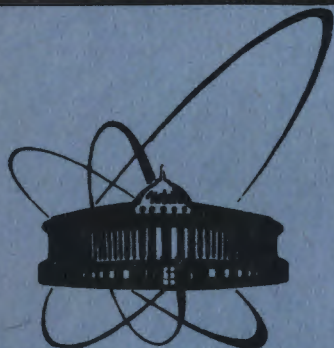


2/IV-84



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА**

1631/84

18-83-907

Ю.С.Анисимов, Ю.В.Заневский, А.Б.Иванов,
Е.А.Матюшевский, С.А.Мовчан, З.Нетушилова,
В.Д.Пешехонов, С.П.Черненко, Г.А.Черемухина

**ГАММА-КАМЕРА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ
НА ОСНОВЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОГО
ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА**

Направлено в журнал "Nuclear Instruments
and Methods"

1983

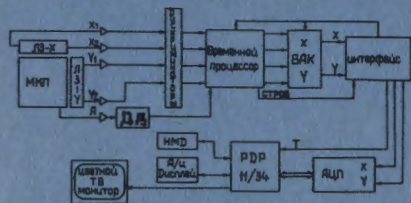
ВВЕДЕНИЕ

Интенсивное развитие радионуклидной диагностики обусловлено, главным образом, успешными разработками ангеровских сцинтилляционных гамма-камер, основным достоинством которых является достаточно высокая эффективность регистрации излучения во всем используемом в ядерной медицине диапазоне энергий гамма-квантов. Для проведения медицинских исследований в более узком энергетическом диапазоне возможно применение в качестве детекторов специализированных многопроволочных пропорциональных камер /МПК/. При этом снижается стоимость гамма-камер, особенно для детекторов большой площади, и улучшаются такие характеристики, как пространственное разрешение, линейность, однородность. Появление короткоживущих радиофармацевтических препаратов открывает перед ядерной медициной новые возможности в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний, что требует использования быстрых детектирующих устройств /1/. Гамма-камеры на основе МПК удовлетворяют также и этому требованию.

Для исследования почек, вентиляции и кровоснабжения легких, мозгового кровотока с помощью радиоактивных препаратов ^{197}Hg , ^{133}Xe и др. разработана гамма-камера /ГКМ/ на основе МПК высокого давления /2,3/. Установка предназначена для работы с гамма-излучением в диапазоне энергий $50 \div 100$ кэВ. В настоящее время ГКМ используется для проведения клинических обследований.

1. УСТРОЙСТВО УСТАНОВКИ

В состав установки входит детектор гамма-квантов, а также электронная аппаратура регистрации и передачи данных в ЭВМ РДР-11/34. Блок-схема установки представлена на рис.1. Для съема координатной информации с детектора используются линии задержки, усиленные сигналы с которых через дискриминаторы передаются в



быстрый временной процессор. Анодный сигнал детектора пропускается через дифференциальный дискриминатор /ДД/, служащий для амплитудного отбора событий с целью повышения контрастности изображения /3/. Если событие удовлетворяет всем критериям отбора, временной процессор вырабатывает

Рис.1. Блок-схема установки.

сигнал разрешения, а координатные сигналы поступают на время-амплитудные конвертеры, сигналы с которых через соответствующий интерфейс передаются в ЭВМ. Для приема и обработки информации используется стандартный пакет программ ГАММА-11 /4/.

2. ДЕТЕКТОР. РЕГИСТРАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

Позиционно-чувствительным детектором гамма-квантов является многопроволочная пропорциональная камера с дрейфовыми промежутками /рис.2/, помещенная в герметичный алюминиевый бокс /В/, входное окно (М) которого выполнено из нержавеющей стали толщиной 0,1 мм. Для обеспечения механической прочности используется стальной фланец (К) толщиной 20 мм, являющийся одновременно коллиматором. При проведении клинических обследований пациентов к фланцу добавляются внешние свинцовые коллиматоры К толщиной по 8 мм, отлитые с помощью матрицы, изготовленной по фланцу. Коллиматоры имеют гексагональную структуру; отверстия диаметром 2 мм расположены с шагом 2,5 мм на площади 270×270 мм². С целью уменьшения фона от рассеянного рентгеновского излучения бокс снабжен дополнительной защитой из свинцовых листов толщиной 7 мм по боковой поверхности и толщиной 2 мм на заднем фланце, на котором расположены усилители и элементы системы газового обеспечения детектора.

Бокс с детектором размещается на подвижной стойке и имеет необходимые степени перемещения.

МПК имеет два дрейфовых промежутка, электроды которых Д удалены от соответствующих катодов С на расстояние 3^4 мм. Расстояние между анодом А и катодами камеры - 4 мм, анодная плоскость намотана проволокой диаметром 20 мкм с шагом 2 мм. Общий вид детектора представлен на рис.3.

Герметичный бокс заполняется смесью ксенона /90%/ и метана /10%/ при избыточном давлении 5 атм.

Прошедший через коллиматор гамма-квант с энергией E_γ взаимодействует в точке I с ксеноном, возбуждая атом и образуя фотоэлектрон с энергией $E_\gamma - E_K$, где $E_K = 34,6$ кэВ. Возбуждение атома либо снимается испусканием электронов Оже с энергией $(E_K - 2E_L)$, равной $\sim 24,5$ кэВ, либо испусканием

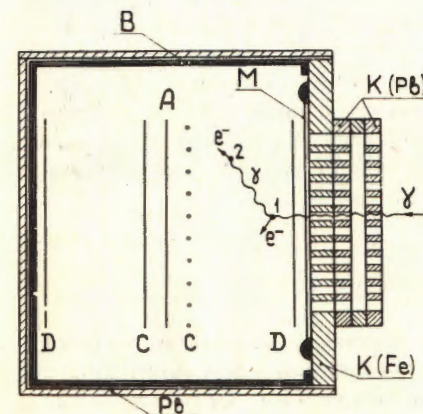


Рис.2. Схематическое изображение детектора.

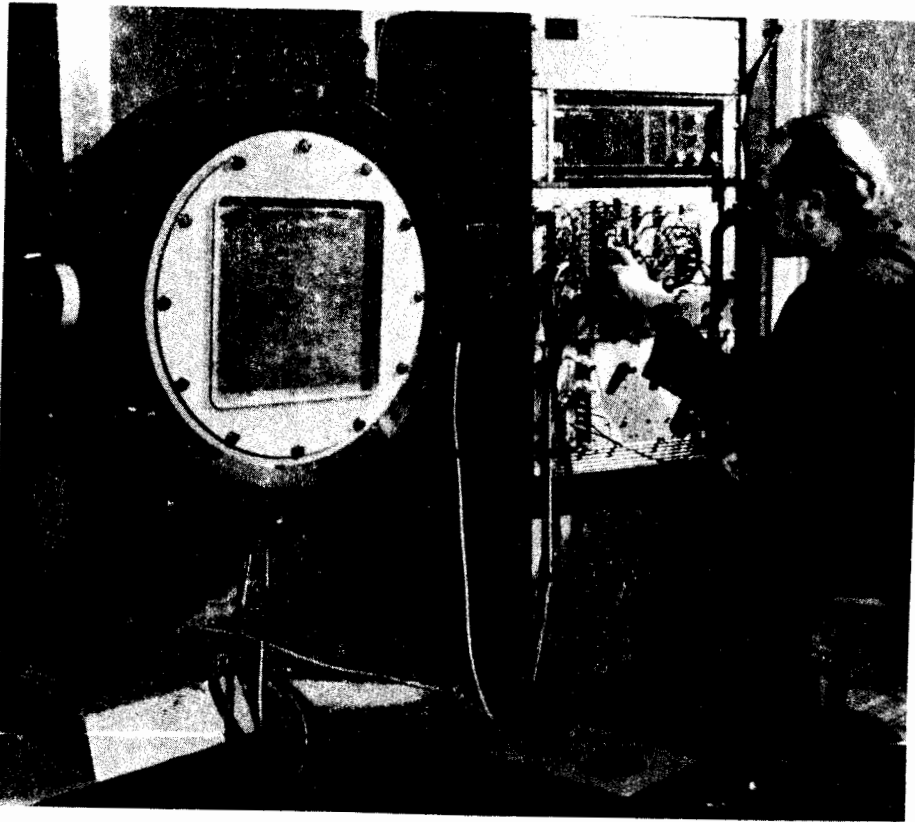


Рис.3. Общий вид ГКМ

флуоресцентных квантов с энергией 30,4 кэВ. Средняя длина свободного пробега составляет 3,4 см и в точке 2 /рис.2/ происходит взаимодействие флуоресцентного кванта с атомом ксенона. Таким образом, в некоторых случаях первичному гамма-кванту может соответствовать два разделенных во времени регистрируемых события - истинное /1/ и фоновое /2/. Собственное пространственное разрешение детектора определяется величиной пробега фотоэлектронов. При возрастании энергии гамма-квантов от 60 до 100 кэВ величина пробега изменяется от ~ 0,8 мм до ~ 4 мм /3/.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТЕКТОРА

Параметры детектора исследовались с помощью гамма-источника ^{241}Am / $E_\gamma = 60$ кэВ/, который с соответствующими коллиматорами можно использовать как точечный - при измерении эффективности

и однородности, или как линейный - при определении пространственного разрешения и линейности.

3.1. Эффективность

На рис.4 /кривая 1/ показана рассчитанная зависимость эффективности регистрации детектором излучения, прошедшего через коллиматор в зависимости от энергии γ -квантов, учитывалось ослабление потока фольгой М и слоем газа МД толщиной 3 мм. Для гамма-квантов с энергией 60 кэВ эта величина эффективности (ϵ) была измерена по счету сигналов с анода МПК. При этом интенсивность точечного источника определялась с помощью ППД [Ge(Li)]. Для исключения вклада флуоресцентных квантов в измеряемый счет при определении ϵ регистрирующая электроника имела мертвое время, в несколько раз превышающее максимальное время дрейфа заряда из промежутков ДС. Измеренное значение эффективности с хорошей точностью совпало с расчетной величиной /в пределах 1%/.

При работе гамма-камеры быстрый временной процессор осуществляет отбор событий с эффективностью $\epsilon_{\text{отб}}$. При этом за время, определяемое полной величиной задержки ЛЗ, в каждом из 5 сигнальных трактов требуется наличие одного и только одного сигнала. Истинная эффективность детектора ϵ^* может быть определена выражением: $\epsilon^* = \epsilon \cdot (\epsilon_{\text{отб}} - P_\phi)$, где P_ϕ - вероятность регистрации флуоресцентного кванта в качестве полезного события. Отбраковка событий временным процессором составляла 25%, т.е. $\epsilon_{\text{отб}} = 0,75$. Измеренное соотношение числа событий в изображении точечного источника к полному числу событий по площади детектора дало значение величины $P_\phi = 0,15$. Кривая 2 на рис.4 показывает значение величины ϵ^* в зависимости от энергии первичных гамма-квантов. Для энергии ~ 60 кэВ измеренное значение ϵ^* составляет 42%.

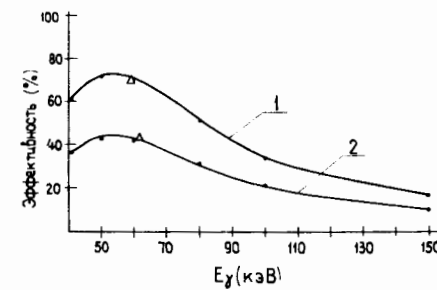


Рис.4. Зависимость эффективности регистрации детектором гамма-квантов, прошедших через коллиматор, от энергии γ -квантов.

3.2. Пространственное разрешение

На рис.5 показана величина собственного пространственного разрешения в зависимости от удаления линейного источника от центра детектора по x -координате. Шаг перемещения составлял

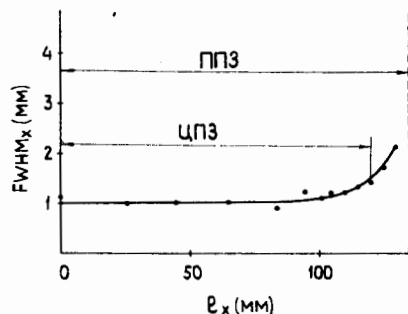


Рис.5. Пространственное разрешение детектора в зависимости от расстояния от его центра.

5 мм. Аналогичная зависимость была получена для y -координаты. Полное поле зрения /ППЗ/ детектора определялось размерами коллиматора и составляло 270 мм. Область центрального поля зрения /ЦПЗ/, обладающая более хорошими

характеристиками, определялась по этим зависимостям и равна 240 мм. Величина пространственного разрешения в ЦПЗ не хуже 1,5 мм.

3.3. Однородность

Величина однородности характеризует различие в скорости счета по площади детектора при облучении его равномерным потоком гамма-квантов. Определялась интегральная и дифференциальная однородность, при этом точечный источник размещался в центре каждой из 81 ячейки размером $3 \times 3 \text{ см}^2$, на которые была разделена вся площадь детектора.

Интегральная однородность I определялась как:

$$I = \pm 100 \left(\frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max} + N_{\min}} \right),$$

где N_{\max} и N_{\min} - максимальное и минимальное значения скорости счета по площади детектора. Для ППЗ величина $I = \pm 7,8\%$, для ЦПЗ - $I = \pm 6,8\%$.

Дифференциальная однородность D определялась выражением:

$D = \pm 100 \sigma_{\max} / \Sigma$, где σ_{\max} - максимальная разность скорости счета для любых соседних ячеек по всей площади детектора, Σ - суммарное значение скорости счета в этих ячейках. Для ППЗ получено значение $D = \pm 6,1\%$.

3.4. Линейность

Линейность детектора характеризует величину пространственного искажения изображения, получаемого гамма-камерой. При измерении линейности источник перемещался по заданному направлению с шагом 5 мм. Определялись абсолютная (L_a) и дифференциальная (L_g) линейности. Максимальное отклонение измеренной координаты от истинного значения есть величина L_a , дифференциальная линейность представляет собой среднеквадратичное отклонение измеренных величин от прямой, проведенной методом наименьших квадратов.

Значения линейностей для ЦПЗ и ППЗ совпадали, и для x -координаты были следующими: $L_a = 1,2 \text{ мм}$; $L_g = 0,75 \text{ мм}$. Для y -координаты получены близкие значения.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ КЛИНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

ГКМ предназначена для визуализации исследуемых органов при применении радиофармацевтических препаратов с энергией испускаемых гамма-квантов в диапазоне 50-100 кэВ. При исследовании возможностей ГКМ использовались радионуклиды ^{241}Am / $E_\gamma = 60 \text{ кэВ}$ / , ^{133}Xe / $T_{1/2} = 5,3 \text{ сут}$; $E_\gamma = 80 \text{ кэВ}$ / и ^{197}Hg / $T_{1/2} = 65 \text{ ч}$; $E_\gamma = 77 \text{ кэВ}$ / .

На рис.6 показано изображение бар-фантома, состоящего из чередующихся полос свинца и оргстекла шириной по 2 мм, полученное при облучении его удаленным источником ^{197}Hg .

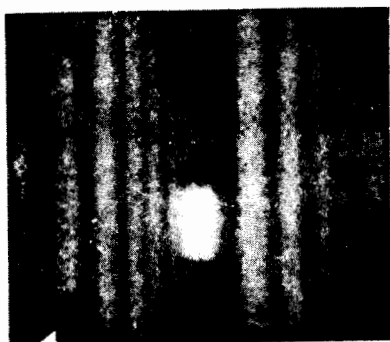
На рис.7а приведено изображение фантома, содержащего набор "холодных" и "горячих" очагов ^{241}Am , полученное с помощью ГКМ. Изображение этого же фантома, полученное на традиционной гамма-камере со сцинтилляционным детектором (NaJ), показано на рис.7б.

Для оценки качества получаемого на ГКМ изображения использовался фантом щитовидной железы с холодным и горячим очагами, изготовленный с использованием ^{197}Hg . За время экспозиции, равное 7 мин, на ГКМ было зарегистрировано 34000 событий - изображение фантома показано на рис.8а. За время экспозиции на сцинтилляционной гамма-камере, равное 4 мин, зарегистрировано 48000 событий. Полученное изображение показано на рис.8б.

Проведенные исследования показали, что ГКМ обладает высоким пространственным разрешением при достаточно хорошей чувствительности, что позволяет повысить качество проводимых обследований. В качестве примера на рис.9 показано изображение почек больного при введении в них радиоизотопа ^{197}Hg .



Рис.6. Изображение бар-фантома, набор свинцовых полос которого выполнен с шагом 2 мм. Бар-фантом облучался удаленным источником ^{197}Hg .

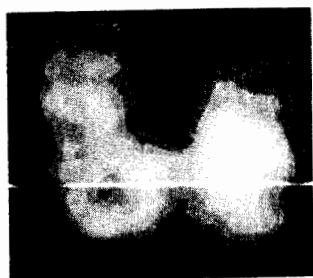


а/

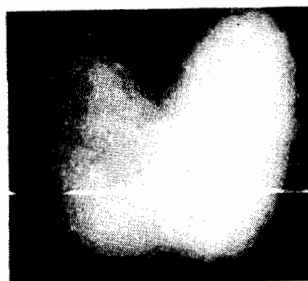


б/

Рис.7. Изображение фантома, полученное на сцинтилляционной гамма-камере /б/ и на ГКМ /а/. Фантом \varnothing 250 мм содержит радионуклид ^{241}Am . Время набора статистики было одинаковым.



а/



б/

Рис.8. Изображение фантома щитовидной железы, полученное на сцинтилляционной гамма-камере /б/ и на ГКМ /а/. Радионуклид - ^{197}Hg .

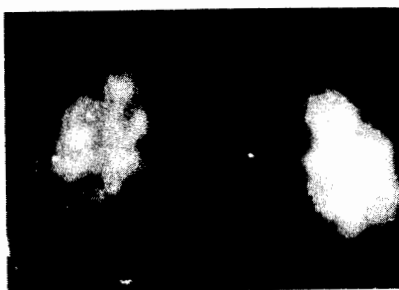


Рис.9. Изображение почек больного, полученное при его обследовании на ГКМ. Радионуклид - ^{197}Hg .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная гамма-камера на основе МПК высокого давления обладает хорошей чувствительностью, высокими пространственным разрешением, линейностью и однородностью. Это позволяет успешно применять ее для диагностики в диапазоне энергии гамма-квантов 50-100 кэВ. Возможно создание гамма-камер с большой чувствительной площадью при относительно низкой стоимости. Детектор и разработанная электронная аппаратура^{5,6/} позволяют обеспечить быстродействие до 250000 соб/с при 20-процентных просчетах, что является важным при проведении медицинских обследований с применением короткоживущих радионуклидов. Гамма-камера обладает стабильными характеристиками и хорошими эксплуатационными качествами. Следует отметить, что в течение более чем 6 мес с момента заполнения детектора газовой смесью изменения характеристик не замечено.

При увеличении давления газового наполнения детектора до 10 атм или более возможно применение гамма-камеры для обследований, проводимых с использованием $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

В заключение авторы выражают благодарность академику А.М.Балдину за поддержку и интерес к работе, а также Л.Г.Макарову за постоянный интерес к работе.

Авторы признательны Б.К.Курятникову, М.Н.Михайловой, Т.Нетушипу, Г.А.Коровкиной, С.А.Рожнятовской, Чан Дик Тханю, Р.М.Базловой, В.А.Белякову, Н.П.Волкову, А.Е.Московскому, Н.Н.Тиханчеву, Ю.Г.Федулову за помощь при изготовлении установки.

Авторы благодарны профессору К.Д.Калантарову за большую помощь в получении сравнительных характеристик гамма-камеры.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Параметры детектора ГКМ

Детектор	МПК с дрейфовыми промежутками
Газ	Xe + 10% CH ₄
Толщина слоя газа	7,6 см
Давление	5 атм
Погонная задержка ЛЗ	2 нс/мм
Полная задержка ЛЗ	600 нс
Волновое сопротивление ЛЗ	700 Ом
Чувствительная площадь детектора	270 x 270 мм ²

Характеристики детектора /270 x 270 мм²/, измеренные
в соответствии со стандартом NEMA/7/.

Пространственное разрешение	-1,0 мм
Абсолютная линейность	1,2 мм
Дифференциальная линейность	0,75 мм
Интегральная однородность счета по площади	7,8%
Дифференциальная однородность	6,1%
Загрузочная способность	250000 с ⁻¹

ЛИТЕРАТУРА

1. Zimmerman R.E. et al. IEEE Trans. on Nucl.Sci., 1981, Vol. NS-28, No 1, p. 55.
2. Заневский Ю.В. и др. ОИЯИ, P13-81-298, Дубна, 1981.
3. Анисимов Ю.С. и др. ОИЯИ, P13-81-541, Дубна, 1981.
4. Gamma-II System, Dital Equipment Corporation, Marlboro, Massachusetts.
5. Иванов А.Б., Черненко С.П. ОИЯИ, P10-83-370, Дубна, 1983.
6. Иванов А.Б. и др. ОИЯИ, P10-83-383, Дубна, 1983.
7. Sano R.M. Medical Radionuclide Imaging 1980, vol. 2, p. 141-159; International Atomic Energy Agency, Vienna, 1981.

Анисимов Ю.С. и др. 18-83-907
Гамма-камера высокого разрешения на основе многопроволочного
позиционно-чувствительного детектора

Представлена информация о параметрах гамма-камеры, разработанной для регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий 50 ÷ 100 кэВ. Детектором является пропорциональная камера, работающая на смеси ксенона с 10% метана при избыточном давлении 5 атм. Съём информации осуществляется с помощью электромагнитных линий задержки. Эффективность детектора в указанном диапазоне энергий - 25 ÷ 42%. Собственное пространственное разрешение не хуже 1,5 мм. Рабочая площадь - 270x270 мм². Приведены результаты испытания гамма-камеры с помощью бар-фантомов, показаны примеры использования установки для диагностики.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Anisimov Yu.S. et al. 18-83-907
Gamma-Camera of High Resolution Based on the Multiwire
Position-Sensitive Detector

Information is presented on the parameters of a gamma-camera developed to detect γ -quanta over an energy range of 50 ÷ 100 KeV. A proportional chamber, which operates on a Xe + 10% CH₄ mixture at a pressure of 5 atm, is used as a detector. The information is read out by means of electromagnetic delay lines. The efficiency of the detector in this energy range is 25 ÷ 42%. The proper space resolution is no worse than 1.5 mm. The effective area is 270x270 mm². Results of testing the gamma-camera by bar-phantoms are presented; examples of using the device for diagnostics are shown.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов