

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОНИКАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ ИЗ ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ КАТОДА СИЛЬНОТОЧНОГО ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

А.Б. Карабут

ФГУП «ЛУЧ»

Железнодорожная 24, г. Подольск, Московская область, 142100, Российская федерация.
Тел. (095) 5508129; Факс (095) 5508129; E-mail 7850.g23@g23.relcom.ru

АННОТАЦИЯ

При исследовании возможного механизма инициирования ядерных реакций трансмутации в твердотельной среде катода тлеющего разряда зарегистрирована эмиссия рентгеновского излучения интенсивностью до 1,0 Гр/с. Эксперименты проводились на установке сильноточного тлеющего разряда [1] с использованием дейтерия и водорода при давлении до 10 Торр, с использованием катодных образцов из Al, Sc, Ti, Ni, Nb, Zr, Mo, Pd, Ta, W, Pt, Pb.

Регистрация рентгеновского излучения проводилась с использованием термолюминисцентных детекторов (TLD), рентгеновской пленки и сцинтилляционных детекторов снабженных фотоумножителями. В экспериментах было выявлено два режима эмиссии излучения:

1 – диффузное рентгеновское излучение наблюдается в виде отдельных вспышек рентгеновского излучения (до 10^5 вспышек в секунду и до 10^6 рентгеновских квантов в одной вспышке). Средняя энергия рентгеновского излучения (TLD результаты) была равна 1.5 – 1.8 кэВ.

2 – рентгеновское излучение в виде лазерных микропучков (до 10^4 пучков в секунду и до 10^9 рентгеновских квантов в одном пучке). Эмиссия рентгеновских лазерных пучков происходит во время горения разряда и до 100 мс спустя выключения тока. Полученные результаты являются прямым экспериментальным доказательством существования в твердом теле катодного образца возбужденных метастабильных энергетических уровней с энергией 1.5 – 3.0 кэВ.

1. ВВЕДЕНИЕ

Ранее были выполнены эксперименты по определению возможного механизма инициирования ядерных реакций трансмутации в среде твердого тела катодного образца сильноточного тлеющего разряда. Экспериментальные результаты показали, что характер обнаруженного рентгеновского излучения существенно отличается от известных видов рентгеновской эмиссии. Это обусловило важность исследования характеристик обнаруженного рентгеновского излучения из твердотельной среды материала катодного образца сильноточного тлеющего разряда.

2. СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

Эксперименты проводились на установке сильноточного тлеющего разряда. Катодные образцы из Pd и других металлов размещались на катододержателе, над которым располагалось окно для выхода проникающего излучения закрытое 15 мкм Be фольгой для защиты детекторов от видимого и ультрафиолетового излучения. Использовался импульсно – периодический источник питания тлеющего разряда с прямоугольной формой импульса тока. Длительность импульсов разрядного тока составляла 0.27 -10.0 мс, период следования импульсов был 1.0 -100 мс. Разряд осуществлялся в H_2 , D_2 , Xe, Kr. Регистрация рентгеновского излучения проводилась с использованием термолюминисцентных детекторов, рентгеновских пленок, размещаемых над катодом на различных расстояниях, сцинтилляционных детекторов снабженных фотоумножителями [].

Пространственно временные характеристики проникающего излучения определялись с использованием сцинтилляционных детекторов снабженные фотоумножителями (ФЭУ). Сигнал с ФЭУ подавался на быстродействующий преусилитель с коэффициентом усиления k

= 7 и затем на двухканальный компьютерный цифровой осциллограф с предельной частотой разрешения 50 МГц на канал. Использовались органические сцинтилляторы на основе полиметилметакрилата (РММА) с временем высвечивания 3 – 5 нс. Временное разрешение всего тракта от ФЭУ до осциллографа (экспериментально) составляет 70 – 80 нс. Электрический шум наблюдается только во время прохождения переднего и заднего фронтов импульсов тока питающих тлеющий разряд.

Использовались три различных варианта сборки разрядной камеры с каналом для вывода излучения (Рис.1). В первом варианте (Рис. 1а) ФЭУ - сцинтиллятор детектор размещался на расстоянии 21 см от поверхности катода. Диаметр канала вывода излучения был равен 1.7 см. Во втором варианте ФЭУ - сцинтиллятор располагался на расстоянии 70 см от катода при диаметре канала вывода излучения 3.2 см (Рис. 1б). Для определения типа проникающего излучения третий вариант экспериментальной сборки включал в себя магнитную систему, состоящую из постоянного магнита и эллиптического железного магнитопровода (Рис 1с). Ось полюсов магнитной системы находилась на расстоянии 35 см от катода перпендикулярно оси канала вывода излучения. Индукция магнитного поля в зазоре между полюсами составляла 0.2 Тл.

3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ В РЕЖИМЕ ВСПЫШЕК ДИФFUЗНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Методика регистрации и измерения была разработана применительно к двум режимам эмиссии рентгеновского излучения: режим вспышек диффузного излучения, генерация рентгеновского излучения в виде лазерных микропучков.

Интенсивность светового потока от сцинтиллятора в режиме генерации рентгеновских лазерных пучков больше интенсивности светового излучения сцинтиллятора в режиме диффузных вспышек примерно в 1000 раз. В этом случае коэффициент усиления системы регистрации излучения изменялся путем изменения напряжения питания фотоумножителя и изменения коэффициента усиления осциллографа. В отдельных экспериментах между сцинтиллятором и ФЭУ устанавливался светопоглощающий фильтр ослаблявший световой поток проходящий на ФЭУ. Использовались два типа фильтров ослаблявших световой поток в 50 раз и в 2500 раз соответственно.

Энергия и интенсивность рентгеновского излучения определялись в режимах вспышек диффузного рентгеновского излучения. Зависимость интенсивности рентгеновского излучения (мощности экспозиционной дозы рентгеновского излучения) от выходного сигнала сцинтиллятор – ФЭУ определялась в экспериментах с тлеющим разрядом при одновременном использовании ФЭУ сцинтиллятор детекторов и TLD детекторов. Энергия рентгеновского излучения определенная с использованием TLD детекторов закрытых бериллиевыми фольгами различной толщины (15 мкм, 30 мкм, 60 мкм, 105 мкм, 165 мкм, 225 мкм и 300 мкм) оценивается величиной 1,5 - 1,8 кэВ.

Для ФЭУ сцинтиллятор детектора относительная интенсивность рентгеновского излучения определялась как сумма амплитуд ΣA_i всех рентгеновских вспышек за временной интервал 1 секунда (Рис.2). Далее по величине интенсивности измеренной ТЛД детекторами эта относительная интенсивность приводилась к физической величине.

Эксперименты с использованием системы сцинтиллятор – ФЭУ и экранов из бериллиевой фольги с толщиной 15 мкм и 30 мкм (Рис.2) дали оценку величины энергии рентгеновского излучения $E_{X\text{-ray}} \approx 1.5 \text{ keV}$, что хорошо согласуется с ТЛД детектор результатами.

Зависимость изменения интенсивности излучения от расстояния определялась с использованием экспериментальных установок по схемам Рис.1а и Рис.1б. Увеличение расстояния между сцинтиллятор – ФЭУ детектором и катодом с 21 см до 70 см приводит к уменьшению интенсивности излучения более, чем по закону $1/r^2$ (Рис.3). Такой результат может объясняться тем, что индикатрисы излучения отдельных вспышек имеют эллиптическую форму с достаточно узкой угловой направленностью.

4. ЭСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО РЕГИСТРАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛАЗЕРНЫХ ПУЧКОВ

Генерации рентгеновских лазерных пучков возникновение при четко фиксированных параметрах и условиях горения разряда.

1-Генерация возникает только при питании импульсно периодическим током (на постоянном токе генерации нет, рентгеновское излучение в виде вспышек диффузного излучения идет и на постоянном токе).

2-Существуют критические параметры возникновения генерации по давлению газа P_{GD} в разрядной камере и напряжению горения разряда U_{GD} . Генерация возникает при $P_{GD} < P_{GD_{крит}}$, $U_{GD} > U_{GD_{крит}}$. Небольшое изменение давления или напряжения разряда приводит к возникновению генерации (по давлению это изменение $\Delta P_{GD} = 0.2-03$ Торр, по напряжению $\Delta U_{GD} = 30-50$ В).

3-Для различных катодных материалов эти параметры разные (например, при использовании Pd катода рентгеновская лазерная генерация возникает при давлении в два раза большем, чем при использовании Ti катода).

4- Параметры возникновения рентгеновская лазерная генерации зависят также от вида плазмообразующего газа.

5-При работе интенсивность генерации уменьшается с течением времени (очевидно, из-за деградации поверхности катода) и со временем прекращается. Особенно сильно это явление наблюдается для катодных материалов с большим коэффициентом распыления материала в плазме разряда (например Al, Pd, Pb).

Рентгеновское излучение в виде лазерных пучков состоит из отдельных пучков предположительно малого диаметра (до $10^6 - 10^9$ фотонов в пучке). Эти величины получены в предположении, что система сцинтиллятор – ФЭУ работает в линейной области и с учетом величины уменьшения коэффициента усиления тракта при регистрации рентгеновского лазерного излучения. Эмиссия рентгеновских лазерных пучков происходит во время горения разряда и до 100 мс спустя после выключения тока. При определенных параметрах разряда наблюдается генерация рентгеновских лазерных пучков только спустя несколько мс после выключения тока разряда (до 20 –30 пучков после каждого импульса тока). Временной вид осциллограмм генерируемых пучков зависит от вида плазмообразующего газа (Рис.4) и видов катодных материалов (Рис.5, Рис.6). Здесь коэффициент усиления тракта регистрации излучения был достаточно большой и верхняя часть импульсов обрезана дискриминатором усилителя. Реальная форма импульсов излучения наблюдается при использовании светопоглощающего фильтра уменьшающего световой поток от сцинтиллятора к фотоумножителю в 2500 раз (Рис.7).

Оценка расходимости рентгеновских лазерных пучков осуществлялась в экспериментах с использованием экспериментальных установок по схемам Рис.1а и Рис.1б. Увеличение расстояния от катода до система сцинтиллятор – ФЭУ с 21 см до 70 см приводит к незначительному ослаблению сигнала (Рис.8). Эти результаты подтверждаются при использовании 50 кратного оптического фильтра (Рис.9).

Эксперименты с наложением поперечного магнитного поля показывают, что проникающее излучение имеет две компоненты (Рис.8с). рентгеновские лазерные пучки не отклоняются в магнитном поле и регистрируются сцинтиллятор – ФЭУ детектором. Другая часть излучения не попадает на детектор. Предположительно эта часть излучения является быстрыми электронами с энергией ≤ 0.5 МэВ. Пучки быстрых электронов могут образовываться при взаимодействии первичных рентгеновских лазерных пучков со стенками канала для вывода излучения. Изображения треков рентгеновских лазерных пучков были получены с использование рентгеновской пленки размещаемой над катодом на различных расстояниях. Диаметр треков лазерных пучков составляет 6 - 10 мкм на расстоянии 100 мм от катода и до 20 – 30 мкм на расстоянии 210 мм (Рис. 10). Высокая интенсивность излучения и процесс соляризации фотоэмульсии дают позитивное изображение треков. Угловая расходимость каждого из

пучков оценивается до 10^{-4} (по результатам измерения диаметров треков на различных расстояниях от катода).

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО ПРОНИКАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Ранее в экспериментах с сильноточным тлеющим разрядом было зарегистрировано проникающее излучение проходящее через стенки разрядной камеры из стали толщиной 5 мм (Рис.10). Эксперименты показали, что это вторичное излучение, возникающее при взаимодействии первичных рентгеновских лазерных пучков из твердотельной среды катода с материалом стенок камеры и элементами конструкции, свинцовыми защитными экранами. Созданная 100% воспроизводимая технология генерации рентгеновских лазерных пучков позволила провести исследование характеристик вторичного проникающего излучения.

6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Тип излучения определялся на установке с каналом для вывода излучения длиной 70 см при отсутствии поперечного магнитного поля и с наложенным магнитным полем (Рис. 11b, Рис. 11с.). При отсутствии магнитного поля не наблюдается значительного ослабления сцинтиллятор ФЭУ детектор сигнала при увеличении расстояния от катода до детектора с 21 см до 70 см (Рис. 12a). Наложение магнитного поля с индукцией 0.2 Тл приводит к полному исчезновению сигнала на сцинтиллятор- ФЭУ детекторе (Рис. 12b). Таким образом, вторичное излучение представляет собой поток заряженных частиц (предположительно быстрых электронов) с малой угловой расходимостью.

При увеличении расстояния с 21 см до 70 см первичные рентгеновские лазерные пучки сохраняют способность производить вторичное излучение при взаимодействии с мишенями из различных материалов (Рис. 13, Рис. 14). Эти результаты являются дополнительным подтверждением того, что первичные рентгеновских лазерные пучки имеют малую угловую расходимость и большую плотность фотонов в пучке.

Вид осциллограмм вспышек первичного излучения определяется материалом катода (Рис.15a). Вторичное проникающее излучение наблюдалось двух типов. 1) - излучение с непрерывным временным спектром в виде отдельных вспышек с интенсивностью до 10^6 фотонов во вспышке. Эмиссия этого излучения начиналась спустя 0.5 -1.0 мс после выключения тока разряда. 2) - излучение с дискретным временным спектром и интенсивностью излучения до 10^9 фотонов на вспышку. Распределение вспышек во времени этого излучения определяется материалом мишени (Рис. 15b).

Результаты регистрации вспышек излучения использовались для построения временных спектров. Строилась зависимость количества вспышек излучения от временного интервала между задним фронтом импульса тока разряда и передним фронтом вспышек излучения. Временной спектр первичного рентгеновского лазерного излучения имеет дискретный характер. Вид временного спектра первичного рентгеновского излучения определяется материалом катода (Рис. 16a). Отдельные вспышки зарегистрированы до 85 мс после выключения тока. Временной спектр вторичного излучения имеет также дискретных характер, но вид этого спектра определяется материалом мишени.

Наблюдался также третий вид проникающего излучения. Излучение возникало при облучении мишеней пучками первичного рентгеновского излучения от катода тлеющего разряда. Этот вид излучения регистрировался непосредственно фотоумножителем размещенным позади мишени без сцинтиллятора. В этой схеме мишень располагалась между экраном толщиной 3 мм из пластмассы и ФЭУ детектором (Рис.17). Это излучение возникало после работы установки некоторое время (20 минут и более) и продолжалось несколько десятков минут и более после выключения разряда. Излучение регистрируется в виде импульсов малой длительности. Основной вклад дают импульсы с амплитудой (дозой на один импульс) до 0,0002 мГр (Рис.18a).

Интенсивность этого излучения составляет от 30000 имп./сек сразу после выключения разряда до 1000 имп./сек через 20 минут после выключения. Наблюдаются импульсы с амплитудой до 0,002 мГр и более до 10 имп./сек (Рис.18b). Характеристики вторичного проникающего излучения определялся материалом мишени (Рис.19).

Аномально высокая проникающая способность этого типа излучения требует дополнительных исследований.

5. Обсуждение

Рентгеновское излучение, регистрируемое в этих экспериментах имеет следующие особенности:

- - Рентгеновское излучение выходит из твердотельной среды материала катода.
- - Интенсивность рентгеновского излучения увеличивается в 5 – 6 раз при увеличении напряжения разряда в 1.3 – 1.4 раза.
- - Величина энергии рентгеновского излучения при этом существенно не изменяется.
- - Эмиссия рентгеновского излучения происходит в интервале времени до 100 мс после выключения тока разряда.

Полученные результаты являются прямым экспериментальным доказательством существования в твердом теле катодного образца возбужденных метастабильных энергетических уровней с энергией 1.5 – 2 кэВ. Предположительно эти возбужденные метастабильные уровни образуются в объеме отдельных кристаллитов. Эти возбужденные метастабильные уровни существуют некоторое время $\Delta\tau_{mst}$ (до 100 мс и более). Далее происходит релаксационное опустошение этих уровней, сопровождающееся эмиссией рентгеновского излучения и быстрых электронов. Генерация этих пучков происходит из среды твердого тела катода предположительно за один проход в режиме сверхсветимости. В этом случае длительность пучков должна быть $10^{-11} - 10^{-13}$ с.

Выяснения конкретного физического механизма образования этих уровней требует дополнительных исследований.

Предположительно можно рассматривать следующие физические явления: 1- Колебательная деформация электронно-ядерной системы ионов твердого тела при бомбардировке поверхности катода ионами разряда. Остов электронных оболочек смещается относительно ядра с образованием диполя (оптический полярный фонон).

2- возбуждение внутренних L,М электронных оболочек без ионизации внешних электронов при взаимодействии оптических полярных фононов с электронной оболочкой. 2

- - Релаксация возбужденных энергетических уровней твердотельной среды происходит путем эмиссии рентгеновского излучения и возможно быстрых электронов.
- - Предположительно релаксация возбужденных уровней происходит одновременно из объема микро монокристаллов составляющих твердотельную среду. То есть совокупность ионов с возбужденными электронными оболочками микро монокристалла релаксируют одновременно и дают вспышку рентгеновского излучения.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что в твердом теле возможно создание оптически активной среды с долгоживущими (до 100 мс) метастабильными уровнями с энергией 1 -3 кэВ и выше. Экспериментальное исследование этого фундаментального явления позволило создать принципиально новый тип прибора: “Рентгеновский твердотельный лазер с длиной волны излучения 0.6 – 0.8 нм, длительностью отдельных импульсов $10^{-11} - 10^{-13}$ с и лучевой мощностью в импульсах до 10^7 Вт”.

Литература

- Richard B. Firestone, Table of Isotopes, Eighth Edition, Vol.2, Appendix G –1, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1996.
- Raymond C. Elton, X-RAY LASERS, Academic Press, Inc. 1990.

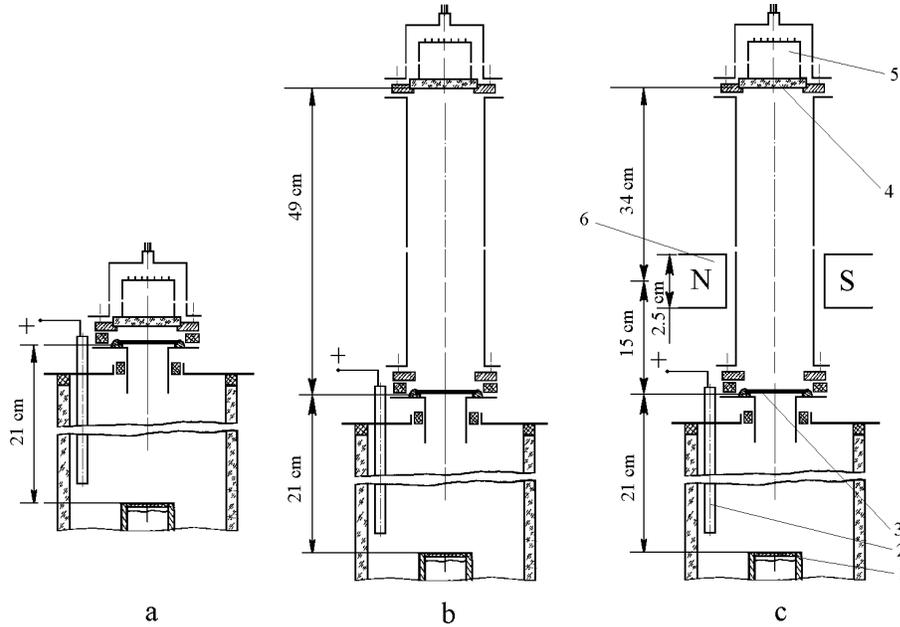


Рис. 1. Различные варианты экспериментальной установки. а система сцинтиллятор – ФЭУ расположена на расстоянии 21 см от катода, б- система сцинтиллятор – ФЭУ расположена на расстоянии 70 см от катода, с- система сцинтиллятор – ФЭУ расположена на расстоянии 70 см от катода с наложением поперечного магнитного поля. 1-катод, 2-анод, 3-Ве экран, 4- сцинтиллятор. 5- ФЭУ.

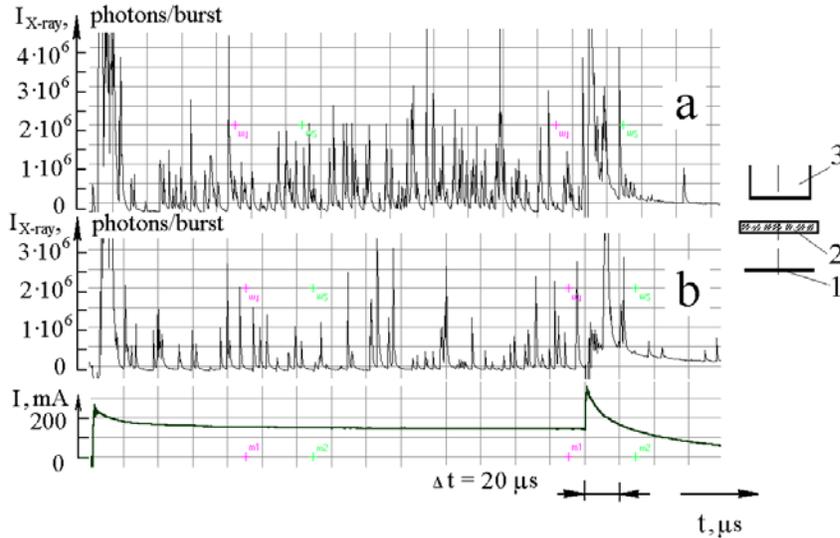


Рис.2. Типичные осциллограммы сигнала от системы ФЭУ сцинтиллятор закрытого Ве экранами различной толщины: а –15 мкм Ве экран, б - 30 мкм Ве экран. Система Pd-D2, ток разряда – 150мА, 1- Ве экран , 2 – сцинтиллятор, 3 – ФЭУ.

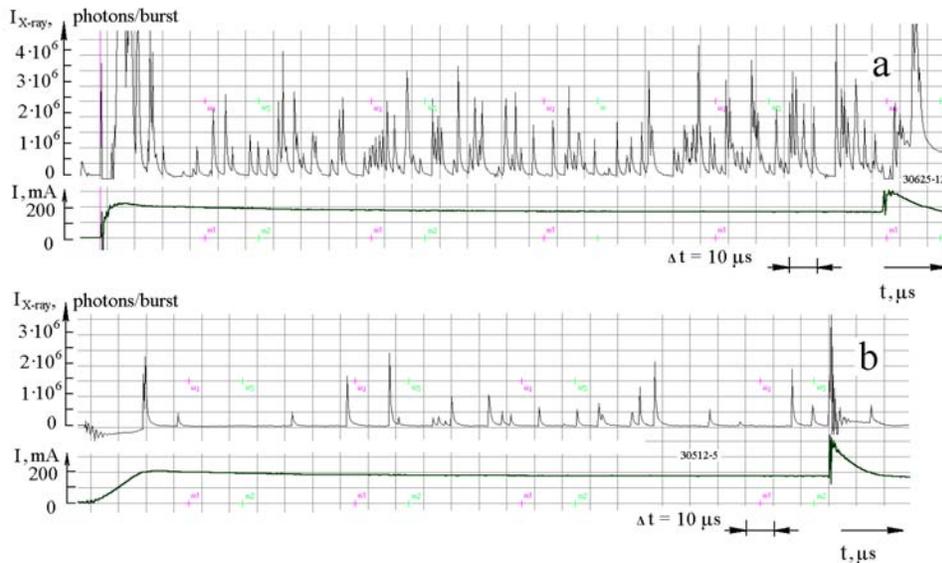


Рис.3. Типичные осциллограммы сигнала от системы ФЭУ сцинтиллятор вспышек диффузного рентгеновского излучения. Система Ta – D₂, ток 175 мА. а - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 21 см от катода (схема Рис.1а); б - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 70 см от катода (схема Рис. 1б).

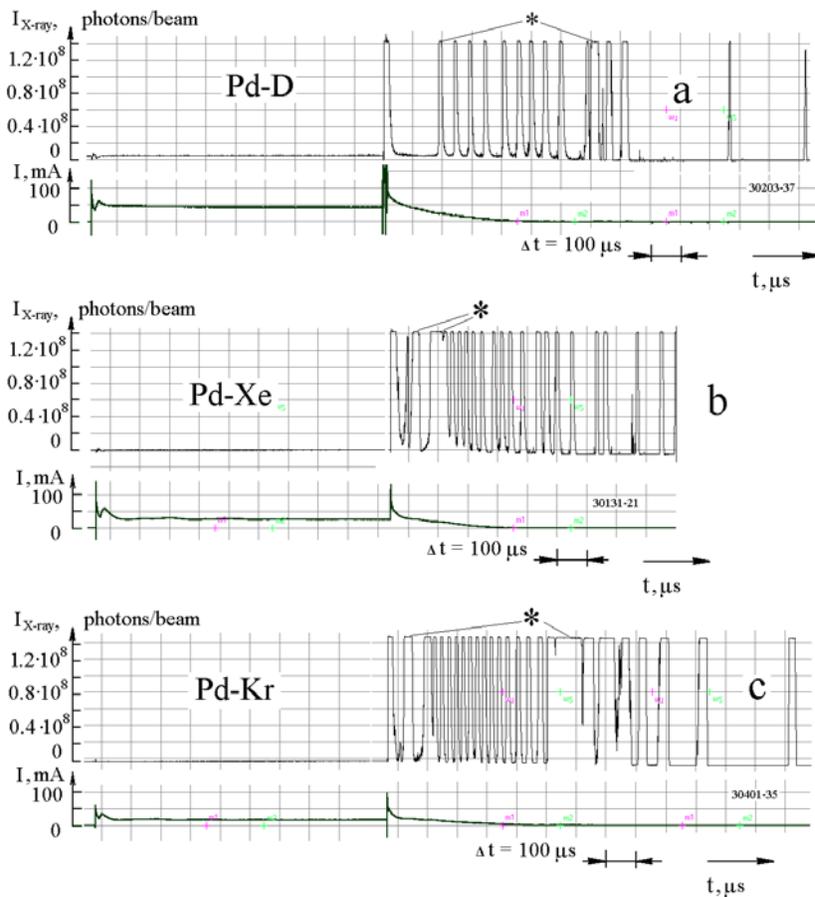


Рис.4. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтиллятор от пучков лазерного рентгеновского излучения. Система Pd – D₂, ток 50 мА. ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 21 см от катода (схема Рис.1а); разряд в различных газах; а - D₂, б - Хе, с - Кр. * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

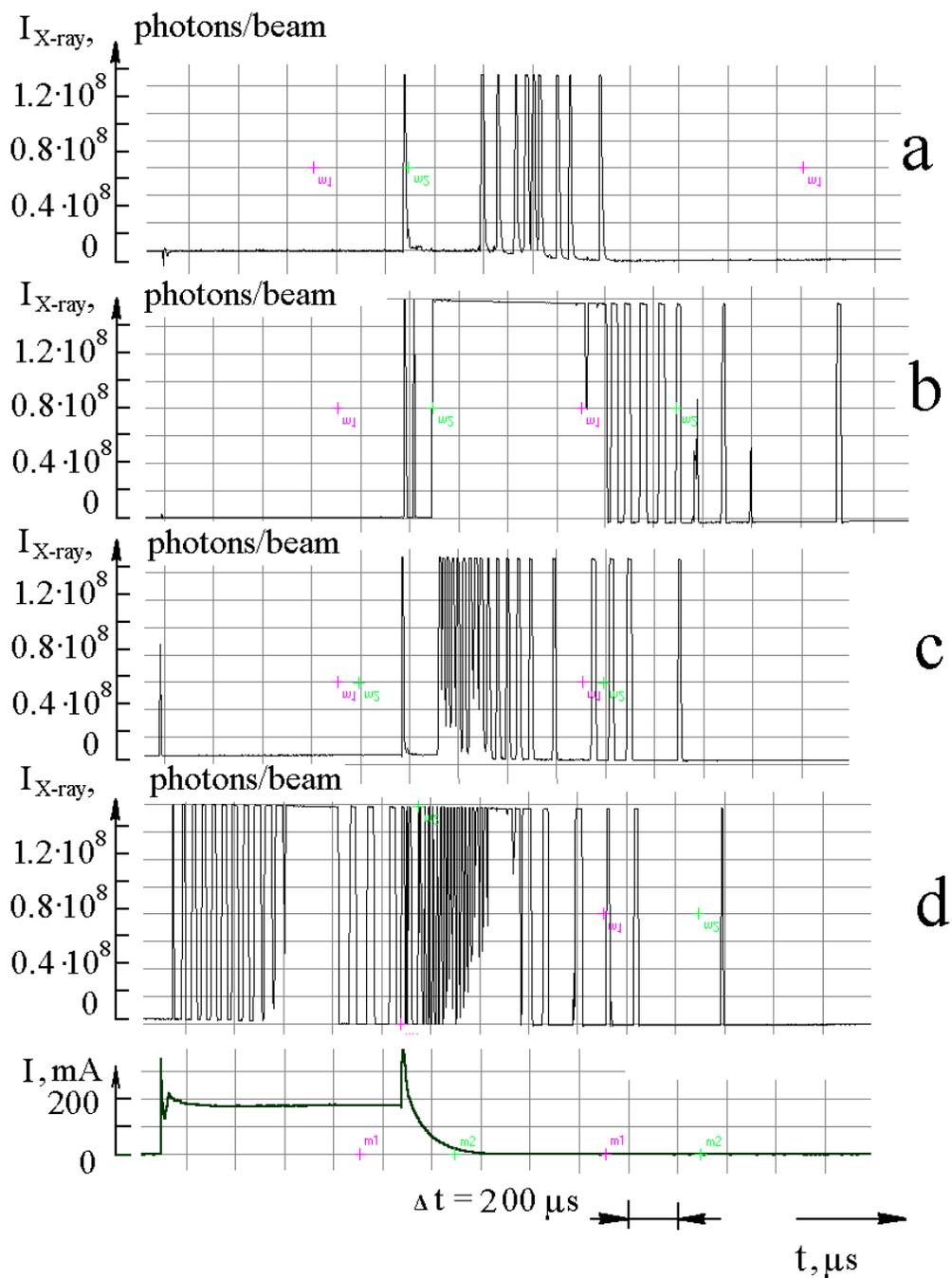


Рис.5. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтиллятор от пучков лазерного рентгеновского излучения для катодных образцов из различных материалов. Разряд в D_2 . ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 21 см от катода (схема Рис. 1а); а – катодный образец из Al, b - Sc, c - Pb, d - Ta. * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

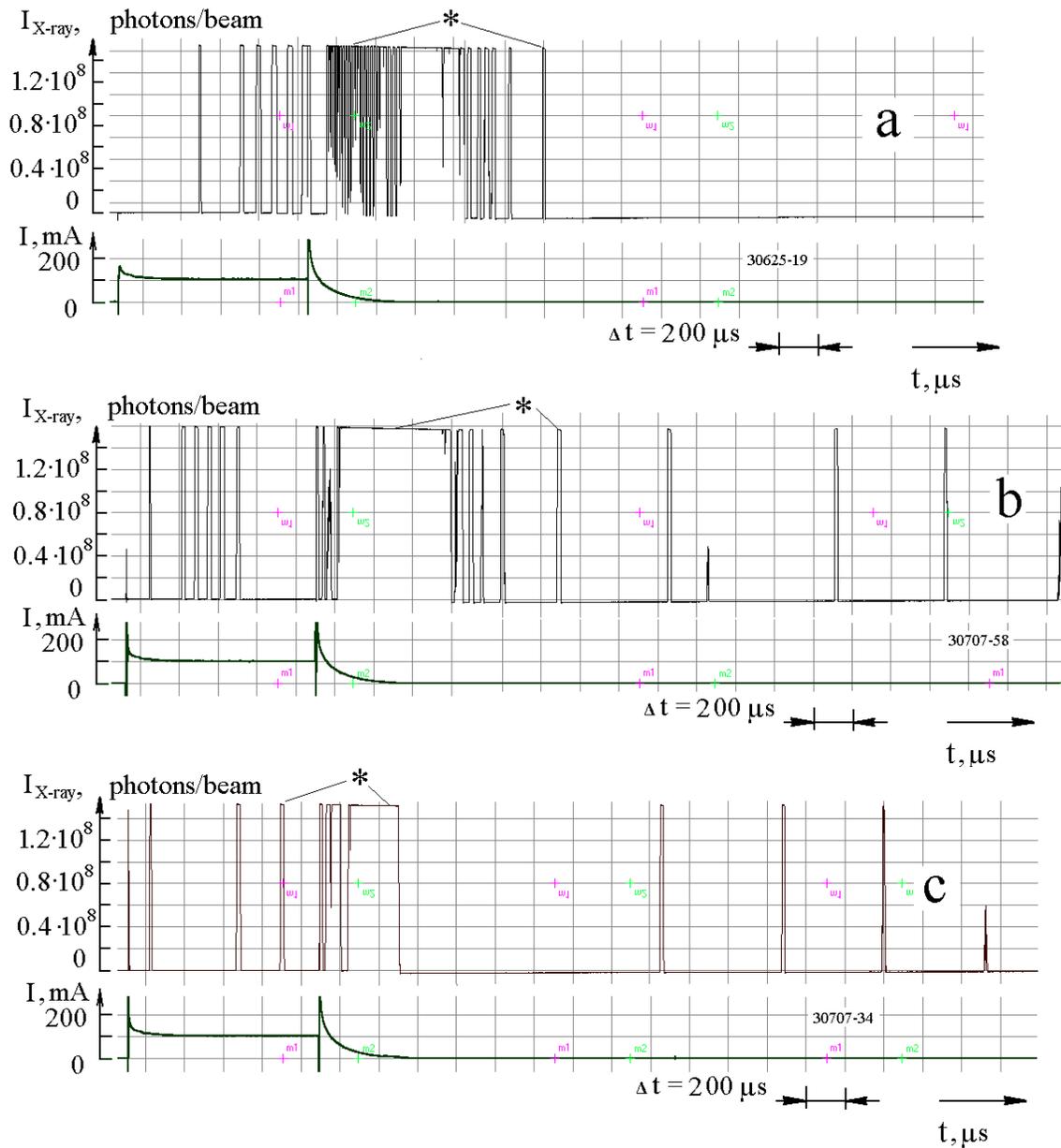


Рис.6. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтилятор от пучков лазерного рентгеновского излучения для различных схем эксперимента. Система Та – D₂, ток 100 мА. а - ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 21 см от катода (схема Рис.1а); б - ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля (схема Рис.1б). в - ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 70 см от катода с наложением магнитного поля (схема Рис.1с). * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

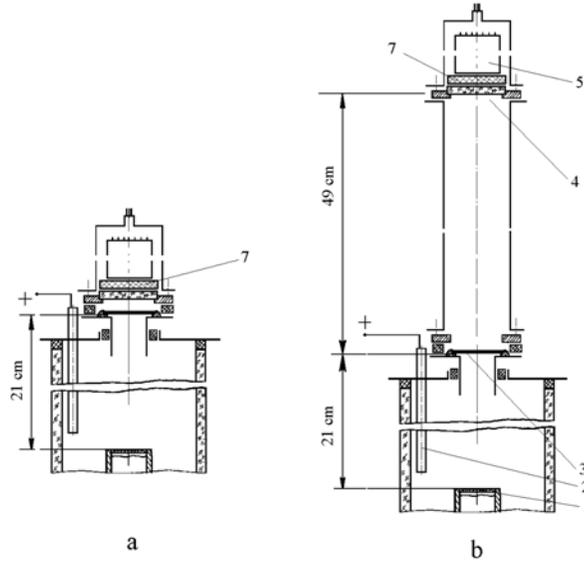


Рис. 7. Схема эксперимента с использованием оптического фильтра между ФЭУ и сцинтиллятором. Оптический фильтр уменьшает световой поток в 50. 1 – катод; 2 – анод; 3 – 15 мкм Ве экран; 4 – сцинтиллятор; 5 – ФЭУ; 7- 50-кратный оптический фильтр.

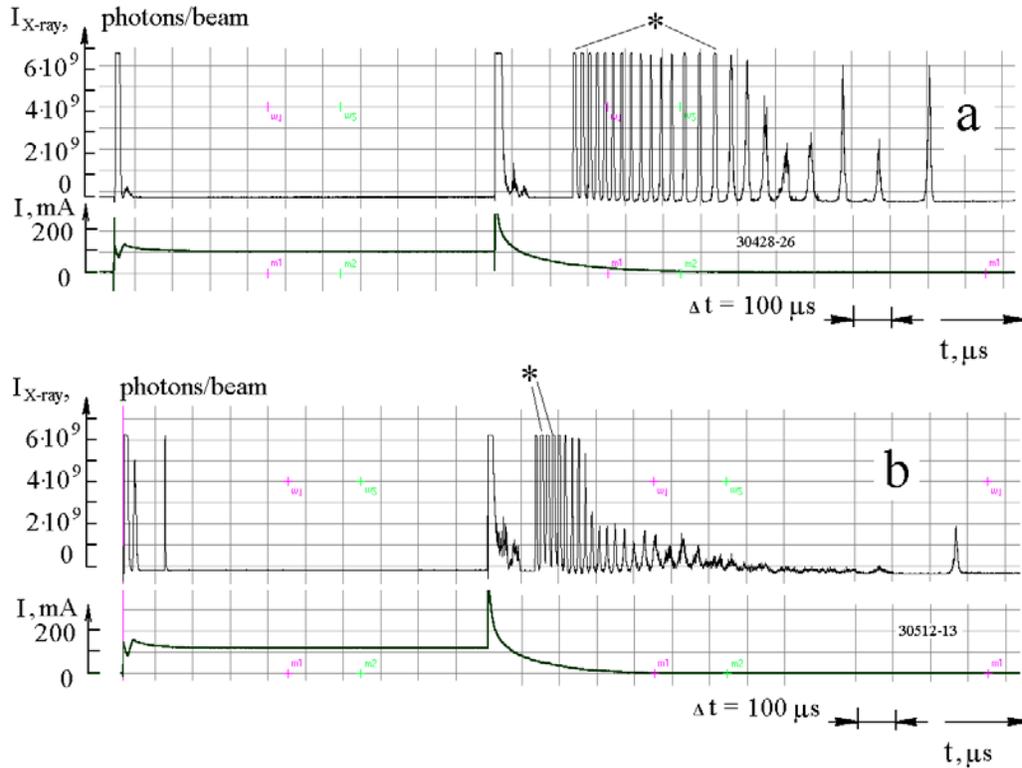


Рис. 8. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтиллятор от пучков лазерного рентгеновского излучения для различных схем эксперимента. Система Та – D₂, ток 100 мА. а - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 21 см от катода (схема Рис. 1а); Assembly is by Fig. 1a. б - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля (схема Рис. 1б). * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

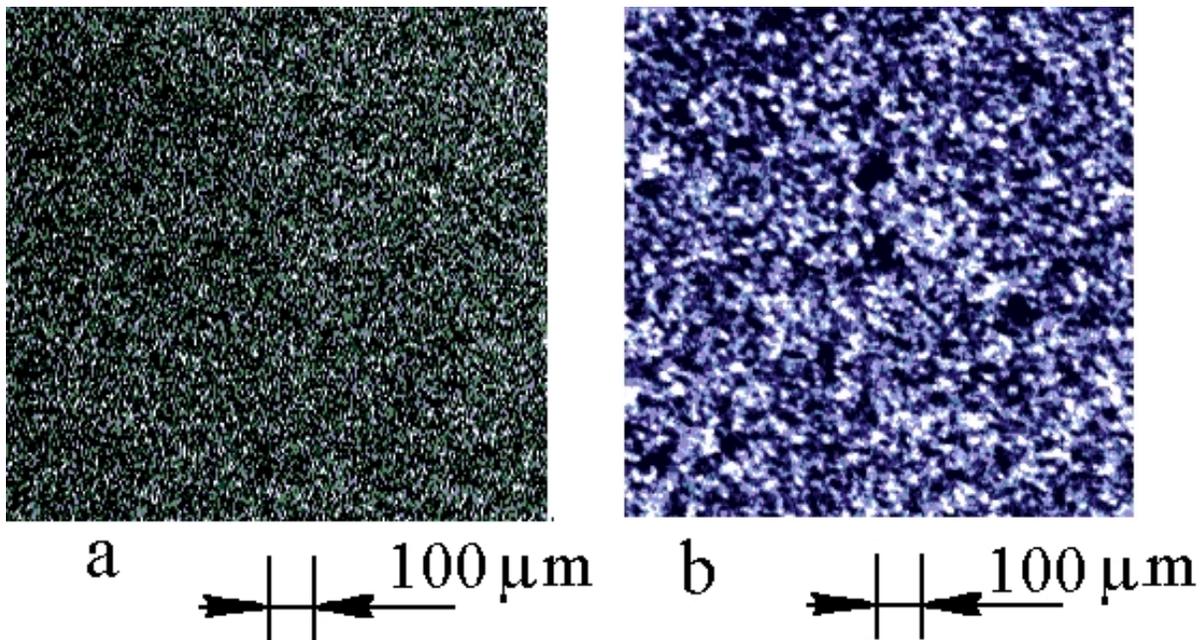


Рис.9. Увеличенное негативное изображение пятен от рентгеновских лазерных пучков на различных расстояниях от катода. Рентгеновская пленка “Kodac XBM” закрытая 15 мкм Al экраном. Система Pd-D2, ток – 130мА, время экспозиции – 1000с, а – пленка расположена на расстоянии 100 мм от катода, б – 210мм. Пятна светлые из-за процесса соляризации фотоэмульсии.

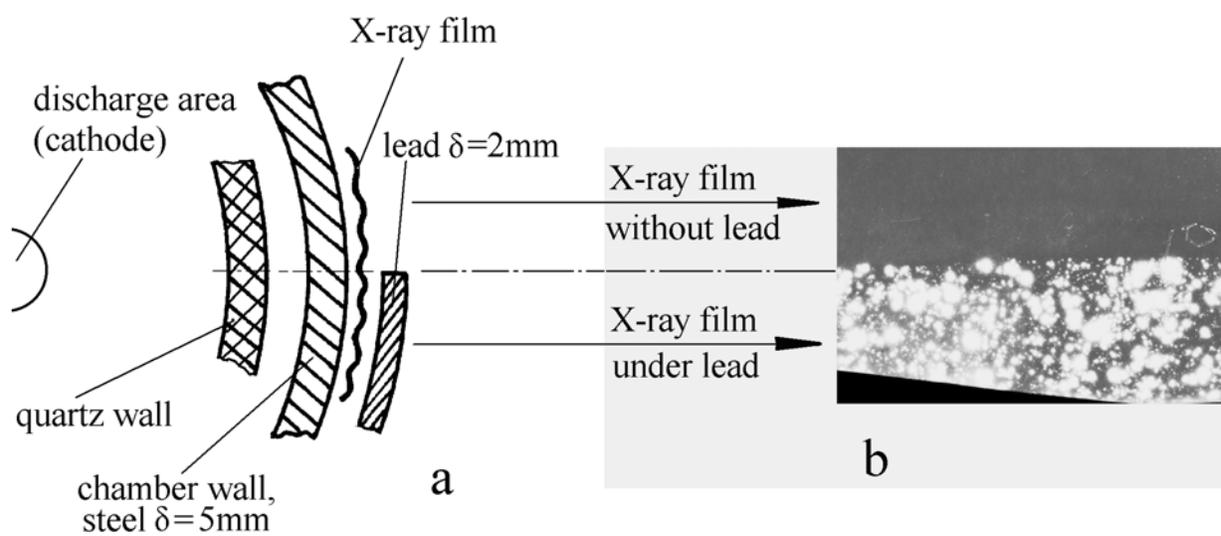


Рис. 10. Фоторегистрация пятен вторичного проникающего излучения при облучении отраженными рентгеновскими лазерными пучками от катода сильноточного тлеющего разряда стенки разрядной камеры (сталь, толщина 5 мм) плена закрыта с обратной стороны Pb экраном толщиной 2 мм. Система Pd-D2, ток – 100мА.

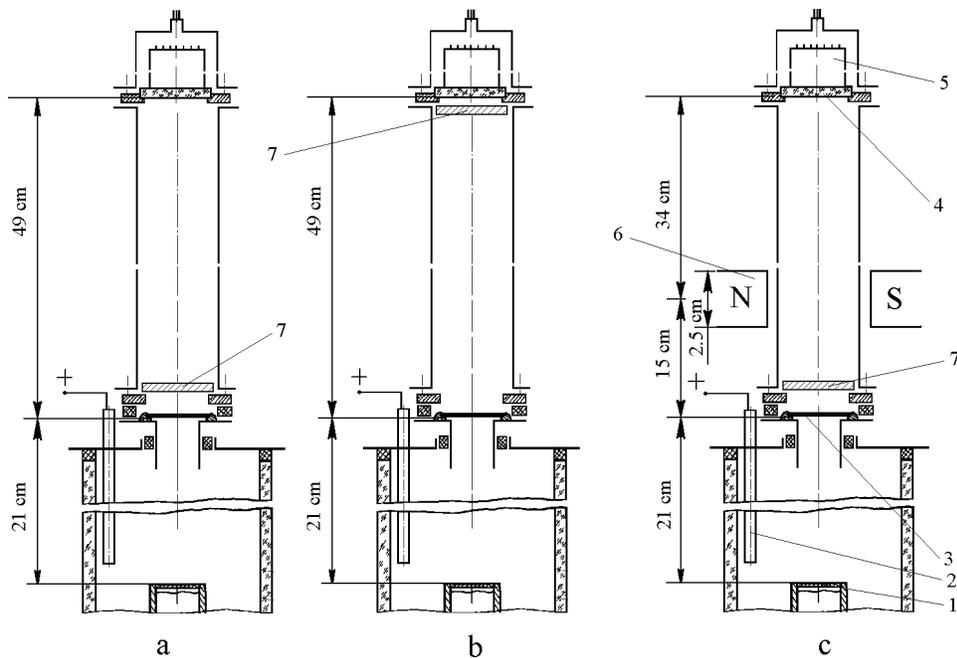


Рис. 11. Различные варианты экспериментальной установки. а система сцинтиллятор – РМ расположена на расстоянии 21 см от катода, б- система сцинтиллятор – ФЭУ расположена на расстоянии 70 см от катода, с- система сцинтиллятор – ФЭУ расположена на расстоянии 70 см от катода с наложением поперечного магнитного поля. 1-катод, 2-анод, 3-Ве экран, 4- сцинтиллятор. 5- ФЭУ, 6- система магнитного поперечного поля с индукцией 0,2 Тл, 7- мишени из фольг различных материалов.

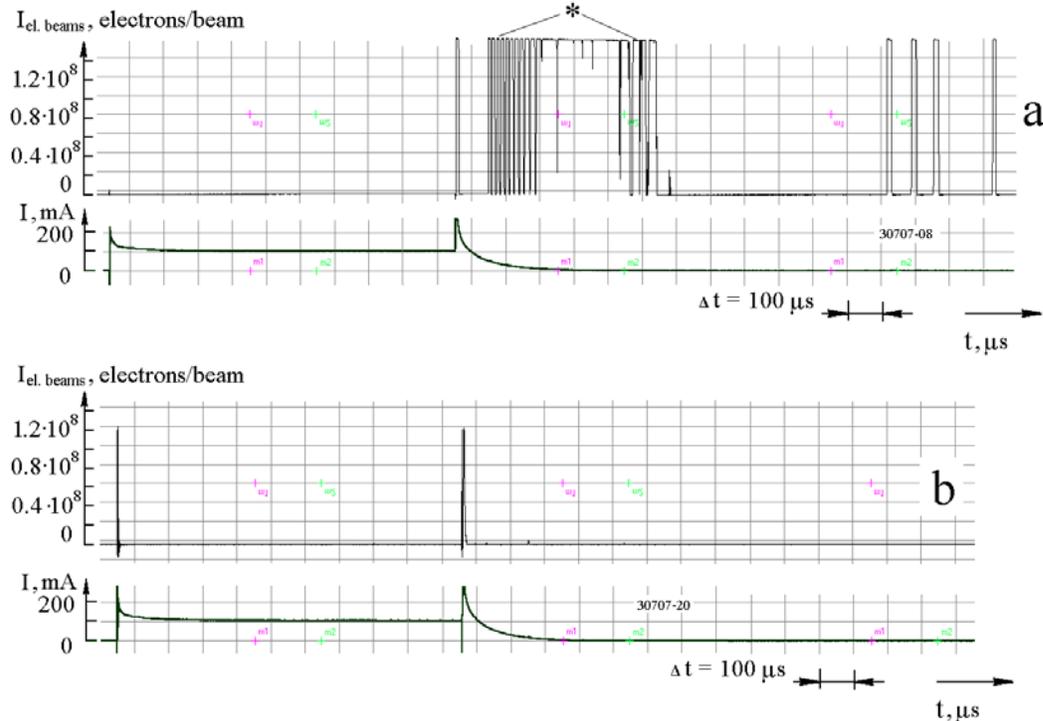


Рис.12. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтиллятор от пучков вторичного проникающего излучения для различных схем эксперимента. Система Та – D₂, ток 100 mA. б - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля (схема Рис.11а). б - ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 70 см от катода с наложением магнитного поля (схема Рис.11с). * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

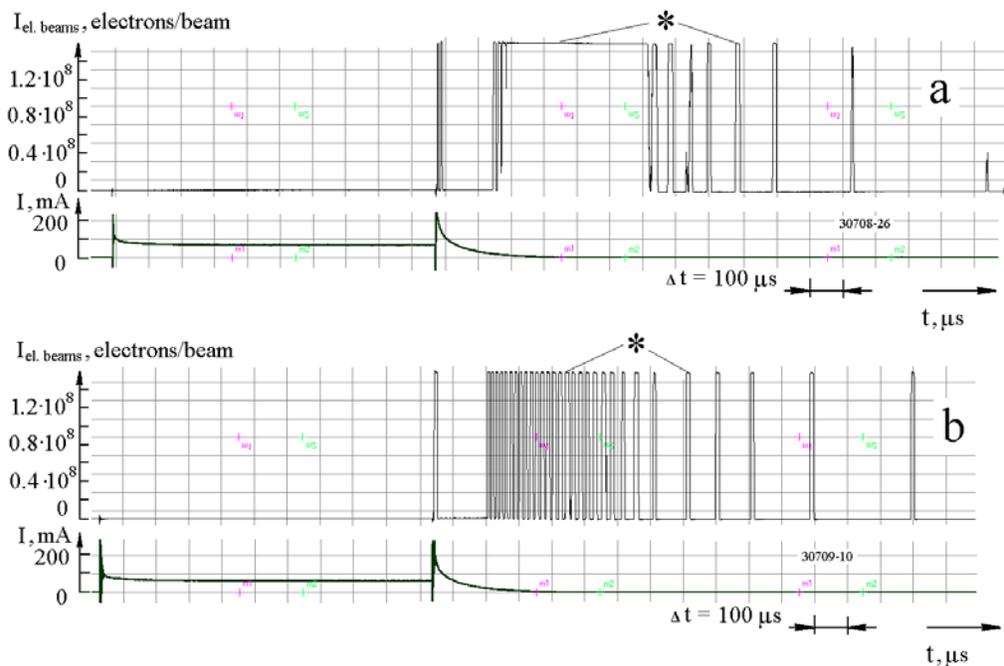


Рис.13. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтилятор от пучков вторичного проникающего излучения для различных материалов мишени. Система Мо – D₂, ток 100 мА. ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля, мишень расположена на расстоянии 70 см (схема Рис.11б). а - 10 мкм Та фольга, б -20 мкм Мо фольга * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

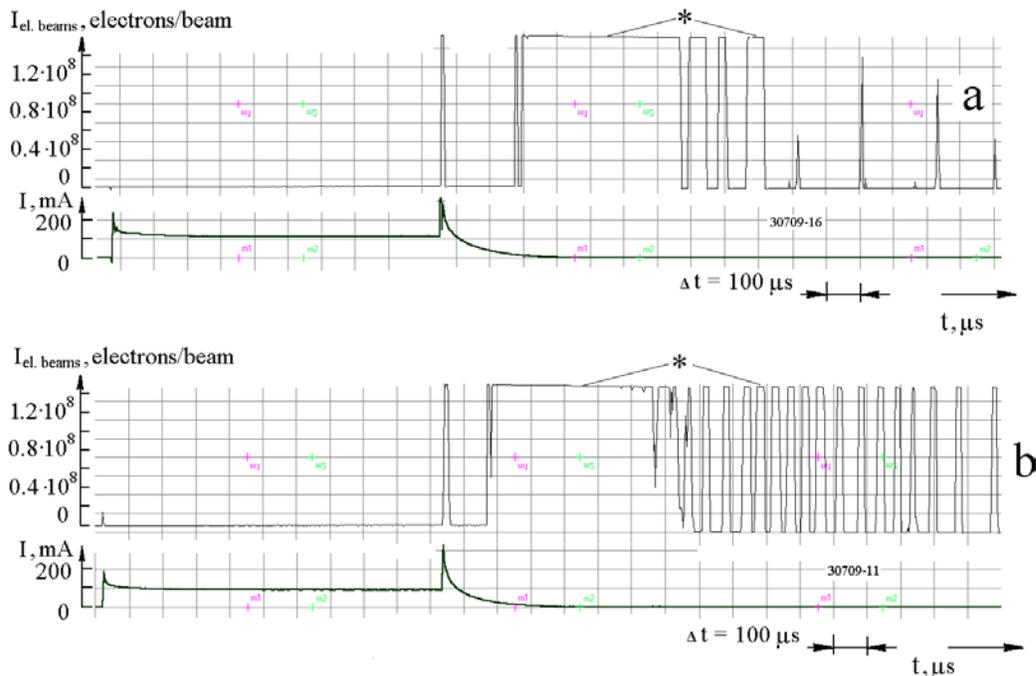


Рис.14. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтилятор от пучков вторичного проникающего излучения для различных материалов мишени. Система Мо – D₂, ток 100 мА. ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля, мишень расположена на расстоянии 70 см (схема Рис.11б). а - 30 мкм Ni фольга, б -100 мкм Al фольга; * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

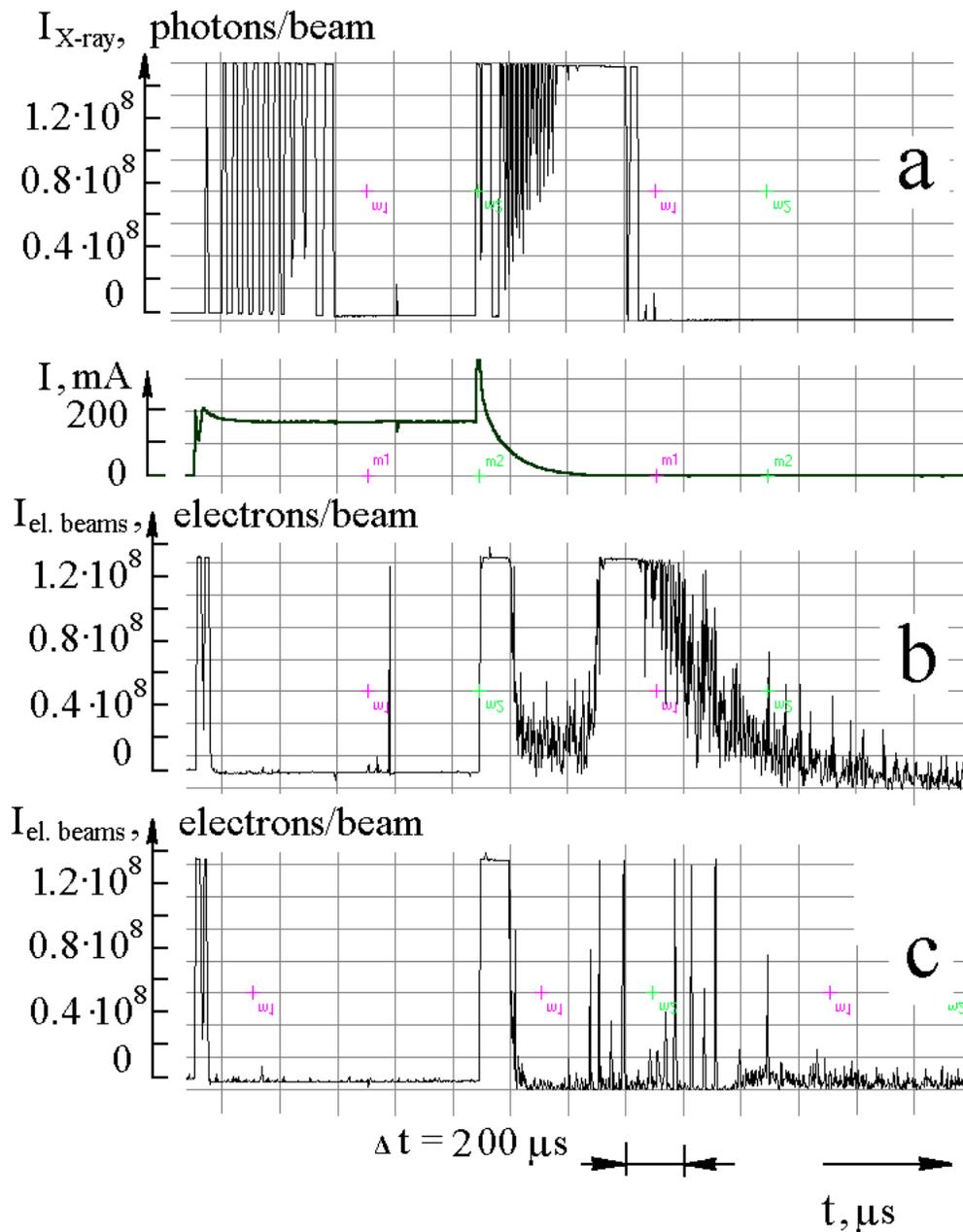


Рис.15. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтилятор от пучков первичного излучения и от пучков вторичного проникающего излучения для различных материалов мишеней большой толщины. Система Ta–D₂, ток 180 мА. ФЭУ сцинтилятор расположен на расстоянии 70 см от катода, без наложения магнитного поля, мишень расположена на расстоянии 70 см (схема Рис.11b). . а – первичное проникающее излучение (без установки мишени), б –Al мишень толщиной 1,4 мм; с - Yb мишень толщиной 1.8 мм * - вершина импульсов обрезана дискриминатором предусилителя.

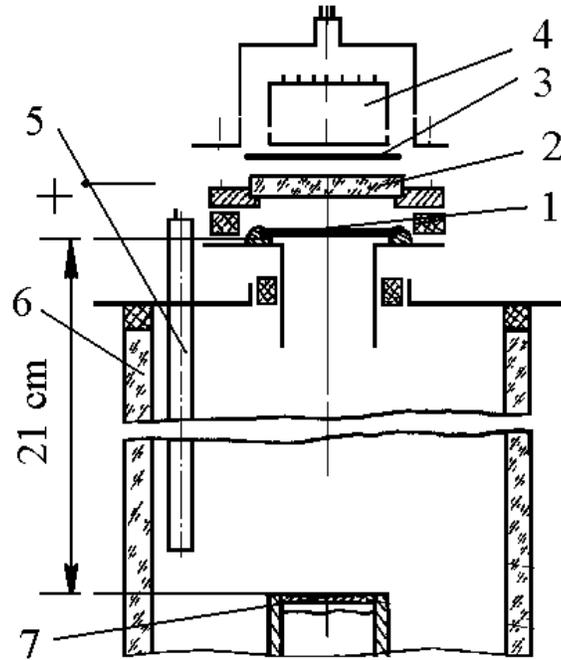


Рис.16. Схема регистрации вторичного проникающего излучения. 1-15 мкм Be экран, 2- пластиковое окно, 3- металлическая мишень, 4-ФЭУ, 5- анод. 6- разрядная камера, 7-катод.

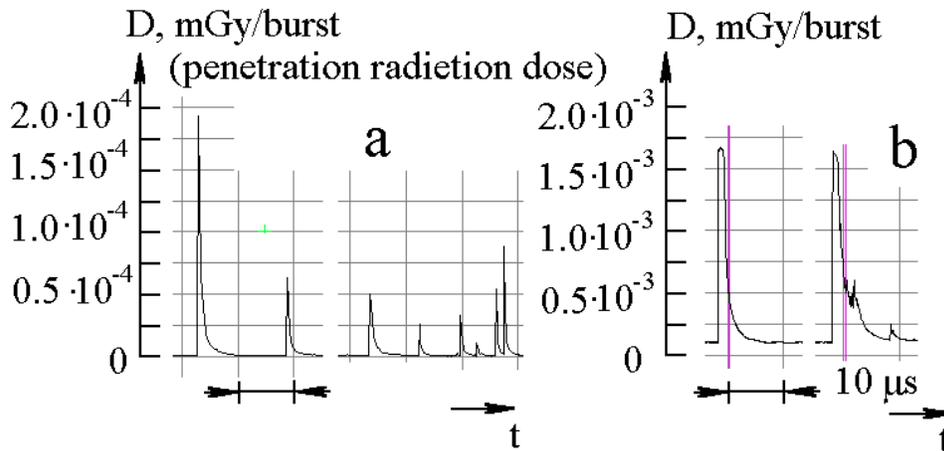


Рис.17. Типичные осциллограммы сигнала системы ФЭУ сцинтиллятор от пучков индуцированного после выключения тока разряда вторичного проникающего излучения. Система Та – D₂, ток 100 мА. ФЭУ сцинтиллятор расположен на расстоянии 21 см от катода, без наложения магнитного поля, мишень расположена на расстоянии 21 см (схема Рис.16), мишень 20 мкм Мо фольга. а – импульсы первого типа, 45 с после выключения тока разряда, б- импульсы второго типа, 1000 с после выключения тока разряда.

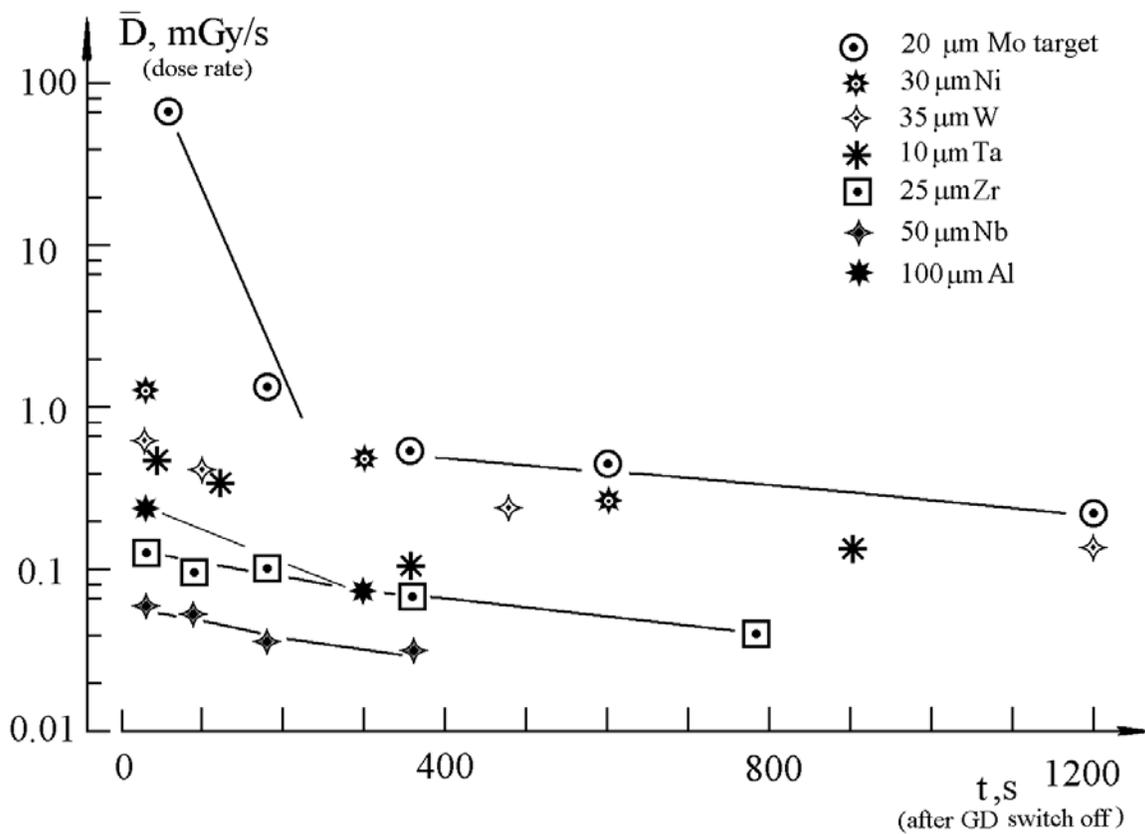


Рис.18. Зависимость мощности дозы индуцированного вторичного проникающего излучения от длительности времени после выключения разряда для различных металлических мишеней (указана толщина фольги). Схема Рис.16. Катод - Ta, Газ - D₂, давление 2,5 Торр, ток 100 мА.