

ИЗЛУЧЕНИЕ УЛЬТРАРЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ В МОНОКРИСТАЛЛЕ КВАРЦА

*Р.О.Авакян, А.Э.Аветисян, В.А.Гюрджян,
К.Р.Даллакян, С.П.Тароян, А.Р.Мкртчян,
Р.А.Гаспарян, Р.Г.Габриелян,
А.Г.Мкртчян, Р.П.Вардапетян*

Впервые исследованы энергетические спектры ультрарелятивистских электронов энергии 4,5 ГэВ и их толщинные зависимости в условиях осевого и плоскостного каналирования в пьезоэлектрическом кристалле кварца.

В исследовании излучения электронов в условиях осевого и плоскостного каналирования важное место занимает выявление зависимости спектрально-угловых характеристик испущенных квантов от толщины кристалла^{1, 2}.

Такие исследования, во-первых, позволяют судить о вкладе различных механизмов излучения электронов высоких энергий при прохождении через кристалл на основе изменения спектрального состава излучения с изменением динамических параметров электронов по мере их углубления в толщу кристалла. Во-вторых, выявляются оптимальные толщины кристаллов, при которых выход излученных фотонов максимален, что имеет большое значение при практическом использовании гамма-пучков, генерируемых каналированными электронами.

С другой стороны, эти исследования необходимы для расширения круга исследуемых радиаторов-кристаллов с различными структурами и физическими свойствами с целью усиления изучения каналированных частиц³.

В настоящей работе впервые сообщаются результаты исследования спектральных характеристик излучения электронов в условиях осевого и плоскостного каналирования в пьезоэлектрическом кристалле α -кварца. В качестве мишеней использовались монокристаллы, ориентированные осью $\langle 100 \rangle$ или плоскостью $(0\bar{1}1)$ вдоль направления движения электронов. Кристаллы были X-среза следующих толщин: $t = 1; 2,9; 3,5$ и 6 мм.

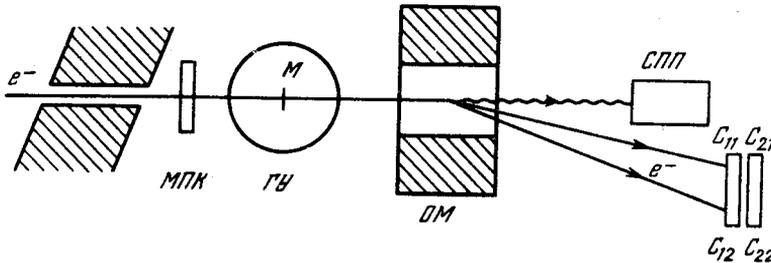


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Эксперимент выполнен на пучке электронов Ереванского синхротрона с энергией $E_0 = 4,5$ ГэВ и расходимостью $4,4 \cdot 10^5$ рад. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Пучок электронов регистрируется в координатном детекторе МПК и направляется на кристаллическую мишень М, расположенную внутри вакуумного гониометрического устройства ГУ. В магните ОМ электроны отделяются от излученных γ -квантов и регистрируются в телескопе счетчиков $C_{11} \div C_{22}$, а последние регистрируются в спектрометре полного поглощения СПП.

Пропорциональная камера МПК с шагом намотки сигнальных проволочек 1 мм служит для измерения профиля пучка электронов до их попадания на кристаллическую мишень и для отсеечения событий, в которых первичный электрон не попал на мишень в процессе измерений.

Гониометрическое устройство ГУ позволяет дистанционно вращать мишень М относительно горизонтальной и вертикальной осей с точностью $4,4 \cdot 10^{-5}$ рад, а также производить смену мишеней под пучком.

Сцинтилляционные счетчики S_1 и S_2 имеют размеры $(100 \times 10 \times 2)$ см³ и осматриваются двумя ФЭУ каждый. Область регистрации электронов по энергиям составляет $4,5 \div 2,7$ ГэВ, что соответствует области регистрации γ -квантов $0 \div 1,8$ ГэВ.

Спектрометр полного поглощения СПП собран на основе кристалла NaJ размерами $13 \times 13 \times 30$ см³ и осматривается одним ФЭУ-82. Спектрометр предварительно был откалиброван на пучке вторичных электронов в диапазоне энергий $50 \div 3000$ МэВ.

На рис. 2 приведены спектральные зависимости излучения электронов в условиях осевого каналирования вдоль кристаллографической оси $\langle 100 \rangle$ для $t = 1, 2,9, 3,5$ и 6 мм. Там же представлена зависимость полных потерь энергии электроном на излучение $I^{\text{пол}}$ относительно начальной энергии от толщины кристалла.

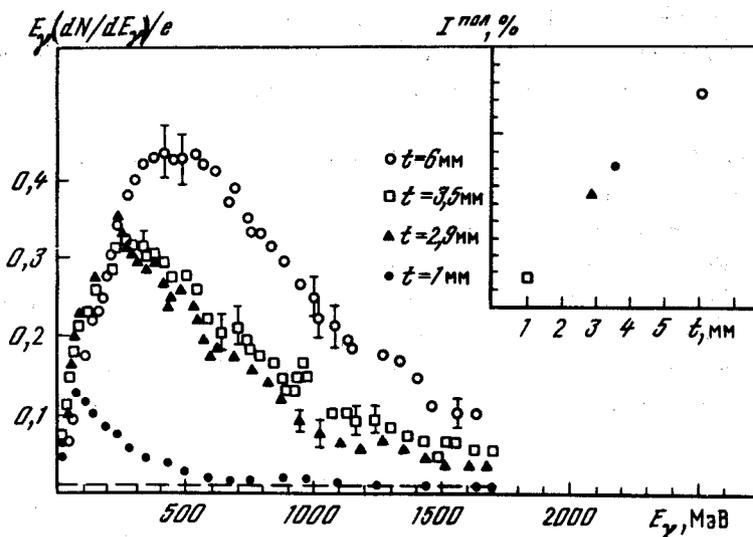


Рис. 2. Спектры излучения электронов в условиях осевого каналирования в кристаллах кварца для толщин $t = 1,0; 2,9; 3,5$ и $6,0$ мм

На рис. 3 приведены спектры излучения электронов в условиях плоскостного каналирования в кристаллографической плоскости $(0\bar{1}1)$ для $t = 1, 2,9$ и 6 мм, а также зависимость $I^{\text{пол}}$ от толщины кристалла.

На обоих рисунках пунктиром приведены уровни излучения для дезориентированного кристалла при $t = 1$ мм (на рис. 2 величина интенсивности при дезориентированном кристалле для наглядности увеличена в два раза).

Полученные результаты показывают, что все измеренные спектры имеют пиковую структуру, за исключением случая плоскостного каналирования для кристалла с толщиной $t = 1,0$ мм, когда пиковая энергия излученных фотонов находится (очевидно, из-за малой величины потенциального барьера) ниже порога регистрации СПП.

В условиях осевого каналирования спектры смещены в сторону более жесткого γ -излучения по сравнению с соответствующими спектрами для плоскостного каналирования. С увеличением толщины радиаторов все спектры, особенно в случае осевого каналирования, становятся более широкими и смещенными в область более высоких частот, что, по-видимому, можно объяснить следующим: а) кратностью излучения: спектрометр суммирует энергию нескольких одновременно испущенных квантов, регистрируя их как один квант суммарной энергии. Вероятность этого эффекта растет с увеличением толщины кристалла; б) с увеличением толщины радиаторов из-за рассеянных электронов увеличивается вклад квазиканалированного надбарьерного и когерентного тормозного излучения, а также процесса обратного перехода квазиканалированных частиц в режим каналирования.

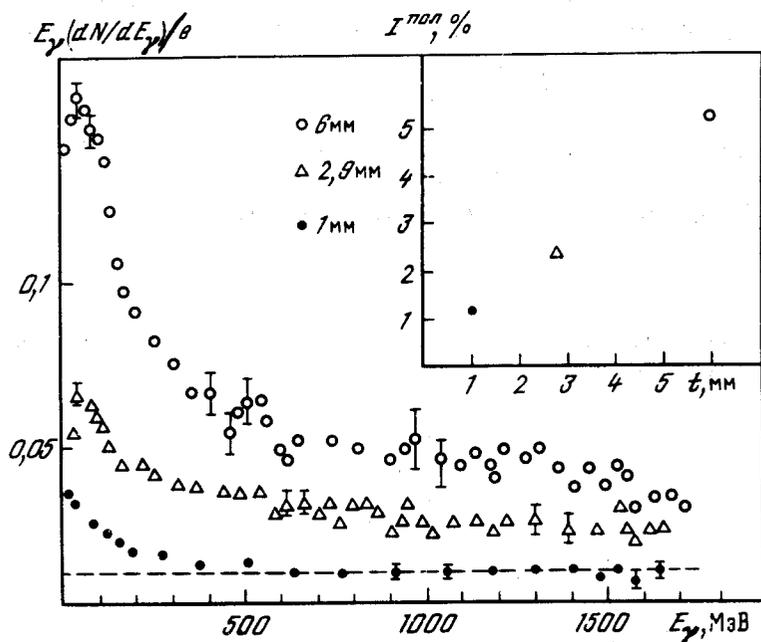


Рис. 3. Спектры излучения электронов в условиях плоскостного каналирования в кристаллах кварца для толщин $t = 1,0; 2,9$ и $6,0$

В таблице приведены основные характеристики полученных спектров излучения,

Толщина (мм)	Ось						Плоскость				
	$I^{пол}, \%$	$E_{\gamma}^{пик}, \text{МэВ}$	$\Delta E_{\gamma}, \text{МэВ}$	$I^{пик}/I^{дез}$	N_{γ}	$I^{пол}, \%$	$E_{\gamma}^{пик}, \text{МэВ}$	$\Delta E_{\gamma}, \text{МэВ}$	$I^{пик}/I^{дез}$	N_{γ}	
1.0	1,83	56	173	20	0,42	1,11	25	160	3,7	0,16	
2.9	6,62	240	600	18	0,86	2,41	56	440	2,3	0,43	
3.5	8,04	240	713	14	0,84	—	—	—	—	—	
6.0	12,30	500	854	11	0,89	5,14	56	280	2,8	0,61	

где $I^{пол} = \Delta E/E_0$ — отношение полных потерь энергии электронов на излучение к начальной энергии; $E_{\gamma}^{пик}$ — пиковое значение энергии излученных фотонов; ΔE_{γ} — полуширина спектральной кривой; $I^{пик}/I^{дез}$ — отношение интенсивности излучения фотонов пиковой энергии к интенсивности излучения в дезориентированной мишени; $N_{\gamma} = N_e^{изл}/N_e^{пол}$ — отношение числа излучивших электронов к числу падающих на мишень.

При определении N_γ учтены поправки на поглощение гамма-квантов в веществе мишени и на зависимость эффективности установки от энергии γ -квантов.

Из таблицы видно (особенно для случая осевого каналирования), что число излученных γ -квантов, приходящихся на один электрон, достигает насыщения уже при толщине пластинки $t = 2,9$ мм. Видно также, что с увеличением толщины пластинки от 1 до 6 мм отношение пикового значения интенсивности излучения к значению соответствующей величины для дезориентированного кристалла уменьшается примерно в два раза. Этот факт свидетельствует о том, что к основному механизму излучения (каналирование частиц) в случае толстых кристаллов добавляются другие, приводящие к уширению спектра. Результаты данной работы показывают, что монокристаллы кварца могут быть использованы в качестве эффективных радиаторов для получения интенсивных пучков γ -квантов, генерируемых электронами высоких энергий в условиях осевого и плоскостного каналирования.

Литература

1. Авакян Р.О. и др. Письма в ЖТФ, 1985, 11, 1393.
2. Avakyan R.O. et al. Rad. Eff., 1986, 91, 257.
3. Мкртчян А.Р., Гаспарян Р.А., Габриелян Р.Г. ЖЭТФ, 1987, 93, 432.

Ереванский физический институт

Институт прикладных проблем физики
Академии наук Армянской ССР

Поступила в редакцию
5 ноября 1988 г.