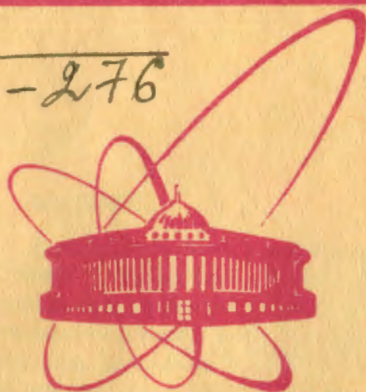


3-276



объединенный
институт
ядерных
исследований
дубна

5753/2-81

23/11-81

P13-81-579

Ю.В.Заневский, Л.Моучка, Т.Нетушил,
В.Д.Пешехонов, Б.Ситар

ДРЕЙФОВАЯ КАМЕРА НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
ДЛЯ НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ

Направлено в журнал "Jaderna Energie"

1981

ВВЕДЕНИЕ

Для нейтронной радиографии с высоким пространственным разрешением в качестве детектора тепловых нейтронов была предложена дрейфовая проекционная камера с плоским конвертором из ^{10}B $^1/2$. Предварительные исследования характеристик дрейфовой камеры низкого давления показали, что координаты точек на треке альфа-частиц, исходящих из точек конверсии и пересекающих дрейфовый промежуток, могут быть определены с точностью (σ) около $100 \text{ мкм}^{1/2}$.

В настоящей работе представлены характеристики макета детектора данного типа, с помощью которого проводилась процедура восстановления треков регистрируемых альфа-частиц, позволяющая определять координаты точек конверсии нейтронов.

КОНСТРУКЦИЯ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ДЕТЕКТОРА

Схема детектора показана на рис.1. Детектор размещается в герметичном корпусе, продуваемом изобутаном при определенном давлении. Характеристики исследовались при помощи коллимированного альфа-источника ^{210}Po . Давление газа в детекторе можно было фиксировать в интервале 10 ± 100 Торр.

Альфа-частицы, проходя через дрейфовый промежуток, ограниченный двумя проволочными электродами, регистрировались сцинтилляционным счетчиком. На проволоки электродов с помощью резистивного делителя подавалось возрастающее напряжение. Часть электронов трека альфа-частиц, двигающихся в электрическом поле, проходила через щели в объем проволочных счетчиков, где регистрировалась.

Электроды, формирующие поле, выполнены из проволоки диаметром 20 мкм, которая намотана с шагом 2 мм. Объем дрейфового промежутка - $30 \times 90 \times 190 \text{ мм}^3$, объем пропорциональных счетчиков - $10 \times 10 \times 190 \text{ мм}^3$. Анодами / A_1 и A_2 / счетчиков служат проволоки диаметром 20 мкм. Расстояние между анодами двух счетчиков составляет 20 мм. Сцинтилляционный счетчик размером $5 \times 80 \times 200 \text{ мм}^3$ задает стартовый сигнал при координатных измерениях.

Блок-схема установки, используемой при исследовании детектора, приведена на рис.2. X - координаты точек В и С определялись путем измерения времени дрейфа электронов по задержке анодных сигналов с соответствующих проволочных счетчиков. Y -

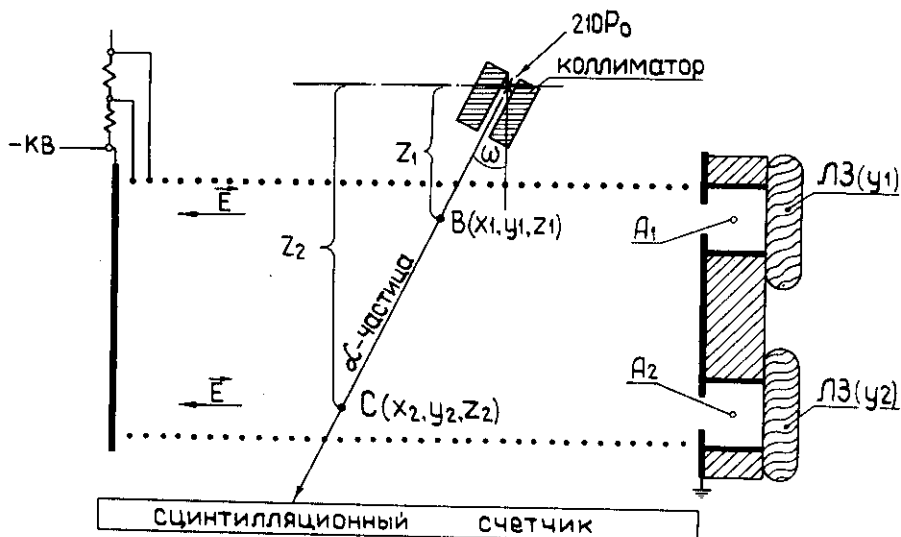


Рис. 1. Схема детектора. Герметичный бокс, служащий для размещения детектора, не показан. В и С - точки пересечения альфа-частицей плоскостей, параллельных проволочным электродам дрейфового промежутка и содержащих аноды первого или второго счетчиков / A_1 и A_2 соответственно /.

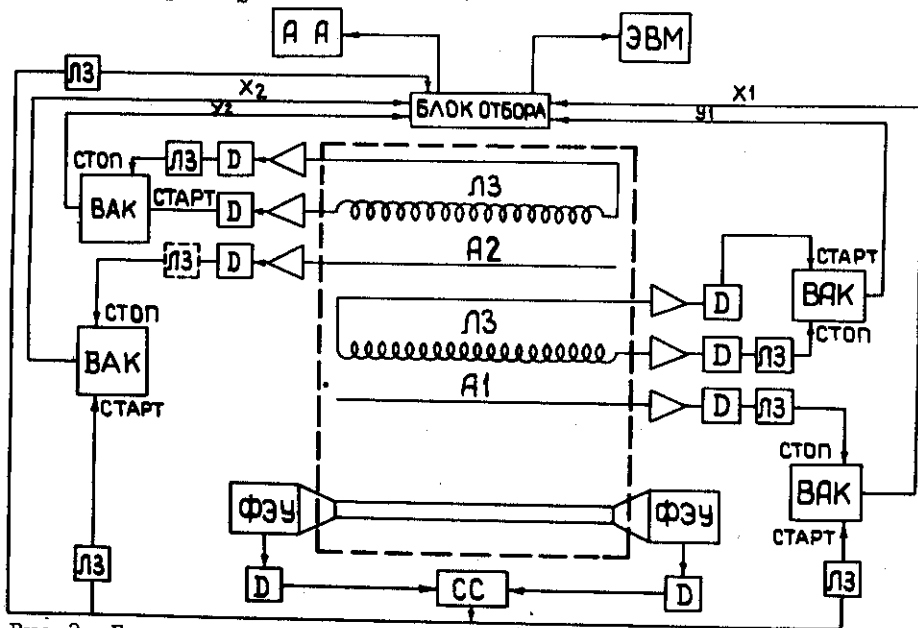


Рис. 2. Блок-схема установки: ВАК - время-амплитудный конвертор; АА - амплитудный анализатор; Д - дискриминатор-формирователь.

координаты определялись при помощи линий задержки, которые являлись частью катодов соответствующих проволочных счетчиков. Линии задержки длиной 200 мм и сечением $22 \times 4 \text{ мм}^2$ намотаны изолированной медной проволокой диаметром 50 мкм с шагом 0,25 мм. Омическое сопротивление линии 140 Ом, импеданс около 530 Ом. Величина погонной задержки около 2,2 нс/мм.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

А. Временные и амплитудные измерения

При определении скорости дрейфа электронов было замечено, что при малых скоростях продува детектора газом скорость дрейфа различна. На рис. 3 приведены зависимости скорости дрейфа электронов w в изобутане от величины E/p при скорости продува детектора газом около $30 \text{ см}^3/\text{мин}$ /кривая 2/ и более $70 \text{ см}^3/\text{мин}$ /кривая 1/. Давление газа в детекторе при этом составляло 20 ± 50 Торр. При снятии всех характеристик в дальнейшем скорость продува детектора была более $100 \text{ см}^3/\text{мин}$, что гарантировало постоянство скорости дрейфа электронов.

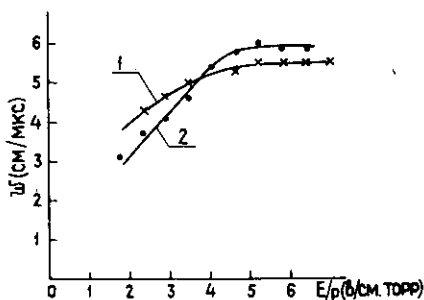


Рис. 3. Скорость дрейфа электронов в изобутане в зависимости от величины E/p при различной скорости продува детектора газом.

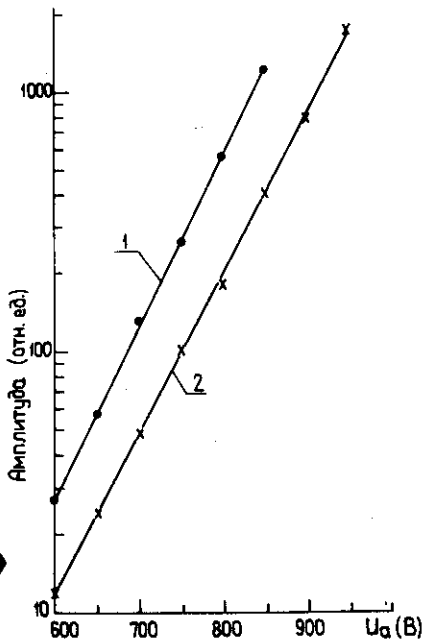


Рис. 4. Амплитуда сигналов проволочных счетчиков в зависимости от анодного напряжения. $E/p = 4,2 \text{ В/см.Торр}$.

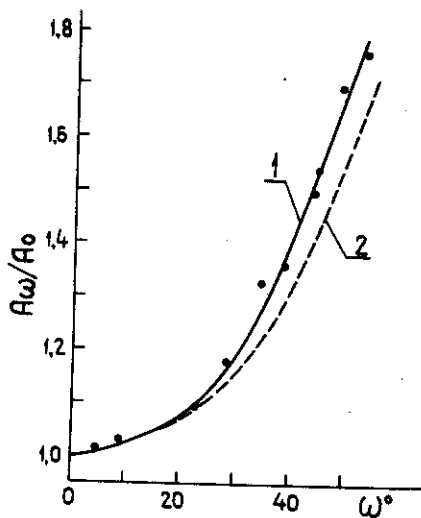


Рис.5. Зависимость изменения амплитуды сигнала со счетчиков при различном угле входа альфа-частиц в дрейфовый промежуток. A_0 - амплитуда при $\omega=0^\circ$. Пунктиром показана расчетная зависимость.

Величина остаточной энергии альфа-частицы, образованной по реакции (d, α) и прошедшей через дрейфовый промежуток, должна быть достаточной для срабатывания сцинтилляционного счетчика. Поэтому эффективность детектора при понижении давления газа возрастает. На рис.4

приведены зависимости амплитуд сигналов с анодов счетчиков при давлении 20 и 50 Торр - кривые 1 и 2 соответственно. Зависимости измерены при угле входа альфа-частиц в дрейфовый промежуток ω , равном 0° . Следует отметить, что оба счетчика достаточно идентичны.

На рис.5 показано изменение амплитуды сигналов в зависимости от угла входа альфа-частиц ω . Видно, что зависимость практически подчиняется закону $A_\omega = \frac{A_0}{\cos \omega}$, представленному пунктирной кривой, где A_0 - амплитуда при $\omega=0^\circ$.

Исследования влияния ширины входной щели проволочных счетчиков показали, что амплитуда сигналов пропорциональна ширине входных щелей. Ширина входной щели при этом изменялась от 1 до 5 мм. При измерении основных характеристик ширина входных щелей составляла 2 мм.

Б. Пространственное разрешение

При исследовании пространственного разрешения детектора измерялась величина среднеквадратичного отклонения σ изм. Величина собственного разрешения детектора σ определялась как $\sigma^2 = \sigma^2_{\text{изм.}} + \sigma^2_{\text{коллиматора}}$.

Ранее в работе [2] было показано, что при давлении изобутана 50 Торр величина σ для X- и Y-координат составляет величину около 100 мкм для угла входа альфа-частиц $\omega=0^\circ$.

В настоящей работе исследовалась зависимость величины σ от угла входа ω альфа-частиц при давлении изобутана 20 и 50 Торр.

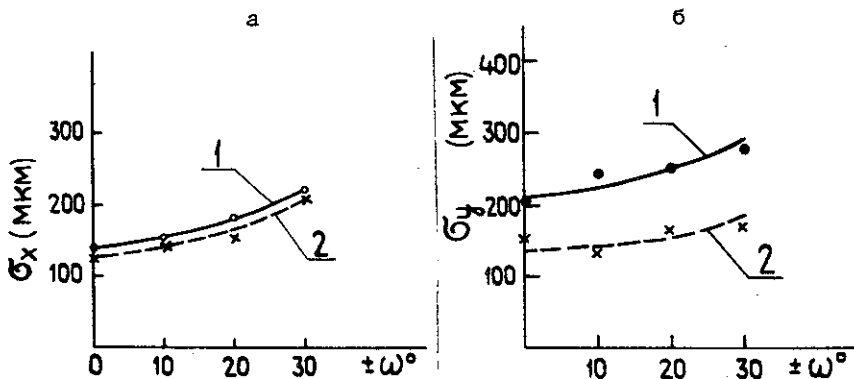


Рис.6. Зависимость величины пространственного разрешения при определении X-координат /а/ и Y-координат /б/ точек В или С /рис.1/ для различного угла входа альфа-частиц в дрейфовый промежуток. $E/p=4,4$ В/см.Торр, длина дрейфа 40 мм /в среднем/ /а/ и 45 мм /б/. Кривая 1 - давление изобутана 20 Торр, 2 - 50 Торр.

На рис.6а приведены эти зависимости по X-координате для одного из счетчиков. Аналогичные зависимости по Y-координате приведены на рис.6б. Величина σ_x при давлении 50 Торр примерно на 10% меньше, чем при давлении 20 Торр. При этом амплитуда анодных сигналов (A_a) и сигналов с линии задержки ($A_{ЛЗ}$) в первом случае на 50% превышает амплитуду сигналов, получаемых при давлении 20 Торр /рис.4/. Соотношение величин этих сигналов следующее: $A_{ЛЗ} = (0,1 \div 0,2)A_a$.

Величина σ_y при уменьшении давления от 50 до 20 Торр возрастает примерно на 50%. Для устранения этого необходимо повысить соотношение сигнал/шум при съеме информации с линии задержки путем увеличения амплитуды сигналов и величины погонной задержки линий.

Определение координат точки выхода альфа-частиц из плоскости расположения источника, параллельной плоскостям, содержащим точки В или С и анод соответствующего счетчика /рис.1/, производилось следующим образом. Определялись X- и Y-координаты точек В и С для точечного источника, а собственные координаты источника X и Y определялись по формулам

$$X = \frac{x_1 z_2 - x_2 z_1}{z_2 - z_1}, \quad Y = \frac{y_1 z_2 - y_2 z_1}{z_2 - z_1},$$

где $z_1=10,5$ мм, а $z_2=30,5$ мм.

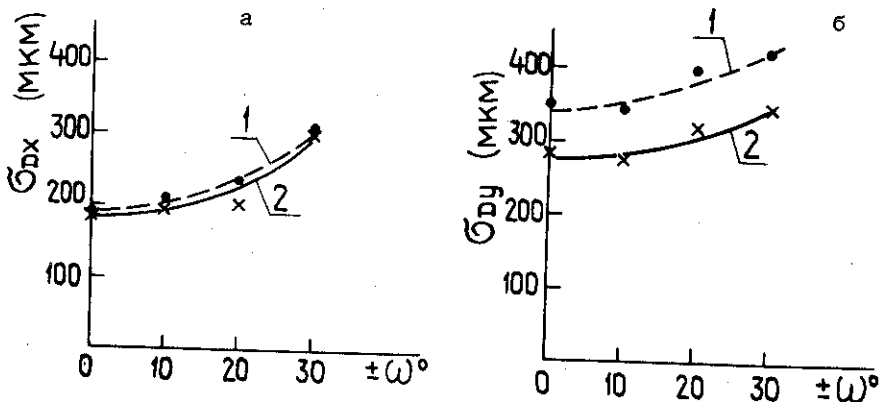


Рис. 7. Точность определения X-координат /а/ и Y-координат /б/ точек конверсии. Кривая 1 - давление 10 Торр, 2 - 50 Торр.

На рис. 7а приведено пространственное разрешение σ_D детектора при определении X-координаты "точки конверсии" при давлении изобутана 20 и 50 Торр. Подобные зависимости для Y-координат приведены на рис. 7б. Величина σ_D определялась как

$$\sigma_{Dx}(y) = \sigma_{x1}^2(y_1) + \sigma_{x2}^2(y_2)$$

Приведенные зависимости показывают, что точность определения координат точек конверсии нейтронов при давлении изобутана 20 Торр и угле входа альфа-частиц от 0° до 30° изменяется от ~200 до ~300 мкм по X-координате и от ~340 до ~410 мкм по Y-координате.

Как было показано в работе /1/, при давлении изобутана 20 Торр и угле выхода альфа-частиц до 30° эффективность регистрации тепловых нейтронов составляет 0,2%, при давлении 50 Торр эффективность регистрации пренебрежимо мала в связи с уменьшением вероятности регистрации альфа-частиц сцинтилляционным счетчиком.

Измерения проводились с помощью коллиматора размером $7,5 \times 0,8 \text{ мм}^2$. Щель выставлялась перпендикулярно направлению, по которому определялось пространственное разрешение. Ошибка в юстировке щели /особенно при изменении угла входа частиц/ приводила к некоторому ухудшению полученных значений. Было проведено измерение величины σ с исключением возможности поворота коллиматора, но с повышенной точностью юстировки щели. При этом для давления изобутана 50 Торр и $\omega = 0^\circ$ величина σ составляла ~90 и ~120 мкм. Это говорит о том, что действительные значения величин σ примерно на 20% лучше приведенных на рис. 6-7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проекционная дрейфовая камера низкого давления позволяет восстанавливать треки альфа-частиц, проходящих через дрейфовый промежуток и регистрируемых с помощью сцинтилляционного и проволочных счетчиков. Точность определения координат точек конверсии составляет величину (σ_D) около 200 мкм и 300 мкм по X- и Y-координатам соответственно. Эффективность регистрации тепловых нейтронов при применении конвертора из ^{10}B и заполнении детектора изобутаном при давлении не более 20 Торр будет составлять доли процента. К числу недостатков детектора следует отнести недостаточно высокое быстродействие, определяемое максимальным временем дрейфа электронов в дрейфовом промежутке.

Авторы благодарят члена-корреспондента АН СССР А.М.Балдина и Л.Г.Макарова, а также Я.Горачека, М.Цисаржа и З.Шидака за постоянный интерес и содействие работе. Авторы выражают признательность Ю.С.Анисимову, Р.М.Базловой, Н.П.Волкову, А.Б.Иванову, М.Н.Михайловой, С.А.Мовчану и Ю.Г.Федулову за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моучка Л. и др. ОИЯИ, P13-11973, Дубна, 1978.
2. Janík R. et al. Nucl. Instr. and Meth., 1980, 178, p.71.

Рукопись поступила в издательский отдел
24 июля 1981 года.