

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ԻՆՏԻՏՈՒՏ  
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ՔԱՆՎԱԿԱՆ ՀԱՂՈՐԴՆԵՐ ՆԱՍԻՆԱԿԱՆ ԿՈՄՄՈՒՆԻԿԱՆԵ  
НАУЧНОЕ СООБЩЕНИЕ

507711676

ЕФН-204(50)-(76)

И.П.КАРАБЕКОВ, С.С.ОВАКИМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОСТАБИЛИЗАЦИИ  
КРАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПУЧКОВ  
ГАММА-КВАНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИНХРОТРОНОВ

ԱՐՄՍ

ԵՐԵՎԱՆ

1976



ЕРЕВАН

Scientific Report ЕФН-204(50)-(76)

I.P.KARABEKOV, S.S.OVAKIMYAN

THE INVESTIGATION OF THE  
AUTOSTABILIZATION OF THE EDGE OF  
PHOTON BEAM SPECTRUM  
ON ELECTRON SYNCHROTRON

The autostabilization of the edge of photon beam spectrum on 6 GeV Yerevan accelerator was experimentally investigated. The natural fluctuations  $\Delta E_{\gamma}$  eff. max making  $\sim \pm 2,5$  MeV were attenuated by  $\sim 35 \div 40$  decibel. The schematic diagrams of main units and the principal parameters of self-controlled closed circuit are given.

Yerevan Physics Institute  
Yerevan, 1976

Научное сообщение ЕФИ- 204(50)-(76)

УДК.621.3.038,615

И.П.КАРАБЕКОВ, С.С.ОВАКИМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОСТАБИЛИЗАЦИИ  
КРАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПУЧКОВ  
ГАММА-КВАНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИНХРОТРОНОВ

Представлены результаты экспериментального исследования процесса автостабилизации края энергетического спектра пучков гамма-квантов высоких энергий ускорителя электронов ЕрФИ на 6 Гэв. Естественные флуктуации  $\Delta E_{\gamma}$  эфф. макс, составляющие  $\sim \pm 2,5$  Мэв, ослаблены на  $\sim 35 \div 40$  дб. Приведены схемные решения главных узлов и основные параметры замкнутой цепи авторегулирования.

Ереванский физический институт  
Ереван 1976

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Научное сообщение ЕФИ- 204(50) - (76)

И.П.КАРАБЕКОВ, С.С.ОВАКИМЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АВТОСТАБИЛИЗАЦИИ  
КРАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СПЕКТРА ПУЧКОВ  
ГАММА-КВАНТОВ ЭЛЕКТРОННЫХ СИНХРОТРОНОВ

Ереван 1976

© Ереванский физический институт, 1976

Как известно, стабильность края энергетического спектра пучков тормозного излучения  $E_{\text{макс}}$  и центральной энергии  $E_0$  энергетического распределения частиц во внешних электронных пучках ускорителей во многом определяют достижимые разрешения при исследованиях процессов электро- и фото-рождения. Кроме того, эта стабильность определяет и апертурные параметры спектрометров, используемых для этих исследований, а, следовательно, их стоимость и точность.

В работе [1] был описан датчик предельной энергии (ДПЭ), позволяющий детектировать смещение края спектра тормозного излучения с разрешением  $\Delta E/E \approx 10^{-4}$ . В настоящей работе приведены результаты экспериментального исследования возможности использования информации от ДПЭ в замкнутой цепи автостабилизации края спектра пучка тормозного излучения ускорителя электронов ЕрФИ.

Необходимость в такой автостабилизации даже при наличии специальных цепей стабилизации питания электромагнита [2] видна из приведенных на рис.1 диаграмм флуктуации эффективного значения края энергетического спектра фотонов в  $\gamma$ -пучке.

Диаграммы записаны в одном из наиболее стабильных режимов работы ускорителя при энергии ускоренных электронов  $E_{\text{макс}}$  эл. равной 4,5 ГэВ, нерав-

номерности интенсивности потока фотонов в процессе вывода  $\Delta N_\gamma / N_\gamma \leq 10\%$  [3,4] и длительности растяжки вывода в районе максимума напряженности магнитного поля на орбите, равного  $\sim 800$  мксек.

Здесь на рис.1а показаны флуктуации  $\Delta E_\gamma$  эфф в течение  $\sim 2$  мин. Понятие  $E_\gamma$  эфф (соответственно  $\Delta E_\gamma$  эфф.) введено в связи с отсутствием плоской части магнитного цикла в период сброса частиц на мишень.

Под  $E_\gamma$  эфф. здесь понимается предельная энергия спектра пучка гамма-квантов возникающего при сбросе на мишень моноэнергетического пучка электронов с энергией  $E_{эл.}$  эфф. генерирующего поток фотонов равный потоку, создаваемого пучком электронов с изменяющимся значением  $E_{эл.}$ .

Сопровождающая диаграмма (рис.1б) является синхронной записью интенсивности пучка, измеряемой ионизационной камерой-свидетелем.

Большая стабильность интенсивности говорит о хорошей настройке ускорителя. Даже при столь благоприятных условиях значение  $\Delta E_\gamma$  эфф  $\geq 0,5$  Мэв. В течение более длительного промежутка времени и в случае кратковременных аварийных отключений ускорителя этот диапазон значительно расширяется. На этом графике (рис.1б) каждая точка является усредненным значением  $\Delta E_\gamma$  эфф. в течение 5 мин.

Информация от ДПЭ может быть использована для автостабилизации  $E_\gamma$  эфф. макс. путем создания цепей обратной связи, воздействующие либо на устройства, регулирующие силу тока в обмотках электромагнита ускорителя, либо-управляющие моментом начала наведения ускоренного пучка электронов на внутреннюю мишень ускорителя.

В настоящей работе приведены результаты исследования процесса автостабилизации  $E_\gamma$  эфф. макс. для случая воздействия цепей обратной связи на устройства, управляющие моментом вывода гамма пучка.

Вывод частиц на внутреннюю мишень осуществляется

в районе максимума напряженности управляющего магнитного поля на орбите  $H_{\text{макс.}}$ , которая меняется по закону

$$H = H_{\text{з}} + H_0 \cos \psi, \quad (1)$$

где  $H_{\text{з}}$  — значение постоянной составляющей напряженности поля,  $H_0$  — амплитуда переменной составляющей.

Легко показать, что при смещении начальной фазы включения выводных возмущений поля,  $\psi_0$  эжекции, на величину  $\delta\psi$ , для случая идеальной равномерности интенсивности фотонов в гамма-пучке, в ДПЭ возникает сигнал, пропорциональный эквивалентному смещению края спектра тормозного излучения на величину

$$\Delta E_{\gamma \text{эфф}} \approx \frac{E_{\text{макс.эл}}}{2} (1 - \cos \delta\psi), \quad (2)$$

где  $E_{\text{макс.эл.}}$  — значение энергии электронов, соответствующего максимуму напряженности магнитного поля на орбите.

Эта зависимость (в относительном масштабе по оси ординат и в единицах  $\Delta\tau [\text{мкс}] = \Delta\psi / \Omega$ , по оси абсцисс) показана на рис.2. Здесь  $\Omega$  — частота повторения циклов ускорения, равная 47,3 гц. На этом же рисунке крестиками показаны результаты экспериментального измерения  $\Delta J_{\text{ДПЭ}}(\Delta\tau)$  — тока в цепи датчика предельной энергии, возникающей при смещении момента вывода пучка на величину  $\Delta\tau$  от того значения  $\tau_0$ , при котором была осуществлена компенсация ДПЭ. Эти же результаты приведены и в таблице 1. Измерения проводились при интенсивности, равной  $6,67 \cdot 10^8$  экв. фотонов/сек. Компенсация ДПЭ была произведена на нисходящей ветви кривой напряженности магнитного поля, при  $\Delta\tau = 240$  мксек. Измерение интенсивности проводилось с помощью ионизационной камеры-монитора, которая бы-

ла прокалибрована относительно квантометра. Отношение зарядов, собираемых от квантометра и камеры было равно 132, постоянная квантометра равна  $2,2 \cdot 10^{19} \frac{\text{кул}}{\text{МэВ}}$  [5].

Ток монитора при измерениях был равным  $5 \cdot 10^{-9} \text{ а}$ .

Из сопоставления результатов измерений  $\Delta J_{\text{ДПЭ}} = f(\epsilon_{\text{макс}}) = \psi(\Delta \tau)$  с формой кривой, описывающей изменение  $\Delta E_{\gamma \text{ эфф}}(\Delta \tau)$  видно хорошее их совпадение. Это позволяет, после абсолютизации масштаба расчетной кривой в единицах измерения энергии, принять ее в качестве мониторинговой кривой для определения крутизны характеристики преобразования ДПЭ. В таблице 1 в графе  $\Delta E_{\gamma \text{ эфф}}$  даны значения смещения  $\Delta E_{\gamma \text{ эфф макс.}} (\text{МэВ})$ , соответствующие значениям смещения момента вывода пучка на величину  $\Delta \tau$ .

На основании проведенных измерений и мониторинговой кривой найдено значение крутизны характеристики преобразования ДПЭ данная в графе  $S_{\text{ДПЭ}}$ .

В диапазоне небольших смещений эта величина равна  $(17,794 \pm 0,0026) \cdot 10^{-11} \frac{\Delta E_{\gamma \text{ эфф макс}}}{\text{а/МэВ}} N_0 = 10^9 \text{ фот.сек}^{-1}$ . Блок-схема системы автостабилизации предельной энергии спектра  $\gamma$ -пучка показана на рис.3. Сигнал от ДПЭ усиливается электрометрическим усилителем, имеющим крутизну характеристики преобразования  $K_1 = 10^{11} \text{ в/а}$ , затем усиливается с помощью усилителя переменных и постоянных напряжений с регулируемым коэффициентом усиления, У-7-2.

Сигнал от У-7-2 поступает на вход амплитудно-временного преобразователя (АВП), с помощью которого создается дополнительная задержка импульса, запускающего выводящие устройства. Этот импульс из основного таймерного устройства ускорителя поступал и выводящим устройствам через АВП. Крутизна характеристики преобразования АВП  $K_2 \approx 20 \text{ мксек./в}$ . Принципиальная схема АВП и его характеристика преобразования показаны на рис.4а,б.

Экспериментальное исследование процесса автостабилизации  $E_{\chi \text{эфф. макс}}$  по информации, полученной от ДПЭ, проводилось путем измерения силы тока, возникающей в цепи ДПЭ при введении дополнительных задержек,  $\Delta \tau$ , импульса, определяющего начало вывода пучка. Результаты эксперимента даны в таблице 2. Измерение силы тока в цепи ДПЭ проводилось при выключенной ( $\Delta J$  ДПЭ нестаб.) и включенной ( $\Delta J$  ДПЭ стаб.) цепи обратной связи. Величины  $\Delta J$  ДПЭ при уже известном  $S$  ДПЭ определяют соответствующие значения  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс}}$ , возникающие при введении соответствующих задержек  $\Delta \tau$ . Эти значения  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс. нестаб.}}$  и  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс. стаб.}}$  приведены в соответствующих графах таблицы 2. Сравнение полученных результатов показывает, что при включенных цепях автостабилизации значения  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс}}$  ( $\Delta \tau$ ) ослабляются относительно соответствующих значений, возникающих при отключенных цепях автостабилизации, примерно на  $35 \div 40$  дб. Действие цепей обратной связи на стабилизацию  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс.}}$  продемонстрировано диаграммой записи естественной временной флуктуации  $\Delta E_{\chi \text{эфф. макс}}$  (рис.5) до включения цепей автостабилизации (область "1") и после их включения (область "П"). На этом рисунке также показаны синхронная запись тока монитора интенсивности гамма-пучка и даны калибровки определяющие масштабы измеряемых величин.

Полученный результат, очевидно, не является потенциально возможным, а лишь определяется той схемой и аппаратурой, которая была использована в данном эксперименте.

Авторы выражают глубокую признательность Мартиросяну Г.А., Налчаджану Г.А., Гукасяну А.В. и Егикяну Д.Л. за помощь при проведении отдельных этапов настоящей работы.

Таблица I

$\Delta T$ [мкс]	$\Delta T \cdot T_0$ [мкс]	$\Delta \psi = (\Delta T \cdot T_0) (4\pi \cdot 10^{-2})^2$ [град]	$1 - \cos \Delta \psi$	$\Delta E_{\chi}$ эфф [МэВ]	Расчет Эксперим.	$\Delta J_{\text{элл}} [\alpha]$ $N_0 = 0,667 \cdot 10^9 \frac{\text{фот}}{\text{сек}}$	$\Delta J_{\text{элл}} [\alpha]$ $N_0 = 10^9 \frac{\text{фот}}{\text{сек}}$	$S_{\text{элл}} [\frac{\alpha}{\text{МэВ}}]$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
+400	+540	10,8	$178 \cdot 10^{-4}$	40	28,437	$-3,375 \cdot 10^{-9}$	$-5,06 \cdot 10^{-9}$	$17,791 \cdot 10^{-11}$
+500	+540	9,2	$128 \cdot 10^{-4}$	28,8	24,952	$-2,962 \cdot 10^{-9}$	$-4,44 \cdot 10^{-9}$	$17,795 \cdot 10^{-11}$
+700	+440	7,5	$86 \cdot 10^{-4}$	19,3	17,141	$-2,032 \cdot 10^{-9}$	$-3,05 \cdot 10^{-9}$	$17,792 \cdot 10^{-11}$
+100	+540	5,8	$52 \cdot 10^{-4}$	11,7	7,249	$-0,863 \cdot 10^{-9}$	$-1,29 \cdot 10^{-9}$	$17,795 \cdot 10^{-11}$
0	+240	4,1	$25 \cdot 10^{-4}$	5,62	0,225	$-0,0269 \cdot 10^{-9}$	$-0,04 \cdot 10^{-9}$	$17,795 \cdot 10^{-11}$
-100	+140	2,38	$8 \cdot 10^{-4}$	1,8	3,524	$+0,418 \cdot 10^{-9}$	$+0,627 \cdot 10^{-9}$	$17,781 \cdot 10^{-11}$
-200	-40	0,68	$1 \cdot 10^{-4}$	0,225	5,547	$+0,658 \cdot 10^{-9}$	$+0,987 \cdot 10^{-9}$	$17,795 \cdot 10^{-11}$
-300	-60	1,0	$2 \cdot 10^{-4}$	0,45	5,036	$+0,597 \cdot 10^{-9}$	$+0,896 \cdot 10^{-9}$	$17,802 \cdot 10^{-11}$
-400	-160	2,72	$11 \cdot 10^{-4}$	2,48	1,911	$+0,226 \cdot 10^{-9}$	$+0,34 \cdot 10^{-9}$	$17,792 \cdot 10^{-11}$

Таблица 2

Δτ мс	ΔУ ДПЭ [а]	ΔЕγ эфф. макс.	ΔУ ДПЭ [а]	ΔЕγ эфф. макс.
	нестабильн.	нестабильн.	стабильн.	стабильн.
	2	3	4	5
0	9,375.10 <sup>-12</sup>	0	1,005.10 <sup>-12</sup>	Изменение $J_{элэ}$ ниже порога регистрации электронных усилителей
2	34,95.10 <sup>-12</sup>	0,144	1,005.10 <sup>-12</sup>	
3	45.10 <sup>-12</sup>	0,2	1,005.10 <sup>-12</sup>	
4	60.10 <sup>-12</sup>	0,285	1,5.10 <sup>-12</sup>	
5	70.10 <sup>-12</sup>	0,341	1,5.10 <sup>-12</sup>	
6	77,4.10 <sup>-12</sup>	0,382	1,995.10 <sup>-12</sup>	
7	103,845.10 <sup>-12</sup>	0,531	1,995.10 <sup>-12</sup>	
8	111,15.10 <sup>-12</sup>	0,572	2,505.10 <sup>-12</sup>	

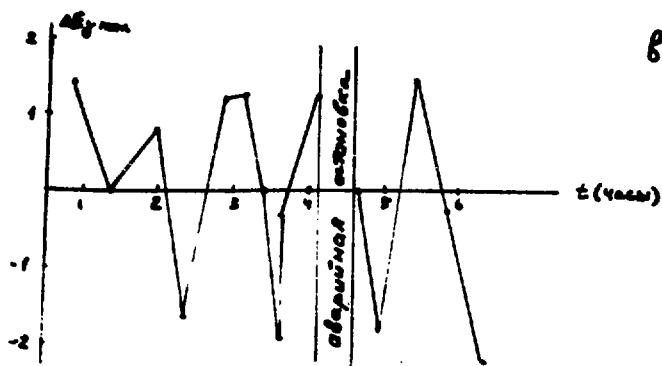
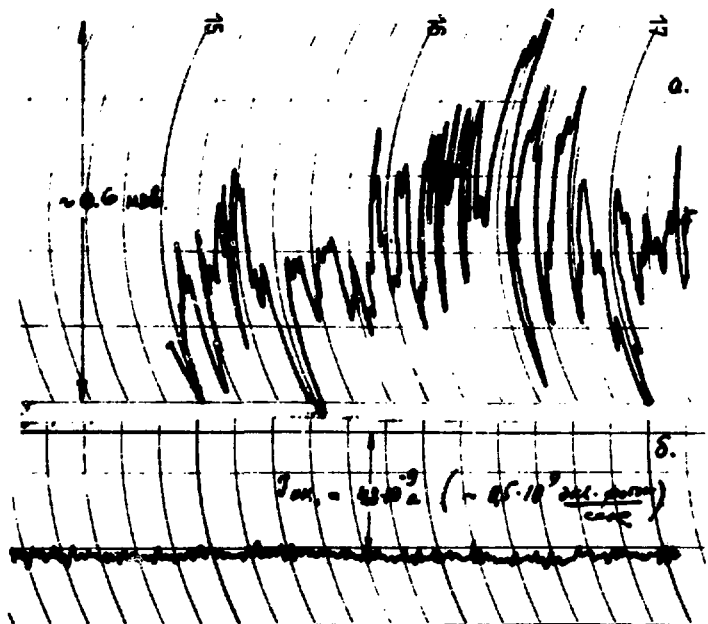


Рис.1

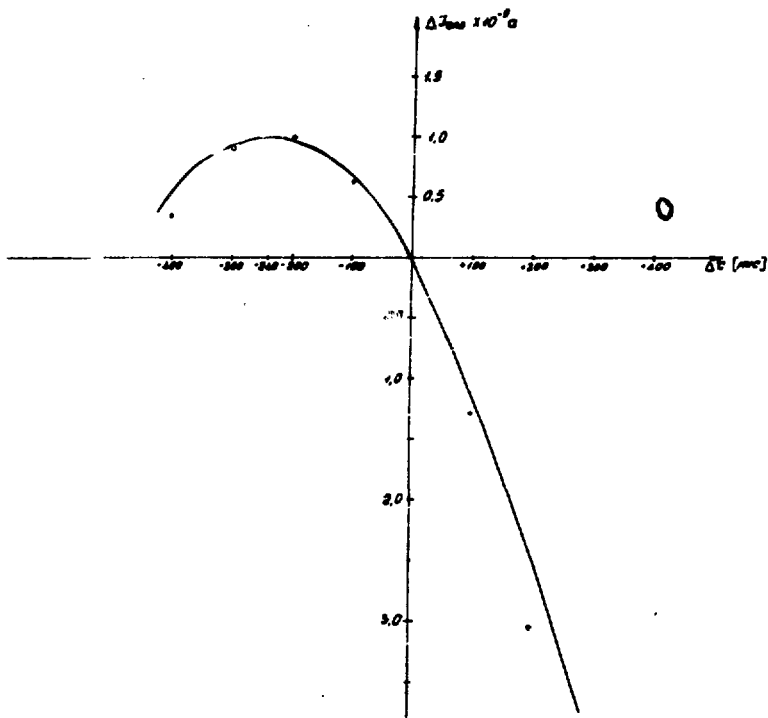


Рис.2

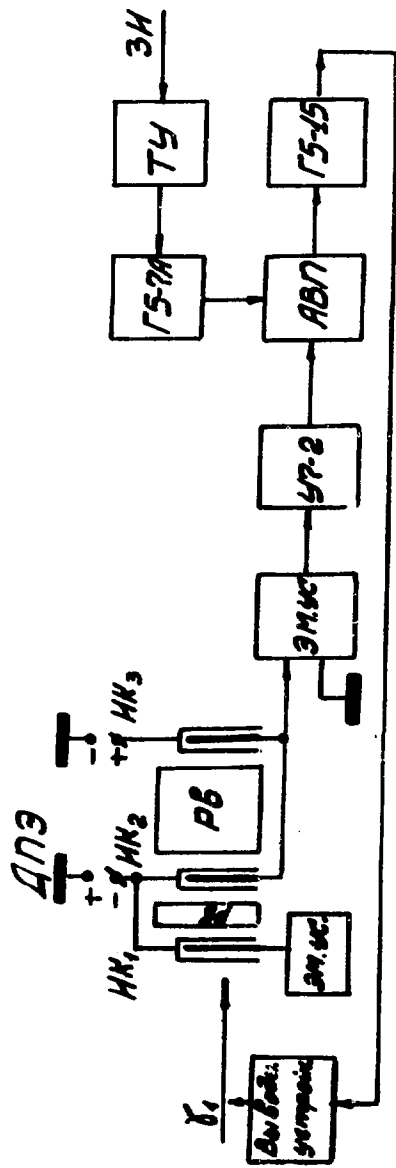
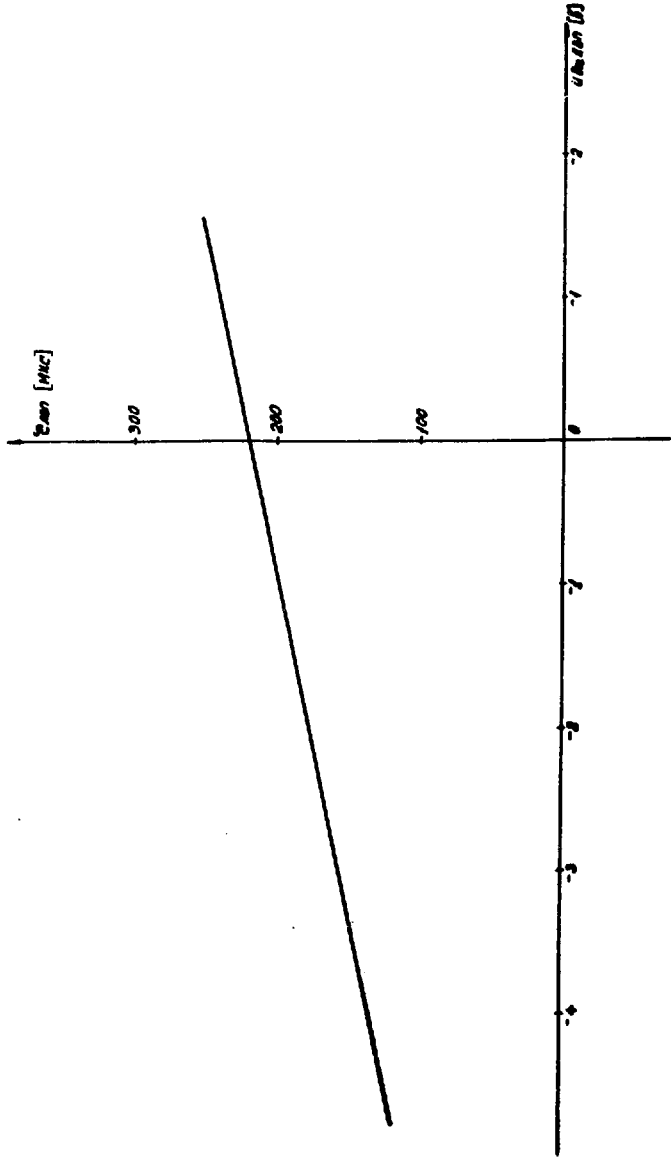


Рис.3





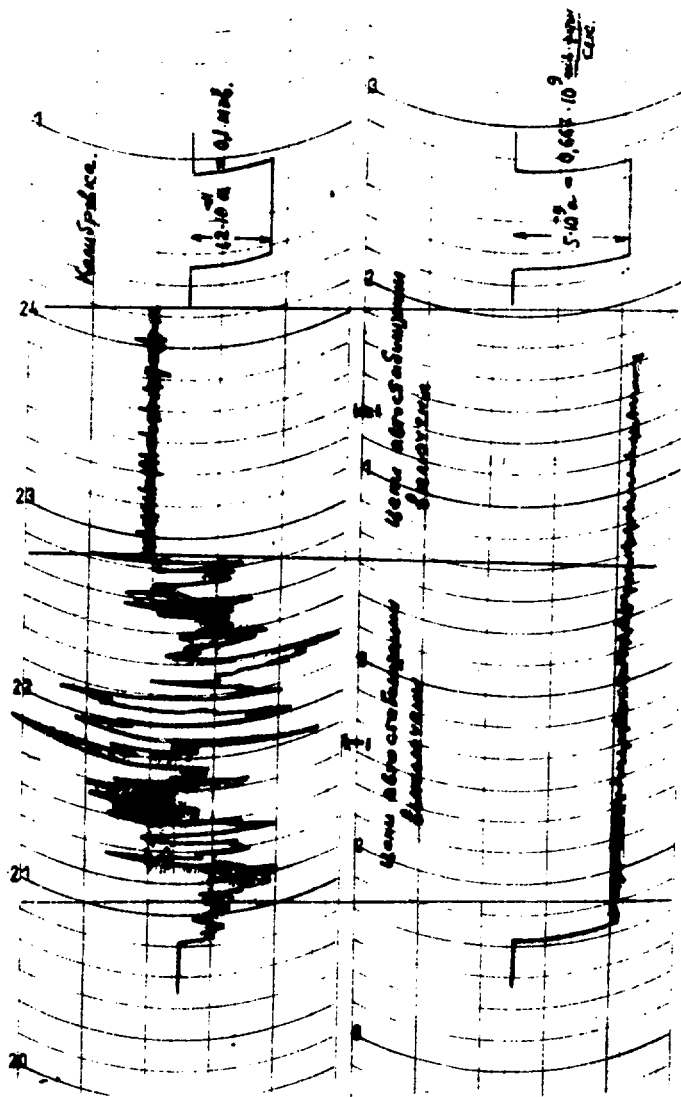


Рис.5

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис.1 Диаграммы флуктуаций эффективного значения края энергетического спектра фотонов в  $\gamma$ -пучке.

Рис.2 Мониторная кривая

Рис.3 Блок-схема системы автостабилизации предельной энергии спектра  $\gamma$ -пучка

Рис.4 Принципиальная схема и характеристика преобразования АВП.

Рис.5 Естественные флуктуации  $\Delta E_{\gamma}$  эфф. макс при отключенной (область "I") и включенной (область "II") цепи автостабилизации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ч.П.Карабеков и др. "Метод прецизионного измерения смещения края спектра тормозного излучения", ПТЭ, № 4, 1975.
2. К.М.Козлов и др. "Система стабилизации магнитного поля Ереванского синхротрона". Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, 9-16 октября, М. 1968.
3. С.К.Есин и др. "Система равномерного вывода ускоренных частиц Ереванского синхротрона". Труды Ш-Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, 2-4 октября, М.1972.
4. С.К.Есин и др. "Модернизация системы локального возмущения орбиты для равномерного вывода частиц из Ереванского синхротрона". Труды Ш-Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц", 2-4 октября, М. 1972.
5. С.П.Круглов и др. "Определение чувствительности Гаусс-квантометра и квантометра Вильсона в диапазоне энергий от 1 до 4,75 Гэв на пучке гамма-квантов ускорителя Ереванского физического института", ПТЭ, 6, 1970.

Рукопись поступила 18-го октября 1976г.



Редактор Л.П.Мукаян  
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 785

ВФ-04048

Тираж 299

---

Подписано к печати 28/ХП-76г. Формат издания 30x40

1,0 уч.изд.л. Ц.7 к.

---

Издано Отделом научно-технической информации  
Ереванского физического института, Ереван -36, пер.Мар  
каряна 2