

УДК 539.534.94 691.039.5424 621.039.544620.18

## РАСЧЕТЫ РАДИАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ 200МэВ Хе В КРИСТАЛЛАХ ИТТРИЙ АЛЮМИНИЕВОГО ГРАНАТА

Досмағамбетов Жәдігер Бекбосынұлы

z.h.a.d.i.g@mail.ru

Докторант 1 курса по специальности «8D05323 – Техническая физика»

Евразийский Национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Даулетбекова А.К.

Исследования и разработки сцинтилляционных материалов и новых устройств детектирования ионизирующего излучения для ядерной и термоядерной энергетики, физики частиц, нейтронных исследований и медицинской визуализации (позитронно-эмиссионная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография) - находятся в списке приоритетных направлений деятельности европейских научно-исследовательских центров: CERN, ESS, GSI, GANIL, Институт Лауэ-Ланжевена (ILL), Японии - RIKEN, Австралии – ANSTO, США – SSC, Протвино - Россия и др.). Новейшие кристаллические детекторы постоянно открываются и развиваются в научно-исследовательских центрах и промышленности. Эти кристаллы работают в радиационной среде, где возможны различные частицы, такие как  $\gamma$ -кванты, нейтроны и даже заряженные адроны. Кристаллических сцинтилляторов NaI(Tl), CsI(Tl), легированный CsI, BaF<sub>2</sub>, германат висмута (BGO), вольфрамат свинца (PWO) и легированный церием оксиортосиликат лютеция (Lu<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> или LSO(Ce)) используются в экспериментах физики высоких энергий и ядерной физики.

Некоторые из них, такие как NaI(Tl), CsI(Tl), BGO, LSO(Ce), и легированный церием лютеций-иттриевый оксиортосиликат широко используются в медицинской диагностике [1]. Кристаллы простых и сложных оксидов остаются одним из наиболее изучаемых объектов. В последние годы значительно возрос интерес к образцам с размерами порядка 10<sup>6</sup>-10<sup>9</sup> что связано с изменением спектральных и других физических свойств кристаллов при уменьшении их размеров (в частности, возможно увеличение интенсивности люминесценции). Экспериментальные исследования оптических свойств твердых тел в области их фундаментального поглощения являются основным источником информации о процессах создания, размножения и миграции высокоэнергетических возбуждений в кристалле. Структура кристаллов алюминиевых гранатов, синтезированных по разной технологии, в заметной степени отличается от идеальной. Нарушение стехиометрии, а именно вхождение сверхстехиометрического избытка ионов TR<sup>3</sup> на место октаэдрического Al<sup>3</sup>, т. е. в узлы *a* - типа,

наблюдается в кристаллах, полученных из расплава (что соответствует высокой температуре синтеза); в кристаллах же, полученных при более низкой температуре (методом из раствора в расплаве) стехиометрия не нарушается. YAG претерпевает фазовый переход при 2193 К. Иттрий-алюминиевый гранат имеет прямую запрещенную зону при 6.5 эВ.

Самой низкоэнергетической особенностью электронного поглощения является экситонное поглощение. Межзонные переходы из верхней валентной зоны кислорода ( $2p^6$ ) в зоны проводимости оксида иттрия ( $4d + 5s$ -состояния) доминируют в структуре от 7 до 15 эВ. Оптические постоянные между 15 и 26 эВ в основном обусловлены межзонными переходами из валентных зон кислорода в зоны проводимости иттрия (уровни  $5d + 6s$ ) и алюминия (уровни  $3s + 3p$ ) [2].

Валентные электроны образуют плазменные колебания с центром при 23,4 эВ. Электронные переходы из оксида иттрия происходят в области от 26 до 35 эВ. При энергиях выше 29,3 эВ поглощение в основном связано с переходами из полос кислорода ( $2s^2$ ) в зону проводимости алюминия ( $3p$ ). Плазменные осцилляции от полных полос оксида иттрия ( $4p^6$ ) и кислорода ( $2s^2$ ) имеют максимум около 36.2 эВ. При более высоких энергиях преобладают электронные переходы оксида иттрия и алюминия, особенно заметные переходы алюминия  $L_{2,3}$  вблизи 77 эВ.

Структура граната может быть представлена как взаимосвязанные октаэдры, додекаэдры с общими атомами кислорода в вершинах полиэдров. Каждый атом кислорода входит в 2 додекаэдра, 1 октаэдр и 1 тетраэдр.

Наряду с очень высокими требованиями к эффективности детектирования и характеристикам временного разрешения, радиационное повреждение, как решающий фактор долгосрочной и стабильной работы, является ключевым вопросом для всех сцинтилляционных детекторов, работающих в жесткой радиационной среде, где ожидается сильный фон и различные типы излучения от различных источников [3,4].

Это особенно важно для детекторов в области физики высоких энергий и нейтронов. В настоящее время список интересующих и приоритетных материалов для исследований и применения, представленный CERN (<https://crystalclear.web.cern.ch/crystalclear/>) включает, в частности, чистые и легированные BGO, PWO, CeF<sub>3</sub>, PbF<sub>2</sub>, YAlO<sub>3</sub>, Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>, GGG, GSO, LiGdF<sub>4</sub> и т. д [5,6].

Основная цель исследования – детальный анализ радиационных эффектов, вызываемых в кристаллах и керамике иттрий-алюминиевого граната вызываемых облучением тяжелыми ионами высоких энергий, моделирующим воздействие продуктов деления ядерного топлива [7].

С этой целью мы рассчитали радиационные параметры иона ксенона в кристаллах YAG с использованием кода SRIM [8]. Расчеты представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

Таблица 1 - Радиационные параметры иона 200 МэВ Хе в YAG

Ион	E, МэВ	S <sub>e</sub> , кэВ/нм	S <sub>n</sub> , кэВ/нм	R, мкм
Хе	200	53,75	0,10	13,22

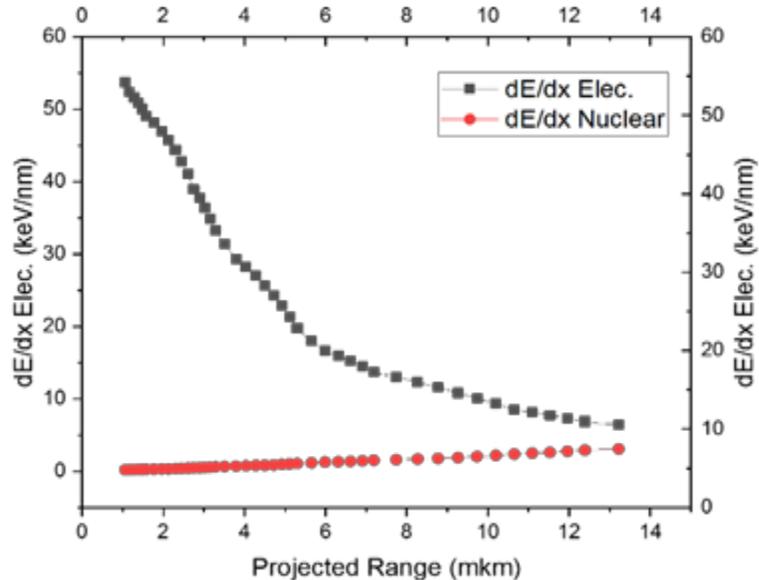


Рисунок 1 – Электронные и ядерные потери энергии иона 200 МэВ Хе в YAG.

#### Список использованных источников

1. P. Lecoq (2016). Development of new scintillators for medical applications. Nuclear Instrum Meth A: 809, P.130-139.
2. A. M. Hofmeister and K. R. Campbell, Infrared Spectroscopy of yttrium aluminum, yttrium gallium, and yttrium iron garnets. J. Appl. Phys. 72, 1992. P. 638-646.
3. M. Ishii, M. Kobayashi (1992). Single crystals for radiation detectors. Progress in crystal growth and characterization of materials, 23, P. 245-311.
4. R. Y. Zhu (1998). Radiation damage in scintillating crystals. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 413(2-3), P. 297-311.
5. R. Y. Zhu (2012). Radiation damage effects. Handbook of Particle Detection and Imaging, P. 535-555.
6. B. Bilki et al (2018) Development of radiation-hard scintillators and wavelength-shifting fibers. Journal of Instrumentation, *JINST* 13, February 2018
7. M. Korjik (2017). Limits of scintillation materials for future experiments at high luminosity LHC and FCC. Journal of Instrumentation, 12(08), C. 08021
8. SRIM-2008 based on Ziegler J.F., Biersak J.P., Littmark U. The Stopping and Range of Ions in Solid. // New York: Pergamon Press, 1985.