

Б. 25



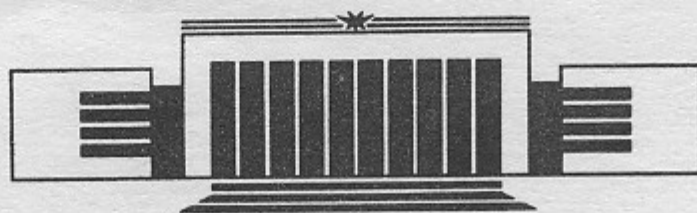
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СО АН СССР

С.Е. Бару, А.Г. Хабахпашев, Л.И. Шехтман

**МНОГОПРОВОЛОЧНАЯ  
ПРОПОРЦИОНАЛЬНАЯ КАМЕРА  
ДЛЯ ЦИФРОВОЙ  
РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**



**ПРЕПРИНТ 89-39**



**НОВОСИБИРСК**

Многопроволочная пропорциональная камера  
для цифровой рентгенографической установки

С.Е. Бару, А.Г. Хабахпашев, Л.И. Шехтман

Институт ядерной физики  
630090, Новосибирск 90, СССР

АННОТАЦИЯ

Описана быстродействующая однокоординатная многопроволочная пропорциональная камера для цифровой рентгенографии. Для получения одинакового разрешения по всей длине камеры при высоком быстродействии и квантовой эффективности анодные проволочки в камере расположены не параллельно друг другу, а по радиальным направлениям с центром в фокусе рентгеновской трубки цифровой рентгенографической установки. Для компенсации изменения коэффициента газового усиления вдоль анодных проволочек катодные плоскости соответствующим образом наклонены по отношению к анодной. Характеристики камеры: пространственное разрешение 1,2 мм, эффективность 28% (для энергии фотонов  $\sim 60$  кэВ), быстродействие 600 кГц/кан.

© Институт ядерной физики СО АН СССР

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] была описана цифровая рентгенографическая установка для медицинской диагностики, позволившая снизить дозы облучения в 30—100 раз и получать рентгеновское изображение в цифровом виде, преимущества которого сейчас хорошо известны. Для получения снимка с помощью щелевого коллиматора вырезается тонкий веерообразный пучок рентгеновского излучения, который после прохождения через тело пациента попадает в узкое входное окно многопроволочной пропорциональной камеры (рис. 1). Камера измеряет распределение излучения по горизонта-

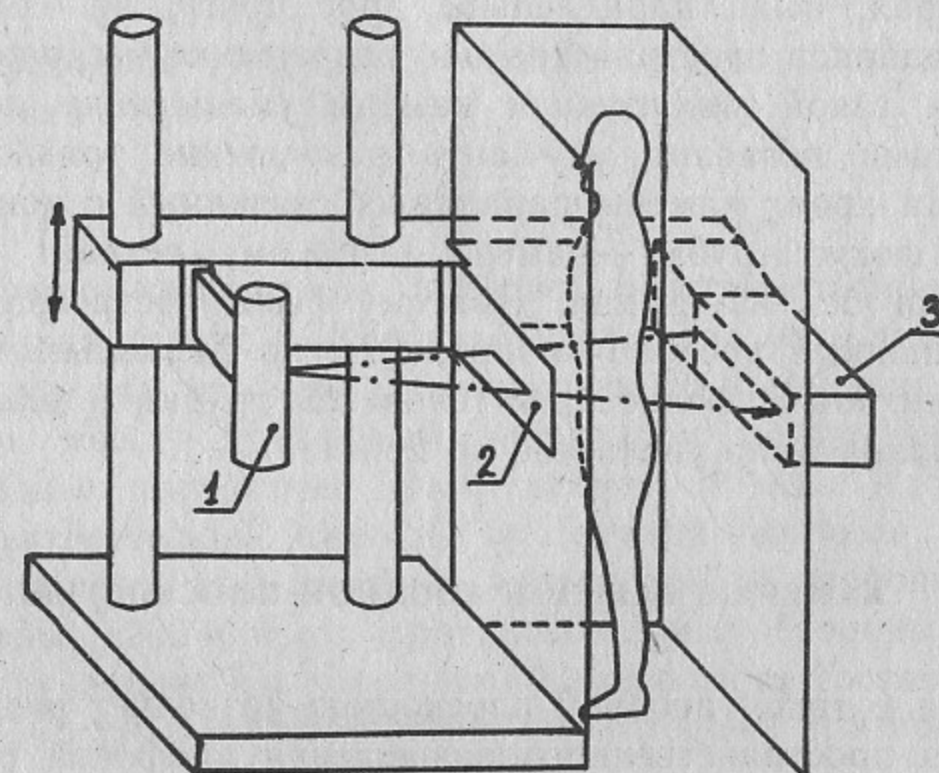


Рис. 1. Цифровая рентгенографическая установка:  
1 — рентгеновская трубка; 2 — щелевой коллиматор; 3 — многопроволочная пропорциональная камера.

ли, по другой координате распределение измеряется путем механического сканирования. Для этой цели стандартная рентгеновская трубка, коллиматор и камера одновременно перемещаются по вертикали. Многопроволочная пропорциональная камера (МПК) представляла собой 160 практически независимых счетчиков рентгеновских квантов. Каждая анодная проволока через усилитель-формирователь соединялась с пересчетной схемой. Цифровое изображение накапливалось в памяти ЭВМ.

Основным недостатком первого варианта установки было ограниченное пространственное разрешение пропорциональной камеры. Для цифровой рентгенографии детектор, регистрирующий излучение должен иметь быстродействие 70—100 МГц. При использовании МПК такое быстродействие может быть получено только при параллельном методе съема информации с анодных проволок, причем для уменьшения влияния пространственного заряда на быстродействие, эффективная длина анодных проволок должна составлять несколько сантиметров. Для этого необходимо, чтобы анодные проволоки были направлены на источник излучения. Пространственное разрешение такой камеры определяется шагом анодных проволок. В камере [1] шаг составлял 2 мм. Вследствии того, что анодные проволоки, как и во всех пропорциональных камерах, были параллельны друг другу, на краях снимка из-за параллакса пространственное разрешение несколько ухудшалось. При такой конструкции камеры уменьшение шага между проволоками позволит улучшить разрешение только в центре камеры. На краях камеры параллакс, связанный с конечным расстоянием фокус трубки—камера (1300 мм) оставит разрешение практически без изменения. Поэтому была построена камера, у которой анодные проволоки натянуты по радиальным направлениям с центром в фокусе рентгеновской трубки и шагом  $\sim 1$  мм. Число каналов было увеличено до 256.

#### КАМЕРА С ВЕЕРНОЙ АНОДНОЙ ПЛОСКОСТЬЮ

Камера с такой анодной плоскостью позволяет решить задачу улучшения пространственного разрешения цифровой рентгенографической установки. Однако коэффициент газового усиления (КГУ) пропорциональной камеры зависит от расстояния между анодными проволоками. Поэтому, для исключения изменения КГУ

вдоль анодных проволок и связанного с этим ухудшения амплитудного разрешения и быстродействия камеры, катодные плоскости должны быть установлены под некоторым углом к анодной плоскости. Как следует из работы [2] коэффициент усиления  $M$  зависит от расстояния между анодными проволоками  $S$  и зазора анод-катод  $l$  только через емкость анодной проволоки  $C$ , т. е.

$$M = G[C(S, l)], \quad (1)$$

отсюда может быть получено условие постоянства КГУ вдоль анодной проволоки

$$dM = \frac{\partial M}{\partial C} \left( \frac{\partial C}{\partial l} dl + \frac{\partial C}{\partial S} dS \right) = 0. \quad (2)$$

Емкость анодной проволоки

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0}{\frac{\pi l}{S} - \ln\left(\frac{2\pi a}{S}\right)}, \quad (3)$$

где  $a$  — радиус анодной проволоки. Из (2) и (3) получим:

$$\frac{dl}{l} = \frac{dS}{S} - \frac{dS}{\pi l}. \quad (4)$$

В наших условиях  $l=2$  мм,  $S=1.2$  мм и с ошибкой около 10% можно считать

$$\frac{dl}{l} = \frac{dS}{S}. \quad (4')$$

Конструкция камеры для цифровой рентгенографической установки показана на рис. 2. Как и в [1], камера размещена в дюралевом корпусе так, что пучок рентгеновского излучения попадает в промежуток между дрейфовым электродом и верхним катодом. Длина анодных проволок 50 мм, диаметр 10 мкм. Расстояние от фокуса рентгеновской трубки до центра камеры составляет 1300 мм, при этом шаг анодных проволок со стороны входного окна камеры 1200 мкм, с противоположной стороны 1246 мкм. Зазор между анодной и катодными плоскостями составляет около 2 мм, наклон катодных плоскостей, вычисленный при помощи соотношения (4'), 77 мкм.

Для проведения измерений зависимости коэффициента от координаты вдоль анодной проволоки камера помещалась в специаль-

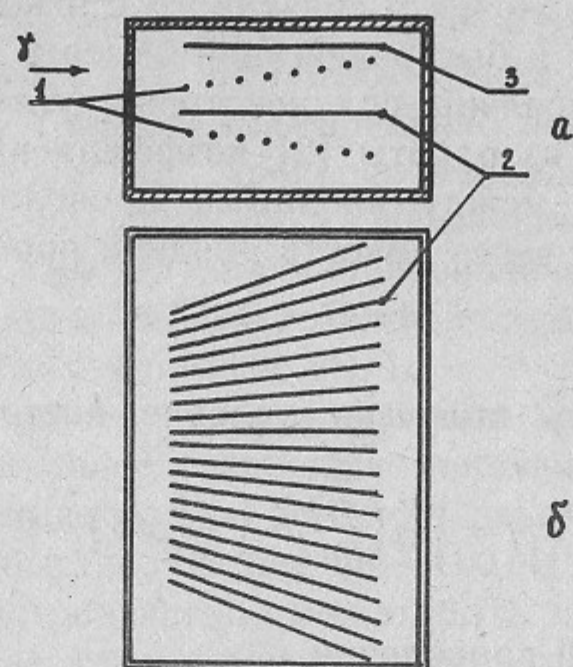


Рис. 2. Многопроволочная пропорциональная камера: а — вид с торца; б — вид сверху на анодную плоскость:  
1 — катодные плоскости; 2 — анодная плоскость; 3 — дрейфовый электрод.

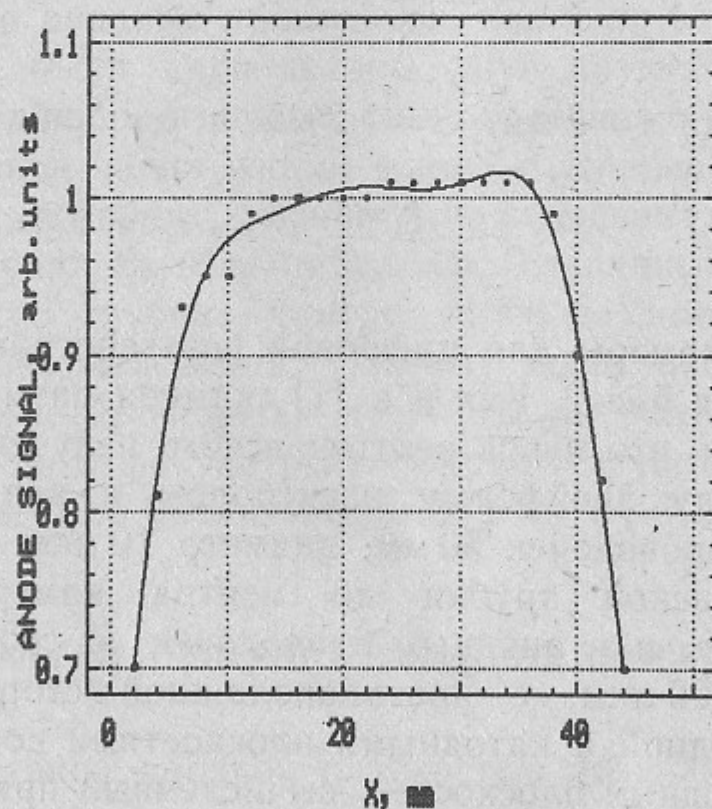


Рис. 3. Зависимость амплитуды сигнала с камеры от координаты вдоль анодной проволоочки.

ный корпус с окном из лавсана в верхней крышке. Источник  $\text{Cd}^{109}$  и коллиматор со щелью  $2 \times 40$  мм размещались над лавсановым окном корпуса камеры. Измеренная зависимость представлена на рис. 3. На участке длиной 40 мм от  $x = 5$  мм до  $x = 45$  мм относительный разброс значений КГУ не превышает 10%.

Для оценки изменения КГУ вдоль анодной проволоочки при веерной анодной и параллельных катодных плоскостях была изготовлена специальная камера уменьшенного размера. Измерения, проведенные на этой камере, показали, что при длине рабочего участка анодной проволоочки 40 мм изменение коэффициента усиления составит 27%. Таким образом, наклон катодных плоскостей позволяет компенсировать изменение КГУ, возникающее за счет веерности анодной плоскости.

### ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ

При поглощении рентгеновского кванта атомом Хе образуются вторичные частицы: фотоэлектроны, Оже-электроны, флуоресцентные фотоны. Пробеги этих частиц влияют на пространственное разрешение камеры, приводя в некоторых случаях к срабатыванию нескольких каналов одновременно.

Поглощение рентгеновского кванта с энергией выше  $K$ -края Хе (34.6 кэВ) происходит в основном двумя способами: на  $K$ -оболочке (~80%) и на  $L$ -оболочке (~20%). При поглощении на  $K$ -оболочке кроме фотоэлектрона с энергией ( $E_\gamma - 34.6$  кэВ) возможно испускание флуоресцентного фотона с энергией от 29.5 кэВ до 34.6 кэВ либо Оже-электрона ~24 кэВ. При поглощении на  $L$ -оболочке образуется фотоэлектрон с энергией ( $E_\gamma - 5.4$  кэВ). При энергии  $\gamma$ -квантов 60 кэВ фотоэлектроны и Оже-электроны имеют пробег в Хе при давлении 3 атм ~1 мм и могут вызывать срабатывание двух соседних каналов, а фотоэлектроны, образующиеся при поглощении первичных  $\gamma$ -квантов на  $L$ -уровне даже 3 каналов. Более подробно процесс поглощения рентгеновских квантов в Хе рассмотрен в работе [3]. В этой работе обсуждаются также алгоритмы для программ моделирования описанных процессов. Использование этих алгоритмов с учетом геометрии нашей камеры позволило вычислить вероятности  $h_i$  одновременного срабатывания  $i$ -го канала при поглощении рентгеновского кванта в канале  $i=0$ . Расчет проводился для излучения трубки с вольфрамовым анодом

при напряжении 70 кВ, медном фильтре 0.3 мм и давлении рабочего газа 3 атм.

Таблица

Вероятности срабатывания  $i$ -го канала при поглощении кванта в канале с  $i=0$  (моделирование)

№ Канала	$h, \%$
1	11.2
2	1.6
3	0.46
4	0.34
5	0.23

Результаты, приведенные в таблице, показывают, что вероятность срабатывания двух соседних каналов намного больше, чем вероятность срабатывания каналов, находящихся на большем расстоянии друг от друга. Следовательно, основные искажения, связанные с двойной регистрацией квантов, будут вызывать совпадения соседних каналов. Для их исключения была использована соответствующая схема отбора.

Совпадение соседних каналов происходит в основном, когда фото- или Оже-электрон пересекает границу между ними. При этом, для таких событий, рожденных, как правило, вблизи границы между каналами, первичная ионизация разделяется на две части. Поэтому исключение таких совпадений улучшает как пространственное так и амплитудное разрешение. Существенным недостатком метода подавления совпадений является снижение эффективности системы примерно на 30% для рентгеновского излучения со средней энергией 50—60 кэВ.

Пространственное разрешение детекторов с каналной структурой (примером такого детектора является МПК с указанным выше способом съема информации) полностью описывается функцией формы канала—зависимостью скорости счета канала от смещения узко коллимированного источника излучения. На рис. 4 приведена кривая формы канала, полученная при облучении пучком рентгеновской трубки с напряжением 70 кВ, с фильтром 0.3 мм меди (средняя энергия 47 кэВ). Ширина кривой на половине высоты составляет 0.84 мм. Эта величина меньше, чем шаг анодных проволочек — 1.2 мм, поскольку подавление совпадений приводит

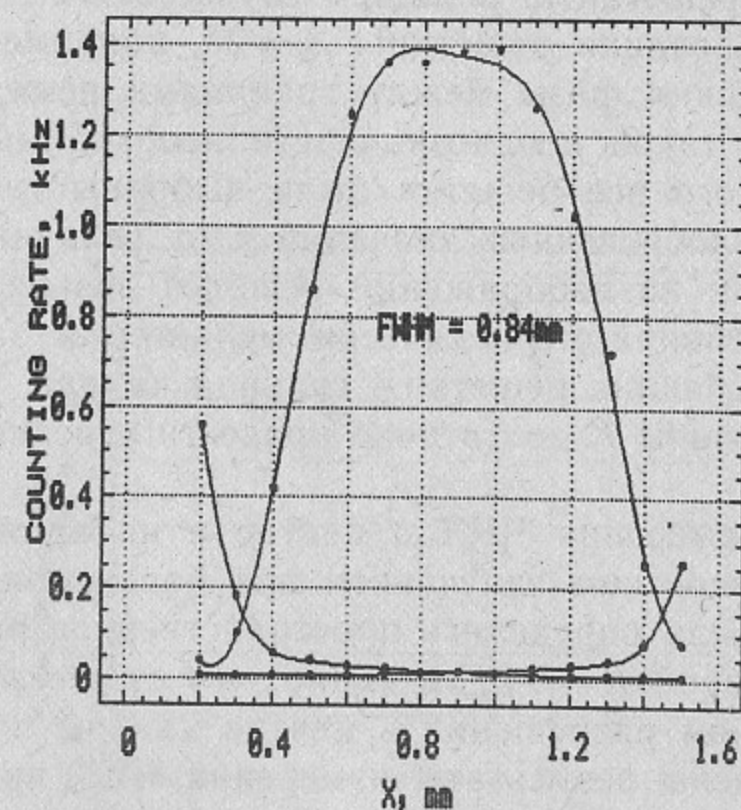


Рис. 4. Форма канала пропорциональной камеры. Справа и слева от основного графика начинаются аналогичные кривые для соседних каналов.

в основном к исключению событий, регистрируемых вблизи границы каналов.

Однако, для многих практических целей удобнее описывать пространственное разрешение одним параметром с помощью частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) — пространственной частотой на определенном уровне контрастности. Способ определения ЧКХ описан в [3]. Для ее измерения следует взять набор решеток с периодами  $\lambda_i$ , изготовленных из материала, непрозрачного для рентгеновского излучения. При съемке таких решеток зависимость скорости счета от номера канала строки (или столбца, если измеряется разрешение по вертикали) имеет периодический вид. Под ЧКХ понимается выражение

$$K(\nu) = \frac{N_{\max} - N_{\min}}{N_{\max}}, \quad (5)$$

где  $\nu = 1/\lambda$  — пространственная частота;  $N_{\min}$  — среднее по всем каналам, в которых скорость счета меньше, чем средняя скорость  $\bar{N}$ ;  $N_{\max}$  — среднее по каналам, для которых  $N_i > \bar{N}$ .

Так определенная ЧКХ хорошо описывает пространственное

разрешение в тех случаях, когда размер канала детектора  $\delta$  много меньше периода решетки  $\lambda$ . В нашем случае эти величины сравнимы и при использовании решетки с  $\lambda=2\delta$ , например, значение  $K$  зависит от смещения фазы между границами решетки и канала. Для исключения такой неоднозначности необходимо усреднить  $K$  по фазе. Для этого все решетки были выбраны так, чтобы  $\lambda/2\delta$  отличалась от целочисленных значений и от величин кратных 0.5. При этом условии на изображении решетки возникают «биения», т. е. размах колебаний периодически меняется в зависимости от смещения фазы граница решетки—граница канала. В этом случае для расчета величины  $K$  достаточно провести усреднение по периоду биений.

Результаты измерения ЧКХ в центре и на краях камеры при облучении рентгеновским излучением при напряжении 70 кВ показаны на рис. 5. Если определить пространственное разрешение как частоту, при которой  $K=0.5$ , то видно, что существенных отличий в пространственном разрешении в центре камеры и на краях нет. На рис. 6 приведены результаты измерений ЧКХ при двух напряжениях на трубке (70 кВ и 100 кВ). При повышении энергии излучения пространственное разрешение падает от  $0.68 \text{ мм}^{-1}$  при 70 кВ до  $0.56 \text{ мм}^{-1}$  при 100 кВ. Как указывалось выше, схема отбора исключает события, в которых пробег электрона пересекает хотя бы частично два канала. Такой отбор событий существенно ослабляет зависимость пространственного разрешения от энергии рентгеновского излучения, несмотря на рост пробегов фотоэлектронов.

Было измерено также пространственное разрешение без включения схемы отбора при напряжении на трубке 70 кВ (рис. 6). Как и следовало ожидать пространственное разрешение при этом ухудшилось от  $0.68 \text{ мм}^{-1}$  до  $0.36 \text{ мм}^{-1}$ .

В рентгенографии для фотопленок и РЭОПов разрешение определяют с помощью ЧКХ на уровне контрастности  $K=0.03 \div 0.05$  [4]. Естественно, прямое сравнение пространственных частот, определенных при разных  $K$ , неправомерно. Для сравнения различных детекторов было бы весьма полезно найти количественный способ пересчета частот. Пока можно лишь указать, что для фотопленки пространственная частота, определенная при  $K=0.03 \div 0.05$  в 2—3 раза превышает частоту при  $K=0.5$ . Примерно к таким же результатам приводит визуальное сравнение кадров полученных на пленках и с помощью МПК.

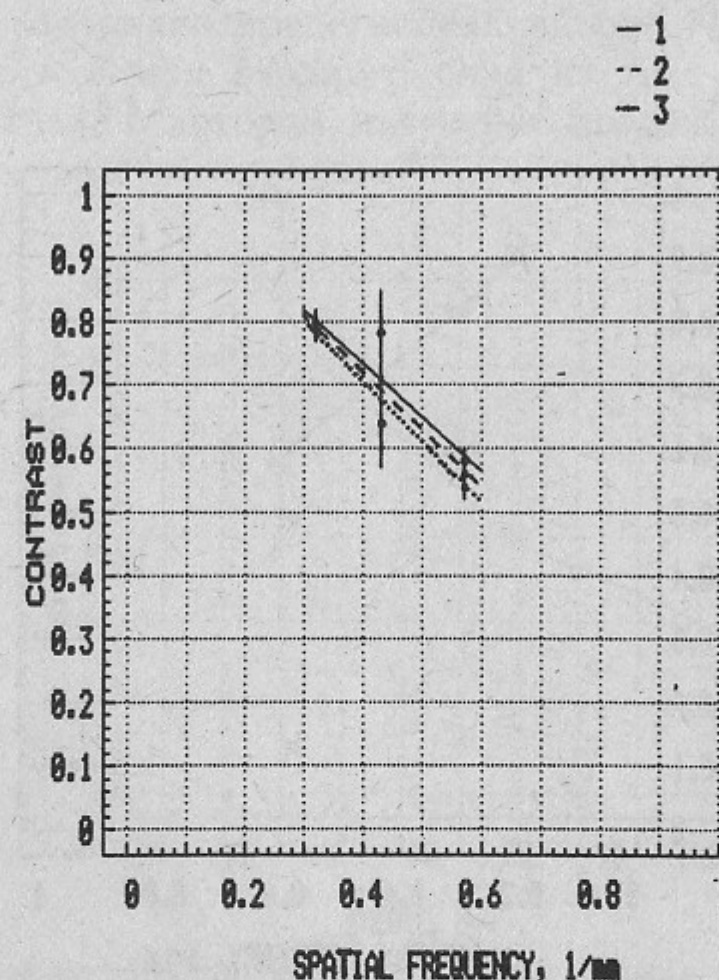


Рис. 5. Частотно-контрастные характеристики детектора: 1—в центре МПК; 2—на левом краю МПК (в области каналов с номером  $\sim 20$ ); 3—на правом краю МПК (в области каналов с номером  $\sim 240$ ). Точность измерения при  $\nu=0.46$  существенно хуже, чем при других значениях, поскольку период соответствующей измерительной решетки близок к удвоенному размеру канала МПК. Это приводит к тому, что биения, возникающие на изображении решетки имеют большой период, что вызывает значительные погрешности при вычислении величины  $K$ .

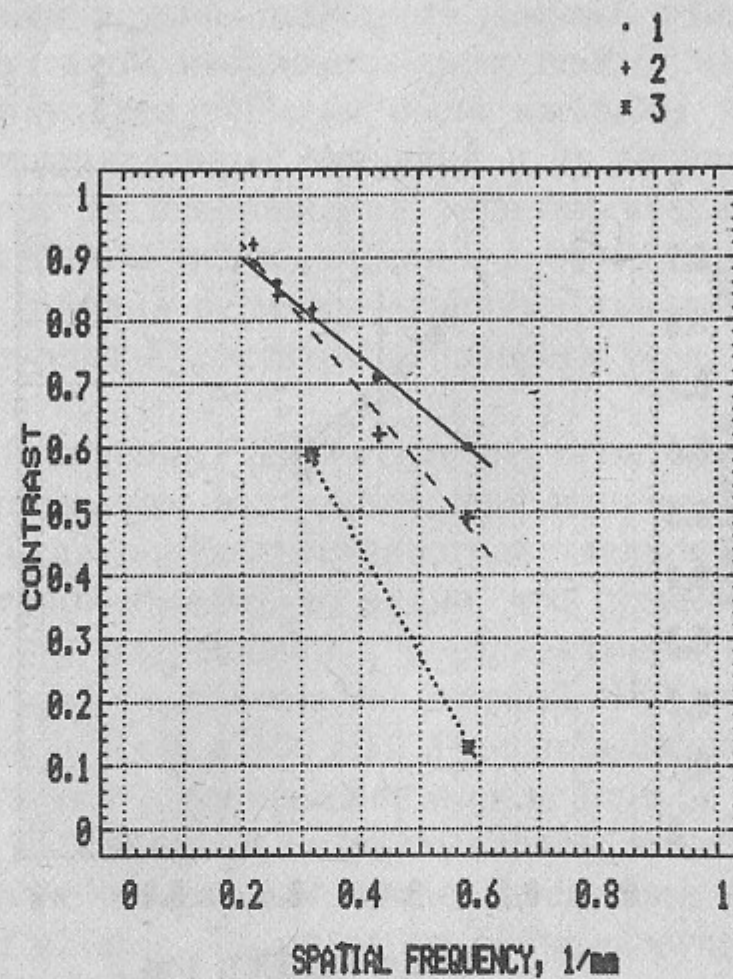


Рис. 6. Частотно-контрастные характеристики детектора, измеренные при разных напряжениях на рентгеновской трубке и при различных условиях отбора событий: 1 — при напряжении на трубке 70 кВ; 2 — при напряжении на трубке 100 кВ; 3 — при отключенной схеме отбора.

Расчетная зависимость эффективности пропорциональной камеры от энергии излучения представлена на рис. 7. При проведении расчета учтена толщина входного окна из Al — 1 мм; толщина слоя рабочего газа, в котором излучение поглощается без регист-

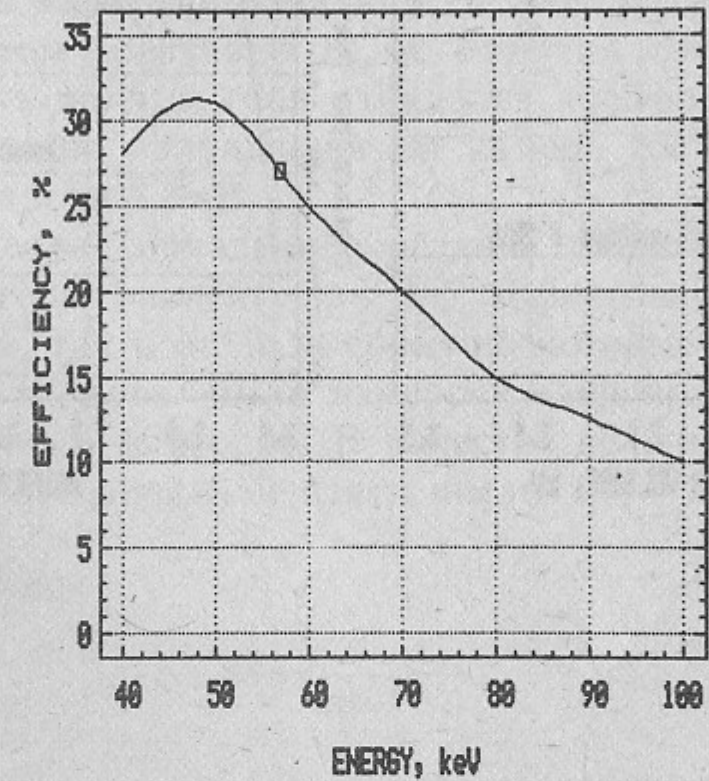
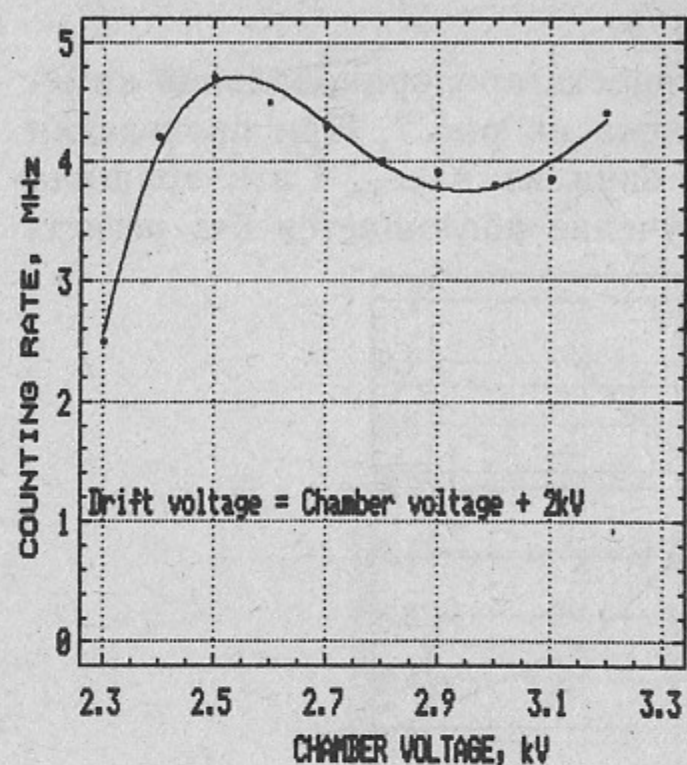


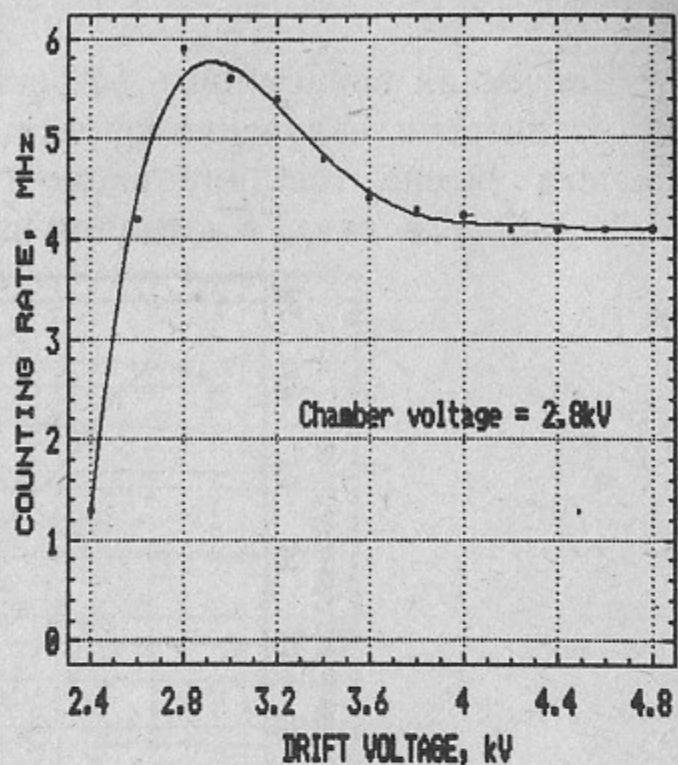
Рис. 7. Квантовая эффективность пропорциональной камеры (расчет). На графике нанесен результат измерения эффективности при энергии 57 кэВ (К-линия W).

рации, — 27 мм, эффективная длина анодных поволочек  $\sim 45$  мм. Расчет сделан для рабочей смеси Xe + 20% CO<sub>2</sub> при давлении 3 атм. На этом же графике нанесен результат измерения эффективности регистрации излучения с энергией 57 кэВ (W<sup>181</sup>). Измерялась полная скорость счета рентгеновских квантов (схема отбора была выключена, одновременное срабатывание двух и более каналов считалось за одно событие). Для мониторинга использовался детектор на основе кристалла CsI(Na) с ФЭУ-84. Измеренная эффективность 28% достаточно хорошо согласуется с результатами расчетов.

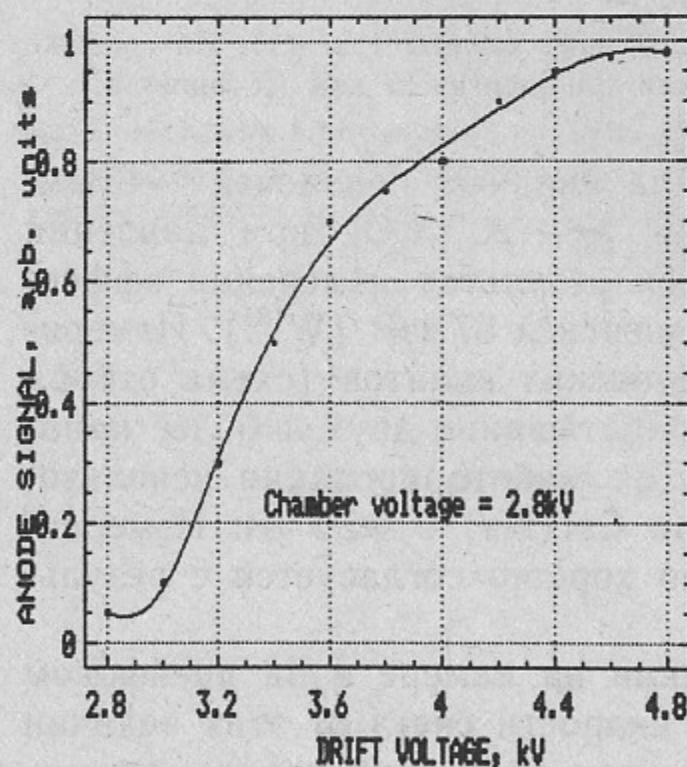
Для выбора рабочего напряжения на камере и на дрейфовом электроде измерялись зависимости скорости счета от этих величин (рис. 8, а, б). Обе кривые получены при облучении камеры рентгеновским излучением от трубки с вольфрамовым анодом при напряжении 70 кВ и фильтре 0.3 мм меди. При увеличении напряжения на камере растет КГУ и возрастает доля регистрируемых событий



a



б



в

Рис. 8.

a—Зависимость скорости счета детектора от напряжения на катоде МПК; б—зависимость скорости счета детектора от напряжения на дрейфовом электроде; в—зависимость амплитуды сигнала с МПК от напряжения на дрейфовом электроде.

с малой амплитудой. Такие события в основном связаны с совпадениями соседних каналов, которые подавляются схемой отбора. Этим объясняется понижение эффективности на плато при увеличении напряжения на камере и дрейфовом электроде.

Рабочее напряжение на камере выбирается в центре плато. Для выбора рабочего напряжения на дрейфовом электроде кроме кривой 8,б была измерена зависимость амплитуды события от напряжения на этом электроде (8,в). Рабочая точка выбрана так, чтобы обеспечить полный сбор заряда из дрейфового промежутка. Выбранное значение напряжения на камере составляет 2.8 кВ на дрейфовом электроде 4.8 кВ.

При исключении совпадений соседних каналов полная эффективность детектора зависит как от эффективности регистрации квантов камерой, так и от доли событий, которые вызывают совпадения соседних каналов. Была измерена зависимость числа совпадений от различных факторов. В качестве величины, характеризующей количество совпадений взято число  $h = \sum_i h'_i$ , которое вычис-

ляется по формуле

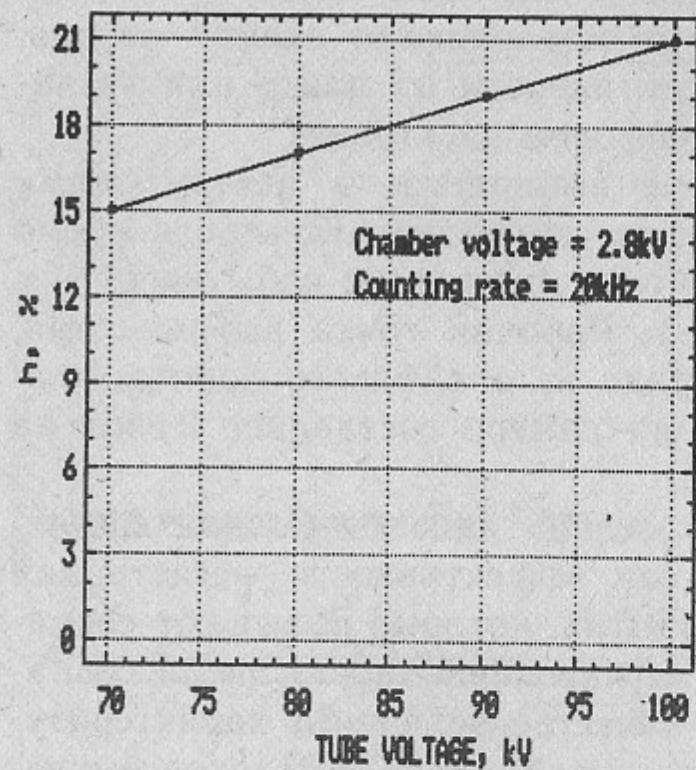
$$h = \frac{N - N_0}{2(N + N_0)}, \quad (6)$$

где  $N$ —скорость счета без подавления совпадений;  $N_0$ —скорость счета с подавлением совпадений. Здесь  $h'_i$  учитывает только регистрацию электронов в соседних каналах.

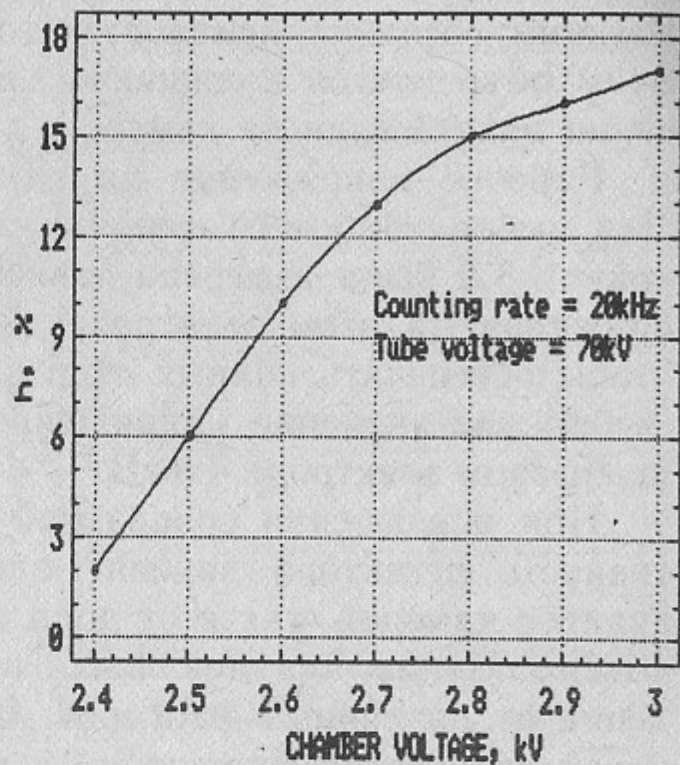
Зависимость  $h$  от напряжения на рентгеновской трубке приведена на рис. 9,а. С увеличением энергии излучения растут пробеги фотоэлектронов, поэтому увеличивается и доля совпадений. Зависимость числа совпадений от напряжения на камере представлена на рис. 9,б. Как отмечалось выше доля таких событий растет с напряжением из-за роста КГУ. Повышение загрузки камеры приводит к снижению КГУ и, следовательно, к уменьшению величины  $h$ . Зависимость  $h$  от загрузки приведена на рис. 9,в.

Измерения показывают, что доля совпадений может значительно изменяться в зависимости от условий работы камеры. Однако, измеренное значение  $h$  не превосходит 21%. Эта величина  $h$  достигается при минимальной загрузке и напряжении на рентгеновской трубке 100 кВ.

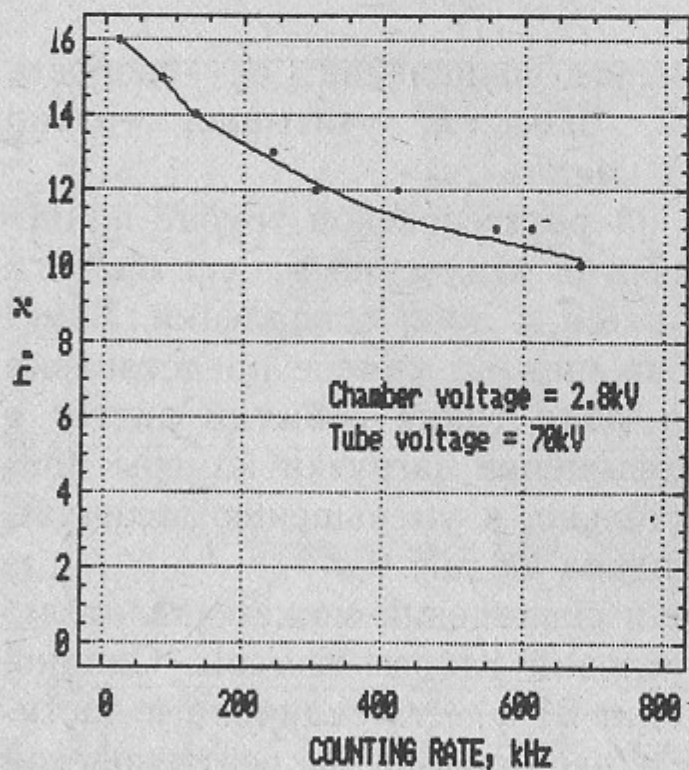




a



б



в

Рис. 9. Зависимость вероятности совпадений:

а — от напряжения на рентгеновской трубке, б — от напряжения на МПК, в — от скорости счета детектора.

## БЫСТРОДЕЙСТВИЕ

Быстродействие МПК определяется объемным зарядом, накапливающимся в рабочем объеме при больших нагрузках [5, 6], а также просчетами электроники регистрации.

Просчеты электроники регистрации определяются мертвым временем усилителей формирователей и мертвым временем схемы отбора. Просчеты усилителей-формирователей приводят к снижению эффективности регистрации одиночных событий с увеличением загрузки. Просчеты схемы отбора приводят к регистрации части совпадений как одиночных событий и, следовательно, к некоторой компенсации просчетов, связанных с мертвым временем усилителей-формирователей. Мертвое время усилителей-формирователей в нашем случае примерно равно мертвому времени схемы отбора. При этом условии скорость счета на выходе схемы отбора составляет

$$\bar{N}_0 = n_0(1 - 3n\tau + 0.5n_c\tau) + 0.25n_cn\tau, \quad (7)$$

где  $n_0$  — частота одиночных событий на входе усилителя-формирователя;  $n_c$  — частота совпадений на входе усилителя-формирователя;  $n = n_0 + n_c$  — полная скорость счета,  $\tau$  — мертвое время. Схема отбора и усилитель-формирователь имеют мертвое время около 200 нс. Соотношение между  $n_0$  и  $n_c$  можно получить, используя выражение (6) и измеренное значение  $h$  при малых нагрузках:  $n_c = 0.43 n_0$  (для  $h = 15\%$ ). При этих условиях просчеты электроники, рассчитанные из (7), при нагрузке 500 кГц составят 36%.

При облучении однородным пучком рентгеновского излучения положительные ионы равномерно заполняют весь объем камеры, что приводит к снижению поля вблизи анодных проволочек и, как следствие, уменьшению КГУ. Снижение коэффициента усиления вызывает падение эффективности камеры с ростом загрузки.

Уменьшение поля удобно описывать снижением эффективного напряжения на камере  $\delta V$ . В работе [6] эта величина получена для пропорциональной камеры с произвольной геометрией

$$\delta V = n_1 q \frac{l^2}{2\mu V_0 C}, \quad (8)$$

где  $n_1$  — скорость счета на единицу длины анодной проволочки;  $q$  — полный заряд, образованный в камере в результате поглощения одного кванта;  $V_0$  — напряжение на камере;  $C$  — погонная

емкость анодной проволоочки;  $l$  — расстояние между катодом и анодом,  $\mu$  — подвижность положительных ионов.

Из (8) видно, что наиболее существенное влияние на быстродействие оказывает величина зазора анод — катод. Это расстояние определяет толщину слоя объемного заряда, который экранирует поле анодных проволоочек. По этой причине была выбрана величина зазора 2 мм.

Зависимости эффективности МПК от интенсивности падающего потока представлены на рис. 10. Результаты измерений приведены для камер с зазором анод — катод 2, 3 и 4 мм. Быстродействием

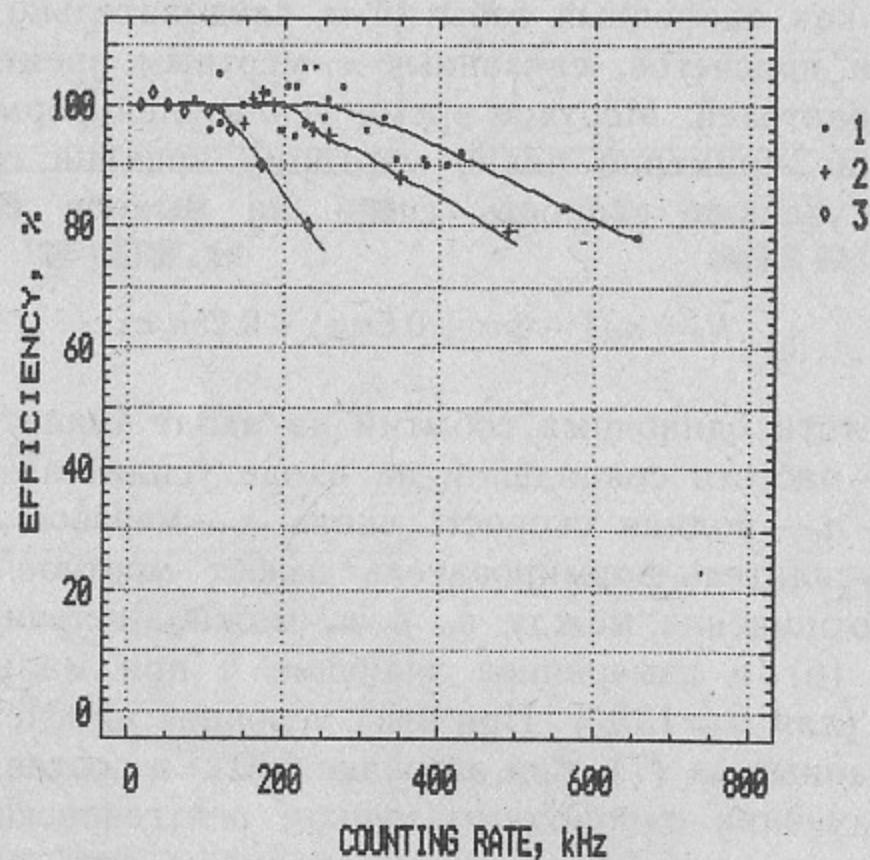


Рис. 10. Зависимость эффективности детектора от загрузки:  
1 — зазор между катодом и анодом МПК ( $l$ ) — 2 мм; 2 —  $l$  = 3 мм; 3 —  $l$  = 4 мм.

МПК будем называть скоростью счета, при которой эффективность камеры снижается на 20%. Быстродействие камер с зазором 2, 3 и 4 мм равно 600, 450 и 230 кГц/кан, соответственно.

При уменьшении толщины камеры  $l$  от 3 до 2 мм рост быстродействия несколько меньше, чем при переходе от 4 к 3 мм. Это связано, очевидно, с тем, что при толщинах  $l$  = 3 мм и меньше основные просчеты определяются не объемным зарядом, а электроникой регистрации.

Основная характеристика быстродействия камеры и электроники регистрации, измеренная при рабочих значениях напряжения

на камере и энергии рентгеновского излучения (рис. 10, кривая 1) показывает, что полученное быстродействие выше, чем это следует из выражения (7), описывающего просчеты только электроники. Этот результат можно объяснить, если учесть, что при росте объемного заряда с увеличением загрузки, падает КГУ, и, следовательно, часть событий совпадений, которые при малых  $n$  исключались схемой отбора, теперь будут регистрироваться как одиночные события (они превысили порог регистрации только в одном из двух соседних каналов). Такая компенсация потери скорости счета одиночных событий за счет увеличения регистрации части совпадений позволяет получить быстродействие детектора 600 кГц.

Для практического использования камеры в медицинской рентгенодиагностике полезно знать зависимость быстродействия от напряжения на камере и на рентгеновской трубке. Результаты, представленные на рис. 11 и рис. 12, показывают, что зависимость быстродействия от этих параметров не является сильной, что делает работу камеры достаточно устойчивой.

#### ОДНОРОДНОСТЬ И СТАБИЛЬНОСТЬ ПРОПОРЦИОНАЛЬНОЙ КАМЕРЫ

Неоднородность эффективности каналов пропорциональной камеры определяется отличием порогов регистрации в различных каналах и неточностью шага анодных проволоочек. Дефекты изготовления камеры стабильны во времени и могут быть исправлены нормировкой каждого текущего измерения на эталонное распределение скорости счета в камере, измеренное при однородной засветке. Различия порогов срабатывания электроники могут меняться со временем за счет прогрева системы. Для изучения скорости прогрева электроники было проведено измерение среднеквадратичного отклонения распределения скорости счета  $\sigma$ , нормированной на эталон. Было выяснено, что к концу первого часа после включения  $\sigma$  спадает до 2.5% и за следующий час уменьшается до 1.5%. После этого  $\sigma$  практически не меняется. Эталонное распределение снималось через 6 часов после включения установки. Величина среднеквадратичного отклонения 1.5% определяется статистической ошибкой.

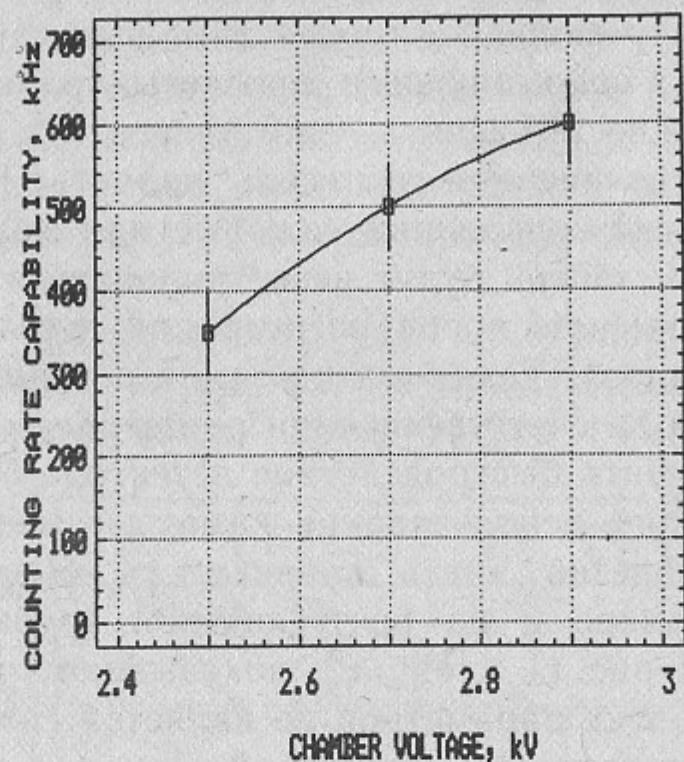


Рис. 11. Зависимость быстродействия детектора от напряжения на камере.

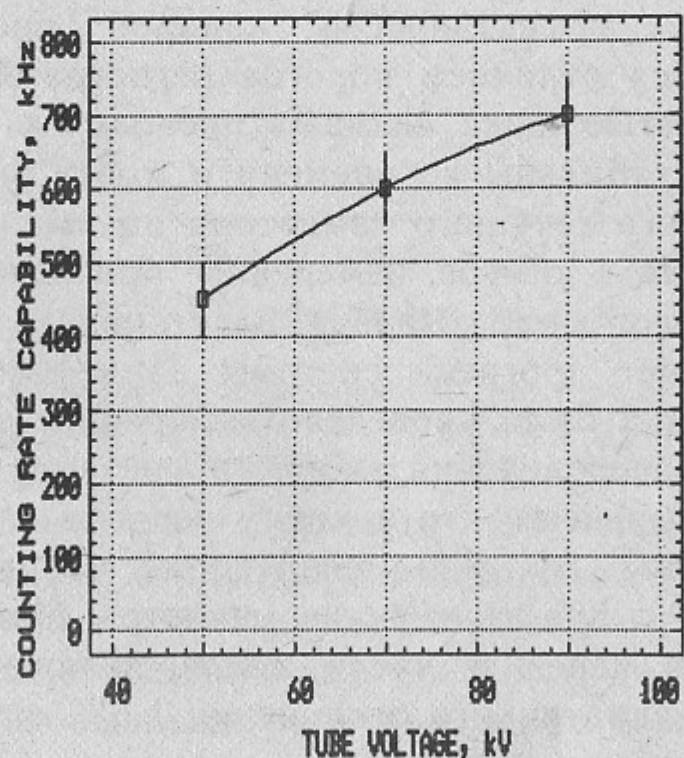


Рис. 12. Зависимость быстродействия детектора от напряжения на рентгеновской трубке.

## ПУТИ ДАЛЬНЕЙШЕГО УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА

Многопроволочные пропорциональные камеры с веерной анодной плоскостью и непараллельными анодной и катодными плоскостями с успехом применены в первых цифровых рентгенографических установках. Такие камеры дают возможность получить пространственное разрешение  $\sim 1$  мм на объекте, что вполне достаточно для большинства задач рентгенодиагностики. Однако, для повышения качества изображения, получаемого с помощью цифровой рентгенографической установки, полезно дальнейшее улучшение характеристик МПК. Одним из способов, позволяющих улучшить пространственное разрешение детектора, является использование событий с совпадениями в соседних каналах, которые в настоящее время бракуются схемой отбора. Для этой цели необходимо отдельно регистрировать события, в которых сработала только одна анодная проволока, и отдельно те события, в которых одновременно сработали две соседние анодные проволоки. Так как пробеги электронов имеют величину, сравнимую с шагом анодных проволок, то около половины событий дают такие совпадения. Геометрически рентгеновские кванты, поглощенные в области между анодными проволоками, вызывают совпадения, кванты, поглощенные вблизи одной из анодных проволок регистрируются как одиночные события.

При таком способе съема информации полное число каналов возрастает в два раза, и примерно, во столько же улучшается пространственное разрешение.

Для проверки работы такой схемы съема информации с МПК было проведено измерение формы канала одиночных событий и канала совпадений на одной из действующих камер. Для этого у группы анодных проволок были отключены схемы отбора и собрана схема, моделирующая описанный выше способ съема информации. Для выравнивания эффективностей канала совпадений и каналов одиночных событий, давление в камере было понижено до 2 атм. Результаты измерений представлены на рис. 13. Для канала совпадений ширина кривой на полувысоте составляет 0.64 мм, для канала одиночных событий эта величина равна 0.84 мм. Этот результат подтверждает предположение о значительном улучшении пространственного разрешения при таком способе съема информации. При этом использование событий совпадений существенно повышает эффективность детектора.

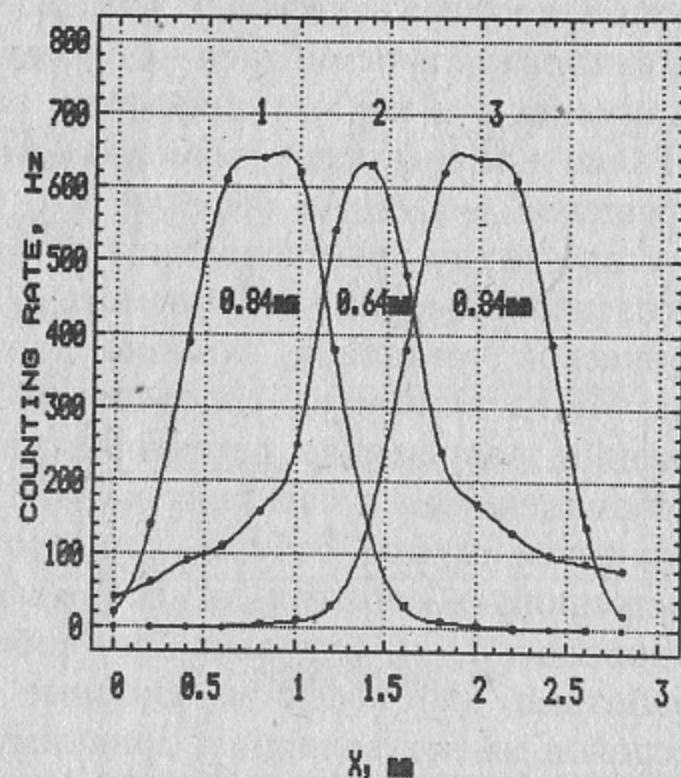


Рис. 13. Форма канала совпадений и канала одиночных событий при модифицированной схеме отбора.

Для улучшения пространственного разрешения по другой координате необходимо соответственно уменьшить ширину щели коллиматора и время экспозиции строки изображения. В этом случае число элементов изображения будет увеличено в 4 раза. Размер элемента уменьшится до  $0.5 \times 0.5$  мм (на объекте).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе МПК, описанных в настоящей работе, было изготовлено 3 рентгенографических установки. Первая установка с 1984 г. работает в г. Москве во Всесоюзном центре по охране здоровья матери и ребенка, где она применяется для обследования беременных женщин при пониженных дозах облучения (90—120 мР). Для сравнения следует сказать, что при традиционной методике во время такого обследования экспозиционная доза составляет 2—3 Р. Вторая установка в 1987 г. запущена в Областной больнице г. Новосибирска. Кафедра рентгенологии Новосибирского медицинского института на этой установке проводит работу по изучению воз-

можностей обследования грудной клетки с помощью цифровой рентгенографической установки. При этих снимках доза облучения пациента составляет 3—4 мР, то есть уменьшается в 50—100 раз. Третья установка в настоящее время работает в ИЯФ. На ней изучаются характеристики новых МПК. Эту же установку использует поликлиническое отделение ИЯФ для обследования сотрудников института.

Авторы выражают благодарность В.В. Гусеву за изготовление и Г.М. Колачеву за конструирование пропорциональных камер.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Baru S.E., Khabakhpashev A.G., Makarov I.R., Savinov G.A., Shekhtman L.I., Sidorov V.A. Digital X-Ray Imaging Installation for Medical Diagnostics. — Nucl. Instr. and Meth., 1985 v.A238, p.165.
2. Sauli F. Principles of Operation of Multiwire Proportional and Drift Chambers. — CERN 77-09 (Geneva, 1977).
3. Bateman J.E., Waters M.W., Jones R.E. Spatial Resolution in a Xenon Filled MWPC X-Ray Imaging Detector—a Computing Physics Approach. — RL-75-140. Detector Physics Group. High Energy Physics Division. Rutherford laboratory (1975).
4. Блинов Н.Н., Жуков Е.М., Козловский Э.Б., Мазуров А.И. Телевизионные методы обработки рентгеновских и гамма-изображений. — М.: Энергоиздат, 1982.
5. Hendricks R.W. Space Charge Effects in Proportional counters. — Rev. Sci. Instr., 1969, v.40. № 9, p.1216.
6. Mathieson E. Dependence of Gain on Count Rate, Due to Space Charge in Coaxial and Multiwire Proportional Chambers. — Nucl. Instr. and Meth., 1986, v.A249, p.413.

*С.Е. Бару, А.Г. Хабахнашев, Л.И. Шехтман*

**Многопроволочная пропорциональная камера для  
цифровой рентгенографической установки**

Ответственный за выпуск С.Г.Попов

---

Работа поступила 20 января 1989 г.  
Подписано в печать 23.03.89 г. МН 12025  
Формат бумаги 60×90 1/16 Усл. 2,2 печ.л., 1,8 уч.-изд.л.  
Тираж 290 экз. Бесплатно. Заказ № 39

---

*Набрано в автоматизированной системе на базе фото-  
наборного автомата ФА1000 и ЭВМ «Электроника» и  
отпечатано на ротапринтере Института ядерной физики  
СО АН СССР,  
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.*