

О ВОЗМОЖНОСТИ СОЗДАНИЯ МАССИВНОГО СВЕРХЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ТЕПЛОВОГО ДЕТЕКТОРА ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ БЛИЗКОЙ К АБСОЛЮТНОМУ НУЛЮ

Б.С.Неганов, В.Н.Трофимов

Обсуждается возможность использования охлажденной до сверхнизких температур (≤ 1 К) и изолированной системы с большой массой в качестве сверхчувствительного детектора взаимодействия с полями и частицами, приводящих к выделению энергии. При этом регистрируется изменение температуры системы. Необходимым условием реализации высокой чувствительности (10^{-22} Вт·г $^{-1}$ при $T = 0,01$ К) является снижение паразитных теплопритоков, вызванных механическими вибрациями, электромагнитными наводками, космическими и естественно-радиоактивным фоном. Приводятся основные результаты исследования при 1 К. Обнаружено, что главное препятствие при создании детектора может представлять обратимый эффект тепловой релаксации в веществе детектора после охлаждения.

Современные методы получения низких температур позволяют производить эффективное охлаждение довольно больших масс до температуры порядка нескольких тысячных градуса. Если рабочее тело затем может быть достаточно хорошо изолировано как от охлаждающей его системы, так и от воздействия механических и электромагнитных колебаний, то подобное устройство среди широкого круга задач может служить и весьма чувствительным тепловым детектором, способным, в принципе, реагировать на слабые воздействия любых как известных, так и неизвестных пока проникающих нейтральных полей и частиц.

Главная проблема при создании подобного вида детектора заключается в достижении необходимой степени изоляции от не представляющих интереса источников тепла, вызывающих обычно быстрый температурный дрейф изолированного тела и вывод системы из сверхчувствительного состояния. До сих пор наименьшие потоки тепла, достигаемые, например, в установках с ядерным охлаждением, в которых уровень изоляции имеет решающее значение, еще намного превышают расчетные значения, не опускаясь ниже величины порядка 10^{-11} Вт·г $^{-1}$ [1]. Минимальный же уровень тепловыделения для наземных систем, обусловленный действием только космических лучей, составляет величину порядка 10^{-14} Вт·г $^{-1}$. Детальное изучение причин столь большого расхождения указанных пределов представляет интерес с разных точек зрения. Мы провели предварительное изучение данной проблемы при температуре 1 К и установили, что чаще всего основным источником нагрева изолированного тела являются обратимые остаточные тепловые процессы, протекающие в самом образце после его охлаждения до рабочей температуры криостата. Так для быстрокристаллизованной меди с концентрацией примесей не более 0,02% после охлаждения до

ИК тепловыделение имело величину $5 \cdot 10^{-10}$ Вт · г⁻¹ и уменьшалось с временем релаксации около 100 часов. Аналогичный по величине и времени релаксации эффект наблюдался нами в прокатанной меди такой же чистоты. Можно предполагать, что эти процессы связаны с зернограничной релаксацией. Используя лучший из имеющихся у нас образцов меди такой же чистоты, но с начальным тепловыделением $4 \cdot 10^{-13}$ Вт · г⁻¹, мы достигли после 1000 часовой выдержки при гелиевой температуре регулярного дрейфа температуры изолированного образца с массой 18 кг $2,5 \cdot 10^{-6}$ К/час на протяжении десятков часов, что соответствует постоянному теплопритоку $8 \cdot 10^{-15}$ Вт · г⁻¹. Это значение примерно в 1,5 раза ниже расчетного (с учетом γ -фона от радиоактивных загрязнений) и нуждается в дальнейшем уточнении. Оставляя этот вопрос в стороне, можно заключить, что достигнутый нами уровень помех от механических и электромагнитных источников, по-видимому, не больше чем 10^{-15} Вт · г⁻¹. Это, безусловно, открывает новые возможности в достижении микроградусной области температур. Использованная нами установка состояла из гелиевого криостата емкостью 130 л, откачиваемого группой бесшумных насосов, расположенных на расстоянии 15 м. Криостат монтировался жестко на двухзвенном бетонном фундаменте массой 7 т, подвешенном на воздушных амортизаторах. Экспериментальная камера с двойной вакуумной изоляцией, покрытая снаружи слоем сверхпроводника, подвешивалась в криостате на тонкой стальной трубке в виде свободного маятника, подвеска которого дополнительно амортизировалась с помощью мягкой резины. Рабочие тела подвешивались внутри камеры на капроновых нитях. Тепловой контакт рабочего тела с гелиевой ванной осуществлялся с помощью механического теплового ключа. Для измерения температуры использовались теплопроводники Allen-Bradley.

Полученные результаты по степени изоляции от электромагнитных полей и механических колебаний являются далеко не предельными. Однако дальнейшие опыты по изучению изоляции необходимо провести в низкофоновой подземной лаборатории с космическим фоном на пять семь порядков меньше, чем на поверхности Земли. При этих условиях основной помехой станет уже радиоактивная загрязненность используемых материалов. Следует заметить, что существующие методы контроля радиоактивной загрязненности не пригодны для точного определения долгоживущих примесей при концентрации их меньше 10^{10} атомов на грамм анализируемого вещества [2]. Для этой цели наиболее подходящим является сам тепловой детектор, позволяющий определять абсолютное содержание любого члена радиоактивного семейства в исследуемом образце. Так при концентрации 10^{10} примесных ядер уранового семейства, находящихся в равновесии с U^{238} в образце с массой 1 кг будет происходить еще 4,3 распада в сутки, четко регистрируемых детектором, если последний работает при температуре 10^{-2} К. Поэтому для обсуждаемого прибора желательно приготовить материал с радиоактивной примесью еще на один — два порядка меньше.

Имеются практически неограниченные возможности увеличения чувствительности теплового детектора по мере улучшения его изоляции как за счет снижения рабочей температуры прибора, так и увеличения разрешающей способности измерительной системы и главным образом

выбора материала с меньшей теплоемкостью для изготовления рабочего тела. Если, например, использовать монокристаллический германий при температуре 10 мК и сквидовую измерительную технику, то, по-видимому, можно будет достигнуть регистрации тепловыделения порядка 10^{-22} Вт · г⁻¹. Прибор с такой чувствительностью будет новым типом инструмента для изучения фундаментальных свойств и заселенности пространства. С его помощью можно непосредственно выяснить границы применимости основного положения физики — существования изолированной системы и закона сохранения энергии в медленных процессах.

Объединенный институт
ядерных исследований

Поступила в редакцию
12 июля 1978 г.

Литература

- [1] О.В. Лоунаσμαа. Принципы и методы получения температур ниже 1К. М., изд. Мир, 1977.
- [2] А. Поманский. Докторская диссертация, ИЯИ АН СССР, 1977.
-