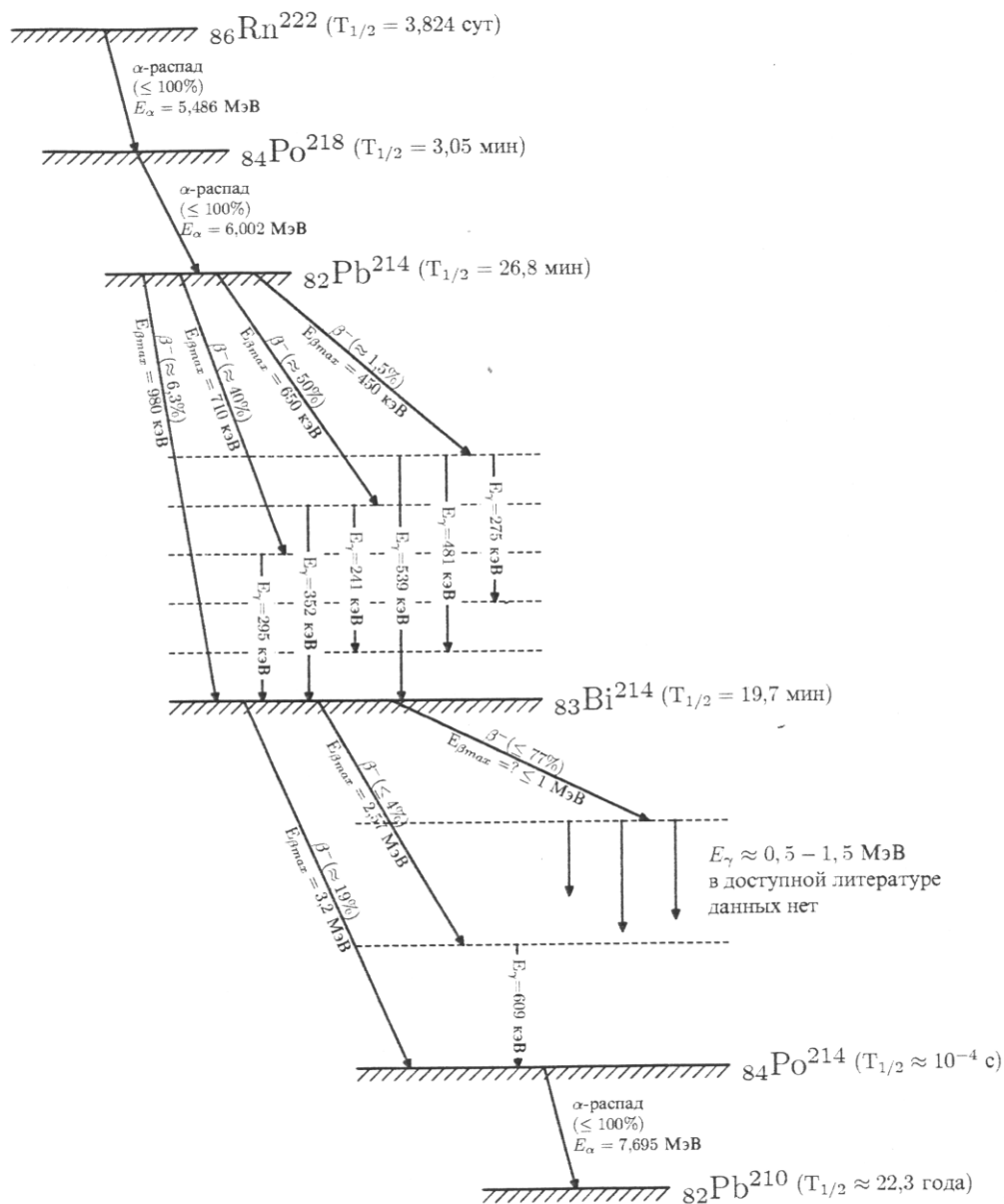
11). Выключить тумблеры «Сеть» приборов лабораторной работы, привести в порядок рабочее место.

12). Оформить лабораторную работу и отчитаться по ней перед преподавателем.

СХЕМЫ РАСПАДА ЯДЕР РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

ПОДСЕМЕЙСТВА ${}^{222}_{86}\text{Rn}$

показаны основные, наиболее вероятные каналы распадов,
в скобках указана вероятность распада по данному каналу,
приведены энергии α и β -частиц и γ -квантов



Проведение наилучшей прямой аналитическим методом

Пусть при значениях x_i одной физической величины получены значения y_i для другой физической величины ($i = 1, 2, \dots, n$). Наилучшая прямая $y = a + bx$ определяется по правилу «наименьших квадратов», т. е. параметрам a и b приписываются такие значения, при которых величина

$$W = \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (1)$$

имеет минимум. При этом получаются следующие формулы для нахождения наилучших значений a и b по измеренным значениям x_i, y_i ($i = 1, 2, \dots, n$):

$$b = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{D(x)}, \quad a = \langle y \rangle - b \langle x \rangle, \quad (2)$$

где

$$\langle x \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \langle y \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \langle xy \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad (3)$$

$$\langle x^2 \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2, \quad D(x) = \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2. \quad (4)$$

При расчетах следует помнить, что в числителе первой формулы (2) обычно вычитаются близкие по величине члены, что вызывает необходимость удерживать при вычислениях много значащих цифр.

Формулы для оценки погрешностей параметров a и b :

$$\Delta b = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{D(y)}{D(x)} - b^2}, \quad \Delta a = \Delta b \sqrt{D(x)}. \quad (5)$$

Входящая в формулы (5) дисперсия $D(x)$ вычисляется по формуле (4). Аналогичным образом вычисляется и $D(y)$.