

УДК 530.12:531.51

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ТРАКТА ДЕТЕКТОРА НА “ТЕПЛОЙ ЖИДКОСТИ” ТЕТРАМЕТИЛСИЛАНЕ (TMS)

В. В. Сиксин

Актуальным является применение “теплой жидкости” TMS в больших массивных калориметрах (с объемом несколько сот литров). Это направление в современной ядерной физике называется “неускорительные” эксперименты с низкофоновыми детекторами. Такие эксперименты связаны с решением важнейших задач для понимания устройства Вселенной и поиска новых частиц. Это хорошо известные задачи поиска “темной материи” в форме новых слабо взаимодействующих частиц – вимпов, наблюдения когерентного рассеяния реакторных нейтрино. С помощью этого эксперимента можно проверить стандартную модель электрослабых взаимодействий. Полностью отработанная технология получения в больших количествах “теплой жидкости” TMS (совместно с ГНИИХТЭОС (АО “ГНЦ РФ Государственный ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений”)) позволяет провести такие эксперименты.

Ключевые слова: годоскоп на модульных ФЭУ с усилением сигнала, годоскоп со световой кодировкой, электроотрицательные примеси, “теплые жидкости”, выход свободных электронов, тетраметилсилан (TMS), жидкостные ионизационные камеры, “неускорительные эксперименты”, поиск слабо взаимодействующих частиц.

Калориметры на “теплых диэлектрических” жидкостях. Калориметры на “теплых диэлектрических жидкостях” имеют преимущества перед всеми типами детекторов для поиска слабоионизирующих частиц. Тетраметилсилан (TMS) относится, так же как и

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: antktech@yandex.ru.

благородные газы, к неполярным диэлектрикам и хорошо изучен автором [1–6]. Разработана пилотная установка совместно с ГНИИХТЭОС [7] по очистке TMS и на ее основе создается двухфазный эмиссионный низкофоновый детектор (ДЭНД). Такие детекторы были созданы на благородных газах – так же неполярных диэлектриках [8].

“Теплые” жидкости обычно характеризуются следующими параметрами (по данным из [1] и [2, 3]): T – температура кипения в градусах, °C; ε – относительная диэлектрическая константа; μ – подвижность свободных носителей заряда, м²/В/сек; $G_{\text{ф}}$ – выход пар свободных электронов; d – плотность жидкости г/см³.

В табл. 1 приведено сравнение параметров наиболее применяемых “теплых жидкостей” с высокой степенью очистки.

Т а б л и ц а 1

Жидкость	T , °C	ε	μ , м ² /В/сек	$G_{\text{ф}}$	d , г/см ³
Изооктан	23	1.936	$5.3 \cdot 10^{-4}$	0.33	0.69
Тетраметилпептан	22	2.05	$29 \cdot 10^{-4}$	0.42	0.72
Тетраметилсилан	23	1.84	$105 \cdot 10^{-4}$	0.74	0.65

Выход свободных электронов $G_{\text{ф}}$ является одним из важнейших показателей, а у TMS он максимальный, что определило его применение в высокочувствительных калориметрах для поиска слабозаимодействующих частиц.

Позиционно-чувствительный калориметр на TMS–ДЭНД для регистрации слабоионизирующих частиц. На базе разработанной совместно с ГНИИХТЭОС [7] пилотной установке по очистке теплой жидкости TMS, мощность которой составляет около 4 литров в сутки очищенного до степени 24 ppb конечного продукта TMS, создается высокочувствительный калориметр ДЭНД для регистрации событий со слабыми энерговыделениями. ДЭНД является двухфазным эмиссионным низкофоновым детектором. Аналогичные детекторы [8] в качестве активного вещества использовали благородные газы (жидкий ксенон-LXe), что предполагает создание криогенных сосудов для охлаждения. Принцип работы калориметра ДЭНД на TMS приведен на рис. 1: 1 – герметичная камера из нержавеющей стали с очищенной внутренней поверхностью, 2 – анод, 3 – катод, 4 – матрица “светопикселей” оптически отделенных друг от друга майларом; 5 – электронный затвор. От каждого “светопикселя” свет через WLS волокно через систему световой кодировки, разработанной в работе [9] выходит из газовой среды калориметра на верхнюю крышку калориметра к соответствующему ФЭУ-86. Матрица “светопикселей” со световой кодировкой выполняет измерение x и y координаты. Све-

товые сигналы выводятся из зоны (жидкая фаза – газовая фаза), из матрицы 16×16 “светопикселей”, на внешнюю крышку калориметра, где размещены модули ФЭУ-86 с усилителями сигнала [10, 11]. Благодаря применению световой кодировки [9], удастся в два раза уменьшить количество ФЭУ-86. А благодаря применению разработанного модуля ФЭУ-86 [10, 11], удастся вывести сигналы на большое расстояние около 500 метров от детектора в шахте до домика экспериментатора на поверхности земли. Калориметр представляет собой цилиндр с герметичной вакуумной изоляцией.

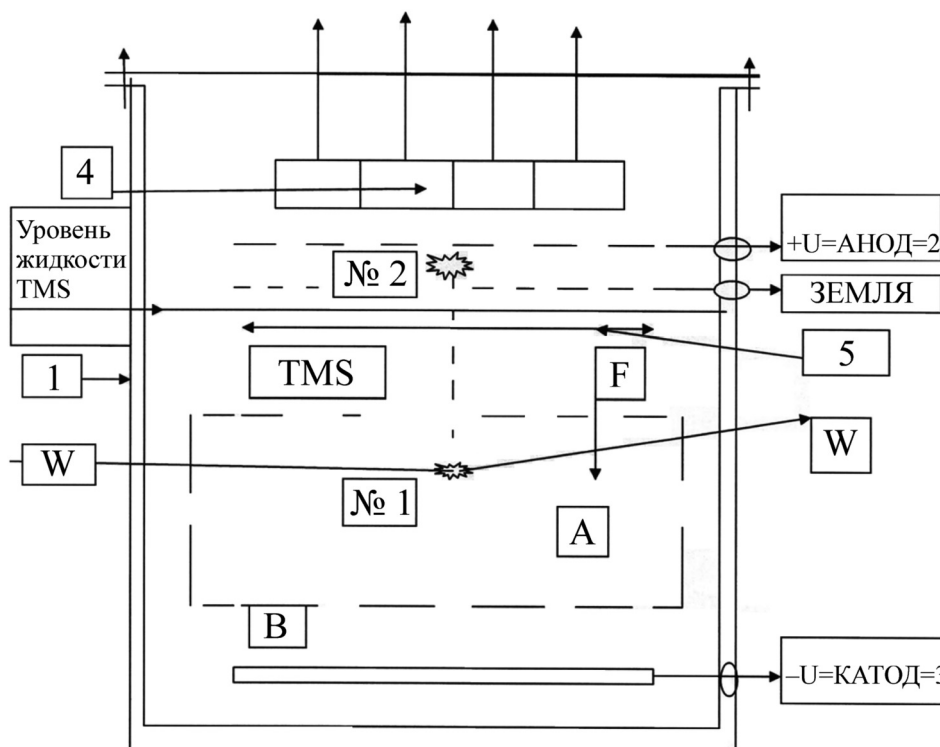


Рис. 1: Принцип работы калориметра ДЭНД на TMS.

Калориметр ДЭНД в эксперименте по поиску слабовзаимодействующих частиц располагается под землей на глубине не менее 500 метров и регистрирует низкофонные события. Возможно так же применение детектора ДЭНД для регистрации нейтрино низких энергий – реакторных антинейтрино.

Калориметр ДЭНД представляет собой “бесстеночный эмиссионный детектор”, заполненный TMS (активного TMS около 100 литров). Идея применения в калориметре жидкого ксенона была впервые опубликована в работе [12]. Работает “бесстеночный эмиссионный детектор” ДЭНД следующим образом: регистрируемая частица взаимодействует с TMS и ионизирует его (с образованием положительных ионов и быстрой

компоненты – свободных носителей – электронов). Электроны дрейфуют в ТМС к ее поверхности под действием внешнего электрического поля, создаваемого между сетчатым анодом 2 и катодом 3. Под действием высокого электрического поля электроны эмиттируют из жидкой фазы в газовую фазу, где производят электролюминесценцию в зазоре между поверхностью жидкости и анодом. Сцинтилляционный сигнал (№ 1) и электролюминесцентный сигнал (№ 2) регистрируется с помощью матрицы “светопикселей” 4, находящейся в газе. Для разгрузки поверхности раздела фаз жидкость–газ от электронов ионизации используется электронный затвор 5.

Внутри калориметра между анодом и катодом приложено напряжение, создающее электрическое поле F . На рис. 1 A – чувствительный объем, из которого отбирают полезные события, B – защитный слой, в котором происходят события, связанные с излучением от окружающих материалов. После выхода части электронов в газовую фазу происходит вспышка (стример) усиление свечения – появляется второй световой многократно усиленный сигнал (№ 2 – на рис. 1) пропорционально количеству электронов, вырвавшихся в газ. Матрица “светопикселей” годоскопа определяет координату x и y . Второй сигнал приходит с задержкой, равной времени дрейфа электронов в ТМС. Зная скорость электронов в ТМС (их подвижность μ , табл. 1), можно определить глубину взаимодействия z .

Определив координаты (x, y, z) , можно отбирать нужные события.

На таком детекторе можно проводить эксперименты, аналогичные [13] по поиску W -частиц и малоэнергетичных нейтрино не реакторах. Надо иметь в виду (при работе на глубине в скальной породе), необходимо подавлять гамма-фон от естественной радиактивности. При каждой определенной массе детектора 100, 200, 300 литров будет разный эффект в подавлении гамма-фона.

Автор выражает благодарность А. И. Львову за консультации по проведению разработки электронного тракта ДЭНД калориметра на ТМС.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] О. В. Матвеева, В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ 90-17 (Протвино, 1990).
- [2] В. В. Сиксин, Ю. П. Ендовин, Краткие сообщения по физике ФИАН 45(6), 42 (2018).
- [3] В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ ОНФ 90-112 (Протвино, 1990).
- [4] А. П. Воробьев, О. В. Матвеева, В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ ОНФ 88-90 (Серпухов, 1988).

- [5] О. В. Матвеева, В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ 90-17 (Протвино, 1990).
- [6] В. В. Сиксин, Краткие сообщения по физике ФИАН **45**(4), 26 (2018) [Bulletin of the Lebedev Physics Institute **45**, 112 (2018)].
- [7] В. В. Сиксин, Ю. П. Ендовин, О. В. Перерва, Журнал “ИВУЗ МЭТ” **22**(2), 55 (2019).
- [8] A. Bolozdunya, *Emission Detectors* (Word Scientific Publishing Co., 2010), 220 pp.
- [9] А. П. Бугорский, А. А. Борисов, А. А. Деревщиков и др., ПТЭ № 2, 89 (1971).
- [10] А. А. Деревщиков, А. П. Мещанин, С. Б. Нурушев и др., Приборы и Техника Эксперимента № 6, 39 (1970).
- [11] А. П. Бугорский, А. А. Деревщиков, Ю. А. Матуленко и др., ПТЭ № 5, 40 (1973).
- [12] A. I. Bolozdunya, V. V. Egorov, V. P. Mroshnichenko, V. U. Rodionov, Emission detectors, IEEE Trans Nucl. Sci. **42**, 565 (1995).
- [13] D. N. McKinsey (LUX Collaboation), J. Phys. Conf. Ser. **203**, 012026.3pp (2010).

Поступила в редакцию 15 июля 2019 г.

После доработки 19 декабря 2019 г.

Принята к публикации 25 декабря 2019 г.