

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. В.П. АСТАФЬЕВА»
(КГПУ им. В.П. Астафьева)

Институт математики, физики и информатики
Выпускающая кафедра физики и методики обучения физике

Нефёдова Анна Витальевна
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

**Тема «Организация физического практикума в профильных классах по
исследованию проникающей способности ионизирующего излучения в
растворах»**

Направление подготовки 44.03.05 Педагогическое образование

Направленность (профиль) образовательной программы физика и
информатика

ДОПУСКАЮ К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой физики и
методики обучения физике,
д.п.н., профессор
В.И.Тесленко



« 27 » июня 2017

В.И.Тесленко

Руководитель
к.ф.-м.н., доцент кафедры
физики и методики
обучения физике

В.А.Орлов *В.А.Орлов*

Дата защиты « 27 » июня 2017

Обучающийся Нефёдова А.В.
« 13 » июня 2017 *А.В.Нефёдова*

Оценка *отлично*

Красноярск

2017

Оглавление

Введение	3
Глава I. Источники радиации	4
1. Источники радиоактивного излучения	4
2. Космическое излучение	7
3. Защита от излучения	13
Выводы	14
Глава II. Процессы радиолиза	15
Радиолиз воды	15
Выводы	36
Глава III. Поглощительная способность веществ по отношению к ионизирующему излучению (μ -мезонов, β -излучению)	37
Выводы	44
Глава IV. Особенности применения экспериментальных заданий, связанных с поглощительной способностью материалов и растворов на физических практикумах	46
Выводы	49
Заключение	50
Литература	51

Введение.

В современном мире из-за развития технологий ,техногенные риски занимают особое положение. Одним из главных является угроза со стороны ионизирующего излучения,как природного,так и рукотворного происхождения.Специфика ядерной физики такова,что поставить учебный эксперимент довольно затруднительно,особенно обеспечить его многообразие.

Мы задались целью ,положить начало формирования комплекта лабораторных работ по ядерной физике,которую можно использовать в профильной школе на уроках физики.Важно,чтобы эксперимент был безопасен и обеспечен доступными средствами. И ,естественно его результаты должны иметь реальное научно-практическое значение. В свете сказанного выше актуального нашего проекта существенно назрела в области исследования поглотительной способности разных веществ.

Цели : исследовать поглотительную способность веществ по отношению к ионизирующему (μ -поток, β -излучению) А так же возможность постановка данных экспериментов в школе.

Задачи:

- Экспериментально исследовать коэффициент поглощения свинца по отношению к потоку мюонов.
- Экспериментально исследовать коэффициент поглощения водных растворов к потоку электронов.
- Изучить возможность организации физического практикума в профильных классах школы.

Глава I. Источники радиации.

Общеизвестно, что основной источник радиации являются радиоактивные ядра, которые способны распадаться самопроизвольно. Само слово «радиоактивный» вызывает страх, в то время как оно означает лишь мало устойчивость отдельных изотопов различных элементов. Природные радиоактивные ядра существовали всегда, как до, так и после появления ядерной энергетики. Практически любая вещь, всякий предмет из тех, которые нас окружают, включают определенную долю радионуклидов (не имеющих практически никакого отношения к ядерной отрасли), которые способны распадаться и испускать ионизирующее излучение - радиацию. Известно, что в более ранние геологические периоды природный радиационный фон на нашей планете был гораздо выше, чем сейчас.

1. Источники радиоактивного излучения

Радиация (лат.) «сияние», «излучение» — физико-химический процесс образования энергии в процессе превращения веществ в результате действия ионизирующего излучения. Потоки элементарных частиц (протонов, фотонов, атомов и др.), способны ионизировать вещество. Источники радиации не могут иметь запаха, цвета, вкуса, их обычно нельзя потрогать руками. природный радиационный фон был на планете с момента ее сотворения, благодаря и вопреки ему эволюционировала жизнь до сегодняшнего дня. протекали мутации, все живое уже давно адаптировано к жизни в таких условиях.

Есть разные источники радиоактивного излучения. Выделяют искусственные и естественные источники радиации.

Искусственные источники - в жилых домах и помещениях, при авариях на АС, испытаниях ядерного потенциала, применении в

сельскохозяйственном производстве фосфатных удобрений, на строительстве, и др. Внутреннее облучение происходит в человеческом организме, поступая туда с пищей, водой, через дыхательные пути с воздухом. Избыточное облучение вредит человеку, это известно всем. Пережив техногенную трагедию на Чернобыльской АС, не так давно, люди знают о пагубном воздействии предельных доз радиации на здоровье человека.

Естественные источники ионизирующего излучения разделяют на космические и земные по их месту происхождения. Космогенные приходят на Землю из просторов галактики в результате процессов, происходящих в ней. Поступают благодаря высокой солнечной активности, вспышек на звезде. По способу образования излучение бывает: первичное, вторичное.

Первичное проникновение лучей происходит со скоростью света, попадая на земную поверхность, это поток высокоэнергичный, содержащий протоны и альфа-частицы. На него действует магнитное поле, часть его при контакте с атмосферой планеты, частично нейтрализуется на высоте 20 км. Преобладает на высоте 40 - 45 м от уровня моря Земли. Вторичное радиоактивное излучение представлено множеством элементарных частиц, образуется при взаимодействии первичного излучения с элементами атмосферы планеты. Происходят ядерные превращения. Преобладает на высоте 20–25 км. Солнечная радиация усиливается в периоды активности вспышек, она характеризуется более низкими энергиями, их принимают на себя защитные слои атмосферы.[3]

На земле существует несколько природных источников радиоактивной ионизации. Находятся они в глубинах недр земли, и на ее поверхности. Входят в состав воздуха, воды, живых организмов и растений. Природный радиоактивный фон достаточно стабилен, не приносит существенного вреда и действует на все живое, населяющее планету. По влиянию на человеческий организм, ионизирующее излучение можно разделить на: внешнее;

внутреннее. Внешнюю дозу радиации человек приобретает от воздействия факторов извне, это солнечное влияние, космическое. Радиация, поступающая из недр земли, продуцируемая горными породами и природными газами, содержащаяся в воздухе. Основные радиоактивные изотопы, присутствующие в недрах земли — это семейства тория-232 и урана-238.

Альфа-излучение представляет собой поток альфа-частиц, состоящих из двух нейтронов и двух протонов (попросту говоря, это ядра атомов гелия), образовавшихся в результате альфа-распада тяжелых ядер.

Бета-излучение — это поток электронов или позитронов (бета-частиц), возникших в результате бета-распада радиоактивных ядер.

Гамма-излучение сопровождает альфа- или бета-распад и представляет собой поток гамма-квантов, являясь, по сути, электромагнитным излучением — то есть, оно имеет волновую природу, аналогичную природе света. различие в том, что гамма-кванты обладают гораздо большей энергией, чем кванты светового излучения, и поэтому имеют большую проникающую способность.

Самая малая проникающая способность у альфа-частиц: пробег в воздухе составляет всего несколько сантиметров, в биологической ткани — доли миллиметра. Поэтому уплотненная одежда обеспечивает необходимую степень защиты от внешнего альфа-излучения. Бета-частицы (поток электронов) обладают большей проникающей способностью: пробег в воздухе — несколько метров, в биологической ткани — до нескольких сантиметров. Поэтому при работе с источниками жесткого бета-излучения создается необходимость в использовании дополнительной защиты (защитные экраны, контейнеры). Наконец, самой большой проникающей способностью обладает гамма-излучение: электромагнитные волны способны проходить тело насквозь. Для источников мощного гамма-

излучения требуется более тяжелая защита: свинцовые экраны, толстостенные бетонные конструкции.

Полностью избежать облучения ионизирующим излучением невозможно, жизнь на Земле возникла и продолжает развиваться в условиях постоянного облучения.

Радиационный фон Земли складывается:

1. Космическое излучение;
2. Излучение от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов;
3. Излучение от искусственных (техногенных) радионуклидов.

Облучение по критерию месторасположения источников излучения делится на внешнее и внутреннее. Внешнее облучение обусловлено источниками, расположенными вне тела человека. Источниками внешнего облучения являются космическое излучение и наземные источники. Источником внутреннего облучения являются радионуклиды, находящиеся в организме человека.

2. Космическое излучение

Космическое излучение определяется из частиц, захваченных магнитным полем Земли, галактического космического излучения и корпускулярного излучения Солнца. В его состав входят протоны, электроны и альфа-частицы. так называемое первичное космическое излучение, взаимодействуя с атмосферой Земли, порождает вторичное излучение. Излучение на уровне моря почти полностью состоит из мюонов и нейтронов.

Поглощенная способность дозы космического излучения в воздухе на уровне моря равна 32 нГр/час и определяется в основном мюонами. Для нейтронов на уровне моря мощность поглощенной дозы составляет 0.8

нГр/час и мощность эквивалентной дозы составляет 2.4 нЗв/час. В год за счет космического излучения, большая часть жителей получает дозу, равную около 0.35 мЗв. Космическому внешнему облучению подвергается вся площадь Земли. Тем не менее облучение - это неравномерно. Интенсивность космического излучения будет зависеть от солнечной активности, где географически расположен объект и будет возрастать с высотой над уровнем моря. больше всего интенсивность будет на Южном и Северных полюсах, менее активно в экваториальных местах. основание тому - магнитное поле Земли, отклоняющее заряженные частицы космического излучения. Наблюдается этот эффект, когда действие космического внешнего облучения связано с космическим излучением от высоты. (рис.1).

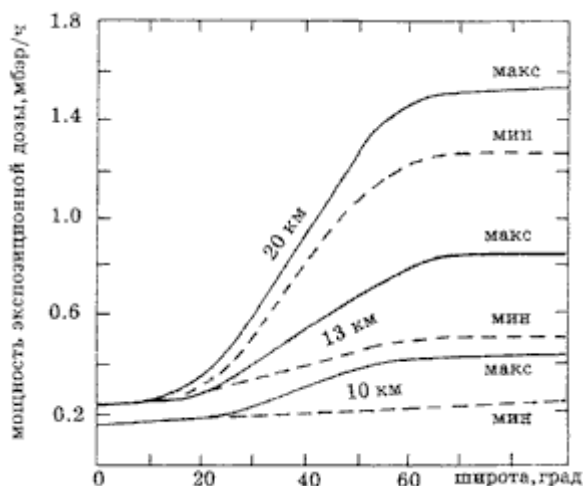


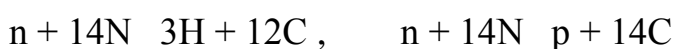
Рис.1. Размер солнечного излучения во время максимальной и минимальной активности солнечного цикла в зависимости от высоты территории над уровнем моря и географической широты.

Солнечные вспышки представляют собой большую радиационную опасность во время космических полетов. Космические лучи, идущие от Солнца, в основном состоят из протонов широкого энергетического спектра (энергия протонов до 100 МэВ). Заряженные частицы от Солнца могут

достигать Земли через 15-20 мин после того, как вспышка на его поверхности становится видимой. Длительность вспышки может достигать нескольких часов.[1]

Космогенные радионуклиды.

В следствии ядерных реакций, протекающих в атмосфере (частично и в литосфере) под действием космических лучей, возникают радиоактивные ядра - космогенные радионуклиды. Например



В создание дозы наибольший вклад вносят ${}^3\text{H}$, ${}^7\text{Be}$, ${}^{14}\text{C}$ и ${}^{22}\text{Na}$ которые поступают вместе с пищей в организм человека .

Таблица 2.

Среднее годовое поступление космогенных радионуклидов в организм человека.		
Радионуклид	Поступление, Бк/год	Годовая эффективная доза, мкЗв
${}^3\text{H}$	250	0.004
${}^7\text{Be}$	50	0.002
${}^{14}\text{C}$	20000	12
${}^{22}\text{Na}$	50	0.15

Взрослый человек потребляет с пищей 95 кг углерода в год, это при средней активности на единицу массы углерода 230 Бк/кг. Общий вклад космогенных радионуклидов в индивидуальную дозу составляет около 15 мкЗв/год.

Внешнее облучение от радионуклидов земного происхождения.

В настоящее время на нашей Земле сохранилось 23 долгоживущих радиоактивных элемента с периодами полураспада от 107 лет и выше. Физические характеристики некоторых из них представлены в таблице 3. Таблица 3.

Радиоактивные изотопы, изначально присутствующие на Земле.			
Радионуклид	Весовое содержание в земной коре	Период полураспада, лет:	Тип распада:
Уран-238	$3 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^9$	α -распад
Калий-40	$3 \cdot 10^{-16}$	$1.3 \cdot 10^9$	β -распад, γ -распад
Рубидий-87	$8.4 \cdot 10^{-5}$	$4.7 \cdot 10^{10}$	β -распад
Ванадий-50	$4.5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14}$	γ -распад
Лантан-138	$1.6 \cdot 10^{-8}$	$1.1 \cdot 10^{11}$	β -распад, γ -распад
Индий-115	$1 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{14}$	β -распад
Торий-232	$8 \cdot 10^{-6}$	$1.4 \cdot 10^{10}$	α -распад, γ -распад
Самарий-147	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$1.2 \cdot 10^{11}$	α -распад
Лютеций-176	$3 \cdot 10^{-8}$	$2.1 \cdot 10^{10}$	β -распад, γ -распад

Средняя действенная эквивалентная доза внешнего облучения, что человек получает за год от земных источников, составляет около 0.35 мЗв, т.е. чуть больше средней персональной дозы, определенной облучением из-за космического фона на уровне моря.

Во всяком случае уровень радиации на Земле неодинаков в различных районах. примерно, в 200 километрах к северу от Сан-Пауло (Бразилия) есть не очень большая возвышенность, где уровень излучение в 800 раз превосходит средний и достигает 260 мЗв в год. На юго-западе Индии 70 000 человек живут на узкой береговой полосе, вдоль которой тянутся пески, богатые торием. Эта группа лиц получает в среднем 3.8 мЗв в год на человека. Как показали исследования, во Франции, ФРГ, Италии, Японии и США около 95% населения живут в местах с дозой облучения от 0.3 до 0.6 мЗв в год. Около 3% получает в среднем 1 мЗв в год и около 1.5% более 1.4 мЗв в год.[1]

Когда человек пребывает в помещении, где доза внешнего облучения меняется за счет двух противоположно действующих факторов:

- 1) Защита внешнего излучения строением.
- 2) Облучение за счет естественных радионуклидов, оказавшихся в материалах, из которого построено строение.

Внутреннее облучение от радионуклидов земного происхождения

В организме человека радионуклиды земного происхождения присутствуют постоянно, поступающие через органы дыхания и пищеварения.

Средняя доза внутреннего облучения за счет радионуклидов земного происхождения составляет 1.35 мЗв/год. максимальный вклад (около 3/4 годовой дозы) дают не имеющий вкуса и запаха тяжелый газ радон и продукты его распада. Попав в организм при вдохе, он вызывает облучение слизистых тканей легких. Радон высвобождается из земной коры

повсеместно, но его концентрации в наружном воздухе существенно различаются для различных точек Земного шара. Однако большую часть дозы облучения от радона человек получает, находясь в закрытом непроветриваемом помещении. В зонах с хорошим климатом концентрация радона в закрытых помещениях в среднем около в 8 раз выше, чем в наружном воздухе. Источниками радона являются также строительные материалы. таким образом, например, большой удельной радиоактивностью обладают гранит и пемза, кальций-силикатный, шлак и ряд других материалов. Радон попадает в помещение из земли и через различные трещины в межэтажных перекрытиях, через вентиляционные каналы и т.д. Источниками поступления радона в жилые помещения являются также природный газ и вода.

Таблица 4.

Мощность излучения различных источников радона	
Источник радона	Мощность излучения кБк/сут
Природный газ	3
Вода	4
Наружный воздух	10
Стройматериалы и грунт под зданием	60

Большая часть домов, внутри которых концентрация радона и его ядерных продуктов равна от 10^3 до 10^4 Бк/см³, составляет от 0.01 до 0.1% в различных странах. Это означает, что подавляющее большинство людей подвергаются заметному облучению из-за превышенной концентрации радона внутри домов, где они живут.

В качестве удобрений ежегодно применяется несколько десятков млн. тонн фосфатов. Большинство разрабатываемых в настоящее время фосфатных месторождений содержит уран, присутствующий в довольно высокой концентрации. Находящиеся в удобрениях радиоизотопы проникают из почвы в пищевые продукты, приводят к повышению радиоактивности продуктов питания. Тем самым, действенная доза от внутреннего облучения за счет естественных источников (1.35 мЗв/год) приближенно в два раза превышает дозу внешнего облучения от них (0.65 мЗв/год). Стало быть, суммарная доза внешнего и внутреннего облучения от естественных источников радиации в среднем равна 2 мЗв/год. Для отдельных групп населения она может быть выше. Причем максимальное превышение над средним уровнем может достигать одного порядка.[2]

3.Защита от излучения.

Все же, не смотря на то что от излучения мы избавиться полностью не можем, но способы защиты все-таки есть, и они делятся на три группы, это защита временем, расстоянием, специальными экранами и химическая защита.

Защита временем.

Смысл защиты от радиации в том, чтобы как можно больше снизить время пребывания вблизи источника излучения. Чем меньше времени человек прибывает вблизи источника излучения, тем меньше вреда здоровью он причинит. Данный метод защиты использовался, к примеру, при ликвидации аварии на АЭС в Чернобыле. Ликвидаторам последствий взрыва на АЭС отводилось всего несколько минут на то, чтобы сделать свою работу в зараженной зоне и вернуться на не опасную территорию.

Защита расстоянием.

Если вы обнаружили недалеко от себя предмет, который является источником радиации, который может представлять опасность для жизни и здоровья, необходимо как можно больше удалиться от него на расстояние, где радиационный фон и излучение будут находиться в пределах допустимых норм.

Противорадиационные экраны и спецодежда.

В отдельных ситуациях просто необходимо выполнять какую-либо деятельность в зоне с повышенным радиационным фоном. Примером может быть устранение последствий аварии на АЭС или работы на промышленных предприятиях, где присутствуют источники радиоактивного излучения. Прибывать в таких зонах без использования средств персональной защиты опасно не только для здоровья, но и для жизни. Специально для этого были разработаны средства индивидуальной защиты от радиации. Они представляют собой экраны из материалов, которые задерживают различные виды радиационного излучения и специальную одежду.

Химическая защита.

Это вид радиационной защиты, за счет ослабления результата воздействия излучения на организм человека путем введения в него химических веществ, так называемых радиопротекторов.[4]

Выводы

1. Полностью исключить влияние излучения невозможно(тем более ,что имеются полезные факторы), поэтому следует выбирать стратегию компромисов при проектировании устройств различного назначения.
2. Наиболее эффективной является защита физическая или экранирование(защита экранами состоящими из тяжелых металлов).
3. Наиболее опасной для человека является излучение гамма-излучение.

Глава II. Процессы радиоллиза.

Радиоллиз воды.

Радиационная химия воды и водных растворов как наука возникла на потребность атомной промышленности. иметь понятие о том, что происходит при воздействии излучения с теплоносителями ядерных реакторов и с водными растворами - реагентами в технологии выделения делящихся материалов из облученного ядерного топлива.

В первые систематические экспериментальные исследования радиоллиза воды были сделаны в США в середине 40-х годов группами А. О. Аллена и Е. Дж. Харта. В нашей стране основные работы по радиационной химии воды были проведены в конце 40-х - начале 50-х годов в Институте физической химии АН СССР (впоследствии, в Институте электрохимии АН СССР) и в Институте теоретической и экспериментальной физики (тогда ТТЛ АН СССР) "Теплотехнической лаборатории АН СССР" группами Н. А. Бах - В. А. Медведовского и Б. В. Эршлера - П. И. Долина.

Теоретические представления о механизме радиоллиза воды, так называемая радикально-диффузионная теория, в нынешнем ее виде была сформулирована в США группами Р. Л. Платцмана и Дж. Маги. В действительное время теория является общепринятой. Рассмотрим ее основные положения.

Основной постулат теории: в результате действия излучения на воду образуются химически-активные частицы - возбужденные молекулы и ионы, радикалы и ион-радикалы, реакциями которых друг с другом и с другими растворенными веществами определяются макроизменения, происходящие с водой при облучении - выделение радиолитических газов (водорода и кислорода), образование пероксида водорода, окислительно-восстановительные процессы с участием растворенных веществ и т. д .

Принято суммарный процесс радиолиза жидкой воды разделять по времени на три стадии: физическую, физико-химическую и химическую. 1*

Физическая стадия.

На данной стадии, длящейся 10-16-10-15с, происходит связь падающей частицы или высокоэнергетического кванта с электронными оболочками молекул воды. заключительные обладают энергией, необходимой для ионизации еще нескольких молекул воды. дистанция, на котором происходит каждая следующая ионизация, постепенно уменьшается, достигая нескольких нанометров при утрате вторичным электроном энергии, меньшей потенциала ионизации молекул воды, равного 12,6 эВ. В следствии данного процесса может происходить образование "блотов", коротких треков и "шпор" - локальных мест повышенной ионизации. Вторичные электроны, в которых не происходит ионизация, обладают достаточной энергией для возбуждения молекул воды. На физической стадии радиолиза образуются возбужденные H_2O^* и сверхвозбужденные H_2O^{**} молекулы воды (в частности, ридберговские состояния с энергиями около 8 эВ). Вторичные электроны, энергия которых уменьшилась до величины пороговой энергии электронного возбуждения молекул воды в жидкой фазе ($E < 7,4$ эВ), называются электронами недовозбуждения. В жидкой воде вполне вероятно также образование коллективных возбуждений - плазмонов с энергией 21, 4 эВ и линейными размерами охваченной ими области порядка 30 нм. Плазмоны локализуются за время около 10-15с с образованием молекулярных ионов воды. Молекулярные ионы воды (их в некоторых случаях называют "сухая дырка") могут перемещаться по резонансному механизму; время перемещения превышает 10-15 с. Возможно также перемещение возбуждения. К завершению физической стадии, в облученной воде имеются молекулярные ионы воды, электроны недовозбуждения, сверхвозбужденные ионы. Система в текущий момент является энергетически неравновесной, негомогенной относительно

пространственного распределения упомянутых образованных частиц - короткоживущих продуктов радиолиза.

Физико-химическая стадия.

За время колебания молекул воды (около 10-14 с) происходит диссоциация возбужденных и автоионизация сверхвозбужденных молекул воды

$H_2O^* \rightarrow H + OH$ (распад из синглетно возбужденной молекулы воды в состояние $A1B1$ с $E = 8,4$ эВ)

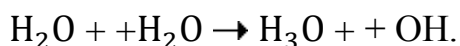
или

$H_2O^* \rightarrow H_2 + O$ (распад из синглетно возбужденной молекулы воды в состояние $B1A1$ с $E=10,1$ эВ),

$H_2O^{**} \rightarrow H_2O + e^-$.

За время порядка 10-13 с может происходить термализация электронов недовозбуждения. Они начинают терять собственную энергию в процессах возбуждения внутримолекулярных колебаний (основной процесс) и дипольной релаксации молекул воды. Скорость потери энергии электронами недовозбуждения составляет величину порядка $4 \cdot 10^{13}$ эВ/с. Электроны, с неким избытком энергии (их часто называют "сухими") могут вести взаимодействие с молекулярными ионами воды в триплетном и синглетном возбужденных состояниях. Если происходит рекомбинация скоррелированной ионной пары материнский ион - электрон, то образуются возбужденные молекулы воды только в синглетном состоянии. "Сухие" электроны могут также реагировать с акцепторами в концентрированных растворах. Термализованные электроны за время продольной диэлектрической релаксации ($< 3 \cdot 10^{-13}$ с) локализуются с образованием гидратированных электронов.

Положительные молекулярные ионы воды вступают в ион-молекулярную реакцию



Образовавшийся ион гидроксония H_3O^+ гидратируется за время порядка 10-13 с

К завершению физико-химической стадии (время порядка 10-11 с) облученная вода может находиться в состоянии теплового равновесия. В ней существуют гидратированные электроны, радикалы H, OH и O, ионы гидроксония и молекулярный водород. Данные частицы распределены в пространстве неомогенно - они концентрируются в микрообластях. В случае γ -облучения это - "шпоры". Расположение частиц в "шпоре" также неравномерное: атомы O и H, радикалы OH и ионы гидроксония располагаются преимущественно в центре "шпоры", а гидратированные электроны - в шаровом слое на расстоянии около 4 нм от центра.

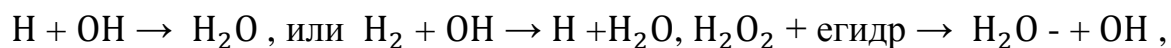
На химической стадии, начиная со времени порядка 10⁻¹⁰ с, протекают в "блобах", "шпорах" и коротких треках химические реакции образовавшихся на предыдущей стадии продуктов друг с другом, что приводит к образованию атомов и молекул водорода, пероксида водорода и ионов гидроксила. Совместно имеет место диффузия этих частиц (и прежде образовавшихся) из "шпор" в объем раствора, результатом чего является размывание "шпор" и выравнивание концентраций продуктов радиолиза по объему, т. е. нахождение гомогенного распределения продуктов. Время нахождения такого распределения составляет порядка 10⁻⁷ с. По прошествии этого времени в воде существуют гидратированные электроны, атомы водорода и кислорода, радикалы OH, молекулярный водород, пероксид водорода, ионы гидроксония и гидроксила. Радиационно-химические выходы этих частиц, образование которых закончилось ко времени завершения внутришпоровых реакций (их называют первичными выходами), составляют

в нейтральной воде для гамма-излучения, частица/100 эВ: $G(\text{eгидр}) = 2,8 - 2,9$, $G(\text{H}) = 0,6$, $G(\text{OH}) = 2,8 - 2,9$, $G(\text{O}) = 0,0067$, $G(\text{H}_2) = 0,45$, $G(\text{H}_2\text{O}_2) = 0,75$, $G(\text{H}_3\text{O}^+) = 3,3 - 3,4$, $G(\text{OH}^-) = 0,5 - 0,6$.

Значения радиационно-химических выходов зависят от вида, воздействующего на воду ионизирующего излучения, точнее, от ЛПЭ излучения и температуры. Вышедшие из мест высокой концентрации в объем облучаемой системы частицы вступают в реакцию с растворенными веществами, со стабильными продуктами радиолиза и с короткоживущими частицами, вышедшими из других мест повышенной концентрации. Данные реакции характеризуются обычно, некими высокими константами скорости и низкими (иногда нулевыми) энергиями активации. Скорость многих реакций радикалов и ион-радикалов ограничивается диффузией. Постоянные скорости таких реакций в жидкой фазе могут быть с успехом рассчитаны при помощи уравнений Дебая или Смолуховского, в соответствии, для незаряженных частиц.

В следствии перечисленных реакций в системе происходит разрушение первичных стабильных продуктов радиолиза воды - водорода, пероксида водорода, кислорода - и возникновение вторичных радикальных продуктов, например, радикалов HO_2 .

В случае если разрушается один из продуктов радиолиза, например,



то говорят об "обратных" реакциях. В непрерывных условиях влияния ионизирующего излучения такие реакции играют важную роль, так как благодаря им система не претерпевает полного разложения под действием излучения. В ней устанавливается стационарное состояние - динамическое равновесие, при котором скорость разрушения вещества, составляющего систему (в нашем случае - воды) под влиянием излучения оказывается равной скорости воспроизводства этого вещества из возникших при

воздействию излучения фрагментов или продуктов. Явление радиационно-химического стационарного состояния в облученной воде обладает исключительно важным значением для количественных расчетов изменений под воздействием излучения свойств воды как теплоносителя в первом контуре реакторных установок, в бассейнах - хранилищах и контейнерах для перевозки отработавшего топлива.

в случае если говорят, что при радиолизе водная система находится в стационарном состоянии, то это обозначает наличие динамического равновесия по всем ее составляющим: основному веществу - воде и продуктам радиолиза - водороду, кислороду и пероксиду водорода. Из-за этого скорость образования продуктов в первичных процессах будет равна скорости их разложения во вторичных реакциях и удаления из воды в паровую фазу.

На величины стационарных концентраций продуктов радиолиза воды оказывают влияние следующие технологически значимые параметры: линейная передача энергии, связанная с качественным составом излучения, в поле которого находится водная система; температура, при которой происходит облучение, а также наличие в воде примесей, особенно, кислорода, присутствие примесей в воде оказывает весьма существенное влияние на величины стационарных концентраций продуктов радиолиза воды. Более того наличие неких примесей в значительных концентрациях может приводить к тому, что стационарное состояние окажется недостижимым. Примером этому служат содержащие нитрат натрия высокоактивные водные отходы переработки отработавшего ядерного топлива, в таких системах отсутствует стационарное состояние в отношении радиолитических газов - водорода и кислорода.

Для радиационной химии водных теплоносителей наиболее важной примесью является кислород. известно, что стационарные концентрации водорода, кислорода и перекиси водорода при гамма - радиолизе воды

пропорциональны начальной концентрации растворенного в воде до облучения кислорода. При комнатной температуре имеют место следующие линейные зависимости:

$$[H_2] = a [O_2]_{нач} + C1 \quad (5.2)$$

$$[H_2O_2] = b [H_2O_2]_{нач} + C2 \quad (5.2)$$

где a , b , $C1$ и $C2$ - сложные функции мощности дозы. Эти уравнения могут быть полезны для первоначальных оценок эффектов попадания кислорода в теплоноситель ядерных энергетических установок.

Влияние температуры на начальные выходы продуктов гамма-радиолиза нейтральной воды (частица/100 эВ).

Таблица 5.

Т, К	G(егидр)	G(H)	G(OH)	G(H2O2)	G(H2)	G(OH-)	G(H+)
298	3,00	0,65	2,95	0,80	0,45	0,60	3,60
323	3,07	0,65	3,06	0,78	0,45	0,66	3,73
373	3,17	0,76	3,37	0,73	0,45	0,93	4,10
423	3,49	0,78	3,77	0,70	0,45	1,11	4,60
473	3,91	0,88	4,37	0,66	0,45	1,43	5,34
523	4,41	1,04	5,13	0,61	0,45	1,85	6,26

Температурная зависимость начальных выходов (частица/100 эВ) продуктов радиолитической кислоты воды (рН= 0,8) под действием быстрых нейтронов.

Таблица 6.

Т, К	G(егидр)+G(H)	G(OH)	G(H ₂ O ₂)	G(H ₂)
298	1, 28	0, 69	1, 28	0, 95
333	1, 54	0,92	1,10	0, 82
348	1, 74	1, 10	1, 00	0, 69
373	1, 90	1,26	0,92	0, 60
423	2, 26	1, 62	0, 64	0, 31
473	2, 44	1, 79	0, 54	0, 23
523	2, 51	1, 87	0, 51	0, 21

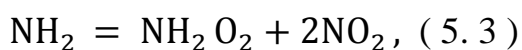
В заключение можем рассмотреть связь между стационарными концентрациями водорода, кислорода и пероксида водорода. Выведем уравнение математического баланса. допустим в замкнутом сосуде облучается чистая вода. Для всякого времени облучения количество атомов Н и О в такой системе остается постоянным. Уравнение сохранения атомов водорода запишется в виде:



, а уравнение сохранения атомов кислорода



Исключая из этих двух уравнений NH_2O и $(\text{NH}_2\text{O})_{\text{нач}}$, получаем уравнение,



связывающее количества возникших при радиолизе молекул водорода, кислорода и пероксида водорода. в случае если в сосуде нет свободного газового объема, то, разделив обе части уравнения (5. 3) на величину объема облучаемой жидкости $V_{ж}$, находим связь между концентрациями водорода, кислорода и пероксида водорода

$$[H_2] = [H_2 O_2] + 2[O_2] \quad (5. 4)$$

Данное уравнение справедливо в произвольный момент времени облучения. когда система облучена малой дозой, тогда можно считать, что накопившиеся продукты радиолиза ещё не влияют на кинетику образования друг друга и на скорость разложения воды, деление уравнения (4.4) на величину поглощенной дозы дает связь между выходами водорода, пероксида водорода и кислорода:

$$G(H_2) = G(H_2 O_2) + 2 G(O_2) . \quad (5. 5)$$

в случае когда облучение проводят в сосуде (объем жидкой фазы $V_{ж}$) со свободным объемом ($V_{г}$) длительное время, достаточное для определения стационарного состояния, то возникающие радиолитические газы распределяются между свободным объёмом и жидкостью в соответствии с растворимостью при заданной температуре, и уравнение материального баланса для этого случая будет выглядеть в следующем виде:

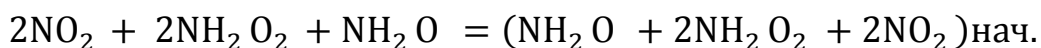
$$A [H_2]_{ст} = [H_2 O_2]_{ст} + 2B [O_2]_{ст} , \quad (5. 6)$$

$$\text{где } A = 1 + (a_{H_2} / RT) (V_{г} / V_{ж}) \text{ и } B = 1 + (a_{O_2} / RT) (V_{г} / V_{ж}) ,$$

когда система со свободным объемом с до облучения содержит растворенные в жидкой фазе пероксид водорода, водород и кислород и находящиеся в свободном объеме водород и кислород (т. е продукты радиолиза воды), то закон сохранения массы атомов водорода и кислорода запишется для водорода

$$2NH_2 + 2NH_2 O_2 + 2NH_2 O = (2NH_2 O + 2NH_2 + 2NH_2 O_2)_{нач},$$

и для кислорода



Исключая из этой системы уравнений NH_2O и $(\text{NH}_2\text{O})_{\text{нач.}}$, получаем уравнение материального баланса для стационарного состояния в рассматриваемом случае:

$$2B [\text{O}_2]_{\text{ст}} + [\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{ст}} = A [\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{ст}} + \alpha. \quad (5.7)$$

Величина α предполагает за собой, так называемый, избыток окисляющего компонента $\alpha = 2B [\text{O}_2]_{\text{нач}} + [\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{нач}} - A [\text{H}_2]_{\text{нач}}$

в случае если раствор, до облучения содержал кислород и пероксид водорода, то $\alpha > 0$; если облучался раствор водорода, то $\alpha < 0$.

Рассмотрим определенные следствия, вытекающие из уравнения материального баланса радиолиза воды. Уравнение (5.7), предположим, демонстрирует, во-первых, что стационарное состояние в замкнутой облучаемой системе определяется алгебраической суммой концентраций продуктов радиолиза воды, находящихся там в системе до облучения. в самом деле, если воду до облучения насытить водородом и создать в ней концентрацию водорода равную или превышающую стационарную, то величина α будет меньше нуля. Согласно уравнению материального баланса (5.7) стационарные концентрации кислорода и пероксида водорода в этом случае должны быть равными нулю или меньше нуля. Оно означает, что скорость образования при облучении кислорода и пероксида водорода будет меньше скорости их разрушения во вторичных реакциях, и эти вещества не будут накапливаться в облучаемой системе. это явление широко используется в ядерной энергетике при организации водного режима ядерных водо-водяных реакторов. В первый контур реакторных установок дозируется молекулярный. Концентрация окисляющих агентов - кислорода и пероксида водорода в контуре резко уменьшается, в результате чего снижаются скорость коррозии конструкционных материалов и вероятность

образования взрывоопасных смесей водорода и кислорода в компенсаторе давления и коллекторах парогенератора.

В случае если выполнять непрерывную сдвuku радиолитических газов из облучаемой системы (например, удалением их путем откачивания вакуумом), то это будет, по сути дела, радиолиз открытой системы с бесконечным газовым объемом.

Физический смысл этого уравнения состоит в том, что при радиолизе чистой воды и эффективной сдвuke радиолитических газов. отношение стационарных концентраций кислорода и водорода не зависит, ни от мощности дозы, ни от вида ионизирующего излучения, ни от соотношения объемов фаз, а являются функцией только температуры через температурные зависимости констант. Это явление нужно учитывать при организации режима удаления радиолитических газов из реакторных систем. не стоит позволять газам удаляться из свободного объема аппаратов в атмосферу, это вызовет за собой заполнение объёма смесью водорода и кислорода в примерно одинаковой концентрации, т. е. взрывоопасной гремучей смесью.

Водные растворы.

В случае, когда мы будем облучать не чистую воду, а раствор какого-либо соединения, то радикалы Н и ОН вместо того, чтобы разрушать молекулярные продукты радиолиза воды, будут вступать в реакцию с молекулами растворенного соединения, порождая различные его превращения - окисление, восстановление, деструкцию, полимеризацию и т.д. исследование превращений различных соединений и позволило узнать, что при радиолизе воды образуются радикалы Н и ОН. Радикал гидроксила ОН экспериментально обнаружил английский ученый Ф.Дейнтон в 1948 г. Он облучал водные растворы акрилонитрила $\text{CH}_2 = \text{CHCN}$. Молекула акрилонитрила не содержит в своем составе атомов кислорода. При облучении молекулы акрилонитрила полимеризуются в полиакрилонитрил, и в нем появляется гидроксильная группа - группа ОН, имеет возможность

появиться только в том случае, если образуется из воды. Аналогичным доказательством может служить и образование фенола из бензола при облучении водного раствора бензола. Радикал Н - атомарный водород - был обнаружен методом электронного парамагнитного резонанса. Не так давно этим методом было доказано также образование радикала гидроксила. Атомарный водород является мощным восстановителем, а радикал гидроксила - окислителем в связи с этим они оказывают противоположное воздействие на растворенные вещества, как это можно видеть на примере ионов железа и церия:



Следовательно, перемена соединений в разбавленных растворах вызывается продуктами радиолиза воды. Таким образом данный процесс общепринято называть косвенным воздействием излучения. В концентрированных растворах перемена растворенного соединения будет протекать также и в результате "прямого" действия излучения, если оно вступает в реакцию непосредственно с молекулами растворенного вещества, вызывая их ионизацию, которая, в свою очередь приводит к появлению определенных радикальных и молекулярных продуктов. В сильно разбавленных растворах превалирует косвенное воздействие, а в концентрированных - наблюдаются и тот и другой эффект. Прямое действие совершается в растворах любой концентрации, но его величина пропорциональна электронной доле, т.е. отношению числа электронов данного вещества к числу электронов во всей системе. В разбавленных растворах электронная доля пропорционально концентрации растворенного вещества, а в концентрированных растворах между электронной долей и концентрацией пропорциональности нет.

Большим количеством ученых были исследованы превращения многих соединений в водных растворах и введены основные закономерности. В разбавленных растворах радиационнохимические выходы растворенных веществ крайне малы. Для большинства соединений, превращения которых идут не по цепному механизму, выходы составляют 4-5 ионов или молекул на 100 эв. В более концентрированных растворах они немного повышаются, достигая 12 ионов или молекул на 100 эв. Это увеличение происходит вследствие того, что в концентрированных растворах с растворенным соединением могут реагировать и возбужденные излучением молекулы воды H_2O , которые в разбавленных растворах теряют свою энергию раньше, чем столкнутся и смогут вступить в реакцию с молекулами растворенных соединений. В случае воды и водных растворов коэффициент полезного использования энергии излучения, очень мал - не более 10 %

Вследствие этого для индустрии имеют все шансы владеть смысл лишь только цепные радиационно - химические процессы, или же эти процессы, когда появляется соединение, которое невозможно получить другими способами или же которое получается другими способами, но с гигантскими расходами энергии. В качестве примеров подобных процессов можно привести окисление бензола в фенол, этилена в уксусный альдегид и др. Радиационной химии изучение радиолиза воды и водных растворов позволило создать общее представление о радиолизе чистых веществ и смесей различных веществ, о видах радиационно-химических реакций в растворах, о путях повышения и понижения выходов радиолитических превращений. Зная механизм радиолиза воды, легче изучать механизмы радиолиза других веществ, так как многие закономерности радиационно-химических превращений имеют общий характер. Используя полученные данные о радиолизе водных растворов, химики смогли разобраться в радиационно-химических превращениях веществ, используемых для разделения и очистки радиоактивных изотопов и ядерного

горючего, а также разработать методы, устраняющие опасность появления больших количеств горючего газа при облучении воды в ядерном реакторе. Другое важное следствие касается радиационной биологии. Организмы - это концентрированные во растворы органических и неорганических веществ. То есть, происходящие в организмах процессы могут подчиняться единым закономерностям радиолиза водных растворов, которые облегчают биологам выяснение механизма биологических нарушений в организме при облучении.[1]

Газы

Можно привести достаточно примеров эффективного воздействия радиации на газообразные вещества. При облучении аммиака NH_3 образуется гидразин N_2H_4 и молекулярный водород, окислы марганца в результате облучения выделяют кислород, при облучении твердого нитрата NaNO_3 образуется нитрит NaNO_2 , молекулярный азот и кислород. Аналогичных примеров можно привести весьма много. Происходящие при облучении процессы простых неорганических соединений, весьма многообразны, но, как и для более сложных соединений, все их можно свести к превращениям ионов, возбужденных молекул, и радикалов. При действии излучения на кислород возникает озон O_3 , который существенно более реакционноспособен, чем кислород, хотя он образуется в небольшом количестве чистом кислороде, ведет взаимодействие с возбужденными молекулами и атомами кислорода, вновь превращаясь в кислород. Следовательно, при некоторой концентрации озона и процессом его распада установится равновесие, подобное тому, которое мы наблюдали при облучении воды. Любопытно то, что выход образования озона в жидком кислороде (13.6 молекулы на 100 эв) намного выше выхода образования озона в газообразном кислороде (1.5 молекулы на 100 эв). Данное заметно из примера, агрегатное состояние вещества (жидкое и газообразное) и температура (-183 и +20°C, соответственно) оказывают большое влияние на

выходы радиационно-химических превращений. Аллотропные переходы, наблюдаемые при облучении кислорода (кислород \rightarrow озон), протекают и при действии излучения на другие простые соединения. Так, при облучении белое олово переходит в серое, алмаз в графит. В результате действия излучения разрываются связи между атомами простого соединения, и эти атомы перестраиваются в новую молекулу или образуют кристалл с другой решеткой, нежели была раньше. Из индивидуальных неорганических соединений изучены радиационно-химические превращения аммиака и углекислого газа.

Радиолиз аммиака во многом похож на радиолиз воды. Так как, распад молекулы аммиака совершается с образованием атомов водорода и радикалов NH_2 ($\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2 + \text{H}$), которые потом по реакциям рекомбинациям преобразуются в молекулярный водород и гидразин, применяемый как один из видов ракетного горючего. Выход гидразина мал (1-2 молекулы на 100 эв), во многих лабораториях этот процесс интенсивно изучается, так как существующие методы получения гидразина очень сложны и трудоемки, состоят они из многих стадий, в то время как радиационно-химический синтез всего из одной. В литературе описан один проект получения гидразина непосредственно в активной зоне ядерного реактора. Правда, при этом образующийся гидразин загрязнен, проблема радиоактивных загрязнений еще полностью не решена, но в недалеком будущем, очевидно, будут найдены химические или физические способы, которые позволят очищать вещество от очень малых количеств примесей.

При облучении двуокиси углерода (углекислого газа) образуются окись углерода (углекислого газа) образуются окись углерода и молекулярный кислород. Вдобавок, образуется некоторое количество недоокиси углерода, образующийся желтоватый туман в реакционном сосуде. Окись углерода - широко применяется в органическом синтезе-соединении, поэтому процесс получения окиси углерода представляет практический интерес. Но благодаря

тому, что окись углерода очень активно захватывает атомы кислорода и превращается обратно в двуокись углерода, на практике получить такой выход не удастся. При облучении смеси соединений, содержащих различные атомы, протекают более сложные процессы, чем в случае облучения простых соединений. Так, при облучении смеси азота и кислорода (в том числе и воздуха) образуется окислы азота трех типов: N_2O (закись азота), NO (окись азота) и NO_2 (двуокись азота). Есть и другие достойные внимания радиационно-химические превращения в смесях газов, например, процессы окисления двуокиси серы в треокись и образования хлористого водорода и хлора.

Радиационно-химические обращения в твердых телах идут, обычно, гораздо наименьшими выходами, чем в жидкостях или газах. Это обусловлено тем, что крепкие связи между частицами, отличительные для твердого тела, весьма затрудняют движение атомов и молекул в твердом теле и, значительно, тормозят химические реакции, происходящие в результате столкновения этих частиц. Первичные радиационно-химические процессы в твердом теле такие же, как в жидкостях. Стоит заметить, что «легкое» излучение (электроны, рентгеновские-лучи и гамма-лучи,) и «тяжелое» (альфа-лучи, гелионы, дейтоны, ускоренные протоны) могут оказывать всевозможные действия на твердое вещество. Легкое излучение влияет только на электронную оболочку атомов, тем самым вызывая смещение атомов в объеме твердого вещества. В жидкостях, где сами атомы могут передвигаться свободно, это смещение обычно не вызывает нарушения структуры, что, естественно, влияет и на свойства твердого тела. Существует применение этого ионизирующего излучения на практике, для изменения свойств этого полупроводника. Поскольку полупроводниковые свойства находятся в зависимости от количества дефектов структуры. В связи с этим при облучении кристаллов германия (высокая степень чистоты) потоком быстрых нейтронов обнаружено сокращение сопротивления кристаллов,

вызванное смещением атомов в решетке. При облучении структуры, дефекты могут облегчать термическое разрушение веществ. Вот, например, скорость разложения облученных оксалатов значительно выше при нагревании, нежели скорости разложения необлученных оксалатов. Изъяны структуры разрыхляют кристалл, поверхность его становится неоднородной и пористой. Чем больше доза излучения, тем более неоднородной может становиться поверхность, а значит, тем большее количество молекул газа захватывается, адсорбируется ею из окружающего пространства.

Радиационно-химические эффекты во многом зависят и от вида кристалла. Так различных видов кристаллов могут наблюдаться разные эффекты. В случае кристаллов, которые построены из ионов, предположим, хлористого натрия (поваренная соль), ионизирующая частица будет вырывать электрон из иона хлора. Ион хлора превращается в атом хлора, а электрон, получивший какую-либо кинетическую энергию, будет отходить на расстояние, где будет захватываться положительным ионом натрия, в следствии чего также превращается в нейтральный атом. Частица имеет возможность вырвать электрон и из иона натрия. Тогда вылетевший электрон отправится в свое краткосрочное путешествие по кристаллу до встречи с ионом Na^+ , а двухзарядный ион натрия отбирает электрон у соседнего иона хлора. Итог будет такой же - образование нейтральных атомов натрия и хлора. При достаточно длительном облучении таких атомов может накопиться достаточно много, и потому они имеют иной размер, чем первоначальные ионы, то решетка кристалла будет либо расширяться, либо сужаться. В случае хлористого натрия решетка будет расширяться, а это означает, что снижается удельный вес кристалла и растет его объем. В наиболее сложных соединениях возможны более глубокие превращения. предположим, в случае нитрата натрия образуются атомарный натрий и радикал NO_3 , распадающийся на атомарный кислород и двуокись азота NO_2 .

Облучение хлората натрия приводит к одновременному восстановлению и к окислению вещества - образуются хлорид и перхлорат натрия



Прекрасным примером представляет собой облучение твердого бикарбоната натрия (обычной питьевой соды), при нем возникают простейшие органические соединения - соли муравьиной и щавелевой кислот: HCOONa и $(\text{COO})_2\text{Na}_2$. Интересно то, что в следствии образования незаряженных атомов при их облучении окрашиваются кристаллы и стекла.

Возникающие атомы щелочных металлов активно поглощают синий свет, вследствие этого все эти соединения при облучении обычно приобретают окраску. Появляющуюся окраску возможно ликвидировать, для этого нужно нагреть окрашенные кристаллики стекла до 400-600 С. При всем этом подвижность атомов возрастает и происходит их рекомбинация с образованием первоначальных ионов или молекул, т.е. проходят обратные процессы, и кристалл или стекло вновь становятся прозрачными. Для отдельных сортов стекол плотность окраски пропорциональна дозе облучения. эти стекла используются для дозиметрии больших доз излучения. наверное это самый простой и удобный способ: облученное стекло помещают в прибор для измерения плотности окраски (калориметр) и по шкале непосредственно отсчитывают дозу, приобретенную стеклом. после стекла прогревают для обесцвечивания, и оно снова готово к использованию. Окрашивание стекол при облучении весьма затрудняет оптические измерения по средству перископов и телевизионных передатчиков в зоне действия излучения. Благодаря чему в последние годы велись исследования стекол неокрашивающихся при облучении. на данный момент такие стекла созданы. все-таки окраска появляется в результате захвата электронов ионами щелочных металлов, т.е. в следствии восстановления; значит, в состав стекла следует вводить некое вещество, которое захватывает электроны активнее, чем ионы натрия или калия. подобными веществами

могут служить, например, ион четырехвалентного церия или молекулярная сера.

Стекла, имеющие эти добавки, при облучении обычно остаются прозрачными и не изменяют своей окраски. При облучении же твердых соединений, состоящих из молекул, а не из ионов (нафталин, крахмал) в следствии отрыва электронов образуются ионы. Следовательно, вначале нейтрального соединения появляются отрицательные ионы, которые часто устойчивы долговременно. Вещество становится гораздо более электропроводным чем ранее. к примеру, если полиэтилен, имеющий сопротивление 10^{19} ом*см, облучить, а затем прогреть до высокой температуры то его сопротивление уменьшится до очень малой величины - при дозе $4 \cdot 10^{23}$ эв/см³ сопротивление упадет до 0.2 ом*см. Сложные молекулы обычно распадаются на более простые, либо отдают энергию в виде света и тепла. Свойство испускать свет при облучении применено при построения дозиметрических приборов, таких как, люминесцентные счетчики. Они фиксируют кванты света, возникающие при поглощении энергии излучения в кристалле специально подобранного вещества. Такие дозиметры позволяют замерять очень слабые потоки ионизирующих излучений, вплоть до нескольких фотонов или альфа-частиц. На электронную оболочку атомов воздействует любой вид излучения - и гамма-лучи, и альфа-частицы. То же самое касается взаимодействия с атомными ядрами, в случае легкого излучения оно будет наблюдаться крайне редко, - настолько редко, что в потоке гамма-лучей с энергией 1 Мэв из миллионов фотонов что может только один раз столкнуться с атомным ядром. Тяжелые же частицы сталкиваются с ядрами гораздо чаще. При столкновении ядра с тяжелой частицей (протона, быстрого нейтрона или альфа-частицы) оно переходит в движение близко бильiardному шару, получившему толчок от другого шара. В следствии удара атом выбивается со своего места. Энергия, полученная им, находится в зависимости от энергии,

массы частицы, угла удара, так и от массы атомного ядра. когда энергия очень велика (сотни тысяч электронвольт), то атом при ударе потеряет один или несколько электронов - возникает атомарный ион, который несет большую энергию и способный производить ионизацию окружающего вещества. подобные атомарные ионы именуется атомами отдачи. приобретя значительную кинетическую энергию, атом может пройти в веществе достаточно немалое расстояние. с целью подтвердить это, и был поставлен следующий опыт. Кобальтовая пластинка, покрытая с обеих сторон тонким (несколько сот ангстрем) слоем золота, была зажата между двумя графитовыми пластинками и облучена в ядерном реакторе. Атомы кобальта при захвате нейтронов становятся радиоактивными. Вместе они получают сильные удары от быстрых нейтронов, где находятся в излучении реактора. Энергия, полученная атомами кобальта, была настолько велика, что они, пройдя через пограничный слой золота, оказались в графитовых пластинках.

Тем самым, тяжелое излучение выбивает атомы из их мест в решетке твердого тела. В этом случае образуются атомы, занимающие ненормальное положение в веществе. Это и обуславливает их стремление вернуться в прежнее положение, но этому же препятствует "жесткость" структуры. При облучении твердого тела энергия излучения собирается в нем в виде энергии смещенных атомов. Энергия смещения называется вигнеровской по имени американского физика Е. Вигнера, открывшего данное явление. данное явление имеет большое значение как для реакторостроения, так как в ядерных реакторах материалы могут накопить огромные количества такой энергии. В данном отношении может быть особенно опасен графит - чаще всего используемый замедлитель нейтронов. Ядерные реакторы время от времени необходимо останавливать и прогревать, чтобы атомы вернулись на свои места в кристаллической решетке. Тогда, когда, нагрев производится очень быстро, выделяющаяся при возвращении атомов на места вигнеровская энергия вызывает саморазогревание, в следствии которого происходит

тепловой взрыв. По данной причине зарегистрировано некоторое количество случаев аварий ядерных реакторов.

Следующий эффект действия тяжелых частиц на твердое тело заключается в отдаче энергии летящей частице на единицу проходимого ею расстояния тем больше, чем меньше скорость ее движения, т.е. чем меньше ее энергия. вследствие этого по мере замедления частица отдает все больше и больше энергии на единицу пути. На заключительном участке своего движения отдача энергии малому объему вещества столь велика, что происходит мгновенное расплавление вещества в этом микрообъеме, все остальное вещество остается в прежнем состоянии. спустя небольшое время расплавленное вещество вновь застывает, но структура его после этого обычно может быть уже отличной от прежней, а значит, изменяются и физические свойства. в случае если же при температуре плавления происходит и термическое разложение вещества, то без сомнения, не только его структура, но и состав будет иным. К подобным веществам относятся большинство органических веществ и многие неорганические. Даже в самых тугоплавких металлах - молибдене, вольфраме, цирконии - при очень больших дозах в результате суммирования всех трех эффектов действия тяжелого излучения наблюдаются структурные изменения. В нынешнее время самыми устойчивыми к излучениям твердыми материалами являются металлы. видимые изменения в них наступают только при дозах, превышающих 10^{24} эв/см³. Общим для большинства металлов изменениям следует отнести повышение микротвердости, предела прочности (в отдельных случаях до 50% исходной величины) предела текучести (для некоторых сталей на 200%).

В итоге длительного облучения свойства сталей вследствие механической перестройки внутренней структуры улучшаются. Но к сожалению, применять облучение для совершенствования свойств сталей

нерентабельно – «улучшенные» стали будут стоить дороже в том числе золота.

Выводы

1. Процессы радиолитиза в растворах достаточно сложны и могут приводить как к полезным, так и к вредным последствиям. Поэтому изучение процессов проникновения излучения через растворы является актуальной задачей.
2. Изучение процессов радиолитиза может быть вынесено на исследовательскую деятельность в профильной школе при соблюдении соответствующих мер безопасности.

Глава III. Поглощительная способность веществ по отношению к ионизирующему излучению (μ -мезонов, β -излучению)

Исследование кривой поглощения и углового распределения космических лучей. Потоки элементарных частиц (фотонов, протонов, атомов и др.), способные ионизировать вещество. Космогенные источники излучения приходят на Землю из просторов галактики в результате процессов, происходящих в ней. Первичное проникновение лучей происходит со скоростью света, попадая на земную поверхность, это поток высокоэнергичный, содержащий протоны и альфа-частицы. На него действует магнитное поле, часть его при контакте с атмосферой планеты, частично нейтрализуется на высоте 20 км. Преобладает на высоте 40 — 45 м от уровня моря Земли. Вторичное радиоактивное излучение представлено множеством элементарных частиц, образуется при взаимодействии первичного с элементами атмосферы планеты. Происходят ядерные превращения с образованием μ -мезонов. В результате на уровне моря излучение состоит почти полностью из мюонов.

Для проведения эксперимента мы использовали установку для излучения космических лучей ФПК-01. (рис.6,7)



Рис.6.

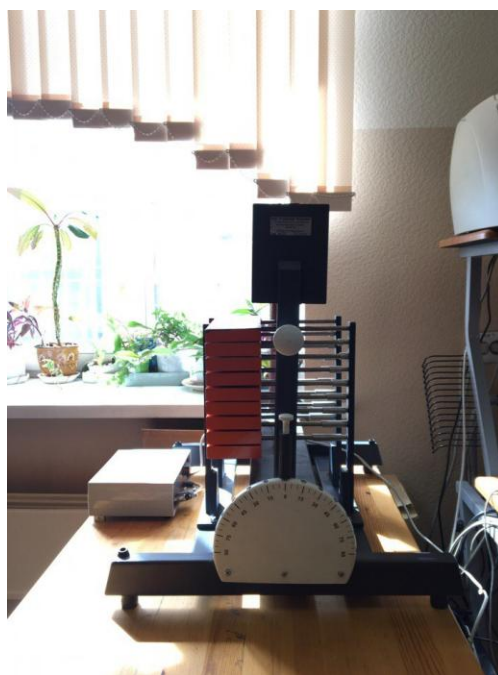


Рис.7.

Объект исследования представляет собой основание, на котором размещено устройство, получившее в литературе название «космический телескоп» (далее - телескоп). С помощью поворотного механизма телескоп может наклоняться на угол 90 градусов от вертикального положения. Телескоп представляет собой систему счетчиков Гейгера-Мюллера, позволяющую регистрировать частицы, летящие в заданном направлении. Он состоит из двух групп счетчиков, регистрирующих космическое излучение. Группы счетчиков расположены на некотором расстоянии друг от друга. Возможность регистрации частиц, летящих в заданном направлении, реализуется следующим образом. Если частица попадает на телескоп с заданного направления, то она воздействует на обе группы счетчиков, каждая из которых выдает на выходе импульс. Если частица попадает на телескоп с другого направления, то она воздействует только на одну из групп счетчиков. Выходной импульс на второй группе счетчиков в это время отсутствует. Проанализировав выходные импульсы с обеих групп счетчиков с помощью схемы совпадений, можно выделить импульсы, численно соответствующее количеству частиц, воздействующих на телескоп с заданного направления. Изменяя с помощью

поворотного механизма угол наклона телескопа к горизонту, можно определить интенсивность (путем подсчета количества частиц за определенное время измерения) космического излучения под различными углами к горизонту. В качестве счетчиков в объекте исследования применены серийно выпускаемые счетчики Гейгера. В измерительном устройстве применена однокристалльная микро-ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить подсчет количества импульсов, поступающих с объекта исследования, и времени измерения с индикацией результатов, а также осуществлять функции управления установкой (предварительная установка времени измерения, начало и окончание измерения, остановка процесса измерения, сброс результатов, автоматическая остановка при переполнении счетчиков. Принцип действия установки основан на регистрации и подсчете количества частиц при помощи счетчиков ионизирующего излучения. Частицы ионизируют газ, которым наполнен счетчик и вызывают кратковременный разряд, преобразуемый в импульсы напряжения, регистрируемые, обрабатываемые и подсчитываемые установкой. В процессе выполнения лабораторных работ снимаются зависимость изменения количества частиц за фиксируемое время измерения от направления излучения (угол наклона телескопа к горизонту) или от толщины пластин фильтра (при фиксированном значении угла наклона телескопа к горизонту).[7]

Результаты измерений скорости счета (рис. 8) позволили оценить коэффициент поглощения свинца по отношению к мюонному потоку при аппроксимации известным выражением:

$$n/n_0 = \exp(-\mu h), \mu \approx 0.02 \text{ 1/см.}$$

$$n = n_0 e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{n}{n_0} = \ln e^{-\mu x}$$

$$\ln \frac{n}{n_0} = -\mu x$$

№ опыта	Количество пластин	Время опыта /с	Результат(количество щелчков за t)
1	0	500с	166
2	1	500с	181
3	2	500с	160
4	3	500с	142
5	4	500с	145
6	5	500с	145
7	6	500с	133
8	7	500с	137
9	8	500с	138
10	9	500с	152

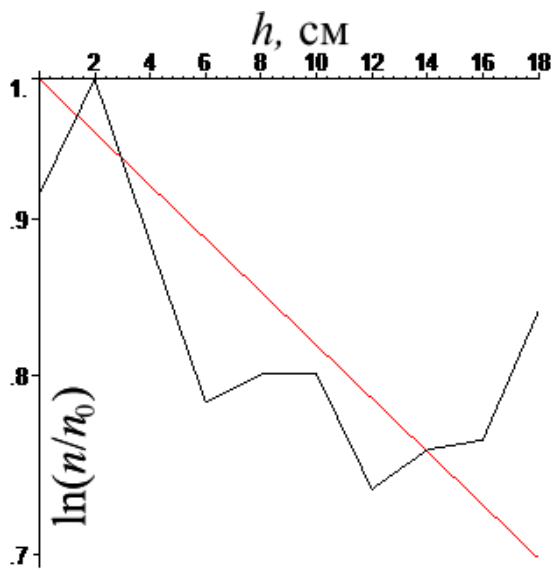


Рис.8. опыт с пластинами свинца

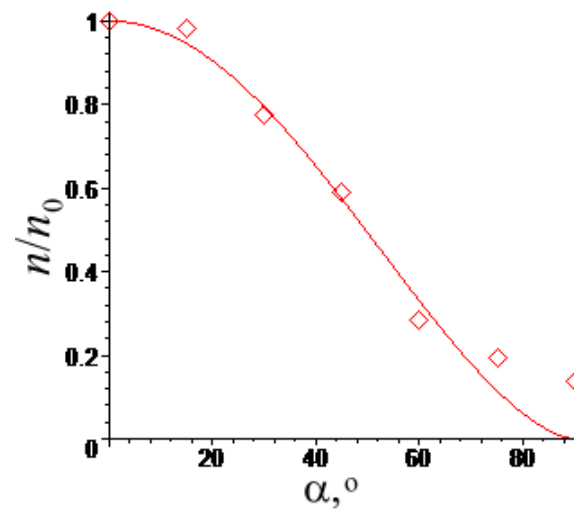


Рис.9. опыт зенитного распределения

Скорость счета от зенитного угла.

Экспериментальная зависимость распределения потока по зенитному углу показана на рисунке 9 точками в сравнении с теоретической зависимостью

$$n/n_0 = \cos^{1.6}(\alpha).$$

Результаты измерений таблица 10.

Таблица 10.

№ опыта	Угол отклонения	Время опыта/с	Результат(количество щелчков за t)
1	0 ⁰	500с	166
2	15 ⁰	500с	163
3	30 ⁰	500с	129
4	45 ⁰	500с	98
5	60 ⁰	500с	47
6	75 ⁰	500с	32
7	90 ⁰	500с	23

Можем сделать выводы, первый опыт где мы использовали установку свинец в мюонном потоке дал не совсем удовлетворительный результат, но это связано скорее всего с рассеянным потоком частиц и окружающим излучением. Аппроксимация дала удовлетворительный результат $\mu \approx 0.02$.

Второй опыт от угла зенитного распределения удовлетворил нас гораздо больше. Отклонение от теоретической зависимости при больших углах мы связываем с частичным рассеянием потока мюонов на окружающих предметах. Отклонения при больших углах можно связать так же с вторичным излучением предметов. Так как излучение — это то что окружает нас каждый день, где бы мы не находились и полностью оградить его от установки невозможно в школьных условиях, поэтому погрешность будет существовать.

Следующая часть исследования посвящена изучению поглотительной способности воды и водных растворов. для данного эксперимента использовалась установка для изучения энергетического спектра электронов ФПК-05.рис 11.

Установка состоит из объекта исследования и устройства измерительного, выполненных в виде конструктивно законченных изделий, устанавливаемых на лабораторном столе и соединяемых между собой

кабелем. Принцип действия установки основан на регистрации бета-частиц при помощи счетчиков ионизированного излучения. Бета-частицы ионизируют газ, которым наполнен счетчик, и вызывают кратковременные разряды (импульсы) регистрируемые установкой.

Устройство измерительное выполнено в виде конструктивно законченного изделия. В нем применена однокристалльная микро-ЭВМ с соответствующими дополнительными устройствами, позволяющими производить подсчет количества импульсов, поступающих с объекта исследования, и времени измерения с индикацией результатов, а также осуществлять функции управления установкой (предварительная установка времени измерения, начало и окончание измерения, остановка процесса измерения, сброс- результатов, автоматическая остановка при переполнении счетчиков).

В состав устройства измерительного входят также источники питания для питания как самого устройства, так и объекта исследования. [7]



Рис.11. Экспериментальная установка ФПК-05.

Объект исследования состоит из держателя источника бета-частиц - ацетат уранил-натрием.

Ацетат уранила-натрия — неорганическое соединение, двойная соль натрия, и уксусной кислоты с формулой $\text{NaUO}_2(\text{CH}_3\text{COO})_3$, жёлтые

кристаллы кубической сингонии, пространственная группа $P 2_13$, параметры ячейки $a = 1,0692$ нм, $Z = 4$, растворяется в воде, слабо растворяется в метаноле и ацетоне. Толщина раствора, которую проходит поток частиц измеряем линейкой.

Результаты опыта в таблице 12.

Таблица 12.

№	Уровень раствора в колбе (см)	Количество щелчков за период времени (р-р воды)	Количество щелчков за период времени (р-р растительного масла)	Количество щелчков за период времени (р-р соли)	Время(секунды)
1	0	1117	381	379	999
2	0,5	377	383	378	999
3	1	376	374	380	999
4	1,5	369	361	371	999
5	2	380	370	345	999
6	2,5	373	377	352	999
7	3	361	353	409	999
8	3,5	346	329	373	999
9	4	368	341	370	999
10	4,5	385	359	352	999
11	5	342	356	347	999
12	5,5	381	363	348	999
13	6	356	364	336	999
14	6,5	342	384	334	999
15	7	346	337	332	999

Результаты измерений приведены на рисунке 13а,13б,13с точками в полулогарифмическом масштабе.

Аппроксимация экспоненциальной зависимостью методом наименьших квадратов позволило определить коэффициент поглощения для чистой воды: $\mu \approx 0.014$ 1/см (рис. 5а), для раствора поваренной соли в соотношении вода/соль=3 $\mu \approx 0.018$ 1/см (рис. 5б), растительного масла $\mu \approx 0.010$ 1/см (рис 5с). Погрешность составила примерно 27%.

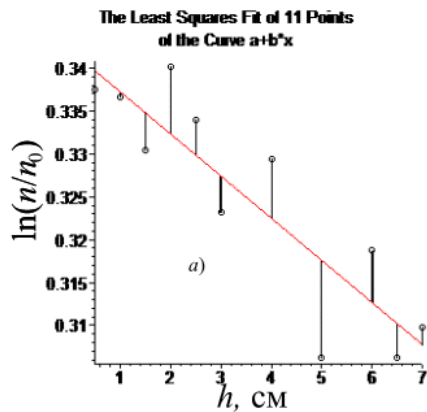


Рис13.а
Коэффициент поглощения
для чистой воды $\mu \approx 0.014$ 1/см

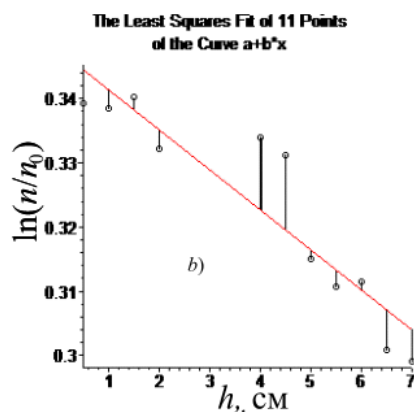


Рис.13б
Коэффициент поглощения
поглощения для раствора
поваренной соли в
соотношении вода /соль =3.
 $\mu \approx 0.018$ 1/см

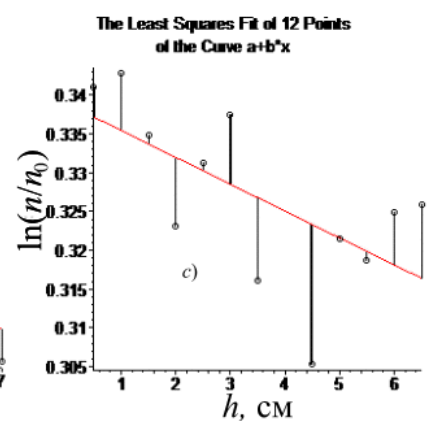


Рис.13с
Коэффициент поглощения
поглощения для
растительного масла
 $\mu \approx 0.010$ 1/см

Для различных растворов по отношению к β - излучению коэффициенты поглощения оказались равны :

1. для чистой воды $\mu \approx 0.014$ 1/см
2. раствор поваренной соли в соотношении вода /соль =3 $\mu \approx 0.018$ 1/см
3. растительное масло $\mu \approx 0.010$ 1/см

Выводы

1. Получены коэффициенты поглощения свинца, для космического потока μ - мезонов.
2. Исследована поглотительная способность растворов для β – излучения.
3. Экспериментально определены поглотительные способности свинца для мюонов и воды для электронов. Сравнивая результаты экспериментов можно

сказать, что поглотительная способность воды для электронного бета-излучения сравнима с поглотительной способностью свинца для потока мю-мезонов. Из рассмотренных жидкостей максимальной поглотительной способностью обладал соляной раствор.

Глава IV. Особенности применения экспериментальных заданий, связанных с поглотительной способностью материалов и растворов на физических практикумах.

Физические практикумы в современной школе крайне важны, потому что, изучая физику нельзя ее представить только в виде теоретических занятий или просто физических опытов.

Ведь всё что мы изучаем не только глазами, но и руками гораздо глубже усваивается в нашей памяти. Физические практикумы должны стать неотъемлемой частью программы в профильных классах. Чёткое и глубокое усвоение основного материала физики, невозможно без самостоятельной работы.

На физических практикумах учащиеся не только проверят законы физики, но и научатся работать с физическим оборудованием, овладеют навыками исследовательской действительности, научатся обрабатывать результаты. Физический практикум позволит учащимся осуществить исследовательскую и поисковую деятельность.

В настоящее время в федеральном государственном образовательном стандарте в школе включен раздел «квантовая физика» или «ядерная физика», но не в профильных классах он изучается формально, из-за нехватки учебного времени, трудности материала и сложности его усвоения учениками. В программах с углубленным изучением физики дела обстоят куда лучше, ведь часов для изучения материала у них больше, и они могут усвоить значительный объём знаний.

Например, программы для школ с углубленным изучением физики — программа, авторами которой являются Ю.И. Дик, В.А. Коровин, В.А. Орлов, А.А. Пинский. Согласно этой программе, в 11-м классе, помимо раздела

“Колебания и волны” изучается раздел “Квантовая физика”. Дик и Коровин предлагают изложение материала в световых квантах вести в историческом аспекте. Наличие у фотона не только энергии, но и импульса обосновывается световым давлением и эффектом Комптона. На базе опытов Боте и Иоффе-Добронравова рассматривается вопрос о флуктуациях фотонов. Предполагается анализ корпускулярно-волновой двойственности свойств света и электромагнитного излучения других диапазонов.

При изучении темы “Физика атома” вначале называются факты, которые приводят к квантовой теории атома; это анализ опыта Резерфорда, проблема неустойчивости атома с позиции классической физики, невозможность объяснить происхождение линейчатых спектров. Не ограничиваясь полуклассической теорией Бора, программа вводит учащихся в круг идей квантовой механики. Рассматриваются идеи де Бройля, опыты Девиссона и Джермера, соотношение неопределённостей. Вводится пси-функция, и указан её физический смысл. Решение уравнения Шрёдингера для случая частицы в прямоугольной одномерной потенциальной яме позволяет показать, что принцип квантования энергии — логическое следствие основных положений квантовой механики. Введение понятий о спине электрона и принципе Паули даёт возможность разъяснить строение периодической системы химических элементов Д.И. Менделеева. Идеи Эйнштейна о самопроизвольном и вынужденном излучении используются как база для раскрытия принципа действия оптического квантового генератора.

В теме “Физика атомного ядра” предполагается рассмотрение механизма альфа - и бета-распада, гамма-излучения. При анализе бета-распада вводится понятие о нейтрино, а в связи с гамма-излучением — понятие об эффекте Мёссбауэра. При изложении свойств ионизирующих излучений рассказывается о принципах дозиметрии и защиты, о проблеме радиобии.

Ядерная энергетика предусматривает знакомство с урановым реактором и синтезом ядер гелия.

Тема “Элементарные частицы” завершает курс физики. В ней вводится понятие о фундаментальных взаимодействиях, излагается современная классификация элементарных частиц, даются начальные сведения об идеях квантовой хромодинамики.[9,10]

Анализируя данную программу, мы видим, что она предусматривает значительный объём учебного материала, более детально и глубоко излагает материал, не ограничивается одной теорией, а вводит другие теоретические идеи, рассматривает задачи, не включенные в традиционный урок.

Возможности школ в организации физических практикумов в разделе «Ядерная физика» если это профильные классы, то школа может обеспечить лаборатории современным оборудованием.

Типовой комплект оборудования по курсу «Ядерная физика»

1. Установка «Исследование газоразрядного счетчика»
2. Установка «Экспериментальная проверка закона Пуассона»
3. Установка «Измерение периода полураспада долгоживущего изотопа»
4. Комплект учебного оборудования по атомной физике
5. Установка для изучения эффекта Зеемана
6. Установка для изучения спектра атома ртути (с монохроматором)
7. Установка для исследования плазмы положительного столба тлеющего разряда методом зондов Ленгмюра
8. Установка для определения удельного заряда электрона методом магнетрона
9. Установка для определения заряда электрона с помощью эффекта Шотки
- 10.

Автоматизированный физический практикум «Атомная физика»

1. Определение удельного заряда электрона
2. Эффект Холла в полупроводниках
3. Опыт Франка-Герца
4. Изучение законов фотоэффекта и определение постоянной Планка
5. Изучение спектра испускания ртутной лампы
6. Изучение спектра испускания натриевой лампы
7. Изучение треков частиц в камере Вильсона
8. Изучение космического излучения с помощью счетчика Мюллера-Гейгера

В своей дипломной работе я поставила цель, проработать 2 возможных физических практикума, такие как: исследование кривой поглощения и углового распределения космических лучей и изучение энергетического спектра электронов.

Опытным путем, учащиеся смогут понять принцип работы оборудования, узнают, что такое радиационное излучение, смогут проработать эти вопросы более глубоко, ведь в стандартном школьном курсе такие темы очень мало изучаются.

В опыте исследование кривой поглощения и углового распределения космических лучей, мы узнаем поглощение космического излучения от толщины поглощающего материала. Во второй части опыта посчитаем угол распределения лучей. Более глубоко изучим тему космических лучей и их проникающей способности.

Выводы.

1. Экспериментальная часть ядерной физики в современной школе недостаточно, хотя материальная возможность имеется.

2. Для создания практикума по атомной или ядерной физики в школе, необходимо проведение мастер-классов или мероприятий повышающих квалификацию учителей.
3. Некоторые работы практикумов могут иметь развитие и представляться для участия в научно-практических конференциях.

Заключение

1) Экспериментально определены поглотительные способности свинца для мюонов и воды для электронов. Построены графики зависимости различных растворов, так же вычислили коэффициент поглощения, тем самым видим что из рассмотренных жидкостей максимальной поглотительной способностью обладал соляной раствор.

2) Тематика не представлена в школьном курсе изучения физики, необходимое оборудование в школах присутствует, но не используется.

Данный материал и исследования можно широко использовать в школьных физических практикумах, что весомо расширит школьные знания, тягу к исследованиям и может дать первый шаг к научным исследованиям.

Литература

1. Бекман И.Н., Лекции по ядерной физике. Лекция 13. Ионизирующее излучение. 2010г.
2. Бекман И.Н. . Радон, врач и помощник. Лекция 1. Радиоактивность окружающей среды. (<http://nuclphys.sinp.msu.ru/>)
3. Василенко О.И, Шиханов Б.С., Капитонов И.М. , Селиверстова Ж.М. , Шумаков А.В. "РАДИАЦИЯ", 1996г.
4. Гусев Н.Г. Защита от ионизирующих излучений. Том 1. Физические основы защиты от излучений 1989г.
5. Ключков.М.А. , Сидоров В.И. Детектор μ -мезонов. Руководство к выполнению лабораторных работ по ядерной физике.
6. В.С. Мурзин. Введение в физику космических лучей. 1979г
7. Орлов В.А. , Чиганов А.С. , Атомная физика, лабораторный практикум , 2009г, с.77-83 ;с.110-125
8. В.И. Бойко Ф.П. Кошелев. Аргументы и проблемы атомной энергетики. Безопасность экономика и экология ядерных технологий. Учебное пособие.-Томск 2001. - 80 с.
9. Сукочева Н.В статья "Анализ школьных программ по физике в разделе «Квантовая физика»"
10. Зинковский В.И Журнал «Потенциал» Проблемы преподавания физики в основной и старшей школах в современных условиях. (<http://potential.org.ru/Home/ArtDt200504230944PH9J4>)
11. <http://www.engineer.bmstu.ru/res/volkov/9.html>
12. <http://studopedya.ru/1-99360.html>