ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ЛПЭ ИЗЛУЧЕНИЯ

Алексеев А.Г.¹,
Кирюхин О.В.²,
Батухтина О.И.³

¹ НИЦ Курчатовский институт – ИФВЭ, г. Протвино

² МГУ, г. Москва

³ ООО НПО «Центротех», (г. Ангарск)

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.43-47

STUDY OF THE DEPENDENCE OF THE CHARACTERISTICS OF THERMOLUMINESCENT DETECTORS TO RADIATION LET

Alexeev A.G.¹,
Kiryuhin O.V.²,
Batuhtina O.I.³

¹NRC «Kurchatov Institute» – IHEP, Protvino

²MSU, Moscow

³ ООО NPO «Thentroteh», Angarsk

АННОТАЦИЯ

Проведены исследования характеристик широко используемых детекторов термолюминесцентных детекторов (ТЛД) типа ММТ-7 и ДТГ-4 к ионизирующему излучению с разной линейной потерей энергии (ЛПЭ) (протоны, ядра углерода, мягкое бета-излучение).

ABSTRACT

Characteristics of widely used thermoluminescent detectors (TLD) of MMT-7 and DTG-4 type to ionizing radiation with different linear energy loss (LET) (protons, carbon nuclei, soft beta radiation) were studied.

Ключевые слова: термолюминесцентный дозиметр, фотонное излучение, нейтроны, протоны, ионы, ЛПЭ.

Key words thermoluminescent dosimeter, photon radiation, neutrons, protons, ions, LET.

Введение

Термолюминесцентные детекторы (ТЛД) широко используются для измерения дозы различных типов ионизирующего излучения (фотонов, нейтронов, электронов, ионов). Одной из характеристик ионизирующего излучения является средняя линейная передача энергии (ЛПЭ). Фотонное (рентгеновское или гамма) излучение является стандартным, для которого известны характеристики детекторов и на котором выполняется калибровка ТЛД по величине поглощенной дозы. Для других типов ионизирующего излучения данные не всегда представлены или фрагментальны (не для всех типов ТЛД и видов излучения). Например, в представленных данных по зависимости чувствительности ТЛД от ЛПЭ для ионов [1] нет данных для широко используемых ТЛД типа ДТГ-4 (производства АФ ООО НПО «Центротех», г. Ангарск).

Тем не менее эти данные необходимы, что бы минимизировать погрешность измерений поглощенной дозы при проведении исследований в пучках заряженных частиц (протонов, легких ионов и др.).

В данной работе приведены результаты исследования некоторых характеристик двух типов ТЛД: ДТГ-4 и ММТ7, которые используются для дозиметрического сопровождения экспериментов в Центре коллективного пользования «Радиобиологическом стенде на углеродном пучке У-70».

Методика эксперимента

В данной работе использовались 2 типа термолюминесцентных детекторов, описание которых приведены в таблице 1. Для обработки ТЛД использовалась установка HARSHAW-4000 (МГУ, г. Москва), а так же на установка АКIDK-301 (АФ ООО НПО «Центротех», г. Ангарск).

Таблица 1. Используемые в измерениях ТЛД.

Тип	описание	аналоги
ДТГ-4	монокристаллические ТЛД, производства Ангарского филиала ООО НПО «Центротех» (www.akidk.ru)	Аналог: LiF:Mg,Ti: MTS, TLD-100 RadPro International GmbH
ММТ-7	поликристаллические, производства RADCARD –Польша (LiF) (www.radcard.pl) (Разработаны специально для дозиметрии в пучках ионов с большим ЛПЭ).	LiF:Mg,Ti

В работе использовались следующие установки и источники излучения:

- Стандартная поверочная установка с радионуклидным источником ^{137}Cs УПГД-1 (НИЦ «Курчатовский институт» -ИФВЭ);
- Установка поверочная нейтронная (УКН-01) (АФ ООО НПО «Центротех», г.Ангарск) с нейтронным источником $^{239}\text{Pu-Be}$ [2];
- Протонный комплекс ««ПРОМЕТЕУС» (ФТЦ ФИАН, г.Протвино) (энергия протонов от 30 до 330 МэВ) [3];
- Радиобиологическом стенде на углеродном пучке У-70 (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ) (ионы углерода с энергией 455 МэВ/нуклон)[4];
- Радионуклидный источник бета-излучения ^{63}Ni .

В работе исследовались характеристики детекторов, которые влияют на результат измерения поглощенной дозы (на точность измерения):

- зависимость чувствительности от ЛПЭ;
- зависимость чувствительности от величины поглощенной дозы;
- потеря информации от времени хранения;
- потеря чувствительности от времени между отжигом ТЛД и временем облучения.

Для определения потерь чувствительности ДТГ-4 от времени между отжигом и временем облучения (потеря чувствительности или старение) проводилось облучение дозиметров ДВГН-01 на установках УПГД-01 и УКН-01. В состав дозиметров ДВГН-01 входят ДТГ-4-6 и ДТ-4-7 – детекторы с разным обогащением по изотопу ^6Li и ^7Li . По разности показаний этих детекторов определяется чувствительность детекторов ДТГ-4-6 к нейтронам. На рисунке 1 приведена зависимость потери чувствительности ДТГ-4 к фотонам и нейтронам от величины временного интервала между отжигом детекторов и облучением (обсчет ТЛД выполнялся сразу после облучения).

Рисунок 1. Потеря чувствительности ДТГ-4 от величины интервала отжига-облучения (н-нейтроны, ф-фотоны).

Аналогично определялась потеря информации (феддинг) от временного интервала между облучением и считыванием информации (облучение выполнялось сразу после отжига ТЛД). На рисунке 2

приведена зависимость потери информации ДТГ-4 к фотонам и нейтронам от временного интервала между облучением и обсчетом ТЛД.

Рис.2 Потеря информации ДТГ-4 (в %) (н-нейтроны, ф-фотоны)

Определение зависимости чувствительности от величины поглощенной дозы (нелинейность) проводилось с использованием установки УПГД-1

(фотоны) и ^{63}Ni . На рисунках 3 и 4 приведены результаты измерений.

Рисунок 3 – Зависимость относительной чувствительности ММТ7. Сплошная линия-данные производителя для ^{137}Cs , треугольник-данная работа для ^{137}Cs , кружки- для ^{63}Ni .

Рисунок 4 – Зависимость относительной чувствительности ДТГ-4. Сплошная линия-данные производителя для ^{137}Cs , треугольник-данная работа для ^{137}Cs , кружки- для ^{63}Ni ; квадраты – данные для нейтронов [5].

Исследование зависимости чувствительности ТЛД от ЛПЭ проводилось в пучках протонов и ионов углерода. Облучение проводилось в пучке протонов с энергией 30, 50, 70, 120 МэВ, при этом облучение сопровождалось измерениями с клини-

ческим дозиметром. В пучке ионов углерода облучение выполнялось в водном фантоме. Методика эксперимента приведена в работе [4]. Средняя ЛПЭ в водном фантоме, при облучении ионами углерода изменялась от 9 до 200 кэВ/мкм в зависимости от глубины фантома.

Рисунок 5- Зависимость чувствительности MMT-7 и ДТГ-4 от ЛПЭ ионов. Данные из работы [1] : сплошная кривая- TLD-100 (аналог ДТГ-4), пунктир- MMT-7. MMT-7* и ДТГ-4* - данные этой работы.

Обсуждение результатов

Данные, представленные на Рис.1 и 2 указывают, для того, что бы контролировать основную погрешность измерения, необходимо учитывать временной интервал между отжигом ТЛД и облучением и облучением и временем обсчета считывания. В реакции ${}^6\text{Li}(n,\alpha)\text{T}$ образуются α -частицы и тритий с ЛПЭ не выше 200 кэВ/мкм. Таким образом данные по нейтронам можно рассматривать как верхнюю оценку эффекта потери информации и потери чувствительности при проведении дозиметрии в пучках протонов или ядер углерода.

Данные по зависимости чувствительности от величины дозы (Рис. 3 и 4) демонстрируют, что информацию, полученную для гамма излучения (${}^{137}\text{Cs}$) нельзя автоматически применять для других видов ионизирующего излучения. Для бета-частиц ${}^{63}\text{Ni}$, для которых средняя ЛПЭ составляет примерно 1,5 кэВ/мкм, эффект так называемой «сверхлинейности» (нелинейности) заметно ниже, чем для ${}^{137}\text{Cs}$. Для нейтронного излучения (ЛПЭ порядка 200 кэВ/мкм) эффект «сверхлинейности» не наблюдался.

Данные по зависимости чувствительности от ЛПЭ ионов для MMT-7 полученные в настоящей работе находятся в хорошем согласии с результатами [1]. Следует отметить так же, что полученные данные для ДТГ-4 и MMT-7 по уменьшению чувствительности с ростом ЛПЭ, практически совпадают. Это указывает, что ДТГ-4 является альтернативой MMT-7 для дозиметрии в пучках ионов.

Заключение

Выполнены исследования по характеристикам двух типов ТЛД: ДТГ-4 и MMT-7.

Следует отметить, что использование таких характеристик ТЛД (как потеря информации, потеря чувствительности (фединг), эффект «сверхлинейности» от дозы), полученных с использование

стандартного гамма излучения, могут привести к неконтролируемой погрешности в результатах измерений дозы для других типов излучений (нейтронов, протонов, ионов).

Хотелось бы отметить, что впервые отмечено уменьшение эффекта «сверхлинейности» с увеличением ЛПЭ. Данный эффект необходимо учитывать в таких прикладных задачах, как нейтронная аварийная дозиметрия, где в качестве аварийных используются «альбедные» дозиметры.

Полученные данные позволяют минимизировать неучтенную погрешность измерения поглощенной дозы при проведении дозиметрического сопровождения на Радиобиологическом стенде на углеродном пучке У-70.

Литература

1. P. Bilski, T. Berger, M. Hajek, G. Reitz - Comparison of the response of various TLDs to cosmic radiation and ion beams: Current results of the HAMLET project- Radiation Measurements 46 (2011) 1680-1685.
2. А.Г. Алексеев, Н.В. Кирякова, В.М. Дунилин, Е.В. Косьяненко, Е.Г. Спиров (ГНЦ ИФВЭ, Протвино, Россия), В.П. Крючков (Концерн «Росэнергоатом», Москва) Метрологические вопросы использования индивидуальных дозиметров нейтронов ДВН-А-01 и ДВГН-01. Препринт ИФВЭ 2004 – 14, Протвино. 2004.
3. V.E.Balakin, V.A.Alexandrov, A.I.Bazhan, P.A.Lunev, A.A.Pryanichnikov, A.E.Shemyakov, A.I.Shestopalov, Yu.D. Valyaev, P.N.Lebedev/ Status of The Proton Therapy Complex Prometheus/ Proceedings of RuPAC2018, Protvino, Russia, pp.135-138, 2018. <http://accelconf.web.cern.ch/AccelConf/rupac2018>.
4. Центр коллективного пользования «Радиобиологический стенд на углеродном пучке У-70»- www.ihep.ru/pages/main/6580/8769/index.shtml

5. А.Г.Алексеев, Н.А.Карпов/ Результаты практического использования термолюминесцентных детекторов на основе LiF-Mg,Cu,P в дозиметрии γ -, β -, n - излучений/ в журнале АНРИ №2, 2002, стр. 51-54

6. A.G. Alexeev, E.V. Altuhova, I.I. Degtarev, V.A. Pikalov, O.V. Sumaneev, A.A. Yanovich,

F.N.Novoskoltsev Methodical Issues of the use of Detectors for Dosimetry in Beams of the Carbon nuclei of the Accelerator U-70 Proceedings of RuPAC2018, Protvino, Russia, pp.394-396, 2018. <http://accel-conf.web.cern.ch/AccelConf/rupac2018>

ДИСКРЕТНО-ВЫПУКЛАЯ ФУНКЦИЯ И ЕЕ СВОЙСТВА

Садыгов И.М.

научный сотрудник

Институт Экономики НАН Азербайджана

Азербайджан, г. Баку

[DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.47-53](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.1.59.47-53)

АННОТАЦИЯ.

В работе введены дискретно-выпуклое множество, дискретно-выпуклая функция и изучен ряд их свойств. В работе получены критерии дискретно-выпуклости функций.

ANNOTATION.

In this paper we introduce the notions of a discretely convex set, a discretely convex function and we study some their properties. Criteria for discrete convexity of functions are obtained.

Ключевые слова: дискретно-выпуклое множество, дискретная функция, выпуклая функция.

Keywords: discretely convex set, discrete function, convex function.

1. Дискретно-выпуклая функция

Дискретная функция, как частный случай функций, отдельно немало изучена. Но ряд понятие, например выпуклость для дискретных функций не изучены. Дело в том, что область определения выпуклых функций выпуклое множество, а область определения дискретных функций не выпуклое множество. В работах [1] и [2] в конечномерном пространстве введены дискретно-выпуклое множество, дискретно-выпуклая функция и изучен ряд их свойств. В данной работе в пространстве $\mathbb{R}^\infty$ рассматриваются дискретно-выпуклое множество, дискретно-выпуклая функция и изучен ряд их свойств.

Пусть $\mathbb{R}^\infty$ множество всевозможных числовых последовательностей $x = (x_1, \dots, x_k, \dots)$ (см.[3]). Через $\mathbb{Z}$ обозначим множество целых чисел. Положим $\mathbb{Z}^\infty = \mathbb{Z} \times \dots \times \mathbb{Z} \times \dots$.

Определение 1. Если $C \subset \mathbb{R}^\infty$ выпуклое множество, то множество $C \cap \mathbb{Z}^\infty$ назовем дискретно-выпуклым множеством в $\mathbb{Z}^\infty$.

Считаем, что пустое множество дискретно-выпуклое множество.

Определение 2. Если $C \subset \mathbb{R}^\infty$ выпуклое множество, $B = C \cap \mathbb{Z}^\infty$, $f: C \rightarrow \mathbb{R}$ выпуклая функция, то функцию $f: B \rightarrow \mathbb{R}$ назовем дискретно-выпуклой функцией. Через $\text{co}B$ обозначим выпуклую оболочку множества $B \subset \mathbb{R}^\infty$ (см.[4],[5]).

Лемма 1. Множество $B \subset \mathbb{Z}^\infty$ дискретно-выпукло, тогда и только тогда, когда $B = \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$.

Доказательство. Если $B = \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$, то по определению имеем, что B дискретно-выпуклое множество в $\mathbb{Z}^\infty$.

Обратно, если B дискретно-выпуклое множество в $\mathbb{Z}^\infty$, то существуют выпуклое множество $C \subset \mathbb{R}^\infty$ такое, что $B = C \cap \mathbb{Z}^\infty$. Так как $B \subset C$ и $B \subset \mathbb{Z}^\infty$, то имеем, что $\text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty \subset C \cap \mathbb{Z}^\infty \subset B \cap \mathbb{Z}^\infty$, т.е. $\text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty \subset B \cap \mathbb{Z}^\infty$. Очевидно, что $B \cap \mathbb{Z}^\infty \subset \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$. Тогда имеем, что $B = B \cap \mathbb{Z}^\infty = \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$, т.е. $B = \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$. Лемма доказана.

Если $x_1, x_2 \in \mathbb{R}^\infty$, то обозначим $[x_1, x_2] = \{x \in \mathbb{R}^\infty : x = \lambda x_1 + (1-\lambda)x_2, \lambda \in [0,1]\}$.

Лемма 2. Множество $B \subset \mathbb{Z}^\infty$ дискретно-выпукло, тогда и только тогда, когда из $x_1, x_2 \in \text{co}B$ следует, что $[x_1, x_2] \cap \mathbb{Z}^\infty \subset B$.

Доказательство. Если B дискретно-выпуклое множество в $\mathbb{Z}^\infty$, то по лемме 1 имеем, что $B = \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty$. Пусть $x_1, x_2 \in \text{co}B$. Так как $[x_1, x_2] \subset \text{co}B$, то имеем, что $[x_1, x_2] \cap \mathbb{Z}^\infty \subset \text{co}B \cap \mathbb{Z}^\infty = B$. Отсюда следует, что $[x_1, x_2] \cap \mathbb{Z}^\infty \subset B$.