



Резонансное не когерентное рассеяние рентгеновского излучения в окрестности электрического разряда

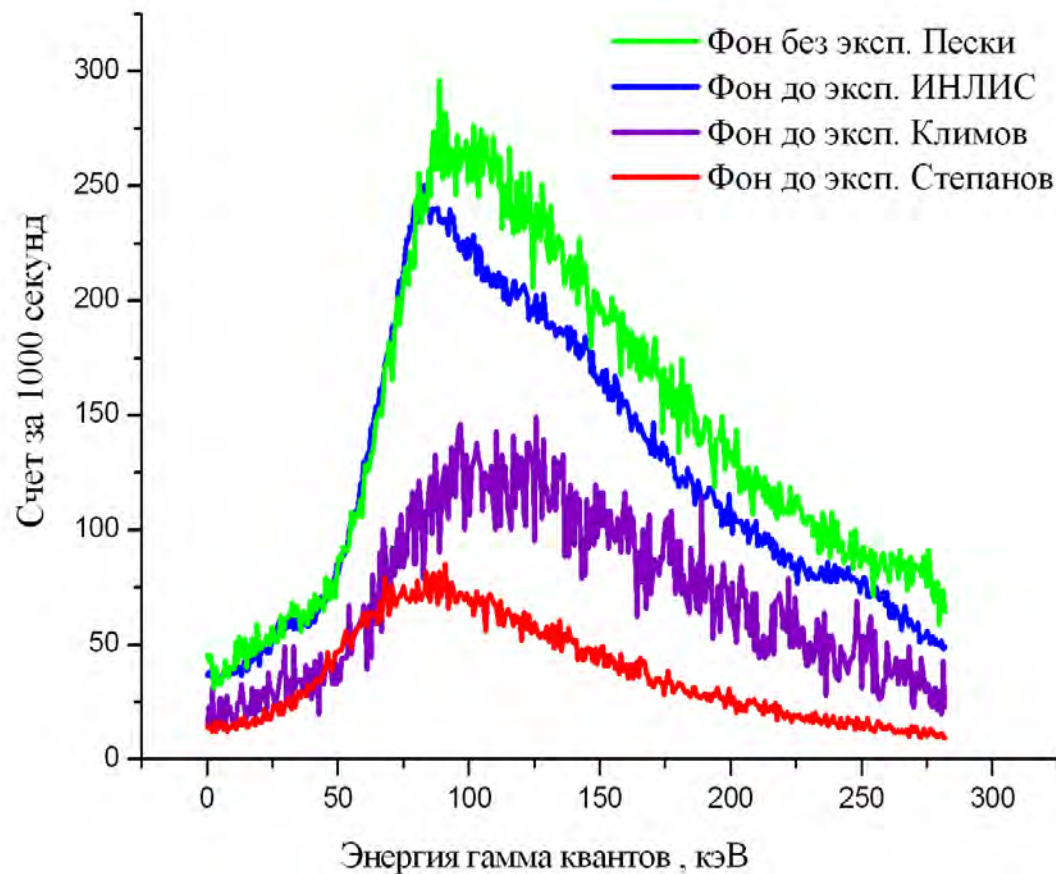
Баранов Д.С., Зателепин В.Н.
Лаборатория ИНЛИС, г.Москва,

zvn07@yandex.ru

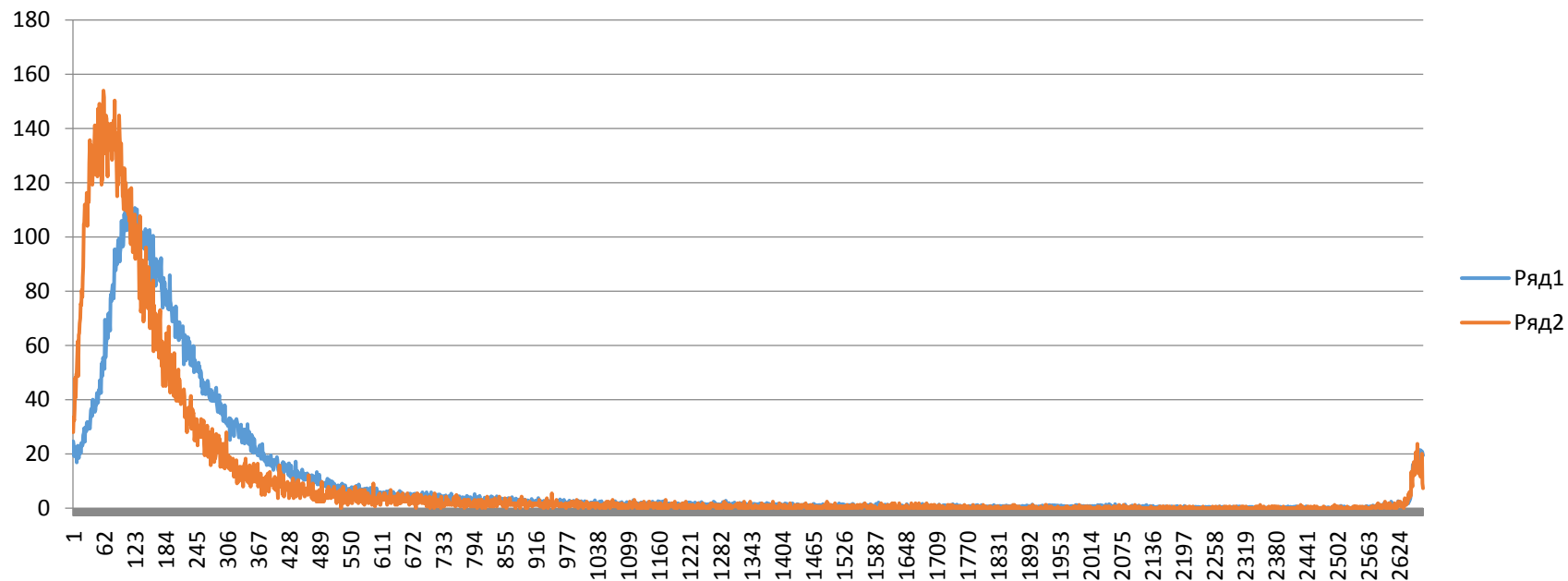
Введение

- Истоки работы:
 - сравнение рентгеновских спектров в разных лабораториях,
 - рентгеновские спектры в окрестности парового котла высокого давления,
 - эксперименты с лазером, оптоволоконной линией и разрядом.
 - обсуждение и совместные эксперименты с А.Л.Шишкиным

Сравнение фоновых спектров до проведения экспериментов для трех лабораторий и чистого помещения



Сравнение спектра до нагрева (синяя кривая) и после выпуска пара (красная кривая). Давление 30 атм. Выпуск пара через дроссель.



Результаты эксперимента с зеленым лазером 532 нм

Облучение 12 мин. Без разряда



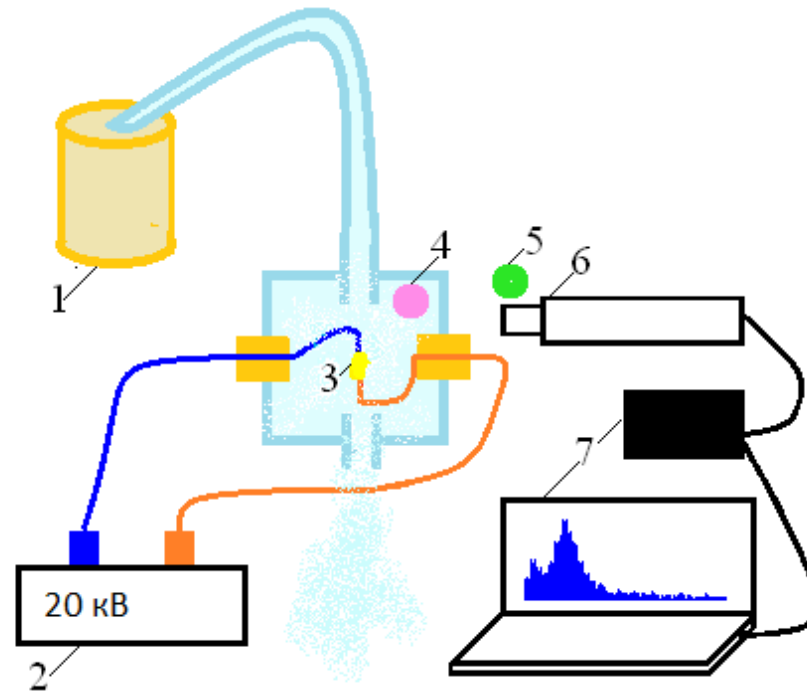
Облучение 12 мин. Разряд. Область кратера 60 мкм



Два типа экспериментов

- Измерение и сравнение фотонных спектров от рентгеновского источника Ам -241 с помощью детектора NaI в окрестности устройств
- Измерение и сравнение доз фотонного излучения от рентгеновского источника Ам -241 с помощью термолюминесцентного дозиметра ДТГ-4 в окрестности устройств

Экспериментальный стенд



- 1 Увлажнитель воздуха, в котором пьезокерамический вибратор генерирует мелкие капли воды
- 2 Высоковольтный источник
- 3 Разряд в разрядном промежутке
- 4 Источник гамма квантов Am-241
- 5 Таблетка регистратора дозы гамма квантов
- 6 Гамма спектрометр с кристаллом NaI и ФЭУ
- 7 Блок питания ФЭУ и амплитудный анализатор на персональном компьютере

Спектр Ам-241. Линии 26,3 кэВ и 59,6 кэВ.

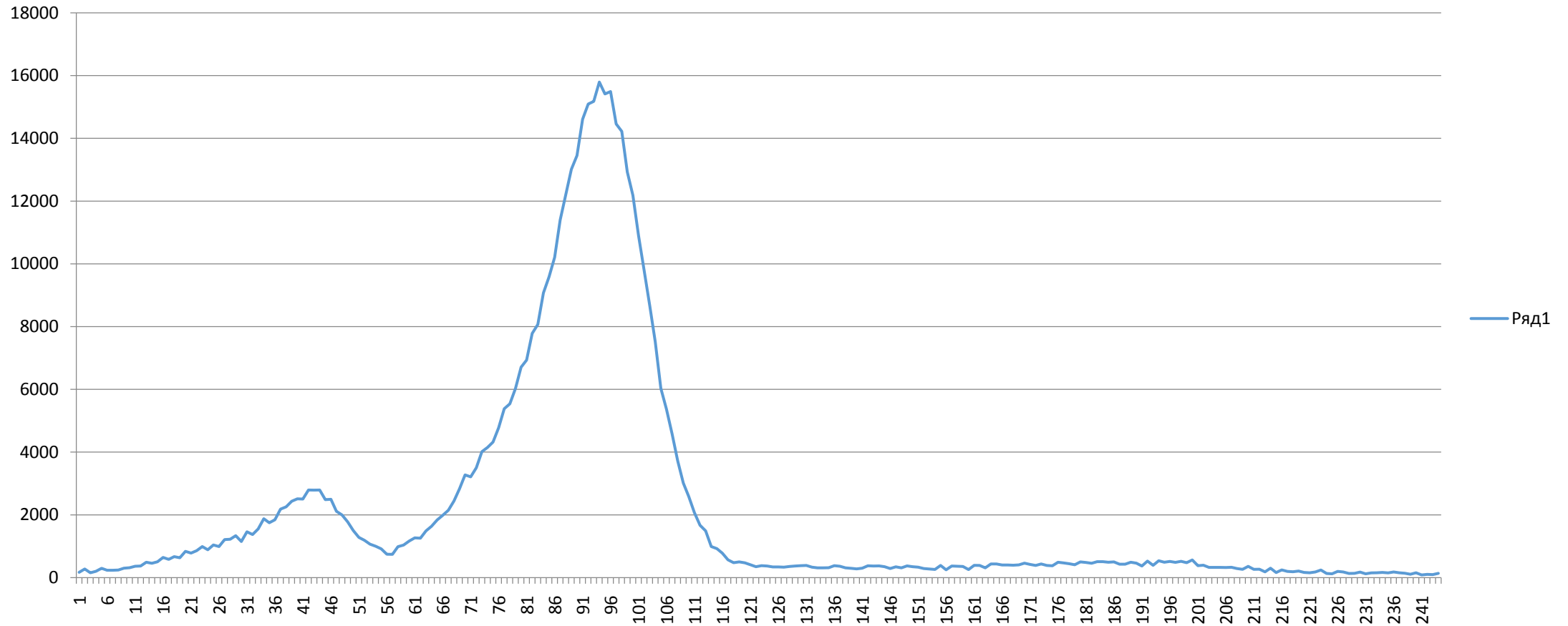


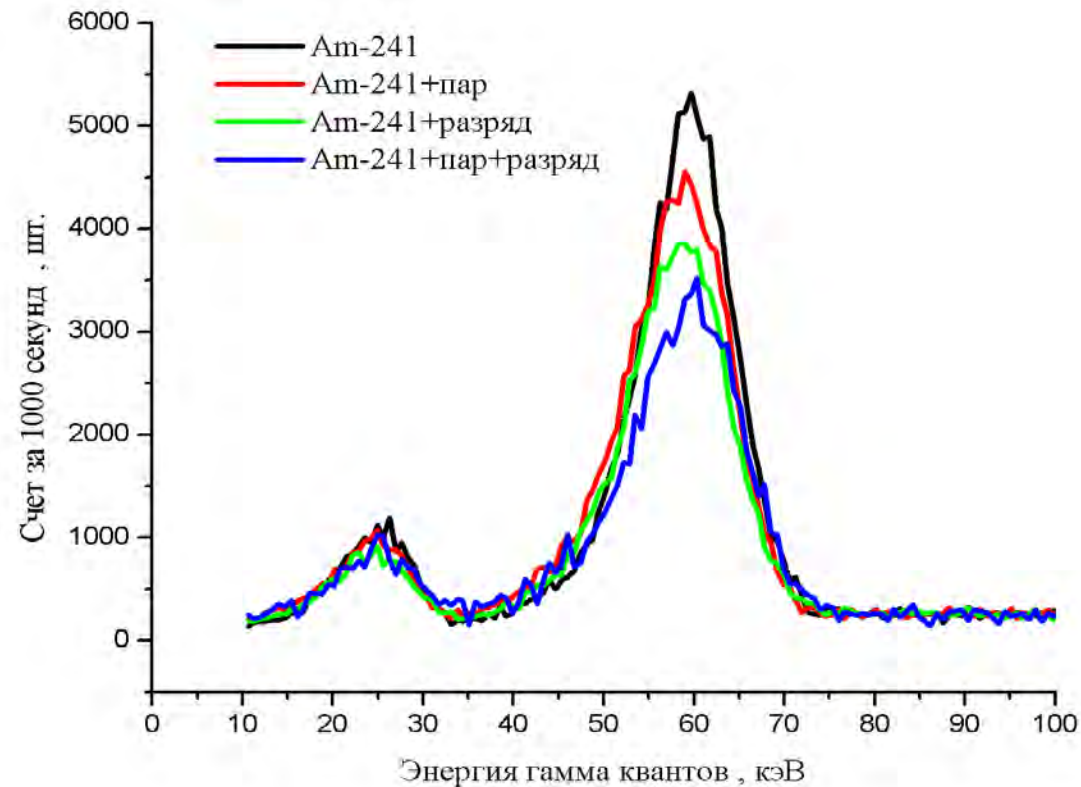
Фото стенда



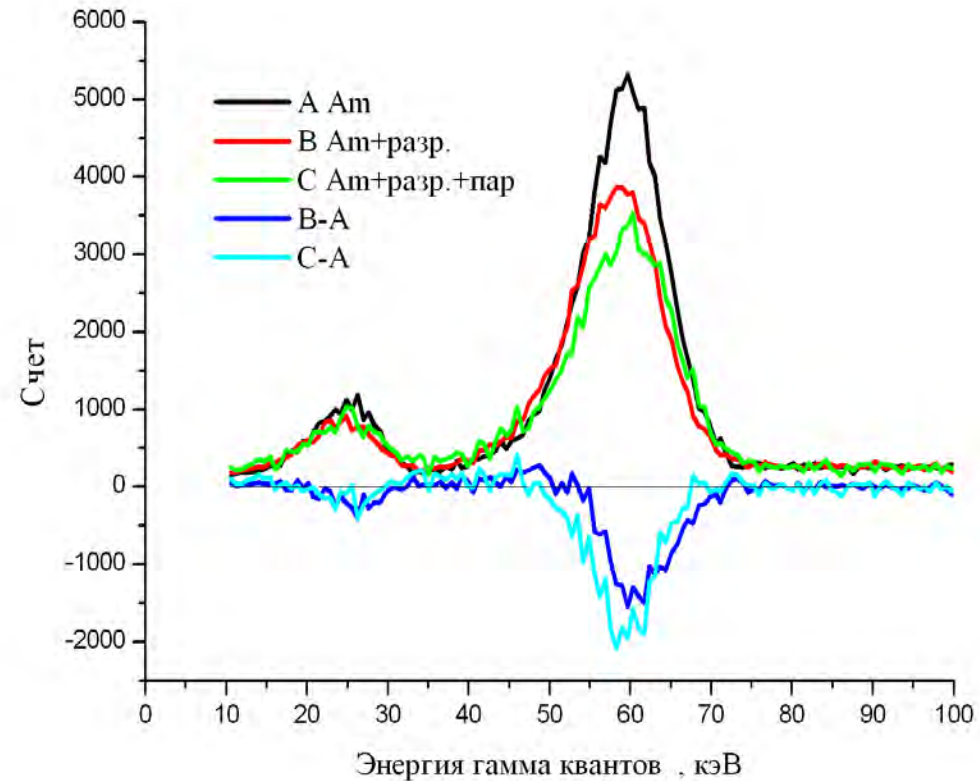
Методика эксперимента по влиянию работы устройств на спектр рентгеновского источника

- Сравниваются рентгеновский спектр, полученный спектрометром на основе NaI до включения различных устройств, и спектр, полученный в ходе работы этих устройств.
- Типы устройств:
 - генератор водо – воздушного потока (увлажнитель),
 - высоковольтный (30 кВ) электрический разряд в водо - воздушном потоке.

Основной результат -
создание капель воды и разряд влияют на
интенсивность рентгеновского спектра
источника Ам-241.



«Резонансное», т.к. изменение спектра максимально на частоте максимального количества квантов



Методика эксперимента по влиянию работы устройств на дозу рентгеновского источника

- Сравниваются дозы, зарегистрированные дозиметрами ДТГ-4 до включения различных устройств, и дозы, полученные в ходе работы этих устройств.
- Типы устройств:
 - генератор водо – воздушного потока (увлажнитель),
 - высоковольтный (30 кВ) электрический разряд в водо - воздушном потоке.

Измерение и сравнение доз фотонного
излучения от источника в окрестности разряда
Вид дозиметра ДТГ-4, таблетки LiF



Сравнение показаний дозиметра ДТГ-4

Тип эксперимента	Доза, мкЗв
Источник	0,28
Источник + увлажнитель	0,11
Источник + увлажнитель + разряд	0,1
Естественный фон	0,1

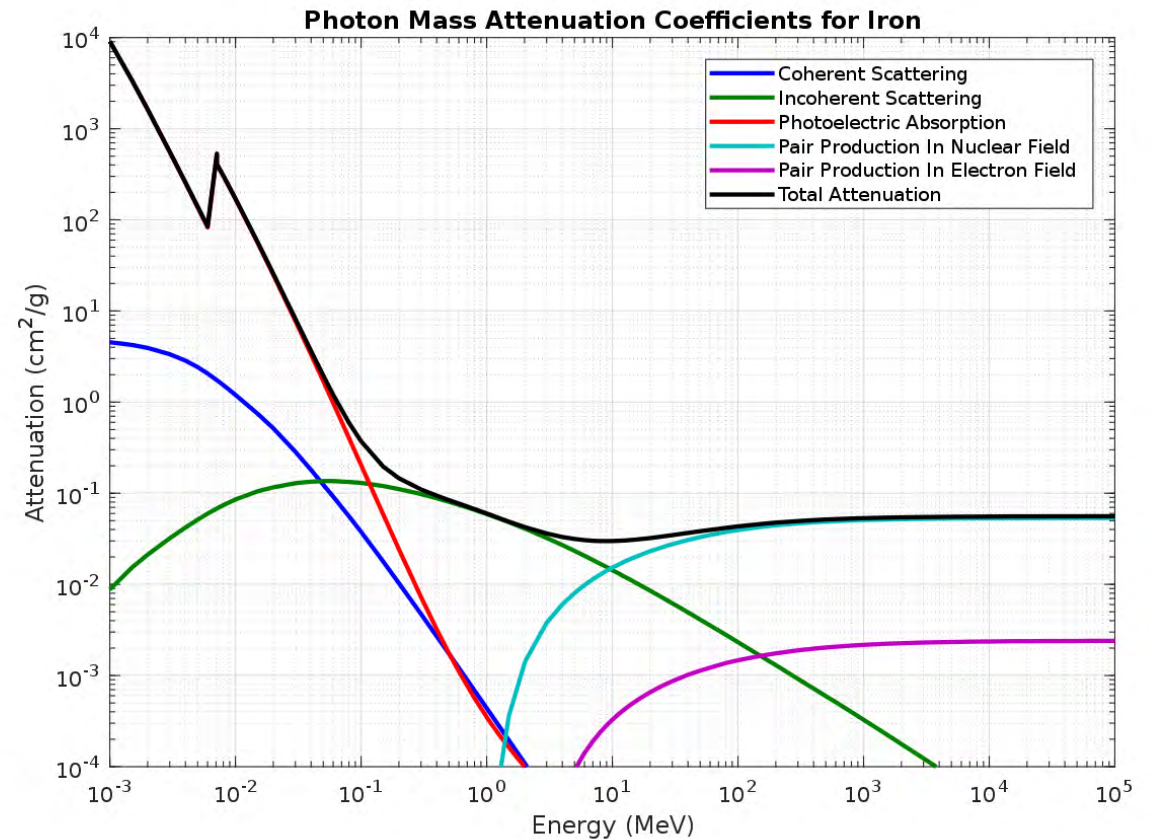
Известные (признанные) механизмы ослабления рентгеновского излучения

Рэлеевское рассеяние (когерентное рассеяние) - синяя кривая,

Комптоновское рассеяние (некогерентное рассеяние) - зеленая кривая,

фотоэлектрическое поглощение - красная кривая,

образование пар - сиреневая кривая.



Массовый коэффициент ослабления электромагнитного излучения

- $I(\nu, x) = I(\nu, x=0) \cdot \exp(-\mu_m x \rho)$ – закон Бера – Ламберта,
- где $I(\nu, x)$ - плотность мощности потока излучения, ν – частота излучения, x – координата, ρ – плотность вещества,
- μ_m – массовый коэффициент ослабления (затухания)
- Условие ослабления в e раз
- $$\mu_m x \rho = 1$$
- Длина, на которой поток излучения ослабнет в e раз
- $$x = 1/(\mu_m \rho)$$
- Для кислорода и излучения с энергией 50 кэВ
- $\mu_m = 0,2 \text{ см}^2/\text{г}$
- Для воды и излучения 50кэВ
- $\mu_m = 0,1 \text{ см}^2/\text{г}$
- На 4 см воздуха поток ослабнет на величину менее, чем
- $$I(x=4)/I(x=0) \approx 10^{-3}$$
- Вывод: влияние воздуха и других неплотных сред на изменение спектра пренебрежимо мало
- Какой плотности вещество нужно поместить, чтобы на 4 см снизить в 2 раза интенсивность?
- $$\rho = 1/\mu_m x = 1/0,4 = 2,5 \text{ г/см}^3 ?$$
-

Вывод из основного результата

- Самое естественное объяснение - **формирование в объеме около работающих устройств среды**, прозрачной для видимого спектра, и непрозрачной для рентгена.
- Эта среда не соответствует свойствам обычного вещества, т.к. с ростом энергии сечение взаимодействия излучения с обычным веществом падает.
- Предположения об **изменении свойств источника**, или **изменении свойств датчика** при работе разряда очень сомнительно. Эксперимент показывает, что при выключении разряда показания датчика практически мгновенно возвращаются к исходным параметрам.

Неочевидные следствия эксперимента

- 1) Только поглощение не годится. Кроме поглощения, есть свидетельства некогерентного (с изменением частоты) рассеяние.
- 2) Кроме рассеяния с уменьшением частоты, есть свидетельства рассеяния с увеличением частоты (энергии). Такое рассеяние возможно при обратном эффекте Комптона
- 3) Увеличение частоты рентгеновского излучения говорит о наличии высокоскоростных электронов в зоне измерений. Такие электроны может дать «темный водород».
- 4) Измерение интенсивности рентгеновского излучения - метод регистрации «темного водорода».

Отношение спектра с разрядом и паром к спектру без разряда и пара

Спектр с разрядом и паром

$$I(\nu, x) = I(\nu, x=0) \cdot \exp(-\mu_m x \rho)$$

Спектр без разряда и пара

$$I(\nu, x=0)$$

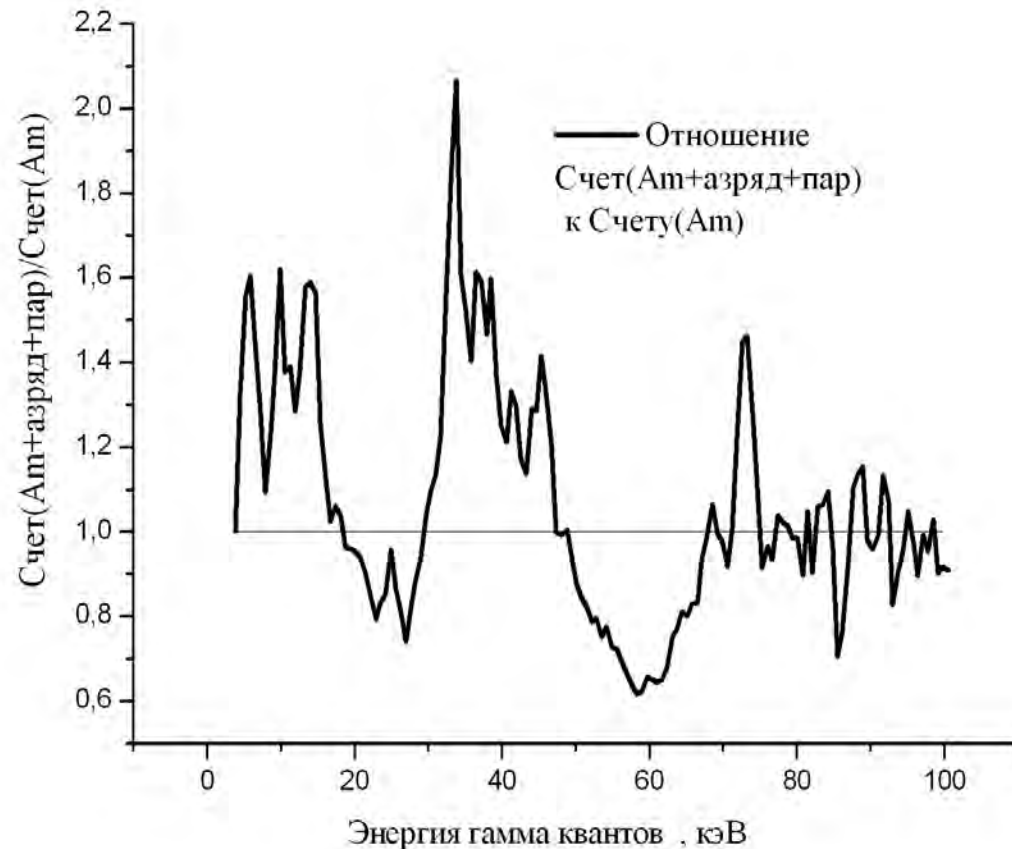
Отношение спектров

$$I(\nu, x)/I(\nu, x=0) = \exp(-\mu_m x \rho) < 1$$

Вывод из рисунка:

-закон Ламберта - Бера не применим в данных условиях,

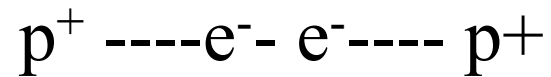
- виден перенос квантов из зоны поглощения в зону с меньшей энергией**
- виден перенос гамма квантов в зону с более высокой энергией**



«Темный водород» \check{H}_2 - кандидат на роль «нейтроноподобного атома».

Некоторые свойства.

- - атом \check{H}_2 состоит из двух протонов во внешней области \check{H}_2 , и двух тяжелых релятивистских электронов (электронная пара) в центре \check{H}_2 ,



- - диаметр области протонов $D = 1,2 \cdot 10^{-13} \text{ м}$,
- - диаметр области электронной пары $D_e = 6 \cdot 10^{-14} \text{ м}$,
- - суммарная масса $m_{\check{H}_2} = 2,01 \text{ а.е.м.}$,
- - суммарный заряд = 0,
- - суммарный магнитный момент $\mu_{\check{H}_2} = 4\mu_b = 4 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/Тл}$,
- По сравнению с молекулами обычного вещества атом \check{H}_2 можно считать точечной частицей, имеющей уникальные свойства – нет заряда, но есть магнитный момент.
- кинетическая энергия электронов в электронной паре много больше 60 кэВ, что открывает путь к обратному эффекту Комптона на этих электронах.

Действие электромагнитной волны на частицу, имеющую магнитный момент $\mu_{\check{H}2}$

- Пусть на частицу падает плоская электромагнитная волна, которая распространяется вдоль оси X с частотой ω и волновым вектором k
- $$E_z = E_0 \sin(\omega t - kx), B_y = B_0 \sin(\omega t - kx),$$
- $$E_0 / B_0 = (\mu_0 \epsilon_0)^{-0,5},$$
 (1)
- где E_0, B_0 – амплитуды электрического и магнитного полей, μ_0, ϵ_0 – магнитная и диэлектрическая проницаемость вакуума
- На магнитный диполь $\mu_{\check{H}2}$ частицы действует магнитное поле электромагнитной волны силой F и моментом M
- $$F = (\mu_{\check{H}2}, \text{grad}) B$$
 (2)
- $$m_{\check{H}2} * a = F$$
 (3)
- $$M = [\mu_{\check{H}2}, B]$$
 (4)
- $$d L_e / dt = M$$
 (5)
- где $a, \mu_{\check{H}2}, m_{\check{H}2}, L_e$ - ускорение, магнитный момент, масса, момент количества движения частицы

Оценка силы, действующей на «неизвестную частицу» имеющую магнитный момент в поле рентгеновского излучения

- $$B_0^2 = 2\mu_0\hbar\omega_0 n/cS,$$
- B_0^2 - квадрат амплитуды индукции магнитного поля излучения,
- где μ_0 - магнитная проницаемость вакуума,
- \hbar – постоянная Дирака,
- ω_0 – угловая частота рентгеновского излучения,
- n – количество зарегистрированных датчиком квантов в секунду,
- c – скорость света,
- S – сечение датчика.

- $$F = 2 \mu_B \omega_0 n/c^2 S$$
- где F – средняя за период сила, действующая на магнитный момент «неизвестной частицы» со стороны электромагнитного поля.
- μ_B – магнетон Бора.
- Для 60 кэВ $\omega_0 = 10^{20}$ рад/сек

$$F = 2,5 \cdot 10^{-25} \text{ Н}$$

Оценка плотности «неизвестных частиц» в окрестности электрического разряда

- $$P_{\text{магн}} = F_{\text{магн}} \cdot v \cdot V \cdot N$$
- где $P_{\text{магн}}$ – мощность увеличения кинетической энергии «неизвестных частиц» за счет магнитного взаимодействия,
- $F_{\text{магн}}$ – сила, действующая на магнитный момент «неизвестной частицы»,
- v – изменение скорости «неизвестных частиц» за счет взаимодействия,
- V – объем, в котором «неизвестные частицы» взаимодействуют с излучением,
- N – плотность «неизвестных частиц»,

- $$P_{\text{спектр}} = \int \Delta \text{спектр} d\omega$$
- где $\int \Delta \text{спектр} d\omega$ – интеграл по частоте от разности плотности энергий

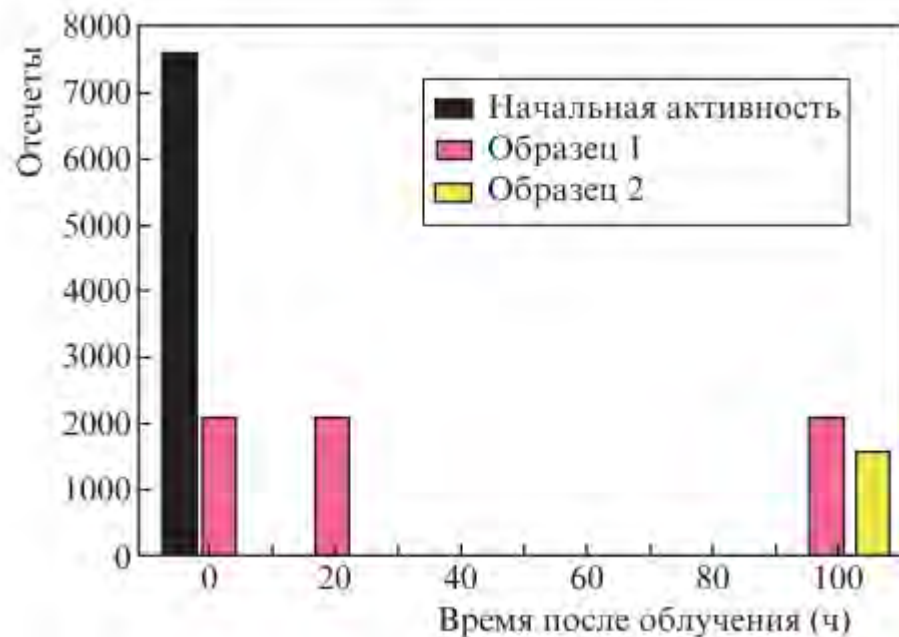
- $$P_{\text{спектр}} = P_{\text{магн}}$$
- $$N = P_{\text{спектр}} / F_{\text{магн}} \cdot v \cdot V$$

- Если принять, что «неизвестные частицы» - частицы «темного водорода», с учетом чувствительности датчика 2%

- $$N = 10^{21} \text{ м}^{-3}$$

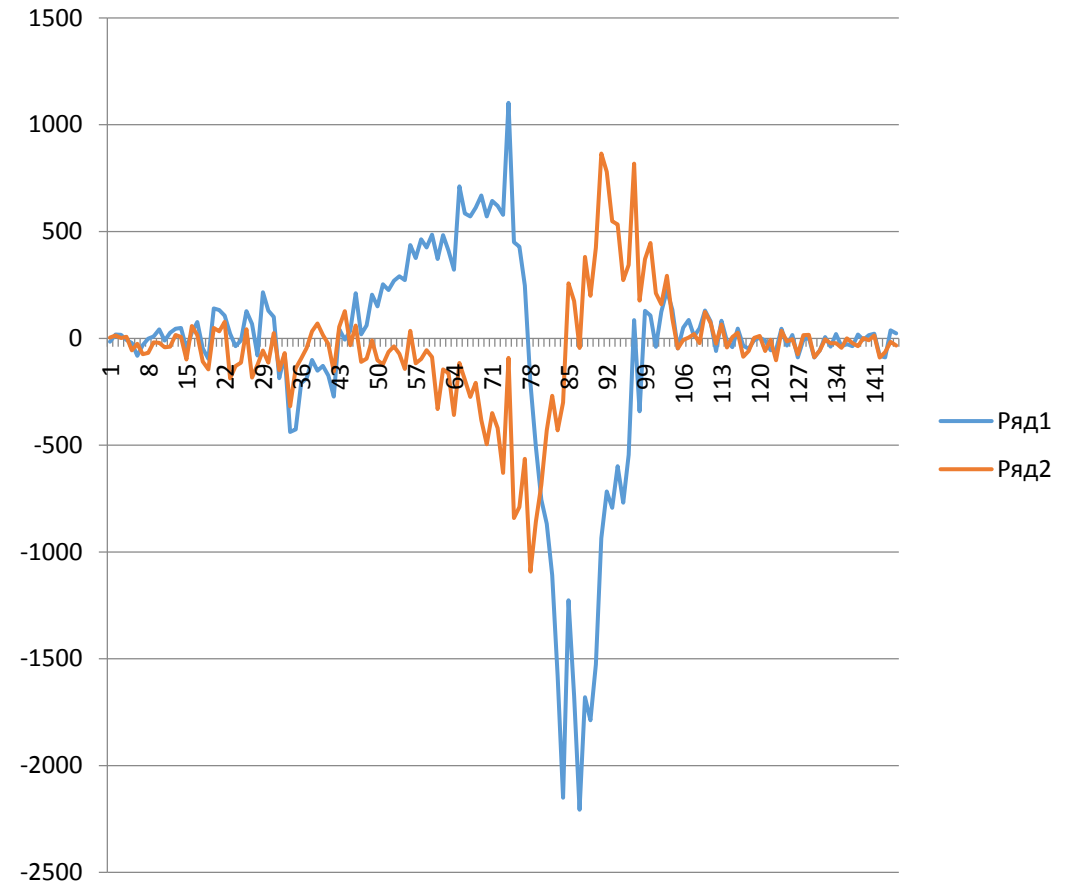
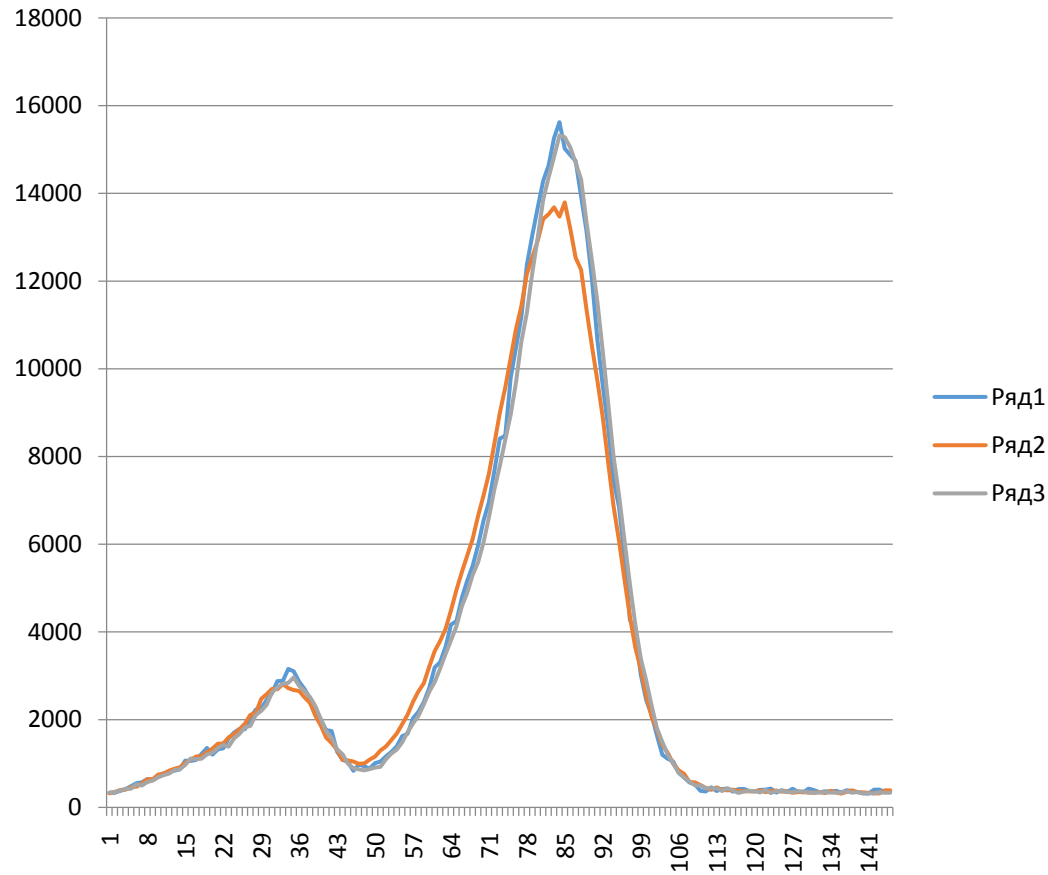
Лазерно-индуцированный распад цезия-137

Е. В. Бармина, А. В. Симакин, Г. А. Шафеев
Квантовая электроника, 2014, том 44, номер 8



- Представлены результаты экспериментов по **лазерно-индуцированному β -распаду** радионуклида цезия-137. Показано, что воздействие излучения лазера на парах меди (длины волн 510.6 и 578.2 нм, длительность импульса 15 нс) в течение 2 ч на мишень из золота в водном растворе соли цезия-137 приводит к снижению его активности, измеряемой по γ -излучению дочернего ядра ^{137m}Ba (662кэВ), на 70%. Обсуждаются возможности потенциального применения лазерно-индуцированного распада радионуклида цезия-137 как способа утилизации радиоактивных отходов.

Синий - спектр до разряда, красный - спектр с разрядом, зеленый - спектр после разряда



Методика обнаружения и измерения «нейтроноподобных атомов»

- Несколько идей можно использовать для разработки методики регистрации и измерения загрязнения помещения «нейтроноподобными частицами»:

- уменьшение интенсивности излучения калиброванного источника в центре линии,

- увеличение интенсивности источника при больших энергиях.

Если считать, что «нейтроноподобные атомы» - «темный водород», то для методики, основанной на уменьшении интенсивности центра линии, можно написать для плотности частиц «темного водорода» в объеме N соотношение

$$N \approx A \Delta n$$

Δn - уменьшение счета квантов в центре линии.

ВЫВОДЫ

- В лабораториях с экспериментальными установками с мощным воздействием на молекулы воды формируется среда из **«нейтроноподобных атомов»**. Рентгеновское излучение интенсивно ослабляется за счет некогерентного (с изменением частоты) рассеивания излучения на **«нейтроноподобных атомах»**.
- В экспериментах с радиационными источниками, излучающими в рентгеновской области, необходимо учитывать загрязнение помещения **«нейтроноподобными атомами»**, которые рассеивают рентгеновское излучение .
- Степень уменьшения интенсивности излучения источника является методом обнаружения загрязнения окружающего пространства **«нейтроноподобными атомами»**. Уменьшение интенсивности излучения по сравнению с эталонной интенсивностью, полученной в чистых условиях, позволит ввести количественную характеристику.
- Увеличение частоты рассеиваемого рентгеновского излучения является весомым аргументом в поддержку идеи **«темного водорода»**, т.к. увеличение частоты - следствие обратного эффекта Комптона.