

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



26/8-74

B-191

P13 - 8026

С.К.Васильев, Ц.Вылов, Б.П.Осипенко,  
Я.Юрковски

3324/2-74

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ БЕТА-СПЕКТРОМЕТР  
С ВЫСОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

**1974**

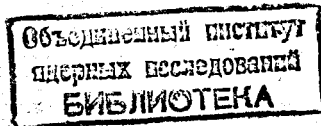
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P13 - 8026 .

С.К.Васильев, Ц.Вылов, Б.П.Осипенко,  
Я.Юрковски

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ БЕТА-СПЕКТРОМЕТР  
С ВЫСОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ

*Направлено в ПТЭ*



Ранее нами сообщалось о работах по изготовлению и применению полупроводниковых детекторов /п.п.д./ для ядерноспектроскопических исследований<sup>/1-5/</sup>. Было отмечено, что в области спектрометрии  $\gamma$ -лучей энергетическое разрешение определяется, в основном, статистическими флуктуациями и что в области спектрометрии конверсионных электронов энергетическое разрешение зависит от толщины входного окна и эффективности сбора зарядов, от чистоты вакуумной системы и от конструкции головного каскада предусилителя. Целью настоящей работы является построение полупроводникового спектрометра конверсионных электронов с высоким энергетическим разрешением /лучшее энергетическое разрешение, известное авторам, равно 1,5 кэВ для  $E_c \sim 30$  кэВ -  $^{170}\text{Yb}^{16/}$  /.

## 1. КОНСТРУКЦИЯ

Общий вид спектрометра показан на рис. 1. Детектор упакован в криостат /с хладопроводом и сорбентом/, который погружается в стандартный сосуд Дьюара с жидким азотом. Для достижения высокого вакуума /лучше  $10^{-6}$  Тор, что связано с получением низких обратных токов в п.п.д./ применяется криостат с мобильной вакуумной отсечкой сорбента<sup>/7/</sup>. Все применяемые вакуумные уплотнения безмасляные. Методика подготовки криостата описана в работе<sup>/1/</sup>.

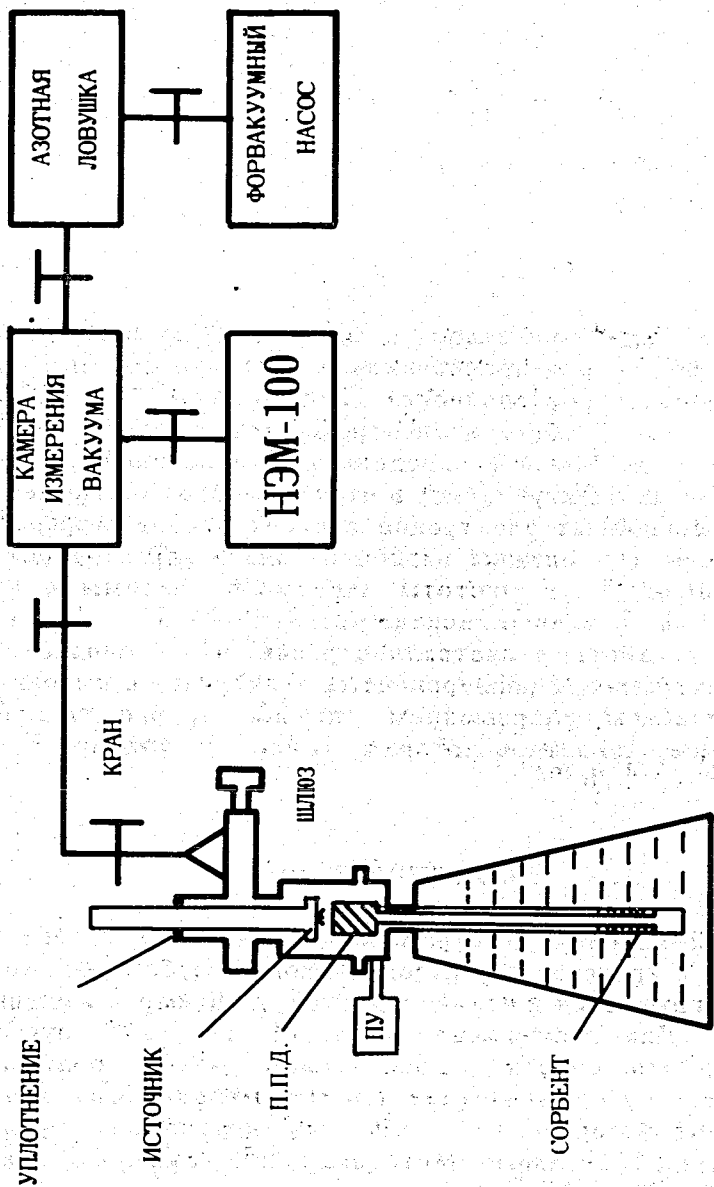


Рис. 1. Общий вид бета-спектрометра с охлаждаемым полупроводниковым детектором.

Для обеспечения замены источника без нарушения вакуума применяется шлюзовая система, предварительная откачка которой производится с помощью форвакуумного насоса с азотной ловушкой и магнитного электроразрядного насоса НЭМ-100<sup>1/2/</sup>. Держатель источника позволяет изменять расстояние источник - детектор в пределах от 0,5 до 20 см.

## 2. ДЕТЕКТОР

Для улучшения параметров Si(Li) -детекторов в технологию изготовления<sup>2/</sup> внесены изменения: для более равномерного травления всей поверхности сделана канавка с полой стенкой; для большей прочности, в местах контакта оправки с электродом п.п.д. золотой слой наносится непосредственно /без травления/ на хорошо обезжиренную и отмытую после шлифовки порошком МП-5 поверхность.

Восстановительный дрейф проводится при напряжении 2000 В в специальной герметизированной капсуле, которая помещается в кипящий этиловый спирт. При этом токи разных образцов с диаметром рабочей поверхности 6 мм и глубиной дрейфа 4 мм находятся в пределах от 50 до 100 мА. После восстановительного дрейфа обратные токи существенно не меняются, однако емкость заметно уменьшается /достигая расчетного значения/ и выходит на плато при напряжении около 50 В. Зависимость обратного тока и емкости для одного образца показаны на рис. 2.

Технология изготовления Si(Au) -детекторов<sup>3/</sup> не изменялась.

## 3. ЭЛЕКТРОНИКА

В спектрометре применяются электронные блоки и анализирующая аппаратура, которые описаны в работе<sup>4,5/</sup>. Изменению подверглась конструкция головного каскада предусилителя<sup>2,8/</sup>. Детектор упакован в спе-

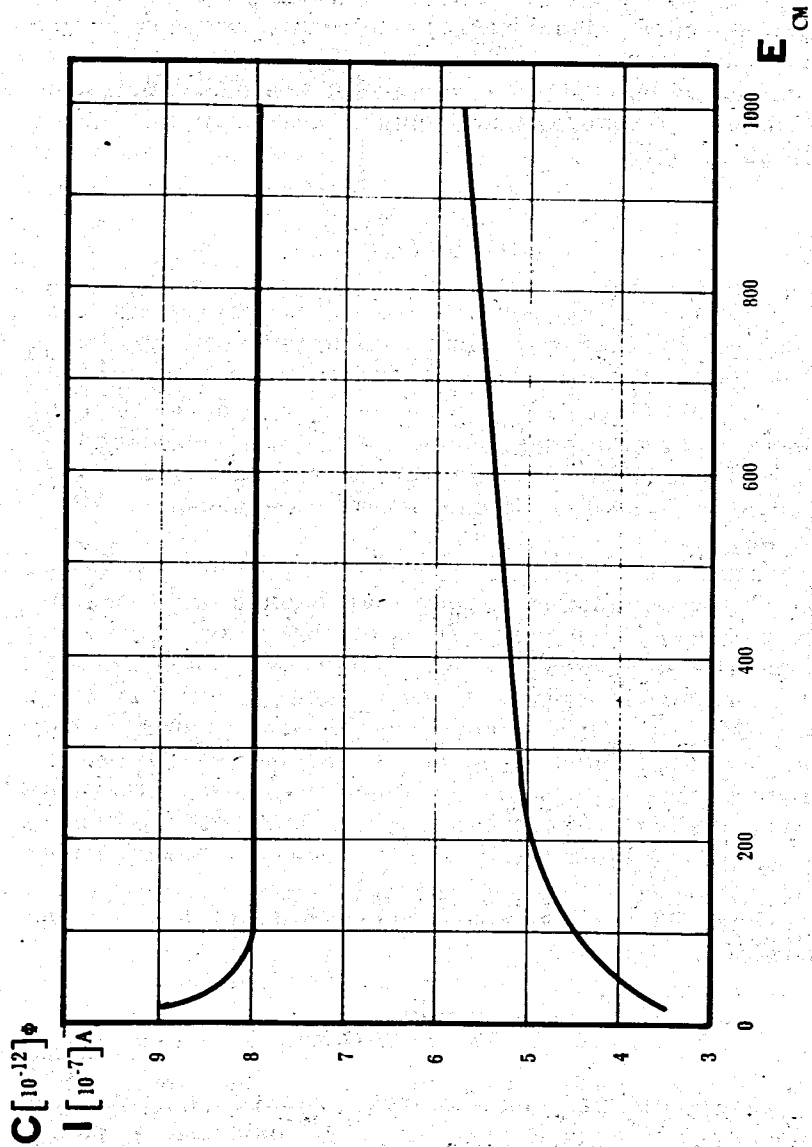


Рис. 2. Зависимость емкости и обратного тока Si(Li) - детектора /30 мм<sup>2</sup> x 4 мм; t = 20°C/.

циальную оправку /рис. 3/, с вмонтированным в нее охлаждаемым каскадом предусилителя. Детали оправки, которыми осуществляется омический контакт с электродами детектора, позолочены. Для уменьшения температурных градиентов и защиты детектора и деталей охлаждаемого каскада предусилителя от конденсации возможных паров масла на оправку устанавливается алюминиевый экран. Разрыв электрической цепи <sup>4,8/</sup> оправки от хладопровода осуществляется через сапфировую или керамическую шайбу /диаметр 20 мм; толщина 3 мм/. Полевой транзистор (2N4416) охлаждается до оптимальной температуры <sup>4/</sup> через керамическую трубку, соединенную с хладопроводом.

#### 4. ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения проводились при напряжении смещения на детекторе 1200 В, постоянная формирующих цепей линейного усилителя на активных фильтрах с четырехкратным интегрированием и двукратным дифференцированием <sup>4/</sup>  $\tau = 2$  мксек, загрузка -  $\sim 10^4$  имп/сек. На рис. 4 приведен спектр электронов и низкоэнергетических  $\gamma$ -лучей при распаде <sup>147</sup>Eu. Уширение спектральной линии конверсионных электронов с энергией  $\sim 100$  кэВ по отношению к спектральной линии  $\gamma$ -квантов с такой же энергией можно объяснить влиянием толщины входного окна п.п.д. Это заключение подтверждается уширением спектральной линии более низкоэнергетических электронов /для  $E_c = 30 - 1,7$  кэВ; для  $E_c = 15 - 3,0$  кэВ/, а также измерением этого же спектра с помощью поверхностно-барьерного Si(Au)-детектора /толщина  $\sim 2$  мм/, где для энергии электронов  $\sim 30$  кэВ (<sup>147</sup>Eu) энергетическое разрешение /900 эВ/ ближе к соответствующему для  $\gamma$ -лучей /рис. 5/. При энергиях  $\sim 140$  кэВ энергетическое разрешение обоих детекторов совпадает.

На рис. 6 приведен также спектр  $\gamma$ -лучей при распаде <sup>241</sup>Am, измеренный с помощью Si(Li)-детектора. Полученное энергетическое разрешение 440 эВ /для  $E_\gamma = 14$  кэВ/ можно улучшить путем отбора более ка-

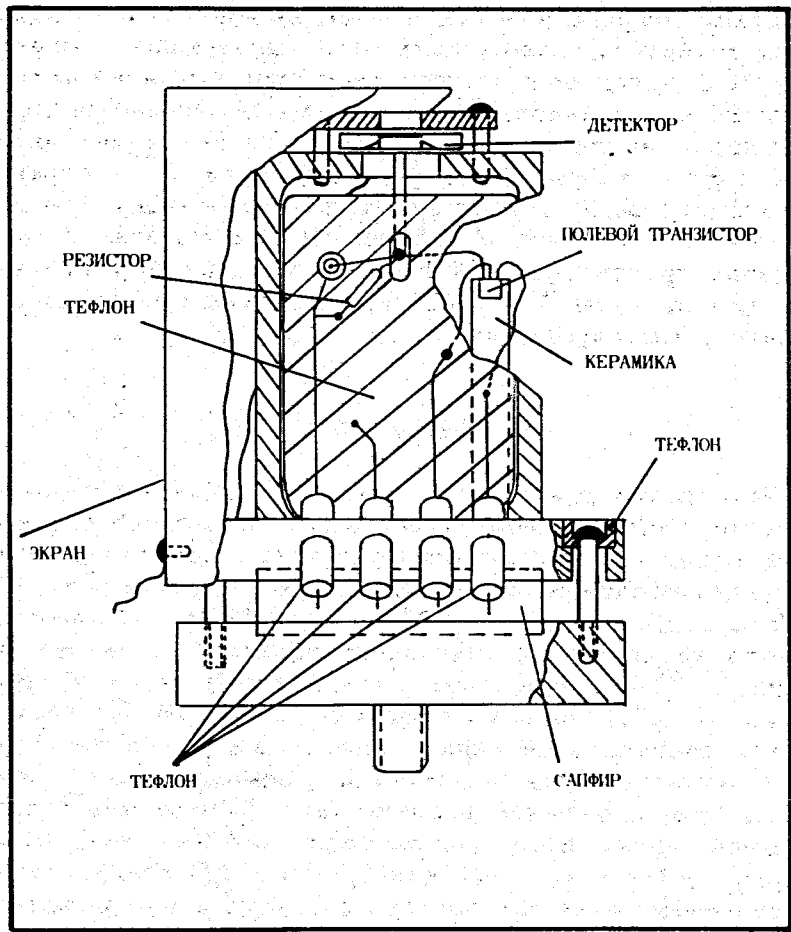


Рис. 3. Упаковка п.п.д. и конструкция головного каскада зарядочувствительного предусилителя.

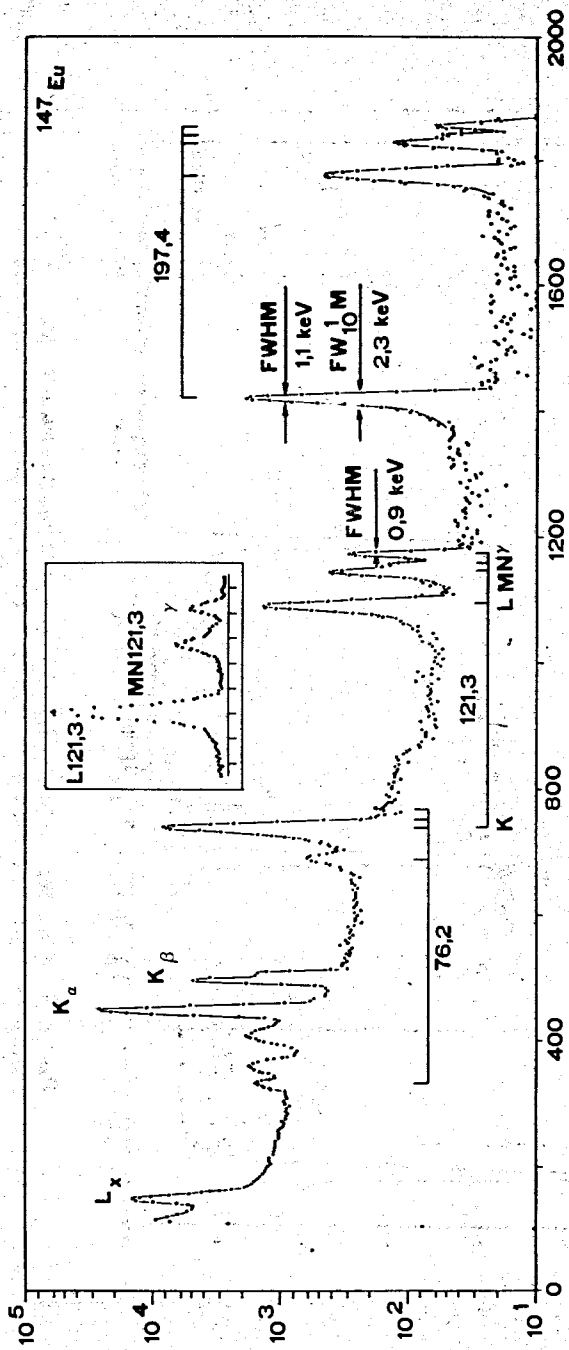


Рис. 4. Спектр электронов и низкоэнергетических  $\gamma$ -квантов при распаде  $^{147}\text{Eu}$ , измеренный с помощью охлаждаемого Si(Li)-детектора /30 мм<sup>2</sup> x 4 мм; E<sub>CMF</sub> = 1200 В/.

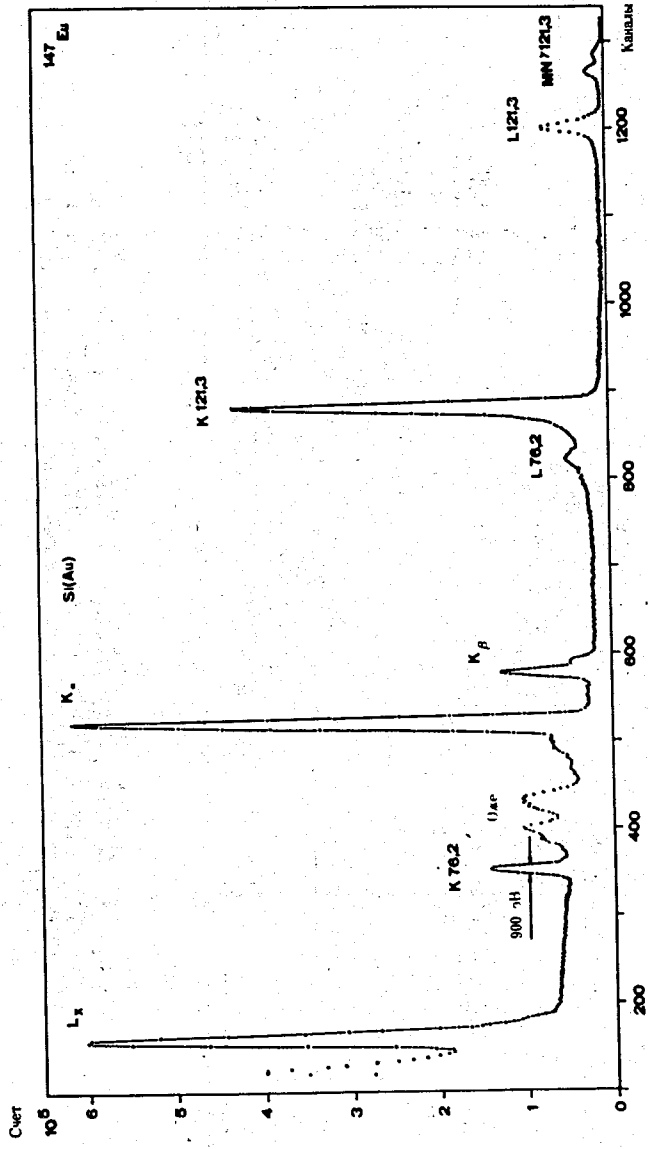


Рис. 5. Спектр электронов и низкоэнергетических  $\gamma$ -квантов при распаде  $^{147}\text{Eu}$ , измеренный с помощью охлажденного  $\text{Si}(\text{Au})$ -детектора / $30 \text{ мм}^2 \times 2 \text{ мм}$ ;  $E_{\text{CM}} = 800 \text{ В}$ .

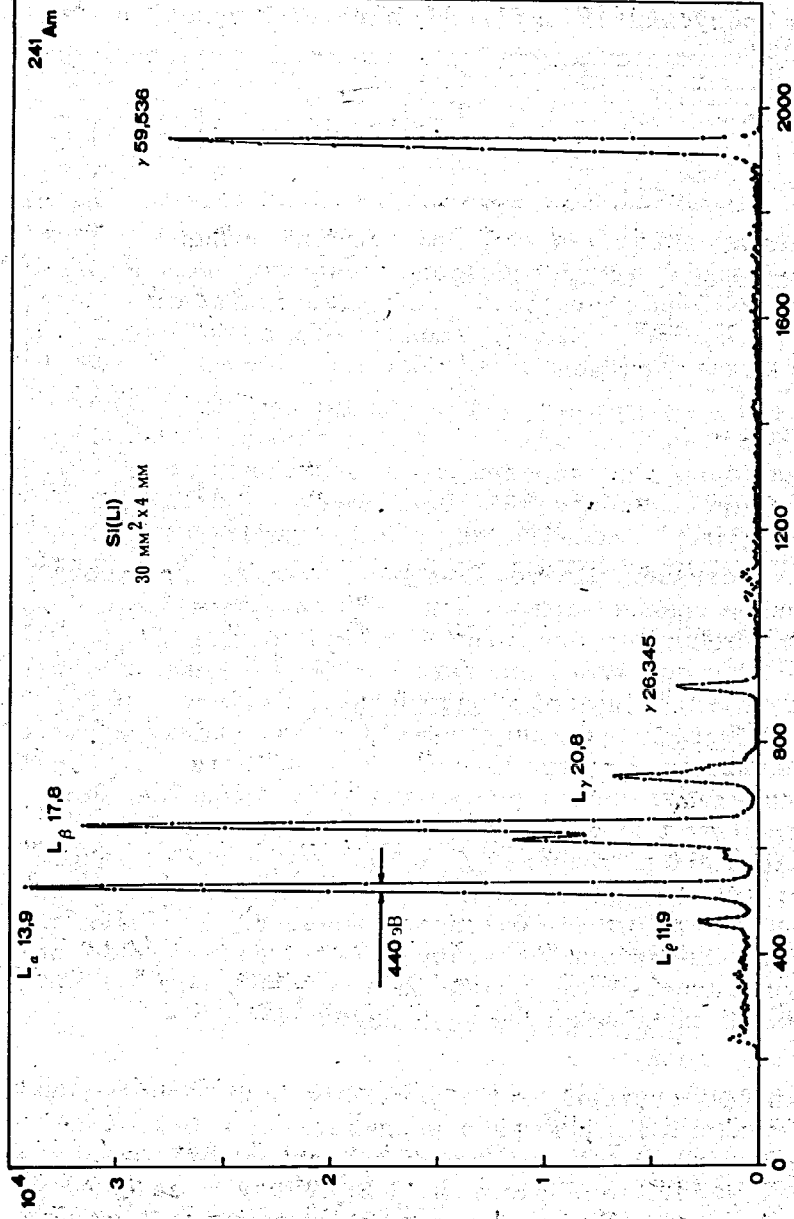


Рис. 6. Спектр  $\gamma$ -лучей при распаде  $^{241}\text{Am}$ , измеренный с помощью охлажденного  $\text{Si}(\text{Li})$ -детектора / $30 \text{ мм}^2 \times 4 \text{ мм}$ ;  $E_{\text{CM}} = 1200 \text{ В}$ .

чественного полевого транзистора, а также применяя схему предусилителя с токовой нагрузкой полевого транзистора /9/.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С точки зрения применения интерес представляет сравнение энергетических разрешений широко распространенных в ядерноспектрометрических исследованиях магнитных спектрометров с полупроводниковыми бета-спектрометрами - рис. 7. К сожалению, аналогичное реалистическое сравнение абсолютных эффективностей /1/ провести нельзя: в силу одноканальности магнитных спектрометров при измерении спектров электронов конверсии происходит перекрывание "каналов", а в рассмотрении "многоканального" спектрометра - бета-спектрограф, нужно учитывать еще низкую эффективность при фоторегистрации. Поэтому на рис. 7 указана /в скобках/ светосила сравниваемых магнитных спектрометров. Учитывая высокую абсолютную эффективность /телесный угол  $< 40\%$ ; обратное рассеяние  $< 20\%$ /, многоканальность и сравнительно высокое разрешение, построенный полупроводниковый бета-спектрометр вполне конкурирует с тороидальным спектрометром /10/ в области  $> 100$  кэВ и превосходит по энергетическому разрешению бета-спектрометр с двойной двукратной фокусировкой  $(2\pi\sqrt{2})^{11/}$  в области его применения /  $> 600$  кэВ/. Недостатки в высоком фоне п.п.д. устраняются путем применения специального магнитного бездисперсионного устройства /2/. Однако регистрацию низкоэнергетических  $\gamma$ -лучей с помощью фотоэффекта можно использовать для прямого измерения коэффициентов внутренней конверсии.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить проф. К.Я.Громова и кандидата физико-математических наук В.Г.Калинникова за постоянный интерес к данной работе, В.Жукову и Л.Ермолину - за большую помощь в изготовлении п.п.д., С.Минькова и В.Пелевино-

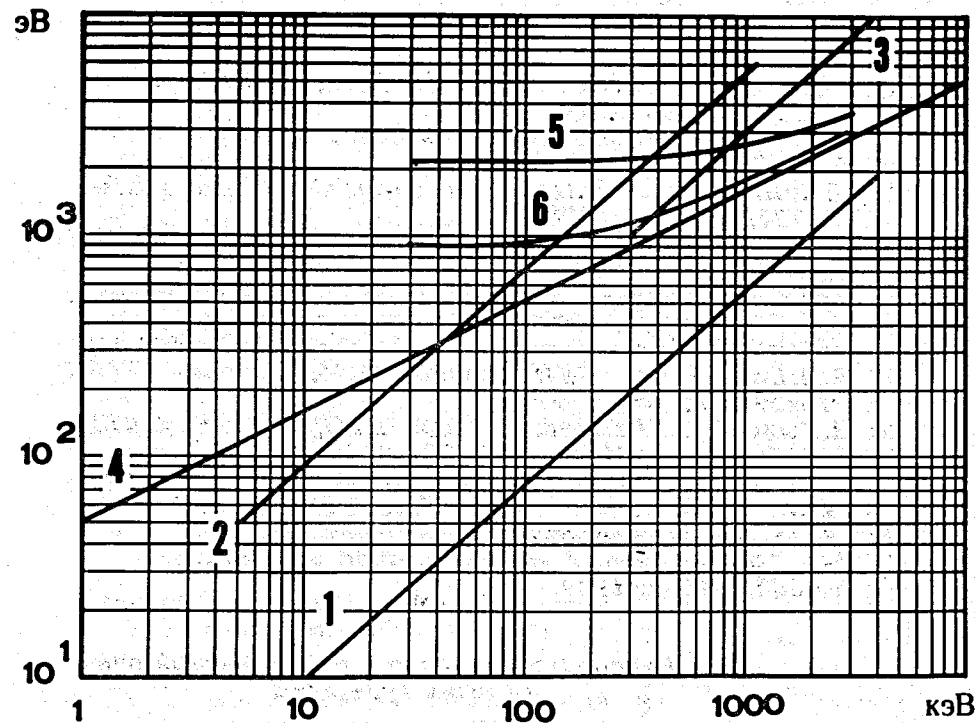


Рис. 7. Сравнение ширины спектральных линий на полувысоте для некоторых бета-спектрометров в зависимости от энергии регистрируемого излучения /1 - магнитный железный типа Даныша:  $(\Delta p/p) = 0,04\% / 0,01\% /^{12/}$ ; 2 - безжелезный тороидальный  $(\Delta p/p) = 0,4\% / 7\% /^{10/}$ ; 3 - магнитный железный с двойной двукратной фокусировкой на  $\pi\sqrt{2}$ :  $(\Delta p/p) = 0,20\% / 0,015\% /^{11/}$ ; 4 - теоретическое значение для Si при факторе Фано  $F = 0,13$ ; 5 - полупроводниковый с Si(Li) - детектором /2/; 6 - результат настоящей работы/.



ва, выполнивших все механические работы, а также И.Куля и Я.Юрковску за помощь при оформлении.

### Литература

1. Ц.Вылов, И.Н.Егошин и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-6759, Дубна, 1972.
2. Е.Береги, Ц.Вылов и др. Сообщение ОИЯИ, Р13-6830, Дубна, 1972.
3. Л.Гумнерова, Б.П.Осипенко и др. Сообщение ОИЯИ, 13-7341, Дубна, 1973.
4. В.С.Александров, Ц.Вылов и др. Сообщение ОИЯИ, 13-7306, Дубна, 1973.
5. В.С.Александров, Ц.Вылов и др. Сообщение ОИЯИ, Р6-7308, Дубна, 1973.
6. G.Bertolini, A.Coche. *Semiconductor Detectors*. Amsterdam, 1968.
7. Э.В.Васильева, Б.И.Воронов, А.М.Говоров. ОИЯИ, Р13-6103, Дубна, 1971.
8. Ц.Вылов, И.Н.Егошин и др. ПТЭ, 3, 45 /1973/.
9. А.И.Калинин. ОИЯИ, 13-7902, Дубна, 1974.
10. М.Гасиор, К.Я.Громов и др. ОИЯИ, Д6-7094, Дубна, 1973.
11. J.Adam, V.G.Chumin et al. JINR, E-2494, Dubna, 1965.
12. А.А.Абдуразаков, А.И.Ахмаджанов и др. ОИЯИ, 6-4363, Дубна, 1969.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 июня 1974 года.