

## Новое поколение передовых СКВИД-магнитометров



- Чувствительность и скорость
- Версия "Cryogen-Free" с EverCool-модулем, не требующая жидкого гелия
- Работа в автоматическом режиме
- Множество режимов измерений
- Более 30 лет опыта в производстве магнитометров типа SQUID

Система **MPMS 3 от Quantum Design** представляет собой результат более чем 30 лет разработок и исследований в мире СКВИД-магнитометров. Благодаря чувствительности магнитометра типа SQUID (Superconducting QUantum Interference Device) и возможности измерений множества параметров, MPMS 3 обеспечивает новый уровень магнитных исследований, при этом устраняя недостатки систем прошлых поколений.

MPMS 3 обеспечивает непревзойденную эффективность в области сбора данных, температурного контроля, а также контроля магнитного поля с чувствительностью менее  $10^{-8}$  етм. Помимо выдающихся характеристик, Quantum Design MPMS 3 имеет удобное и мощное программное обеспечение MultiVu. Сочетание высочайшего уровня производительности с возможностью использования всех опций, доступных в прошлых версиях MPMS, позволяет назвать MPMS 3 представителем нового поколения SQUID магнетометров.

### Сбор информации

Система MPMS 3 может работать в трёх режимах измерений: Режим сканирования постоянного тока (DC Scan), режим вибрационного магнитометра (VSM), и опционально доступный режим восприимчивости к переменному току (AC Susceptibility).

**DC Scan:** Обеспечивает непрерывное нанесение на график и сбора первичных данных в статических или переменных полях и температурах. Данный режим сбора данных схож по принципу с режимами измерений старых систем MPMS XL, но выполняется быстрее.

**Режим VSM (опциональный):** Объединяет технологию магнитометра с вибрирующим зондом (VSM) с датчиком постоянного тока SQUID от Quantum Design, благодаря чему достигается чувствительность в  $< 1 \times 10^{-8}$  етм при нулевом магнитном поле. А понижение уровня шума позволяет достичь феноменальной чувствительности в  $< 8 \times 10^{-8}$  етм даже в поле с индукцией в 7 Тл.

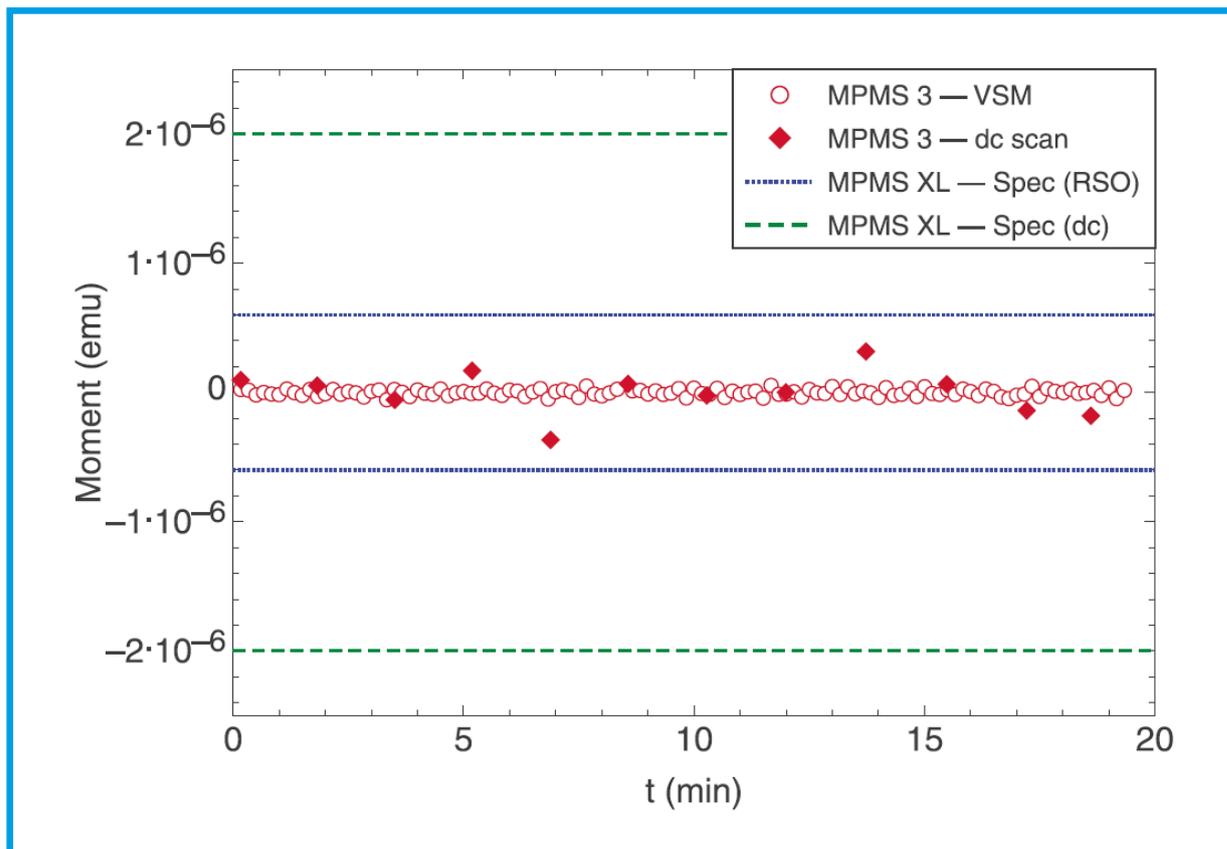
**AC Susceptibility (опционально доступный):** Данный режим измеряет AC восприимчивость образца с помощью колебательного магнитного поля, вырабатываемого линейным электродвигателем SQUID и VSM. Полный функционал и возможность выполнения скриптов обеспечивается интерфейсом ПО MultiVu.

### Контроль температуры

В системе MPMS 3 применяется регулятор температуры инновационной конструкции, который позволяет охлаждать образцы от комнатной до температуры в 1.8 K менее чем за 30 минут.

Вставка контроля температуры для системы MPMS 3 представляет собой камеру с вакуумной изоляцией, в которую через регулируемый клапан подается охлаждённый гелий, который благодаря откачке, позволяет работать в диапазоне температур вплоть до 1.8 K. Точно настроенное сопротивление потока и технологичное ПО контроля температуры дают возможность непрерывной работы при 1.8 K, а также плавного перехода температуры через точку кипения жидкого гелия (4.2 K). Нагреватели, установленные на камере для образца, способны поднять температуру до 400 K. Тепловой экран, подсоединённый к резервуару с жидким азотом, перехватывает тепло от камеры для образца и сводит к минимуму потребление гелия при работе в условиях высоких температур. Сглаживая температурный перепад у холодной части вставки контроля температуры, он также позволяет укоротить конструкцию вставки, что снижает теплоёмкость и ускоряет регулирование температуры.

Диаметр отверстия для образца во вставке контроля температуры составляет 9 мм для достижения минимального диаметра воспринимающих катушек, что повышает чувствительность магнитометра.



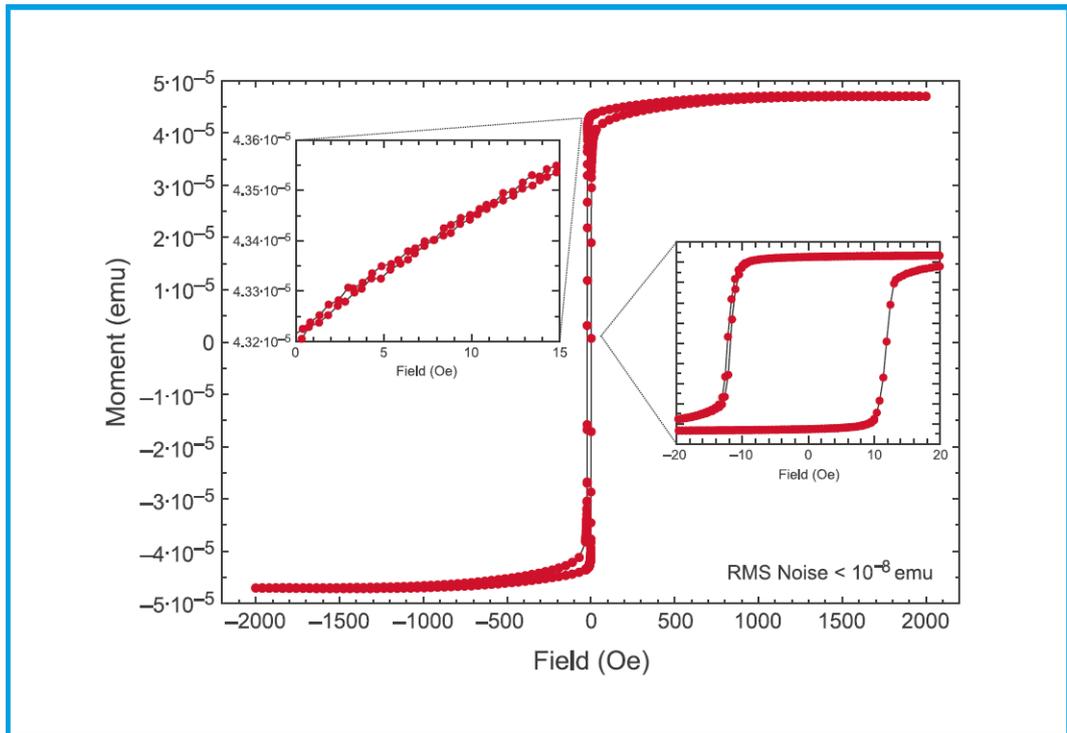
Система MPMS 3 имеет самый низкий фоновый шум среди всех магнитометров типа SQUID от Quantum Design (как в DC, так и в VSM режимах). Данные о шумовом фоне MPMS 3 были получены на системе с модулем EverCool при работающем криогенном рефрижераторе.

### Управление магнитом

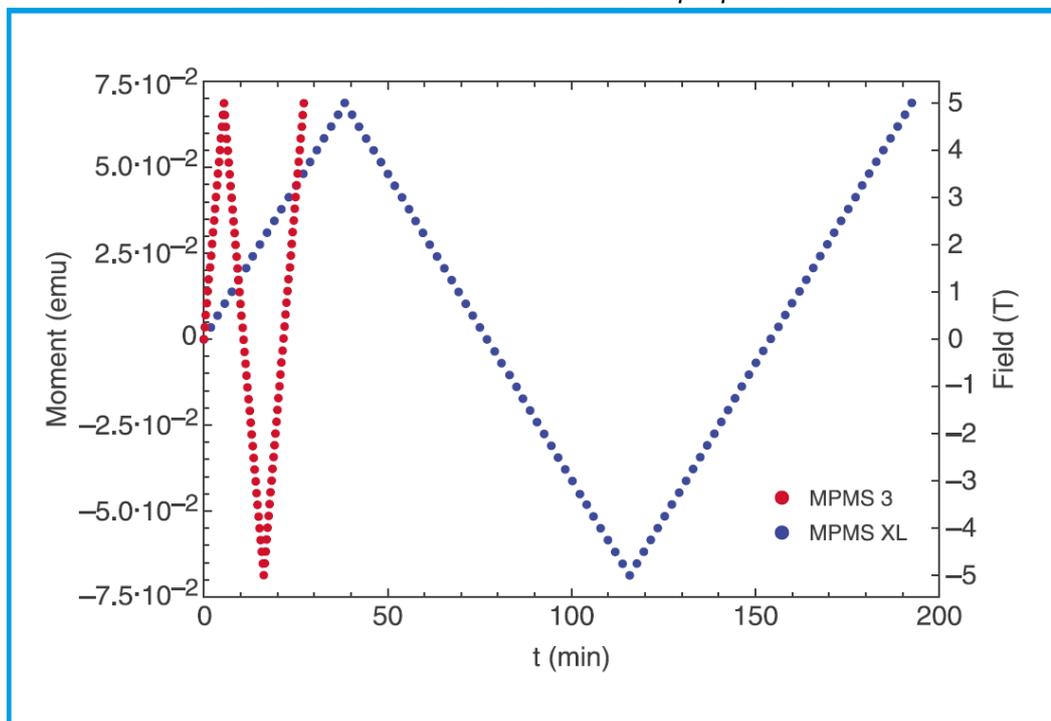
В системе MPMS 3 применяется охлаждаемый гелием сверхпроводящий магнит с индукцией 7 Тл и специально разработанный гибридный аналого-цифровой магнитный контроллер, который обеспечивает точный и бесшумный контроль магнитного поля. Точность систем типа SQUID требует стабильного магнитного поля. Система MPMS 3 способна быстро переключаться между состояниями ввода и вывода поля, а также создавать стабильные магнитные поля с помощью уникального запатентованного сверхпроводящего переключающего элемента, который изменяет состояние с нормального на сверхпроводящее меньше чем за секунду. Все это позволяет обеспечить быстрый и точный сбор данных.

Высокое сопротивление в разомкнутом состоянии и низкая теплоёмкость модуля QuickSwitch™ также помогает снизить расход жидкого гелия при линейном изменении магнитного поля, по сравнению с общепринятой технологией сверхпроводящего ключа. Кроме того, снизить расход жидкого гелия помогает применение магнитных вводов тока из высокотемпературного сверхпроводящего материала (HTS), подсоединяемых к емкости с жидким азотом. В такой конструкции азотный экран поглощает большую часть тепла от контактов системы с частями, имеющими комнатную температуру, которое иначе подводилось бы к гелиевому объему.

В системе MPMS 3 имеется встроенный магнитный экран. Он позволяет проводить точные измерения даже в местах с высокими магнитными помехами. Экран также работает и в обратную сторону, защищая чувствительные к электромагнитному полю приборы, расположенные в непосредственной близости от системы MPMS 3.



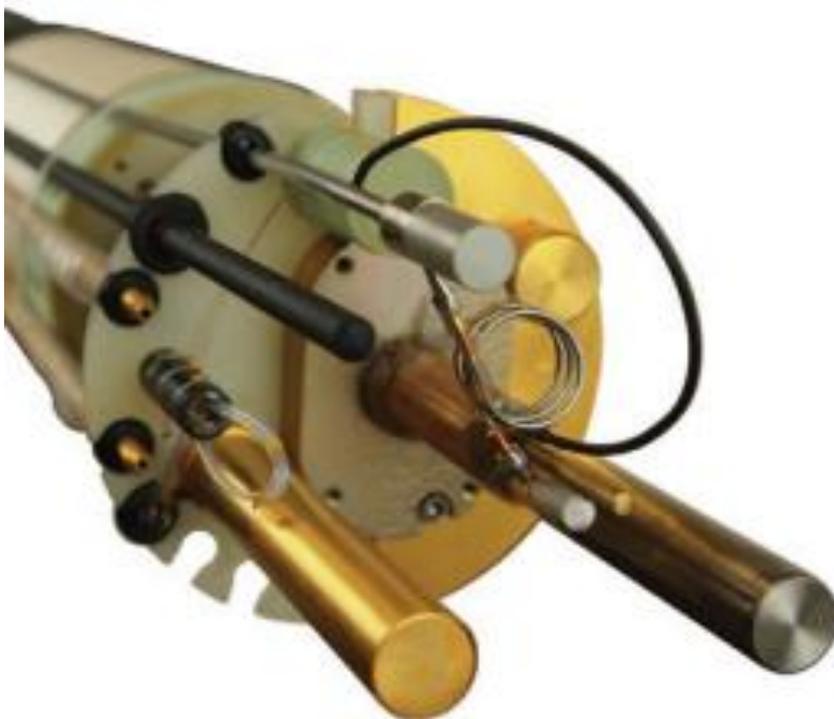
*Отношение магнитного момента к напряжённости поля при 5 К для тонкой плёнки ферромагнитного образца, предоставленного профессором Эккертом из Колледжа Харви Мадд. Левая вставка иллюстрирует воспроизводимость снижения напряжённости магнитного поля от 2 кЭ до нуля. Правая вставка демонстрирует малое поле нового блока питания магнита MPMS®3 в высоком разрешении.*



*Уникальный запатентованный сверхпроводящий переключающий элемент системы MPMS 3 обеспечивает высокую скорость и производительность линейного изменения и стабилизации магнитного поля. Таким образом, достигается высокая частота измерений при снижении задержек между измерениями.*

<b>Характеристики MPMS® 3</b>	
<b>Терморегуляция</b>	
Контроллер	Rapid Temp™, новая разработка TCM
Температурный диапазон	От 1.8 до 400 К
Скорость охлаждения	30 К/мин (От 300 до стабилизированных 10 К за 15 мин., типичное значение) 10 К/мин (От 10 К до стабилизированных 1.8 К за 5 мин., типичное значение)
Температурная стабильность	± 0.5 %
Температурная точность	± 1% или 0.5 К, что меньше
Внутренний диаметр камеры для образца	9 мм
<b>Регуляция магнитного поля</b>	
Тип ключа	QuickSwitch™
Диапазон магнитного поля	От -70 до +70 кЭ (от -7 до +7 Тл)
Однородность поля	0.01% на 4 см
Скорость ввода поля	От 4 до 700 Э/сек
Разрешение ввода поля	0.33 Э
Остаточное поле	~5 Э (типичное значение) при затухании от максимального поля до нуля
<b>Измерение магнитных свойств</b>	
Тип датчика	Система магнитометрии/восприимчивости на основе SQUID-сенсора
Максимальный DC момент	10 ему
Чувствительность	В поле ≤2500 Э: <math>5 \times 10^{-8}</math> ему (DC сканирование) <math>1 \times 10^{-8}</math> ему (VSM, <math>< 10</math> с усреднение) В поле >2500 Э: <math>6 \times 10^{-7}</math> ему (DC сканирование) <math>8 \times 10^{-8}</math> ему (VSM, <math>< 10</math> с усреднение)
Диапазон управляющих амплитуд	От 0.1 до 8 мм (пиковое)
<b>Элементы магнитометра с охлаждением жидким гелием</b>	
Дьюар	Виброизоляция, магнитный экран, радиационный экран
Расход жидкого гелия	4 л/день (типичное значение) + 0.05 л на охлаждение образца (может вырасти при использовании печи)
Вместимость по жидкому гелию	65 л
Расход жидкого азота	5 л/день (типичное значение)
Вместимость по жидкому азоту	60 л
Время удержания	до 12 дней (типичное значение)
<b>Общие характеристики системы MPMS 3</b>	
Требуемая мощность в базовой комплектации	200 – 230 В. Пер.т , 50/ 60 Гц, 10 А макс. (примерно 6 – 8 А в рабочем режиме)
Размеры и вес основного блока (без учёта выносной клавиатуры)	105 x 84 x 200 см, примерно 400 кг
Размеры и вес модуля откачки	61 x 71 x 61 см, примерно 65 кг
Система MPMS 3 Evercool имеет специальные требования по электропитанию, их описание смотрите ниже.	

### Опция MPMS®3 EverCool®

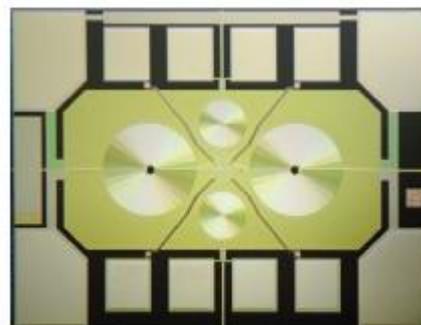


Модуль EverCool для MPMS 3 полностью исключает потребность в подливе жидкого гелия и практически исключает потери гелия при работе системы MPMS 3. С точки зрения пользователя данная охлаждающая система со встроенным рефрижератором типа «пульсационная труба» вообще может считаться «сухой», так как она не только реконденсирует жидкий гелий непосредственно в сосуде Дьюара, но также может запускаться путем сжижения непосредственно газообразного гелия, исключая, таким образом, необходимость в жидком гелии даже при старте MPMS 3 из теплого состояния.

#### Преимущества системы MPMS 3

- Компактный гелиевый компрессор
- Первичное охлаждение системы с использованием только газообразного гелия занимает всего 30 часов
- Полная интеграция всех функций EverCool в ПО MultiVu для MPMS 3, позволяющая запускать практически все функции в автоматическом режиме, включая контроль уровня гелия в сосуде Дьюара MPMS 3 EverCool

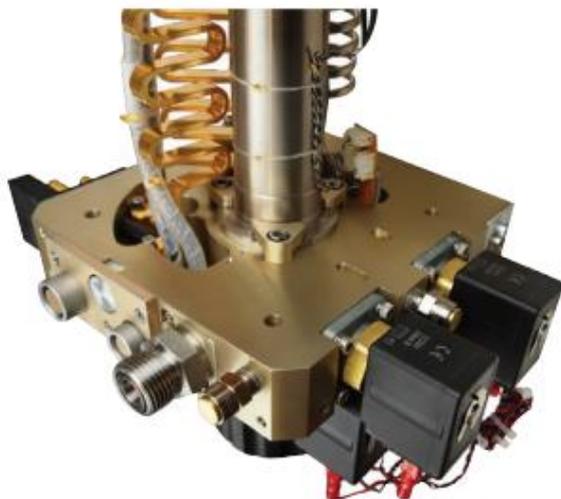
Модуль EverCool - это не отдельная версия MPMS 3, а просто доступная опция. Для работы ему требуется чиллер для компрессора с водным охлаждением, а также трубки к внешнему источнику газообразного гелия для автоматического восполнения потерь газа, например, при очистке камеры для образца или использовании системы в экстремальных условиях.



<b>Характеристики модуля MPMS® 3 EverCool®</b>	
Производительность по ожижению гелия	~9 литров/сутки. Это чистый коэффициент ожижения при работе системы, который отражает объём жидкого гелия, выработанный СВЕРХ дневной нормы потребления.
Номинальный объём жидкого гелия	~16 литров. Полная вместимость определяется по достижению зеркалом жидкости нижней части дна магнита (магнит охлаждается парами гелия).
Расчетное время охлаждения	~30 часов до достижения устойчивого термического состояния и готовности к работе в нормальном режиме. Жидкий гелий для охлаждения не требуется. Для достижения стандартного уровня гелия требуется дополнительные 20 часов.
Потенциальное влияние на чувствительность системы	Конфигурация EverCool рассчитана на непрерывно работающий криокулер, который не влияет на параметры системы. Шумовые характеристики идентичны стандартной MPMS 3.
Конфигурация модулей	(а) Дьюар EverCool со встроенным криогенным рефрижератором в стандартном шкафу MPMS 3; (б) Откачной модуль, система подачи газа и встроенный контроллер EverCool в стандартном блоке с насосами MPMS 3; (с) Компрессор со шлангами из нержавеющей стали, подсоединёнными к основному шкафу.
<b>Компрессор с водным охлаждением</b>	
Размеры	~46 x 48 x 62 см (Д x Ш x В)
Вес	~120 кг
Шланги компрессора	Длина ~20 м, вес: ~35 кг
Варианты используемого электропитания	3 Фазы 220/230 VAC 33 А макс. при 60 Гц 3 Фазы 460 VAC 13А макс. при 60 Гц 3 Фазы 380/420 VAC 16 А макс. при 50 Гц 3 Фазы 200/220 VAC 33А макс. при 50 Гц
Стандартное потребление энергии	7.2 кВт (пиковое - до 9 кВт)
Требования к охлаждающей воде	От 16 до 22 °С, 9 л/мин
Необходимость чиллера для воды	Доступен как опция.
<b>Сроки техобслуживания</b>	
Компрессор	После 30 000 часов работы (регистрируется таймером на компрессоре)
Криогенный рефрижератор	Приблизительно после 20 000 часов работы

**Модуль для измерения AC susceptibility (восприимчивость к переменному току)**

Характеристики модуля восприимчивости к переменному току (AC susceptibility)		
Диапазон частот переменного тока	От 0.1 Гц до 1 кГц	
Амплитуда переменного тока <sup>1</sup> (пиковая)	От 0.1 до 10 Э	
Чувствительность к моменту переменного тока <sup>2,3</sup>	$\leq 5 \times 10^{-8}$ еми (типичное значение)	
Точность момента переменного тока <sup>4</sup>	$\leq \pm 1\%$ (типичное значение)	
Точность фазового угла <sup>3,5</sup>	$\leq \pm 0.5$ (типичное значение)	
Влияния частоты <sup>6</sup> и температуры <sup>7</sup>	На момент переменного тока	$\leq \pm 1\%$ (типичное значение)
	На фазовый угол	$\leq \pm 0.5$ (типичное значение)
<sup>1</sup> Максимальная управляющая амплитуда зависит от частоты. ПО динамически снижает максимальную амплитуду на более высоких частотах.		
<sup>2</sup> Наименьшее детектируемое изменение момента.		
<sup>3</sup> Характеристика определена для момента примерно в $5 \times 10^{-6}$ еми с помощью референсного образца при 300 К с переменным током частотой 10 Гц с максимальным усреднением в 10 с.		
<sup>4</sup> Заявленная восприимчивость к переменному току для референсного образца согласуется с измеренной восприимчивостью к постоянному току. Характеристики определены с помощью референсного образца при 300 К, Восприимчивость к постоянному току получена из измерений DC M(H) в диапазоне $\pm 100$ Э с шагом поля в 5 Э, Восприимчивость к переменному току измерялась при 10 Гц на максимальном усреднении в 10 с и с амплитудой переменного тока, достаточной для момента в минимум $2 \times 10^{-5}$ еми.		
<sup>5</sup> Заявленный угол фазы для референсного образца согласуется с ожидаемым значением. Характеристика определена с помощью референсного образца при 300 К с частотой 10 Гц на максимальном усреднении в 10 с и с амплитудой переменного тока, достаточной для момента в минимум $5 \times 10^{-6}$ еми – характеристика обозначает максимальное отклонение от угла нулевой фазы для референсного образца.		
<sup>6</sup> В диапазоне частот от 0.1 Гц до 1 кГц для моментов более $2 \times 10^{-5}$ еми.		
<sup>7</sup> В диапазоне температур от 2 до 400 К для моментов более $2 \times 10^{-5}$ еми.		



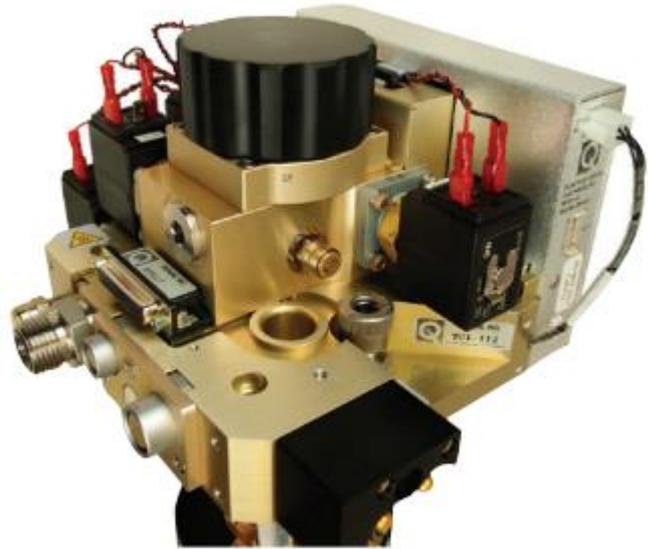
Множество материалов имеет механизмы рассеяния под воздействием колебательного магнитного поля, и их восприимчивость объясняется наличием вещественной и мнимой части, из которых последняя – пропорциональна рассеянию энергии в образце. Суть в том, чтобы выделить часть не совпадающего по фазе момента образца путём приложения переменного электрического поля. Технология SQUID для этих целей подходит идеально, поскольку обеспечивает отклик сигнала с практически линейной характеристикой на широком диапазоне частот от 0.1 Гц до 1 кГц. В системе SQUID выходное напряжение пропорционально магнитному потоку в воспринимающей катушке, а не её производной во времени, как в обычных

системах переменного тока. Таким образом, система MPMS 3 не только достигает феноменальной чувствительности в базовой конфигурации, но и сводит к минимуму отклонения в чувствительности на всём диапазоне частот. Опция AC susceptibility для MPMS 3 обеспечивает чувствительность лучше  $5 \times 10^{-8}$  еми при измерении AC момента, и лучше  $\pm 0.5^\circ$  для измерения чувствительности фазового угла на всём частотном спектре измерений переменного тока.

Эта опция включает в себя специализированный контроллер и пакет ПО, которые полностью интегрируются в установленную систему и пользовательский интерфейс. Измерения переменного тока можно проводить во всем диапазоне температур и полей базовой системы, а также с опцией нагрева (однако в этом случае характеристики модуля несколько изменяются).

### Опция сверхнизкого поля (ULF)

Данная опция MPMS 3 активно блокирует остаточную намагниченность в сверхпроводящем соленоиде, поэтому образцы возможно термостатировать в очень низком поле – менее  $\pm 0.05$  Гс. Это особенно важно в изучении свойств высокотемпературных сверхпроводников и материалов из спинового стекла. Помимо измерений нулевого поля, данная опция также допускает установку полей до  $\pm 20$  Гс с улучшенным на два порядка по сравнению со стандартной системой разрешением.



Опция ультранизкого поля включает в себя дополнительную электронику и специально разработанный сенсор магнитного поля. В базовом режиме работы система MPMS 3 измеряет характер остаточного поля вдоль продольной оси соленоида с помощью магнитного датчика, а затем сбрасывает его установкой постоянного магнитного поля с помощью компенсационной катушки, смонтированной с сверхпроводящим соленоиде.

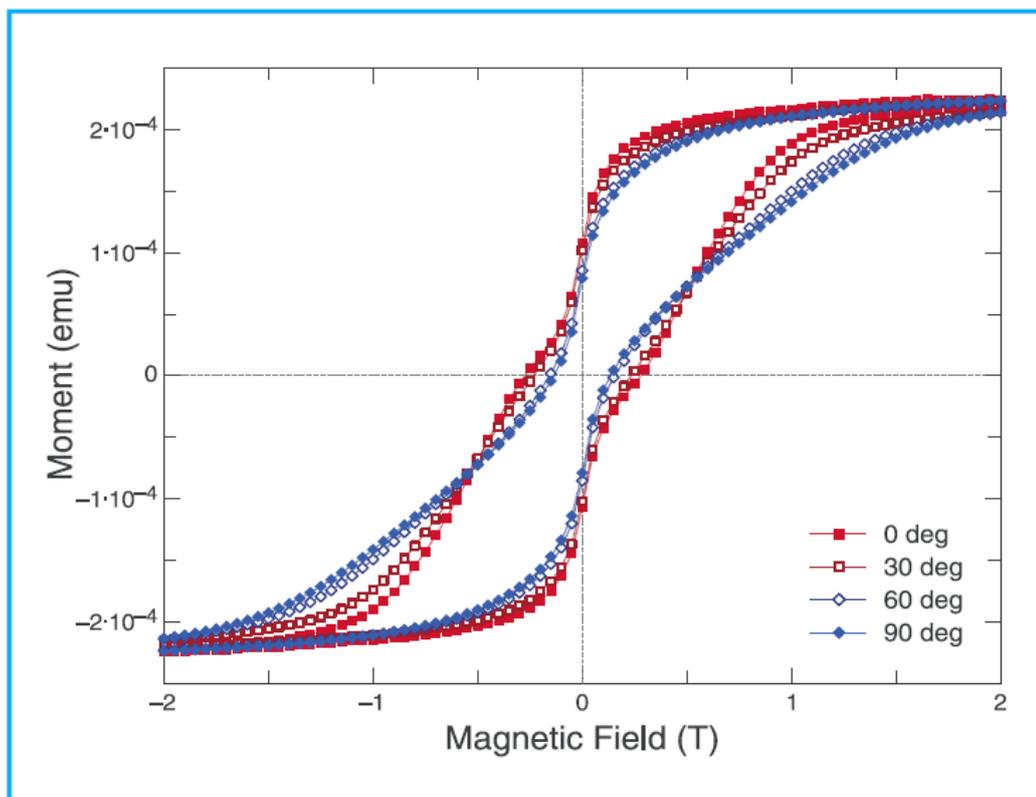
<b>Характеристики модуля сверхнизкого поля</b>	
<b>Характеристики сброса (обнуления поля)</b>	
Область сброса поля <sup>1</sup>	до $\pm 10$ мм
Однородность поля <sup>2</sup>	$\pm 0.05$ Гс
Диапазон целевого поля после сброса	От -5 до +5 Гс
Стабильность поля	24 ч
<b>Характеристики магнитного датчика</b>	
Диапазон измерений магнитного датчика	$\pm 10$ Гс
Чувствительность <sup>3</sup>	$\pm 0.002$ Гс
Точность	$\pm (0.02 \text{ Гс} + 0.5\% \text{ измеренного поля})$
<b>Дополнительные характеристики</b>	
Длина магнитного профилирования <sup>4</sup>	До 50 мм
Диапазон полей, устанавливаемых в высоком разрешении <sup>5</sup>	$\pm 20$ Гс
Разрешение поля	Выше 0.002 Гс
Точность поля	$\pm (0.002 \text{ Гс} + 0.5\% \text{ установленного поля})$
<sup>1</sup> Расстояние до центра магнита	
<sup>2</sup> Максимальное поле на любой точке вдоль оси магнита внутри окна сброса	
<sup>3</sup> Собственный шум магнитного датчика	
<sup>4</sup> Максимальная длина магнитной оси, доступной для профилирования	
<sup>5</sup> Диапазон полей в высоком разрешении, доступный с помощью опции сверхнизкого поля	

### Система вращения образца в горизонтальной плоскости

Горизонтальный ротатор MPMS 3 позволяет вращать образцы вокруг горизонтальной оси. Образец устанавливается на небольшую пластину (ротор), которая позволяет вращать образец в диапазоне от  $-10^\circ$  до  $370^\circ$  с шагом в  $0.1^\circ$ . Ротатор собран из специальных материалов, позволяющих снизить магнитные помехи со стороны держателей. Кроме того, последнее поколение штанги для образца имеет встроенный в саму штангу шаговый мотор. В нормальных условиях работы ПО MPMS 3 MultiVu управляет пластиной держателя образца с помощью этого мотора, позволяя полностью автоматизировать измерение параметров образца в зависимости от угла поворота.



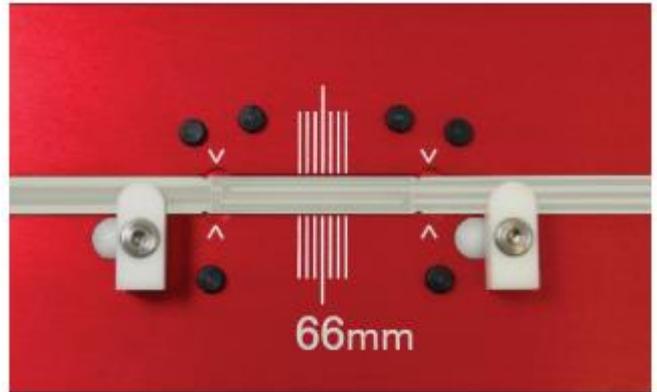
Держатели для образцов	Стандартные размеры образцов
Стандартная платформа	4 x 4 x 2 мм
Держатель для тонких плёнок (доступен опционально)	4 x 4 мм (плоская)
Держатель для крупных образцов (доступен опционально)	4 x 4 x 4 мм
Характеристики	
Диапазон углов поворота	От $-10^\circ$ до $370^\circ$
Угловой шаг	$<0.1^\circ$ (типичное значение)
Повторяемость	$<1.0^\circ$ с $<10^\circ$ люфта (типичное значение)



Измерение характеристик образца тонкой ферромагнитной плёнки с перпендикулярной анизотропией, расположенной на подложке. Результаты показаны для зависимости магнитного момента в диапазоне полей  $\pm 2$  Тл по петле поля в случае разного положения образца относительно поля (в диапазоне углов поворота образца от 0 до 90 градусов).

**Печь – опция для нагрева образцов до высоких температур**

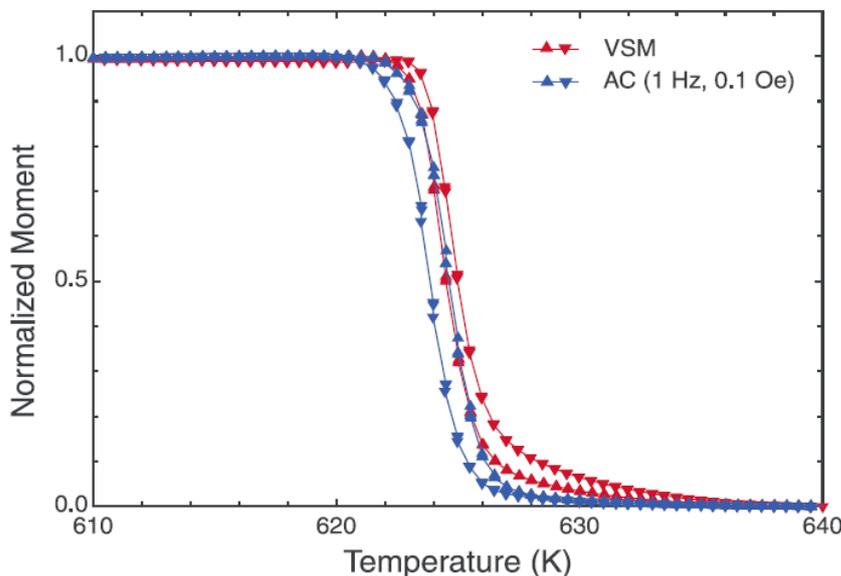
Опция печи для MPMS 3 позволяет проводить магнитометрические измерения в диапазоне температур образца от 300 до 1000 К. Нагреваемый держатель для образца позволяет работать при высоких температурах, в то время как образец осциллирует внутри катушки детектирования. При наличии опции измерения переменного тока имеется возможность изучать восприимчивость к переменному току в том же температурном диапазоне, хоть и со сниженными за счёт держателя образца характеристиками.



*Платформа для образца печи MPMS 3 с держателем образца*

В состав опции печи MPMS 3 входит дополнительная электроника, турбомолекулярный насос для создания глубокого вакуума в камере для образца для снижения тепловой нагрузки на жидкий гелий при повышенных температурах, и специализированный держатель для образца, позволяющий напрямую контролировать температуру образца.

Характеристики печи	
Температурный диапазон	От 300 до 1000 К
Температурная точность	лучше 2% после выхода на режим
Температурная стабильность	± 0.5K
Чувствительность движения	1.0 x 10 <sup>-6</sup> етм при H ≤ 2,500 Э (300 К, усреднение за 10 с) 8.0 x 10 <sup>-6</sup> етм при H > 2,500 Э (300 К, усреднение за 10 с)
Характеристики держателя образца	
Общие размеры	160 x 5 x 0.5 мм
Область нагрева	25 x ~5 мм между держателями
Расположение образца	66 мм от нижней части держателя
Максимальный рекомендованный размер образца	10 x 5 x 2 мм
При использовании печи может вырасти потребление жидкого гелия	



*Измерение магнитных свойств как функции температуры небольшого образца никеля для наблюдения температуры Кюри с помощью VSM и техник измерения переменного тока с опцией печи. При измерении применялся шаг температуры 0.5 K со стабилизацией, и магнитное поле индукцией 10 Э.*

### Опция для электротранспорта (ЕТО)

Опция для электротранспорта (ЕТО) позволяет пользователям производить несколько типов транспортных измерений в широком диапазоне сопротивлений и типов образцов: измерения сопротивления к переменному току, эффекта Холла, ВАХ, а также дифференциальной резистивности и дифференциальной проводимости. Опция ЕТО способна выполнять как четырёхточечные, так и двухточечные измерения сопротивления. В первом режиме два контакта проводят ток через образец, а еще два - измеряют снижение электрического напряжения. Наличие двухканальной электроники позволяет выполнять исследования одновременно двух разных образцов четырехконтактным методом. Каждый канал состоит из прецизионного источника тока и предусилителя напряжения, подключённого к цифровому сигнальному процессору (DSP). Режим подходит для образцов с сопротивлением до нескольких МОм.

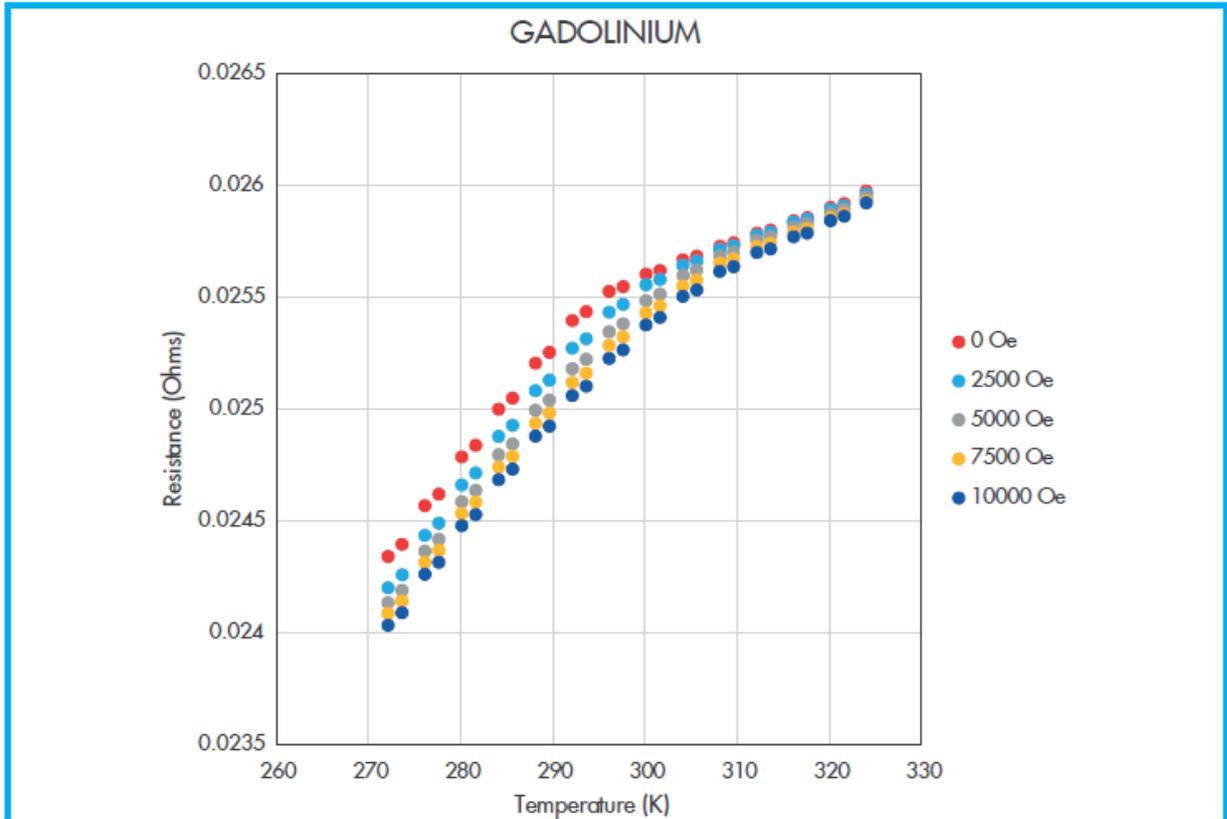
Для образцов с более высоким сопротивлением в опции ЕТО есть возможность двухконтактных измерений (двухпроводной режим, или «режим электрометра»). В этом режиме система создаёт заряд переменного тока на образце и измеряет прохождение тока через образец. Источник напряжения и амперметр позволяют выполнять измерения сопротивлений до 5 ГОм.

Оборудование опции ЕТО включает в себя 2 CAN-модуля с электроникой, стержень для образца с проводами, специальные РСВ-держатели образцов (печатные платы, Printed Circuit Boards). Доступно два исполнения держателей для образца – для расположения образца параллельно или перпендикулярно полю. Первый имеет возможность двухканальных измерений четырехпроводным методом, второй позволяет работать только в одноканальному режиму.

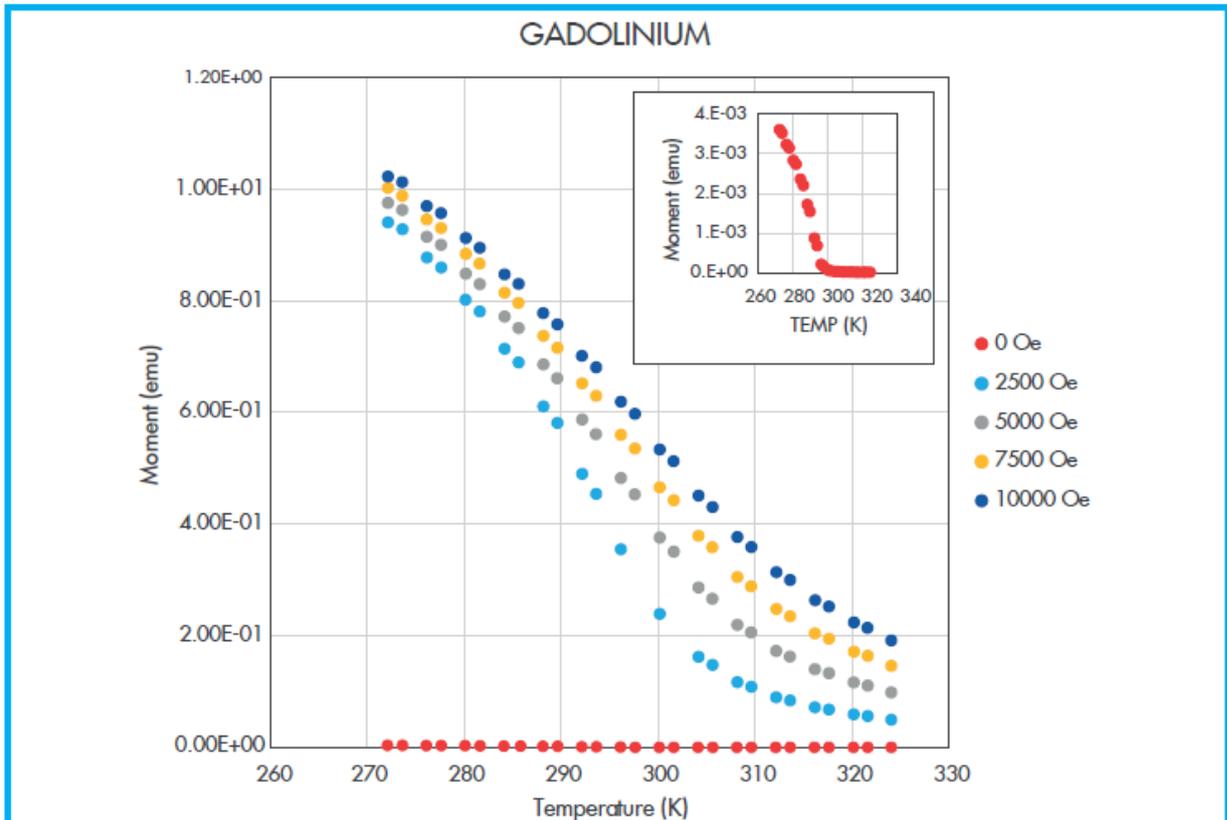
Держатели и стержень ЕТО могут быть также использованы для измерений сопротивления и магнитометрии с помощью VSM или DC модулей без необходимости смены оборудования.

<b>Характеристики опции для электротранспорта (ЕТО)</b>	
Диапазон частот	Переменный ток от 0.1 до 200 Гц
Подавление синфазного сигнала	-100 дБ при 100 Гц
<b>Четырёхконтактный режим</b>	
Диапазон сопротивлений	От ~10 мкОм до 10 МОм
Точность измерения сопротивления	2% (типичное значение для R < 1 ГОм) 5% (типичное значение для R = 5 ГОм) в диапазоне частот от 0.1 до 10 Гц
Ток возбуждения	От 100 нА до 100 мА
Частотная зависимость	Лучшая точность при частотах >15 Гц в силу высокого коэффициента усиления
Дифференциальное сопротивление	Соотношение dV/dI и тока смещения
Уровень шума (HGA)	2 нВ/√Гц
Порог шума	±10 нОм (RMS, типичное значение) при токе возбуждения 100 мА
<b>Двухконтактный режим</b>	
Диапазон сопротивлений	От ~2 МОм до 5 ГОм
Точность измерения сопротивления	2% (типичное значение для <1 ГОм) 5% (типичное значение для R = 5 ГОм и частот < 10 Гц)
Входящий ток	250 нА (макс.)
Напряжение возбуждения	До 10 В
Частотная зависимость	Наилучшая точность при частотах ≤10 Гц
Дифференциальная проводимость	Соотношение dI/dV и напряжения смещения
Помехи (PGA)	30 нВ/√Гц (типичное значение)

**Два типа измерений опции ЕТО для одной компоновки**



Зависимость сопротивления от температуры, 18.3 Гц переменный ток, четырехконтактный метод

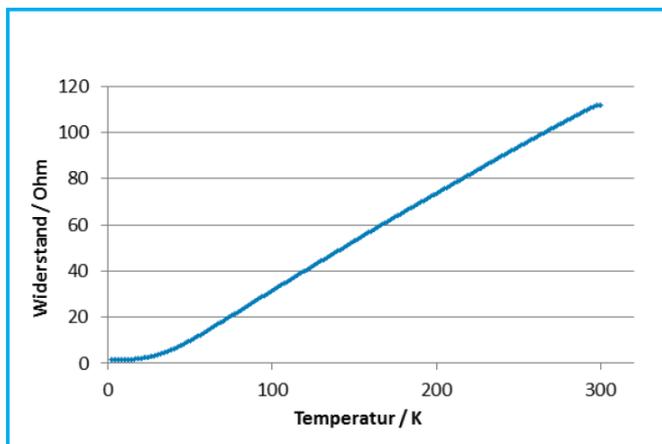


Зависимость момента от температуры, VSM

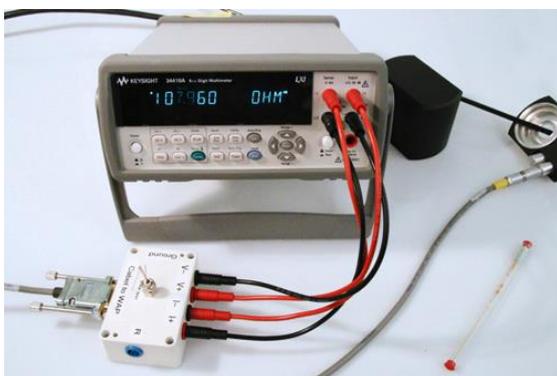
### Зонд для использования пользователем (Manual insertion utility probe MIUP)

MIUP – это многофункциональная платформа для размещения образца, которую с лёгкостью можно интегрировать в базовую систему MPMS3. Стержень MIUP и держатель для образца снабжены пятью встроенными проводами, предназначенными для соединения с электрическими контактами образца. Провода сделаны из фосфористой бронзы и подключаются через разъем sub-D. MIUP позволяет пользователю проводить разнообразные электрические измерения в MPMS3 в автоматическом режиме в различных полях и температурах.

Платформу MIUP можно применять параллельно с комплектом M3R от LOT-QD, который обеспечивает автоматические измерения сопротивления. В состав комплекта M3R входит блок адаптера, промышленный мультиметр и пакет ПО для запуска автоматизированных измерений. Пакет ПО применяет скрипты для проведения типовых анализов температуры непосредственно через MultiVu. Благодаря “открытости” скриптов пользователь может адаптировать настройки под свои требования.



*Автоматическое измерение сопротивления сенсора типа Pt-100 при температуре от 2 до 300 К в отсутствие магнитного поля.*



*Стержень для образца MIUP и держатель для образца, подключённые к блоку адаптера M3R*

<b>MIUP и комплект измерения сопротивления</b>	
<b>Стержень для образца и держатель MIUP</b>	
Низкий ток	< 100 мА. Доступен полный температурный диапазон *
Высокий ток	Базовая температура недоступна*
Режим	C150A (включая WAP) C150B (без WAP; если эта часть доступна на MPMS3)
<b>Описание M3R</b>	
Блок адаптера M3R	Выход – пять штекеров типа «банан» и соединитель для тестирования держателя MIUP
Цифровой мультиметр	Устройство на основе GPIB, например, Keysight, Keithley и т.п. (уточняется при заказе)
*Температурная точность с данной опцией не гарантируется	

### Магнитооптические измерения

Магнитооптическая опция для MPMS 3 – это мощный инструмент для исследования фотоинициированного намагничивания и связанных явлений. На практике это означает, что образец может быть освещен внешним источником во время проведения магнитных измерений. Полный комплект магнитооптического оборудования состоит из монохромного источника света (MLS) и оптоволоконного держателя образца (FOSH), которые гармонично дополняют друг друга. MLS представляет собой ксеноновую лампу с дихроическим зеркалом и набором фильтров, установленных на колесе светофильтров с ручным управлением. Такой набор обеспечивает свет с различной длиной волн (по сути, разные цвета). На выходе MLS расположен волоконно-оптический соединитель и начинается держатель FOSH. В состав FOSH входит оборудование для непосредственной работы с образцом (стержень и держатель образца). Разумеется, FOSH может также работать и с уже имеющимися в лаборатории пользователя источниками света.

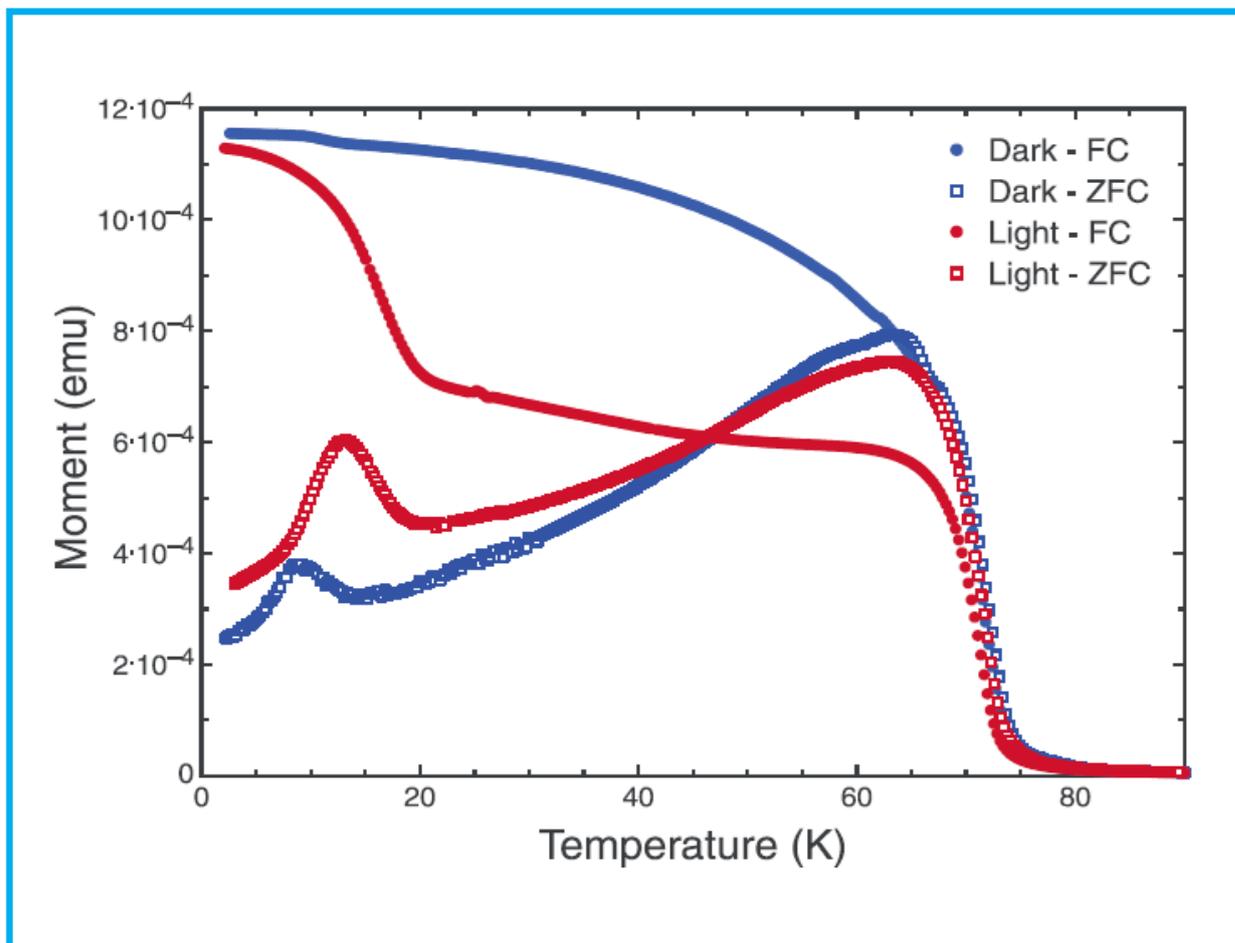


MPMS 3 с ксеноновым источником света (MLS) на 150 Вт и держателем для образца FOSH

Опция для магнитооптических измерений	
<b>Монохромный источник света (MLS)</b>	
Лампа	Ксенон, короткая дуга; 150 или 300 Вт
Световой выход	SMA (совместим с FOSH)
Требования к электропитанию	90 – 250 В переменного тока, 48 – 63 Гц
Диапазон длин волн	От 436 до 850 нм <sup>1</sup> Определяется набором из 9 фильтров
Опциональные модули	Набор для УФ диапазона Система измерения относительной интенсивности Подставка для блока питания и источника света (только для версии 150 Вт)
Ручное колесо с 9 светофильтрами и 10 позициями	
<b>Оптоволоконный держатель образца (FOSH)</b>	
Диаметр волокна	1.5 мм
Числовая апертура	0.2
Чувствительность момента	1.0 x 10 <sup>-6</sup> етм при H≤2500 Э (300 К, усреднение 10 с) 8.0 x 10 <sup>-6</sup> етм при H>2500 Э (300 К, усреднение 10 с)
Размер образца	До 1.6 мм
Диапазон температур	От 2 до 300 К
<sup>1</sup> Средняя длина волны фильтра. За дополнительной информацией по фильтру обратитесь к нашим менеджерам.	

Внутри стержня для образца MPMS 3 закреплён жёсткий оптоволоконный стержень, который выходит из его нижнего конца внутрь держателя для образца FOSH. Держатель образца представляет собой подвижную каретку на пружине, сделанную из составных кварцевых трубок.

Компоненты держателя образца практически полностью выполнены из кварца, чтобы снизить магнитные помехи, вносимые им. Образец помещается в небольшой кварцевый стакан с внутренним диаметром 1.6 мм и глубиной 1.6 мм, где и удерживается с помощью кварцевой крышки.



Данные, полученные от FOSH при охлаждении в поле и при его отсутствии, собранные в режиме сканирования постоянного тока в поле напряжённостью в 100 Эс образца, представляющего собой частицы ядра-оболочки аналогов берлинской лазури, которая проявляет ферромагнитные свойства при температуре ~ 70 K, и окружающие ядра, проявляющие фотоактивные и ферромагнитные свойства при температуре ~ 20 K. Измерения выполнены в сотрудничестве с учёными Elisabeth S. Knowles и Mark W. Meisel (UF Physics и NHMFL). Образец FOSH подготовлен учёными Carissa H. Li и Daniel R. Talham (UF Chemistry).

### Система создания сверхвысокого давления

Система создания сверхвысокого давления HMD для магнитных измерений в MPMS 3 обеспечивает лёгкость работы с образцом, без необходимости использования гидравлического пресса. Ячейка сверхвысокого давления поставляется в полном наборе, со всеми принадлежностями.

Характеристики	
Совместимость с режимом	DC Сканирование
Модель	QDJ-HMD-M13
Максимальное давление	1.3 ГПа
Диаметр пространства для образца	1.7 или 2.2 мм
Длина пространства для образца	7 мм. макс.
Диаметр камеры	8.5 мм
Диапазон температур	От 1.9 до 400 К
Индукция поля	7 Тл
Магнитный фон (номинальный)	$4 \times 10^{-7}$ ему/Гс



*Комплект поставки системы с ячейкой сверхвысокого давления для магнитных измерений со всеми необходимыми расходными материалами.*

### He3-рефрижератор

Доступна новая опция охлаждения с использованием гелия-3 от iQuantum для магнитных измерений в сверхнизких температурах с помощью системы MPMS 3.

#### Преимущества

- Температурный диапазон от 0.46 до 1.8 К
- Время охлаждения - < 3 ч. (с 300 до 0.5 К)
- 10 часов работы на  $^3\text{He}$  за один запуск (режим «single-shot»)
- < 30 минут на реконденсацию  $^3\text{He}$
- Система совместима с EverCool™



Характеристики	
Температурный диапазон	От 0.46 до 1.8 К
Точность калибровки температуры (на основе температуры референсного кадмиевого образца)	2%
Время охлаждения (от 300 до 0.5 К)	< 3 ч
Необходимый объём газа ( $^3\text{He}$ )	3 литра
Время работы на $^3\text{He}$ (типичное)	10 часа
Время работы на $^3\text{He}$ (при базовой температуре)	40 часов
Время реконденсации $^3\text{He}$ (типичное)	< 30 минут
Диапазон магнитного поля	$\pm 7$ Т
Поддержка режимов измерения	Сканирование постоянного тока (DC скан), восприимчивость к переменному току (AC susceptibility) (опционально)
Скорость сбора информации (M(H), время на каждую точку)	От 20 до 30 сек.