Введение.

Одной из систем детектора КЕДР [1] является торцевой электромагнитный калориметр, выполненный из сцинтилляционных кристаллов CsI(Na). Наличие этого прибора позволяет с хорошей точностью измерять энергию электронов и γ-квантов. Калориметр охватывает довольно большой телесный угол (вокруг вакуумной трубы), что повышает эффективность регистрации частиц, а также позволяет измерять энергию продуктов реакций, летящих под малыми углами к оси e^+ e^- пучков.

Калориметр расположен в области с сильным магнитным полем, что налагает определенные требования на front-end электронику, в частности на используемые вакуумные фототриоды.

Группа (48 шт.) ближайших к вакуумной трубе кристаллов калориметра называется **внутренними** кристаллами. Эта система описана в настоящей работе. К электронике этих кристаллов предъявляются дополнительные требования, связанные с большими загрузками. Здесь вакуумные фототриоды были заменены на вакуумные фотодиоды (фототриоды включенные в диодном режиме) для повышения стабильности их работы. Кристалл + электроника, установленная на нем — блок (счетчик).

Внутренние кристаллы торцевого калориметра.

Калориметр состоит из двух торцов. Каждый торец содержит четыре модуля (четвертушки) и центральную часть. Вид одного торца показан на рис.1. Положение калориметра в детекторе показано на рис 2. Из рисунка видно, что компенсирующая катушка 14 мешает выполнить внутренние кристаллы заодно с кристаллами четвертушек. Также затруднен вывод сигнала с кристаллов, ближайших к вакуумной трубе. Поэтому группа внутренних кристаллов выполнена в виде отдельных блоков, составляющих центральную часть торца.

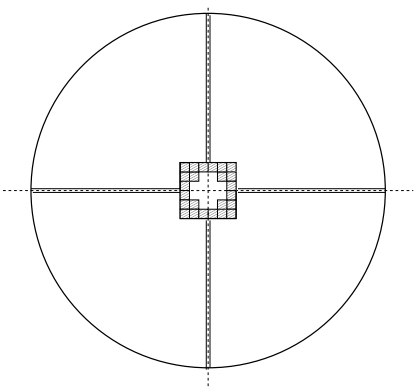

Рис. 1: Вид торца.

Центральная часть включает в себя 24 блока (внутренние блоки заштрихованы).

Каждый блок (см. рис.3 а.) состоит из:

- кристалла CsI(Na) в форме параллелепипеда длиной 30 см. с поперечными размерами 6×6 см., обернутого слоем тефлона толщиной 200 мкм. и поверх него алюминизированным лавсаном;
- вакуумного фотодиода, прикрепленного к торцу кристалла на оптическом контакте (вазелин);

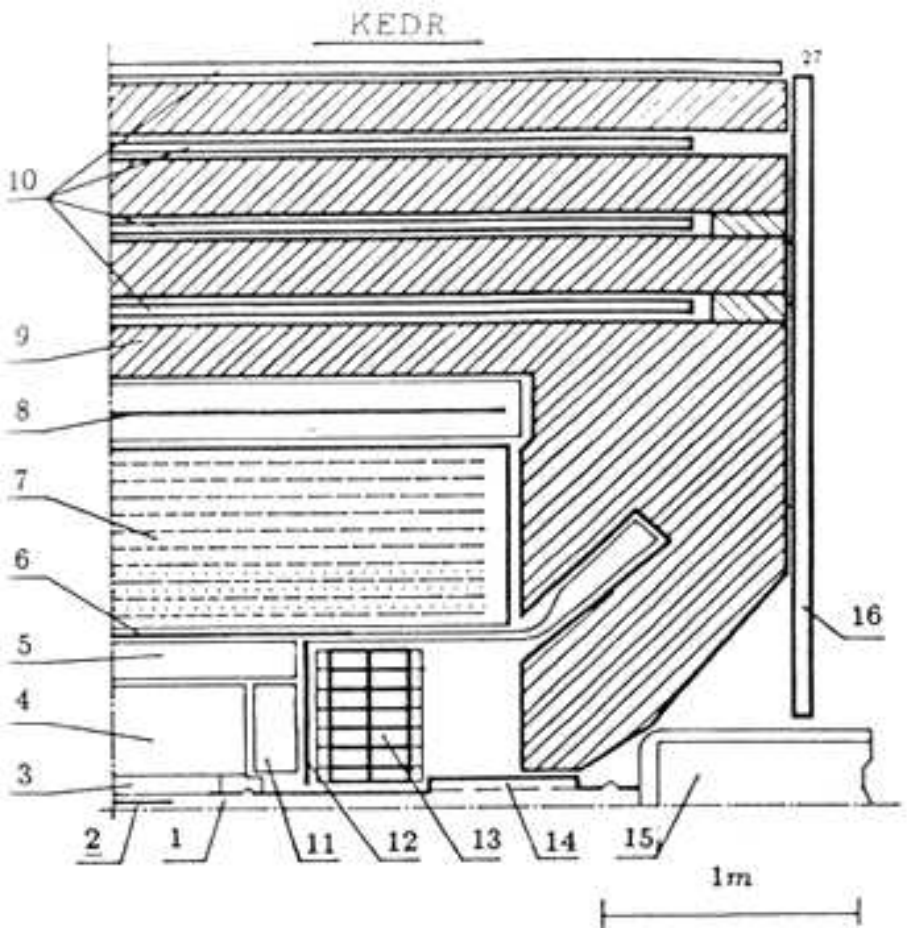

Рис. 2: Детектор КЕДР.

- капроновой матрицы для фиксации фотодиода;
- предусилителя (ЗЧПУ);
- защитного металлического кожуха и крышки;
- кабеля с разъемом для подключения к внешней цепи;

В кабель длиной около 90 см. объединены: шины питания ЗЧПУ, шины высокого (500 вольт) напряжения, провод для подачи калибровочного сигнала, выход ЗЧПУ.

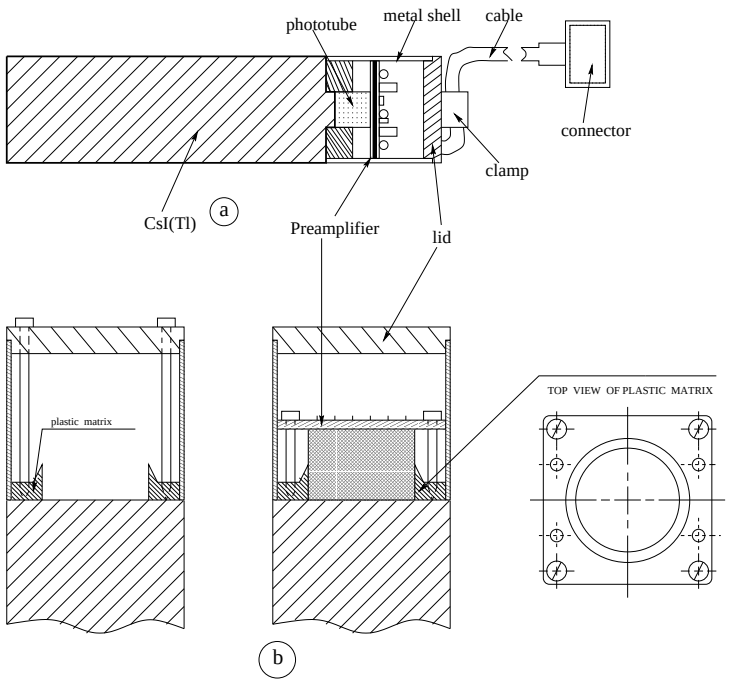

Рис. 3: Вид внутреннего блока.

Фотодиод и предусилитель защищены металлическим кожухом. На кожух надевается крышка с отверстием и хомутом для вывода кабеля.

1) Фотодиод:

В калориметре используются вакуумные фотодиоды, сделанные на Новосибирском заводе "Экран", с диаметром светочувствительной области фотокатода около 48 мм., квантовой эффективностью фотокатода около 5% и величиной темнового тока при подаче рабочего напряжения (500 вольт) не превышающей 0.5 [нА].

Схема крепления фотодиода к торцу сцинтилляционного кристалла представлена на рис.3 б. Показаны четыре шурупа крепящих матрицу к кристаллу (шурупы ввинчиваются в кристалл). Оставшиеся отверстия служат для крепления предусилителя (двумя винтами) и для крепления защитной крышки (двумя винтами большей длины).

2) Предусилитель (ЗЧПУ):

Электронная схема ЗЧПУ представлена на рис.4.

Калибровочная емкость $C_{cal} = 5 \pm 1$ пФ.

Емкость обратной связи $C_{fb} \simeq 0.5$ пФ.

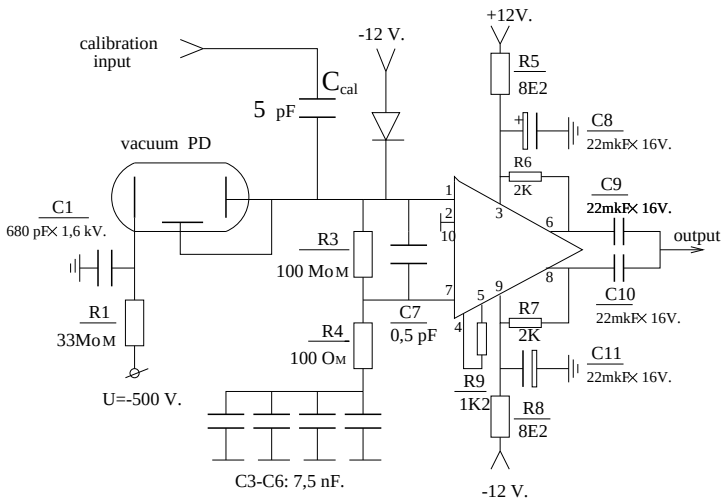

Рис. 4: Электронная схема ЗЧПУ.

3) Кабель для подключения внутренних кристаллов:

На рис.5 представлена схема распайки проводов кабеля к разъему РП10-15ЛП-О.

Шина -1000 V. не используется, но напряжение на нее подается (т.к. внутренние кристаллы присоединяются к той же группе разъемов, что

и блоки четвертушек, требующие -1000 V.), поэтому контакт 8А (см. рис.5) внутри вилки тщательно изолируется.

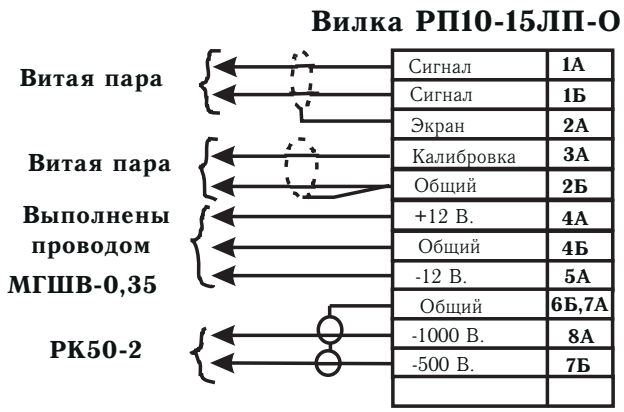

Рис. 5: Схема распайки проводов кабеля к разъему РП10-15ЛП-О.

Процедура изготовления счетчика.

1) Стачивание кристалла CsI(Na) до нужных размеров ($6 \times 6 \times 30$ см.) и его полировка.

2) Затем кристалл CsI(Na) оборачивался слоем пористого тефлона толщиной 200 мкм. и плотно упаковывался в контейнер из алюминизированного лавсана (для защиты от внешнего света). К одному из торцов приклеивалось круглое выходное окно из стекла диаметром $40 \div 44$ мм. и толщиной 1.3 мм. для вывода сцинтилляционного света.

3) Далее на четырех шурупах (вворачивались в кристалл) присоединялась капроновая матрица для крепления фотодиода. Металлический кожух крепился при помощи двух полосок из нержавеющей стали (толщиной 200 мкм.), которые, с одной стороны прижимались к торцу кристалла капроновой матрицей, а с другой — припаивались к внутренней поверхности кожуха (см. рис.6).

4) Фотодиод присоединялся фотокатодом к выходному окну кристалла на оптической смазке (вазелин).

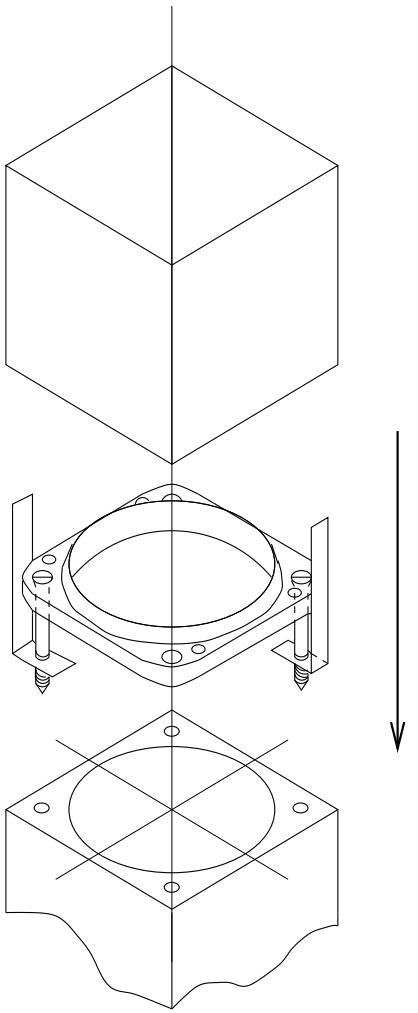

Рис. 6: Схема крепления кожуха.

В плате ЗЧПУ есть отверстия соответствующие ножкам фотодиода, поэтому предусилитель надевался на ножки фотодиода и двумя винтами крепился к капроновой матрице (см. рис.3 б.), прижимая и фиксируя фотодиод.

5) Далее провода кабеля припаивались к соответствующим контактам ЗЧПУ. Это: две шины питания ЗЧПУ +12 и -12 вольт, провод высокого напряжения (-500 V.), провод для подачи калибровочного сигнала, выход ЗЧПУ, земляная шина. Припаивалась перемычка между анодом и динодом, для обеспечения диодного режима работы. Земля предусилителя соединялась с защитным кожухом с целью экранировки электроники от наводок.

6) В конце на кожух надевалась крышка (см. рис.3 б.), через которую кабель выходил наружу. Крышка крепилась двумя винтами к капроновой матрице. Сверху к крышке (см. рис.7) прикреплялся хомут, через который пропускался кабель.

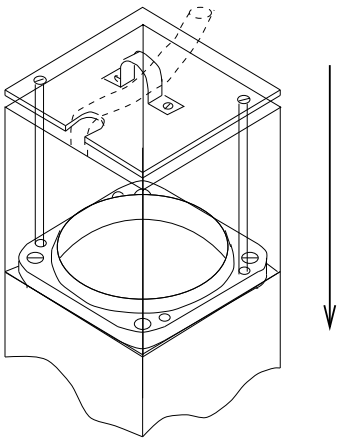

Рис. 7: Стадия сборки блока.

Измерение шумов счетчика.

1) Генераторная калибровка, шумы электроники.

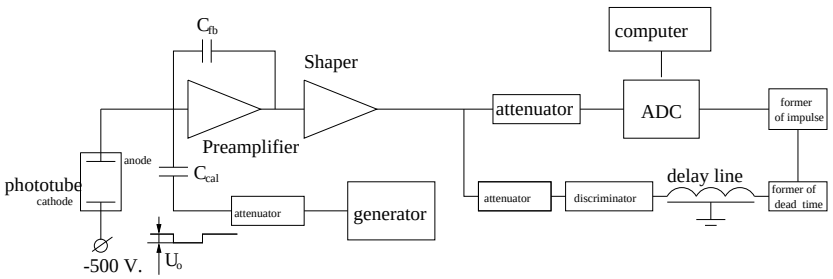

Рис. 8: Схема стенда по измерению шумов счетчика.

На калибровочный вход ЗЧПУ (см. рис.8) подается прямоугольный сигнал с генератора через аттенюатор (с ослаблением в 365 ± 7 раз) с амплитудой $U_0 \approx 0.3mV$. При этом заряд, втекающий в ЗЧПУ:

$$Q = C_{cal} * U_0 \simeq 10000\ el. \tag{1}$$

На выходе ЗЧПУ имеем сигнал с амплитудой:

$$U_{out} = \frac{C_{cal}}{Cfb} * U_0 \simeq 3\ mV. \tag{2}$$

Далее сигнал поступает на вход усилителя-формирователя с временем формирования $\tau = 2$ мкс. Получившийся сигнал оцифровывается АЦП и передается на компьютер, где строится гистограмма амплитудного распределения сигнала (см. рис.9). Зная заряд Q, соответствующий положению пика $\overline{U}$ на гистограмме, и измерив ширину пика FWHM можем определить шумы электроники:

$$\sigma = \frac{FWHM}{\overline{U} * 2.36} * Q\ el. \tag{3}$$

Проводились измерения шумов электроники при подаче высокого напряжения на фототриод и без напряжения. Канал считался рабочим если эти шумы не отличались в пределах ошибок.

2) Энергетическая калибровка по космическим событиям.

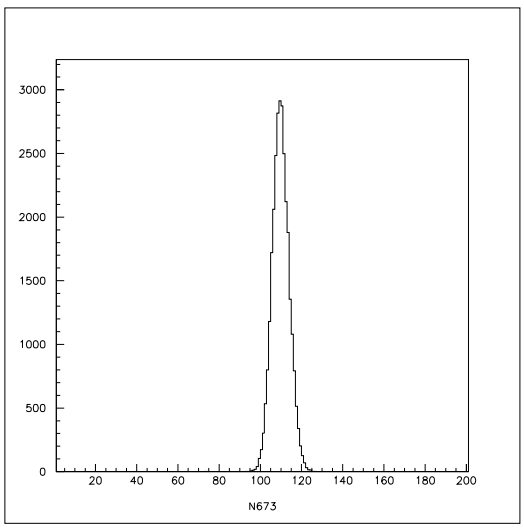

Рис. 9: Гистограмма амплитудного распределения калибровочного сигнала.

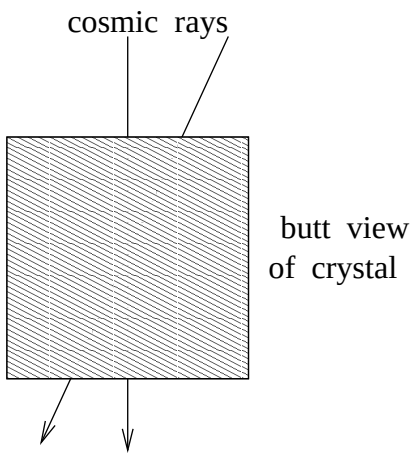

Рис. 10: Кристалл CsI(Na) (вид с торца).

Космическая частица (в основном мюон), пересекая кристалл CsI(Na) (см. рис.10) оставляет в нем в среднем 36 МэВ. Для каждого кристалла набирался спектр космических событий (см. рис.11). Положение пика космики $\overline{U_{cos}}$ соответствует выделившейся энергии 36 МэВ. Используя данные генераторной калибровки и космическую калибровку можем определить чувствительность канала N:

$$N = \frac{\overline{U_{cos}}}{\overline{U}} \cdot \frac{Q}{36} \; \frac{el}{MeV} \tag{4}$$

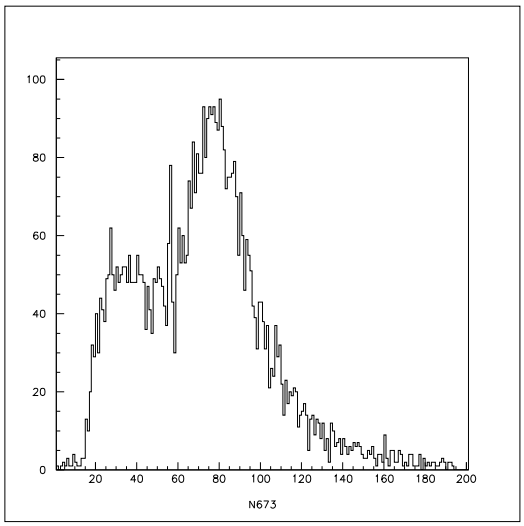

Рис. 11: Спектр космических событий.

Также можно определить шумы электроники в КэВ-ах:

$$\sigma = \frac{FWHM}{2.36 \cdot \overline{U_{cos}}} \cdot 36000 \; KeV. \tag{5}$$

В таблице №1 представлены результаты калибровок для внутренних кристаллов первого торца, а в таблице №2 — для второго торца.

Таблица N^o1.

N^o крист. новый	N^o крист. старый	σ, эл. U=0 V.	σ, КэВ. U=0 V.	σ, эл. U=500 V.	σ, КэВ. U=500 V.	N $\frac{el.}{MeV}$
1.7	605(I)	451	1283	448	1275	350
1.8	673(I)	349	565	351	569	620
1.9	575(II)	318	568	319	578	560
1.10	150(I)	363	395	368	404	920
1.11	483(I)	335	508	341	516	660
1.12	498(III)	366	492	371	498	740
2.7	591(I)	479	887	481	891	540
2.8	62(I)	344	809	352	828	420
2.9	496(II)	326	620	327	617	530
2.10	439(I)	339	669	336	663	510
2.11	52(I)	332	553	349	582	600
2.12	525(III)	327	635	312	609	510
3.7	602(I)	321	660	323	664	490
3.8	92(I)	567	592	575	599	960
3.9	520(II)	312	527	314	530	590
3.10	505(I)	336	934	352	972	360
3.11	485(I)	374	860	366	840	430
3.12	486(III)	355	913	363	933	390
4.7	12(I)	309	545	313	552	570
4.8	442(I)	426	556	429	560	770
4.9	149(II)	398	742	399	744	540
4.10	98(I)	410	756	415	764	540
4.11	500(I)	407	597	409	599	680
4.12	619(III)	348	801	349	802	430

Таблица №2.

№№ крист. новый	№№ крист. старый	σ, эл. U=0 V.	σ, КэВ. U=0 V.	σ, эл. U=500 V.	σ, КэВ. U=500 V.	N $\frac{el.}{MeV}$
5.7	504(I)	412	1271	410	1264	320
5.8	475(I)	417	724	413	715	580
5.9	156(II)	389	870	393	878	450
5.10	294(I)	420	764	423	770	550
5.11	636(I)	466	742	458	732	630
5.12	441(III)	441	494	440	493	890
6.7	151(I)	394	1100	393	1095	360
6.8	55(I)	480	1206	474	1190	400
6.9	63(II)	417	913	435	951	460
6.10	665(I)	442	745	429	723	590
6.11	601(I)	384	1431	384	1431	270
6.12	452(III)	456	1624	432	1540	280
7.7	298(II)	459	476	455	473	960
7.8	500(I)	539	919	550	938	586
7.9	61(I)	526	1304	618	1526	402
7.10	502(I)	403	500	400	496	800
7.11	227(II)	407	765	409	770	530
7.12	56(III)	444	1505	444	1505	290
8.7	60(I)	466	947	462	941	490
8.8	474(I)	498	546	508	556	910
8.9	88(II)	411	1670	423	1720	245
8.10	516(I)	424	458	433	467	924
8.11	05(I)	422	398	425	403	1060
8.12	447(III)	489	688	437	617	708

Восемь внутренних кристаллов торца №1 были подключены к пятой четвертушке для проверки работоспособности всей схемы (вн. кристаллы + четвертушка). Для этих кристаллов был получен спектр космики (см. рис.12), а также измерены шумы в КэВ-ах. В таблице №3 представлены эти данные вместе с результатами стендовых измерений (см. таблицу №1).

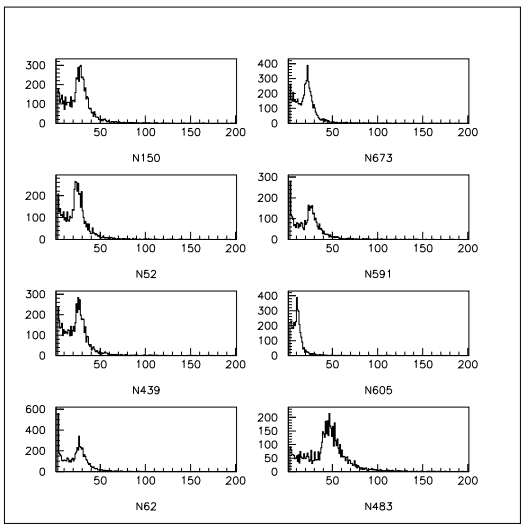

Рис. 12: Спектр космических событий.

Различие между шумами, полученными на стенде и на четвертушке связано с тем, что стендовый усилитель–формирователь (УФ) (NOKIA) по шумовым характеристикам лучше чем стандартный 14-ти канальный УФ F-15, использующийся в системе сбора данных с калориметра.

Установка кристаллов на КЕДР.

Центральная часть торцевого калориметра включает в себя 24 кристалла:

- 16 кристаллов I-ого типа;
- 4 кристалла II-ого типа;

Таблица №3.

№№ крист. новый	№№ крист. старый	σ, КэВ. U=0 V. стенд.	σ, КэВ. U=500 V. стенд.	σ, КэВ. U=0 V. с четверт.	σ, КэВ. U=500 V. с четверт.
150(I)	1.10	395	404	640	720
673(I)	1.8	565	569	789	1130
52(I)	2.11	553	582	610	702
591(I)	2.7	887	891	794	935
439(I)	2.10	669	663	844	844
605(I)	1.7	1283	1275	1835	1906
062(I)	2.8	809	828	982	1364
483(I)	1.11	508	516	530	—

- 4 кристалла III-его типа;

Положение разных типов внутренних кристаллов в центральной части торца показано на рис.13.

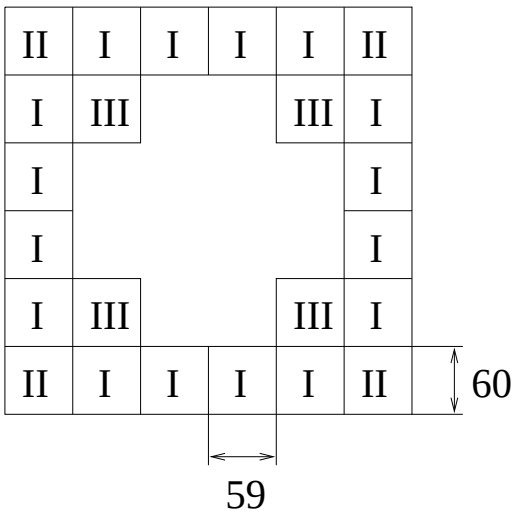

Рис. 13: Положение разных типов внутренних кристаллов.

Поперечные размеры для разных типов таковы:

- 59×60 мм. для кристаллов I-ого типа,
- 60×60 мм. для кристаллов II-ого типа,
- 59×59 мм. для кристаллов III-его типа,

Перед постановкой на КЕДР кристаллы были промаркированы (см. рис.14 a,b); соответствие старых номеров и новых указано в таблицах N^{o}1 и N^{o}2. Ярлык с номером наклеивался на корпус вилки, а также на верхнюю крышку кристалла (около ребра меньшей длины для кристаллов I-ого типа — метка грани меньшей ширины).

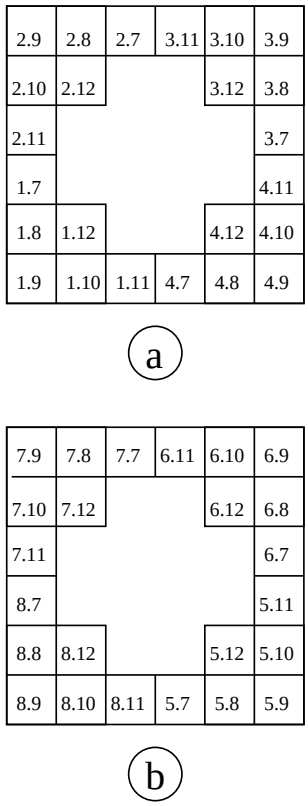

Рис. 14: Маркировка внутренних блоков.

После того как внутренние кристаллы установили в калориметр были измерены их сдвиги относительно кристаллов четвертушек.

1) Торец $N^{\underline{o}}1$.

а) Правая дюжина (см. рис.14 а.) кристаллов сдвинута вглубь (к точке встречи пучков) относительно края четвертушных кристаллов на 42 мм.

б) Левая дюжина (см. рис.14 а.) кристаллов сдвинута вглубь (к точке встречи пучков) относительно края четвертушных кристаллов на 54 мм.

Различие сдвигов (42 и 54 мм.) связано с относительным смещением четвертушек.

в) Кристалл 4.12 сдвинут вглубь относительно 4.10 на $3 \div 4$ мм.

Кристалл 1.12 сдвинут вглубь относительно 1.8 на 10 мм.

2) Торец $N^{\underline{o}}2$.

а) Правая дюжина (см. рис.14 б.) кристаллов сдвинута вглубь (к точке встречи пучков) относительно края четвертушных кристаллов на 31 мм.

б) Левая дюжина (см. рис.14 б.) кристаллов сдвинута вглубь (к точке встречи пучков) относительно края четвертушных кристаллов на 33 мм.

Различие сдвигов (31 и 33 мм.) связано с относительным смещением четвертушек.

в) Кристалл 5.12 сдвинут вглубь относительно 5.10 на 7 мм.

Кристалл 6.12 сдвинут вглубь относительно 6.8 на 5 мм.

Между кристаллами 7.7 и 6.11 (см. рис. 14 б.) вставлены две прокладки толщиной 5 и 6 мм.

Заключение.

Были собраны 48 внутренних блока. Произведена проверка работоспособности каждого блока (наличие выходного сигнала при подаче калибровочного импульса на вход ЗЧПУ при включенном и выключенном высоком напряжении).

Измерены электронные шумы каждого блока. На рис.15 а,б приведены гистограммы распределения счетчиков первого и второго торца по их электронным шумам.

Набраны спектры энерговыделения космических частиц для всех блоков.

Внутренние счетчики установлены на КЕДР. На рис.16,17 показаны спектры энерговыделения от космики с внутренних блоков третьей и четвертой четвертушек, полученные при чтении АЦП системы сбора данных с торцевого калориметра детектора КЕДР.

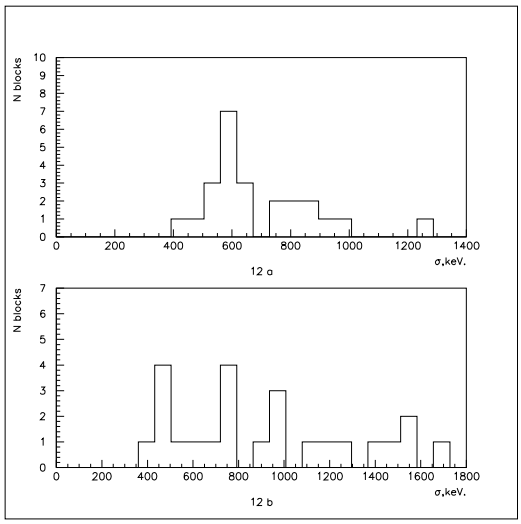

Рис. 15: Распределения счетчиков первого и второго торца по их электронным шумам.

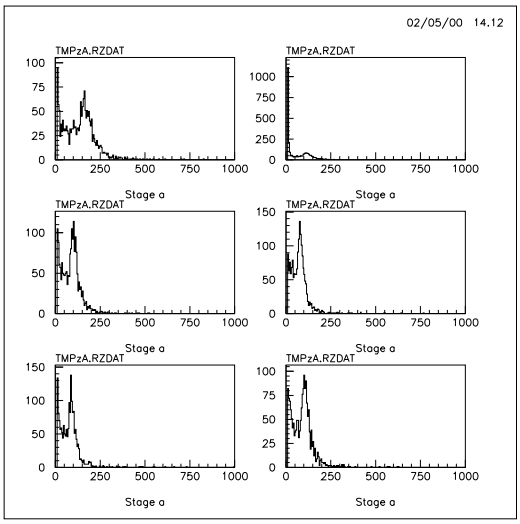

Рис. 16: Спектры космических событий с внутренних блоков третьей четвертушки.

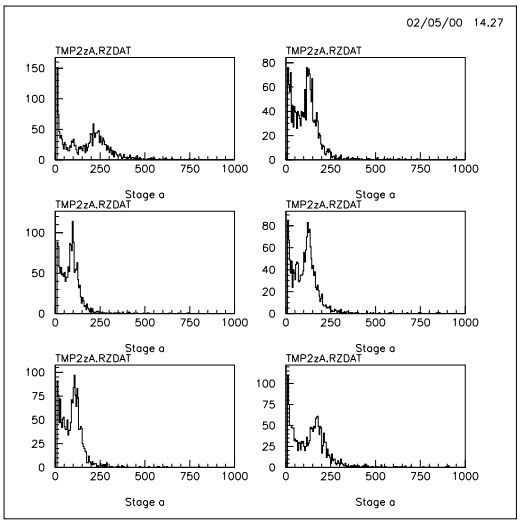

Рис. 17: Спектры космических событий с внутренних блоков четвертой четвертушки.

Список литературы.

[1] Anashin V.V. et al. *KEDR Status Report*, 1990
[2] Овечкин Р.П. *Дипломная работа*, Новосибирск, 1995