

## Лабораторная работа №1. Протонная пушка – прицельный выстрел в опухоль (адресная терапия в онкологии)

**Лабораторный практикум.** Виртуальная модель протонной пушки и навыки ее применения для адресного воздействия на опухоль и физический эксперимент: закономерности взаимодействия электромагнитного излучения видимого диапазона с биологическим веществом (БВ).

### Цель лабораторного практикума

Исходя из знаний о фундаментальных физических закономерностях взаимодействия ионизирующего излучения (ИИ) и биологического вещества (БВ), получить базовые умения. Применять данные закономерности в такой актуальной проблемной области практической медицины как онкология (точнее, в лучевой терапии – лечении опухолевых заболеваний с помощью различных видов ионизирующих излучений).

### Задачи лабораторного практикума

**Физический практикум №1 (домашний эксперимент):** выполнение экспериментов по взаимодействию электромагнитного излучения светового диапазона с БВ (целлюлозой) и наблюдение за закономерностями ослабления светового пучка в средах с различным светорассеянием. Наблюдаемый эффект – изменение (уменьшение интенсивности) света в зависимости от коэффициента ослабления  $K$  (выражение II.1).

Физическая оптика:

$$I = I_0 e^{-KX} \quad (\text{II.1}) \quad \text{где:}$$

$I_0$  – интенсивность исходного светового пучка (падающего света); в общем случае – электромагнитного излучения

$I$  – интенсивность света ( $\sim E$ -энергии) прошедшего через слой толщиной  $X$

$X$  – длина пути света в среде (глубина проникновения в БВ)

$K$  – коэффициент ослабления (погашения) света.

$K \sim f(n - \text{коэффициент преломления; поглощение})$

**Пояснение.** В общем случае при прохождении света через вещество наблюдаются следующие основные эффекты, приводящие к его ослаблению:

1. Поглощение света, например, окрашенным веществом
2. Отражение света от поверхности тела
3. Преломление

В случае многократных отражений света от границ раздела сред с различными коэффициентами преломления это явление принято называть светорассеянием. В том случае, если эффектами отражения и светорассеяния пренебрегают, то вышеприведенный закон в общей физике называется **Закон поглощения света (электромагнитного излучения)**.

**Интерпретация.** (Толкование фундаментальных физических закономерностей применительно к конкретным задачам практической медицины; данное определение соответствует понятию трансляционная медицина.)

Как известно из законов оптики, чем больше различие коэффициентов преломления, тем выше степень светорассеяния. Например, высокая степень светорассеяния бумаги обуславливается следующими причинами. Коэффициент преломления волокон целлюлозы -основной компоненты бумаги  $n_p \approx 1,3-1,4$ , а коэффициент преломления воздуха, заполняющего пустоты между волокнами целлюлозы  $n_v = 1$ . Поэтому, высокая степень рассеяния листа бумаги обуславливается многократностью процесса преломления и отражения от границ раздела воздуха и целлюлозы. Ясно, что если бы, границ раздела не было (однородная среда), то такой лист был бы прозрачным. Ниже мы покажем, что коэффициент преломления БВ для ионизирующего излучения (рентгеновских лучей)  $n_{\text{рентг}} \approx 1$ , что и обуславливает прозрачность мягких тканей для этого вида электромагнитного излучения.

**Задание №2.** Приобретение навыков (см. раздел II.3 ниже) **физической постановки задач** расчета параметров **протонной пушки** (скорость вылета заряженных частиц из ускорителя  $-V_0$  и их заряда) для адресного поражения

опухоли, находящейся на глубине **A** от поверхности кожи. Практикум реализуется на виртуальной модели протонной пушки.

**Технические средства:** виртуальная модель протонной пушки, включающая:

панель управления протонной пушки; отображение средствами симуляционной медицины процесса прохождения заряженных частиц через биологические ткани и воздействия их на зону опухоли (терапевтическую мишень); а также, изменение состояния терапевтической мишени (частичное или полное уничтожение опухолевых клеток).

**Пояснение.** Предметная область фундаментальных закономерностей, реализующая данную симуляционную модель медицины – информатика (технологии виртуальной реальности). Следует особо подчеркнуть, что, в сочетании с предметной областью (см. выше, физическим экспериментом, реализующим взаимодействие электромагнитного излучения светового диапазона с БВ (целлюлозой)), проведение экспериментов в задачах №1 и №2 соответствует определению понятия совмещенная реальность (дальнейшее развитие технологий виртуальной и дополненной реальности).

## Домашний эксперимент

### Подготовка эксперимента

1. 4 полоски белой офисной бумаги (плотностью 80гр/м<sup>2</sup>) размером примерно 10х15 см
2. Осветитель, например светодиодная лампа, желательно с одним
3. Жидкое рафинированное подсолнечное бесцветное масло
4. Наблюдаемый объект: черный шрифт размером 12-14 кегля (3,5мм)

Подготовка различных светорассеивающих сред, соответствующих разному коэффициенту ослабления света – **K** (выражение II.1):

- Примерно половину каждой полосы бумаги промаслить.
- Промокнуть с двух сторон салфеткой, чтобы убрать излишки масла.

- Просушить в подвешенном состоянии (на прищепках) в течение суток до полного высыхания масла.

### **Выполнение эксперимента и его теоретическое обоснование.**

Как известно, основная компонента бумаги – органическое вещество (биологическое вещество (БВ)) - переплетенные волокна целлюлозы. Волокна представляют собой свернутый в спираль биополимер, состоящий из молекул Д-глюкозы. Диаметр спирали примерно 30-40 нм ( $3 \cdot 10^{-8}$  -  $4 \cdot 10^{-8}$  м). Коэффициент преломления биополимера  $n_p = 1,4$ . Пустоты между волокнами полимера заполнены воздухом ( $n_v = 1$ ).

**Задача №1.** Определить толщину одного листа бумаги, если имеется линейка с минимальным шагом 1 мм.

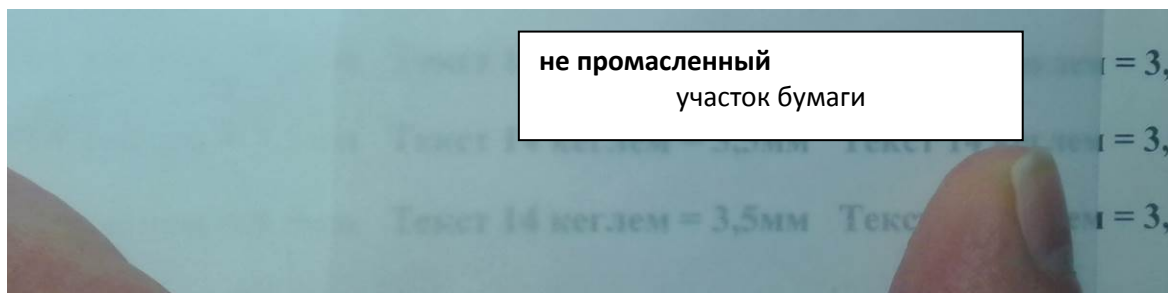
**Задача №2.** Доказать, что между спиралями биополимера целлюлозы пустоты заполнены воздухом.

### **Ответы и решения.**

**Решение задачи №1.** Сложить листы офисной бумагой стопкой, чтобы высота стопки соответствовала 1 мм. Толщина 1 листа =  $1 \text{ мм} / \text{количество листов в стопке}$ . Что примерно составляет  $1/10$  мм.

**Решение задачи №2.** Бумага при длительном намокании в воде тонет, следовательно, при вытеснении воздуха из промежутков между целлюлозными волокнами водой плотность намокшей бумаги больше 1.

**Процедура 1 эксперимента.** Приложить не промасленный участок бумаги вплотную к черному шрифту размером 12-14 кеглей (3,5мм). Убедиться в том, что шрифт не читаем. Приложить к шрифту промасленный участок бумаги. Убедиться в том, что шрифт стал читаем.



промасленный  
участок бумаги

**Процедура 2 эксперимента.** Включить светодиодный осветитель, частично под углом перекрыть его листом бумаги. Оценить визуально количество света, прошедшее через не промасленный участок. Переместить на промасленный участок. Убедиться, что света стало больше.

**Процедура 3 эксперимента.** Накладывая полосы бумаги последовательно одну на другую убедиться, что яркость (интенсивность) света уменьшится.

### Толкование эксперимента

Из теоретического обоснования эксперимента следует, что свет, проходя через бумагу, будет многократно отражаться на границе раздела целлюлоза - воздух, т.е. рассеиваться. Оценим, сколько примерно границ раздела может находиться на пути светового пучка. Как выше было указано, диаметр спирали молекулы целлюлозы примерно  $3 \cdot 10^{-8}$  -  $4 \cdot 10^{-8}$  м. Толщина листа бумаги 1/10 мм -  $1 \cdot 10^{-4}$  м. Очевидно, что на пути пучка света будут тысячи и десятки тысяч границ светотражения с разными коэффициентами преломления ( $n_p = 1,4$  для целлюлозы и  $n_v = 1$  для воздуха). Многократность преломления и отражения в феномене светорассеяния и приводит к тому, что текст, на который был наложен участок не промасленной бумаги, будет не читаем. И, наоборот, в том случае, если бумага пропитана маслом и коэффициенты преломления масла и бумаги достаточно близки ( $n_m = 1,4$ ), светорассеяние намного уменьшается, что приводит к уменьшению коэффициента  $K$  (выражение II.1), и текст становится читаем. А зависимость от длины пути проявляется в уменьшении интенсивности света, прошедшего через стопку бумаги.

**Подумайте.** Литературный пример. В фантастической повести Г.Уэллса «Человек – невидимка» изобретатель Гриффитс придумал раствор, которым пропитал свое тело и сделал его невидимым. Он обосновал это тем, что коэффициент преломления его раствора равен коэффициенту преломления клеток его тела.

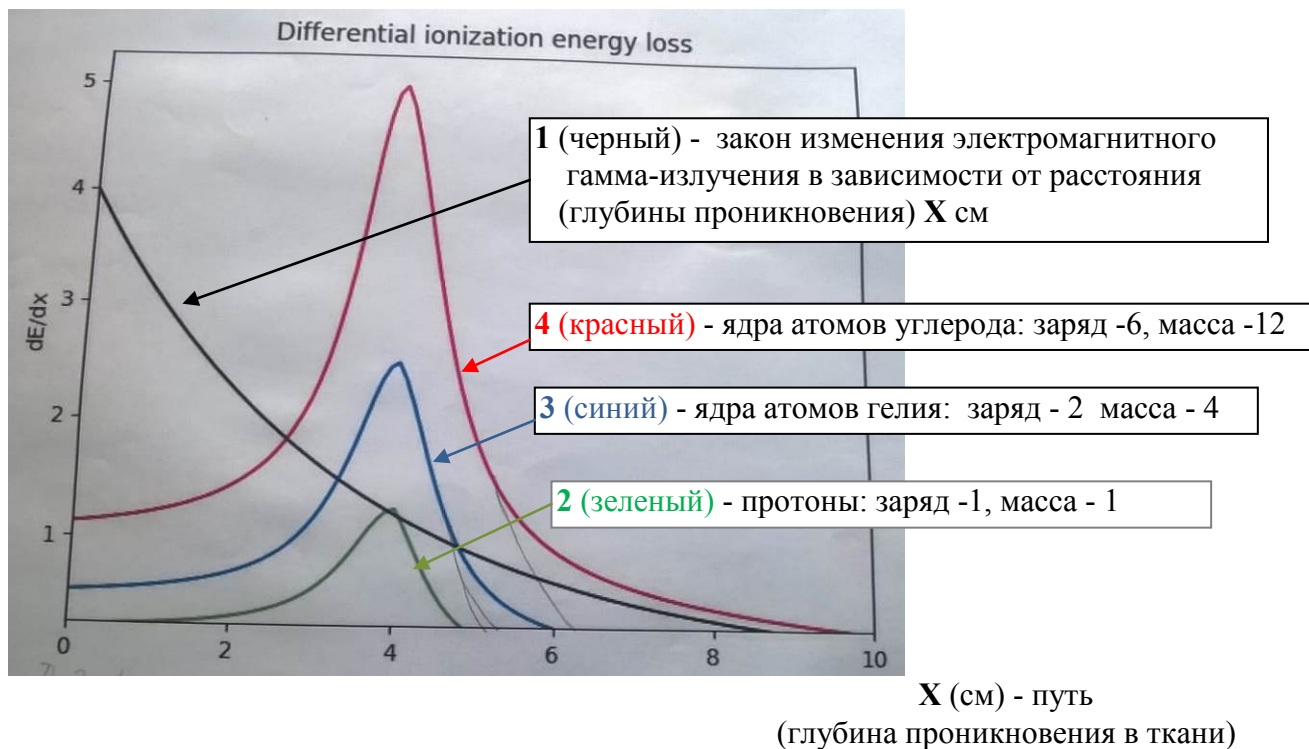
**Вопрос:** а мог ли такой человек видеть? Если не мог, то почему?

**Интерпретация** данного физического эксперимента с точки зрения его прикладного значения в медицине (перенос фундаментальных физических закономерностей в практическую медицину).

Как известно, X-лучи, открытые И.П.Пулюем в 1894г. и которые в 1895г. по предложению немецкого микроанатома Р.Колликера были названы рентгеновскими, имеют коэффициент преломления в мягких тканях человека  $\approx 1.00001$ , т.е. мягкие ткани для рентгеновского излучения практически **прозрачны**. А рассеяние рентгеновских лучей на ионах кальция или атомах металлов в костях человека во много раз больше, что и позволяет их визуализировать на рентгеновских снимках. Таким образом, применение рентгеновских лучей позволяет, образно выражаясь, «заглянуть» под кожу человека, что и обеспечило их широкое применение в медицине. Нашим ученым, применяя новые методы цифровой обработки рентгеновских снимков, удалось «заглянуть» и под надкостницу, т.е. под оболочки костей и «увидеть» их внутреннее строение. На основе этого метода была разработана новая диагностическая технология. Эта тема будет раскрыта в последующих уроках.

Исходя из выражения П.1 следует, что, чем меньше глубина проникновения, тем больше энергии  $E$  выделяется в данном слое (см. фиг 2.2.1.)

$Y$  - количество энергии, поглощённое единицей пути  
(дифференциальные ионизационные потери энергии,  
выделяющейся на единицу пути  $dE/dX$ )



Фиг. 2.2.1.

Из данного графика (кривая 1) следует, что, если опухоль находится на глубине 4см, то до опухоли дойдет в 4 раза меньше энергии, чем на поверхности кожи. Следовательно, один из побочных эффектов применения электромагнитного ионизирующего (например,  $\gamma$ - или рентген-) излучения, заключается в том, что больше всего пострадают вышележащие ткани. Именно поэтому ионизирующие излучения называются проникающим излучением.

Не останавливаясь подробно на кривых 2,3,4, следует отметить, что если ИИ представляет собой заряженные частицы (кривые 2,3,4), то можно добиться максимума излучения на глубине опухоли (см. ниже: Лабораторный практикум №2. Протонная пушка).