

Министерство образования и науки Украины
Восточноукраинский национальный университет им.В.Даля

Факультет естественных наук
Кафедра «Прикладная физика»

Выпускная работа на степень бакалавра
Специальности 6.040204 «Прикладная физика»

СПЕКТРОМЕТР АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГАЗОРАЗРЯДНОГО ДЕТЕКТОРА

Студент группы ПН-241 _____ Креденцер Сергей Викторович
Научный руководитель _____ Кудленко Василий Григорьевич
к. ф.-м. н., доцент

Работа принята к защите

Заведующий кафедрой _____ Бранспиз Юрий Адольфович
д. т. н., профессор

Луганск 2008

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на ступінь бакалавра:

49 с., 22 рис., 7 табл.

Виконано складання високовольтного перетворювача й конструкції альфа спектрометра. Розглянуто метод виявлення енергії альфа часток коронним торцевим газорозрядним лічильником СІ9А.

Експериментально в процесі досліджень виявлений у повітрі підвального приміщення радон і продукти його розпаду. Доведено, що альфа спектрометр працює в пропорційній області.

РАДОН, АЛЬФА ЧАСТКИ, СПЕКТРОМЕТР, ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ФІЛЬТР, СПЕКТР.

Квалификационная работа на степень бакалавра:

49 с., 22 рис., 7 табл.

Выполнена сборка высоковольтного преобразователя и конструкции альфа спектрометра. Рассмотрен метод обнаружения энергии альфа частиц коронным торцевым газоразрядным счетчиком СИ9А.

Экспериментально в процессе исследований обнаружен в воздухе подвального помещения радон и продукты его распада. Доказано, что альфа спектрометр работает в пропорциональной области.

РАДОН, АЛЬФА ЧАСТИЦЫ, СПЕКТРОМЕТР, ВИСОКОВОЛЬТНИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ, ФИЛЬТР, СПЕКТР.

Qualifying work on a degree of the bachelor:

49 pp., 22 fig., 7 tablas.

Assembling of high-voltage transformer and constructions is executed alpha of spectrometer. The method of finding out energy is considered alpha of particles by the corona butt-end gas-unloading meter of Si9a.

Experimentally in the process of researches discovered in mid air basement apartment radon and products of his disintegration. It is well-proven that alpha a spectrometer works in a proportional area.

RADON, ALPHA of PARTICLE, SPECTROMETER, HIGH-VOLTAGE TRANSFORMER, FILTER, SPECTRUM.

СОДЕРЖАНИЕ

ВСТУПЛЕНИЕ	5
1. РАДОН И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА	7
1.1. Характеристика распада радона.....	7
1.2. Источники радона в окружающей среде.....	10
1.3. Воздействие излучения радона на человека.....	18
2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ	22
2.1. Метод с использованием газоразрядных детекторов.....	22
2.2. Метод с использованием сцинтилляционных детекторов.....	25
2.3. Другие методы.....	27
3. СПЕКТРОМЕТР АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ	29
3.1. Блок-схема установки.....	29
3.2. Высоковольтный преобразователь.....	33
3.3. Экспериментальные результаты и их обсуждение.....	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	

ВСТУПЛЕНИЕ

Актуальность работы. В цивилизованном обществе уже пришло сознание, что радоновая опасность является крупной и непростой комплексной проблемой, так как радиоэкологические процессы, вызываемые радоном, происходят на трех структурных уровнях материи: ядерном, атомно-молекулярном и макроскопическом. Поэтому решение ее подразделяется на задачи диагностики и технологии последующей нейтрализации воздействия радона на человека и биологические объекты. Согласно расчетам Британского бюро защиты от радиации, в Великобритании ежегодно погибают 2500 человек от рака легких, вызванного радиоактивным газом радоном. По данным Агентства окружающей среды, в США ежегодно около 20 тыс. онкологических заболеваний инициируется радоном и продуктами его распада. Также остра проблема радиологического воздействия радона на население в Швейцарии, Швеции, России, Украины (урановые местоположения), Финляндии и Австрии. Подсчет вклада радона в формирование средней дозы облучения человека в процессе его жизни дает неожиданные результаты. Общий вклад естественного облучения в дозовую нагрузку составляет около 72%. При этом радона оценивается в 54% от естественного облучения. Этот факт вызвал громадный интерес к радоновой проблеме практически во всех развитых странах, поскольку более половины годовой дозы от всех природных источников излучения человек получает через воздух, облучая радоном свои легкие во время дыхания. Так, в США, на преодоление радоновой опасности (постоянный мониторинг жилых помещений и территорий с помощью современных радиометров, дозиметров, спектрометров) ежегодно выделяется около 1 млрд. долларов.

Цель работы предполагает построить конструкцию спектрометра альфа излучения на основе газоразрядного детектора СИ9А и обнаружение радона в воздухе.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- произвести общее ознакомление со спектрометрией альфа излучения и методами регистрации радона в воздухе;
- сконструировать высоковольтный преобразователь и альфа-детектор на основе газоразрядного счетчика СИ9А;
- разработать методику проведения исследований;
- произвести анализ полученных экспериментальных результатов.

Объект наблюдения – альфа излучение радона и дочерних ядер его распада.

Метод наблюдения – экспериментальное обнаружение альфа излучения радона и продуктов его распада с помощью торцевого газоразрядного счетчика СИ9А, работающего в пропорциональной области.

Научная новизна полученных результатов состоит в том, что впервые доведена возможность исследовать энергии альфа излучения радона и дочерних ядер его распада в пропорциональной области торцевого газоразрядного счетчика СИ9А.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что данный альфа спектрометр можно применять для обнаружения энергий и радиоактивных изотопов.

Личный вклад студента состоит в участии конструирования действующего альфа спектрометра, разработки методики проведения исследований, а также в получении и обработке экспериментальных данных.

1. РАДОН И ЕГО ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ЧЕЛОВЕКА

1.1. Характеристика распада радона

Земная кора с самого начального момента своего образования содержит естественные радиоактивные элементы (ЕРЭ), создающие естественный радиационный фон. В горных породах, почве, атмосфере, водах, растениях и тканях живых организмов присутствуют радиоактивные изотопы калия-40, рубидия-87 и члены трех радиоактивных семейств, берущих начало от урана-238, урана-235 и тория-232. Эти материнские нуклиды стары как сама Земля – около 4,5 млрд. лет. Они сохранились только потому, что периоды полураспада основателей радиоактивных семейств очень велики и составляют для урана-238 $4,5 \times 10^9$ лет, урана-235 $0,7 \times 10^9$, тория 14×10^9 лет.

Члены радиоактивных семейств жестко связаны между собой. Каждое звено радиоактивного ряда образуется со скоростью, определяемой периодом полураспада предыдущего нуклида, а распадается в соответствии с собственным периодом полураспада. Таким образом, через некоторое время в цепочках распада устанавливается равновесие, то есть, сколько дочерних элементов распадается, столько же и рождается в соответствии с периодами полураспада материнских нуклидов. После длинной цепи преобразований образуются, в конце концов, стабильные изотопы свинца (рис. 1).

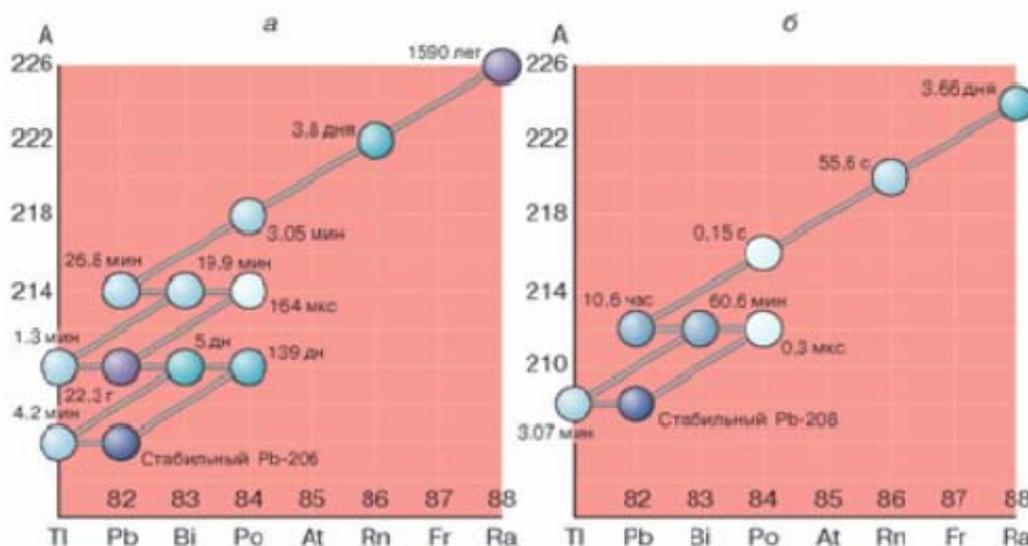


Рис.1. Схемы распада от радия до свинца для уранового (а) и ториевого (б) семейств естественных радионуклидов. Интенсивность цвета определяет период полураспада нуклида

Единственным газообразным продуктом, который рождается в процессе распада трех семейств ЕРЭ, является радон. Наибольший вклад в газовую составляющую ЕРЭ вносят радиоактивные семейства урана-238 и тория-232, в процессе распада которых образуются радиоактивные изотопы радона (рис.1).

Свойства радона

Радон Rn (исторически: эманация Em, нитон Nt) – элемент № 86 нулевой группы периодической системы Менделеева, газ без цвета и запаха из одноатомных молекул, радиоактивен; химически почти нейтрален (благородный газ), в 7,5 раза тяжелее воздуха. Известны три природных α -активных изотопа радона, принадлежащих к радиоактивным семействам урана, тория и актиния – радон, торон и актинон (^{222}Rn , ^{220}Rn и ^{219}Rn) с периодами полураспада соответственно около 3,8 сут, 55 с и 3,9 с. Из них лишь первые два имеют гигиеническое значение и представляют основной интерес с точки зрения радиационной безопасности (РБ).

Из 1 г радия образуется 1мм^3 радона ^{222}Rn в сутки. По данным НКДАР при ООН, радон вместе со всеми ДПР ответственен примерно за 3/4 годовой индивидуальной ЭД облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно за половину этой дозы от всех естественных источников радиации.

Радон-219 (актинон) может оказывать воздействие лишь в специфических случаях, связанных с загрязнением помещения продуктами пере работки уранового сырья, содержащими селективно экстрагированные радионуклиды актиноуранового ряда ^{227}Ac и ^{231}Ra .

Физические свойства радона отражены в табл. 1.

Точка кипения	-62°C
Точка плавления	-71°C
Плотность при нормальных условиях	9,7 кг·м ⁻³
Растворимость в воде при 0°C, объемная	0,5
Растворимость в крови, объемная	~ 0,4
Содержание в атмосфере	~7·10 ⁻¹⁷

Таблица 1. Свойства радона ^{222}Rn

Основные свойства радиоактивного распада радона и торона, существенные для радиационной защиты, приведены в таб.1.

Радон-222 встречается в природе в 20 раз чаще, чем радон-220, а содержание в природе актинона и вовсе ничтожное, так как соотношение урана-238 и урана-235 в месторождениях равно 0,00725. Поэтому, говоря о радоне, подразумевают, прежде всего, радон-222. Ядра радона-222 при радиоактивном распаде излучают альфа-частицы, превращаясь в ядра полония-218, при альфа распаде которых получается свинец-214. При бета-распаде этого радионуклида образуется висмут-214, который, в свою очередь, превращается в полоний-214, испуская бета-частицу. При альфа распаде последнего возникает относительно долгоживущий свинец-210 (с периодом полураспада 22,3 года) и далее – стабильный изотоп свинца-206 в качестве конечного продукта.

Радон и торон присутствуют, как и его материнские нуклиды, во всех строительных материалах и горных породах. Образующийся в процессе распада инертный газ тотчас же диффундирует через капилляры грунта, микротрещины горных пород, захватывается потоками других газов и, несмотря на ограниченное время жизни, может транспортироваться на значительные расстояния в земной коре и земной атмосфере. Причем естественная убыль этих газов за счет выделения из материалов (процессы эманации – выделения из кристаллической решетки и эксхалации – испарение или выделение с поверхности) и естественного распада постоянно компенсируется за счет распада радия и тория, присутствующих в данном материале.

1.2. Источники радона в окружающей среде

Радон попадает в атмосферу помещений различными путями: а) проникает из недр Земли; б) выделяется из строительных материалов (цемент, щебень, кирпич), из которых построено здание; в) привносится с водопроводной водой, бытовым газом и другими продуктами жизнеобеспечения (рис. 2).

Радон высвобождается из земной коры повсеместно, но его концентрация в наружном воздухе существенно различается для разных точек земного шара. Радон концентрируется в воздухе внутри помещений лишь тогда, когда они в достаточной мере изолированы от внешней среды (рис. 4.). Поступая внутрь помещения тем или иным путем (просачиваясь через фундамент и пол из грунта или, реже, высвобождаясь из материалов, использованных в конструкции дома), радон накапливается в нем. В результате в помещении могут возникать довольно высокие уровни радиации, особенно если дом стоит на грунте с относительно повышенным содержанием радионуклидов или если при его постройке использовали материалы с повышенной радиоактивностью, герметизация помещений с целью утепления только усугубляет дело, поскольку при этом еще более затрудняется выход радиоактивного газа из помещения.

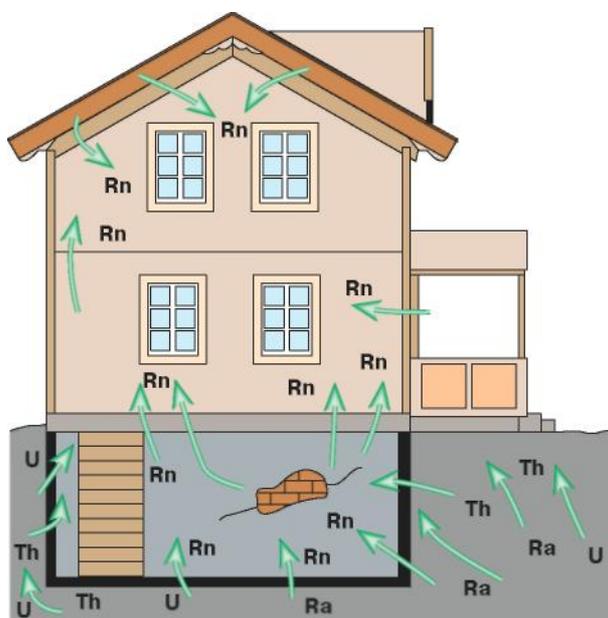
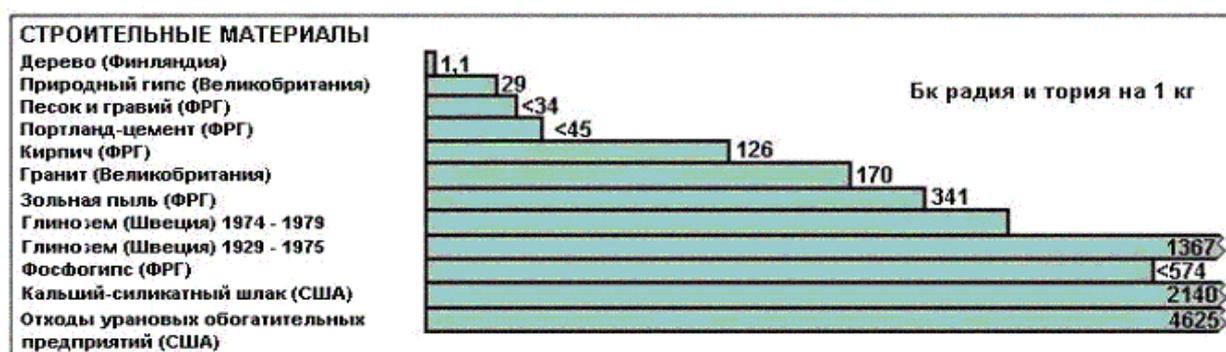


Рис. 2. Основные пути попадания радона в здание: из грунта по трещинам и щелям, из стен и строительных конструкций

Очень высокие концентрации радона регистрируют последнее время все чаще. Так, в последнее время, строения, внутри которых концентрация радона в 5000 раз превышала среднюю его концентрацию в наружном воздухе, были обнаружены в

Швеции и Финляндии. Строения с уровнями радиации, в 500 раз превышающими типичные значения в наружном воздухе, были выявлены и в Великобритании, и США. Кроме того, были обнаружены жилища с концентрацией радона, примерно равной его максимальной концентрации в жилых домах в скандинавских странах. При дальнейших обследованиях такого рода выявляется все больше домов с очень высокой концентрацией радона и других странах, в том числе и в России.

Самые распространенные строительные материалы – дерево, кирпич и бетон – выделяют относительно немного радона (рис.3). Гораздо большей удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, используемые в качестве строительных материалов, например, в России и Западной Германии. А некоторые материалы преподнесли строителям, ученым и, конечно же, жителям домов, построенных из этих материалов, неприятные сюрпризы, оказавшись особенно радиоактивными.



Средняя удельная радиоактивность строительных материалов, применявшихся в разных странах

Рис. 3. Средняя удельная радиоактивность строительных материалов

В течение нескольких десятков лет, например, глиноземы, использовались в Швеции при производстве бетона, с применением которого было построено 350-700 тысяч домов. Затем неожиданно обнаружили, что глиноземы очень радиоактивны. В середине 80-х годов их применение было резко сокращено, а затем они вовсе перестали использоваться в строительстве. Кальций силикатный шлак – побочный продукт, получаемый при переработке фосфорных руд и обладающий, как выяснилось, довольно высокой удельной радиоактивностью, – применялся в качестве компонента бетона и других строительных материалов во многих странах. Еще один побочный продукт, образующийся при другой технологии переработки фосфорных руд, – широко применялся при изготовлении строительных блоков, сухой штукатурки, перегородок и цемента.

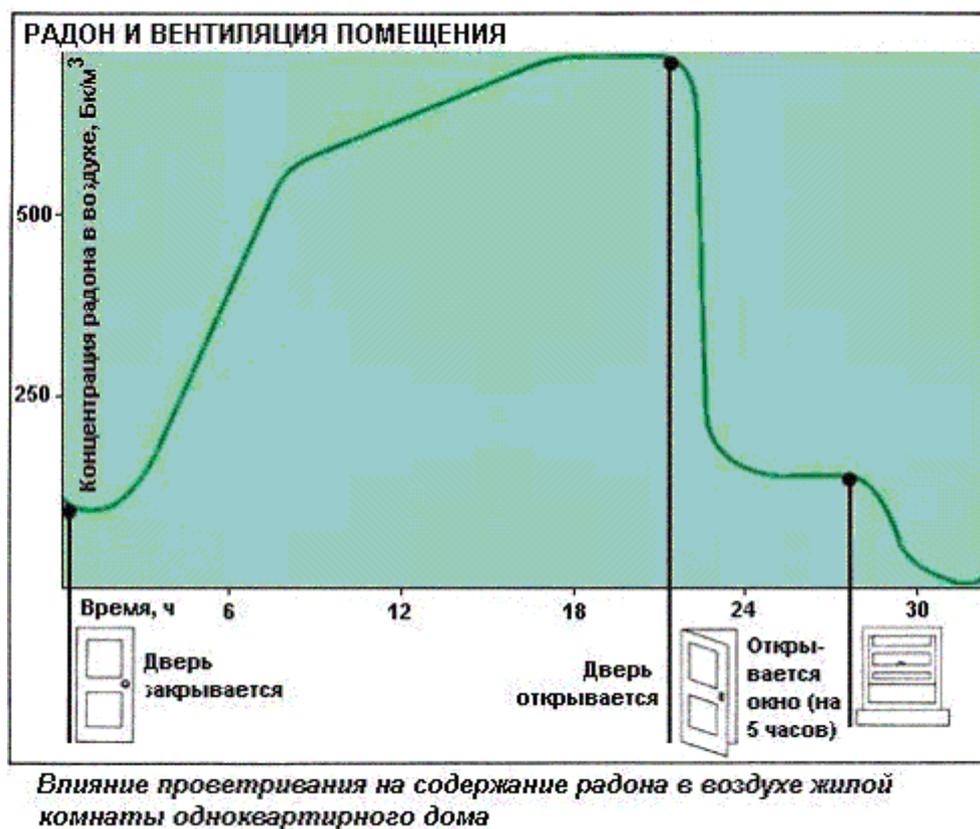


Рис. 4. Влияние проветривания на содержание радона в воздухе жилой комнаты одноквартирного дома

Он дешевле природного гипса, и его применение приветствовалось защитниками окружающей среды, поскольку фосфогипс относится к разряду промышленных отходов и, таким образом, его использование помогает сохранить природные ресурсы и уменьшить загрязнение окружающей среды. В одной только Японии в 1974 году строительная промышленность израсходовала 3 млн. тонн этого материала. Однако фосфогипс обладает гораздо большей удельной радиоактивностью, чем природный гипс, который он был призван заменить, и, по-видимому, люди, живущие в домах, построенных с его применением, подвергаются облучению, на 30% более интенсивному, чем жильцы других домов. Согласно полученным оценкам, ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения в результате применения этого материала составляет ~ 300000 чел-Зв.

Среди других промышленных отходов с высокой радиоактивностью, применявшихся в строительстве, следует назвать кирпич из красной глины-отхода производства алюминия, доменный шлак – отход черной металлургии и зольную пыль, образующуюся при сжигании угля.

Известны случаи применения в строительстве даже отходов урановых рудников. В 1952-1966 годах пустая порода из отвалов обогатительных фабрик, производящих урановый концентрат, применялась в качестве строительного материала и для

засыпки строительных площадок под дома. Иногда для строительных целей использовали отходы, остающиеся после извлечения радия из руды. В обоих случаях пришлось вмешаться правительству и привлечь виновных к судебной ответственности за ущерб, причиненный здоровью людей, которые подверглись ничем не оправданному облучению.

Конечно, радиационный контроль строительных материалов заслуживает самого пристального внимания, однако главный источник радона в закрытых помещениях – это грунт. В некоторых случаях дома возводились прямо на старых отвалах горнодобывающих предприятий, содержащих радиоактивные материалы. Так, в некоторых странах дома оказались построенными на отходах урановых рудников, или ходах переработки глинозема, на отходах, оставшихся после извлечения радия, на регенерированной после добычи фосфатов территории. Но даже и в менее экзотических случаях просачивающийся сквозь пол радон представляет собой главный источник радиоактивного облучения населения в закрытых помещениях.

В Хельсинки максимальные концентрации радона, более чем в 5000 раз превосходящие его среднюю концентрацию в наружном воздухе, были обнаружены в домах, где единственным сколько-нибудь значительным его источником мог быть лишь грунт. Даже в Швеции, где при строительстве домов использовали глиноземистые цементы, главной причиной радиации, как показали недавние исследования, является эмиссия радона из земли.

Концентрация радона в верхних этажах многоэтажных домов, как правило, ниже, чем на первом этаже. Исследования, проведенные в Норвегии, показали, что концентрация радона в деревянных домах даже выше, чем в кирпичных, хотя дерево выделяет совершенно ничтожное количество радона по сравнению с другими материалами. Это объясняется тем, что деревянные дома, как правило, имеют меньше этажей, чем кирпичные, и, следовательно, комнаты, в которых проводились измерения, находились ближе к земле-основному источнику радона.

Скорость проникновения исходящего из земли радона в помещения фактически определяется толщиной и целостностью (т.е. количеством трещин и микротрещин) межэтажных перекрытий. Этот вывод подтвердился при инспекции домов, построенных на регенерированных после добычи фосфатов землях, а иногда, например, в домах, стоящих прямо на земле, с земляными подвалами, были зарегистрированы концентрации радона, в 100 раз превышающие его средний уровень в наружном воздухе, хотя удельная радиоактивность грунта была самая обычная.

Из всего сказанного следует, что после заделки щелей в полу и стенах какого-либо помещения концентрация радона там должна уменьшиться. Исследования в этом направлении продолжаются, но некоторые обнадеживающие результаты уже получены. Особенно эффективное средство уменьшения количества радона, просачивающегося через щели в полу, вентиляционные установки в подвалах. Кроме того, эмиссия радона из стен уменьшается в 10 раз при облицовке стен пластиковыми материалами типа полиамида, поливинилхлорида, полиэтилена или после покрытия стен слоем краски на эпоксидной основе или тремя слоями масляной краски. Даже при оклейке стен обоями скорость эмиссии радона уменьшается примерно на 30%.

Еще один, как правило, менее важный, источник поступления радона в жилые помещения представляют собой вода и природный газ (рис. 5). Концентрация радона в обычно используемой воде чрезвычайно мала, но вода из некоторых источников, особенно из глубоких колодцев или артезианских скважин, содержит много радона. Такое высокое содержание радона было обнаружено, например, в воде артезианских колодцев в Финляндии и США, в том числе в системе водоснабжения Хельсинки; и примерно в той же концентрации в воде, поступающей в город Хот-Спрингс (шт. Арканзас). Наибольшая зарегистрированная удельная радиоактивность воды в системах водоснабжения составляет 100 млн. Бк/м³, наименьшая равна нулю. По оценкам НКДАР ООН, среди всего населения Земли менее 1% жителей потребляет воду с удельной радиоактивностью более 1 млн. Бк/м³ и менее 10% пьют воду с концентрацией радона, превышающей 100000 Бк/м³.

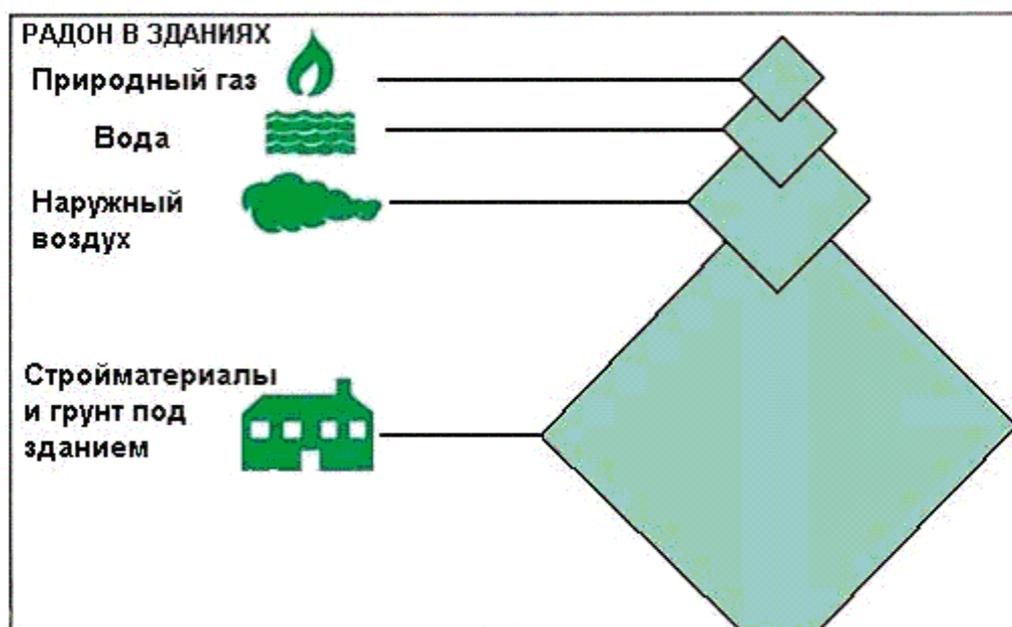
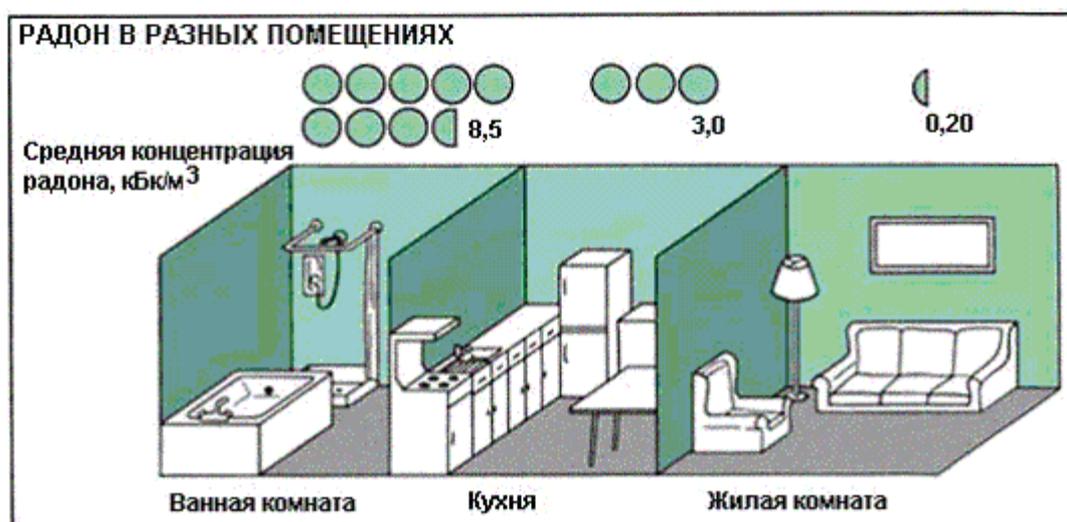


Рис. 5. Радон в зданиях

Однако основная опасность, как это ни удивительно, исходит вовсе не от питья воды, даже при высоком содержании в ней радона. Обычно люди потребляют большую часть воды в составе пищи и в виде горячих напитков (кофе, чай). При кипячении же воды или приготовлении горячих блюд радон в значительной степени улетучивается и поэтому поступает в организм в основном с некипяченой водой. Но даже и в этом случае радон очень быстро выводится из организма.

Гораздо большую опасность представляет попадание паров воды с высоким содержанием радона в легкие вместе с вдыхаемым воздухом, что чаще всего происходит в ванной комнате. При обследовании домов оказалось, что в среднем концентрация радона в ванной комнате примерно в три раза выше, чем на кухне, и приблизительно в 40 раз выше, чем в жилых комнатах (рис. 6). А исследования, проведенные в Канаде, показали, что все семь минут, в течение которых был включен теплый душ, концентрация радона и его дочерних продуктов в ванной комнате быстро возрастала, и прошло более полутора часов с момента отключения душа, прежде чем содержание радона вновь упало до исходного уровня.



Средние значения радиоактивности воздуха, обусловленной растворенным в воде радоном, в различных помещениях (по результатам обследования 20 домов в Финляндии)

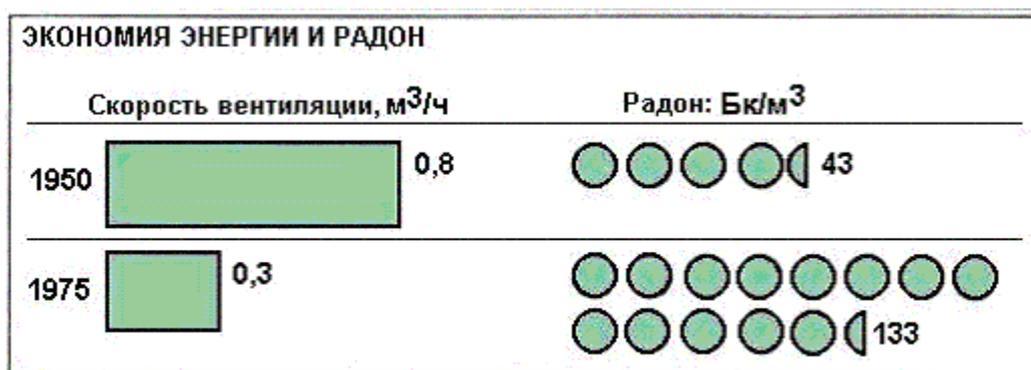
Рис. 6. Средние значения радиоактивности воздуха в различных помещениях

Радон проникает также в природный газ под землей. В результате предварительной переработки и в процессе хранения газа перед поступлением его к потребителю большая часть радона улетучивается, но концентрация радона в помещении может заметно возрасти, если кухонные плиты, отопительные и другие нагревательные устройства, в которых сжигается газ, не снабжены вытяжкой. При наличии же вытяжки, которая сообщается с наружным воздухом, пользование газом практически не влияет на концентрацию радона в помещении.

Много радона, улетучившегося из природного газа в процессе предварительной переработки, попадает в сжиженный газ – побочный продукт этой обработки. Но в целом за счет природного газа в дома поступает значительно больше радиоактивного материала (в 10-100 раз), чем от более радиоактивного сжиженного газа, поскольку потребление природного газа гораздо выше.

К значительному повышению концентрации радона внутри помещений могут привести меры, направленные на экономию энергии. При герметизации помещений и отсутствии проветривания скорость вентилирования помещения уменьшается. Это позволяет сохранить тепло, но приводит к увеличению содержания радона в воздухе. [Results of radon-measurements in buildings and recommended action in the Federal Republic of Germany // High Levels of Natural Radiation. – Vienna: IAEA, 1993. P. 353– 363.]

Особенно это касается тех домов, где они герметизируются особенно тщательно. Долгие годы считалось, что не существует проблем, связанных с чрезмерным содержанием радона внутри домов, несмотря на присутствие глинозема в составе строительных материалов. Проведенные обследования, показали, что для беспокойств такого рода нет достаточных оснований при существовавших в то время скоростях вентилирования помещений. Однако, с проведением кампаний за экономию энергии, скорости вентилирования помещений в домах постоянно уменьшались, и как следствие этого концентрация радона внутри домов увеличилась более чем в три раза. По оценкам, на каждый гигаваатт-год электроэнергии, сэкономленной благодаря герметизации помещений, можно получить дополнительную дозу облучения в 5600 чел-Зв.



Увеличение концентрации радона внутри домов в Швеции при снижении скорости вентилирования помещений

Рис. 7. Увеличение концентрации радона за счет экономии электроэнергии на вентиляцию помещений

Эта проблема объясняется тщательной герметизацией помещений, относительно высоким выходом радона из земли при малоэтажности зданий и использованием глинозема в качестве добавки к строительным материалам. Согласно данным

НКДАР ООН концентрация радона вместе с его дочерними продуктами внутри домов в 90% случаев составляет менее 50 Бк/м³, т.е. примерно в 25 раз выше среднего уровня в наружном воздухе, и всего лишь в нескольких процентах домов удельная радиоактивность воздуха внутри помещений превышает 100 Бк/м³.

1.3. Воздействие излучения радона на человека

С 1989 г. ведется мониторинг радона на Украине. Очень высокий уровень активности этого газа (1000 Бк/м³ и выше) в зданиях зарегистрирован в районах Украинского кристаллического массива. Эффективная доза облучения населения Украины ЕРН составляет 5,2 мЗв (0,52 мбэр) в год, из которых 4,2 мЗв приходится на радон и продукты его распада. Это в 300 раз больше той дозы, которую население Украины получает вследствие аварии на ЧАЭС.

Сам радон – химически инертен, но ионизированные продукты его распада (радионуклиды полония, висмута, свинца) сорбируются пылью и влагой, образуя альфа-радиоактивные аэрозольные частицы. Наиболее опасны аэрозоли субмикронных размеров, которые могут проникать в верхние дыхательные пути и оседать в них, создавая локальные источники альфа облучения клеток. В определенной степени такие аэрозоли эквивалентны «горячим частицам» радиоактивной топливной пыли чернобыльских осадков.

Альфа-излучение ДПР радона, осевших в бронхах, воздействует на эпителиальные клетки. Средняя годовая эквивалентная доза на бронхиальный эпителий за счет радона 15 мЗв, средняя эффективная доза $\approx 1,1$ мЗв, в т.ч. за счет экспозиции в помещениях $\sim 1,0$ мЗв; годовая ЭД за счет торона $\approx 0,16$ мЗв [НКДАР, 1988]. Вклад других компонентов излучения незначителен. Радиационное повреждение молекул ДНК (генетического аппарата клетки) может вызвать нарушение функций генов, осуществляющих контроль размножения и дифференцировки – опухолевую трансформацию с последующим клоновым ростом опухоли.

Максимальные дозы от ДПР радона приходятся на эпителий сегментарных бронхов, что соответствует преимущественной локализации развивающихся раков. Среди разновидностей рака легкого, вызываемых радоновым облучением, чаще других диагностируются аденокарцинома, чешуевидная карцинома, саркома лимфатических узлов. Уязвимы клетки базального эпителия бронхов. [Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энерго-атомиздат, 1989. 257 с.]

Имеются данные о том, что радоновое облучение увеличивает риск рака желудка, мочевого пузыря, прямой кишки, кожи, а также данные о негативном влиянии этого облучения на костный мозг, сердечно-сосудистую систему, печень, щитовидную железу, гонады. Не исключается возможность отдаленных генетических последствий радонового облучения. Однако все эффекты радона, по крайней мере, на порядок менее вероятны, чем рак легкого. Наиболее обычны мелкоклеточные и

сквамозные карциномы. Имеются данные о синергизме канцерогенного действия радона и вдыхаемых химических канцерогенов (курения).

Следует заметить, что существует точка зрения, что малые дозы радиации, в том числе радона, стимулируют защитные реакции клетки и организма и могут быть даже полезны – так называемый гормезисный (благоприятный) эффект. В медицинской литературе (особенно научно-популярной) давно обсуждаются целебные свойства радоновых ванн.

Радоновые ванны применяются для лечения артритов, артрозов, гипертонии, возрастных нарушений функций мозга и ряда других заболеваний. Длительность курса лечения, подбираемая эмпирически, как правило, невелика, и поэтому отрицательные эффекты радонового облучения (на легкие, сердечно-сосудистую систему и т.д.) не успевают сказаться.

Аналогичным образом обстоит дело и в медицинской химии малых доз [2, 3]. Еще Парацельс практиковал яды, например, мышьяк и ртуть, для лечения многих болезней. Ядовитые в больших дозах, эти вещества способны в малых дозах влиять на организм положительно.

Таблица 2. Оценка риска, обусловленного радоном (АООС,1986)

пКи/л	Оценка количества смертей от рака легких, обусловленных облучением за счет радона (на 1000)	Сопоставимые уровни облучения	Сопоставимый риск
200	400–770	В 1000 раз превышающий средний уровень в наружном воздухе	Более чем в 60 раз превышающий риск для некурящего человека
100	270–630	В 100 раз превышающий средний уровень в помещениях	Риск курильщика, выкуривающего 4 пачки в день. 20 000 рентгеновских снимков грудной клетки в год
40	120–380		Риск курильщика, выкуривающего в день 2 пачки
20	60–210	В 100 раз превышающий средний уровень в наружном воздухе	Риск курильщика, выкуривающего 1 пачку в день
10	30–120	В 10 раз превышающий средний уровень в помещениях	В 5 раз превышающий риск некурящего
4	13–50	В 10 раз превышающий средний уровень в наружном воздухе	200 рентгеновских снимков грудной клетки в год
2	7–30		Риск смерти некурящего от рака легких
1	3–13	Средний уровень в помещениях	20 рентгеновских снимков грудной клетки в год
0,2	1–3	Средний уровень в наружном воздухе	

Поскольку радоновая радиация создает в той или иной степени «сверхнормативные» концентрации свободных радикалов в клетках и тканях, то в малых дозах радон действует как мягкий стрессовый фактор, повышающий надежность систем репарации ДНК и антиокислительной защиты клеток. Разумеется, для проверки этой гипотезы нужны соответствующие эксперименты. Выводы онкологов не вполне однозначны.

МКРЗ и НКДАР, обобщив все имеющиеся сведения, пришли к заключению, что оптимистическая позиция о положительном влиянии малых доз радоновой радиации недостаточно обоснована. Поддерживающие ее наблюдения недостаточно воспроизводимы, а положительные клинические эффекты могут быть объяснены сопутствующими (например, бальнеологическими) факторами и не исключают канцерогенных последствий. Поэтому действующие нормативные документы основаны на беспороговой гипотезе. Облучение других органов и тканей, кроме легких, незначительно.

Ущерб от экспозиции радоном определяется риском рака легких (табл. 2).

Наиболее тяжким следствием облучения радоном является увеличение заболеваемости раком легких со смертельным исходом. Доза 1 мЗв увеличивает риск онкологического заболевания со смертельным исходом на $5 \cdot 10^{-5}$. Доза 2,2 мЗв/год увеличивает риск на $1,1 \cdot 10^{-4}$ чел/год или в $8 \cdot 10^{-3}$ за 70 лет жизни. В настоящее время принято считать, что на радон и продукты его распада приходится 80% дозы облучения, получаемой населением планеты за год от всех природных источников радиации (около 50 млн. чел./бэр в год). Этот радиоактивный газ несет ответственность за 10% регистрируемых ежегодно в мире заболеваний раком легкого. Так, в США, по существующим нормативам, предельно допустимые выбросы загрязняющих атмосферу веществ промышленными предприятиями не должны увеличивать смертность населения более чем на 0,001%. Между тем расчеты показывают, что при средней активности радона в американских домах 55 Бк/м³ и суммарной экспозиции 0,2 МРУ, радоновое облучение вызывает 20 тыс. дополнительных случаев смерти от рака легкого ежегодно, превышая допустимый нормативами рост смертности в 300 раз. Существенно повышается по той же причине риск нераковых заболеваний дыхательных путей, например, эмфиземы легкого и сердечно сосудистых заболеваний (табл. 3).

Таблица 3. Смертность от радонового облучения и некоторых других причин в США 80-е годы

Причина смерти	Характер заболевания	Количество смертей в год	Затраты на лечение, млрд долл. США
Курение	Легочные, сердечно-сосудистые, раковые и др.	390000	65
Неправильное питание (избыток жиров и т.п.)	Сердечно-сосудистые, раковые и др.	325000	43
Алкоголизм	Болезни печени, сердечно-сосудистые, несчастные случаи	100000	120
Радон	Рак легкого и др.	20000	1

Один из самых высоких уровней заболеваемости раком легкого в мире наблюдается в Финляндии. В стране с населением около 5 млн. человек радон ежегодно вызывает 200–600 случаев смерти от рака легкого. По оценкам немецких ученых, 7% случаев фатального рака легкого в западной части Германии обусловлено радоновой радиацией (1600 мужчин и 400 женщин ежегодно).

Реакция организма не зависит от того, происходит ли облучение от техногенных или естественных источников, так как действие ионизирующего излучения не может зависеть от происхождения источника. Поэтому контроль радона в воздухе помещений может иметь не только самостоятельное значение, но и входить в число реабилитационных мероприятий для территорий и контингентов, подвергающихся техногенному воздействию.

2. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ

2.1. Метод с использованием газоразрядных детекторов

Газоразрядные счетчики являются удобными в эксплуатации детекторами излучений. В судовой дозиметрической аппаратуре они получили широкое распространение благодаря ряду достоинств: высокой чувствительности, обусловленной использованием усиления ионизации, простоте преобразования ионизации в электрические сигналы большой мощности, относительно простой конструкции и технологии изготовления, небольшой стоимости, возможности работы от источников питания с относительно невысоким коэффициентом стабилизации напряжения, работе в большем диапазоне температур.

Режим работы газоразрядных счетчиков определяется напряжением на его электродах. Существуют три основных режима работы счетчиков: 1) режим пропорционального газового усиления; 2) режим ограниченной пропорциональности (несамостоятельный разряд); 3) режим гейгеровского разряда (самостоятельный разряд).

Счетчики, работающие в первом и втором режимах, называются пропорциональными, а в третьем - гейгеровскими, или счетчиками с самостоятельным разрядом.

В процессах, возникающих в газоразрядных счетчиках, важную роль играет значение приложенного напряжения и состав газа-наполнителя. Если на электроды счетчика подано небольшое напряжение, при котором дополнительная ионизация за счет соударения первичных ионов с нейтральными молекулами отсутствует, то он действует как ионизационная камера. Изменение потенциала нити (анода) относительно катода будет определяться соотношением:

$$\Delta U = N \cdot q / C \quad (1)$$

где N - число пар первичных ионов, образованное в рабочем объеме счетчика ионизирующей частицей; q - заряд электрона, равный $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл; C - электрическая емкость анод-катод счетчика.

В случае облучения счетчика α -частицами с энергией 5 МэВ каждая α -частица создает в рабочем объеме счетчика примерно 10^5 пар ионов. Принимая емкость анод-катод равной 10 пФ и пренебрегая рекомбинацией ионов, можно рассчитать величину импульса напряжения на электродах счетчика:

$$\Delta U = (10^5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}) / 10 \cdot 10^{-12} \approx 1.6 \cdot 10^{-3} \text{ В.} \quad (2)$$

Электроны, образованные ионизирующей частицей вблизи нити счетчика, где градиент электрического поля особенно велик, сильно ускоряются, приобретая при этом кинетическую энергию, достаточную для ионизации нейтральных молекул газа. Возникающие новые электроны также ионизируют газ. Этот процесс нарастает лавинообразно, и вся лавина поступает на нить счетчика. Таким образом, в данном случае каждый первичный электрон образует A добавочных пар ионов. Величина импульса будет определяться как

$$\Delta U = A \cdot N \cdot q / C \quad (3)$$

В этом выражении множитель A характеризует газовое усиление и зависит главным образом от напряжения ($U_{\text{сч}}$ (напряжение на нити счетчика) а также от газа-наполнителя и геометрических размеров счетчика.

Диапазон напряжений $U_{\text{сч}}$ в котором сохраняется зависимость (3) при $A=A(U_{\text{сч}})$, называется пропорциональной областью. В этой области с увеличением напряжения наблюдается непрерывное возрастание коэффициента газового усиления A по экспоненциальному закону (рис. 8, участок 2).

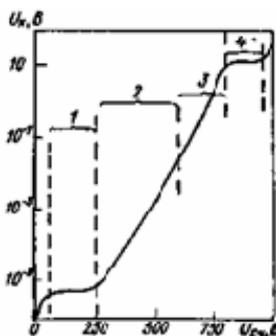


Рис. 8. Зависимость амплитуды импульса от напряжения на счетчике (1 – область работы ионизационной камеры; 2 – пропорциональная область; 3 – область ограниченной пропорциональности; 4 – область Гейгера)

Счетчик, работающий в описанном выше режиме, называется **пропорциональным**.

Величина импульса, образуемого на нагрузочном сопротивлении такого счетчика, пропорциональна первичной ионизации, обусловленной прохождением через него ионизирующей частицы.

В зависимости от газа-наполнителя коэффициент газового усиления A может изменяться в значительных пределах. Например, в пропорциональных счетчиках, наполненных инертными газами, величина коэффициента A составляет около 10^3 , а

в случае наполнения аргоном с небольшой примесью многоатомных газов A может достигать 10^4 . При определенных условиях в рабочем объеме счетчика может возникнуть так называемый коронный разряд, не нуждающийся для своего поддержания в действии внешнего ионизатора и являющийся поэтому разновидностью самостоятельного разряда.

Коронный разряд возникает при сравнительно больших давлениях газа-наполнителя, когда электрическое поле между электродами счетчика крайне неравномерно. В счетчике с коаксиальным расположением электродов эта неравномерность обуславливается малым радиусом кривизны нити анода. Корона у нити счетчика возникает в виде тонкого слоя светящегося газа. Этот слой называют коронирующим слоем. В нем идет усиленное образование электронных лавин. Остальное пространство в таком счетчике представляет внешнюю область короны, в которой нет свободных электронов, отсутствует ударная ионизация, и носителями тока являются в основном положительные ионы.

При отсутствии облучения через счетчик протекает флуктуирующий темновой ток (ток короны). При прохождении ионизирующих частиц через коронирующий разрядный промежуток в счетчике возникают импульсы тока, пропорциональные величине первичной ионизации. Импульсы, снимаемые с нагрузочного сопротивления счетчика, могут быть зарегистрированы при прохождении через счетчик сильноионизирующих частиц, например, α -частиц или протонов. Импульсы, вызываемые слабоионизирующими частицами (β -частицами), имеют малую амплитуду, сливаются с фоном флуктуации тока короны и поэтому не могут быть зарегистрированы.

При увеличении напряжения на электродах коронного счетчика он также работает вначале как ионизационная камера, а затем как пропорциональный счетчик.

По достижении напряжения зажигания U_z , называемого порогом короны, в счетчике вспыхивает коронный разряд. Ток, проходящий через счетчик, резко возрастает, достигая приблизительно 10^{-7} А. Этот ток имеет колебательный характер. Амплитуда и частота колебаний тока короны, а также его средняя величина возрастают с увеличением перенапряжения, т. е. превышением напряжения над порогом короны.

При попадании в объем счетчика сильноионизирующей частицы, производящей значительную дополнительную ионизацию, ток в счетчике сильно возрастает, превышая амплитуду колебаний тока короны в 10^{-20} раз. Многие типы счетчиков могут регистрировать несколько различных видов излучений. α -частицы регистрируют торцевыми пропорциональными и коронными счетчиками, а также проточными счетчиками. Окна торцевых счетчиков изготавливают из слюдяных или алюминиевых пластинок.

2.2. Метод с использованием сцинтилляционных детекторов

Сцинтилляционный счетчик (рис. 9) состоит из сцинтилляционного детектора-сцинтиллятора 1, фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 2, между которыми имеется оптический контакт; узла включения фотоумножителя 3, содержащего схему включения с делителем напряжения, блока выходного каскада с усилителем и эмиттерным повторителем 4, высоковольтного преобразователя напряжения 5 для питания фотоумножителя, узла подключения сцинтилляционного счетчика к измерительной схеме 6, кожуха 7. Принцип работы счетчика основан на использовании явления люминесценции, возникающей в некоторых твердых телах, жидкостях и газах при воздействии на них ионизирующих излучений. При этом часть энергии излучения преобразуется в фотоны света, выбивающие из фотокатода ФЭУ электроны. После умножения фотоэлектронов системой ФЭУ импульсы тока с его выхода поступают на вход измерительной схемы.

Сцинтилляционные счетчики повсеместно используются как детекторы ионизирующих излучений при регистрации загрязнений внешней среды. Широкое применение они получили и в судовой дозиметрической аппаратуре. В ряде случаев обнаружения и контроля проникновения теплоносителя в тепловыделяющие элементы (например, контроль по γ -излучению изотопов йода) используются преимущественно сцинтилляционные счетчики. К числу достоинств таких счетчиков относятся:

- высокая эффективность регистрации, особенно γ -лучей большой энергии, в десятки раз превышающая эффективность газоразрядных счетчиков;
- высокая временная разрешающая способность, достигающая 10^{-9} - 10^{-10} с ;
- возможность измерения энергии частиц;
- возможность создания счетчиков различной геометрической формы и объема.

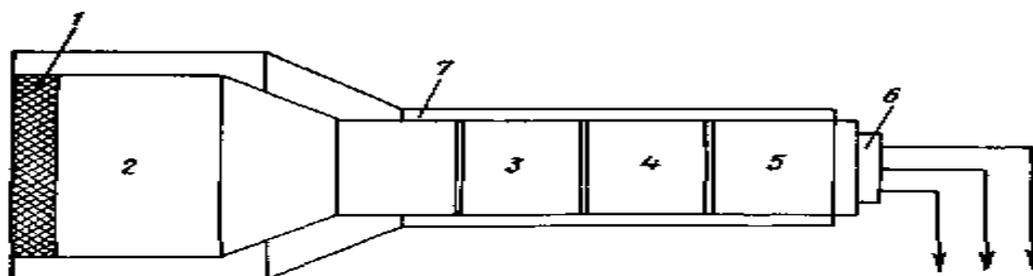


Рис.9. Структурная схема сцинтилляционного счетчика

Из-за незначительной проникающей способности α -частиц регистрация их возможна только открытыми сцинтилляторами, например тонкими пленками сернистого цинка, йодистого цезия. Органические кристаллы и пластмассы обладают незначительной эффективностью регистрации α -частиц и в связи с этим применяются редко.

2.3. Другие методы

К другим методам регистрации альфа излучений можно отнести полупроводниковые детекторы.

Полупроводниковые детекторы (ППД) являются наиболее совершенными из существующих детекторов ионизирующих излучений. Они широко используются при измерениях радиоактивных загрязнений внешней среды, в дозиметрии, для контроля работы ядерных реакторов и т. д. Однако наибольшее применение они получили при спектрометрии ионизирующих излучений. [Принципы и методы регистрации элементарных частиц, пер. с англ., М., 1963;]

Полупроводниковые кремниевые и германиевые детекторы ионизирующих излучений используются для регистрации α, β -частиц, протонов, нейтронов, γ -лучей и осколков деления. Линейная зависимость амплитуды выходных импульсов от энергии излучения позволяет широко применять эти детекторы в спектрометрической аппаратуре, а также для измерения слабых потоков сильноионизирующих частиц на фоне интенсивных потоков слабоионизирующего излучения (например, α -частиц на фоне β - и γ -излучений).

В $n-p$ -детекторах используется переход проводимости от электронного к дырочному типу. Источник питания подключается в запирающем направлении. Ионизирующая частица, попавшая в детектор вблизи перехода, вызывает прохождение носителей тока через барьер, что эквивалентно импульсу тока. Величина результирующего амплитудного напряжения на переходе равна:

$$U_n = Q/C = Nq/C \quad (4)$$

где C — емкость $n-p$ -перехода и монтажа; N — число пар электрон — дырка; q — заряд одной пары; Q — собранный заряд.

Детекторы с $n-p$ -переходом имеют „окно“, определяющее чувствительную область (область объемного заряда), в виде слоя кремния (германия) или пленки металла, нанесенного на кремний.

В поверхностно-барьерных детекторах $n-p$ -барьер создают на поверхности полупроводника. Эти детекторы имеют тонкое „окно“, небольшую чувствительную область и применяются для регистрации частиц с малым пробегом в кремнии.

В альфа спектрометрии применяют такие разновидности полупроводниковых детекторов:

Кремниевые поверхностно-барьерные ППД предназначены для спектрометрии и регистрации короткопробежных заряженных частиц.

Кремниевые диффузно-дрейфовые детекторы типа ДКД-Пс и ДКД—Псд используются для спектрометрии и регистрации α -частиц, протонов, β -частиц, пробеги которых укладываются в чувствительной области детектора.

3. СПЕКТРОМЕТР АЛЬФА ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДОНА В ВОЗДУХЕ

3.1. Блок-схема установки

В процессе выполнения данной работы была создана конструкция спектрометра (рис.11) для обнаружения и исследования энергии альфа излучения. Для этой поставленной задачи необходимо было воспользоваться торцевым коронным газоразрядным счетчиком СИ9А (рис. 10).



Рис.10. Торцевой газоразрядный счетчик СИ9А

Коронный газоразрядный счетчик должен работать при таких условиях:

- Необходимо задать нужную область напряжений, отвечающей пропорциональной или граничной пропорциональной области счета. В этом режиме можно фиксировать импульсы напряжения, которые будут пропорциональны энергии первичной частицы, попавшей в счетчик.
- счетчик по указанным вышерассмотренным параметрам будет считывать только импульсы, возникающие при альфа ионизации, а импульсы, вызываемые слабоионизирующими частицами (β -частицами), имеют малую амплитуду, сливаются с фоном флуктуации тока короны и поэтому не могут быть зарегистрированы.



Рис. 11. Установка альфа спектрометра

Ниже приведена таблица, отвечающая начальным параметрам газоразрядного счетчика СИ9А:

Таблица 4. Начальные параметры коронного газоразрядного счетчика СИ9А

ТУ и конструктивная характеристика	Массогабаритные данные	Режим работы	Дозиметрические характеристики
<p><i>СИ9А.</i></p> <p><i>ССЗ.394.006 ТУ.</i></p> <p><i>Тип счетчика – коронный.</i></p> <p><i>Оформление стеклянное.</i></p> <p><i>Катод – слой алюминия, напыленный на внутреннюю стенку баллона</i></p>	<p>$l = 70$</p> <p>$\varnothing 13.3$</p> <p>$m = 10$</p>	<p>$U_p = 330 \div 390$</p> <p>$U_{э.к} = 400$</p>	<p>$E = 24 \div 32$</p> <p>$P_\phi = 10^4 \text{ мкР/с}$</p> <p>$N = 10^3$</p>

Предлагаемая блок схема экспериментальной установки представлена на рис.12.

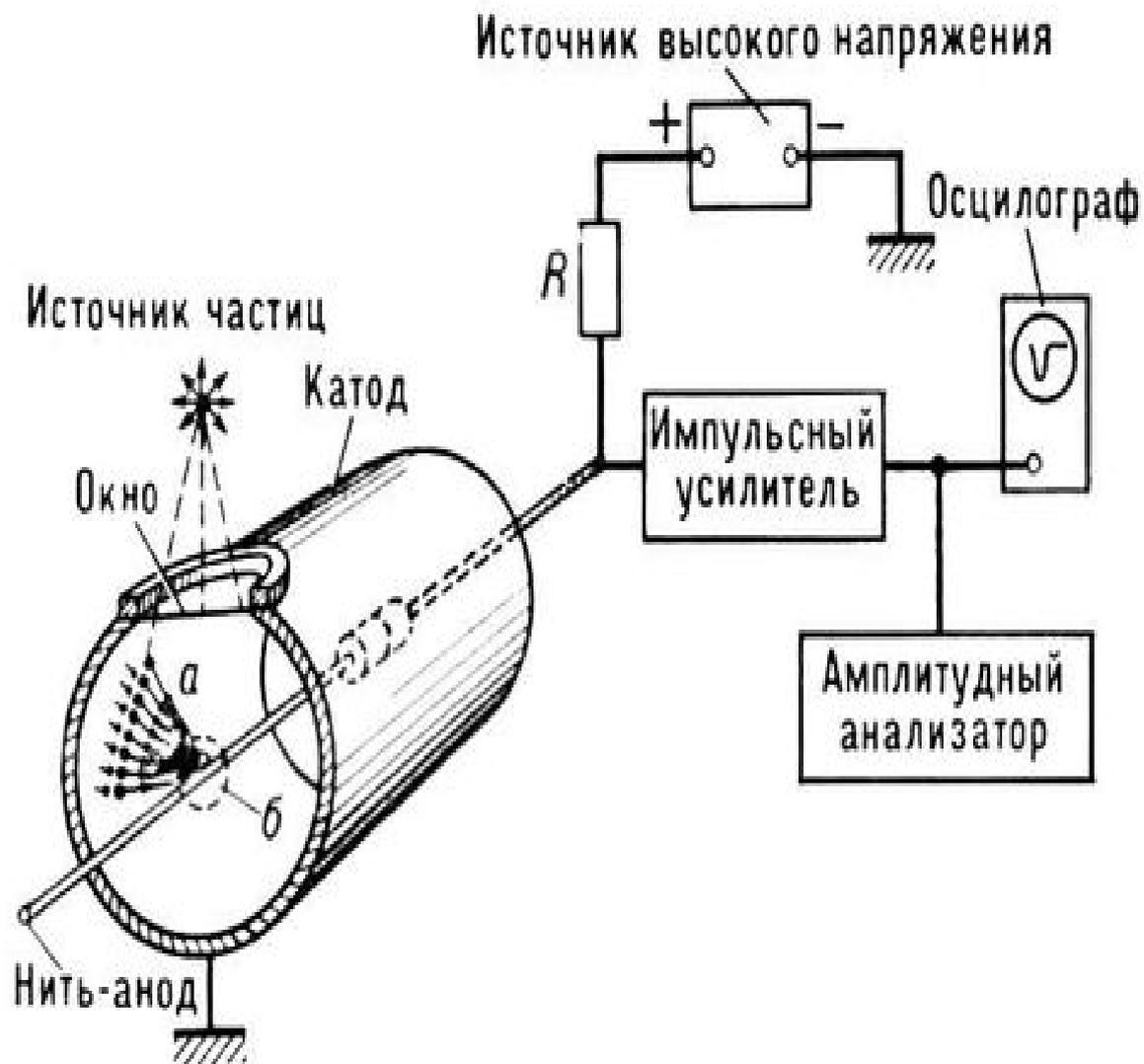


Рис.12. Блок-схема экспериментальной установки.

Ниже детальнее рассмотрим работу и устройство высоковольтного преобразователя, который является основным звеном в функционировании и стабильной работе альфа спектрометра.

3.2. Высоковольтный преобразователь

Высоковольтный преобразователь предназначен для получения из низковольтного источника питания (12 В) напряжения, обеспечивающего работу газоразрядного счетчика. Как ранее было отмечено, что счетчик этот предполагается использовать в пропорциональной области с целью определения энергии альфа-частиц и таким образом идентифицировать наличие радона в помещениях. Для этого необходимо, чтобы высоковольтный преобразователь работал в области выходных напряжений от 250 до 330 В.

Для создания высоковольтного преобразователя нами была выбрана электрическая схема представленная на рис. 13.:

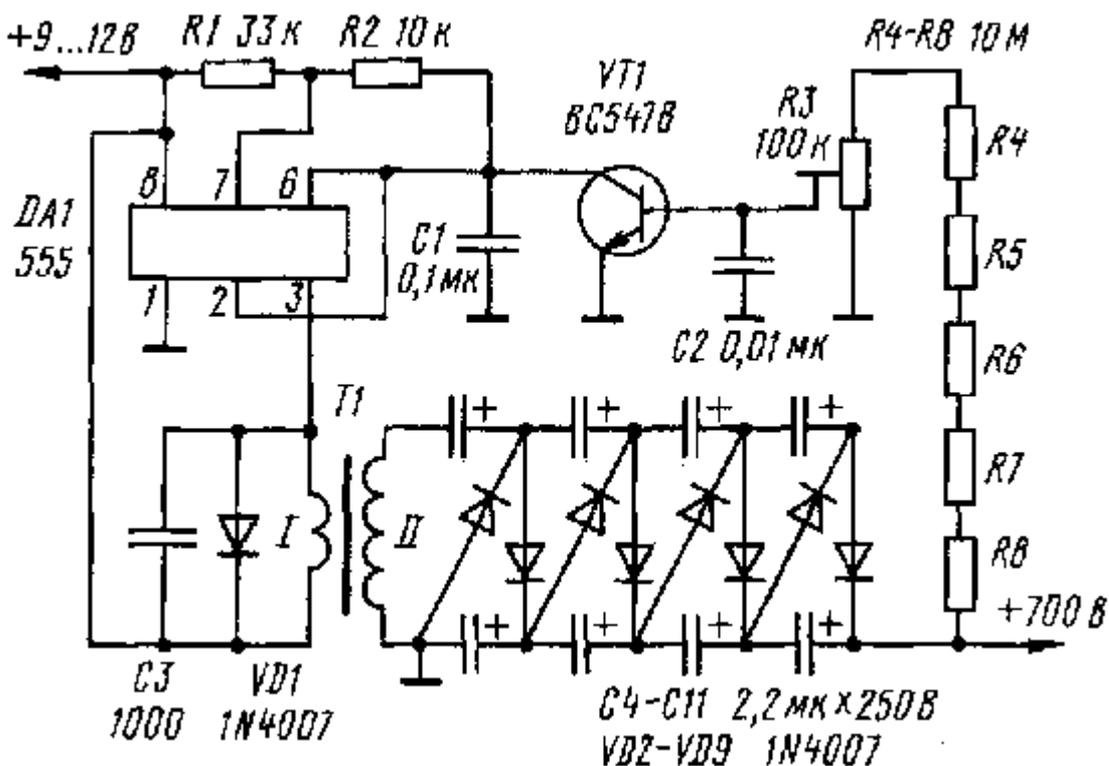


Рис. 13. Схема высоковольтного преобразователя

Эта приведенная схема, обеспечивает стабилизированное выходное напряжение в пределах 100...700 В при токе нагрузки несколько десятков микроампер.

На интегральном таймере DA1 собран генератор, работающий на частоте около 2,5 кГц. Прямоугольные импульсы с низкоомного выхода таймера поступают на повышающий трансформатор T1. На выходной обмотке трансформатора эффективное значение переменного напряжения составляет примерно 100 В. К этой обмотке подключен выпрямитель на диодах VD2—VD9, выполненный по схеме умножения напряжения.

На транзисторе VT1 выполнен стабилизатор выходного напряжения. Оно поступает в цепь базы транзистора через делитель, состоящий из резисторов R4—R8 и подстрочного резистора R3. Как только напряжение на выходе преобразователя превысит некоторое значение (оно определяется положением движка подстрочного резистора R3), то транзистор VT1 откроется и зашунтирует конденсатор C1. Это приведет к срыву колебаний генератора, то есть поменяется частота на таймере (до восстановления на выходе источника требуемого значения напряжения).

Нами использованы: транзистор КТ342Б, микросхема 555 и диоды КД243Ж.

В процессе работы выполнил чертежную разработку платы на стеклотекстолите, нанес дорожки, произвел травление; пайку деталей и компоновку высоковольтного преобразователя. В результате получился следующий прибор (рис.14.)

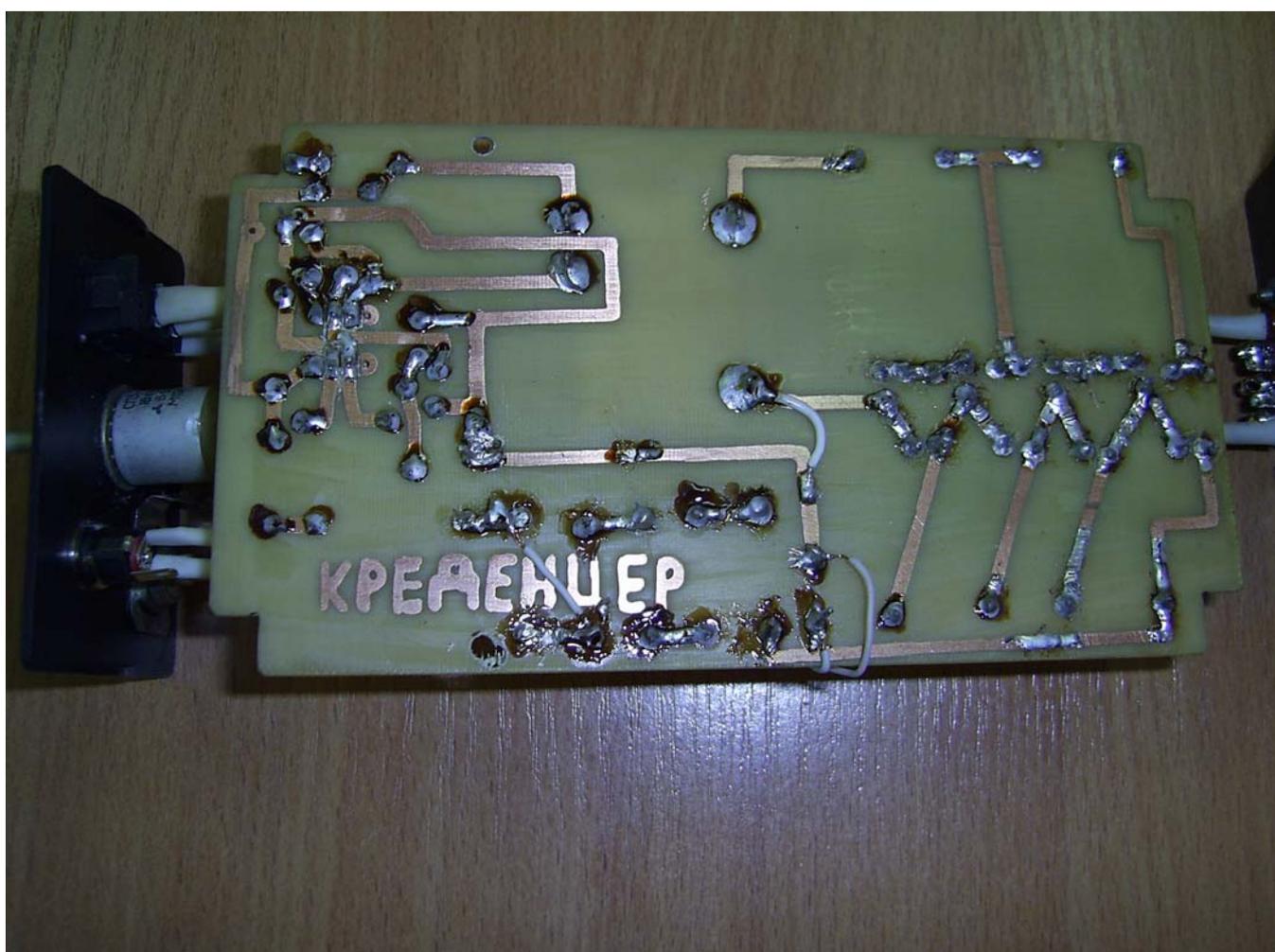


Рис.14. Рабочая плата высоковольтного преобразователя

На передней панели высоковольтного преобразователя вывел разъемы для: питания; получения выходного напряжения, кнопка «включить-выключить», индикатор «фотодиод»; подстроечный резистор. На задней панели преобразователя

вывел «разъем-делитель», с коэффициентом деления 500, к которому можно подсоединять мультиметр.

Регулируя подстроечный резистор, получаем на мультиметре показания от 0 до 1.25 В. Учитывая, что 1В на мультиметре эквивалентен 500В на выходе из преобразователя, можем свободно задавать нужное нам напряжение на наш газоразрядный детектор.

Проверил, что наблюдается стабилизация напряжения на мультиметре, значит высоковольтный преобразователь тоже стабилен.

Работоспособность преобразователя была проверена на счетчике СБМ-20 при помощи стронций-иттриевого источника бета-частиц. На экране осциллографа С1-112 мы и без усилителя наблюдали импульсы напряжения соответствующие работе счетчика в гейгеровской области.

Полученные данные позволяют нам предполагать, что, используя усилитель, мы сможем работать в пропорциональной области со счетчиком СИ9А с целью определения энергии альфа-частиц.

3.3. Экспериментальные результаты и их обсуждение

После того как конструкция установки собрана, необходимо провести экспериментальные исследования по обнаружению радона в воздухе подвального помещения и проверку спектрометра, учитывая энергетические обоснования процессов альфа излучения на правильность работы нашего спектрометра именно в пропорциональной области.

Для более детального рассмотрения некоторых процессов исследовательской работы, необходимо по пунктам разобрать методику ее выполнения:

- ❖ Проверка стабильности работы высоковольтного преобразователя в течение длительного времени;
- ❖ Установление коэффициента усиления на усилителе с помощью генератора высокочастотных сигналов;
- ❖ Проверка счетной характеристики коронного торцевого газоразрядного счетчика СИ9А;
- ❖ Работа спектрометра в заданной пропорциональной области
- ❖ Снятие с многоканального анализатора спектральной характеристики контрольного альфа источника Pu^{239} ;
- ❖ Прогонка через фильтр воздуха пылесосом в подвальном помещении 11 к. ВНУ им. В.Даля;
- ❖ Получение на анализаторе двух основных спектров, продуктов распада радона, используя фильтр после прогонки, в качестве источника альфа излучения;
- ❖ Проверка правильности работы альфа спектрометра в пропорциональной области, учитывая энергетические соображения.

Стабильность работы высоковольтного преобразователя

Для того, чтобы получить и снять достоверные данные со спектрометра, необходимо провести детальную проверку стабильности работы высоковольтного преобразователя в процессе исследовательской работы.

Источником питания преобразователя будет являться – стабилизатор напряжения.

Снимать выходное полученное напряжение будем с помощью мультиметра, подключенного к разъему делителя напряжения высоковольтного преобразователя.

То есть 1В на мультиметре эквивалентен 500В на высоковольтном преобразователе.

Построим таблицу полученных данных:

Таблица 5.

№п/п	Напряжение на стабилизаторе, В	Напряжение на мультиметре, мВ
1	11.50	793
2	11.51	793
3	11.52	793
4	11.53	791
5	11.54	791
6	11.55	791
7	11.56	791
8	11.57	790
9	11.58	790
10	11.59	790
11	11.60	790
12	11.61	790
13	11.62	790
14	11.63	790
15	11.64	790
16	11.65	790
17	11.66	790
18	11.67	790
19	11.68	790
20	11.69	790
21	11.70	790
22	11.71	790
23	11.72	790
24	11.73	790
25	11.74	790
26	11.75	790
27	11.76	790
28	11.77	790
29	11.78	790
30	11.79	790
31	11.80	790
32	11.81	790
33	11.82	790
34	11.83	790
35	11.84	790
36	11.85	790
37	11.86	790
38	11.87	790
39	11.88	790
40	11.89	790
41	11.90	790
42	11.91	790

43	11.92	790
44	11.93	790
45	11.94	790
46	11.95	790
47	11.96	790
48	11.97	790
49	11.98	790
50	11.99	790
51	12.00	790
52	12.01	790
53	12.02	790
54	12.03	790
55	12.04	790
56	12.05	790
57	12.06	790
58	12.07	790
59	12.08	790
60	12.09	790
61	12.10	790
62	12.11	790
63	12.12	790
64	12.13	790
65	12.14	790
66	12.15	790
67	12.16	790
68	12.17	790
69	12.18	790
70	12.19	791
71	12.20	791
72	12.21	790
73	12.22	790
74	12.23	790
75	12.24	790
76	12.25	790
77	12.26	790
78	12.27	790
79	12.28	790
80	12.29	791
81	12.30	791
82	12.31	790
83	12.32	791
84	12.33	791
85	12.34	791
86	12.35	791
87	12.36	791
88	12.37	791
89	12.38	791
90	12.39	791
91	12.40	791
92	12.41	791

93	12.42	791
94	12.43	791
95	12.44	791
96	12.45	791
97	12.46	791
98	12.47	791
99	12.48	791
100	12.49	791
101	12.50	791

Теперь, используя табличные данные построим график и проверим, наблюдается ли стабилизация высоковольтного преобразователя при изменении напряжения питания в пределах от 11.50 В до 12.50 В (рис.15):

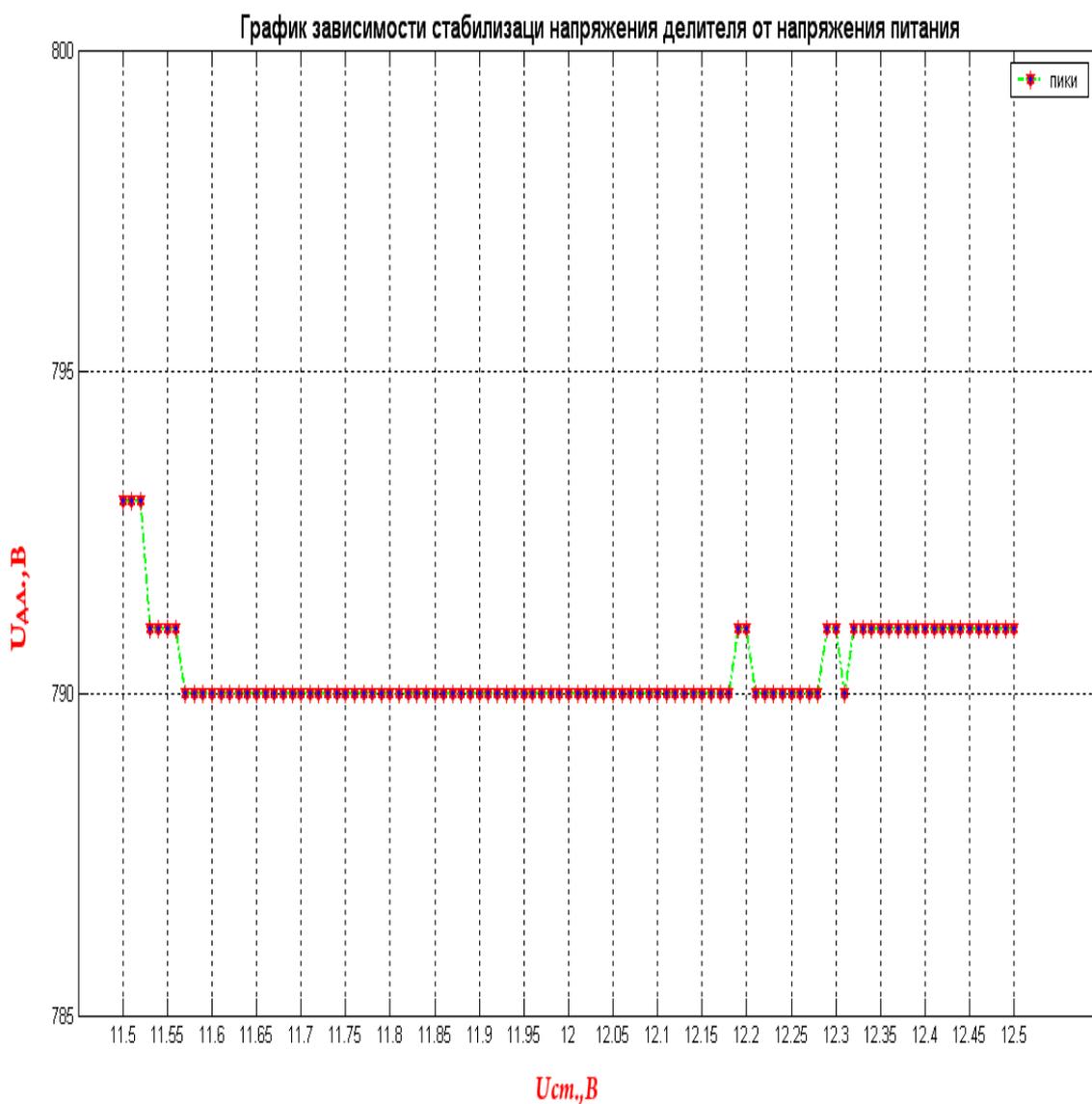


Рис.15. График зависимости стабилизации напряжения делителя от напряжения питания

На графике видно, что в процессе измерений наблюдается стабильность работы высоковольтного преобразователя.

Можно также рассчитать минимальное отклонение: для примера, используя табличные данные:

$$1) 790 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 395 \text{ (В)}$$

$$3) \Delta U = \pm 0.5 \text{ (В)}$$

$$2) 791 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 395.5 \text{ (В)}$$

То есть минимальное отклонение будет равно $\Delta U = \pm 0.5 \text{ В}$.

Коэффициент усиления на усилителе

Чтобы проверить коэффициент усиления на усилителе, необходимо вначале с генератора высокочастотных сигналов подать на осциллограф прямоугольные импульсы определенной величины, амплитуды напряжения равной 0.2 В. Потом, подключив генератор к усилителю, а усилитель к осциллографу, проверить на осциллографе величину амплитуды, которая возросла до 4 В. Сравнивая последнее значение с первым, можем сказать, что коэффициент усиления на усилителе $K = 20$.

Счетная характеристика коронного торцевого газоразрядного счетчика СИ9А

Воспользовавшись частотомером, можно при различных напряжениях зафиксировать определенное количество импульсов.

График счетной характеристики счетчика должен состоять из зависимости числа импульсов N от входного напряжения на счетчик U .

Построим таблицу с полученными данными:

Таблица 6.

№п/п	U, В	N_1	N_2	N_3	$\langle N \rangle$	$\Delta N = (\langle N \rangle)^{1/2}$
1	280	6070	6306	6369	6248	79
2	290	6251	6447	6256	6295	79
3	300	6265	6370	6440	6374	80
4	310	6304	6392	6453	6412	80
5	320	6299	6401	6487	6408	80
6	330	6397	6315	6447	6417	80

7	340	6355	6420	6483	6421	80
8	350	6400	6427	6441	6423	80
9	360	6395	6433	6478	6425	80
10	370	6411	6460	6427	6444	80
11	380	6418	6476	6530	6473	80

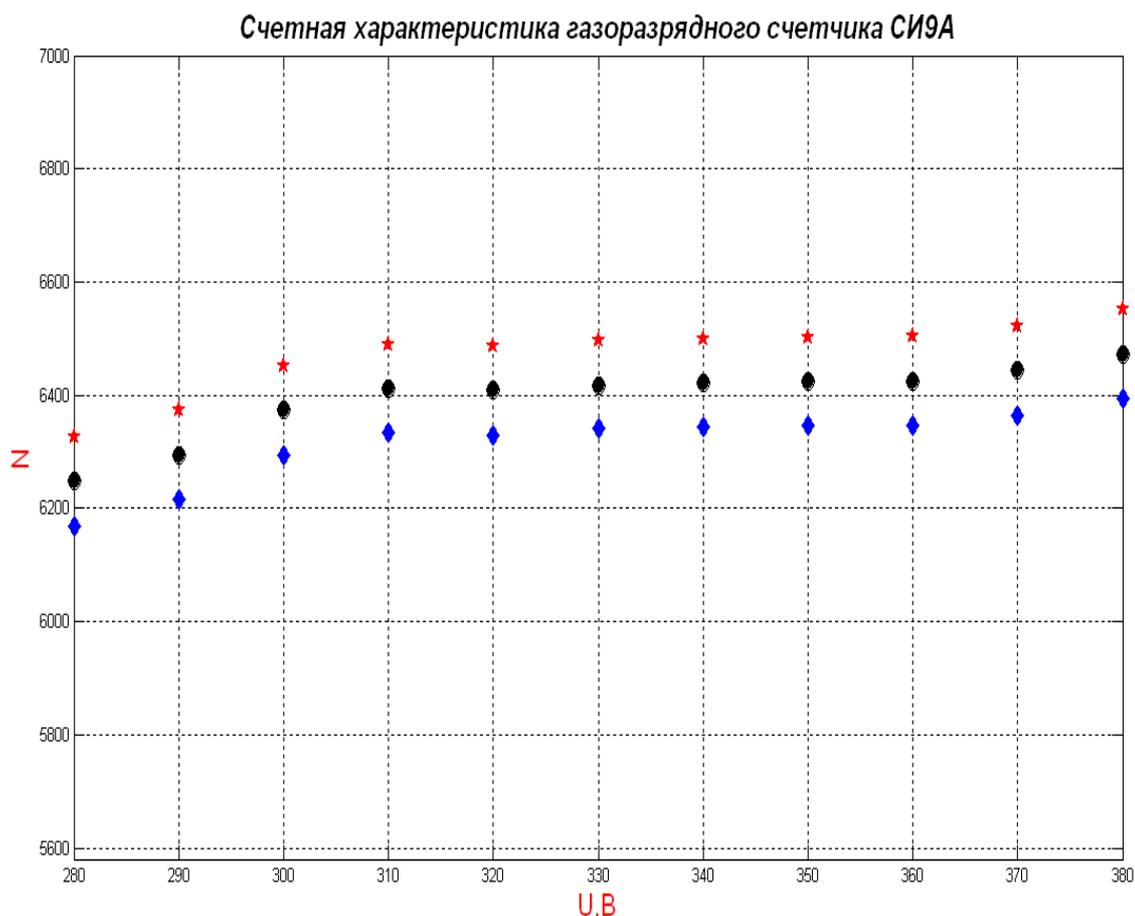


Рис. 16. Счетная характеристика газоразрядного счетчика СИ9А

На графике видно, что граничная пропорциональная область счета начинается при напряжениях от 280 В до 310 В.

Работа спектрометра в заданной пропорциональной области

Проверить, что исследования по снятию энергетических характеристик мы проводим в пропорциональной области, это значит наблюдать **линейность** возрастания на графике с зависимостью N_k от U .

Наблюдаемый график на рис. 17.:

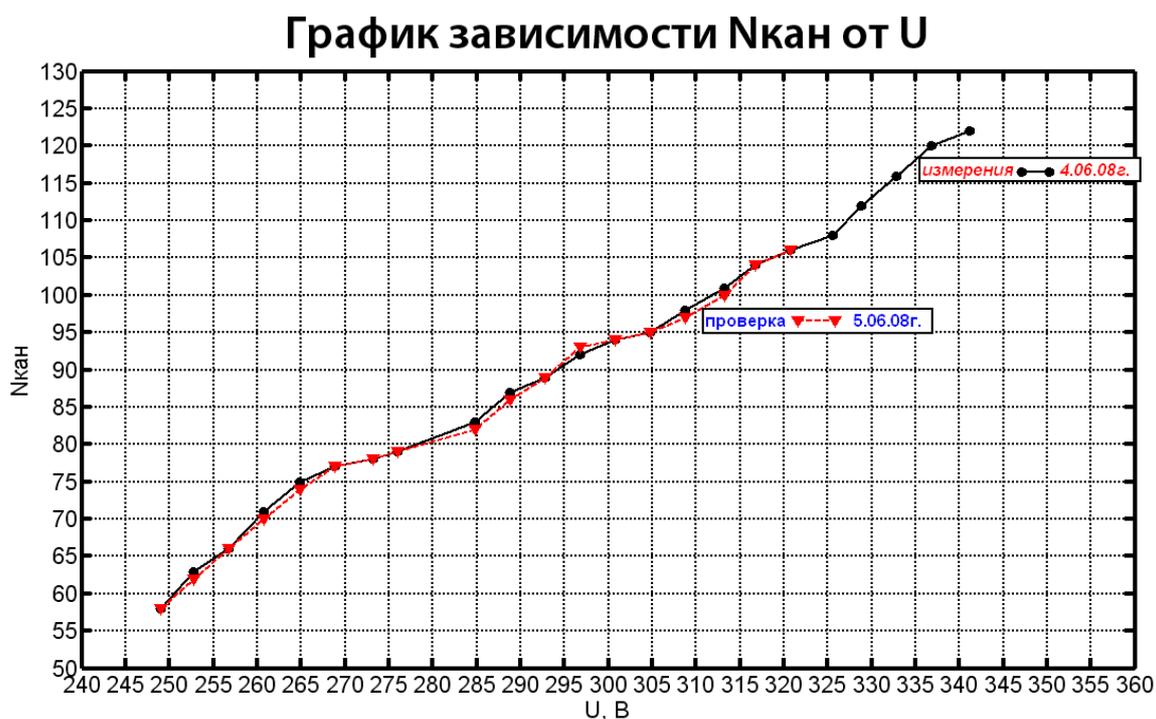


Рис.17. График зависимости $N_{к}$ от U

На этом графике видно, что наблюдается линейность возрастания амплитуды сигнала. Значит мы работаем в пропорциональной области газоразрядного счетчика СИ9А.

Энергетический спектр контрольного альфа источника Pu^{239}

Для того, чтобы в дальнейшем проверить альфа спектрометр на работу его в пропорциональной области, обязательно необходимо с анализатора снять энергетический спектр контрольного альфа источника Pu^{239} . Также нам известна энергия альфа излучения Pu^{239} , равная $E_{\alpha} = 5.15$ МэВ.

Получим на (рис.18.) энергетическую характеристику альфа источника:

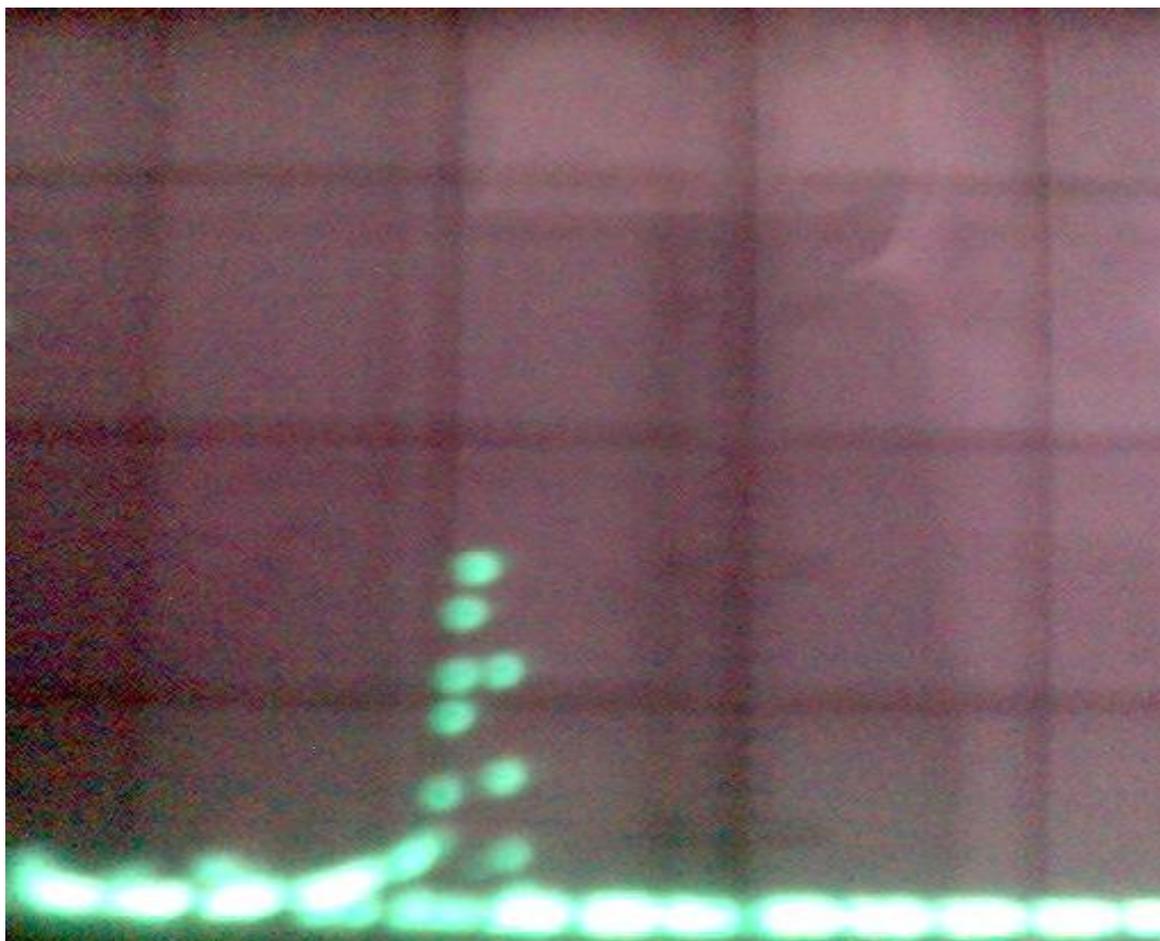


Рис.18. Энергетический спектр контрольного альфа источника Pu^{239}

Прогонка воздуха через фильтр

В подвальном помещении 11к. ВНУ им.В.Даля, в выбранном месте с плохой циркуляцией и вентиляцией воздуха, выполним прокачку через фильтр воздуха пылесосом в течение времени $t = 30$ мин. Потом прокачанный фильтр будем использовать как источник альфа излучения, считая, что в воздухе находится радон и продукты его распада.

Сохраняя начальные параметры спектрометра без изменений, снимем с анализатора спектральную характеристику альфа излучений дочерних продуктов распада радона:

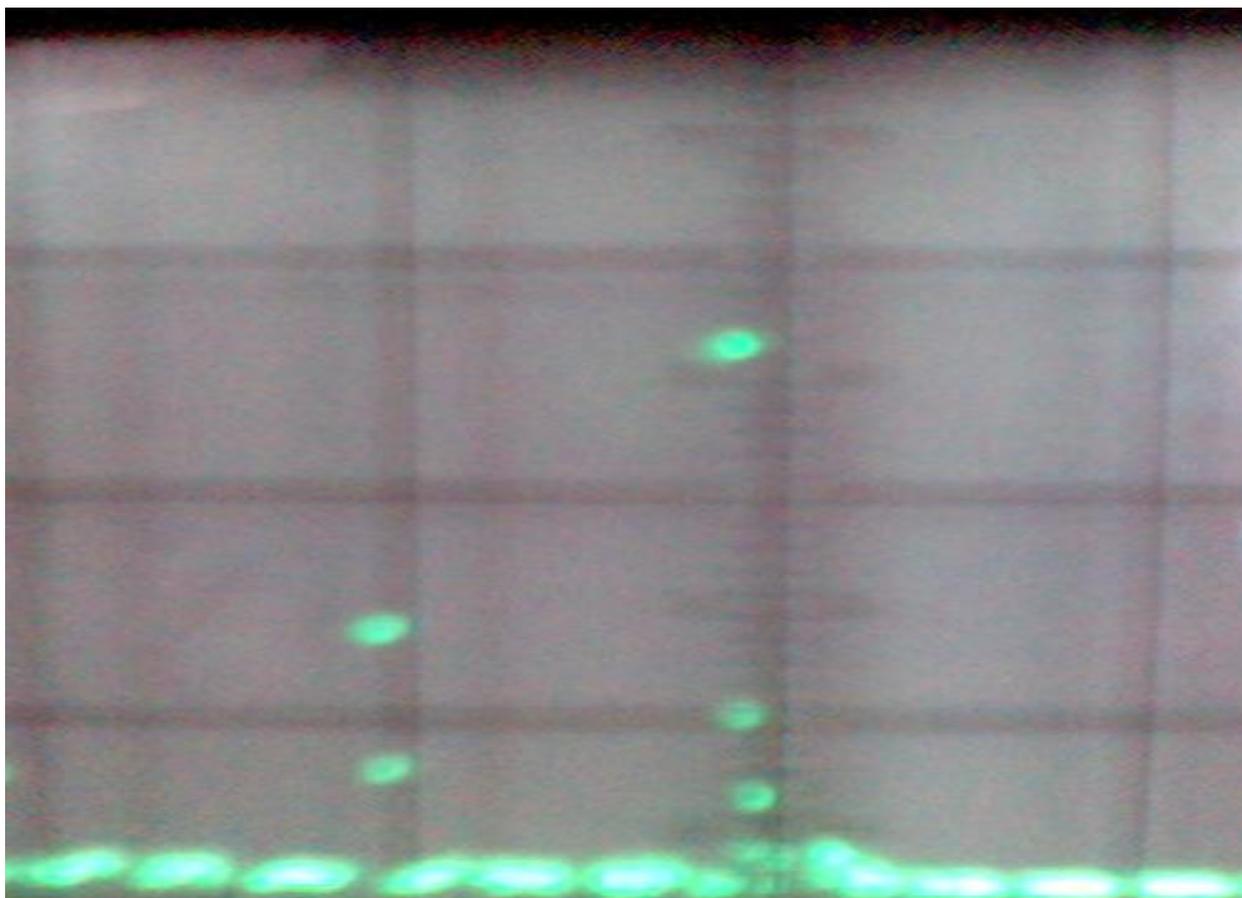


Рис. 19. Спектральная характеристика продуктов распада радона (9.06.08г.)

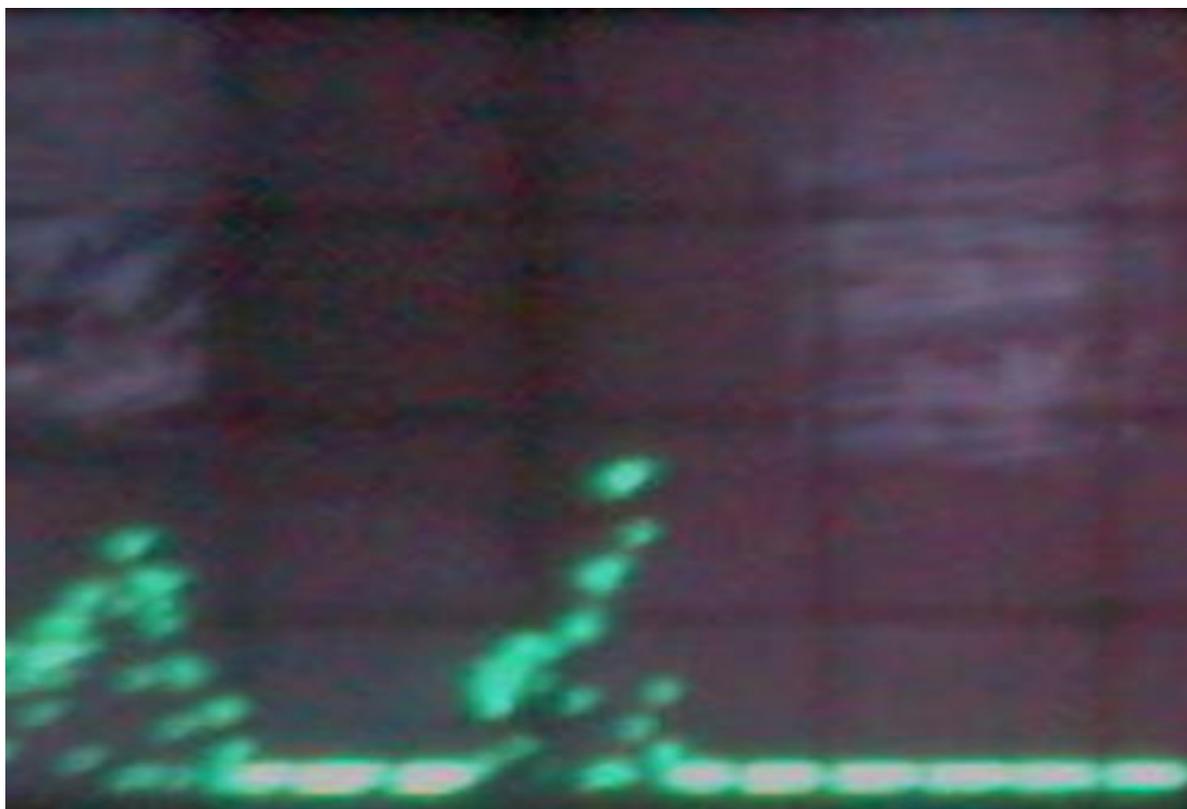


Рис.20. Спектральная характеристика продуктов распада радона (11.06.08г.)

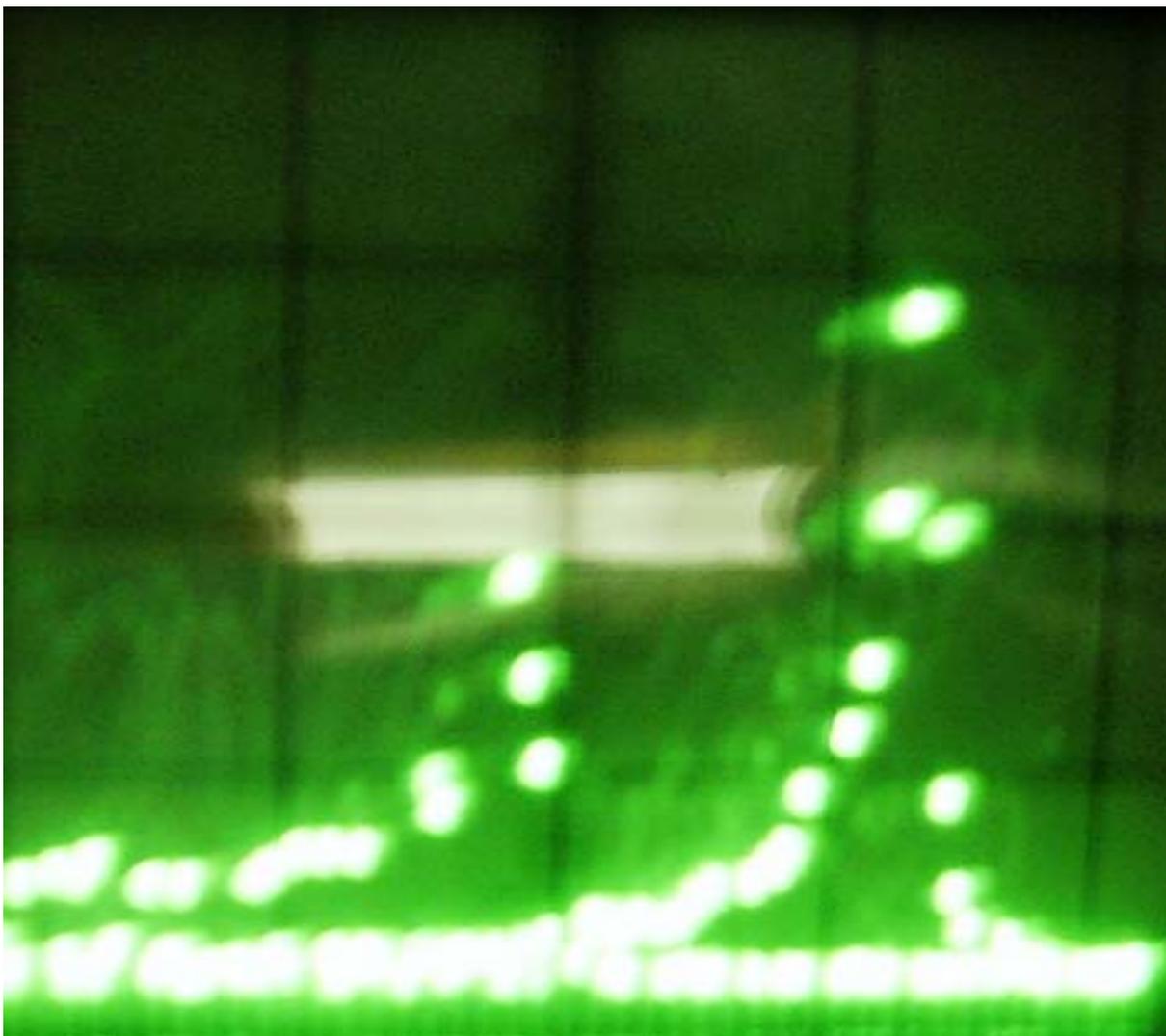


Рис. 21. Спектральная характеристика продуктов распада радона (13.06.08г.)

На (рис.19,20,21) видно, что спектральная характеристика состоит из двух повторяющихся спектров, предположительно Po^{218} , Po^{214} .

Проверка спектрометра, работающего в пропорциональной области по энергетическим соотношениям

Получив, спектральные характеристики контрольного альфа источника Pu^{239} и источника-фильтра альфа излучения продуктов распада радона Po^{218} , Po^{214} , необходимо проверить, действительно ли наш спектрометр работает в пропорциональной области, для этого нам необходимо построить график зависимости N_k от энергии α -частиц E_α .

Зная, энергии альфа частиц при распаде Po^{218} и Po^{214} (из справочных материалов), а также в каких каналах расположены пики их спектров построим точки на графике. Проведем прямую линию через эти точки. Также зная, в каком канале на

анализаторе находится максимум спектра контрольного альфа источника Pu^{239} . На этом же графике нанесем точку от Pu^{239} . Если она будет лежать на прямой изотопов Po^{218} , Po^{214} , то мы с достоверностью можем сказать, что наш спектрометр работает именно в пропорциональной области.

Построим таблицу полученных экспериментальных данных по снятию с анализатора спектральной характеристики радионуклидов: Таблица 7.

№ п/п	Элемент	E_α , МэВ	N_k	N_k с учетом изменения L , см	Расстояние от источника к счетчику L , см
1	Pu^{239}	5.15	98	98	0.5
2	Po^{218}	6.00	62	116	1.7
3	Po^{214}	7.687	97	150	1.7

В полученной таблице видно, что с расстоянием от источника к газоразрядному счетчику происходит процесс уменьшения первоначальной энергии альфа частицы, затраченной на ионизацию воздуха. Используя полученную формулу:

$$L_{\text{возд}} = 0.476 \cdot E_\alpha^{1.5} \quad (5)$$

можно рассчитать, что при прохождении 1мм α -частицы в воздухе – энергия ее уменьшается на 0.164 МэВ от первоначального значения. Отсюда получим, что на анализаторе при расстоянии 0.5см до 1.7см спектры сдвинулись влево на 54 канала.

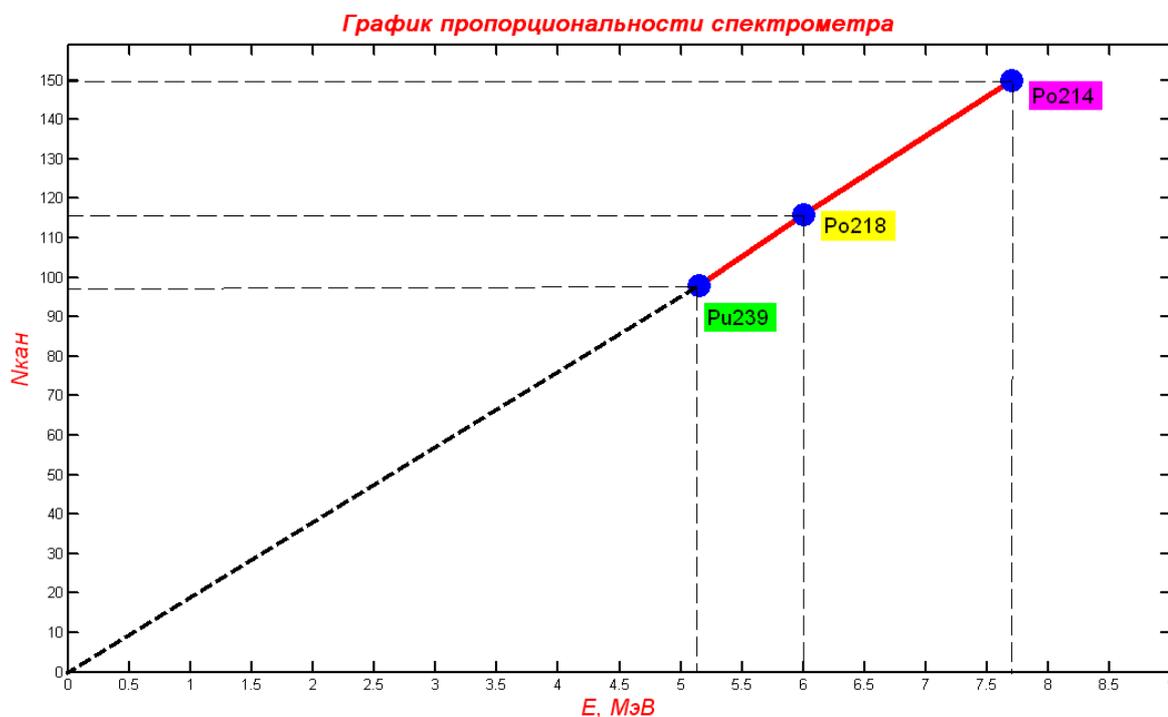


Рис. 22. График проверки пропорциональности работы спектрометра

На графике видно, что точка плутония лежит на прямой, значит наш альфа спектрометр, работает именно в пропорциональной области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Радоновая проблема настоятельно требует своего решения. Анализ литературных данных показал, что существует глобальная проблема воздействия радона и продуктов его распада на здоровье человека. Для уменьшения количества онкологических заболеваний населения в Украине, необходимо провести комплексные мероприятия, программы, а также повысить научно-исследовательский потенциал к данной проблеме, провести ознакомительную работу населения в средствах массовой информации.
2. Для анализа на содержание радона и дочерних продуктов распада в воздухе была сконструирована и применена в исследовательской работе установка спектрометра альфа излучения. Выполнена проверка стабилизации высоковольтного преобразователя, установлен коэффициент усиления на усилителе, а также счетная характеристика обнаружения рабочей области альфа спектрометра.
3. Воспользовавшись энергетическими соображениями полученных результатов, были обнаружены предположительно спектры дочерних продуктов распада изотопов Po^{218} , Po^{214} . Также проверена линейность возрастания амплитуды сигналов, отвечающая параметрам работы пропорциональной области. Качественно с помощью графика из энергетических характеристик была проверена пропорциональность работы спектрометра и обнаружено, что он работает именно в пропорциональной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуковский М.В., Ярмошенко И.В. Радон: Измерение, дозы, оценка риска. Екатеринбург: УрО РАН ИПЭ, 1997. 231 с.
2. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энерго-атомиздат, 1989. 257 с.
3. Новиков Г.Ф. Радиометрическая разведка. Л.: Недра, 1989. 404 с.
4. Публикация 65 МКРЗ “Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах”. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
5. Радиация: Дозы, эффекты, риск: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 79 с.
6. Уткин В.И. Газовое дыхание Земли // Соросовский Образовательный Журнал. 1997. № 1. С. 57–64.
7. Юркова И.А. Особенности изменения концентрации радона в воздухе в зависимости от типа вентиляции // Тр. Конф.
8. МКРЗ, 1990. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 60 МКРЗ, часть 2. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 207 с.
9. МКРЗ, 1994. Защита от радона – 222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
10. НКДАР, 1982. Ионизирующее излучение: источники и биологические эффекты. Доклад НКДАР за 1982 г. ООН. – Нью-Йорк, 1982. т. 1. – 881 с.
11. НКДАР, 1978. Источники и действие ионизирующей радиации. Доклад НКДАР за 1977 г. ООН. – Нью-Йорк, 1978.
12. НКДАР, 1988. Источники, эффекты и опасность ионизирующей радиации. Доклад НКДАР за 1988 г. – М.: Мир, 1992.
13. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). – Минздрав России, 1999. – 116с.
14. Якоби В. (Ja-cobi W.) История проблемы радона в шахтах и домах. В кн.: Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах. Публикация 65 МКРЗ. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – с. 66–76.
15. Mjones L. Thoron in dwellings in Sweden and Japan // SSI news, 1997, v 5, #2, p. 12–13.
16. Материалы российско-финского семинара 25–26 апреля в Санкт-Петербурге.

Сообщения профессора Антти Луукко, Хану Арвела и Анне Воутилайнен (Лапперантский технический университет).

17. Векслер В., Грошев Л., Исаев Б., Ионизационные методы исследования излучений, М. — Л., 1949;
18. Принципы и методы регистрации элементарных частиц, пер. с англ., М., 1963;
19. Калашникова В. И., Козодаев М. С., Детекторы элементарных частиц, М., 1966 (Экспериментальные методы ядерной физики, [ч. 1]).
20. Results of radon-measurements in buildings and recommended action in the Federal Republic of Germany // High Levels of Natural Radiation. – Vienna: IAEA, 1993. P. 353– 363.
21. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters – BEIR IV. – Washington: Acad. Press, 1988.
22. Peto J. Darby S. Lung Cancer – Radon Risk Reassessed // Nature. 1994. V. 368. P. 97–98.
23. Steindorf K., Lubin J., Wichmann H.E., Becher H. Lung Cancer Deaths Attributable to Indoor Radon Exposure in West Germany. // Intern. J. Epidemiol. 1995. V. 24. № 3. P. 485–492.
24. Эммануэль Н.М. Кинетика экспериментальных опухолевых процессов. – М.: Наука, 1977.
25. Гродзинский Д.М., Войтенко В.П., Кутлахмедов Ю.А., Кольтовер В.К. Надежность и старение биологических систем. – Киев: Наукова думка, 1987.
26. Radon: Radon Research Program, FY 1992. – Washington: US Dept. Energy – Oak Ridge Inst., 1993.