

УДК 534.29

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ДИСКРИМИНАТОР ЭНЕРГИИ ДЛЯ ГАММА-ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ ДО 100 кэВ

Л.А. КОЧАРЯН, С.О. АРУТЮНЯН, А.Л. КОЧАРЯН, А.К. ЯГУБЯН

Институт прикладных проблем физики НАН Армении

(Поступила в редакцию 16 октября 2002 г.)

Предложен низкофоновый, быстродействующий, с высоким разрешением кристаллический дискриминатор энергии на основе монокристалла кварца для выделения из сложного спектра радиоактивных источников гамма-излучения нужной энергии и управления его параметрами. Работа дискриминатора основана на явлениях дифракции и полной переломки проходящего излучения данной энергии в направлении дифракции под воздействием температурного градиента или акустического поля.

Во многих экспериментах, в частности, в экспериментах по эффекту Мессбауэра требуется дискриминация по энергии, т.е. возможность выделить из сложного спектра мессбауэровского источника гамма-кванты нужной энергии. Для этой цели используется электронный амплитудный дискриминатор импульсов, который устанавливается после детектора гамма-квантов. Так как разрешающая способность применяемых в экспериментах детекторов недостаточна для разрешения сложных спектров, то получается наложение линий различных энергий. Когда окно электронного амплитудного дискриминатора импульсов устанавливается на соответствующий участок спектра источника излучения, чтобы выделить интересующую линию, одновременно с какой-то эффективностью регистрируется и другое излучение, создающее фон. Отношение полезных импульсов к фону зависит от разрешающей способности детектора и его эффективности. Обычно в мессбауэровских экспериментах применяются сцинтилляционные, пропорциональные, полупроводниковые детекторы, эффективные в различных энергетических диапазонах. Применение резонансного детектора, не требующего амплитудной дискриминации импульсов, ограничено, так как в этом случае необходимо иметь большую величину сечения резонансного захвата гамма-лучей.

В настоящей работе предлагается низкофоновый, быстродействующий, с высоким разрешением, кристаллический дискриминатор

энергии на основе монокристалла кварца для выделения из сложного спектра радиоактивных источников гамма-излучения нужной энергии, который в экспериментах заменит электронный амплитудный дискриминатор импульсов.

Как в ранних работах, так и в работах [1,2] показано, что с помощью температурного градиента или акустического поля можно эффективно управлять параметрами дифрагированного рентгеновского излучения. Аналогичные эксперименты проведены нами и для высокомонокроматического гамма-излучения, испускаемого радиоактивными источниками, и получено, что с помощью температурного градиента или акустического поля, создаваемого в некоторых монокристаллах, интенсивность дифрагированного гамма-излучения можно увеличить вплоть до полной переброски проходящего пучка в дифрагированное направление. При этом имеет место также управляемая фокусировка дифрагированного излучения и увеличение прозрачности кристалла для дифрагированного пучка. Полученные результаты использованы для создания кристаллического дискриминатора, который позволяет выделить из сложного энергетического спектра радиоактивных источников линии нужной энергии без применения электронного дискриминатора. Ниже приводится сущность предлагаемого метода и принцип работы дискриминатора энергии.

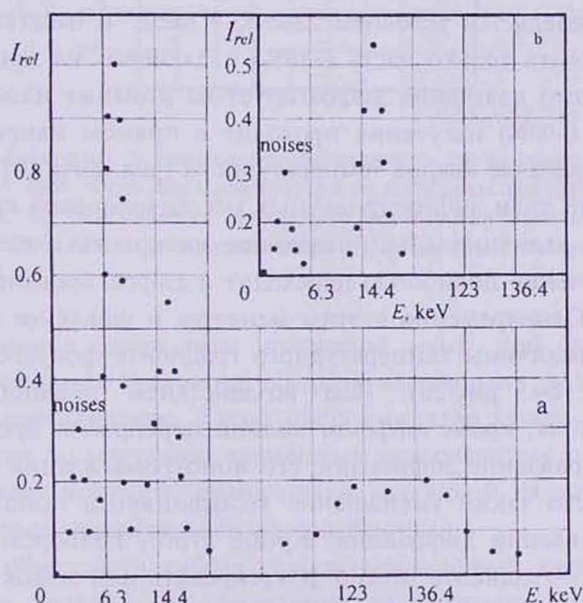


Рис.1. Энергетический спектр источника Co^{57} , полученный сцинтилляционным детектором: а) до кристаллического дискриминатора, б) после дискриминатора.

Работа дискриминатора основана на дифракционном методе выделения из сложного спектра излучения источника линии нужной энергии с одновременным усилением интенсивности дифрагированного пучка, его фокусировкой или дефокусировкой с помощью создаваемого в кристалле-дискриминаторе температурного градиента или акустического поля определенной величины и направления. В качестве источника высокомономохроматических гамма-квантов использован мессбауэровский источник Co^{57} , в энергетическом спектре которого присутствуют линии с энергиями: $E_1 = 6,3$ кэВ; $E_2 = 14,4$ кэВ; $E_3 = 123$ кэВ; $E_4 = 136,4$ кэВ (см. рис.1а). В качестве кристаллического дискриминатора выбран монокристалл пьезокварца в виде дискообразной пластинки толщиной $d = 0,3$ мм, установленный на гониометрическом устройстве. С помощью нагревательного элемента в монокристалле кварца создается температурный градиент. Коллимированное гамма-излучение падает на монокристалл кварца, установленный под углом Брэгга к падающему пучку, и дифрагирует в геометрии Лауэ на его атомных плоскостях. Для выделения из спектра источника мессбауэровской линии с энергией $E_2 = 14,4$ кэВ ($\Delta E/E = 10^{-12}$) выбирается соответствующая атомная плоскость и угол Брэгга. Дифрагированное излучение регистрируется сцинтилляционным детектором, а импульсы от детектора анализируются многоканальным анализатором. Связь между выделяемой из спектра энергией излучения (E), углом Брэгга (Θ_B) и межплоскостным расстоянием (d) определяется условием $2d\sin\Theta_B = nhc/E$. В отсутствие температурного градиента только часть (~10%) падающего на кристалл кварца мессбауэровского излучения дифрагирует на атомных плоскостях, а основная часть (~90%) излучения проходит в прямом направлении. При создании в кристалле кварца температурного градиента ($\Delta T/\Delta X$) происходит увеличение доли дифрагированных мессбауэровских квантов, и при определенной величине $\Delta T/\Delta X$ падающее на кристалл кварца мессбауэровское излучение полностью переходит в дифрагированное направление (рис.2а). Одновременно с этим меняется и фокусное расстояние: с увеличением величины температурного градиента фокусное расстояние уменьшается (см. рис.2б). Под воздействием неоднородного температурного поля, кроме эффекта полной переброски проходящего излучения в направление дифракции, его мономохроматизации и фокусировки, имеет место также уменьшение коэффициента поглощения кристалла в направлении дифракции. Кроме этого, подбором направления температурного градиента можно фокусировать или дефокусировать пучок за выходной поверхностью кристаллического дискриминатора. В предлагаемом методе кристаллический дискриминатор располагается перед детектором и на детектор падает только отобранное дискриминатором излучение нужной энергии. Детектор в этом методе располагается под углом $2\Theta_B$ к падающему излучению и не «видит» источника излуче-

ния и поэтому фон от других линий отсутствует (см. рис.1б). Разрешающая способность дискриминатора зависит от ширины кривой качания дифрагированного пучка ($\Delta\theta_p$). Для применяемого кристалла-дискриминатора ширина кривой качания равна 10-20 угловых секунд (для кристаллов высокого качества ширина кривой качания равна нескольким угловым секундам) и в этом случае кристаллический дискриминатор позволяет разделить линии, отличающиеся по энергии на несколько десятков электронвольт и выделить из сложного энергетического спектра источника нужную линию.

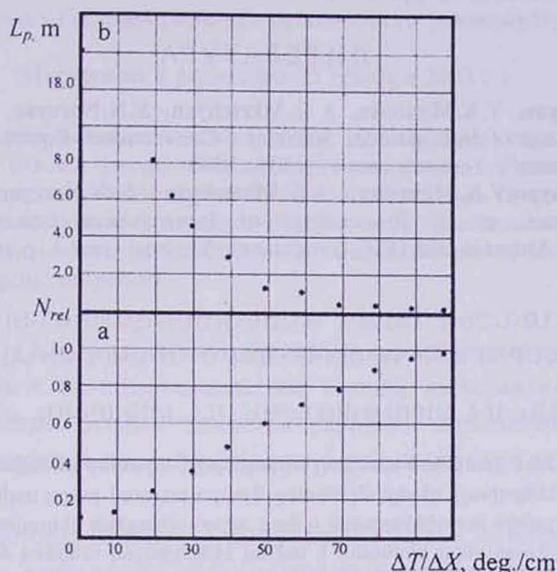


Рис.2. а) Зависимость относительной скорости счета гамма-квантов с $E_2 = 14,4$ кэВ после дискриминатора от величины температурного градиента, б) Зависимость фокусного расстояния гамма-пучка с $E_2 = 14,4$ кэВ после дискриминатора от величины температурного градиента.

Аналогичные результаты получены нами при использовании вместо температурного градиента ультразвукового поля, возбуждаемого в кварцевом дискриминаторе. Такой дискриминатор можно использовать в экспериментах по изучению временных характеристик процессов, так как он позволяет получить гамма-пучки различной формы и длительности, задаваемые ультразвуковыми колебаниями.

Таким образом, в работе предлагается новый кристаллический дискриминатор энергии для выделения из сложного энергетического спектра радиоактивных источников гамма-квантов нужной энергии практически без потери их интенсивности, который заменит в экспериментах электронный дискриминатор импульсов. Предлагаемый дискриминатор имеет ряд преимуществ по сравнению с электронным дискри-

минатором: большое быстродействие, высокое энергетическое разрешение, низкий фон, высокая стабильность и надежность, простота в изготовлении. Он позволяет управлять интенсивностью и угловой расходимостью выделенного излучения, фокусировать или дефокусировать пучок и в больших пределах менять фокусное расстояние. Это делает его привлекательным для использования в мессбауэровских экспериментах и в тех областях экспериментальной науки и техники, где требуется выделить из сложных энергетических спектров источников излучений монокроматическое излучение нужной энергии и управлять его параметрами в пространстве и во времени.

ЛИТЕРАТУРА

1. A.R.Mkrtchyan, V.K.Mirzoyan, A.G.Mkrtchyan, S.N.Noreyan, L.A.Kocharyan, et al. Proceedings of International Seminar "Conversional Potential of Armenia and ISTC Programs", Yerevan, part I, p.139, 2000.
2. A.R.Mkrtchyan, V.K.Mirzoyan, A.G.Mkrtchyan, S.N.Noreyan, A.S.Melkonyan, L.A.Kocharyan, et al. Proceedings of International Seminar "Conversional Potential of Armenia and ISTC Programs", Yerevan, part I, p.147, 2000.

ՄԻՆԶԵՎ 100 կԷՎ ԳԱՄՄԱ-ՃԱՌԱԳԱՅԹՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԲՅՈՒՐԵՂԱՅԻՆ ԴԻՍԿՐԻՄԻՆԱՏՈՐ

Լ.Ա. ԲՈՉԱՐՅԱՆ, Ս.Հ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա.Լ. ԲՈՉԱՐՅԱՆ, Հ.Կ. ՅԱԳՈՒԲՅԱՆ

Առաջարկված է ցածր ֆոն ունեցող, արագագործ և բարձր լուծելիության կվարցի միաբյուրեղի հիմքով էներգիայի դիսկրիմինատոր մյուսբաուերյան բարդ սպեկտրից տվյալ էներգիայով ճառագայթման առանձնացման և նրա պարամետրերի ղեկավարման համար: Դիսկրիմինատորի աշխատանքը հիմնված է տվյալ էներգիայով անցնող ճառագայթման դիֆրակցիայի և դիֆրակցիայի ուղղությամբ լրիվ վերամղման երևույթների վրա ջերմային գրադիենտի կամ ակուստիկ դաշտի ազդեցությամբ:

CRYSTALLINE ENERGY DISCRIMINATOR FOR UP TO 100 keV GAMMA RAYS

L.A. KOCHARYAN, S.H. HARUTYUNYAN, A.L. KOCHARYAN, A.K. YAGUBYAN

We propose a low-background, high-speed, high-resolution, quartz single crystal-based energy discriminator for extraction of a certain energy out of a complex spectrum of gamma-sources and for controlling its parameters. The operation of the discriminator relies on the phenomena of the diffraction and total transfer of the passing given-energy radiation into the diffraction direction under influence of a temperature gradient or an acoustic field.