

Моделирование сцинтилляционного детектора для исследования полных ядерных сечений фотопоглощения в области пигми резонанса

В.Г.Недорезов, В.Н.Пономарев, Г.В.Солодухов, А.А.Туринге
Институт ядерных исследований РАН.
e-mail: solod@inr.ru

Широкий спектр исследований, проведенных методом полного поглощения в области гигантского дипольного резонанса (10-30 МэВ) позволили получить данные об оптической анизотропии ядер, об их статической и динамической деформации и квадрупольных моментах. [1,2]. Аналогичные исследования в области пигми резонансов (5-10 МэВ) представляют большой интерес с точки зрения современных теорий, которые предсказывают возможность экзотических возбуждений ядер типа ножничных, или компрессионных колебаний в резонансах различной мультипольности [3]. Метод полного поглощения применим практически ко всем стабильным ядрам и позволяет однозначно учесть вклад всех возможных парциальных реакций.

Измеряемая в эксперименте величина состоит из суммы сечений атомных процессов и искомого ядерного сечения. Основная трудность метода – его большая трудоемкость, связанная с тем, что ядерное сечение составляет лишь малую (единицы процентов) часть от измеряемого полного сечения фотопоглощения. Отсюда возникает необходимость набора высокой статистики, достаточной для вычитания атомного сечения из измеряемого полного сечения и последующей нормировки ядерного сечения к нулю.

При планировании эксперимента определяющую роль в обеспечении достижимости ожидаемых результатов и определении геометрии и методики проведения эксперимента играет выбор типа и характеристик детектора. Для надежной интерпретации данных, полученных в эксперименте, желательно иметь детектор с достаточно узкой аппаратной функцией, подавляющую часть которой должен составлять пик полного поглощения. Для этого гамма-квант, попавший в активное вещество детектора и рассеянный в нем на любой угол, должен с достаточной вероятностью целиком поглотиться в нем и дать вклад в пик полного поглощения без заметного уменьшения его доли в поглощенной энергии.

Проведен модельный анализ спектроскопических свойств сцинтилляционных детекторов: на основе BGO и NaI(Tl). Сравнивались детекторы цилиндрической формы с осями, параллельными пучку фотонов. Для большей определенности в выявлении формы аппаратной функции на входе детектора задавался коллимированный монохроматический пучок гамма-квантов с энергией 10 МэВ. Модельные вычисления производились с использованием пакета GEANT4.

Варьировались, помимо вещества детектора, его радиус, толщина по направлению падающего излучения а также диаметр падающего пучка фотонов. Фиксировались: энергия первичного фотона и вторичных частиц.

поглощенная в детекторе, а также утечки энергии в направлениях вперед и назад (соответственно, через выходной и входной фланцы детектора) и через боковую поверхность детектора. Для каждого модельного события контролировалось равенство суммы энергий, поглощённых в детекторе и трёх упомянутых утечек энергии налетающего фотона. Результаты расчетов представлены на рис. 1. Размеры сцинтилляторов: диаметр 150 мм, толщина по пучку: 100 мм для NaI(Tl) и 150 мм для BGO (рассматривались промышленно доступные типоразмеры). Здесь голубая кривая – часть энергии гамма-кванта, поглощенная в кристалле, желтая – доля энергии, потерянная из-за пролета насквозь, остальное – потери энергии через боковые поверхности и переднюю стенку кристалла. Видно, что при равных размерах аппаратная функция сцинтиллятора BGO оказывается предпочтительной для дальнейшей обработки экспериментальных данных, что понятно, поскольку радиационная длина BGO почти в 2,5 раза меньше чем у NaI(Tl).

Время высвечивания BGO при комнатной температуре составляет 300 нс, т.е. ненамного больше, чем у NaI(Tl). Однако по сравнению с этим кристаллом световыход у BGO может составлять от 8 до 20% в зависимости от качества изготовления кристалла и его размеров. Именно этот параметр ставит под сомнение упомянутые преимущества BGO. В конечном счете, окончательный выбор материала детектора будет определяться для каждого конкретного эксперимента в зависимости от задач эксперимента, фоновых условий, доступного времени измерений и т.д.

В иллюстративных целях энерговыделение и утечки были промоделированы также для промышленного германиевого детектора объемом 180 см³ (рис. 2) Видно, что германиевый детектор рассмотренных при моделировании размеров явно неоптимален для восстановления реального спектра фотонов в диапазоне энергий в несколько МэВ.

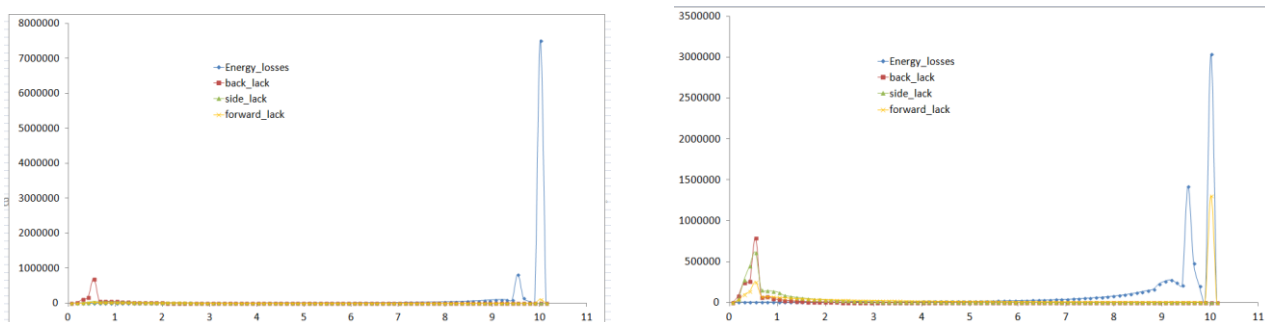


Рис. 1. Энерговыделение в BGO (слева) и NaI(Tl) (справа). По оси X энергия, МэВ.

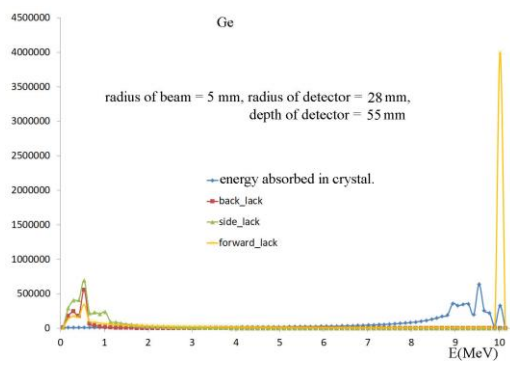


Рис. 2 Энерговыведение в детекторе из Ge объемом 180 см³.

Литература

1. A.M.Baldin e.a. Rus.J.Nucl.Phys. 8, 327, 1968
2. G.M.Gurevich e.a. Nucl.Phys. A351 (1981) 257.
3. O.I. Achakovskiy, S.P. Kamerdzhev, V.I. Tselyaev. JETF Lett.,104(2016) 6, 374.