

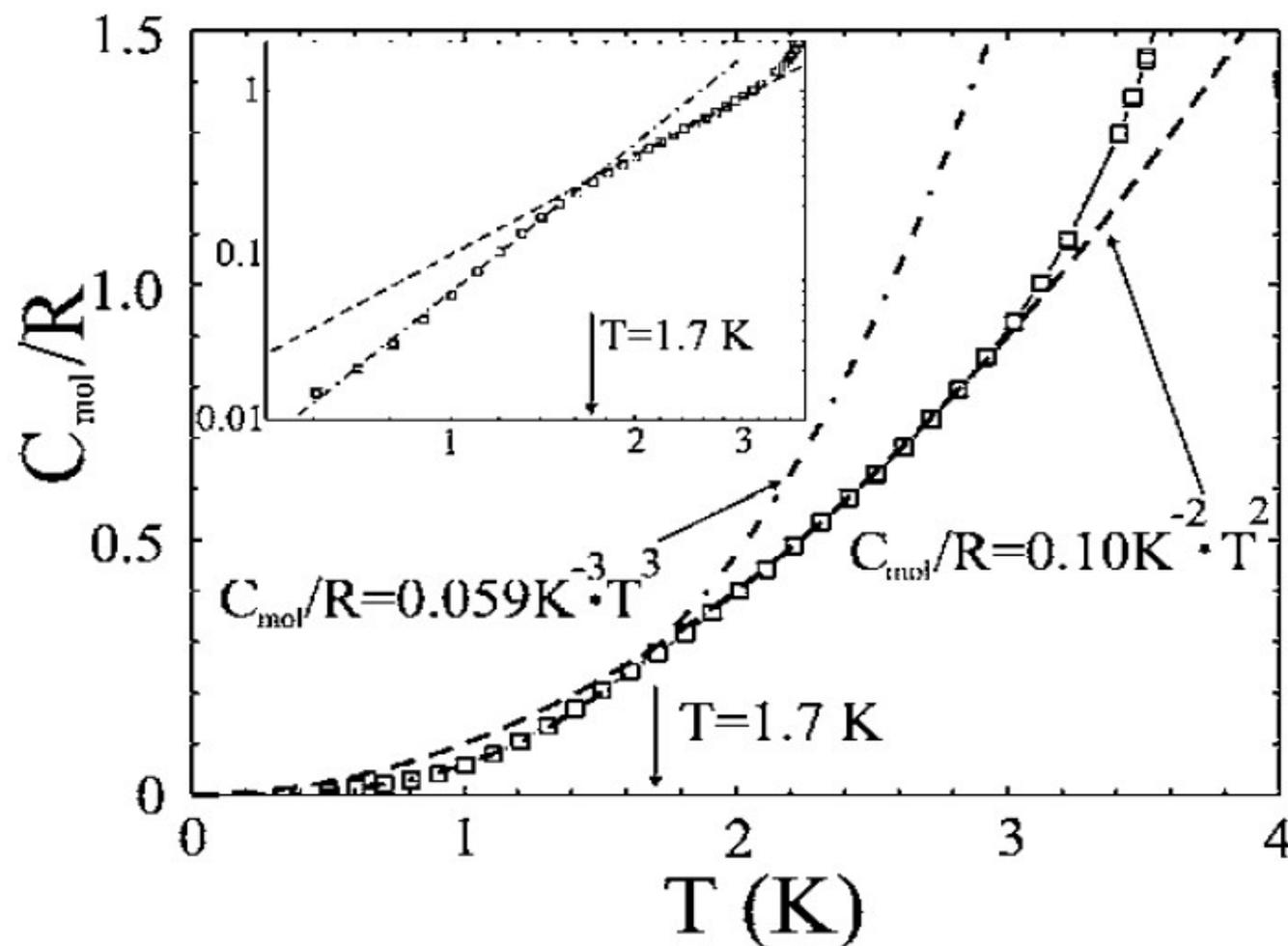
В.Н.Глазков

Спектроскопия конденсированных сред

слайды к лекции 3

«Стандартные методы измерения теплоёмкости и намагниченности»

Кроссовер между трёхмерным и двумерным поведением теплоёмкости квазидвумерного антиферромагнетика

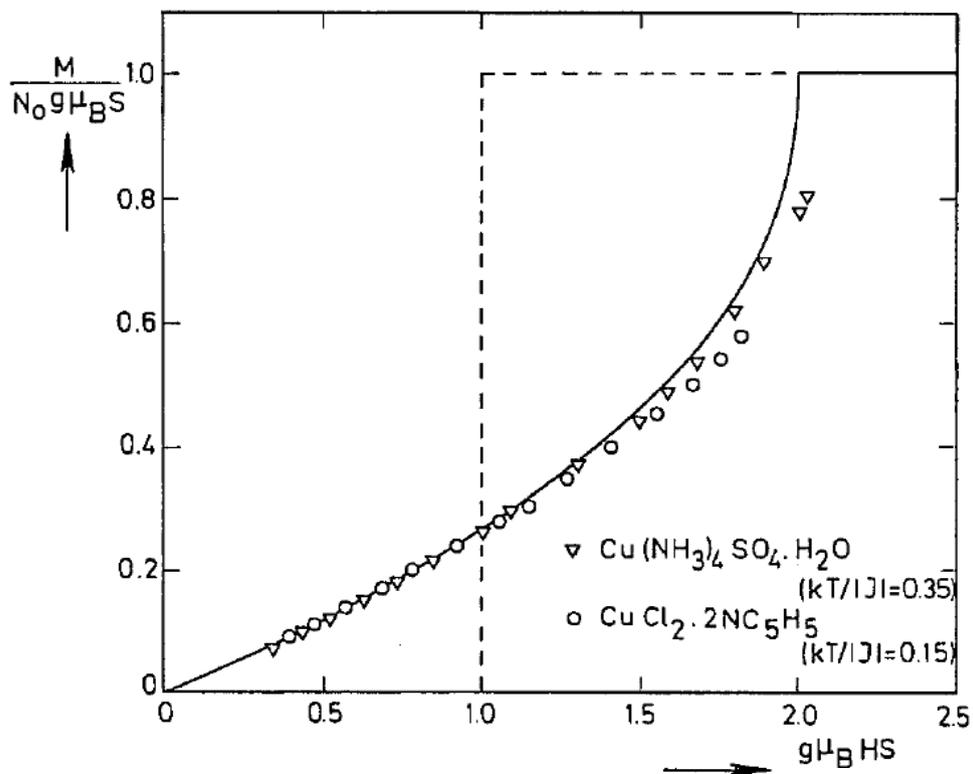


Температура кроссовера — прямое измерение межплоскостного взаимодействия

Температурная зависимость теплоёмкости $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$ при низких температурах. Пунктирная и штрих-пунктирная линия соответствуют квадратичному и кубическому законам, соответственно. На вставке - те же данные в двойном логарифмическом масштабе.

L. E. Svistov, A. I. Smirnov, and L. A. Prozorova, O. A. Petrenko, A. Micheler and N. Büttgen, A. Ya. Shapiro and L. N. Demianets, Magnetic phase diagram, critical behavior, and two-dimensional to three-dimensional crossover in the triangular lattice antiferromagnet $\text{RbFe}(\text{MoO}_4)_2$, *Physical Review B*, 74, 024412 (2006)

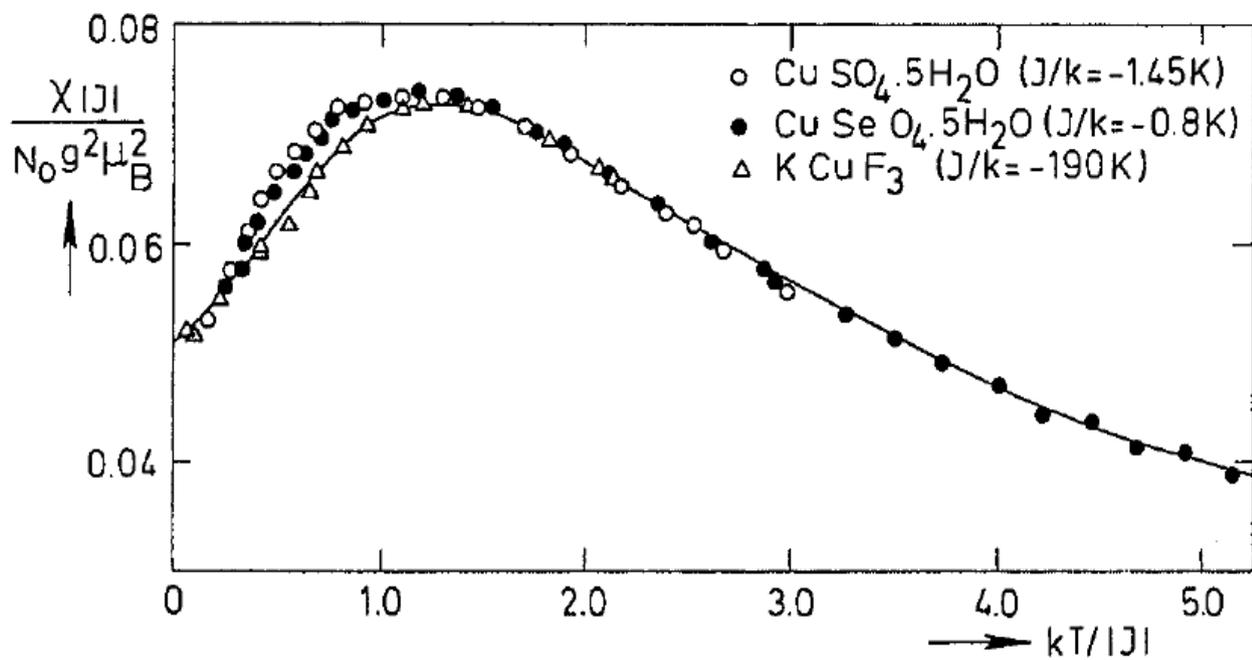
Кривые намагничивания одномерных цепочек



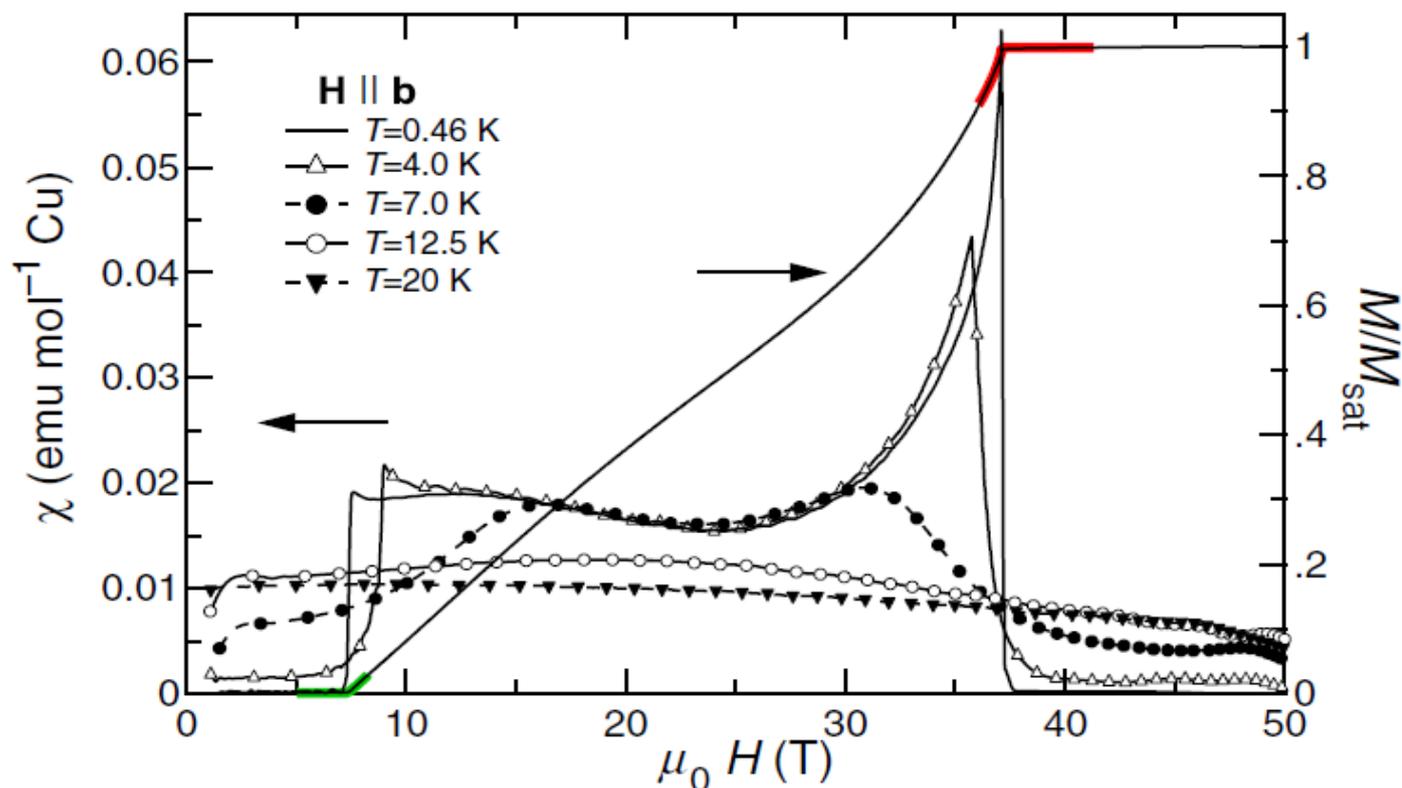
Пример сравнения кривых намагниченности для нескольких соединений с теоретической кривой. Пунктирная кривая соответствует модели Изинговского антиферромагнетика.

Поле насыщения, значение восприимчивости содержат информацию об обменном интеграле — том самом, который определяет и спектр

Пример сравнения кривых магнитной восприимчивости для нескольких квазиодномерных соединений с теоретической кривой Боннер-Фишера.



Кривые намагничивания спин-щелевого магнетика.



Магнитная восприимчивость (левая ось) и нормированная на намагниченность насыщения намагниченность (справа) монокристалла $(\text{Cu}_4\text{H}_{12}\text{N}_2)\text{Cu}_2\text{Cl}_6$.

Нижнее критическое поле определяется щелью в спектре возбуждений,
поле насыщения — самыми сильными обменными связями

Системы PPMS и MPMS, Общие характеристики.



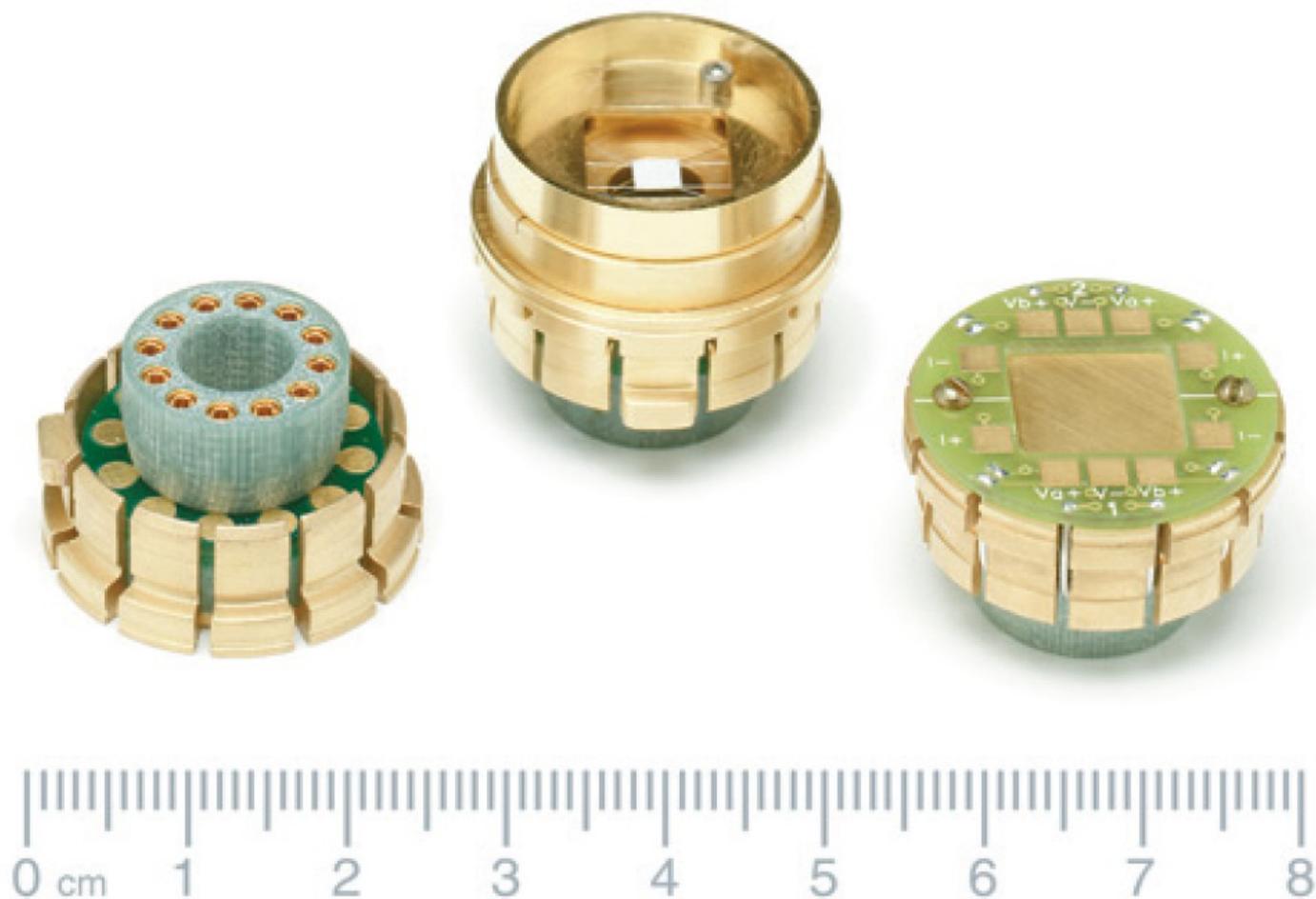
Фотография системы MPMS в опции с криостатом замкнутого цикла. Слева-направо: стойка компрессора, стойка электроники, стойка с криостатом. С сайта фирмы Quantum Design <http://www.qdusa.com/products/mpms.html>.

Поля 7-9-14 Тл
Температуры 2...400К в базовой
комплектации



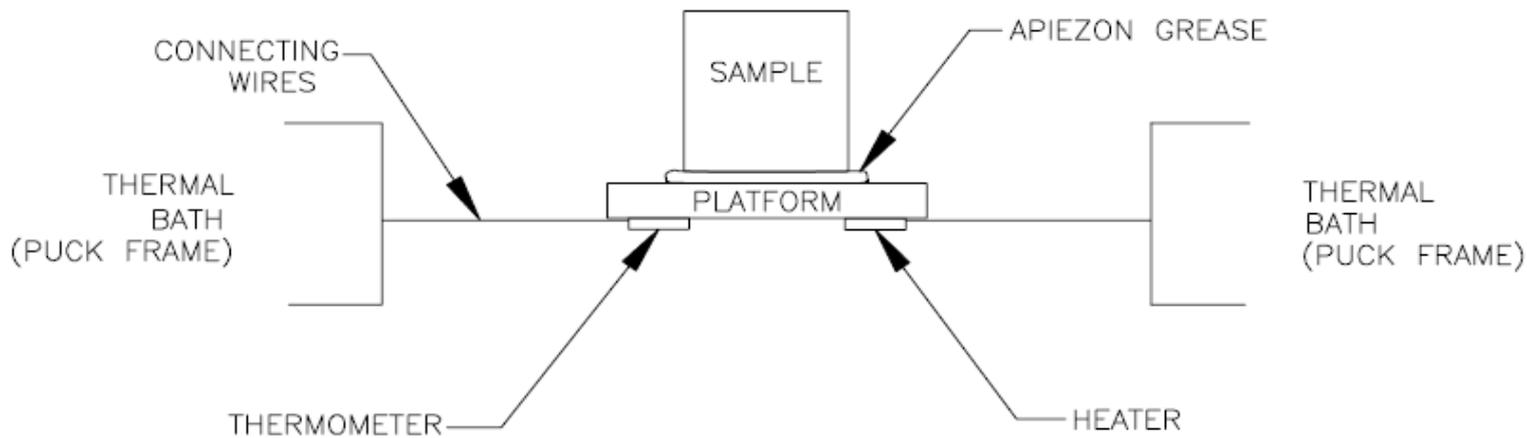
Фотография системы PPMS. Слева - стойка электроники, справа - дьюар. Из брошюры PPMS: Physical Property Measurement System

PPMS. Релаксационный метод измерения теплоёмкости.



Примеры стандартных вставок в установку PPMS. Слева и справа вставка для электрических измерений (в перевёрнутом и нормальном виде), по центру - калориметрическая вставка. Из брошюры PPMS: Physical Property Measurement System

Схема калориметрической ячейки.

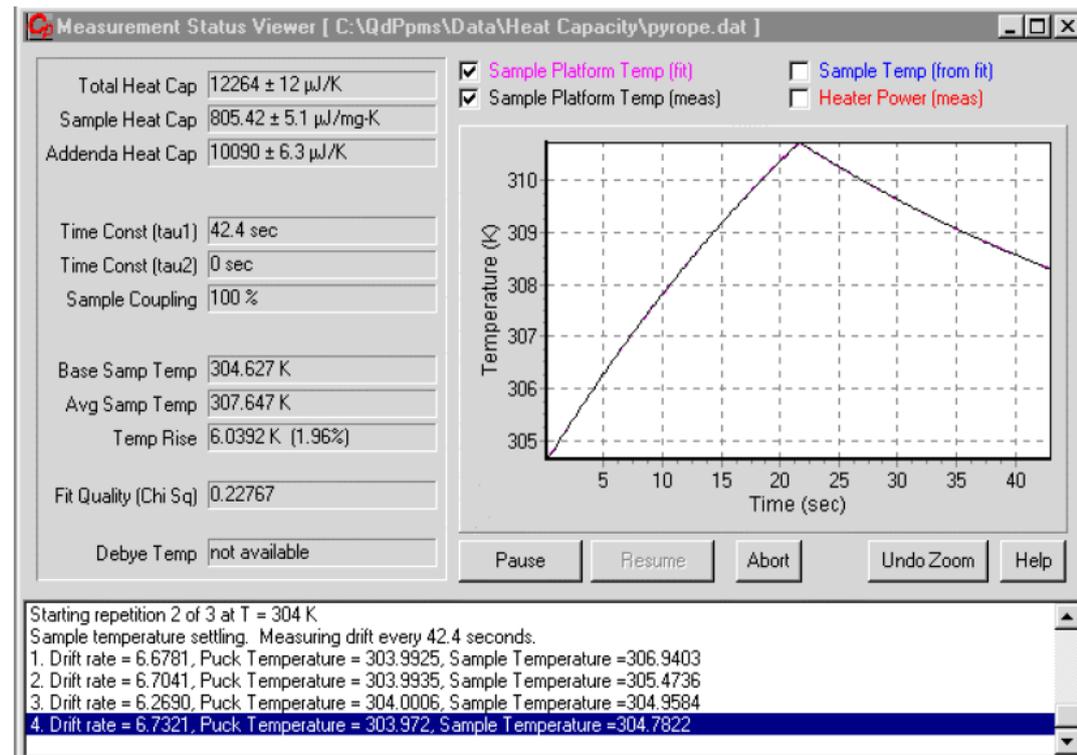


$$C_{tot} \frac{dT_p}{dt} = -K_w (T_p - T_b) + P(t)$$

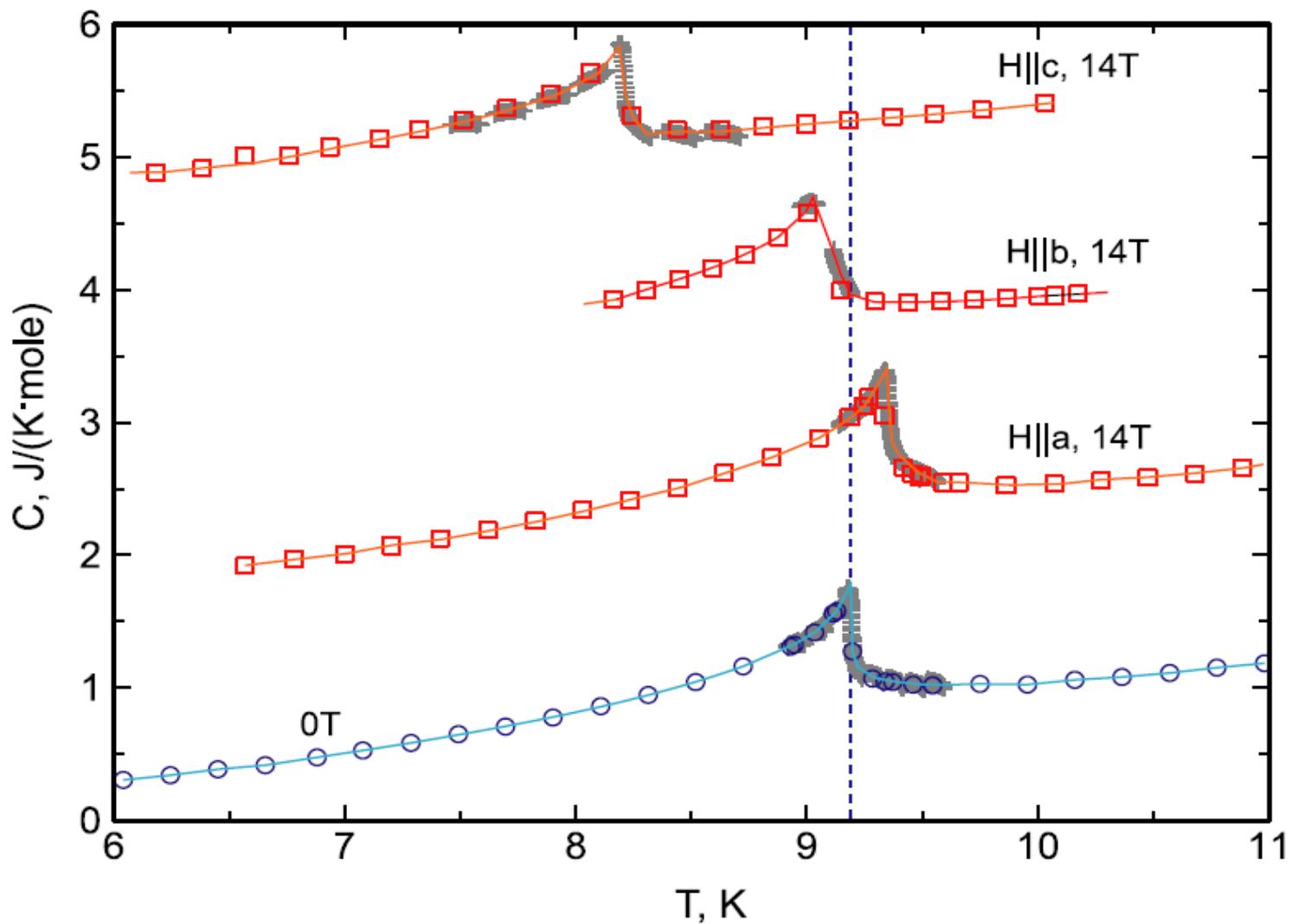
$$T = T_0 + \frac{P_0}{K_w} (1 - e^{-t/\tau}) \quad \text{нагрев}$$

$$T = T_0 + (T_1 - T_0) e^{-t/\tau} \quad \text{охлаждение}$$

$$\tau = C / K_w$$

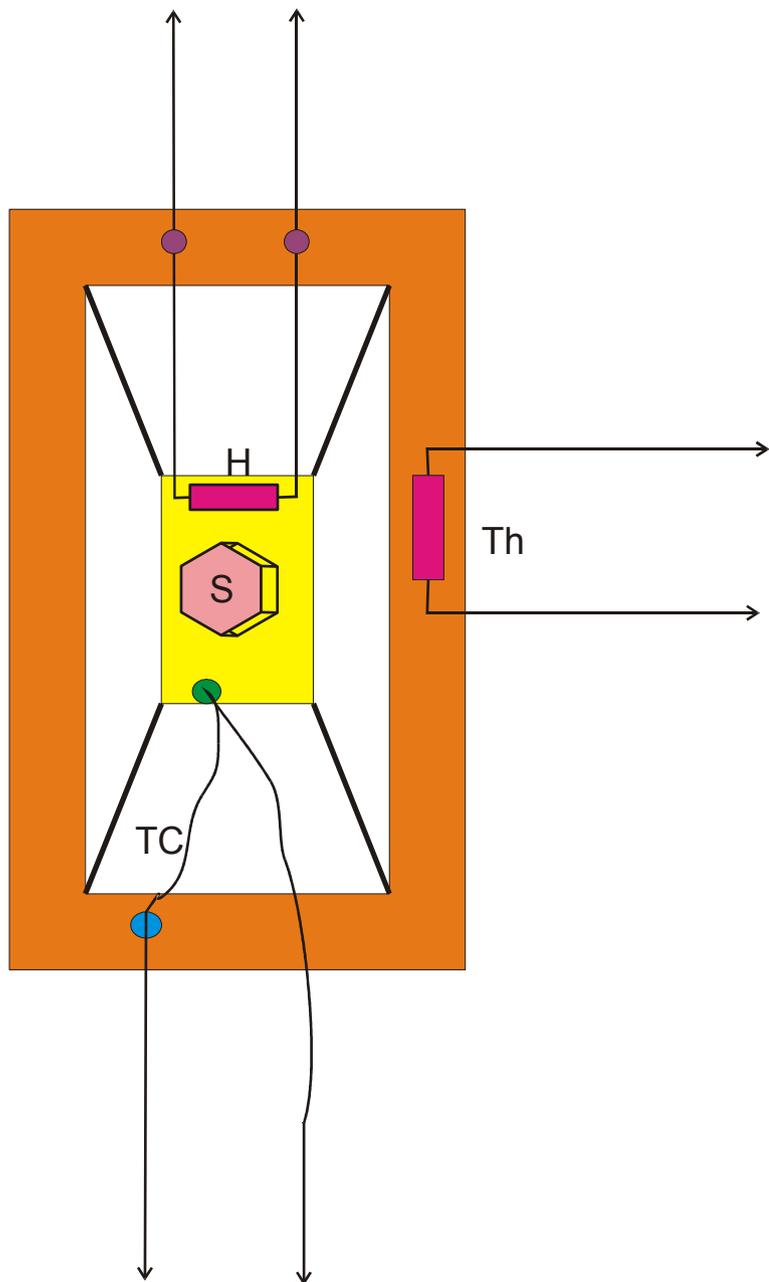


Пример кривой отклика термометра при измерении теплоёмкости.



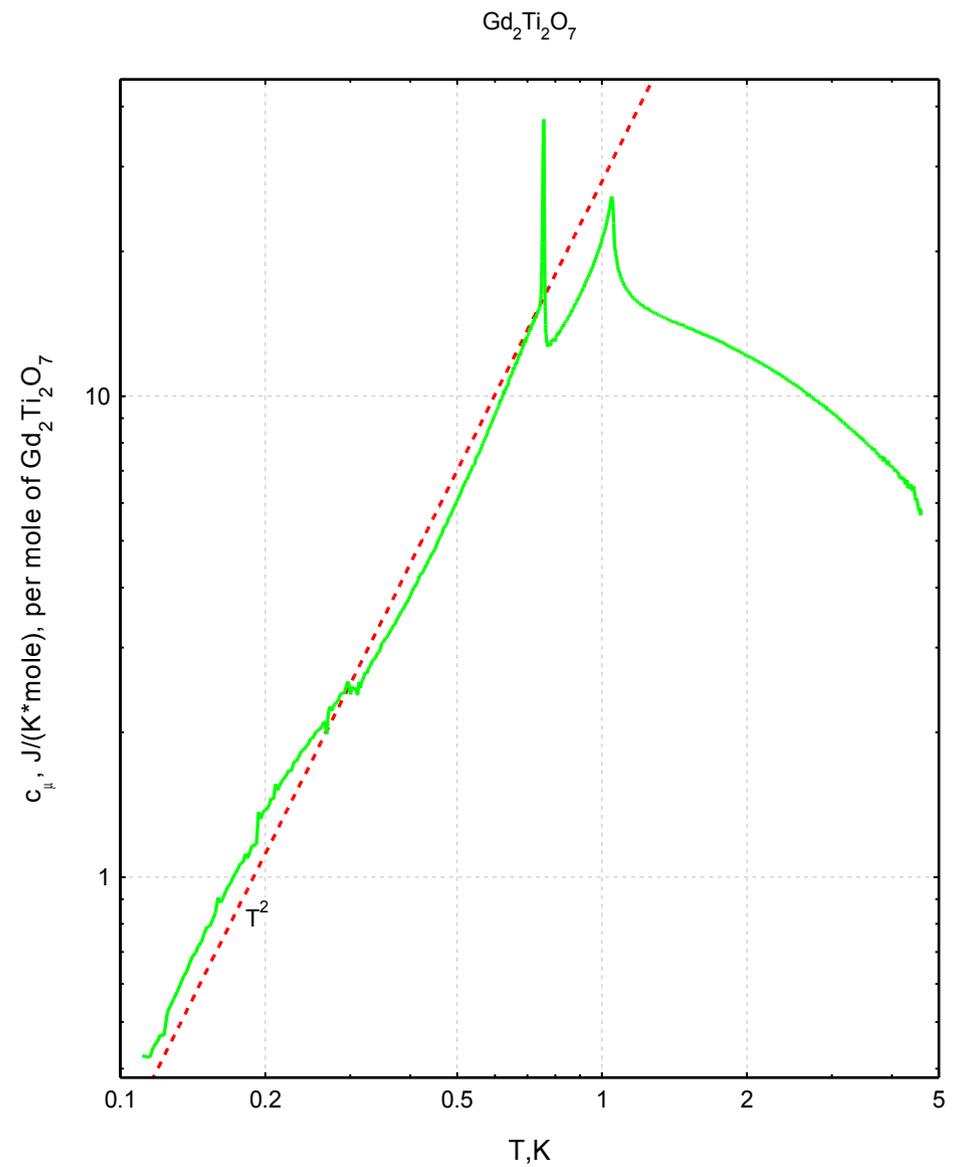
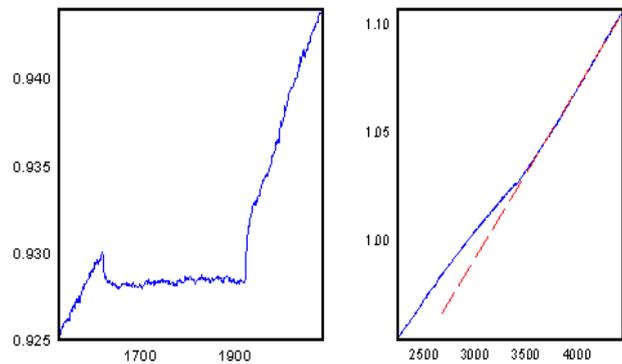
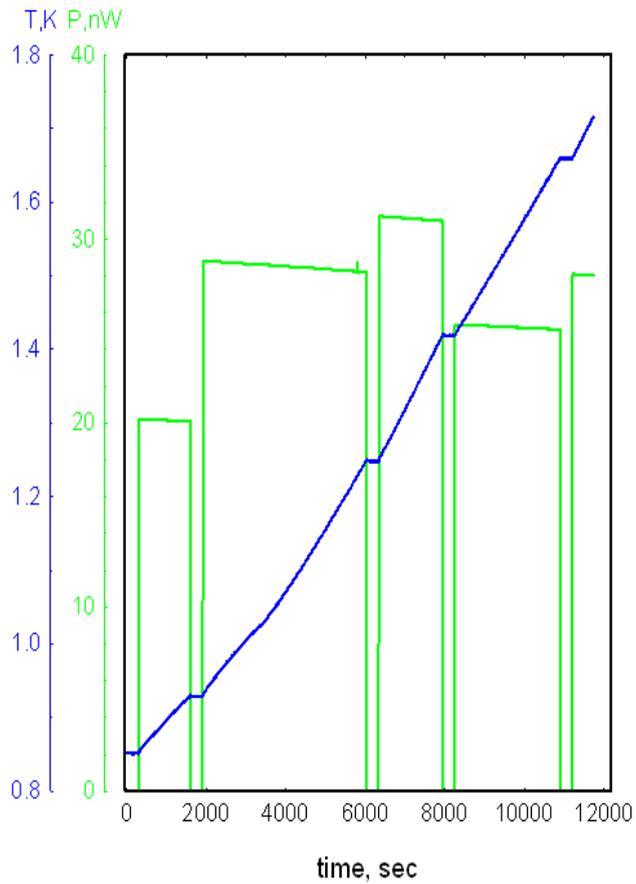
Пример измеренным релаксационным методом данных по теплоёмкости вблизи точки антиферромагнитного фазового перехода в $\text{BaCu}_2\text{Si}_2\text{O}_7$. Данные автора. Круги и квадраты - дискретные значения теплоёмкости, полученные анализом кривых отклика на тепловой импульс. Крестики — зависимость теплоёмкости от температуры в окрестности фазового перехода, полученная непосредственным анализом наклона кривых отклика.

Измерение теплоёмкости динамическим адиабатическим методом.



$$C_{tot} \frac{dT}{dt} = P(t)$$

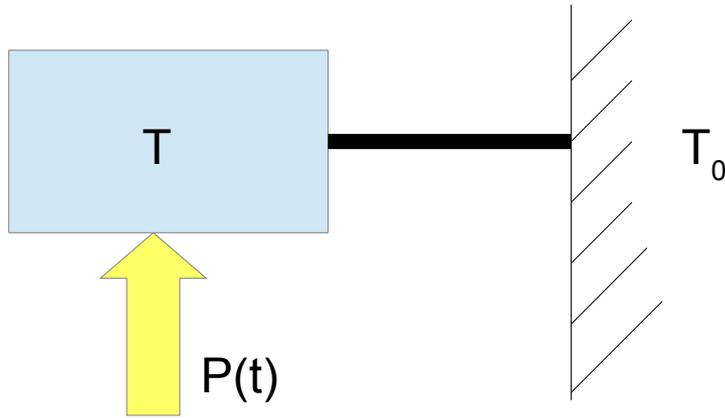
Схема ячейки для измерения динамическим адиабатическим методом. S - образец, H - нагреватель, Th - термометр, TC - термопара.



Пример измеренной динамическим адиабатическим методом кривой теплоёмкости магнетика $Gd_2Ti_2O_7$ от 100мК до 5К. Данные автора.

Пример кривых отклика при измерении динамическим адиабатическим методом. Данные автора, $Gd_2Ti_2O_7$. На нижних рисунках показаны особенности кривой отклика при включении и выключении нагрева, связанные с неидеальным тепловым контактом образца и платформы и изменение наклона кривой вблизи температуры перехода.

Измерение с переменным нагревом



$$P = P_0 \cos^2(\omega t) = \frac{P_0}{2} (1 + \cos(2\omega t))$$

$$C \frac{dT}{dt} = -K(T - T_0) + \frac{P_0}{2} (1 + \cos(2\omega t))$$

$$T = T_{dc} + T_{ac} \cos(2\omega t + \varphi) \quad K(T_{dc} - T_0) = \frac{P_0}{2}$$

$$-C 2\omega T_{ac} \sin(2\omega t + \varphi) + K T_{ac} \cos(2\omega t + \varphi) = \frac{P_0}{2} \cos(2\omega t)$$

$$T_{ac} \sqrt{(2\omega C)^2 + K^2} = \frac{P_0}{2}; \quad \tan \varphi = -\frac{2\omega C}{K}$$

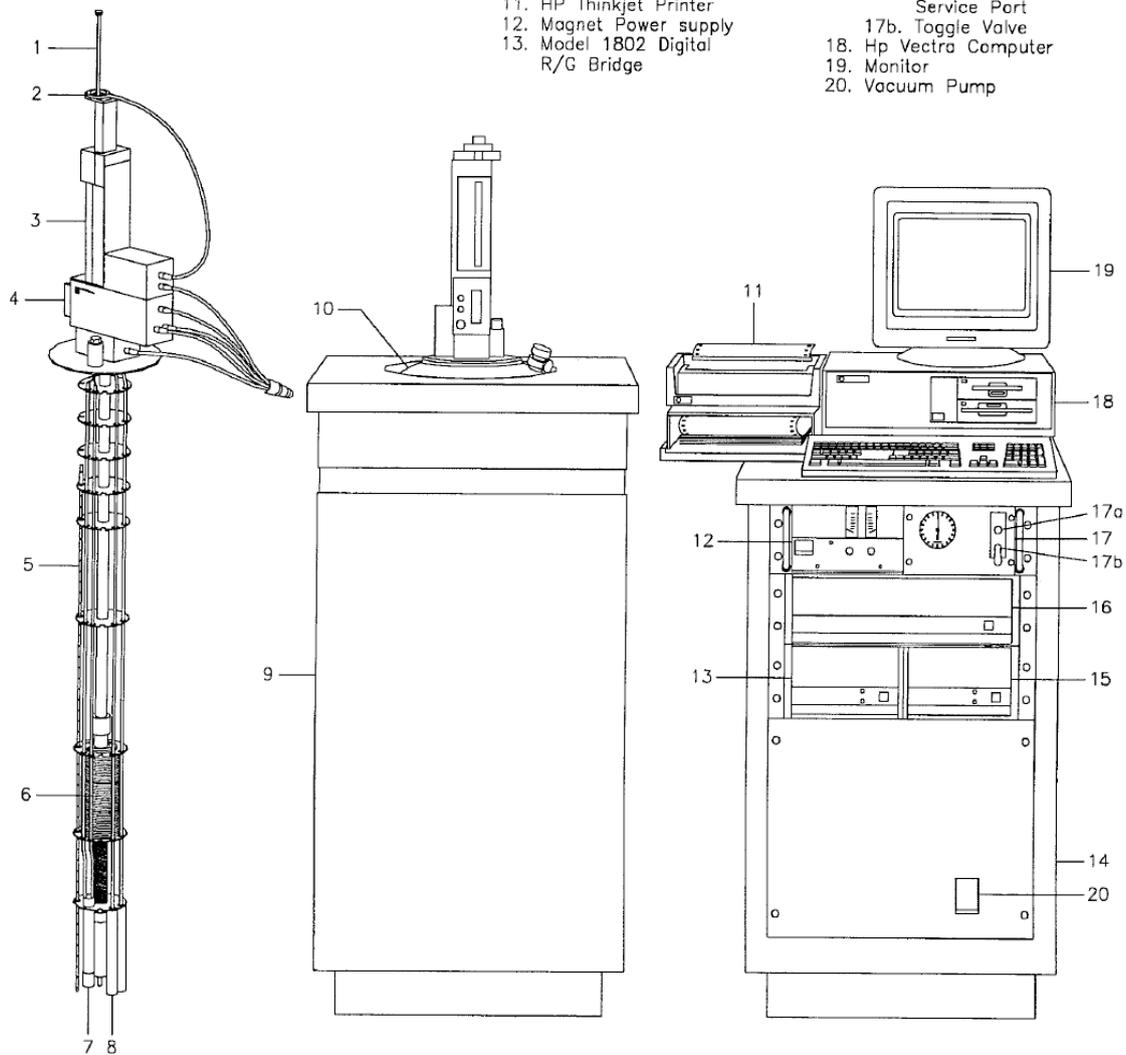
в пределе большой частоты $4\omega T_{ac} C = P_0$

MPMS: SQUID- магнитометр

MPMS SYSTEM COMPONENTS

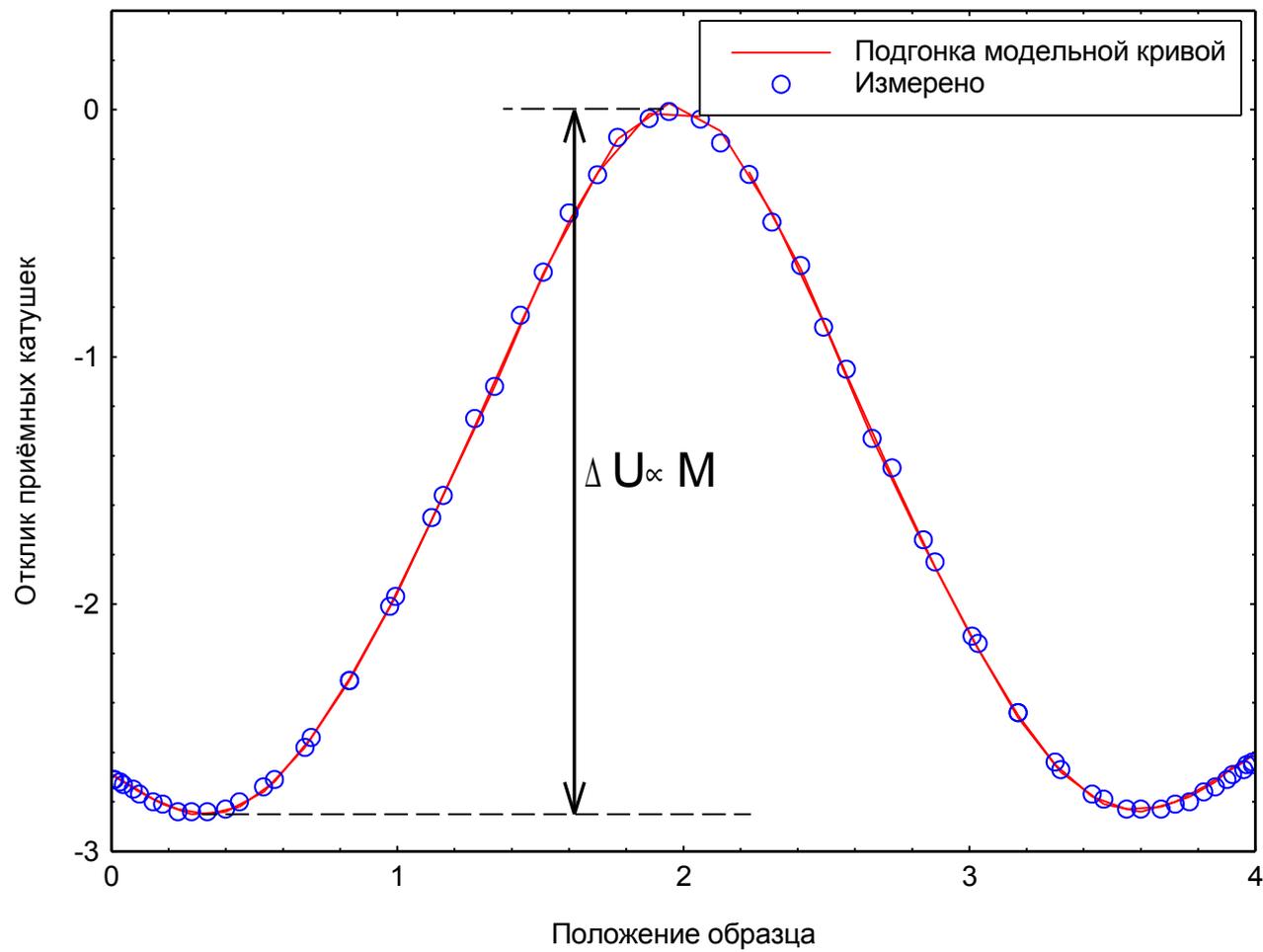
SYSTEM COMPONENTS

- | | | |
|------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1. Sample Rod | 6. Superconducting Solenoid | 14. Console Cabinet |
| 2. Sample Rotator | 7. Flow impedance | 15. Power Distribution Unit |
| 3. Sample Transport | 8. SQUID Capsule | 16. Model 1822 MPMS Controller |
| 4. Probe | 9. Dewar Cabinet | 17. Gas/Magnet Control Unit |
| 5. Helium Level Sensor | 10. Dewar | 17a. External Gas Service Port |
| | 11. HP Thinkjet Printer | 17b. Toggle Valve |
| | 12. Magnet Power supply | 18. Hp Vectra Computer |
| | 13. Model 1802 Digital R/G Bridge | 19. Monitor |
| | | 20. Vacuum Pump |



Составные части системы MPMS. Слева: вставка с соленоидом и мотором перемещения образца. В центре: дьюар с установленной вставкой. Справа: консоль электроники (вид консоли соответствует старой модели).

Quantum Design, MPMS Hardware reference Manual



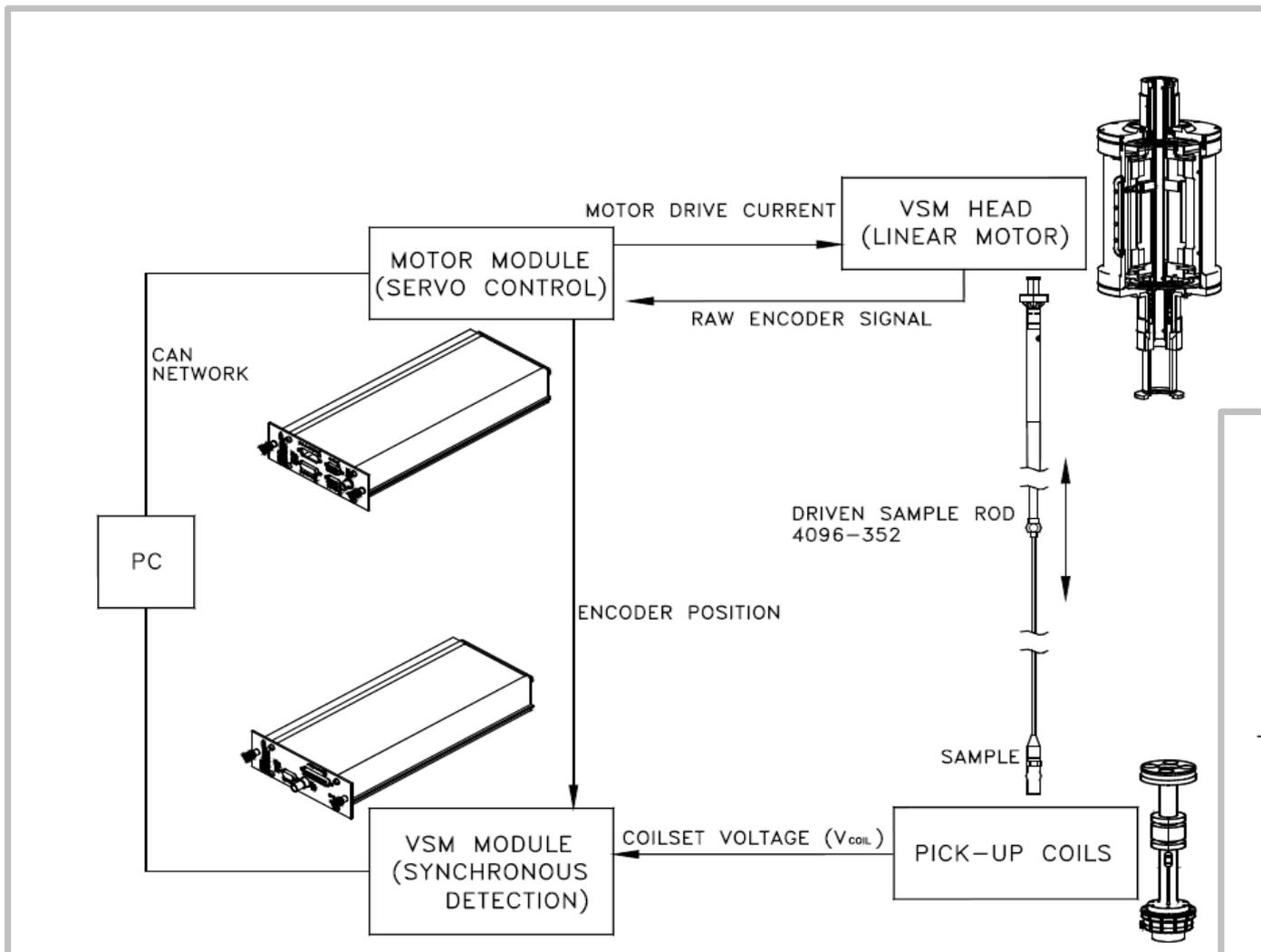
Пример кривой отклика СКВИД магнитометра MPMS (символы) и подгонки (кривая). Данные автора (PHCC, 10.5мг, 120К).



Криовставка iQuantum He-3 рядом с установкой MPMS.

iQuantum, Sub-two-kelvin Magnetic Measurement System iHelium3,

PPMS: вибромагнитометр



Стандартная конструкция приёмных катушек. Размеры: $B=6.33\text{mm}$, $T=1.78\text{mm}$, $S=7.11\text{mm}$, $ID=7.73\text{mm}$, $OD=13.7\text{mm}$, $H=40.1\text{mm}$.

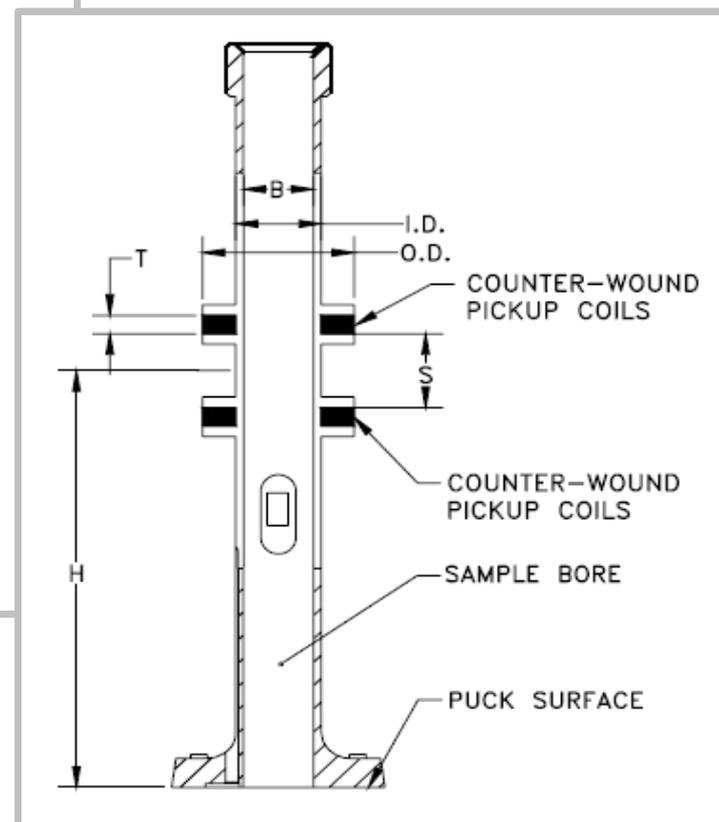
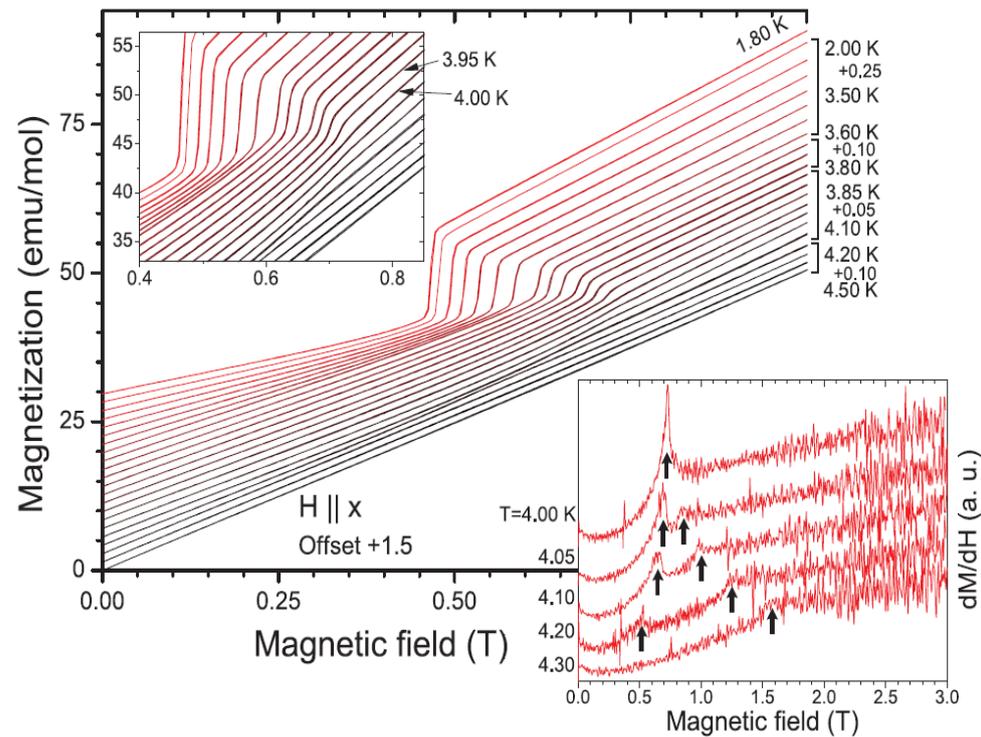
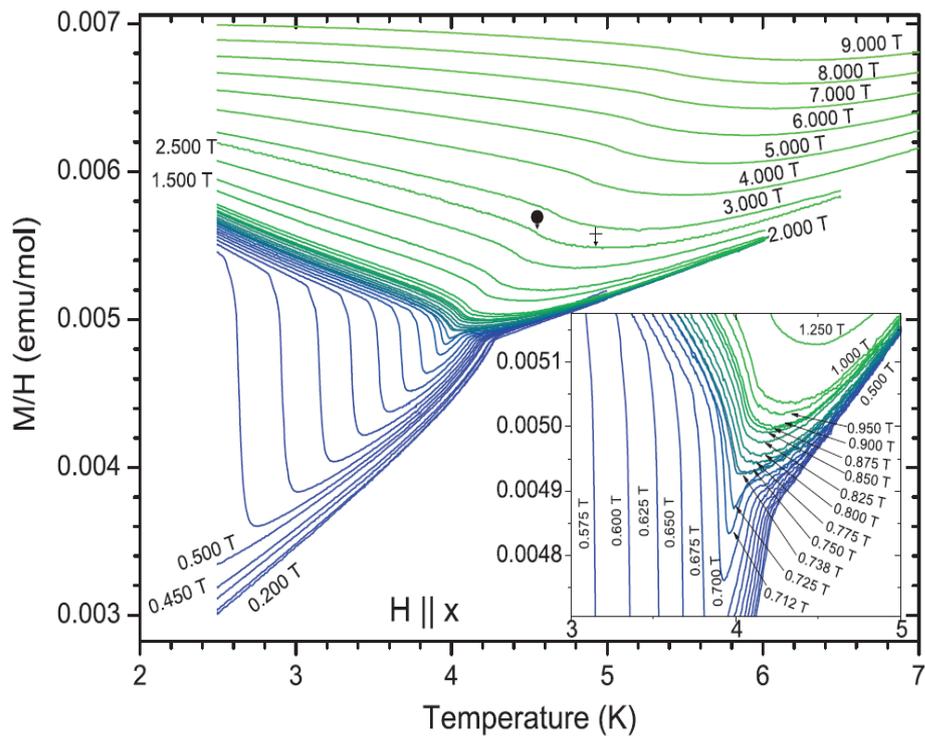
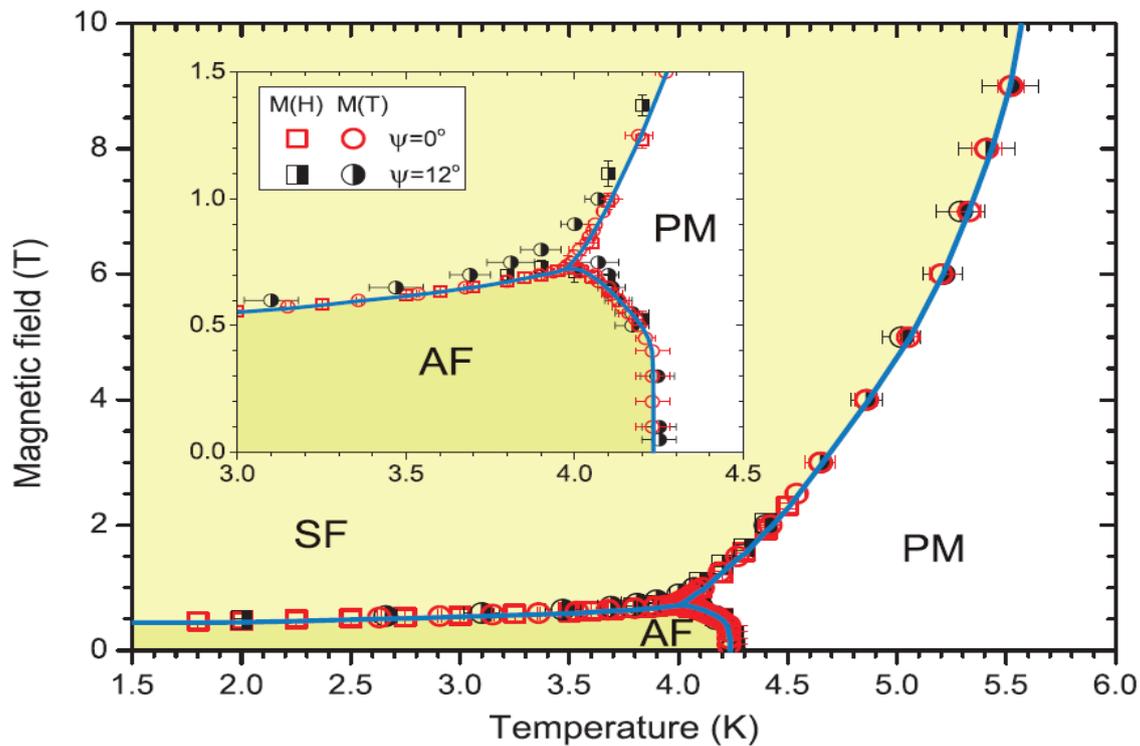


Схема вибрационного магнитометра в составе системы PPMS.



Примеры кривых намагниченности, измеренных на вибромагнитометре системы PPMS, в квазидвумерном антиферромагнетике $\text{Cu}(\text{pz})_2(\text{ClO}_4)_2$.

Определённая по измерениям намагниченности фазовая диаграмма квазидвумерного антиферромагнетика $\text{Cu}(\text{pz})_2(\text{ClO}_4)_2$.



K. Yu. Povarov, A. I. Smirnov, and C. P. Landee, Switching of anisotropy and phase diagram of the Heisenberg square-lattice $S=1/2$ antiferromagnet $\text{Cu}(\text{pz})_2(\text{ClO}_4)_2$, Physical Review B, 87, 214402 (2013)

Измерение динамической восприимчивости

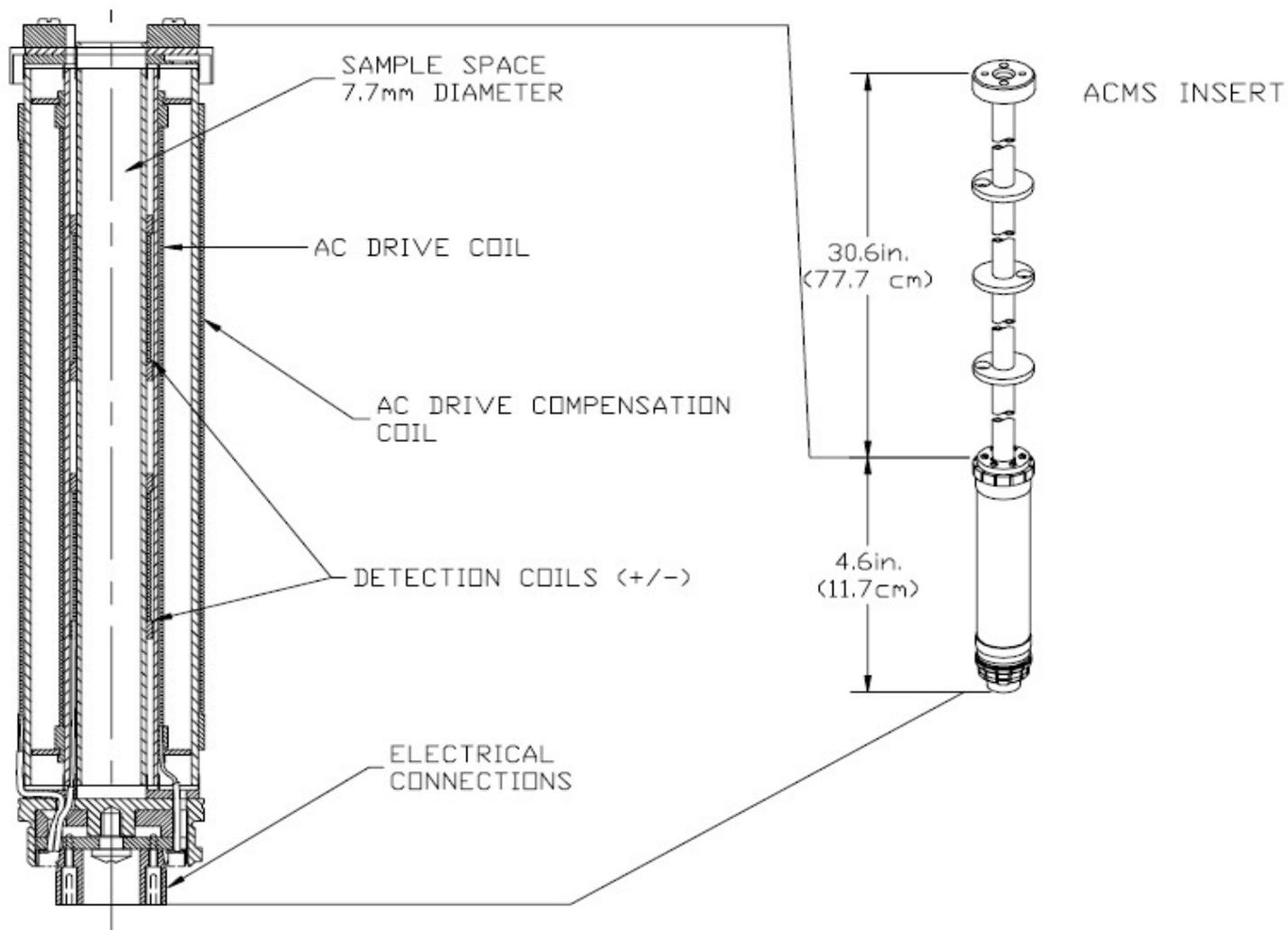


Схема вставки для измерения динамической восприимчивости на системе PPMS.

Quantum Design, Physical Property Measurement System AC Measurement System (ACMS) Option User's Manual