МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет физико-математических
и естественных наук

Кафедра
«Общая физика
и методика обучения физике»

Направление подготовки: 44.04.01 «Педагогическое образование»
Магистерская программа: «Физическое образование»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему:

«РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТАРШЕКЛАССНИКОВ ПУТЕМ ПРИВЛЕЧЕНИЯ К ИССЛЕДОВАНИЮ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

Студент _____ Васькин Александр Анатольевич
(подпись, дата) (Ф.И.О. полностью)

Научный руководитель _____ Казаков А.Ю.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Нормоконтролёр _____ ….Казаков А.Ю.
(подпись, дата) (фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от _____ № ___)

Заведующий кафедрой _____ ….Казаков А.Ю.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Работа защищена с отметкой ___ (протокол заседания ГЭК от _____ № ___)

Секретарь ГЭК _____ Паскевич Н.В.
(подпись) (фамилия, инициалы)

Пенза, 2019

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 4

ГЛАВА I ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ 6

1.1. ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ 6

1.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ 7

1.2.1. $\alpha -$ И $\beta -$ЧАСТИЦЫ 7

1.2.2. $\gamma -$ ИЗЛУЧЕНИЕ. 8

1.2.3. НЕЙТРОНЫ 11

1.3. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ 14

1.3.1. ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ 15

1.3.2. ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА 16

1.3.3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЧЕТЧИКИ 17

1.3.4. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ 19

1.3.5. ДАТЧИК АЛЬФА ЧАСТИЦ С ОТКРЫТОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРОЙ 21

ГЛАВА II ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА 24

2.1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ 24

2.1.1. МЕХАНИЗМ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ 24

2.1.2. ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХРОМОСОМЫ 27

2.2. ПАТОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ 28

2.2.1. ОСТРЫЕ И ХРАНИЧЕСКИЕ ПОРАЖЕНИЯ 28

2.2.2. ОБЛУЧЕНИЕ ОРГАНИЗМА ИЗВНЕ 30

2.2.3. ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ 31

2.3. РАЗВИТИЕ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ 33

2.4. ДОПУСТИМЫЕ ДОЗЫ 35

2.5. ДОПУСТИМЫЕ ДОЗЫ ПРИ ОБЩЕМ ОБЛУЧЕНИИ 37

2.6. ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В ВОЗДУХЕ И В ВОДЕ 40
2.7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ОТ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ 40
ГЛАВА III ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТНОЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 42
3.1. РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПУТЕМ ПРОЕКТНОЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ 42
3.2. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ 47
ГЛАВА IV ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ 48
4.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ 48
4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ. 52
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 57

ВВЕДЕНИЕ

Изучение физики атомного ядра, явления радиоактивности имеет огромное познавательное и развивающее значение. Знакомство с методами исследований, применяемыми в квантовой физике, достижениями в этой области раскрывает перед обучаемыми фундаментальные проблемы современной физики, иллюстрирует специфику явлений микромира и применимость к ним фундаментальных физических законов. Традиционно изучение названного раздела вызывает интерес у учащихся, особенно тех, кто планирует в дальнейшем связать свою профессию с изучением физики.

Физика – наука не только теоретическая или экспериментальная, но является одной из ведущих наук с громадными прикладными возможностями, в частности в биологии, экологии. Одной из важных проблем экологии на данный момент является оценка радиоактивного загрязнения окружающей среды и его воздействий на биообъекты, выявление пороговых значений интенсивности таких воздействий. Настоящая работа посвящена исследованию механизмов радиоактивного воздействия на биообъекты, методике измерений данных воздействий и возможности использования полученных результатов в научно-исследовательской работе с обучающимися средней школы. Это и **является целью данной работы**.

Задачами исследования являются:

1) выявить значимые физические воздействия на биологические объекты.

2) выявить механизм воздействия альфа-частиц на биообъекты. Опасные факторы воздействия и сделать оценку их пороговых значений.

3) провести оценку уровня радиоактивного загрязнения продуктов питания

Эти задачи определили и **методы исследования**: знакомство с литературой, анализ физических механизмов взаимодействия излучения и

веществ, теоретические расчеты, сопоставление полученных результатов с известными.

Объектом исследования является процесс изучения физике в среднем звене общеобразовательной школы.

Предмет исследования: развитие познавательной активности у школьников.

Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что разработанные материалы по использованию электронных образовательных ресурсов могут быть использованы в практике обучения физике в школе.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы.

ГЛАВА I ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

1.1. ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ионизирующее излучение определяется как любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к её ионизации, т.е. образованию электрических зарядов разных знаков.

Различают ионизирующее излучение двух видов: корпускулярное и электромагнитное. Корпускулярное излучение – поток частиц с ненулевой массой покоя. Поток частиц с нулевой массой покоя – электромагнитное излучение. К ионизирующему излучению не относятся ультрафиолетовое излучение, однако оно несет собой некоторые риски развития меланомы и ожога роговицы глаза[8].

Корпускулярное излучение представляет собой поток электронов, позитронов, протонов, дейтронов, альфа-частиц, нейтрон и др.. Электромагнитное ионизирующее излучение представлено γ- и рентгеновским излучениями. γ – Излучение состоит из фотонов с относительно большой энергией (обычно больше 500 кэВ). Оно испускается при ядерных превращениях и при аннигиляции частиц. Рентгеновское излучение состоит из фотонов с энергиями, промежуточными между энергиями фотонов ультрафиолетового и γ –излучений (приблизительно 1-500 кэВ)[5].

1.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ

Проникая в вещество, излучение различных типов поглощается в большей или меньшей степени. Механизм поглощения различен для разных видов излучения.

1.2.1. α – И β –ЧАСТИЦЫ

α- и β- частицы теряют свою энергию главным образом в результате непосредственной ионизации встречных атомов.

β- Частицы движутся с большой скоростью. Электромагнитное поле, создаваемое β- частицами, вырывает электроны с внешней атомной оболочки (первичная ионизация). Эти электроны, удаляясь от атомов со значительной скоростью, в свою очередь, создают ионы (вторичная ионизация). После потери скорости β- частица захватывается атомом и образуется отрицательный ион[14,27,28].

Электроны, вырванные с атомной оболочки, замещаются другими электронами. Этот процесс сопровождается испусканием фотонов. Если замещается электрон с внутренней оболочки атома, то возникает характеристическое рентгеновское излучение поглощающего элемента, которое, в свою очередь, способно вызвать вторичную ионизацию[3].

Аналогичным образом происходит ионизация среды в результате поглощения энергии других заряженных частиц: -частиц, протонов, дейтронов и т. п.

Проникающая способность в воздухе β- частиц измеряется метрами, для тяжелых частиц (α, p, d и т. д.) она равна лишь несколько сантиметров[5].

Таким образом, потеря энергии β –частицами происходит на значительно большем пути, чем потеря её α- частицами. Откуда следует, что

α- частицы создают большую плотность ионизации (число ионов на единицу пути), чем β- частицы той же энергии.

В таблице 1 приведены длина пробега в воздухе и плотность ионизации для $\alpha-,\beta-$и γ- излучений одинаковой энергии (2Мэв), создающих на своем пути равное количество ар ионов (60 000 пар ионов; расход энергии на образование одной пары ионов равен 32,5 эв)[1].

Таблица 1. Проникающая способность и плотность ионизации излучения различного типа с энергией 2 Мэв[15].

Тип излучения	Длина пробега в воздухе, м	Плотность ионизации, число ионов на 1 мм
α-Частица	~0,01	6000
β-Частица	~10	6
γ-Квант	~600	0,1

1.2.2. γ – ИЗЛУЧЕНИЕ.

Различают пять механизмов взаимодействия γ –излучения с веществом.

1. Рассеяние. Падающий пучок γ лучей рассеивается во всех направлениях. Это явление, общее для электромагнитного излучения всех длин волн, не сопровождается поглощением и изменением длины волны. Рассеяние падающего пучка во всех направлениях имеет весьма важное значение в свете проблемы защиты от вредного действия γ –лучей[1].

2. Фотоэлектрический эффект. Часть γ –квантов передает свою энергию электронам, вырывая их из атомов и сообщая им некоторую скорость. Этот механизм передачи энергии имеет существенное значение при поглощении мягкого γ – излучения тяжелыми элементами. Фотоэлектрон на своем пути создает ионизацию встречных атомов. Вырванный фотоэлектрон тотчас же замечается другим электроном. Это явление сопровождается испусканием характеристического рентгеновского излучения поглощающего элемента[15].

3. Эффект Комптона состоит в упругом рассеянии фотонов на свободных электронах. При этом часть энергии фотона передается электрону, который изменяет свою первоначальную скорость и направление движения. Направление движения фотона также изменяется, а его энергия уменьшается, т.е. увеличивается длина волны[4,10].

Участвующие в эффекте Комптона электроны затрачивают приобретенную ими энергию на ионизацию встречных атомов. В результате многократного комптоновского рассеяния энергия фотона уменьшается до такого значения, при котором становится возможным фотоэлектрический эффект[6].

Эффект Комптона происходит обычно при средних энергиях фотона и практически не зависит от атомного номера вещества среды. Он наблюдается, в частности, в воздухе и в тканях живого организма[6,7].

4. Рождение пар электрон-позитрон. При взаимодействии фотона с ядром наблюдается исчезновение кванта энергии и одновременный вылет из ядра пары электрон-позитрон; энергия каждой частицы при этом равна 0,51 Мэв. Следовательно, рождение пар возможно лишь при значительной энергии (не менее 1,02 Мэв) падающих фотонов. В тяжелых элементах это явление наблюдается при меньших энергиях фотонов, чем в легких элементах; например в свинце оно наблюдается при энергии больше 5 Мэв, а в алюминии – больше 10 Мэв; при более низких энергиях преимущественную роль играет эффект Комптона[10,22].

Образовавшийся при рождении пары электрон расходует свою энергию на ионизацию атомов среды; позитрон, встречая на своем пути какой-либо электрон, соединяется с ним, и энергия пары превращается в два фотона с энергией 0,51 Мэв. Это явление называется аннигиляцией пары. Фотоны поглощаются средой и вызывают фотоэлектрический эффект[7].

5. Фоторасщепление. Наиболее известной ядерной реакцией этого типа является фоторасщепление дейтрона на протон и нейтрон

$$H_1^2+\gamma \rightarrow H_1^1+n_0^1$$

Такие реакции происходят главным образом на ядрах легких элементов; выход их очень невелик, и поэтому они оказывают очень незначительное влияние на общее поглощение γ –лучей[7].

Таблица 2. Взаимодействие γ- лучей с веществом[38,31,15].

Тип взаимодействия	Взаимодействующие частицы	Элементы, с которыми преимущественно происходит взаимодействие	Удельная энергия, Мэв	Результат
Рассеяние	Атом	-	0	Отсутствие поглощения
Фотоэлектрический эффект	Атомный электрон	Тяжелые	< 1	Фотоэлектрон
Эффект Комптона	Свободный электрон	-	< 5	Электроны отдачи; фотоэлектроны
Рождение пары электрон-позитрон	Ядро	Тяжелые Легкие	> 5 > 10	Электрон, позитрон; аннигиляционное излучение, фотоэлектроны
Фоторасщепление	Ядро	Легкие	> 10	Нейтрон, протон, $\alpha-$ частица.

Интенсивность $\gamma-$ излучения (I), прошедшего через слой вещества толщиной (x), связана с интенсивностью падающего излучения (I_0) следующим соотношением:

$$I=I_0 e^{-\mu x}$$

где $\mu-$ коэффициент поглощения вещества[3,29].

Коэффициент μ можно представить в виде

$$\mu=\tau+\sigma_к+\sigma_ф$$

где $\tau, \sigma_к$ и $\sigma_ф$ – коэффициенты поглощения, обусловленные соответственно фотоэлектрическим эффектом, эффектом Комптона и явлением рождения пар.

С увеличением энергии $\gamma-$ фотона поглощение, связанное с фотоэлектрическим эффектом и эффектом Комптона, убывает, а поглощение, связанное с рождением пар, - возрастает. По этому суммарный коэффициент поглощения μ имеет минимум при некоторой промежуточной энергии фотона (рис. 1). Так для свинца этот минимум наблюдается при энергии, равной приблизительно 3,5 Мэв[5].

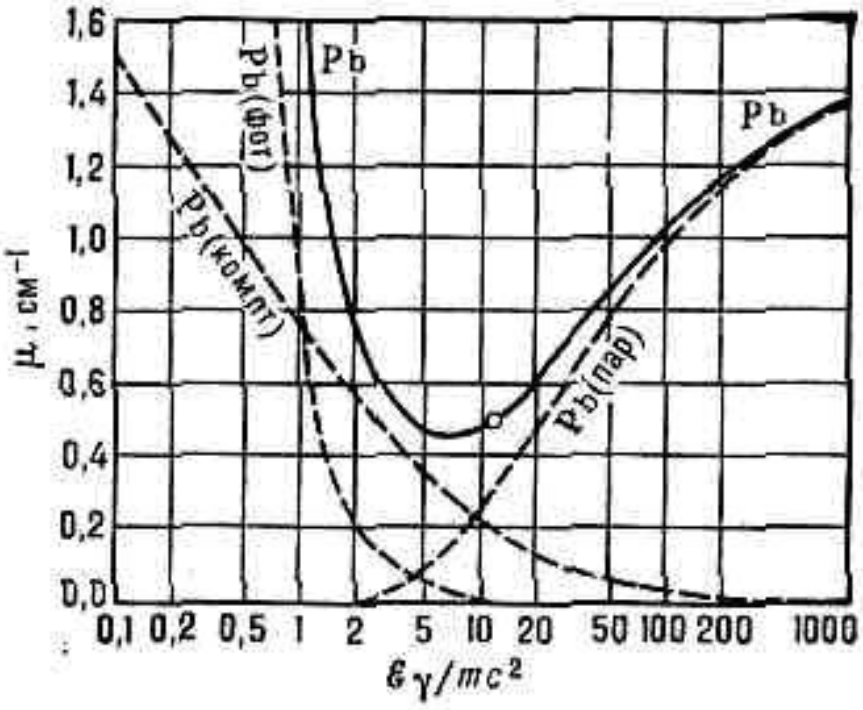


Рис. 1. Поглощение γ –излучения свинцом.

Кривые на рис. 1 показывают, в частности, что для фотонов с энергией до 1 Мэв основной причиной поглощения является эффект Комптона. Отметим, что большинство γ –активных изотопов излучает фотоны с энергией, близкой 1 Мэв.

1.2.3. НЕЙТРОНЫ

При соударении нейтронов с электронами и с атомными ядрами передача энергии происходит лишь в последнем случае.

Различают несколько типов взаимодействия нейтронов с ядрами.

Упругое соударение. При упругом соударении часть энергии нейтрона передается отброшенному ядру (ядро отдачи). Положительно заряженное ядро приобретает при этом большую скорость и ионизирует на своем пути встречные атомы. Упругое соударение нейтрона с ядром подчиняется классическим законам для соударения упругих шаров. В соответствии с этим законом, чем легче атом, тем больше полученная им энергия[37].

Таким образом, наибольшее количество энергии нейтрон теряет при столкновении с протоном. Так, например, для уменьшения интенсивности нейтронного пучка слой воды или парафина толщиной 1 см оказывается более эффективным, чем слой свинца той же толщины.

В результате ряда столкновений энергия нейтронов уменьшается и приобретает значение, равное энергии молекул газа. Нейтроны такой энергии называются **тепловыми нейтронами.**

Среднее число столкновений с ядрами, необходимое нейтрону для замедления от начальной энергии W_i до некоторой конечной W_k, равно

$$\beta = \frac{\ln [W_i / W_k]}{\xi}$$

Где $\xi = \ln[W_n / W_N]$ – средняя логарифмическая потеря энергии на одно столкновение. Значение ξ можно приблизительно вычислит по следующей приближенной формуле;

$$\xi = \frac{2}{A+2/3};$$

Где А – массовое число. В таблице 3 приведены значения ξ и β для некоторых элементов.

Таблица 3. Значение ξ и β для некоторых элементов[5].

Элемент	А	ξ	β
Водород	1	1,000	18
Гелий	4	0,425	43

Бериллий	9	0,209	86
Углерод	12	0,158	114
Кислород	16	0,120	150
Уран	238	0,00838	2172

Неупругое соударение. При неупругом соударении нейтроны проникают в ядро и сообщают ему часть своей кинетической энергии. Возбужденное ядро отдает приобретенную энергию в виде одного или нескольких γ —квантов. Затем попавший в ядро (или какой-либо другой) нейтрон вылетает из него с меньшей энергией. Этот процесс представляет собой реакцию (n, n); он обычно происходит при падении быстрых нейтронов на тяжелые элементы[42].

Радиационный захват [реакция (n, γ)]. При соударении нейтрон поглощается ядром; возбужденное ядро отдает свою энергию в виде γ —излучения; например

$$H_1^1 + n_0^1 \rightarrow H_1^2 + \gamma$$

Этот процесс происходит при падении тепловых нейтронов на элементы любого веса.

Ядерные реакции. Нейтроны способны вызвать целый ряд различных реакций: (n, α), (n, p), (n, 2n) и т.п. Эти реакции происходят главным образом при падении нейтронов большой энергии на легкие элементы. Исключение составляет реакция

$$B_5^{10} + n_0^1 \rightarrow Li_3^7 + He_2^4$$

проходящая при взаимодействии с медленными нейтронами.

Таблица 4. Взаимодействие нейтронов с веществом[15].

Тип взаимодействия	Взаимодействующая частица	Элементы с которыми преимущественно происходят взаимодействия	Нейтроны	результат
Упругое соударение	Ядро	Легкие	Любые	Ядро отдачи
Неупругое	Ядро	Тяжелые	Быстрые	Нейтрон

соударение				
Радиационный захват	Ядро	Любые	Тепловые	γ –лучи
Ядерная реакция	ядро	легкие	Быстрые	Протон, нейтрон, α –частицы и т.д

Так как живые организмы содержат очень много водорода, то быстрые нейтроны легко теряют в нем свою энергию в результате упругих столкновений. Кроме того, при взаимодействии быстрых нейтронов с водородом образуется дейтерий; этот процесс сопровождается испусканием -лучей.

1.3. МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дозиметрия - раздел ядерной физики и измерительной техники, в котором изучают величины, характеризующие действие ионизирующего излучения на вещества, а также методы и приборы для их измерения.(7)

Приборы, используемые в дозиметрии, подразделяются на два типа:

1. Дозиметры - прибор для измерения экспоненциальной, эквивалентной или поглощенной дозы, а также измерения мощности этих величин.

2. Радиометры – приборы измеряющие плотность и энергию потока частиц определенного сорта.

К наиболее распространенным дозиметрам относятся ионизационные камеры, газоразрядные сцинтилляционные и полупроводниковые счетчики. К широко используемым радиометрам принадлежат приборы со счетчиками Гейтера-Мюллера сцинтилляционные и полупроводниковые счетчики.

1.3.1. ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ

Ионизационные камеры являются основным дозиметрическим прибором. Рассмотрим устройство и принцип работы ионизационной камеры.

Простейшая ионизационная камера представляет собой конденсатор, состоящий из двух параллельных пластин, пространство между которыми заполнено воздухом (или газом). К электродам прикладывается напряжение порядка 100 вольт. При отсутствии ионизирующего излучения в промежутке между пластинами, в цепи отсутствует электрический ток, так как приложенное к пластинам напряжение меньше напряжения пробоя (рис. 2) [33].

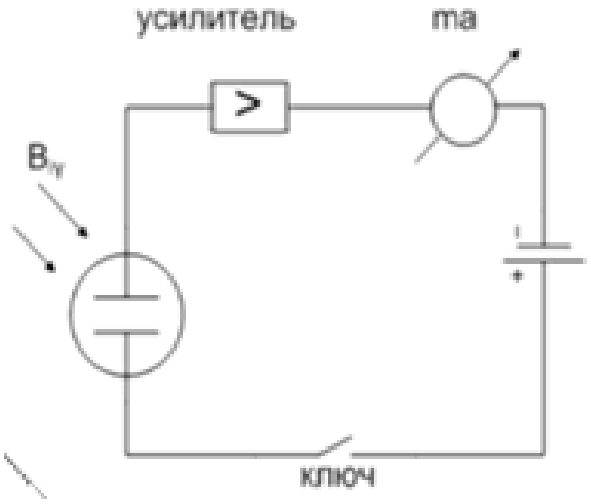


Рис. 2. Устройство простейшей ионизационной камеры

Для акта регистрации нужно получить короткий электрический импульс, который заставляет срабатывать счётчик импульсов. При возникновении ионизации в промежутке между пластинами сопротивление резко падает, в цепи возникает ионизационный ток. В цепи происходит нарастание и спадание тока, что учитывается счетчиками импульсов[37].

Ионизационные камеры являются самыми распространенными детекторами, характеризуются высокой эффективностью ионизации, недостатком является низкая чувствительность. Как правило, ионизационные

камеры используют для регистрации β –частиц, γ –квантов, протонов, электронов и т.д. при этом регистрация α –частиц невозможна из-за небольшой длины пробега в стенках ионизационной камеры. Для регистрации α –излучения используют счетчик Гейгера – Мюллера со слюдяным окошком. Также регистрирование α –излучения можно датчиком с открытой ионизационной камерой (ссылка на статью или часть статьи с артемовских чтений?).

1.3.2. ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

Газоразрядный счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой металлический или стеклянный цилиндр, внутренняя поверхность покрытая металлом, который является катодом. Вдоль оси цилиндра натягивается тонкая металлическая нить диаметром порядка 50 микрон, которая является анодом. При напряжении 100-1000 В между электродами создаётся высокая, крайне неравномерная напряжённость электрического поля: она велика близ нити в области составляющей лишь малую часть общего объема детектора, и значительно меньше в остальном объеме. Попавшие в камеру частицы ионизируют газ, ионы газа движутся к стенкам камеры, а образовавшиеся электроны движутся к аноду, при этом из-за неравномерного электрического поля энергия электронов, при приближении к аноду, резко возрастает, электроны ионизируют встречающиеся на пути атомы газа, этот процесс называют вторичной ионизацией. В таких счётчиках величина тока зависит от уровня ионизирующего излучения[5].

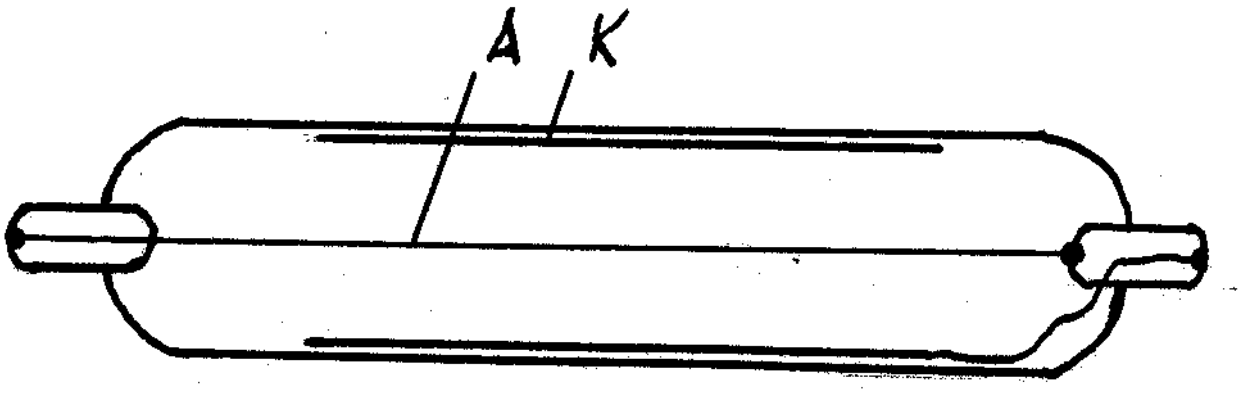


Рис. 3. Устройство ионизационной камеры (или детектора?) счетчика Гейгера-Мюллера.

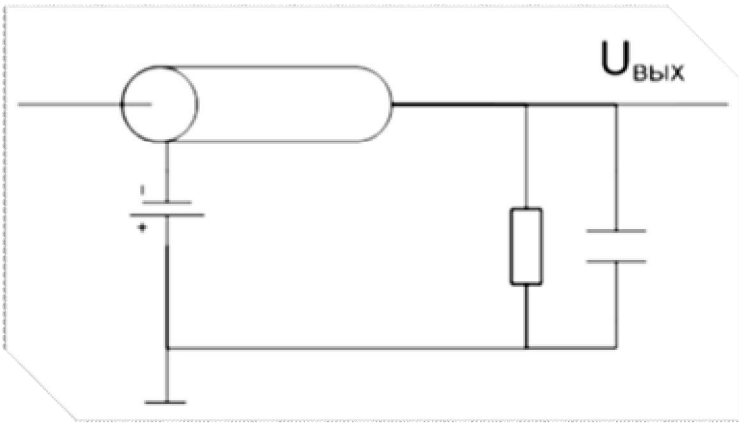


Рис. 4. Устройство простейшего счетчика Гейгера-Мюллера

Счётчики Гейгера-Мюллера характеризуются высокой эффективностью регистрации и большой амплитудой сигнала (около 40 вольт). Недостатки: малая разрешающая способность и большое время восстановления.

1.3.3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СЧЕТЧИКИ

Для изготовления полупроводниковых детекторов используют исключительно кремний или германий, содержащие примесные атомы с тремя или пятью валентными электронами, что позволяет резко увеличить их электропроводимость.

При соединении кристаллов n-типа и p-типа, близ границы между полупроводниками возникает переходный слой, называемый p-n – переходом. Между слоями доноров и акцепторов существует некоторое

электрическое поле, поэтому такую конструкцию можно рассматривать в качестве аналога ионизационной камеры. К данной системе прикладывается внешнее напряжение (плюс к n-области, а минус к p-области), благодаря чему увеличивается ширина обедненного слоя (рис. 5).

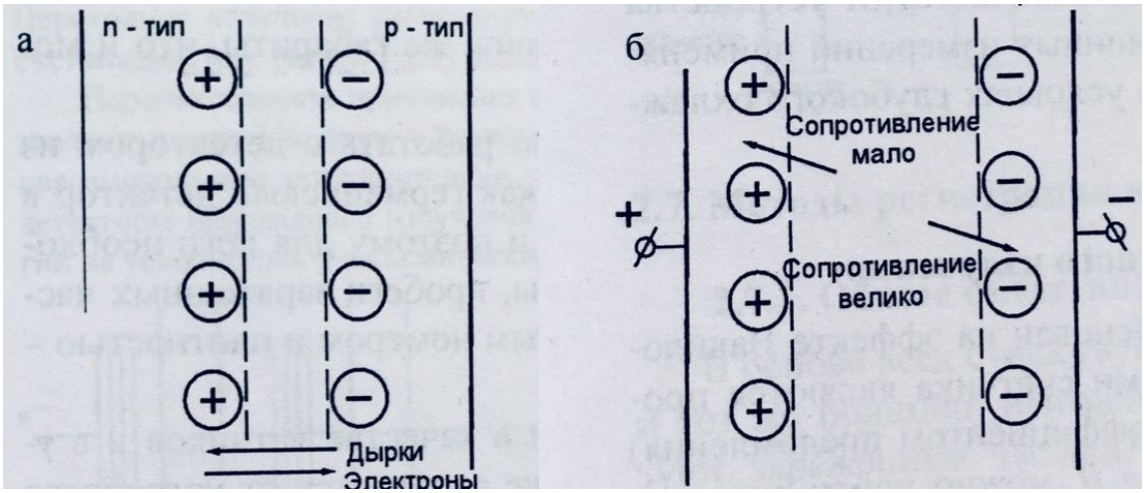


Рис. 5. Схема двойного заряженного переходного слоя (p-n)-перехода
а - до подачи внешнего напряжения; б-после включения обратного напряжения.

При прохождении частицы через обедненный слой в нем происходит ионизация, т.е. образуются электроны и дырки, которые под действием электрического поля дрейфуют к соответствующим электродам. При достижении ими электродов на последних образуется импульс[5]. Как видно, полупроводниковый детектор работает подобно ионизационной камере, при этом средняя энергия ионизации в полупроводнике меньше чем в газе, поэтому образующиеся при регистрации импульсы на порядок больше, что увеличивает точность измерений и облегчает регистрацию[6].

Полупроводниковые детекторы значительно точнее детекторов других типов, однако малая толщина рабочей области не позволяет применять их при измерении частиц высоких энергий. Счетчики с полупроводниковыми детекторами позволяют практически со стопроцентной эффективностью регистрировать сравнительно низкоэнергетические частицы (электроны до 2 Мэв, протоны до 20 Мэв).

1.3.4. СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

Принцип работы сцинтилляционного детектора: при прохождении ионизирующего излучения через некоторые вещества (сцинтилляторы) происходит ионизация и возбуждение атомов. При переходе атомов из возбужденного состояния в основное излучается квант энергии в виде вспышки света (сцинтилляции), которая может быть зарегистрирована различными способами. Как правило, для регистрации вспышек используют фотоэлектрические умножители.

В сцинтилляционных детекторах используются органические и неорганические вещества. В органических сцинтилляторах акты излучения происходят в отдельных молекулах. Ионизирующие частицы возбуждают молекулы органического сцинтиллятора, передавая им часть своей кинетической энергии. Примерно через 10^{-9} с., молекула совершает обратный переход из возбужденного электронного состояния в основное, при этом энергия излучается в виде фотона[5]. Также акты излучения происходят благодаря рекомбинации ионизированных молекул, длительность данного процесса $\approx 10^{-8}$ с.

В неорганических кристаллах-диэлектриках процессы высвечивания связаны с их зонной структурой. Под действием падающей частицы электроны переходят в зону проводимости. В процессе столкновений с решеткой, электрон теряет часть своей энергии и рекомбинирует с ближайшей дыркой. Также электрон может переходить на возбужденный уровень, переходя далее на основной уровень. Время высвечивания неорганических кристаллов на 2-3 порядка больше, чем органических сцинтилляторов (таблица 5).

В настоящее время в сцинтилляционных детекторах использует множество разных веществ: жидкие, твердые, в виде порошков различной плотности. Это позволяет подобрать наиболее подходящий детектор для эффективной регистрации необходимого ионизирующего излучения в

широком диапазоне энергий. В таблице 9 приведены основные характеристики наиболее распространенных сцинтилляторов.

Таблица 5. Характеристики некоторых кристаллических, жидких и пластиковых сцинтилляторов[5].

Кристаллы	Время высвечивания τ, нс	Длина волны λ, нм
Антрацен $C_{14}H_{10}$	30	445
Стильбен $C_{14}H_{12}$	6	410
LiJ(Sn)	1200	450
NaJ(Tl)	250	410
CsJ(Tl)	700	560
Жидкости: Раствор р-терфинила в ксилоле (5 г/л) с добавлением POPOP (0,1 г/л) Раствор р-терфинила в толуоле (4 г/л) с добавлением POPOP (0,1 г/л)	2 2,7	350 430
Пластики: Полистирол с добавлением р-терфинила (0,9%) и α-NPO (0,05 %) Поливинилтолуол с добавлением 3,4% р-терфинила и 0,1% POPOP	2,3 3	400 430

Большое разнообразие существующих детекторов и методов регистрации ионизирующего излучения связано с характером взаимодействия излучения с веществом и различной длиной пробега. Невозможно создать универсальный детектор, который мог бы одинаково хорошо регистрировал бы и γ –кванты, протоны, нейтроны, α – и β –частицы. Проще всего зарегистрировать проникающее γ –излучение, для

этого чаще всего используют счетчики Гейгера – Мюллера, но более эффективными считаются сцинтилляционные детекторы с кристаллическими сцинтилляторами.

Основными преимуществами сцинтилляционных детекторов являются высокая временная разрешающая способность, большая эффективность, достигающая десятков процентов для γ –излучения, а также линейная зависимость амплитуды импульсов от энергии, теряемой действующей частицей на сцинтилляторе.

1.3.5. ДАТЧИК АЛЬФА ЧАСТИЦ С ОТКРЫТОЙ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРОЙ

В рамках магистерской диссертации нами был разработан датчик α –излучения.

Разработанный датчик представляет собой ионизационный открытый детектор, имеющий два электрода – металлическую пластину и находящуюся в непосредственной близости от неё (примерно 0,2 – 0,3 мм.), совокупности параллельных тонких (d $\approx$ 0,05 мм) проволочек (30 – 60 штук). Линейные размеры детектора сравнительно малы: ширина 2,5 см; длина 4 см (Рис 1).

Принцип работы: датчик, через штатный разъем подключается к прибору РКСБ-104, через резистор большого сопротивления, на электроды датчика подаётся напряжение 280 – 320 вольт. При пролёте через пространство между электродами альфа-частицы образуется трек из ионизированных молекул, в котором инициируется разряд между электродами. Ввиду большого сопротивления резистора, через который подключен металлический электрод, разряд быстро прекращается, и через ёмкость С поступает импульс положительной полярности на вход счетного устройства РКСБ-104 (рис 6).

Устройство радиометра показано на рис. 6, 7.

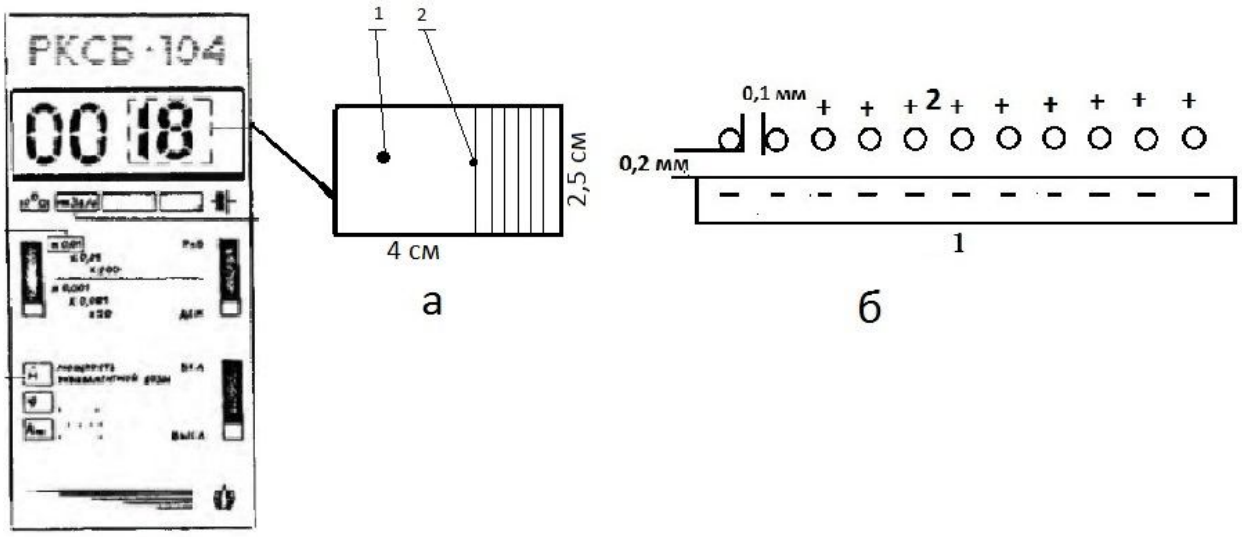


Рис 6. Устройство радиометра (РКСБ-104 с датчиком). а) проекция датчика сверху. б) проекция датчика с боку. 1- пластина. 2 – витки проволоки.

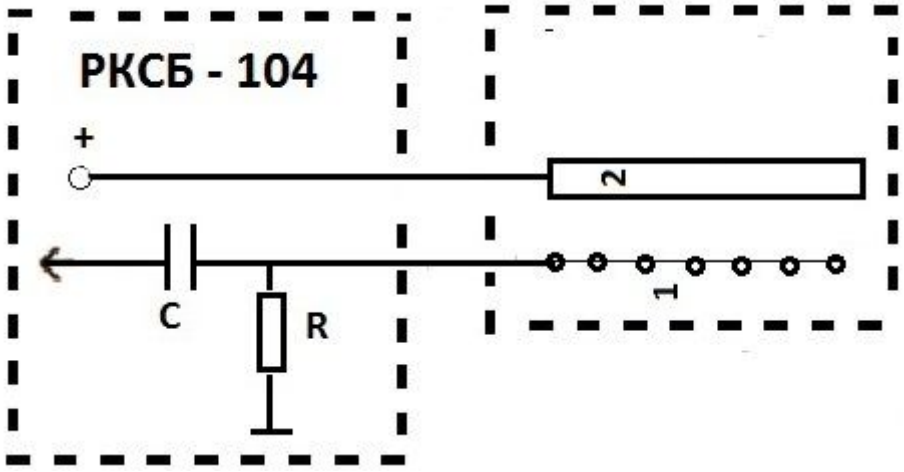


Рис. 7. Устройство радиометра (РКСБ-104 с датчиком).

Достоинство данной конструкции:

1. Устройство регистрирует α –частицы с энергией от 1,5 МэВ;

2. Не регистрирует β –частицы и γ –излучение, ввиду того, что эти виды излучения не создают достаточную плотность ионизации;

3. Датчик легко подсоединяется к дозиметру РКСБ-104, через его штатный разъем;

4. Прибор является автономным – не требуется подключение к сети, или, с целью экономии батареи, возможно подключение к сети через адаптер 9 В;

5. Простота конструкции и реализации измерений;
6. Небольшая себестоимость конструкции.
7. Удобство хранения.

ГЛАВА II ВОЗДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

2.1. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

2.1.1. МЕХАНИЗМ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

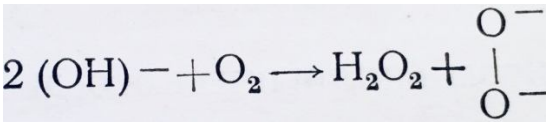
Поглощение различных типов излучения, в конечном счете, приводит к ионизации атомов среды. Заряженные частицы (α, β, р и т.д.) непосредственно ионизирует среды; электрически нейтральное излучение (γ, рентген, нейтроны) ионизируют атомы среды в результате вторичных процессов.

Биологическое действие излучения, в первую очередь, рассматривается как результат ионизации атомов живой материи. В результате ионизации атомы приобретают значительную химическую активность и в клетках животных происходят изменения, оказывающиеся в большинстве случаев гибельными. Хотя относительное число ионизированных атомов по сравнению с общим числом атомов в клетке ничтожно, однако абсолютное их число весьма значительно. Так, например, смертельная доза рентгеновских лучей для человека (500 r) создает в клетке около миллиона ионизированных пар, при общем числе атомов в клетке 10^{14}, т.е. на один ионизированный атом приходится сто миллионов неионизированных[5].

Т.к. среднее время жизни иона исчисляется микросекундами, все первичные химические реакции должны происходить, тот час же после образования иона, в месте его образования.

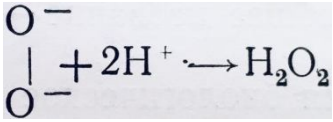
Если все молекулы в клетке обладают одинаковой вероятностью быть ионизированной, то вероятность ионизации будет наиболее велика для молекул воды.

Первичное явление, вызываемое ионизацией, заключается в переносе одного электрона из каждого иона гидроксила в молекулу кислорода, что ведет к ионизированной дважды заряженной молекуле кислорода:



$$2\,(OH)^- + O_2 \longrightarrow H_2O_2 + \begin{matrix} O^- \\ | \\ O^- \end{matrix}$$

При этом образуется перекись водорода, что сопровождается понижением pH. Ионизированная молекула кислорода может, в свою очередь. Вступить в реакцию либо с окисляющимся веществом, либо с ионом водорода. В результате последней реакции также образуется перекись водорода:



$$\begin{matrix} O^- \\ | \\ O^- \end{matrix} + 2H^+ \longrightarrow H_2O_2$$

Так же возможна следующая реакция:

$2H_2O \rightarrow H_2O_2 + 2H$ (активный водород)

Активный водород способен соединяться с кислородом, содержащимся в среде, и снова дать молекулу воды, причем любой другой акцептор водорода играл бы такую же роль, как кислород.

Возможны и такие реакции:

$H_2O^+ \rightarrow H^+ + OH$

$H_2O^- \rightarrow H + OH^-$

Неустойчивые радикалы H и OH могут соединяться, образуя H_2O_2 и H_2.

Неустойчивые радикалы и пероксид водорода могут вступать в соединение с растворенными веществами. Так, OH может окислить ион двухвалентного железа в ион трехвалентного, превращаясь при этом в OH^-:

$Fe^{++} + OH \rightarrow Fe^{+++} + OH^-$

Все образующиеся продукты реакций пагубно влияют на клетку, которая может существовать в весьма узких пределах химических условий.

Важное значение, по мнению П. Жено в этом случае играют возможные реакции пероксида водорода с ферментами клетки, т.к. жизнедеятельность

клетки зависит от протекающих в ней химических реакций, которые регулируются ферментами. Являясь катализаторами, ферменты способны оказывать влияние на все химические реакции, присутствуя даже в ничтожных количествах. Торможение активности ферментов нарушает химическое равновесие в клетке и приводит её к гибели[15].

Перекись водорода окисляет SH-группу сульфгидрильных ферментов, подавляя их активность. Восстановление активности может быть достигнуто действием глутатиона[26].

Раньше считалось, что торможение активности ферментов не должно играть заметной роли в механизме биологического действия ионизирующего излучения, так как дозы, необходимые для инактивации растворов ферментов, значительно превышают дозы, вызывающие изменения живой клетки. Однако Питер Митчелл показал, что терапевтические дозы рентгеновских лучей тормозят синтез тимонуклеиновой кислоты в ядре, а также накопление рибонуклеидов в цитоплазме[8].

Это явление вызвано торможением активности ферментов, обуславливающих восстановление в ядре рибонуклеидов в дезоксирибонуклеотиды.

Ядро теряет способность синтезировать хроматин, что приводит к его гибели, а затем и к гибели всей клетки. При этом гистологические изменения наблюдаются сначала в ядре – вещества ядра свертываются (пикноз), ядерная оболочка разрывается (кариорексис), а затем наступает разжижение цитоплазмы[40].

Таким образом, ядро оказывается наиболее чувствительным к излучению клеточным органоидом. Оно представляет собой чувствительную зону, или жизненный центр клетки. Чем богаче клетка ядерным веществом, тем выше её чувствительность к действию излучения; примером этому может служить клетка в состоянии деления.

Ядерное вещество распределено в ядре в виде образований величиной 10^{-6} м, носящих названия хромосом. В процессе деления клетки (рис. 8А)

каждая хромосома продольно расщепляется на две части, которые расходятся к противоположным полюсам клетки. Цитоплазма перетягивается в середине. Таким образом, клетка делится на две дочерние, каждая из которых обладает ядром.

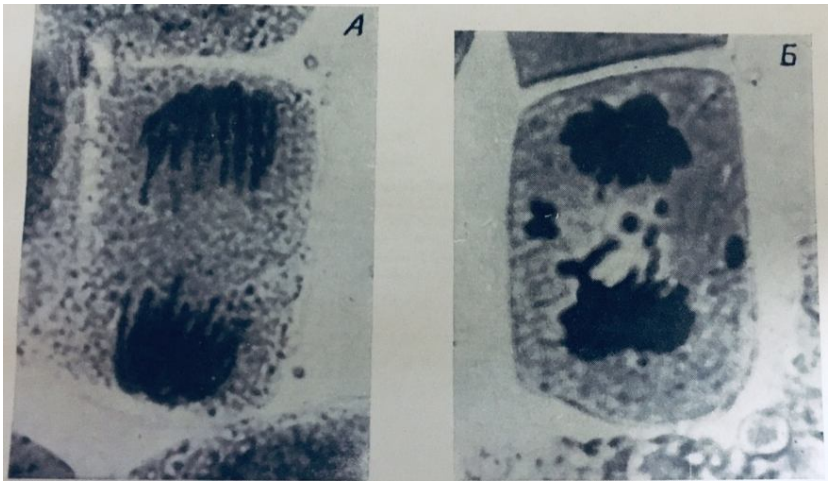


Рис. 8. Действие ионизирующего излучения на хромосомы
А – нормальная клетка в процессе деления.
Б – облученная клетка (1500 r) в процессе деления. Та же стадия деления.

2.1.2. ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ НА ХРОМОСОМЫ

Ионизация молекул хромосом приводит к разрыву или перестройке пораженных хромосом. Фрагменты разорванной хромосомы рассеиваются по цитоплазме и в дочерних клетках уже не обнаруживаются (рис. 8Б).

Чем выше плотность ионизации, тем больше число пораженных хромосом и, следовательно, тем сильнее гибельное действие излучения. Эта зависимость справедлива лишь в отношении различных доз излучения определенного тип. По сравнению же различных типов излучения оказывается, что одинаковые дозы создают различный эффект. Это различие в действии излучения связано с плотностью ионизации. Так, при сравнении эффективности $\alpha -$ и $\beta -$излучения оказывается, что при равных дозах $\alpha -$частицы действуют на клетки значительно сильнее чем $\beta -$ частицы. Объясняется это тем, что ионизация на единицу пути, создаваемая

α —частицами, значительно выше, чем ионизация создаваемая β — излучением. Так, наблюдая следы частиц в камере Вильсона, мы увидим, что плотность следов β —частиц значительно меньше плотности следов α —частиц. Разрыв хромосом возможен в результате достаточно сильной ионизации. Если толщина хромосом равна примерно 10^{-7}м, а плотность ионизации, создаваемой $\alpha -$ и β —излучением (при прохождении слоя ткани толщиной 10^{-7}м), равна соответственно 1000 и 1, то, следовательно, при равных дозах действие α —частиц будет значительно сильнее действия β —излучения. Эффективность различных типов излучения возрастает с увеличением плотности создаваемой или ионизации; наименее эффективно γ- излучение, затем идут рентгеновские лучи, β —частицы, нейтроны и, наконец, α —частицы.

2.2. ПАТОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

2.2.1. ОСТРЫЕ И ХРАНИЧЕСКИЕ ПОРАЖЕНИЯ

Поражения, вызванные облучением, бывают либо острыми, либо хроническими.

Острые поражения наступают в результате действия больших доз излучения в течение короткого промежутка времени. Подобные острые случаи, практически неизвестные до августа 1945 г. (за исключением гибели двух человек при проведении работ по созданию атомной бомбы в Лос-Аламосе), многократно наблюдались среди жертв взрыва атомных бомб в Японии, среди пожарных и военных устранявших последствия аварии на чернобыльской АЭС. Клиническую картину острого поражения можно разделить на три фазы.

I. Спустя несколько часов после облучения появляются признаки поражения. Это симптомы, связанные с нарушением пищеварения – тошнота, рвота, стабильная слабость.

II. Спустя несколько часов эти недомогания исчезают

III. После некоторого латентного периода, продолжительность которого тем меньше, чем меньше доза, возобновляются симптомы нарушения пищеварения. Они сопровождаются инфекционными заболеваниями, кровотечениями, выпадением волос и серьезными изменениями химического состава крови[8].

Хронические поражения наступают в результате многократного воздействия малыми дозами, они не проявляются так бурно, как острые изменения, а развиваются в скрытой форме. Хронические поражения бывают как местными, так и общими.

1) Среди местных поражений чаще всего встречаются повреждения кистей рук. Вначале кожа около ногтей становится красной и блестящей; изменяется выпуклость ногтевой пластины и ноги становятся ломкими. Затем наступают атрофические изменения кожи пальцев, в особенности большого и указательного, папиллярный рисунок сглаживается (рис. 9). Часто наблюдается выпадение волос на пальцах, а также пигментация кожи рук. Затем на пальцах образуются изъязвления, которые\могут привести к развитию злокачественной опухоли. Указанные изменения сопровождаются нарушениями чувствительности кончиков пальцев[15].

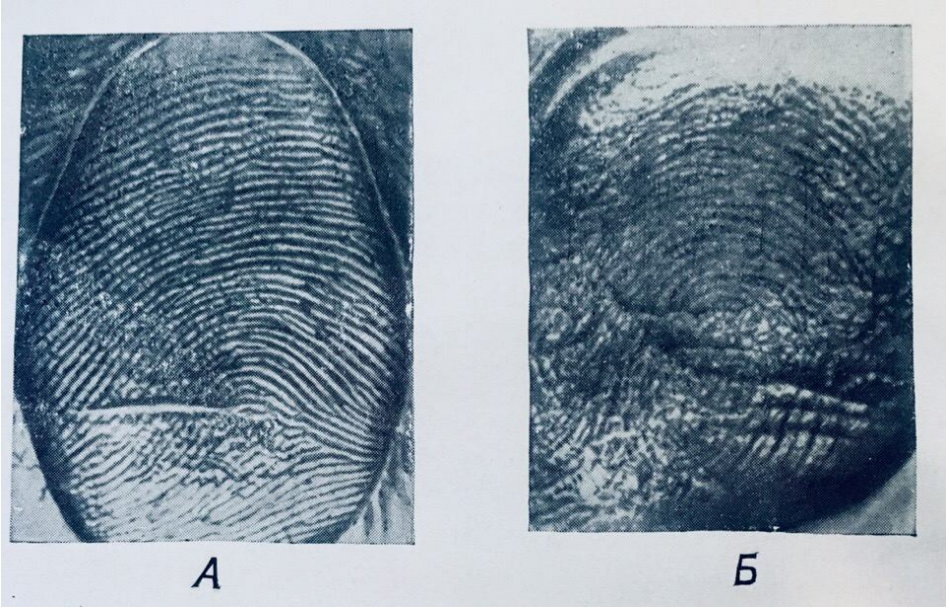


Рис. 10. Влияние излучения на папиллярный рисунок пальцев
А – папиллярный рисунок нормального пальца. Б – отпечаток пальца зубного врача который в течении 20 лет производил рентгеноскопию зубов, придерживая пленку во рту больного пальцем.

2) Общие поражения часто связаны с заболеваниями крови (лейкоцитоз, лимфоцитоз, лейкемии различных типов, эритроцитоз, апластическая анемия и т.п.).

Радиоактивные изотопы

Переходя к более подробному рассмотрению действия радиоактивных изотопов, следует иметь в виду, что они могут оказаться внутри организма или действовать на него извне.

2.2.2. ОБЛУЧЕНИЕ ОРГАНИЗМА ИЗВНЕ

Различные типы излучения (α, β, γ) радиоактивных изотопов при действии на организм извне вызывают неодинаковые явления, что связано с различной проникающей способностью этих излучений.

В таблице 1 были приведены данный о пробегах в воздухе излучений одинаковой энергии (2 Мэв). На основании этих даных можно сделать следующие выводы.

1. α –Частицы проникают в кожу лишь на глубину в несколько микрон. Затем они задерживаются роговым слоем кожи, не вызывая никаких поражений этого слоя.

2. Проникающая способность β –излучения в ткани равна нескольким миллиметрам; поэтому оно в значительной мере поглощается кожей. Вызванные β –частицами поражения, как правило, локализованы в кожном покрове.

3. Проникающая способность γ –излучения равна нескольким метрам; поэтому оно проникает во все органы и ткани и вызывает их поражение.

2.2.3. ВНУТРЕННЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

Внутреннее облучение происходит в тех случаях, когда изотоп попадает в организм в результате заглатывания, вдыхания, проникновения через ранку или ожог. Так как биологическое действие излучения пропорционально плотности ионизации, то вследствие большой ионизирующей способности α –излучение оказывается наиболее опасным. Менее опасно β –излучение. γ –Излучение, энергия которого растрачивается на большом пути, представляет при прочих равных условиях наименьшую опасность[41].

Проникая в организм, некоторые изотопы (Na^{24}, C^{14}) распределяются в нем равномерно. Другие же избирательно отлагаются в тех или иных органах и тканях, главным образом в щитовидной железе (I^{131}) и костях ($Ba^{140}, Sr^{89}, Ra^{226}$).

Вредное действие изотопов определяют следующие условия.

1. Способ проникновения в организм. Почти все продукты деления ядер, а также плутоний гораздо опаснее при вдыхании, чем при заглатывании, вследствие их слабого проникновения сквозь слизистую органов пищеварения. Радий же одинаково опасен как при вдыхании, так и при

заглатывании. Всасывание радиоактивных изотопов в кишечнике связано с их растворимостью в жидкостях организма.

2. Активность изотопов.

3. Тип испускаемого излучения. Наиболее опасны α –частицы вследствие их большой ионизирующей способности; затем идут β –излучатели; При прочих равных условиях γ –излучение считается наименее вредоносным.

4. Энергия излучения.

5. Локализация изотопа в организме. Так, йод накапливается в щитовидной железе; радиоактивный натрий, напротив, легко распространяется по всему организму, и поэтому его действие аналогично общему облучению[32].

6. Скорость выделение изотопа. Радиоактивный натрий выделяется из организма чрезвычайно быстро, тогда как изотопы стронция и плутония надолго остаются в нем.

Номер	Изотоп	Период полураспада	Энергия, Мэв		Основные области применения	Пути изотопа в обмене веществ								
			β	γ		при заглатывании			при вдыхании			при парентеральном введении		
						поглощение	локализация	выделение	поглощение	локализация	выделение	поглощение	локализация	выделение
1	H^3	12 лет	0,014	—	Индикатор H; вспомогательный индикатор C	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	C^{14}	5100 лет	0,154	—	Индикатор органических соединений	X	Кость (слабо) X	Легкие, кал, моча	X	Кость (слабо) X	Легкие, кал, моча	X	Кость (слабо) X	Легкие, кал, моча
3	Na^{24}	14,8 часа	1,4	1,4; 2,8	Обмен Na; диагностическое средство	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча
4	P^{32}	14,3 дня	1,69	—	Терапевтическое средство; обмен P; индикатор PO_4	Сильное	Кость (средне)	Моча	Сильное	Кость (средне)	Моча	Сильное	Кость (средне)	Моча
5	S^{35}	87,1 дня	0,17	—	Индикатор серусодержащих медикаментов; аналитическая химия	X	Печень, белки	Моча	X	Печень, белки	Моча	X	Печень, белки	Моча
6	Cl^{36}	10^5 лет	0,66	—	Химия Cl; индикатор газа	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча	Сильное	Жидкости организма (сильно)	Моча
7	K^{42}	12,4 часа	75%—3,58 25%—2,07	1,51 (25%)	Индикатор соединений, содержащих K	Сильное	Кровь (сильно), мышцы	Моча	Сильное	Кровь (сильно), мышцы	Моча	Сильное	Кровь (сильно), мышцы	Моча
8	Ca^{45}	180 дней	0,25	—	Изучение локализации Ca; аналитическая химия; исследование сплавов		Кость (сильно)	Кал, моча		Кость (сильно)	Кал, моча		Кость (сильно)	Кал, моча
9	Mn^{52} Mn^{54}	6,5 дня 310 дней	K, e^+ K	0,56; 0,73; 1,46 0,835	Индикатор в биологических исследованиях			Кал			Кал			Кал
10	Fe^{55} Fe^{59}	4 года 44 дня	K 0,26; 0,46	0,07 1,1; 1,3	Индикатор железа в медикаментах; химия крови Химия железа		Кровь (сильно)	Кал		Кровь (сильно)	Кал		Кровь (сильно)	Кал
11	Co^{60}	5,3 года	0,3	1,1; 1,3	Индикатор в биологических исследованиях; источник γ-излучения; химия Co; исследование сплавов		Кость (?), печень	Моча, кал		Кость (?), печень	Моча, кал		Почки, печень	Моча, кал
12	Cu^{64}	12,8 часа	0,583—0,665*	1,2 (слабое)	Индикатор в биологических исследованиях; исследование сплавов; химия Cu	X	Печень (средне)	Моча, кал	X	Печень (средне)	Моча, кал	X	Печень (средне)	Моча, кал
13	As^{76} As^{77}	26,8 часа 40 час.	1, 1; 1,7; 2,7 0,8	0,57; 1, 25 —	Индикатор медикаментов, содержащих As Исследование сплавов	Слабое	Кость (средне), волосы (слабо)	Кал, моча	Слабое	Кость (средне), волосы (слабо)	Моча	X	Кость (средне), волосы (слабо)	Моча
14	Sr^{89} Sr^{90}	55 дней 25 лет	1,5 0,65	— —	Химия Sr		Кость (сильно)	Кал, моча	X	Кость (сильно)	Кал, моча	X	Кость (сильно)	Кал, моча
15	J^{130} J^{131}	12,6 часа 8 дней	0,61; 1,03 0,6	0,42; 0,54; 0,67; 0,74 0,367; 0,080	Индикатор для изучения и терапевтическое средство для лечения заболеваний щитовидной железы Химия J	Сильное	Щитовидная железа (20%)	Моча	Сильное	Щитовидная железа (20%)	Моча	Сильное	Щитовидная железа (20%)	Моча
16	Ba^{133} Ba^{140}	12 дней 12,8 дня	K, e^- 1,05	1,2 (слабое) 0,542	Аналитическая химия		Костный мозг	Кал		Костный мозг	Кал		Костный мозг	Кал
17	Au^{196} Au^{197}	2,7 дня 3,3 »	0,97 1,01	0,44 0,45	Исследование сплавов Химия Au	X	Печень (средне)	Кал, моча	X	Печень (средне)	Моча	X	Печень (средне)	Моча
18	Hg^{197} Hg^{203}, ^{205}	64 часа 125 час. 51,5 дня	K, e^- K, e^- 0,3	0,075 0,13; 0,16 0,28	Источник γ-излучения Исследование сплавов	X	Печень, почки		X	Печень, почки		X	Печень, почки	
19	Bi^{210}	5 дней	1,17	—	Индикатор медикаментов, содержащих B	Слабое	Почки, печень		Слабое	Почки, печень		Слабое	Почки, печень	

X – степень поглощения зависит главным образом от вида соединения, в состав которого входит изотоп

Рисунок 11. Свойства наиболее распространенных радиоактивных изотопов

2.3. РАЗВИТИЕ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ

Канцерогенное действие излучения было известно уже давно. Действительно, первые сообщения о заболеваниях раком появились спустя несколько лет после открытия рентгеновских лучей и явления радиоактивности. Впоследствии число злокачественных новообразований у людей, подвергающихся действию ионизирующего излучения (рентгенологи, радиологи, больные, прошедшие курс рентгено- или радиотерапии), сильно возросло. Это заставило ввести весьма серьезные обязательные меры предохранения от действия излучения, в результате чего число заболевании раком среди этих людей значительно снизилось.

Вместе с тем излучение использовалось для искусственного получения у животных самых разнообразных злокачественных опухолей в надежде приблизиться к разрешению загадочной проблемы патогенеза рака. Эти исследования привели к следующим заключениям[8].

1. Все виды ионизирующего излучения, как электромагнитное (рентгеновское, γ и даже ультрафиолетовое), так и корпускулярное (α, β, нейтроны), являются канцерогенными.

2. Вероятность заболевания раком при наружном облучении очень мала.

3. Злокачественные опухоли никогда не появляются непосредственно после облучения; до появления опухоли должен пройти скрытый период, продолжительность которого тем больше, чем больше продолжительность жизни данного вида организмов. У человека этот период составляет 10—20 лет, у мышей - несколько месяцев.

4. Хотя злокачественные опухоли развиваются обычно после многократного облучения, известно немало случаев заболевания раком после однократного облучения[33].

5. Некоторые факторы способствуют заболеванию раком, например очаги воспаления, наследственное предрасположение.

Обычно злокачественные новообразования поражают следующие органы и ткани.

Кожа. Карциномы и саркомы развиваются главным образом в результате внешнего облучения. Чаще всего раковые опухоли являются следствием дерматита, вызванного облучением. Среди 135 врачей, обследованных в клинике Майо в период с 1919 по 1939 г. по поводу дерматита, у 39 человек (29%) был найден рак кожи. Саундерс и Монтгомери установили, что среди 259 больных дерматитом, вызванным облучением, более 10% страдает раком, чаще всего связанным с неправильным лечением. Следует отметить, что среди этой группы больных только у 33 человек дерматит являлся следствием глубоко расположенного рака, тогда как у 181 человека заболевание наступило в результате облучения доброкачественных кожных поражений.(жено)

Скелет. Остеосаркомы развиваются главным образом в результате проникновения радиоактивного изотопа внутрь организма, являясь результатом отложения изотопа в кости.

Легкие. Уже давно была отмечена необычайно высокая заболеваемость раком легких у шахтеров, добывающих радиоактивные руды. Донерт и Хук указывают, что у 3094, животных, помещенных в такие шахты, развились злокачественные опухоли[8].

Кроветворные органы. В этих органах развиваются лимфоидная и миелоидная саркома, лимфоидная и миелоидная лейкемия. В 1944 г. Хеншоу и Хоукинс установили[15], что заболевание лейкемией у врачей наблюдается примерно вдвое чаще, чем у лиц других профессий. Марч нашел, что число заболеваний лейкемией среди рентгенологов в 10 раз выше числа заболеваний среди врачей других специальностей.

Наследуемые изменения

Возникновение таких изменений зависит от общей дозы облучения. В самом деле, частота мутаций, вызванных облучением, пропорциональна полученной дозе, независимо от того, дана ли она сразу или несколькими

порциями. Так, например, у дрозофилы облучение дозой 150 г приводит к удвоению числа новых мутаций. Действие излучения носит кумулятивный характер. Вызванные изменения неизгладимы, не восстановимы и передаются из поколения в поколение. Не существует пороговых доз, т.е. даже очень малые дозы могут сказаться на структуре ДНК[35,37].

Все указанные эффекты наблюдались на животных. На людях такие исследования чрезвычайно сложны по многим причинам: слишком большая продолжительность жизни, слишком малочисленное потомство, трудности экспериментального контроля[8].

2.4. ДОПУСТИМЫЕ ДОЗЫ

Допустимые дозы выражаются через некоторые единицы. Единицей активности служит кюри.

Поглощенная доза - это количество энергии, которая была получена веществом от ионизирующего излучения. Для измерения поглощенной дозы используется единица Грей (Гр)[41].

1 Грей - это энергия ионизирующего излучения (в джоулях), которая поглощена облучаемым веществом массой 1 кг.

1 Грей (Гр) = 1Дж/кг.

Поглощенная доза характеризует количество энергии, которую получил организм при облучении, и не учитывает степень воздействия различных видов радиоактивного излучения.

Экспозиционная доза - величина, характеризующая степень ионизации вещества. Единицей измерения экспоненциальной дозы служит величина Кулон/кг[26].

$$1\ \frac{\text{кулон}}{\text{кг}} = 3{,}88 \cdot 10^3\ \text{Рентген}.$$

При облучении дозой в **1 Рентген** образуется $2{,}083 \cdot 10^9$ пар ионов на кубический сантиметр воздуха.

При одинаковом поглощении энергии биологическое действие излучения меняется в зависимости от типа излучения. В частности, биологическое действие зависит от плотности ионизации, например большая плотность ионов на коротком пути α —частицы оказывает более разрушительное действие, чем редко расположенные ионы, созданные β —частицами равной энергии. То же самое можно сказать и о нейтронах, которые, обладая вследствие отсутствия заряда такой же проникающей способностью, как и γ — излучение, вместе с тем благодаря возникновению протонов отдачи создают, значительную плотность ионов. Таким образом, для оценки степени влияния различных видов радиоактивного излучения на организм необходимо учитывать и плотность ионизации излучений. Степень ионизации (количество пар ионов на единицу пути) может отличаться не только от вида излучения, но и от энергии одного и того же вида излучения. Поэтому для оценки степени облучения живых тканей было введено понятие **эквивалентной дозы**.

Эквивалентная доза - это поглощённая живой тканью доза радиации, умноженная на коэффициент качества излучения k, учитывающий степень опасности различных видов радиации. Эквивалентная доза измеряется в Зивертах (Зв)[14].

Таблица 6. Значения коэффициента качества ионизирующего излучения для различных видов излучения[6].

Вид излучения и диапазон энергий	Коэффициент качества излучения «k»
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией: $\leqslant$10 кэВ От 10 до 100 кэВ От 100 кэВ до 2 МэВ От 2 МэВ до 20 МэВ $\geqslant$20 МэВ	 5 10 20 10 5

Протоны с энергией >2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20

Чем выше "коэффициент k" тем опаснее действие определенного вида радиации для тканей живого организма.

Эффективная доза определяется как сумма взвешенных эквивалентных доз во всех тканях и органах человека.

$$H_э = \sum W_T H_T$$

Использование понятий эффективной дозы позволяет учесть относительный риск облучения различных органов. Эффективную дозу можно представить в виде дважды взвешенных поглощенных доз во всех тканях и органах тела. Значения тканевых весовых множителей приведены в таблице 7.

Таблица 7. Тканевые весовые множители[5]

Ткань или орган	Тканевый весовой множитель
Половые железы	0,20
Красный костный мозг	0,12
Толстый кишечник	0,12
Легкие	0,12
Желудок	0,12
Мочевой пузырь	0,05
Молочные железы	0,05
Печень	0,05
Пищевод	0,05
Щитовидная железа	0,05
Кожа	0,01
Поверхность костей	0,01
Остальные органы	0,05

2.5. ДОПУСТИМЫЕ ДОЗЫ ПРИ ОБЩЕМ ОБЛУЧЕНИИ

В 1936 году американским консультативным комитетом защиты от радиации была введена допустимая доза рентгеновского и γ –излучения. Она

равна 0,1 рентген или 1 мЗв в сутки. Эта доза примерно в 500 раз больше дозы, действующей на организм человека в естественных условиях и создаваемых космическими лучами и излучением элементов, обладающих естественной радиоактивностью.

На данный момент допустимые нормы облучения существенно ниже. В таблице 8 приведены значения допустимых доз облучения согласно публикации 60 МКРЗ.

Таблица 8. Допустимые дозы облучения[5]

Принятая доза излучения	
20 мкЗв/час	Нормальная доза
1 мЗв/год	Установленная норма фонового облучения за год
5 мЗв/год	Допустимое облучение медицинского персонала
50 мЗв/год	Допустимое облучение персонала атомных электростанций
100 мЗв	Допустимое аварийное облучение населения (разовое)
250 мЗв	Допустимое аварийное облучение персонала (разовое)
750 мЗв	Возможно незначительное изменение состава крови
1 Зв	Низший уровень развития легкой степени лучевой болезни
4,5 Зв	Тяжелая степень лучевой болезни
7 Зв	Однократно полученная доза считается смертельной

Следует отметить, что при различных условиях чувствительность к излучению может меняться. Существует возможность уменьшения индивидуальной чувствительности путем повышения содержания в крови анаболических гормонов, тиомочевины, цианатов, а так же антиоксидантов (аскорбиновая кислота, витамин Е и т.д.)[15]. Кроме того, чувствительность к ионизирующему излучению уменьшается с возрастом.

Приведенные выше данные для населения и профессиональных рабочих считаются безопасными даже в тех случаях, когда люди подвергаются воздействию излучения на протяжении многих лет подряд. Однако до сих

пор нет достоверных данных, что действие излучения не проявится в последующих поколениях.

Исходя из этого, допустимые дозы нужно рассматривать как максимальные разрешенные дозы и следует постоянно стремиться к тому, чтобы персонал получал как можно меньшие дозы. Так, например, меры предосторожности, принимаемые при работе с ядерным реактором, настолько эффективны, что дозы облучения, получаемые персоналом, равны по порядку величины дозам, создаваемым космическими лучами на высоких горах (К. Морган). Санитарные условия на таких предприятиях лучше, чем в большинстве других отраслей промышленности

Весьма существенно дробление дозы; в этом отношении действие излучения аналогично действию обычных медикаментов. Облучение раз в год дозой 0,365 зв столь же опасно, как и единовременный прием 365 доз лекарств, рассчитанного на ежедневный прием. Вместе с тем хорошо известно, что эффекты, обусловленные одинаковыми дозами излучения, в значительной степени зависят от того, получены ли эти дозы сразу или в несколько сеансов. Больные часто получают суммарные дозы. Так, персонал рентгенологических кабинетов, ежедневно подвергающийся действию допустимой дозы, получит в течение 15 лет дозу, равную 4,5 Зв, т.е. практически смертельную при разовом облучении дозу. Такая приспособляемость организма объясняется тем, что при действии малых доз вызываемые ими поражения полнее восстанавливаются и не влекут за собой тяжелых расстройств[6].

Наконец, отметим, что приведенные величины предполагают общее, а не локальное облучение. При локальном облучении человек может благодаря компенсирующим реакциям организма безболезненно перенести значительно большие дозы (десятки Зиверт). При обычной рентгеноскопии легких человек получает дозу примерно 0,1 мЗв.

2.6. ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ В ВОЗДУХЕ И В ВОДЕ

Величина допустимой концентрации изотопа в воздухе и в воде для различных изотопов различна. Однако в общем можно считать приемлемыми величины, приведенные в таблице 9.

Эти концентрации рассчитаны на персонал, работающий 6 дней в неделю по 8 час. В день в течение одного года. Для сравнения укажем, что активность большинства минеральных вод, содержащих радон (α-излучатель), порядка 10^{-5}мкюри/$см^3$.

Таблица 9. Допустимые концентрация изотопов в воздухе и в воде[15]

Источник	Активность, мКюри/$см^3$	
	В воздухе	В воде
$\beta -$ и $\gamma -$излучатели	10^{-7}	$5 \cdot 10^{-4}$
$\alpha -$излучатели	$3 \cdot 10^{-11}$	10^{-5}

Как видно из таблицы 9 допустимые концентрации радиоактивных изотопов в воздухе и в воде чрезвычайно малы. Объясняется это тем, что радиоактивные элементы представляют собой исключительно сильные яды. Некоторые изотопы значительно опаснее самых сильных ядов растительного или животного происхождения. Так, например, смертельная доза токсина ботулизма равна 1 миллиграмм. Тогда как 0,01 миллиграмм P^{32}, попавшего в организм человека через дыхательные пути или через кишечник, отлагаясь в кости, вызывает облучение костного мозга смертельной дозой в несколько сот рентгенов.(16)

2.7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЗАЩИТЕ ОТ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Наружное облучение

1. Рентгеновское, γ и $\beta -$излучение

a) Общее облучение.

Наиболее опасно действие наружного облучения на кроветворные органы.

1) При облучении всего организма в течение неопределенного времени рентгеновскими или $\gamma-$ лучами с энергией до 3 Мэв максимальная допустимая доза на поверхность тела равна 0,5 рентген в неделю.

2) В случае облучения β –частицами большой энергии всей поверхности тела максимальная допустимая недельная доза должна быть равна такому потоку β –частиц, для которого энергия, поглощенная 1 г поверхностной ткани, будет равна поглощенной энергии жесткого γ –излучения при дозе в 1,5 рентген. Для удобства вычисления полагают, что поверхностная ткань представляет собой базальный слой эпидермиса, расположенный на глубине, которой соответствует поверхностная плотность 7 мг/$см^2$[5].

b) «Критические» ткани.

Рекомендации по защите от наружного облучения касаются главным образом облучения всего организма. Однако нельзя допускать действия больших доз и на какие-либо отдельные ткани или органы (за исключением кистей рук и предплечий). Измерения могут производиться либо в воздухе, либо на поверхности тела (в этом случае аппаратура регистрирует также и рассеянное излучение). Считается, что доза электромагнитного проникающего излучения в 0,5 рентген соответствует примерно дозе в 0,3 рентген в области «критической» ткани, т. е. в области кроветворных органов; при этом полагают, что кроветворные органы расположены на расстоянии 5 см от поверхности организма. Величину дозы в 0,3 рентген можно считать допустимой для облучения любой ткани, за исключением кожи.

c) Локализованное облучение.

При действии $\gamma -$ и $\beta -$излучения на кисти рук и предплечья максимальная допустимая доза в неделю составляет 1,5 рентген в области базального слоя эпидермиса. При этом полагают, что он расположен на глубине, который соответствует поверхностная плотность 7 мг/$см^2$.

ГЛАВА III ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТНОЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

3.1. РАЗВИТИЕ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ПУТЕМ ПРОЕКТНОЙ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Познавательная деятельность – это активное изучение человеком окружающей действительности, в процессе которого индивид приобретает знания о законах окружающего мира и учится не только взаимодействовать с ним, но и целенаправленно воздействовать на него. Познавательная деятельность осуществляется во всех видах практических действий учащихся

в учебном процессе (экспериментирование, конструирование, решение исследовательских задач и т.п.)[9].

Познавательная деятельность основывается на том, что ребенок выбирает из окружающей его информации для своего познания, на способах и средствах познания и на том, что ребенок делает с этой информацией (забывает, использует, систематизирует и т.д.)[9].

В этом случае информация рассматривается как средство для развития познавательных процессов школьников.

Познавательные процессы – это психические процессы, которые обеспечивают получение, хранение и воспроизведение информации и знаний из окружающей среды[30,20].

В современной системе образования развитие познавательных процессов старшеклассников достигает такого уровня, когда они оказываются готовыми к выполнению всех видов умственной работы, включая самые сложные. Старшие школьники легко усваивают и используют научные понятия, умеют рассуждать абстрактно, у них сформировано теоретическое и логическое мышление. Наблюдается интеллектуализация всех познавательных процессов[21,25].

Старшеклассники способны делать общие выводы из частных посылок и наоборот, переходить от общих умозаключений к частным, т.е. у них развиты такие мысленные операции как индукция и дедукция.

Божович пишет «Старшие школьники всегда хотят установить истину. Им становится скучно, если нет интересных задач «для ума». Дать старшекласснику такие задачи—вот вопрос, который должен волновать учителя»[9].

Божович отмечает, что наиболее сильно старшеклассников привлекает процесс исследования, при этом способы доказательства являются не менее интересными, чем конкретные сведения, особенно когда речь идет об исследовательской деятельности. Многим из старших школьников нравится

обосновывать те или иные утверждений, а не заучивать факты из учебника[9].

Возникает вопрос, как учитывать когнитивные и возрастные особенности, уровень умственного развития старшеклассников в процессе обучения? В первую очередь, конечно, необходимо включать в процесс обучения то, что наиболее интересно школьникам. Божович считает, что большинство старшеклассников высказываются в пользу самостоятельных форм деятельности: лабораторно-практические работы, исследовательские задания, работа с первоисточниками[9].

Люди - исследователи окружающего мира. Выгодский писал «Чем больше ребёнок видел, слышал и переживал, тем больше он знает и усвоил, тем большим количеством элементов действительности он располагает в своём опыте, тем значительнее и продуктивнее при других равных условиях будет его творческая, исследовательская деятельность»[12,17].

Ж. Пиаже рассматривая важность занятиями исследовательской деятельностью в школе говорил, что достоинство исследования заключается в том, что оно дает реальные представления о различных сторонах изучаемого объекта, о его взаимосвязях с другими объектами[27]. По мнению Н. Н. Поддьякова, исследовательская деятельность, в частности экспериментирование, развивает новую сторону мыслительной деятельности – «умение оперировать неясными знаниями»[34,39]. Джон Дьюи рассматривая исследовательскую деятельность, связывал её с инстинктами, присущими ребенку от природы[16].

Поэтому я считаю, что необходимо развивать познавательную деятельность старшеклассников именно путем включения их в исследовательскую деятельность.

Если рассказывать школьникам конкретную информацию и мониторить её запоминание, мы будем лишать их не только возможности проверить преподаваемую информацию, но и практических знаний для совершений

собственных открытий. Конфуций говорил «скажи мне — и я забуду, покажи мне — и я запомню, дай мне сделать — и я научусь».

На данный момент исследовательская деятельность обучающихся в основном проявляется в лабораторных работах, где школьники обычно проверяют истинность рассказанной ранее информации. Во внеурочной деятельности школы, исследовательская работа проявляется в виде кружков, проектно-исследовательской деятельности, дополнительного образования. Очевидно, что значение и важность исследовательской деятельности, в современной системе образования недооценивается. Школа, в большинстве, торопится передать важные знания, при этом лишая возможности глубоко исследовать их экспериментально. Поэтому к окончанию школы, многие обучающиеся становятся только ретрансляторами знаний, обучение для них монотонный процесс «прочитал-рассказал», а развитие познавательной деятельности тормозится.

Решение данной проблемы мы видим через вовлечение обучающихся в исследовательскую деятельность. Создание ситуаций, близких к реальной научной деятельности, их анализ, участие школьников в постановке и решении учебной проблемы возбуждает мыслительную активность, поддерживая высокий познавательный интерес.

Таким образом, задача педагога - создать необходимые условия для развития у школьников интереса к исследовательской деятельности, экспериментированию, самостоятельным открытиям.

Организуемая педагогом исследовательская деятельность, в первую очередь, должна быть интересна для обучающихся, а эксперименты, предлагаемые в рамках исследовательской работы, должны быть безопасны, и в тоже время увлекательными для учеников[23,11]. При разработке методических рекомендаций, следует помнить, что каждый эксперимент должен отражать реальные свойства изучаемых объектов, знакомить обучающихся с существующими законами природы, а также полученные

результаты должны говорить о необходимости учитывать их в собственной жизнедеятельности.

Кроме того желательны следующие требования к экспериментам: простота конструкции приборов и правил обращения с ними, безотказность действия приборов и однозначность получаемых результатов, показ только существенных сторон явления или процесса, отчетливая видимость изучаемого явления, возможность участия старшеклассника в постановках эксперимента.

При организации исследовательской деятельности педагог должен помнить о том, что критика – враг творчества. Необходимо избегать отрицательной оценки предлагаемых старшеклассниками идей по проведению опытов, это может привести к отчуждению обучающихся от исследовательской работы[19]. Педагог должен проявлять интерес к любой деятельности школьника и мягко направлять его к поиску собственного решения. Но при этом не нужно делать большую часть работы за учеников, нужно воспитывать настойчивость в выполнении заданий, каждый опыт должен быть доведен до конца.

При подведении итогов эксперимента педагог может задавать наводящие вопросы, но обучающиеся должны сами назвать поставленную проблему, гипотезы, ход проверки каждой гипотезы и сформулировать вывод.

Исследовательская деятельность дает больше возможностей для физического и социального включения подростка в работу со сверстниками, чем традиционные методы обучения. Для её осуществления желательно разделение коллектива на малые группы (по 3-4 человека). Работа в небольшом коллективе способствует развитию самостоятельности, отстаивания свою точку зрения, умения коммуницировать с одноклассниками и управлять своим эмоциональным состоянием.

3.2. АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Стимулом для развития познавательной деятельности обучающихся служит любая исследовательская работа. Основная цель исследовательской деятельности в школе – развитие потенциала ребенка, создание среды для формирования и реализации навыков научно – исследовательской работы[13].

Как уже было сказано выше, тема исследования в первую очередь должна быть интересна обучающимся, по этому в выборе предмета исследования обучающиеся должны принимать непосредственное участие, наравне с учителем.

Мы предлагаем в качестве примера рассмотреть исследовательскую работу в старших классах, направленную на изучение радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Интерес к изучению радиоактивного загрязнения обуславливается тем, что радиацию бояться практически все, ее нельзя увидеть или почувствовать, часто школьники хотят знать о радиации ещё до того, как проходят эту тему в курсе физики. Ещё с младших классов дети много слышат о радиоактивности из художественных и документальных фильмов, из программ по телевизору, читают в популярных книгах, видеоролики на хостинге youtube посвящённые интересным фактам о радиации набирают миллионы просмотров. Все это говорит о живом интересе подрастающего поколения к радиации.

И хотя трезвое отношение к радиоактивности говорит о том, что существующие страхи, во многом, не имеют под собой основу, даже на рентген многие ходят с опаской. Радиоактивность следует рассматривать как неотъемлемую часть нашей жизни, но без знания закономерностей процессов, связанных с радиационным излучением, невозможно реально оценить ситуацию.

Существующий интерес к теме радиоактивность, однако, можно использовать и для развития познавательной деятельности. Самостоятельно исследуя радиоактивное загрязнение улиц своего города, продуктов питания или строительных материалов, и сравнивая результаты исследования с максимальными значениями, каждый ученик может убедиться в собственной безопасности.

Мы предлагаем исследовать именно продукты питания, потому что наибольшую опасность для здоровья и самый большой риск развития лучевой болезни, рака и других дегенеративных расстройств несут радионуклиды, попавшие в организм человека.

ГЛАВА IV ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

4.1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Для проведения измерений последовательно включают блоки компьютера и спектрометра. Устанавливаются нужные режимы работ в программах, поддерживающих работу прибора. Для контроля работы спектрометра анализируется эталонный источник. Соответствие полученного

значения активности паспортным данным, пересчитанным на дату измерения, говорит о нормальной работе установки.

Периодически проводится измерение фоновой активности, так как фон системы оказывает важное влияние на нижний предел обнаружения и точность при измерениях образцов с низким уровнем радиоактивности. Фоновая активность должна измеряться в течение достаточно длительного времени, не менее часа, для получения уверенных результатов. Повторение этих измерений позволяет судить о стабильности радиационной обстановки в рабочем помещении, чистоте защитного контейнера и т.д.

После контроля работы спектрометра при помощи эталонного источника можно приступать к измерению активности исследуемых образцов. В контейнер со сцинтилляционным детектором помещается сосуд Маринелли, куда предварительно засыпается исследуемый образец. Далее проводится набор гамма-спектра, включающий регистрацию пиков аппроксимации на определенных каналах анализатора. Время измерения может составлять от 30 минут до 3 часов, пока не будут набраны 70000 импульсов. По окончании набора при помощи специальной программы осуществляется обработка гамма-спектра путем сравнения его с калибровочной кривой эталонного источника [1]. При наборе гамма-спектра происходит наложение пиков аппроксимации разных радионуклидов друг на друга. Например, пик выхода гамма-квантов ^{241}Am частично перекрывается первым из пиков ^{232}Th; один из пиков ^{226}Ra - пик ^{137}Cs и т.д. Чтобы точно идентифицировать изотопы и рассчитать их активности целесообразно обработать полученный спектр по нескольким калибровочным кривым, анализируя изотопы как совместно, так и по отдельности по следующему разработанному алгоритму:

1. Измеряется активность ^{40}K, поскольку его основной пик аппроксимации (1480 кэВ) не перекрывается пиками других распространенных нуклидов;

2. Измеряется активность ^{226}Ra по пикам аппроксимации с энергиями выхода равными 1120 и 1764 кэВ;
3. Измеряется активность ^{226}Ra по пикам аппроксимации с энергиями выхода равными 352 и 609 кэВ с учетом возможного наложения пиков ^{232}Th с энергиями выхода равными 338 и 583 кэВ соответственно, для чего производится сравнение со справочными материалами. Производится окончательный расчет активности ^{226}Ra.
4. Измеряется активность ^{232}Th по пикам аппроксимации с энергиями равными 239, 2614 и 338 кэВ, с учетом возможного наложения на последний пика ^{226}Ra с энергией 352 кэВ.
5. Измеряется активность ^{137}Cs по основному пику аппроксимации с энергией выхода 661 кэВ с учетом наложения пика ^{226}Ra с энергией 609 кэВ и ^{232}Th с энергией 583 кэВ.
6. С учетом всех возможных наложений окончательно рассчитывается активность ^{232}Th.

После окончания обработки результаты, представленные в единицах активности, отнесенных к единице веса (Бк/кг), отображаются в виде таблицы.

Описание спектрометрического комплекса СКМ – 07П

Комплекс спектрометрический СКМ -07П предназначен для измерения активности γ –излучения образцов, оценки степени обогащения урана и изотопного состава плутония, автоматизированной обработки результатов измерения и оценки, хранения и вывода информации.

Основные технические данные и характеристики комплекса приведены в таблице 10.

Таблица 10. Основные технические данные и характеристики спектрометрического комплекса

Наименование величины	Значение		
	номинальное	допустимое	действительное
Энергетическое разрешение, %	от 6,0 до 10,5		7,5 %

Наименование величины	Значение		
	номинальное	допустимое	действительное
Диапазон измеряемых энергий, кэВ	$50\text{-}3\cdot10^3$		Соотв.
Интегральная нелинейность (предел допускаемой	1,00		0,6 %
Максимальная статистическая загрузка, не менее		$2\cdot10^5$ c^{-1} при τ=1 мкс	
		10^5 c^{-1} при τ=2 мкс	
		$5\cdot10^4$ c^{-1} при τ=4 мкс	
		$2{,}5\cdot10^4 c^{-1}$ при τ=8 мкс	
Температурная нестабильность характеристики		±0,5 %	Соотв.
Время установления рабочего режима, мин		не более 30	
Нестабильность характеристики преобразования комплекса за 24 ч. Непрерывной работы, %		±2,0	Соотв.
Пределы допускаемой основной погрешности измерения активности в точечной геометрии, не более %		±10	Соотв.
Время непрерывной работы, ч	24		
Характеристика преобразования		Линейная	
Число каналов:		048, 1024,51	
Емкость канала		2^{24}-1	

4.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКТАХ ПИТАНИЯ.

Были исследованы продуктовые корзины фермы Тоцкого и других производителей. Результаты измерений отражены в таблицах 11 и 12.

Таблица 11. Результаты измерений продуктов питания при помощи спектрометрического комплекса.

Ферма Тоцкого О.

Продукты	Масса, кг	Прибор	^{226}Ra		^{137}Cs		^{232}Th		^{40}K	
			Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л
Йогурт ананасов.	0,320	СКС 07-П							147,2	47,16
		СКС 50-М					53,35	17,1	32,22	10,31
		СКС 50-М					10,27	3,14	34,16	10,45
		СКС 50-М	47,37	10,61			23,1	5,18	46,72	
Грудка копченая	0,250	СКС 07-П	50,62	12,7						
		СКС 50-М					32,1	8,06	49,06	12,3
		СКС 50-М					15,03	3,64	43,29	10,48
Масло сливочное деревен.	0,164	СКС 07-П	26,92	4,4					23,53	3,86
		СКС 50-М								
Сыр брынза	0,174	СКС 07-П	13,39	2,33					66,85	11,63
		СКС 50-М	37,28	6,49			39,08	6,8	60,31	10,49
		СКС 50-М								
		СКС 50-М								
Хлеб дарницкий	0,140	СКС 07-П	7,15	1,001	7,08	0,99			171,4	24
		СКС								

		50-М								
		СКС 50-М	28,38	2,30						
		СКС 50-М	9,955	2,11			8,31	1,76	58,31	12,36

Таблица 12. Результаты измерений продуктов питания с помощью спектрометрического комплекса.

Другие производители

Продукты	Масса, кг	Прибор	^{226}Ra		^{137}Cs		^{232}Th		^{40}K	
			Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л	Бк/кг	Бк/л
Йогурт Молком	0,254	СКС 07-П	8,94	2,27					134,5	34,1
		СКС 50-М					17,58	4,47	39,22	9,96
		СКС 50-М	29,82	4,41			88,84	13,15	68,48	10,13
		СКС 50-М	18,34	3,93	42,4	9,074	37,96	8,12	52,39	11,21
Грудка копченая	0,190	СКС 07-П	37,96	7,2			5,76	1,1	47,55	9,03
		СКС 50-М	7,99	1,52			34,13	6,48	33,56	6,38
		СКС 50-М	7,69	2,51			15,61	5,089	31,02	10,11
Масло сливочное «Валио»	0,125	СКС 07-П	9,2	1,152					148,1	18,51
		СКС 50-М								
Сыр «Парижская буренка»	0,200	СКС 07-П	24,55	4,9					17,58	3,52
		СКС 50-М							56,04	11,21
		СКС 50-М								
		СКС 50-М								
Хлеб дарницкий	0,09	СКС 07-П	5,73	0,516			25,43	2,29		
		СКС 50-М								
		СКС					37,2	4,84	92,5	12,0

		50-М					3		6	3
		СКС 50-М	13,55	2,63			27,67	5,37	34,54	6,7

Для большей наглядности представим полученные результаты в виде гистограмм.

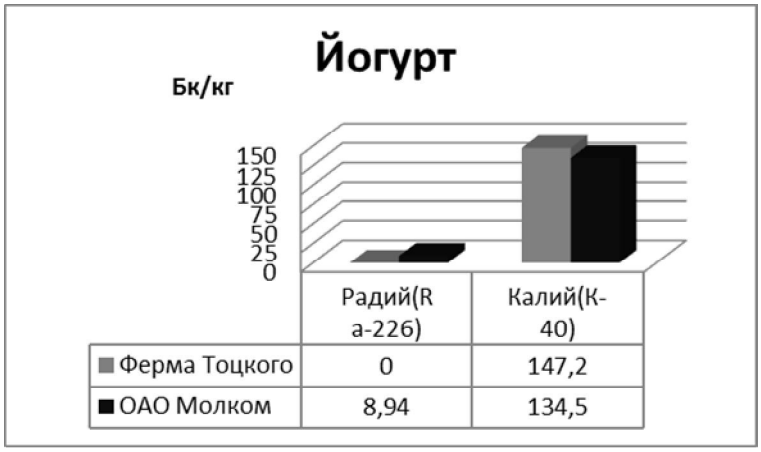


Диаграмма 1. Содержание радионуклидов в йогурте

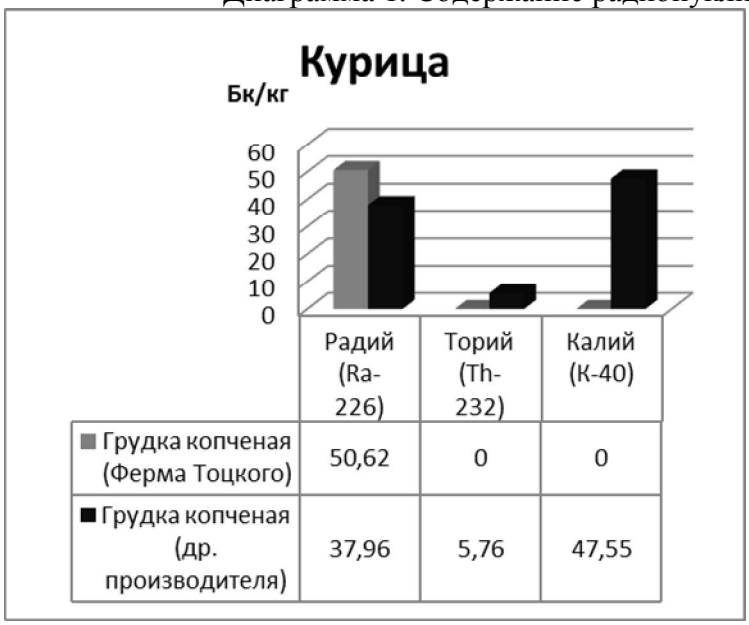


Диаграмма 2. Содержание радионуклидов в мясе курицы

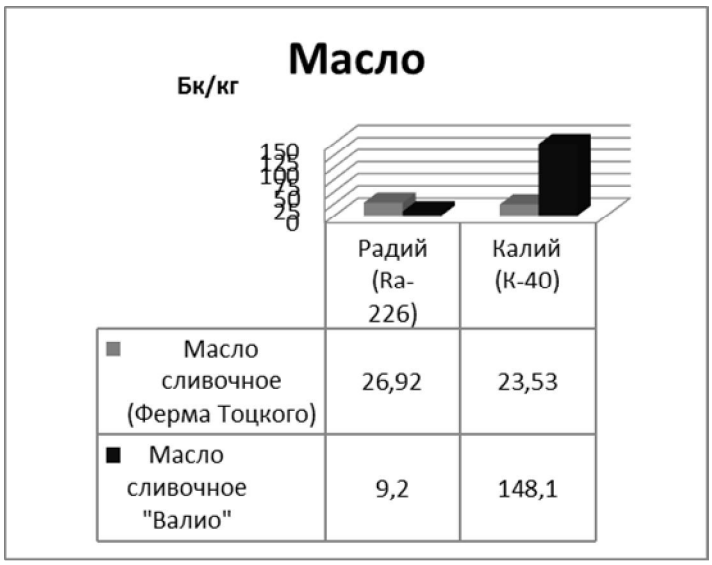


Диаграмма 3. Содержание радионуклидов в масле

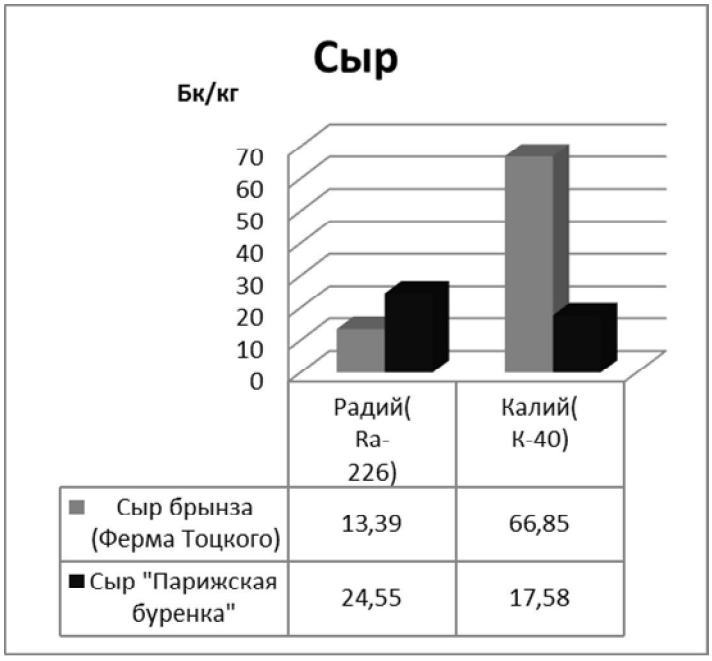


Диаграмма 4. Содержание радионуклидов в сыре

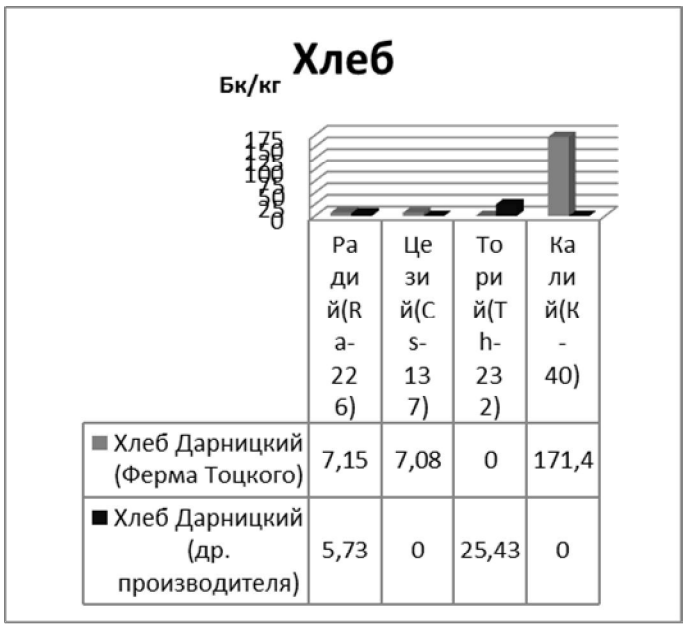


Диаграмма 3. Содержание радионуклидов в хлебе

Из полученных измерений в большинстве своем можно сделать вывод, что такие опасные элементы как ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs в исследуемых продуктах находятся в пределах ПДК. Большинство продуктов богаты $^{40}К$, который необходим организму человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из главных стратегических задач современной российской школы является сформировать у школьников потребность и способность к самостоятельному приобретению знаний, к непрерывному образованию и самообразованию. Ее решение невозможно без формирования у каждого учащегося стойких знаний и постоянного стремления к познанию неизведанного.

Актуальность выбора темы определилась тем, что развитие познавательной деятельности школьников и включение их в исследовательскую работу являются важными условиями образования в современной школе.

На основе анализа психолого-педагогической и методической литературы определена необходимость включения исследовательской деятельности в процесс образования в школе. Выявлено, что развитие познавательной активности будет эффективным, если обеспечить комплексное применение учебного материала и современных технических средств, при взаимодействии субъектов образовательной среды.

В ходе магистерской диссертации нами была разработана и апробирована методика определения содержания радионуклидов в продуктах питания с помощью сцинтилляционного γ –спектрометра, а также мы разработали, на основе счетчика Гейгера-Неттолка, детектор α –излучения с открытой ионизационной камерой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акоста В. К. Кован, Б. Грэм. Основы современной физики / пер. с англ. В.В. Толмачева, В.Ф. Трифанова; Под ред. А.Н. Матвеева. – М.: Просвещение, 1981. – 495 с.
2. Ананьев Б.Г. Познавательные потребности и интересы // Учёные записки ЛГУ. Психология. 1959. Вып.16. №265.
3. Барабанов А.Л.: Симметрии и спин-угловые корреляции в реакциях и распадах. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 214 с.
4. Бармасов, А.В. Курс общей физики для природопользователей. Механика / А.В. Бармасов. - СПб.: BHV, 2012. – 416 с.

5. Барсуков О.А., Барсуков К.А. Радиационная экология. М.: Научный мир, 2003. – 253 с.

6. Барсуков О.А., Основы атомной физики. - М.: Научный мир, 2006

7. Барсуков О.А. Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 560 с.

8. Белов А.Д., Киршин В.А. Ветеринарная радиобиология. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1987. – 287 с.: ил.

9. Божович Л.И. Речь и практическая интеллектуальная деятельность ребёнка (экспериментально теоретическое исследование). Культурно-историческая психология, №1-3,2006.

10. Борн М. Атомная физика; Мир книги - Москва, 1981. - 765 с.

11. Венгер Л.А., Мухина В.С. Психология: учебник / Л.А. Венгер, В.С. Мухина- М.: Просвещение, 1988.-266с.

12. Выготский, Л.С. Развитие высших психических функций / Л. С. Выготский. — М., 1960.

13. Гуревич, П.С. Психология и педагогика: Учебник для бакалавров / П.С. Гуревич. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 479 с.

14. Ерофеева, Г.В. Практические занятия по общему курсу физики: Учебник для бакалавриата и магистратуры / Г.В. Ерофеева, Ю.Ю. Крючков, Е.А. Склярова и др. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 492 с.

15. Жено П., Защита от радиоактивных элементов. Издательство иностранной литературы, 1954. – 110 с.

16. Князева, В.В. Педагогика / В.В. Князева. - М.: Вузовская книга, 2016. - 872 с.

17. Коджаспирова, Г.М. Педагогика: Учебник для СПО / Г.М. Коджаспирова. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 719 с.

18. Коменский Ян Амос: Учитель учителей («Материнская школа», «Великая дидактика» и др. произв. с сокращ.). М.: Карапуз, 2009.– 288 с.

19. Кравцова, Е.Е. Психология и педагогика. Краткий курс / Е.Е. Кравцова. - М.: Проспект, 2016. - 320 с.

20. Крившенко, Л.П. Педагогика: Учебник и практикум для СПО / Л.П. Крившенко, Л.В. Юркина. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 364 с.

21. Крысько, В.Г. Психология и педагогика: Учебник для бакалавров / В.Г. Крысько. - Люберцы: Юрайт, 2016. - 471 с.

22. Ливенцев Н. М. Курс физики. Атомная и ядерная физика, основы медицинской электроники и кибернетики; Высшая школа - Москва, 1978. - 336 с.

23. Липский, И.А. Социальная педагогика: Учебник для бакалавров / И.А. Липский, Л.Е. Сикорская. - М.: Дашков и К, 2016. - 280 с.

24. Максимов М.Т., Оджагов Г.О. Радиоактивные загрязнения и их измерение: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1989 – 304 с.: ил.

25. Мардахаев, Л.В. Социальная педагогика. Основы курса: Учебник для вузов и ссузов / Л.В. Мардахаев. - Люберцы: Юрайт, 2015. - 376 с.

26. Объединенный ин-т ядерных исследований; Под общ. ред. Р.Г. Позе, Е.М. Молчанова; Сост.: В.Ф.Никитин, В.И. Никитина, Т.А. Стриж: Михаил Григорьевич Мещеряков. - Дубна: Объединенный институт ядерных исследований, 2000

27. Пиаже Ж. Речь и мышление ребенка.- М.,1932.

28. Поль Р. В. Оптика и атомная физика; Наука - , 1977. - 552 с.

29. Рау В.Г.: Основы теоретической физики. Физика атомного ядра и элементарных частиц. - М.: Высшая школа, 2005

30. Рубинштейн С.Л. О мышлении и путях его исследования. О мышлении и путях его исследования. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1958. – 145 с.

31. Савельев, И.В. Курс физики. В 3 т. Т. 3.: Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц, стер / И.В. Савельев. - СПб.: Лань, 2016. - 308 с.

32. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 5. Атомная и ядерная физика; ФИЗМАТЛИТ - Москва, 2006. - 784 с.

33. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика: Учебное пособие в 5 т. / Д.В. Сивухин. - М.: Физматлит, 2014. - 544 с.

34. Столяренко, Л.Д. Педагогика в вопросах и ответах: Учебное пособие / Л.Д. Столяренко. - М.: Проспект, 2016. - 160 с.

35. Стерхов, К.В. Курс общей физики: Учебное пособиеВ 3-х тт. Т.3. Оптика. Физика атомов и молекул. Физика атомного ядра и микрочастиц КПТ / К.В. Стерхов. - СПб.: Лань КПТ, 2016. - 496 с.

36. Сулин, М. Курс физики с примерами решения задач. Часть III. Оптика. Основы атомной физики и квантовой механики. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебное пособие / М. Сулин. - СПб.: Лань, 2015. - 336 с.

37. Третьяков, Н.Н. Курс физики. В 3-х тт. Том 3 Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц: Учебник / Н.Н. Третьяков, В.В. Исаичев, Ю.А. Захваткин. - СПб.: Лань, 2016. - 308 с.

38. Трухачев, В.И. Курс общей физики: Учебник. В 3-х тт. Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твердого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц. / В.И. Трухачев, И.В. Капустин и др. - СПб.: Лань П, 2016. - 320 с.

39. Ушинский К. Д. Человек как предмет воспитания. Опыт педагогической антропологии. Том I, Том II, — СПб., 1871.

40. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс общей физики. В 3 томах. Том 3. Оптика. Атомная физика; Лань - Москва, 2006. - 656 с.

41. Черняев А.П.: Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. - М.: Физматлит, 2004.

42. Шпольский Е.В. Атомная физика (Том 1. Введение); Irregular Special Press - Москва, 1987. - 251 с.