

ТОРМОЗНОЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ АЛЬФА ЧАСТИЦ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ПРЕПАРАТА

Проскоряков Д.А.

МБОУ СОШ № 11 г Пенза с углубленным изучением предметов гуманитарно-правового профиля, 9 класс

Научный руководитель: Абросимова М.А., МБОУ СОШ №11 г Пенза с углубленным изучением предметов гуманитарно-правового профиля

Мы, люди, живём в мире, который можно назвать радиоактивным. Места, где существует абсолютное отсутствие радиоактивности, в природе, среде обитания животных, людей нет. Радиоактивность – это природное образование, космические лучи, рассеянные в окружающей среде радиоактивные нуклиды, то есть вещества, которые создают радиоактивный фон, в котором мы живём. За время эволюции, всё живое приспособилось к этому уровню фона. Также нужно ещё учитывать, что уровень радиоактивности на Земле всё время понижается, каждые 10-15 тыс. лет уровень радиоактивности уменьшается примерно в два раза. В целом только крупные аварии на какой-то территории связанные, как правило, с атомными станциями нарушают этот средний уровень. И самым опасным для человека стечением обстоятельств считается, когда внутрь организма человека попадают радионуклиды. Причём, при внутреннем облучении наиболее опасное воздействие производят α -частицы. Принято считать, что эта опасность α -облучения вызвана их большой массой по сравнению с электронами и повышенной ионизирующей способностью из-за двойного заряда.

Актуальность работы заключается в том, что в общественном сознании практически закреплено представление об абсолютной опасности любого радиоактивного облучения, и поэтому представляется необходимым рассмотрение физической природы патологического воздействия радиоактивности на живые организмы и оценка уровня риска и опасности.

Цель работы: сделать попытку оценить тормозное электромагнитное излучение альфа-частиц как фактора патологического воздействия на живой организм при внутреннем облучении.

Задачи:

1. Ознакомиться с природой радиоактивности и методами ее исследования;
2. Исследовать возможность использования школьного физического оборудования;
3. Разработать эксперимент и исследовать его результат.

Гипотеза: одним из компонентов патологического действия на организм при вну-

треннем облучении является электромагнитное излучение, вызванное торможением (движением с отрицательным ускорением) на треке, и приводящее к нарушениям молекул ДНК за счёт большой плотности мощности излучения в группе клеток рядом с треком с последующим развитием онкологического заболевания.

Объект исследования: α -частица при её торможении в биологических тканях при внутреннем облучении.

Предмет исследования: компонент потери энергии α -частицы на электромагнитное излучение.

О природе радиации

Открытие радиоактивности и его биологического действия

1896 г. Французский физик А. Беккерель, изучая явление люминесценции солей урана, установил, что урановая соль испускает лучи неизвестного типа, которые проходят сквозь бумагу, дерево, тонкие металлические пластины, ионизируют воздух. В феврале 1896 г. Беккерели не удалось провести очередной опыт из-за облачной погоды. Беккерель убрал пластинку в ящик стола, положив на неё сверху медный крест, покрытый солью урана. Проявив на всякий случай пластинку два дня спустя, он обнаружил на ней почернение в форме отчётливой тени крестика. Это означало, что соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних явлений, создают какое-то излучение. Начались интенсивные исследования.

1898 г. Мария Склодовская-Кюри, исследуя урановые руды, обнаружила новые химические элементы: полоний, радий. Оказалось, что все химические элементы, начиная с порядкового номера 83, обладают радиоактивностью. Явление самопроизвольного превращения неустойчивых изотопов в устойчивые, сопровождающееся испусканием частиц и излучением энергии, называется естественной радиоактивностью.

Формы радиоактивности

1898 г. Подвергая радиоактивное излучение действию магнитного поля, Э. Резер-

форд выделил два вида лучей: α -лучи – тяжёлые положительно заряженные частицы (ядра атомов гелия) и β -лучи – лёгкие отрицательно заряженные частицы (тождественны электронам). Два года спустя П. Виллард открыл гамма-лучи. Гамма-лучи – это электромагнитные волны с длиной волны от Гамма-лучи не отклоняются электрическими и магнитными полями.

После установления Резерфортом структуры атома стало ясно, что радиоактивность представляет собой ядерный процесс. 1902 г. Э. Резерфорд и Ф. Содди доказали, что в результате радиоактивного распада происходит превращение атомов одного химического элемента в атомы другого химического элемента, сопровождаемое испусканием различных частиц.

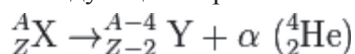
Альфа-частицы, бета-частицы, выброшенные из ядра, обладают значительной кинетической энергией и, воздействуя на вещество, с одной стороны производят его ионизацию, а с другой проникают на определенную глубину. Взаимодействуя с веществом, они теряют эту энергию, в основном в результате упругих взаимодействий с ядрами атомов или электронами, отдавая им всю или часть своей энергии, вызывая ионизацию или возбуждение атомов (т.е. перевод электрона с более близкой на более удаленную от ядра орбиту). Ионизация и проникновение на определенную глубину имеют принципиальное значение для оценки воздействия ионизирующего излучения на биологическую ткань различных видов излучений. Зная свойства различных видов излучений проникать через разные материалы, человек может использовать их для своей защиты.

Альфа – излучение и его характеристики

Патогенность и опасность α -излучения

Альфа-излучение – это поток ядер атомов гелия. Возникает в результате распада атомов тяжелых элементов, таких как уран, радий и торий. Вид радиоактивного распада ядра, в результате которого происходит испускание ядра гелия ${}^4\text{He}$ – альфа-частицы. При этом массовое число ядра уменьшается на 4, а атомный номер – на 2.

В общем виде формула альфа – распада выглядит следующим образом:



Пример альфа – распада для изотопа ${}^{238}\text{U}$:

Альфа-частицы, образованные при распаде ядра, имеют начальную кинетическую энергию в диапазоне 1,8—15 МэВ. При движении альфа-частицы в веществе она создаёт сильную ионизацию окружающих

атомов, в результате очень быстро теряет энергию. Энергии альфа-частиц, возникающей в результате радиоактивного распада, не хватает даже для преодоления мёртвого слоя кожи, поэтому радиационный риск при внешнем облучении такими альфа-частицами отсутствует. Внешнее альфа-облучение опасно для здоровья только в случае высокоэнергичных альфа-частиц (с энергией выше десятков МэВ), источником которых является ускоритель. Однако проникновение альфа-активных радионуклидов внутри тела, когда облучению подвергаются непосредственно живые ткани организма, весьма опасно для здоровья, поскольку большая плотность ионизации вдоль трека частицы сильно повреждает биомолекулы. Считается, что при равном энерговыделении (поглощённой дозе) эквивалентная доза, набранная при внутреннем облучении альфа-частицами с энергиями, характерными для радиоактивного распада, в 20 раз выше, чем при облучении гамма- и рентгеновскими квантами. Таким образом, опасность для человека при внешнем облучении могут представлять α -частицы с энергиями 10 МэВ и выше, достаточными для преодоления омертвевшего рогового слоя кожного покрова. Гораздо большую опасность для человека представляют α -частицы, возникающие при альфа-распаде радионуклидов, попавших внутрь организма (в частности, через дыхательные пути или пищеварительный тракт). Достаточно микроскопического количества α -радиоактивного вещества, чтобы вызвать у пострадавшего острую лучевую болезнь, зачастую с летальным исходом.

Будучи довольно тяжелыми и положительно заряженными, альфа-частицы от радиоактивного распада имеют очень короткий пробег в веществе и при движении в среде быстро теряют энергию на небольшом расстоянии от источника. Это приводит к тому, что вся энергия излучения высвобождается в малом объеме вещества, что увеличивает шансы повреждения клеток при попадании источника излучения внутрь организма. Однако внешнее излучение от радиоактивных источников безвредно, поскольку альфа-частицы могут эффективно задерживаться несколькими сантиметрами воздуха или десятками микрометров плотного вещества – например, листом бумаги и даже роговым омертвевшим слоем эпидермиса, не достигая живых клеток. Даже прикосновение к источнику чистого альфа-излучения не опасно, хотя следует помнить, что многие источники альфа-излучения излучают также гораздо более проникающие типы излучения (бета-частицы, гамма-кван-

ты, иногда нейтроны). Однако попадание альфа-источника внутрь организма приводит к значительному облучению.

Расчет характеристик α -частицы

Существование электромагнитных волн было главным предсказанием. Дж.К. Максвелла (1876 г.), эта теория изложена в разделе школьного курса физики – электродинамика. «Электродинамика» – это наука об электромагнитных волнах, о природе их возникновения, распространении в разных средах, взаимодействии с различными веществами, структурами.

И в этой науке есть одно из фундаментальных утверждений, что любая имеющая электрический заряд частица, движущаяся с ускорением, является источником электромагнитного излучения.

Именно благодаря этому в рентгеновских установках рождаются рентгеновские волны при быстрой остановке потока электронов, которые после ускорения в приборе тормозятся при столкновении с анодом рентгеновской трубки.

Нечто аналогичное происходит за очень короткое время и с α -частицами, если их источник – ядра радиоактивных атомов, расположенных в среде. Имея при вылете из ядра большую скорость и пробежав всего от 5 до 40 микрон – α -частица останавливается. При этом, испытывая громаднейшее замедление и имея двойной заряд, не могут не создавать электромагнитный импульс.

Я, пользуясь обычными школьными законами механики и законом сохранения энергии, подсчитал начальную скорость α -частиц, величину отрицательного ускорения, время движения α -частицы до остановки, силу сопротивления её движения и развиваемую ей мощность.

Понятно, что энергия α -частицы идёт на разрушение клеток организма, ионизацию атомов, в одном случае больше, при вылете из других радиоактивных ядер меньше, но энергия излучения, созданная за короткое время пролета примерно от 5 до 40 микрон, не может превышать энергию α -частиц, которую они имеют при вылете.

При расчетах я использовал в качестве исходных известных характеристик, только энергию α -частиц (это её кинетическая энергия) и среднюю длину пробега в биоло-

гических тканях организма ($L = 5 - 40$ мкм). Массу α -частицы и её состав, я нашёл в справочнике.

Энергия их α -частиц равна 4-10 МэВ. Вот для таких α -частиц я и проводил расчёты.

Масса α -частицы равна 4 а.е.м.;
 $1 \text{ а.е.м.} = 1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$;

$m = 4 \cdot 1,660 \cdot 10^{-27} = 6,64 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ – масса α -частицы.

$S = 20 \cdot 10^{-6} = m$ – длина трека α -частицы.

$q = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ – заряд α -частицы.

$E_k = 7 \text{ МэВ} = 7 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 11,2 \times 10^{-13} \text{ Дж}$ – кинетическая энергия α -частицы.

$a = \frac{v_0^2}{2S} = \frac{(1,8 \cdot 10^7 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 8,4 \cdot 10^{18} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ –

ускорение α -частицы.

$t = \sqrt{\frac{2S}{a}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7 \cdot 10^{-6}}{8,4 \cdot 10^{18}}} = 2,16 \cdot 10^{-12} \text{ с}$ –

время движения α -частицы.

$F = ma = 6,64 \cdot 10^{-27} \cdot 8,4 \cdot 10^{18} = 5,5 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$ – сила сопротивления α -частицы.

$P = \frac{A}{t} = \frac{11,2 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}}{2,16 \cdot 10^{-12} \text{ с}} = 5,19 \cdot 10^{-1} \text{ Вт}$ –

мощность α -частицы.

Мощность α -излучения и нормы электромагнитной безопасности

Данные из справочника:

1. Глубина δ проникновения электромагнитных волн частотой 10 ГГц в биологических тканях с большим содержанием воды (вода – поглотитель электромагнитных волн) составляет 3,43 мм (343 мкм). При проникновении электромагнитной волны на глубину δ её плотность мощности уменьшается в $e = 2,71$ раза.

2. Из норм безопасности при времени воздействия менее 0,2 часа плотность мощности (критическая) не должна превышать

$$\rho = 200 \frac{\text{мкВт}}{\text{см}^2} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

В (1) указаны глубины проникновения, ослабления электромагнитной волны для частоты 10 ГГц. В нашем случае одиночный импульс электромагнитной волны можно интерпретировать как положительную часть одного периода, т.е. наиболее близким значением частоты будет 230 ГГц.

Таблица 1

Характеристика α -частицы

M	E_k	v	S	a	t	F	P
$6,64 \cdot 10^{-27} \text{ Кг}$	$11,2 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$	$1,8 \cdot 10^{17}$	$20 \cdot 10^{-6} \text{ м}$	$8,4 \cdot 10^{18}$	$2,16 \cdot 10^{-12} \text{ с}$	$5,5 \cdot 10^{-8} \text{ Н}$	$0,519 \text{ Вт}$

Для биологической ткани в максимальной чистоте указанной в справочнике равной 10 ГГц. По нашим расчётам единичный импульс электромагнитной волны может быть представлен как короткий импульс частоты 230 ГГц. Из справочника можно сделать вывод, что с повышением частоты электромагнитных волн толщина δ уменьшается. Оценим толщину δ для нашего случая. Частота 230 ГГц превышает приведённую в справочнике 10 ГГц в 23 раза. Предполагая, что соотношению частот в 23 раза будет постоянным и для предшествующего участка диапазона (10 ГГц будет в 23 раза больше частоты 433 МГц) – для которого $\delta_{433} = 3530$ мкм (т.е. в 10 раз). Тогда и для частоты 230 ГГц можно принять $\delta = 34$ мкм.

Принимая, что, проходя из центра сферы, излучение через поверхности мысленно построенных сфер с общим центром и с расстоянием между ними, равны δ , то пройдя через n таких поверхностей начальная интенсивность (мощность) электромагнитной волны будет уменьшена в e^n раз. Чтобы расчёты оказались близкими к истине возьмём n при количестве слоёв равных 8; тогда

$$E_n = \frac{E_\alpha}{e^n} = \frac{E_\alpha}{3177},$$

так как $e^8 = 3177$; Начальную энергию электромагнитных волн можно оценить как $0,01 \cdot E_\alpha$; т.к механическая энергия альфа-частицы в основном тратится на образовании трека ионизированных частиц. Поэтому можно принять $E_n = 0,01 \cdot E_\alpha = 5,19 \cdot 10^{-3}$ Вт.

Будем считать, что клетки (внутри сферы с радиусом $8\delta = 8 \cdot 34$ мкм = 272 мкм), которые имеют на поверхности плотность излучения близкое к $\rho_{кр}$, будут убиты импульсом волны. Это подтверждают количественные оценки.

$$E_n = \frac{5,19 \cdot 10^{-3}}{3177} = 1,63 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

$$S = 2\pi(8\delta)^2 = 4,65 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2.$$

$$\rho_\alpha = \frac{E_n}{S} = \frac{1,63 \cdot 10^{-6}}{4,65 \cdot 10^{-7}} = 3,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Т.к. расчётная плотность мощности излучения, исходящего из центра сферы и проходящего через неё при радиусе сферы ($8\delta = 272$ мкм) с площадью $4,65 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$, будет сопоставимой с критической плотности мощностью излучения требуемой нормы СанПиНа, можно утверждать, что внутри этой сферы, в её объёме все клетки погибнут.

Т.о. наши оценки приводят к результату, что все биологические клетки в объёме сферы, к поверхности которой проходит излу-

чение из центра сферы от трека α -частицы погибнут, т.е. они будут находится в пространстве, объёме, через который проходит электромагнитная волна с плотностью мощности излучения, превышающей критическую плотность излучения, определённую нормами СанПиНа. Эти погибшие клетки (точнее их останки) за счёт механизмов регенерации организма практически без каких теперь либо последствий будут удалены из организма.

Самым опасным из последствий, такого электромагнитного шока для клеток будет то, что в некотором шаровом слое клеток, окружающих опасную сферу, будут такие полуубитые клетки, правильное функционирование некоторых наверняка будет нарушено тем электромагнитным импульсом, который «слома» (разорвал, нарушил) структура ДНК, которая ответственна за «правильную» регенерацию данной клетки.

Разработка и проведение экспериментов

Измерение радиоактивного фона на территории МБОУ СОШ № 11

Цель: измерить радиоактивный фон на территории МБОУ СОШ № 11.

Гипотеза: осадки и ветер переносят разные виды частиц (в нашем случае нас интересуют именно радиоактивные частицы).

Оборудование: дозиметр.

Цифровой монитор излучения

Для экспериментов я использовал датчик ионизирующего излучения (дозиметр). Датчик ионизирующего излучения (дозиметр) предназначен для автоматического подсчёта числа попавших в него ионизирующих частиц. Прибор может использоваться для измерения уровня альфа-, бета- и гамма- излучения. Так как прибор оснащен собственным экраном, то его можно использовать независимо от компьютера и других устройств фиксации данных в по-

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1. Диапазоны измерений:

• X1: 0 – 0,5 мР/ч; 0 – 500 циклов/мин (СРМ);

• X2: 0 – 5 мР/ч; 0 – 5000 циклов/мин (СРМ);

• X3: 0 – 50 мР/ч; 0 – 50000 циклов/мин (СРМ).

2. Чувствительность: 1000 циклов/мин/мР/Ч относительно цезия-137.

3. Точность:

• при визуальной калибровке: $\pm 20\%$ от полной шкалы;

• при инструментальной калибровке: $\pm 10\%$ от полной шкалы.

4. Калибровка: применяется Цезий-137.

5. Диапазон рабочих температур: 0 – 50 °С.
 6. Электропитание:
 ● элемент питания (9В);
 ● средний срок службы элемента питания: 2000 часов при нормальном уровне фоновой радиации.

Ход работы: Для этого мы, в разные месяцы измеряли радиационный фон нашей школы. В зимний период направление ветра направленно в южную сторону (сторона АВ).

Результаты

В южной стороне измеренный радиоактивный фон больше, чем в северной стороне, а это значит, ветер и осадки и правда переносят разные виды частиц.

Также я провел измерения у канализации (это точки F и K) и показатели дозиметра, там немного выше, а это доказывает то, что именно вода является переносчиком радионуклидов.

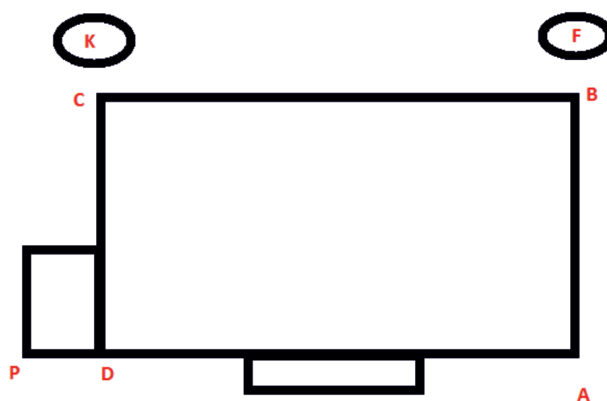
Исследование зависимости поглощенной дозы от расстояния до геометрического центра препарата при плоской геометрии

Цель работы: исследование зависимости поглощенной дозы от расстояния до геометрического центра препарата при плоской геометрии.

Оборудование: линейка, дозиметр, гидроксид калия.

Ход работы: измерить радиоактивный уровень, отдаляя препарат от дозиметра на каждый сантиметр.

Эксперимент показывает, что при плоской геометрии радиоактивного препарата зависимость поглощённой дозы от расстояния до центра препарата отличается от квадратичной в случае точечного препарата. При плоской геометрии эта зависимость от расстояния более слабая.



План МБОУ СОШ № 11

Таблица 2

Радиоактивный фон территории МБОУ СОШ № 11

Дата	A	B	C	D	F	K	P
25.09.2015	0,015 мР/ч	0,010 мР/ч	0,014 мР/ч	0,016 мР/ч	0,016 мР/ч	0,017 мР/ч	0,013 мР/ч
02.10.2015	0,017 мР/ч	0,011 мР/ч	0,008 мР/ч	0,012 мР/ч	0,015 мР/ч	0,011 мР/ч	0,010 мР/ч
11.03.2016	0,012 мР/ч	0,010 мР/ч	0,009 мР/ч	0,005 мР/ч	0,016 мР/ч	0,013 мР/ч	0,014 мР/ч
30.05.2016	0,012 мР/ч	0,014 мР/ч	0,009 мР/ч	0,011 мР/ч	0,014 мР/ч	0,012 мР/ч	0,017 мР/ч
13.06.2016	0,009 мР/ч	0,012 мР/ч	0,016 мР/ч	0,015 мР/ч	0,013 мР/ч	0,015 мР/ч	0,008 мР/ч
19.09.2016	0,008 мР/ч	0,019 мР/ч	0,005 мР/ч	0,012 мР/ч	0,015 мР/ч	0,011 мР/ч	0,003 мР/ч
08.10.2016	0,012 мР/ч	0,010 мР/ч	0,014 мР/ч	0,010 мР/ч	0,014 мР/ч	0,011 мР/ч	0,006 мР/ч

$$A_{\text{ср}} + B_{\text{P}} = 0,0121 + 0,0122 : 2 = 0,01215 \text{ мР} - \text{среднее арифметическое точек A и B}$$

$$C + D = 0,0104 + 0,0115 : 2 = 0,01095 \text{ мР} - \text{среднее арифметическое точек C и D}$$

Заключение

Оценки и расчёты показывают, что плотность мощности излучения в области тканей, ближайшего окружения трека превышает в десятки раз допустимые нормы электромагнитной безопасности, что приводит к полной гибели клеток этой области. Но существующий механизм регенерации восстановит убитые клетки и сохранит все функции этих клеток. Главная опасность для организма – наличие шарового слоя клеток, окружающих эту центральную область. Клетки шарового слоя остаются живыми, но мощный электромагнитный импульс, может повлиять на молекулы их ДНК, что может привести к их неправильному развитию и образования их реплик с патологией онкологического характера.

Список литературы

1. Горбушкин Ш.А. Азбука физики.

2. Луппов Г.Д. Опорные конспекты и тестовые задания («Учебная литература», 1996);

3. Глинская П.В. Для поступающих в вузы («Братя Гринины», 1995);

4. Химическая энциклопедия (Советская Энциклопедия, 1985);

5. Гусев Н.Г., Климанов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений;

6. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики (3-е изд., перераб. и доп. М., Энергоатомиздат, 1985);

7. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) (Минздрав России, 2009);

8. Моисеев А.А., Иванов В.И. Справочник по дозиметрии и радиационной гигиене (2-е изд., перераб. и доп. М., Атомиздат, 1974);

9. Физическая энциклопедия (Советская энциклопедия, 1994. Т. 4. Пойнтинга-Робертсона);

10. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика (Кн. 1. Физика атомного ядра. Ч. I. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений. – М.: Энергоатомиздат, 1993);

11. Биофизические характеристики тканей человека . Справочник/Березовский В.А. и др.; Киев: Наукова думка, 1990. – 224 с.