

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ44.1Н

П-34

P13 - 9943

4582/2-76
А.Ф.Писарев

НОВЫЙ ПОДХОД К ТРЕКОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРИНО
С ЖИДКОЙ СРЕДОЙ

1976

P13 - 9943

А.Ф.Писарев

НОВЫЙ ПОДХОД К ТРЕКОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРИНО
С ЖИДКОЙ СРЕДОЙ



Во многих физических лабораториях в последнее время ведется тщательный поиск электронного метода регистрации нейтрино. Нейтринный детектор в законченном виде должен удовлетворять ряду требований, сформулированных в 1970 году в работе Зацепина и Понтекорво /1/, в частности обладать способностью регистрировать нейтрино как высоких, так и низких энергий, характеризующихся величиной 1 МэВ и ниже, давать информацию о величине этой энергии и направлении первичного импульса. Таким детектором, регистрирующим треки первичных электронов, возникающих в $(\nu-e)$ -рассеянии и обратном β -процессе, по мнению авторов работы /1/, мог бы быть детектор, выполненный на основе сжиженных инертных газов аргона и ксенона, в которых при глубокой очистке от электроотрицательных примесей электроны ионизации могут существовать в свободном состоянии. Погрузив в жидкость систему нитяных электродов, образующих XYZ-координатную сетку, и собирая на нити электроны ионизации, можно получить искомую информацию о взаимодействии нейтрино. Однако очевидно, что такой детектор, имеющий характерный рабочий объем в несколько десятков кубических метров, должен содержать значительное количество сигнальных нитей, исчисляемое величиной $\sim 10^6 - 10^7$. В режиме ионизационного сбора электронов /а в настоящее время при работе с жидкими средами только такой режим и возможен/, с каждой нитью необходимо связать соответствующий малошумящий электронный усилитель и определенные элементы логических схем. Суммарная стоимость всей электроники, обслуживающей такой детектор, становится чрезвычайно высокой. Это, пожалуй, является главным обстоятельством, сдерживающим реализацию данного способа.

Вместе с тем, разработка крупных криогенных систем для сжижения инертных газов в больших объемах и стационарное подержание сконденсированной среды при длительной эксплуатации детектора также представляют определенные трудности.

В принципе, решения первой части проблемы - уменьшения числа нитей - можно добиться путем размещения электродов в жидкости на большом расстоянии друг от друга и переноса изображения трека на нити путем транспортировки электронов ионизации под действием внешнего поля /аналогично дрейфовым камерам/. Такой подход обсуждается в /2/. Однако при данном способе возникает сравнительно большое диффузное "размытие" трека. Вместе с тем, при ионизационном режиме регистрации коротких треков, длина которых меньше межэлектродного зазора, резко усложняется задача однозначного восстановления их пространственного положения. Что касается второй части проблемы, то очевидно, что ее решение возможно лишь при расширении класса используемых в детекторах жидкостей в область многоатомных сред.

В настоящей заметке рассматривается новый метод регистрации треков первичных электронов от взаимодействия нейтрино в жидкой среде, позволяющий существенно расширить класс используемых жидкостей и значительно сократить число сигнальных нитей в детекторе. Идея этого метода заключается в следующем. В качестве жидких сред в детекторе предлагается использовать диэлектрические жидкости, молекулы которых или примеси в них обладают свойством электроотрицательности, т.е. способностью захватывать электроны ионизации и образовывать отрицательные ионы и сольватные комплексы. Этим свойством обладают, практически, все жидкости, в том числе аргон и ксенон, если их специально не очищать от электроотрицательных примесей. Первоначальный электрон, возникающий в процессе взаимодействия нейтрино с веществом такой жидкости, образует след из цепочки вторичных электронов и положительных ионов. Вторичные электроны, в свою очередь, за время 10^{-11} - 10^{-10} с после возникновения термализуются в жидкости и захватываются ее молеку-

лами и примесями. По окончании этого процесса отрицательные ионы и сольватные комплексы вместе с положительными ионами формируют трек первичного электрона, который долго сохраняет свою пространственную геометрию в силу исключительно малой скорости диффузного движения ионов в жидких средах. Другими словами, трек в жидкости фиксируется /"запоминается"/ на длительное время благодаря его ионной структуре. Со временем поперечный размер трека диффузно "размывается" по закону $r = \sqrt{2Dt}$, где D - коэффициент диффузии ионов в жидкостях, составляющий $\sim 10^{-5}$ см²/с, r - средний радиус поперечного сечения трека, t - время. Однако величина этого "размытия" невелика и для времени $t \approx 0,2$ ч составляет ~ 1 мм. Ось же симметрии трека при диффузии сохраняется на месте.

Это качество трека позволяет решить и вторую часть рассматриваемой задачи, которая состоит в том, чтобы "просканировать" трек первичного электрона наименьшим числом сигнальных нитей и при этом получить всю необходимую информацию о его пространственном положении и линейной зарядной плотности. Такую операцию проще всего можно осуществить с помощью жестко связанных между собой трех нитяных взаимно параллельных электродных плоскостей, в которых нити крайних плоскостей параллельны между собой и попарно объединены по схеме $1 + 1', 2 + 2', 3 + 3', \dots$, где $1, 2, 3, \dots$ - нити первой плоскости, $1', 2', 3', \dots$ - нити второй крайней плоскости. Нити средней плоскости расположены под углом /в частности 90° / к направлению нитей в крайних плоскостях. Периодическим перемещением этой нитяной системы считывания перпендикулярно ее плоскости вдоль /поперек/ всего детектора и будет выполняться сканирование треков. Действительно, каждый раз при прохождении электродов через зону трека будет происходить сбор на нити положительных и отрицательных зарядов и, таким образом, осуществляться измерение координат следов частиц. Очевидно, что для эффективного сбора ионов разность потенциалов между электродами должна удовлетворять условию, при котором скорость дрейфа ионов в поле будет выше скорости перемещения электродов в детекторе. Для оценки соотношения этих скоростей

примем, что полная длина перемещения электродной системы вдоль всего детектора составляет 10 м и допустимое время "жизни" трека ~ 0,2 ч, тогда скорость перемещения электродов составит 1,3 см/с. Такую /и даже большую/ величину скорости дрейфа ионов можно обеспечить подбором соответствующей величины внешнего поля. Так, например, для жидкого водорода подвижность положительных и отрицательных ионов характеризуется значением $\sim 10^{-2} \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}^{1/3}$. Поэтому при напряженности поля в межэлектродных зазорах, равной 10^3 В/см , дрейфовая скорость ионов составит 10 см/с. Ту же скорость ионов в жидком фреоне, для которого подвижность равна $10^{-3} \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, можно получить в поле напряженностью 10^4 В/см . Эта скорость, как видим, намного превышает требуемую скорость перемещения электродов в рассматриваемом детекторе.

Отметим, что при движении электродов одновременно достигается очистка всего объема жидкости от "старых" треков. Напряжение электрического питания должно подаваться на нити среднего электрода. Режим питания может быть как постоянным, так и импульсным. В первом случае для оптимального измерения ионного тока, протекающего по нитям, можно воспользоваться методом амплитудной модуляции тока. Однако, как представляется сейчас, предпочтительным является метод импульсного сбора зарядов, при котором можно эффективно использовать фазовую фильтрацию полезного сигнала. Импульсы должны подаваться с интервалом, равным времени перемещения электродов в жидкости на величину межэлектродного промежутка.

Относительно рекомбинации ионов в треке можно отметить следующее. Как показывают многочисленные экспериментальные исследования /см., напр., ⁴⁻⁶/, для слабо электроотрицательных жидкостей около 80% числа начальных ионов в треке рекомбинируют в основном в первые несколько секунд после возникновения. Остальные ионы остаются практически свободными и рекомбинируют по закону случая. Так, в частности, для первичных электронов с энергией 10^6 эВ число ионов в треке, остающихся в свободном состоянии, сос-

тавляет $2 \cdot 10^3$. Для сильно электроотрицательных жидкостей типа фреона число свободных ионов значительно выше. Поэтому при современной электронной аппаратуре с порогом чувствительности, составляющим 100-200 электронных зарядов, трек первичного электрона с энергией в 1 МэВ можно надежно измерять в 6-10 точках. В случае использования сцинтиллирующих жидкостей можно получить дополнительную информацию о треке, регистрируя световую вспышку.

Суммарное число электронных каналов, связанных с нитями, в рассматриваемом детекторе примерно в 10^3 раз меньше, чем в детекторе с равномерным размещением нитей по всему объему жидкости.

В заключение автор благодарит Б.М.Понтекорво, А.А.Тяпкина, Л.М.Сороко и В.Г.Зинова за обсуждение вопросов по методам регистрации нейтрино.

Литература

1. Г.Зацепин, Б.Понтекорво. П.ЖЭТФ, 12, 347 /1970/.
2. Б.А.Долгошеин. Труды третьей школы физики ИТЭФ, вып. 3, стр. 82, Атомиздат, 1975.
3. И.А.Гачечиладзе, К.О.Кешишев, А.И.Шальников. П.ЖЭТФ, 12, 231 /1970/.
4. N. Zessoules, J. Brinkerhoff, A. Thomas. J. Appl. Phys., 34, 2010 (1963).
5. G.R. Freeman. J. Chem. Phys., 39, 988 (1963).
6. Н.Адамчевский. Электрическая проводимость жидких диэлектриков. Изд. "Энергия", Л., 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 июля 1976 года.