

УДК 539.1.71.002

## ДОЗОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗАЦИОННОЙ КАМЕРЫ НА ОСНОВЕ “ТЕПЛОЙ ЖИДКОСТИ” TMS

В. В. Сиксин

*Предложена ионизационная камера, на основе которой исследуются дозовые характеристики кремнийорганической жидкости (тетраметилсилана – TMS), имеющей электронную проводимость при комнатной температуре, с целью использования ее для создания детекторов смешанного излучения и дозиметров для планирования лучевой терапии.*

**Ключевые слова:** ионизационные камеры на “теплых жидкостях”, тетраметилсилан – TMS, “качество” данного вида излучения, протонная терапия.

*Введение.* Жидкостные ионизационные камеры получили применение в дозиметрии для создания детекторов смешанного излучения. Примеры исследования характеристик камер с целью использования последних в дозиметрии ионизирующих излучений приведены в работах [1, 2].

Форма вольт-амперной характеристики ионизационной камеры, заполненной диэлектрической жидкостью, под действием ионизирующих излучений обнаруживает специфическую зависимость от сорта ионизирующих частиц. Квазилинейный участок такой характеристики расположен между 5 и 30 кВ/см [3]. Далее, если жидкость очень чистая, кривые имеют тенденцию медленно приближаться к горизонтальной асимптотике.

Продолжение вольт-амперной кривой до пересечения с осью абсцисс дает параметр, характеризующий коэффициент “качества” данного вида излучения.

*Ионизационная камера на TMS.* Ионизационная камера (в дальнейшем ИК) представляет собой плоскопараллельную камеру с плоским электродом высокого напряжения диаметром 25 мм и электродом диаметром около 18 мм (коллектором), окруженным охранным кольцом. С коллектора осуществлялось снятие сигнала. Корпус ИК сварен из кварцевого стекла, коваровые выводы через стенки камеры были приварены к электродам камеры. Камера была заполнена сверхчистым образцом TMS, предварительно

---

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

очищенным на установке тонкой очистки. Перед наполнением камера очищалась по специальной технологии особо чистой водой (ОСЧВ) и осушивалась. Зазор чувствительного объема между электродами составлял 1.6 мм и объем TMS в ИК составлял  $\sim 20$  см<sup>3</sup>. Пучок исследуемых частиц от источника пускался параллельно электродам ИК через чувствительный объем (рис. 1).

Было определено, что концентрация электроотрицательных примесей ИК не превышала (несколько единиц) на  $10^{-8}$  моль/л.

Критерием степени чистоты применяемой в ИК “теплой жидкости” TMS является количество электроотрицательных примесей, захватывающих (поглощающих) свободные электроны при их движении между электродами в момент импульса исследуемого пучка. Количество электроотрицательных примесей не превышало 10 ppb.

Проверкой того, что электронная проводимость свободных электронов существует только при прохождении пучка, является измерение тока утечки или обратной ему величины удельного сопротивления TMS после очистки [2]. Удельное сопротивление TMS в ИК составляло  $4.8 \cdot 10^{17}$  Ом·см.

*Установка для измерения дозовых характеристик.* Была исследована органическая жидкость – тетраметилсилан (TMS), полученная путем тонкой очистки по технологии, аналогичной [4]. В качестве измерительного прибора для малых токов использовался

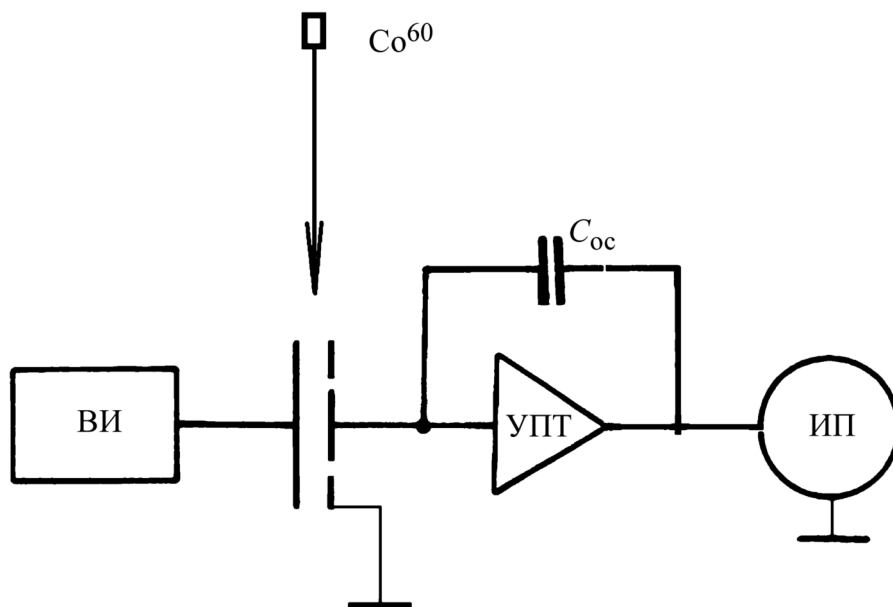


Рис. 1: Геометрия измерительной ячейки и способ подключения к измерительной системе.

электрометрический преобразователь ток–частота. Геометрия измерительной ячейки и способ подключения к измерительной системе представлены на рис. 1.

На рисунке 1 показана схема подключения ИК, где ВИ – высоковольтный источник питания, УПТ – усилитель постоянного тока,  $C_{oc}$  – емкость обратной связи, ИП – измерительный прибор: вольтметр или осциллограф.

Были проведены измерения вольт-амперных характеристик для двух видов излучения в полях радионуклидных источников:

- гамма-излучения на  $Co^{60}$  в стандартном коллиматоре;
- нейтронного излучения от источника Pu-Be в открытой геометрии.

*Результаты исследований.* Зависимости ионизационного тока в ИК от напряженности электрического поля при различных мощностях дозы фотонного излучения источника  $Co^{60}$ , проходящего через ИК, представлены на рис. 2.

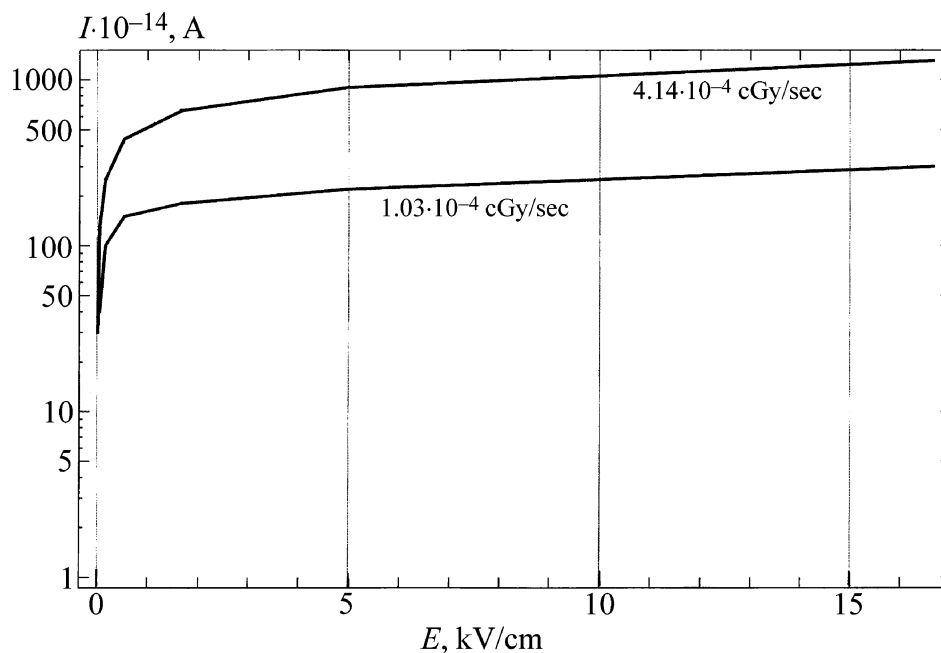


Рис. 2: Зависимость ионизационного тока от напряженности электрического поля  $E$  на ИК в виде кривых, аппроксимирующих экспериментальные точки.

Кривые, представленные на рис. 2, имеют хорошее линейное плато и совпадают с результатами других работ, показывая высокую степень чистоты ТМС и открывая возможность использовать ИК на ТМС в качестве дозиметра смешанного излучения. Параметром, характеризующим “качество” излучения, как указывалось выше, является точка пересечения квазилинейного участка с осью абсцисс. Для описываемого экспери-

мента получилось оценочное значение параметра “качества” – 15 кВ/см для фотонов  $\gamma$ -излучения  $\text{Co}^{60}$ .

Аналогичная зависимость, снятая на Pu-Be – нейтронном источнике со средней энергией нейтронов 4.3 МэВ, определила значение параметра “качества” 2.2 кВ/см.

Различные точки пересечения характеристик для разных видов излучения в данной жидкости могут быть использованы для определения числового значения коэффициента “качества” (КК) смешанного излучения [3]. Проведя измерения КК для разных видов излучения, можно аппроксимировать значения функцией, которая будет определять вид излучения.

*Применение ИК на TMS.* В настоящее время в терапевтической дозиметрии используются ИК на изооктане, но сравнительные исследования обеих жидкостей показали, что ИК на TMS имеют чувствительность на 50% выше, чем на изооктане [5]. В настоящее время в протонной дозиметрии используются в основном дозиметры на воздушных камерах, кремниевые камеры и алмазная ИК. Но ток ионизации камер на теплых жидкостях как минимум в 300 раз выше, чем для камеры того же объема, заполненной воздухом.

В работе [5] описано применение ионизационной камеры на теплой жидкости – изооктане, выпускаемой фирмой PTW под коммерческим названием “MicroIion”. В этой работе также упоминается, что теплая жидкость TMS обладает более хорошими показателями, чем применяемая у них жидкость изооктан. У TMS больше выход свободных электронов, т.е. нет необходимости в использовании особо дорогих электрометрических усилителей. В существующей литературе по ИК на TMS нет описания ее применения для планирования протонной терапии. Более того, в работе [5] ИК “MicroIion” применяется только для относительной дозиметрии для проверки области, где проходит пучок, не измеряя величину поглощенной дозы в водном фантоме.

На основе разработанной в данной работе ИК на TMS возможно изготовление уменьшенной в размерах ИК, сопоставимой с ИК “MicroIion”, у которой размеры чувствительной области не превышают 2 мм в диаметре (по электродам). Такая камера позволит подробно, с шагом 100 мкм, сканировать поглощенную дозу при прохождении протонов в водном фантоме при планировании протонной терапии.

Более высокое пространственное разрешение ИК на TMS по измеряемой дозе в водном фантоме, по сравнению с существующими дозиметрами, позволит повысить качество планирования протонной терапии.

После изготовления уменьшенной в размерах ИК целесообразно провести ее испытания на терапевтическом ускорителе для сравнения с существующими видами детекторов.

Автор выражает благодарность А. И. Львову за поддержку работы, Ю. П. Ендовину за получение очищенных образцов TMS, а также А. В. Антипову за плодотворные творческие дискуссии.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] D. Blanc et al., Health Phys. **11**, 63 (1965).
- [2] S. T. Charalambus, Nucl. Instr. and Meth. **48**, 181 (1967).
- [3] *Микродозиметрия* (М., Атомиздат, 1971).
- [4] В. В. Сиксин, Препринт ИФВЭ 90-112 (Протвино, 1990).
- [5] E. M. Benitez et al., Radiation Measurements **58**, 79 (2013).

Поступила в редакцию 6 марта 2018 г.