



**ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ
ИМЕНИ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**



**Система измерения физических свойств
материалов и структур
PPMS® DynaCool™
компании Quantum Design (США)**



В Центре коллективного пользования имени Д.И. Менделеева установлена «Система измерения физических свойств материалов и структур PPMS® DynaCool™ компании Quantum Design (США)» – далее «система PPMS® DynaCool».

Система PPMS® DynaCool обладает уникальными возможностями для исследования широкого спектра физических свойств материалов и структур, в особенности при сверхнизкой температуре, причем без использования криогенных жидкостей.



*Общий вид системы PPMS® DynaCool со стороны модуля управления
(лаборатория № 129 ЦКП им. Д.И. Менделеева)*

Основные характеристики системы:

- температурный диапазон исследования свойств 50 мК – 400 К;
- прецизионная стабилизация температуры в зоне исследуемого образца;
- постоянное магнитное поле до ± 14 Тл;
- встроенный высоковакуумный криогенный насос ($< 1 \cdot 10^{-4}$ мм. рт. ст.);
- нет необходимости в использовании криогенных жидкостей;
- полностью автоматизированный процесс измерений.

Система PPMS® DynaCool прошла испытания в режиме различных опций (перечень опций приведен далее).

• Electrical Transport Option (ETO)

Опция для изучения механизмов и свойств электронного транспорта на переменном токе частотой (0 – 200) Гц и амплитудой тока возбуждения в диапазоне 10 нА – 100 мА.

Включает в себя:

1. Измерение сопротивления, в том числе эффект Холла, в 4-х контактной геометрии в диапазоне 10 мкОм – 10 Мом;
2. Измерение сопротивления на переменном токе (до 200 Гц) в 2-х контактной геометрии в диапазоне 2 МОм – 5 Гом;
3. Измерение вольт-амперных характеристик в импульсном режиме;
4. Измерение дифференциального сопротивления.

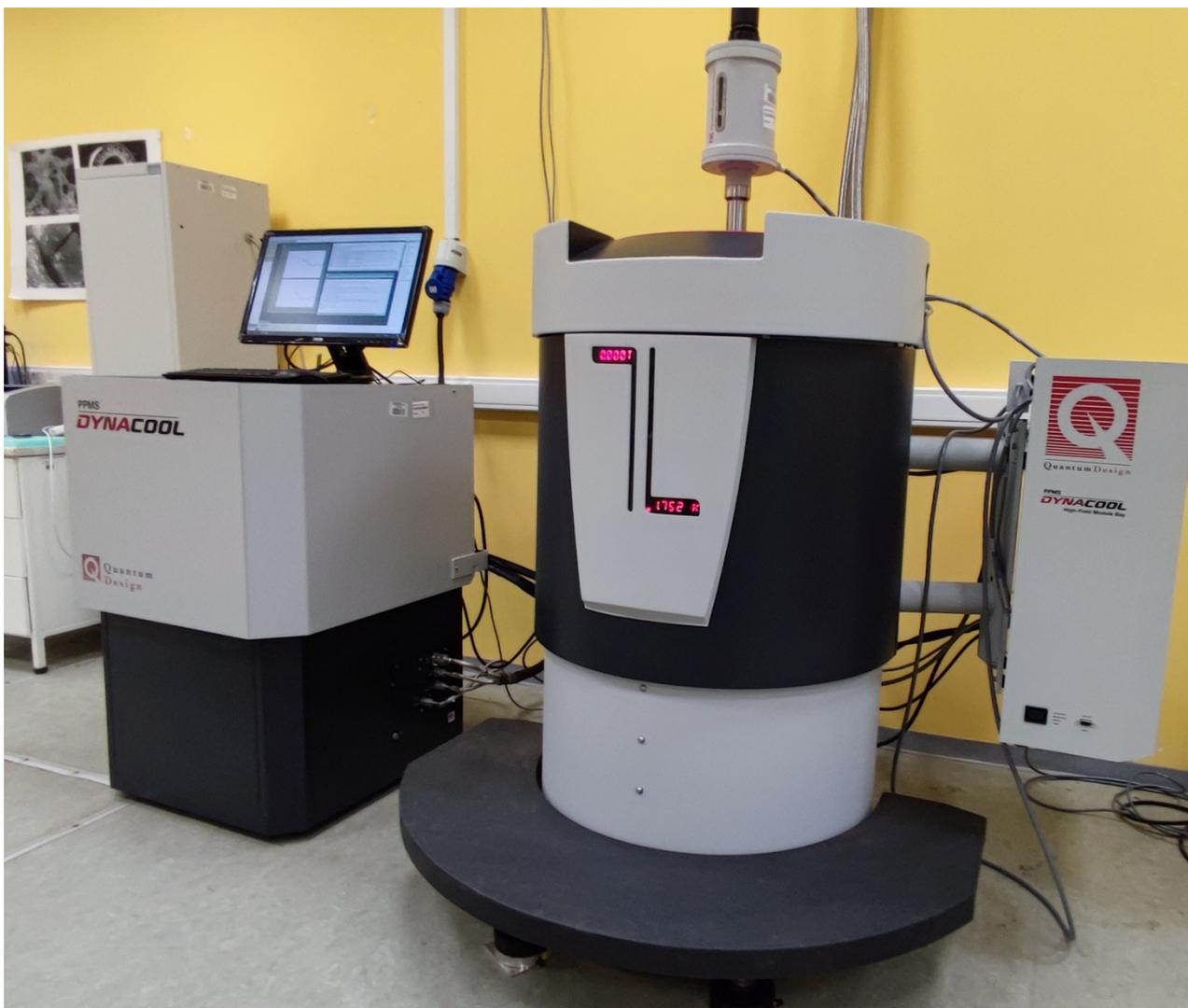
• Magnetometry

Опция для исследования магнитных свойств материалов, включающая в себя:

1. VSM option, опция вибрационного магнитометра – частота от 10 Гц

до 60 Гц, амплитуда вибрации (0,1 – 5) мм с характерным уровнем шумов $6 \cdot 10^{-7}$ ед/и при 300 К. Максимальная величина измеряемого магнитного момента – 40 ед/пиковое значение амплитуды смещения [мм].

2. AC Measurement System (ACMSII) option, опция магнитометра переменного тока с частотой 10 Гц – 10 кГц и амплитудой поля (0.05 – 15) Э, чувствительностью $1 \cdot 10^{-8}$ ед/и на частоте 10 кГц. Кроме того, позволяет измерять магнитный момент с чувствительностью $5 \cdot 10^{-6}$ ед/и.



Общий вид системы PPMS® DynaCool со стороны модуля криостата с установленной на нем опцией измерения магнитной восприимчивости (лаборатория № 129 ЦКП им. Д.И. Менделеева)

3. Torque Magnetometry option, опция магнитометра, измеряющего момент сил, действующих на образец в магнитном поле. Уровень шума – $1 \cdot 10^{-9}$ Нм, максимальный измеряемый момент $1 \cdot 10^{-4}$ Нм.

• **Heat Capacity**

Опция для исследования теплоемкости. Параметры: точность $\pm 5\%$ в диапазоне температуры (2 – 300) К, разрешение 10 нДж/К при 2 К.

• **Thermal Transport Option (ТТО)**

Опция для исследования термического транспорта. Включает:

1. Теплопроводность в диапазоне (0,1 – 250) Вт/м·К при 300 К;
2. Термо-эдс в диапазоне 1 мкВ/К - 1В/К.



Вид на переднюю панель модуля криостата системы PPMS® DynaCool с включенными индикаторами напряженности магнитного поля (слева) и температуры (справа) в зоне образца

- **Sub-Kelvin Option**

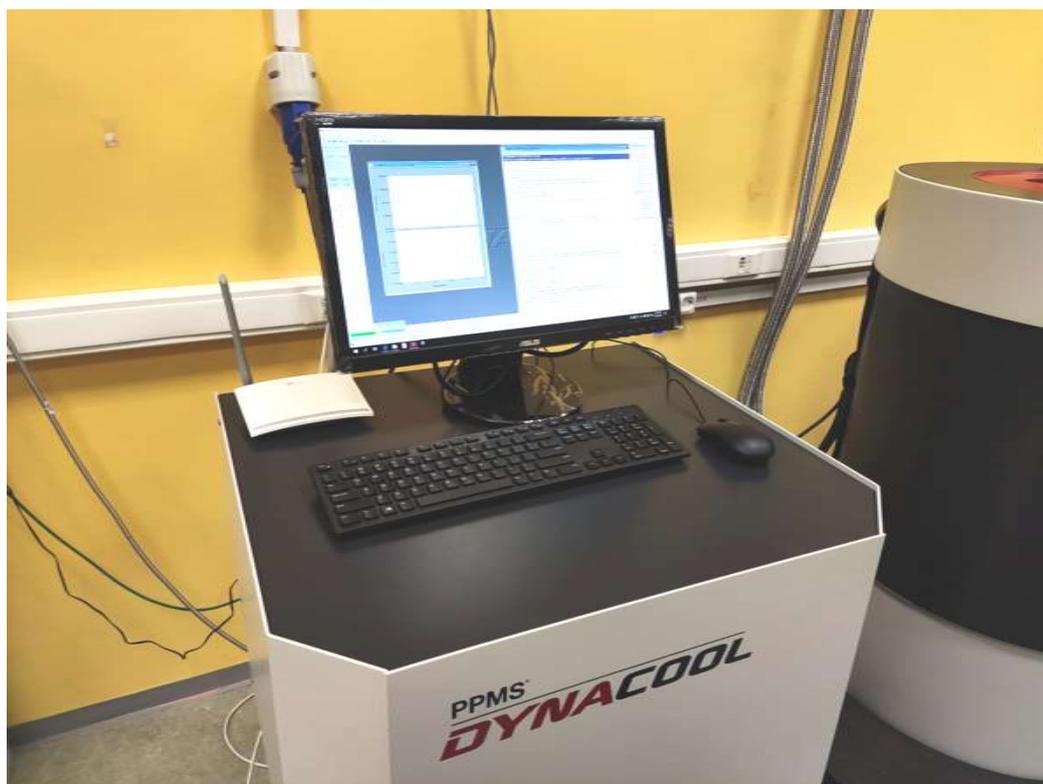
Сверх низкотемпературные опции, включающие:

1. He³ Refrigerator, рефрижератор He³ замкнутого цикла, минимальная температура 0,4 К. Опция совместима с опциями исследования электронного транспорта (ЕТО) и теплоемкости (Heat Capacity).

2. Dilution Refrigerator, He³-He⁴ рефрижератор растворения замкнутого цикла. Предельная температура охлаждения – 50 мК. Опция совместима с опциями исследования электронного транспорта (ЕТО) и теплоемкости.

- **FMR spectroscopy option**

Опция исследования ферромагнитного резонанса в диапазоне частот (2 – 40) ГГц.



Вид на монитор модуля управления системы PPMS® DynaCool с заданной программой исследования магнитной восприимчивости (справа) и результатами измерений (слева)

Для того, чтобы воспользоваться возможностями системы PPMS® DynaCool™ следует руководствоваться данными приведенной ниже таблицы, которая устанавливает требования к образцам.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОБРАЗЦАМ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИХ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
НА УСТАНОВКЕ PPMS® DynaCool™**

Измерительная опция	Измеряемые свойства	Условия измерений	Требования к образцам
ETO option	- электрическое сопротивление материалов при заданных значениях температуры и напряженности магнитного поля; - зависимость сопротивления от температуры; - зависимость сопротивления от напряженности магнитного поля; - эффект Холла	Полное сопротивление образца не более $1 \cdot 10^5$ Ом; температура 1,8 – 400 К; напряженность магнитного поля ± 12 Тл	1. Пленки металлов и легированных полупроводников на диэлектрической подложке: - размеры подложки (длина× ширина) 10×2 мм ² , толщина не более 2 мм. Для повышения точности измерений желательно вытравить пленку в факторе двойного холловского креста на подложке 10×4 мм ² и толщиной не более 2 мм; размер центральной области не более 2×2 мм ² , ширина потенциальных и холловских контактов не более 0,2 мм. 2. Моно- и поликристаллические образцы: - размер (длина×площадь(ширина×высота)): $6 \times (1 \times 1)$ мм ³ ; $10 \times (2 \times 2)$ мм ³
VSM option ACMSII option	- измерение намагниченности и/или магнитной восприимчивости материалов при заданных значениях температуры и напряженности магнитного поля; - измерение температурной	Температура 1,8 – 400 К; напряженность магнитного поля ± 12 Тл	Размеры образцов: 1. Объемные образцы (поли- и монокристаллы): - вдоль магнитного поля не более 8 мм в длину; - перпендикулярно магнитному полю не более 3 мм. 2. Пленки на подложке: - образец должен быть вписан в круг диаметром 5 мм. Кроме того, принимаются на измерения образцы массой 1 - 10 мг (при

	зависимости намагниченности и/или магнитной восприимчивости материала; - измерение зависимости намагниченности и/или магнитной восприимчивости материала от напряженности магнитного поля		возможности упаковки в измерительный контейнер): - порошки; - мягкие материалы.
НС option	- измерение теплоемкости материалов при заданных значениях температуры и напряженности магнитного поля; - измерение температурной зависимости теплоемкости материала; - измерение зависимости теплоемкости материала от напряженности магнитного поля	Температура 1,8 – 400 К; напряженность магнитного поля ± 12 Тл	Твердые образцы, порошки. Масса образца: 1- 200 мг
ТТ option	- измерение теплопроводности материалов при заданных значениях температуры и напряженности	Удельная теплопроводность образца в диапазоне 0,1-150 Вт/м·К; температура 1,8 – 400 К;	Твердые образцы нескольких типоразмеров: - параллелепипед (длина×площадь (ширина×высота))- (8×(2×2)) мм ³ (удельная теплопроводность 2-30 Вт/м·К); - иголка (10×(1×1)) мм ³ (удельная

	<p>магнитного поля; - измерение температурной зависимости теплопроводности материалов; - измерение зависимости теплопроводности материалов от напряженности магнитного поля; - измерение термо-эдс материалов при заданных значениях температуры и напряженности магнитного поля; - измерение температурной зависимости термо-эдс материалов; - измерение зависимости термо-эдс материалов от напряженности магнитного поля</p>	<p>напряженность магнитного поля ± 12 Тл</p>	<p>теплопроводность 10–150 Вт/м·К); - таблетка (3x(5x5)) мм³ (удельная теплопроводность 0,1–1,5 Вт/м·К)</p>
--	--	--	---