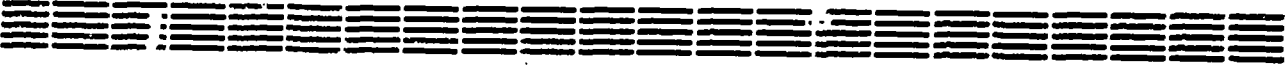


ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԶԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
YEREVAN PHYSICS INSTITUTE



Р.О.АВАКЯН, А.Э.АВETИСЯН, А.В.АГАРОНЯН,  
Р.А.АСАТУРЯН, Р.Б.БАХШЕЦЯН, Е.М.БОЯХЧЯН,  
Р.П.ВАРТАПЕТЯН, Р.Г.ГАБРИЕЛЯН, В.Г.ГАВАЛЯН,  
Р.А.ГАСПАРЯН, А.Э.ГРИГОРЯН, В.А.ГЮРДЖЯН,  
К.Р.ДАЛЛАКЯН, О.С.КИЗОГЯН, Л.А.КОЧАРЯН,  
Э.М.МАТЕВОСЯН, Р.М.МИРЗОЯН, А.Г.МКРТЧЯН,  
А.Р.МКРТЧЯН, А.Х.МХИТАРЯН, Р.Ц.САРКИСЯН,  
Ю.З.СУКИАСЯН, С.П.ТАРОЯН, О.А.УНАНЯН,  
Г.М.ЭЛБАКЯН

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЭНЕРГИИ 4,5 ГЭВ  
В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ**

ЦНИИАтоминформ  
ЕРЕВАН—1988

Նախնատիպ ԵՖԻ-III9(82)-88

Ռ.Հ.ԱՎԱԳՅԱՆ, Ա.Է.ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ,Ա.Վ.ԱՀԱՐՈՆՅԱՆ, Ռ.Ա.ԱՄԱՏՐՅԱՆ,  
Ռ.Բ.ԲԱԽՇԵՑՅԱՆ, Ե.Մ.ԲՈՑԱԽՉՅԱՆ, Ռ.Գ.ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ\*,Վ.Գ.ՂԱՎԱԼՅԱՆ,  
Ռ.Ա.ԳԱՆՊԱՐՅԱՆ\*,Վ.Ա.ԳՅՈՒՐՋՅԱՆ,Ա.Է.ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ,Կ.Ռ.ԴԱԼԼԱՔՅԱՆ  
Գ.Մ.ԷԼԲԱԿՅԱՆ, Ս.Պ.ԹԱՐՈՅԱՆ, Հ.Ս.ԿԻՋՈՂՅԱՆ,Հ.Ա.ՀՈՒՆԱՆՅԱՆ\*,  
Է.Մ.ՄԱԹԵՎՈՍՅԱՆ,Ռ.Մ.ՄԻՐՋՈՑՅԱՆ,Ա.Խ.ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ\*,Ա.Գ.ՄԿՐՏՉՅԱՆ\*,  
Ա.Ռ.ՄԿՐՏՉՅԱՆ\*,Ռ.Ց.ՍԱՐԳՍՅԱՆ,ՅՈՒ.Ջ.ՍՈՒՔԻԱՍՅԱՆ,Լ.Ա.ՔՈՉԱՐՅԱՆ\*,  
Ռ.Պ.ՎԱՐՊԱՊԵՏՅԱՆ\*

4,5 ԳԷՎ ԷՆԵՐԳԻԱՑՈՎ ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ՃԱՐԱԳԱՅԹՈՒՄԸ  
ՊՅՆՁՈՒԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԲՅՈՒՐՇՂՆԵՐՈՒՄ

Բերված են 4,5 ԳԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների մառազայթման ինտեգրալ ելքի և սպեկտրալ շաշխման փորձարարական հետազոտությունների տվյալները՝ կվարցի, նեոքաթ լիթիումի, կադմիումի սուլֆիդի պլեզո-էլեկտրական բյուրեղներում՝ առանցքային և հարթ կանալային պայմաններում:

Երևանի Ֆիզիկայի ինստիտուտ

Երևան 1988

-----  
\* ՀՄՍՀ ԳԱ ԿՖՊԻ

Совокупность теоретических и экспериментальных работ, выполненных в последние годы, указывает на сложный характер взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами при малых углах влета относительно кристаллографических осей и плоскостей. В настоящее время проводится большой объем исследований в области изучения закономерностей рассеяния электронов в кристаллах, когерентного тормозного излучения, излучения каналированных частиц и т.д. Для определения возможностей практического применения излучения частиц в условиях каналирования, которое обладает такими уникальными характеристиками, как высокая спектрально-угловая плотность, большая степень поляризации фотонного пучка, квазимонохроматичность, необходимы дальнейшие исследования с использованием как простых, так и сложных кристаллических структур.

В работе [1] предложен новый механизм воздействия и управления процессом излучения каналированных ультрарелятивистских заряженных частиц в кристаллах. В частности, показано, что в поле продольной и поперечной акустических стоячих волн можно

получить значительное увеличение интенсивности излучения каналированных частиц. С этой точки зрения становится целесообразным проведение исследований спектральных и интегральных характеристик излучения электронов в условиях каналирования в пьезоэлектрических кристаллах.

В настоящей работе сообщаются результаты экспериментального исследования спектрального распределения и интегрального выхода излучения электронов энергии 4,5 ГэВ в пьезоэлектрических кристаллах  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{LiNbO}_3$  и  $\text{CdS}$  в условиях осевого и плоскостного каналирования.

Эксперимент выполнен на выведенном пучке электронов Бреванского синхротрона [2]. На этом пучке в последние годы проведен ряд экспериментов по исследованию закономерностей излучения и рассеяния электронов в условиях каналирования в кристаллах [3-9].

Схема экспериментальной установки приведена на рис.1. Сформированный электронный пучок с угловой расходимостью  $10^{-4}$  рад попадал в вакуумную камеру гониометрической установки (ГУ), где расположены кристаллические мишени (М). Пропорциональная камера (МПК) с шагом намотки сигнальных проволок 1 мм служит для регистрации координаты первичной частицы до попадания на мишень. Гониометрическое устройство служит для смены ориентации кристаллических радиаторов под пучком. Дистанционное управление позволяет менять углы вращения мишени относительно горизонтальной и вертикальной осей с точностью  $\sim 4 \cdot 10^{-5}$  рад, а также двигать мишень по горизонтали перпендикулярно к пучку с точностью 0,2 мм. Отклоняющий магнит мониторного спектрометра  $\text{OM}$  разделяет электроны от фотонов для их

дальнейшей регистрации. Сцинтилляционный телескоп  $C_1C_2$  служит для регистрации электронов после взаимодействия с мишенью. Спектрометр полного поглощения (СПП) служит для измерения энергии  $\gamma$  - квантов.

Информация с экспериментальной установки, включающая в себя координаты взаимодействия электронов с мишенью, а также энергию фотона, через автоматизированную систему съема и накопления информации передавалась на ЭВМ ЕС-1022 для накопления и предварительной обработки.

В эксперименте измерены спектральные распределения и интегральные выходы излучения электронов в условиях осевого и плоскостного каналирования в пьезоэлектрических кристаллах разных толщин. Измерения проведены на кристаллах низкотемпературной модификации кварца четырех толщин ( $t = 1,0; 2,9; 3,5; 6,0$  мм) на кристаллах  $LiNbO_3$  двух толщин ( $t = 2,0$  и  $3,0$  мм) и  $CdS$  ( $t = 3,5$  мм) гексогональной модификации.

Результаты измерений приведены на рис.2-8. На рис.2-5 представлены спектры излучения электронов в условиях осевого каналирования, а на 6-8 спектры излучения в условиях плоскостного каналирования.

Значения интенсивности  $E_\gamma dN/dE_\gamma$  приведены на один электрон,  $E_\gamma$  - энергия излученного  $\gamma$  - кванта. На рис.2 и 6 приведены также зависимости отношений полных потерь энергии электронов к начальной энергии  $\eta^{пол}$  (в %) от толщины кристаллического радиатора. Пунктиром на рисунках обозначены спектры излучения от дезориентированного кристалла (на рис.2 и 6 они приведены для кристалла с  $t = 1$  мм).

Из представленных результатов следует, что все измеренные

спектры имеют пиковую структуру. Для случая плоскостного каналирования в  $\text{SiO}_2$  толщиной 1 мм (рис.6) пиковая энергия фотонов находится ниже порога регистрации спектрометра.

В условиях осевого каналирования максимумы спектров смещены в область более жесткого гамма-излучения по сравнению с соответствующими спектрами для плоскостного каналирования. Наблюдается тенденция увеличения пиковой энергии излученных фотонов с ростом толщины кристалла. Уширение спектров и смещение их максимумов в область более жесткого излучения с увеличением толщины радиатора можно объяснить следующим образом:

а) из-за кратности излучения спектрометр суммирует энергии несколько одновременно испущенных фотонов, регистрируя их как один фотон суммарной энергии. Этот эффект растет с увеличением толщины кристалла;

б) с увеличением толщины радиатора из-за рассеяния электронов увеличивается вклад процессов надбарьерного и когерентного тормозного излучения.

Полные потери энергии электронов на излучение растут с увеличением толщины кристалла и среднего порядкового номера атомов (см. таблицу).

$\gamma^{\text{пол.}} = \Delta E / E_0$  - полные потери энергии электронов на излучение относительно начальной энергии электронов

$E_{\gamma}^{\text{пик}}$  - пиковое значение энергии излученных фотонов

$\Delta E_{\gamma}$  - полуширина спектральной кривой  
 $\gamma^{\text{пик.}} / \gamma^{\text{сез.}}$  - отношение интенсивности излучения фотонов пиковой энергии к интенсивности излучения

Таблица

Кристалл срез; t (мм)	О с ь					Плоскость				
	ГПолн (%)	Е <sub>у</sub> ПИК (МэВ)	ΔЕ <sub>у</sub> (МэВ)	Г-ПИК Г-Дез	Н <sub>у</sub>	ГПолн (%)	ΔЕ <sub>у</sub> ПИК (МэВ)	Е <sub>у</sub> ПИК (МэВ)	Г-ПИК Г-Дез	Н <sub>у</sub>
"X" 1,0	1,83	60	170	20	0,42	1,11	≤25	160	5	0,16
2,9	6,62	240	600	18	0,86	2,41	60	440	4	0,43
3,5	8,04	240	710	14	0,84	-	-	-	-	-
6,0	12,30	500	850	11	0,89	5,14	60	280	4	0,61
2,0	14,60	700	1470	14	0,88	6,50	90	550	5,6	0,60
"у" 3,0	16,90	710	1500	10	0,83	-	-	-	-	-
"z" 3,5	20,30	700	1550	5,6	0,95	12,90	380	1900	2,2	0,74

от дезориентированного кристалла

$N_{\gamma} = N_{e\gamma} / N_e$  - отношение числа излучивших электронов к числу первичных электронов.

В определении  $N_{\gamma}$  учтены поправки на поглощение гамма-квантов в веществе мишени и на зависимость эффективности установки от энергии фотонов.

Существенное влияние толщины кристалла на величину полных потерь энергии электронов на излучение и одновременно на отношение пиковой интенсивности излучения к излучению от дезориентированного кристалла свидетельствует о том, что для каждого кристалла существует оптимальная толщина радиатора, которая наиболее эффективно может быть использована для генерации гамма-пучков каналированными электронами. В этом плане представляется важным дальнейшее планомерное исследование характеристик излучения каналированных заряженных частиц как в уже использованных кристаллах, так и в других кристаллах различной толщины и структуры.

Экспериментальное исследование излучения каналированных электронов в пьезоэлектрических кристаллах кварца, ниобата лития и сульфида кадмия показывает, что эти кристаллы успешно могут быть использованы для преобразования энергии заряженных частиц в энергию излучения гамма-квантов.



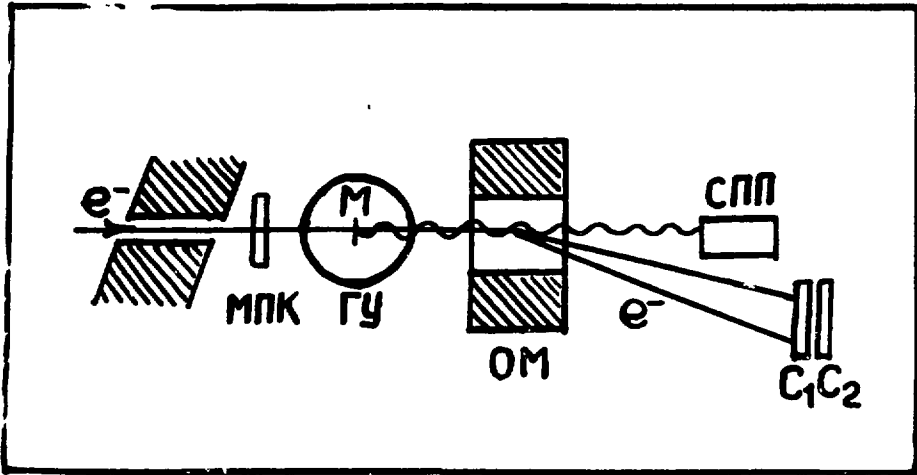


Рис. 1

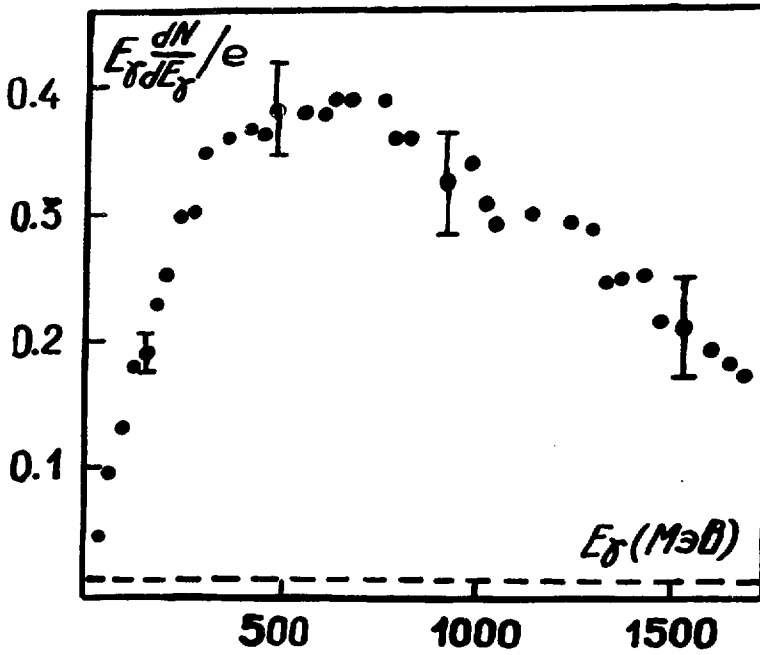


Рис. 2

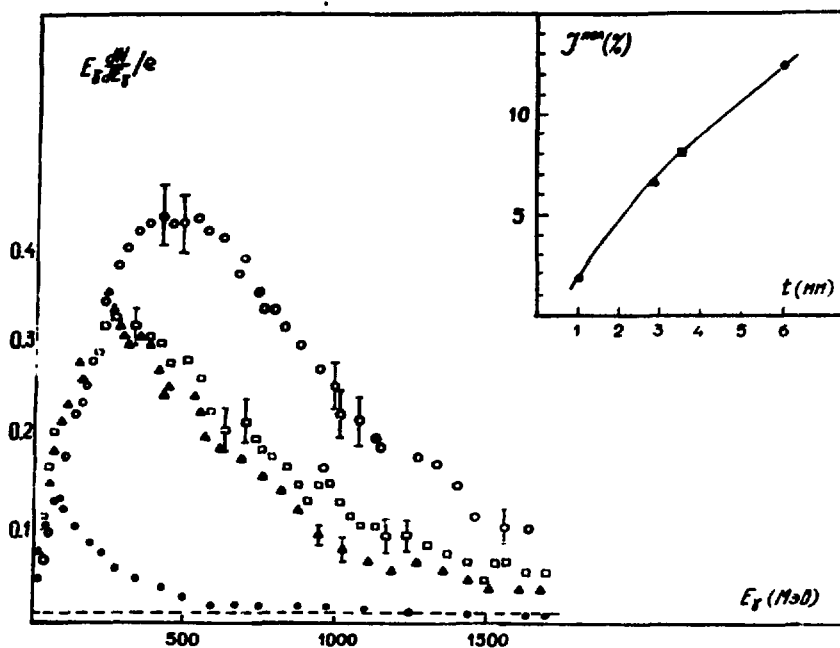


Рис.3

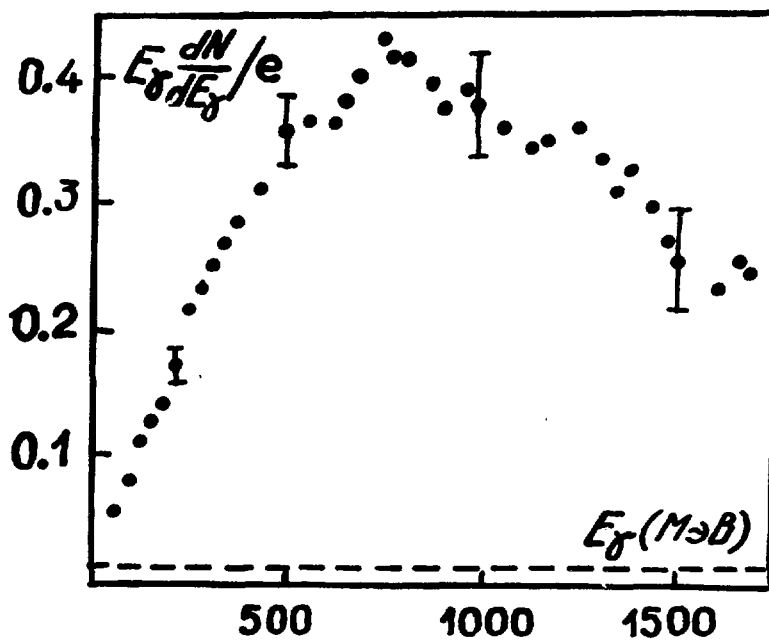


Рис.4

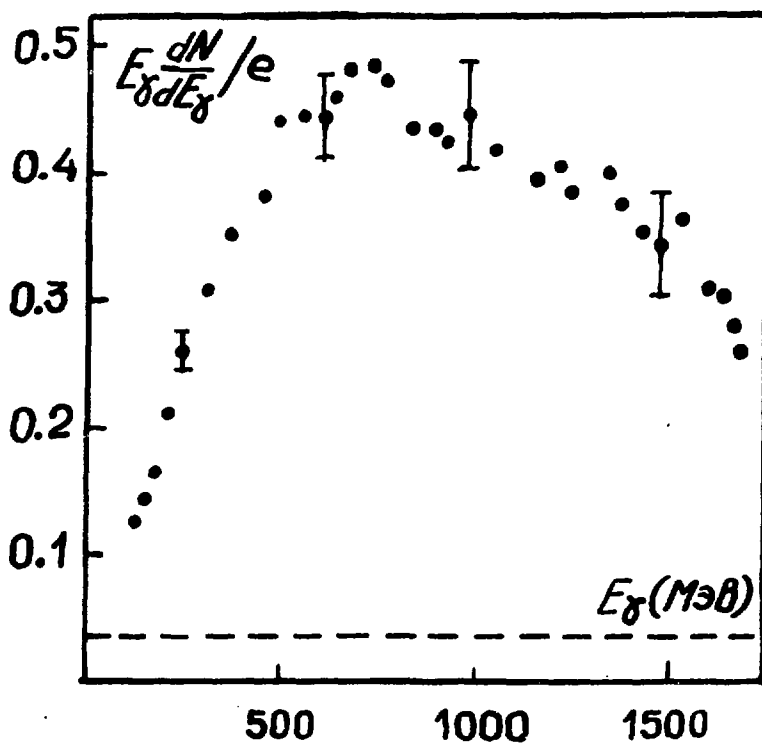


Рис.5

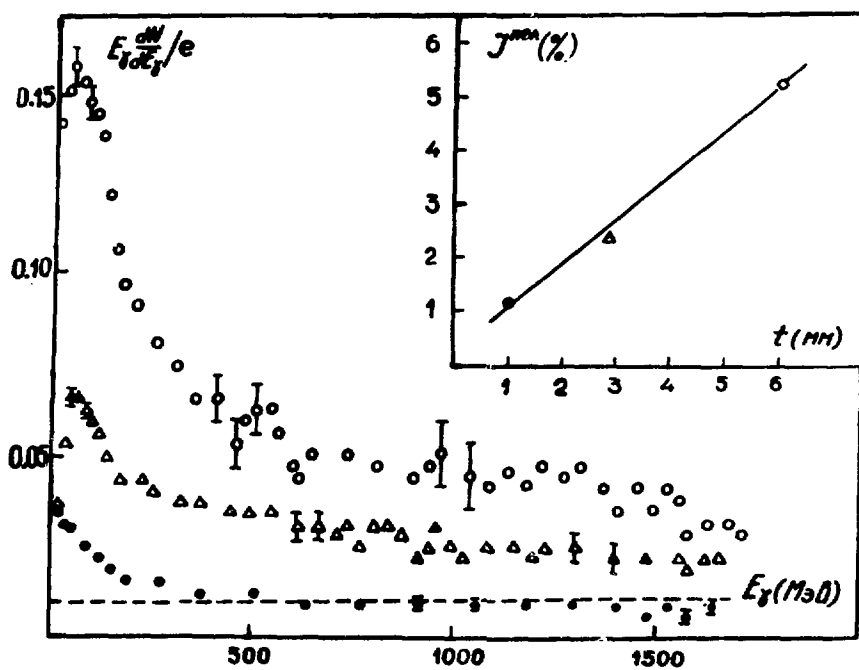


Рис.6

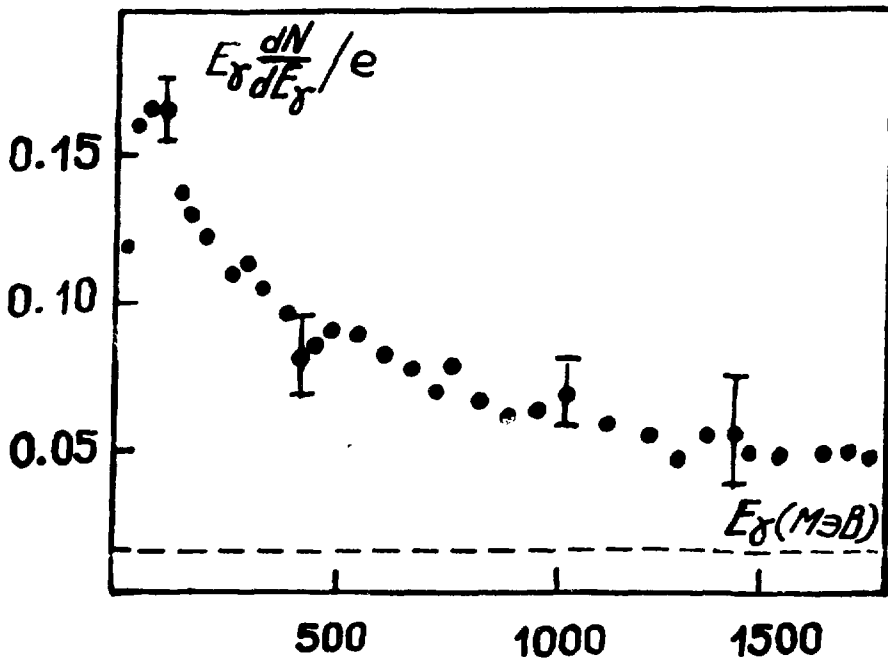


Рис. 7

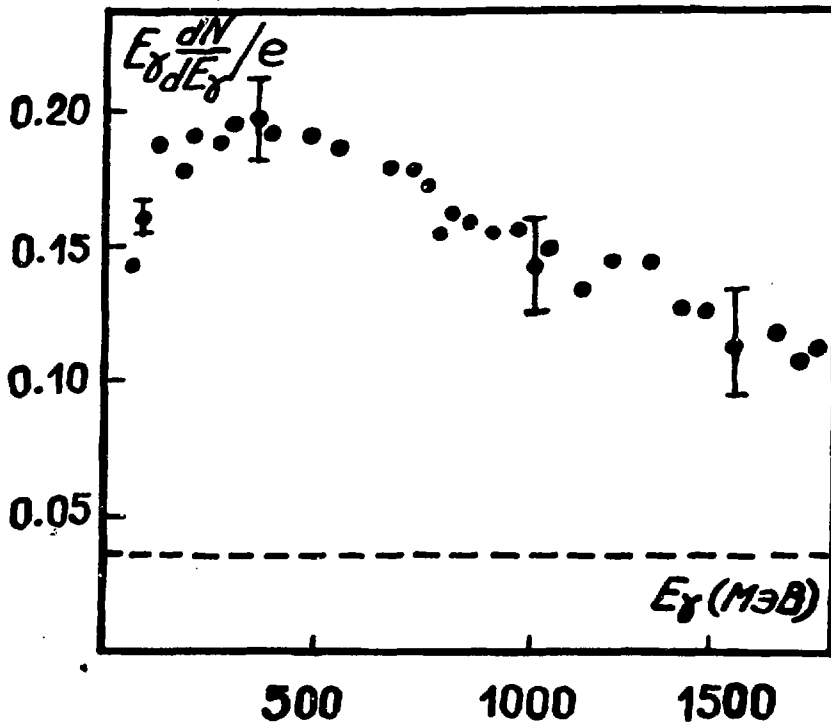


Рис. 8

### Подписи к рисункам

Рис.1 Схема экспериментальной установки

Рис.2 Спектры излучения электронов в условиях осевого каналирования в кристаллах кварца (ось  $[100]$ ) с толщинами:

● -  $t = 1$  мм;    ▲ -  $t = 2,9$  мм;    □ -  $t = 3,5$  мм;

○ -  $t = 6,0$  мм

Рис.3 Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования (ось  $[\bar{1}10]$ ) в кристалле ниобата лития с  $t = 2$  мм

Рис.4 Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования (ось  $[\bar{1}10]$ ) в кристалле ниобата лития с  $t = 3$  мм

Рис.5 Спектр излучения электронов в условиях осевого каналирования (ось  $[001]$ ) в кристалле сульфида кадмия.

Рис.6 Спектры излучения электронов в условиях плоскостного каналирования (плоскость  $(0\bar{1}1)$ ) в кристаллах кварца с толщинами: ● -  $t = 1$  мм;    Δ -  $t = 2,9$  мм;    ○ -  $t = 6$  мм

Рис.7 Спектр излучения электронов в условиях плоскостного каналирования (плоскость  $(112)$ ) в кристалле ниобата лития с  $t = 2$  мм

Рис.8 Спектр излучения электронов в условиях плоскостного каналирования (плоскость  $(100)$ ) в кристалле сульфида кадмия

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мкртчян А.Р., Гаспарян Р.А., Габриелян Р.Г. Излучение каналированных позитронов в поле гиперзвуковой волны. ЖЭТФ, 1987, т.93, с.432.
2. Авакян Р.О., Агаронян А.В., Аветисян А.Э. и др. Электронный тракт Ереванского ускорителя с малой угловой расходимостью пучка. Препринт ЕФИ-779(6)-85, Ереван, 1985.
3. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Агаронян А.В. и др. Угловая зависимость полного сброса энергии электронов в толстых монокристаллах алмаза. Препринт ЕФИ-828(55)-85, Ереван, 1985.
4. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Аветисян А.Э. и др. Излучение электронов высоких энергий вблизи кристаллографических осей и плоскостей кристалла алмаза. Препринт ЕФИ-704(19)-84, Ереван, 1984.
5. Авакян Р.О., Аветисян А.Э., Армаганян А.А. и др. Угловые характеристики излучения ультрарелятивистских электронов в толстых монокристаллах алмаза. Письма в ЖТФ, 1985, т.11, в.22.
6. Avakyan R.O., Avakyan E.O., Avetisyan A.E. et al. Radiation of High-Energy Electrons Near Crystallographic Axes and Planes of a Diamond Crystal. Rad. Eff. 1986, vol.91, p. 257.
7. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Авдалян Г.А. и др. Спектральные и угловые характеристики излучения электронов в толстом монокристалле алмаза. Препринт ЕФИ-1023(73)-87, Ереван, 1987.
8. Авакян Р.О., Авакян Э.О., Авдалян Г.А. и др. Угловая зависимость многократного рассеяния электронов в монокристаллах алмаза. Препринт ЕФИ-1019(69)-87, Ереван, 1987.

9. Авакян А.Р., Авакян Р.О., Аветисян А.Э. и др. Ориентационная зависимость многократного рассеяния электронов высоких энергий при малых углах влета в кристалл. Письма в ЖТФ, 1988, т.14, вып.6.

Рукопись поступила 1 сентября 1988 г.

Р. О. АВАКЯН, А. Э. АВЕТИСЯН, А. В. АГАРОНЯН, Р. А. АСАТУРЯН,  
Р. Б. БАХШЕЦЯН, Е. М. БОЯХЧЯН, Р. П. ВАРТАПЕТЯН, Р. Г. ГАБРИЕЛЯН,  
В. Г. ГАВАЛЯН, Р. А. ГАСПАРЯН, А. Э. ГРИГОРЯН, В. А. ГЮРДЖЯН,  
К. Р. ДАЛЛАКЯН, О. С. КИЗОГЯН, Л. А. КОЧАРЯН, Э. М. МАТЕВОСЯН,  
Р. М. МИРЗОЯН, А. Г. МКРТЧЯН, А. Р. МКРТЧЯН, А. Х. МХИТАРЯН,  
Р. Ц. САРКИСЯН, Ю. Э. СУКИАСЯН, С. П. ТАРОЯН, О. А. УНАНЯН,  
Г. М. ЭЛБАКЯН

**ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ЭНЕРГИИ 4,5 ГЭВ В ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
КРИСТАЛЛАХ**

Редактор Л. П. Мукаян

Технический редактор А. С. Абрамян

---

Подписано в печать 30/ХП-88г. ВФ-03456 Формат 60x84/16

Офсетная печать. Уч. изд. л. 0,8 Тираж 299 экз. Ц. 10 к.

Зак. тип. № 673

Индекс 3624

---

Отпечатано в Ереванском физическом институте

Ереван 36, ул. Братьев Аликханян, 2



Line address for requests:  
Information Department  
Yerevan Physics Institute  
Markaryan St., 2  
Yerevan, 375036  
Armenia, USSR

**индекс 3624**



**ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**