

В.Н.Глазков
«Физика низкоразмерных систем»
слайды к лекции 4

Переход Березинского-Костерлица-Таулеса

XУ-магнетик

$$\hat{H} = \sum_{\langle i, j \rangle} J_{i, j} \left(\hat{S}_i^x \hat{S}_j^x + \hat{S}_i^y \hat{S}_j^y \right)$$

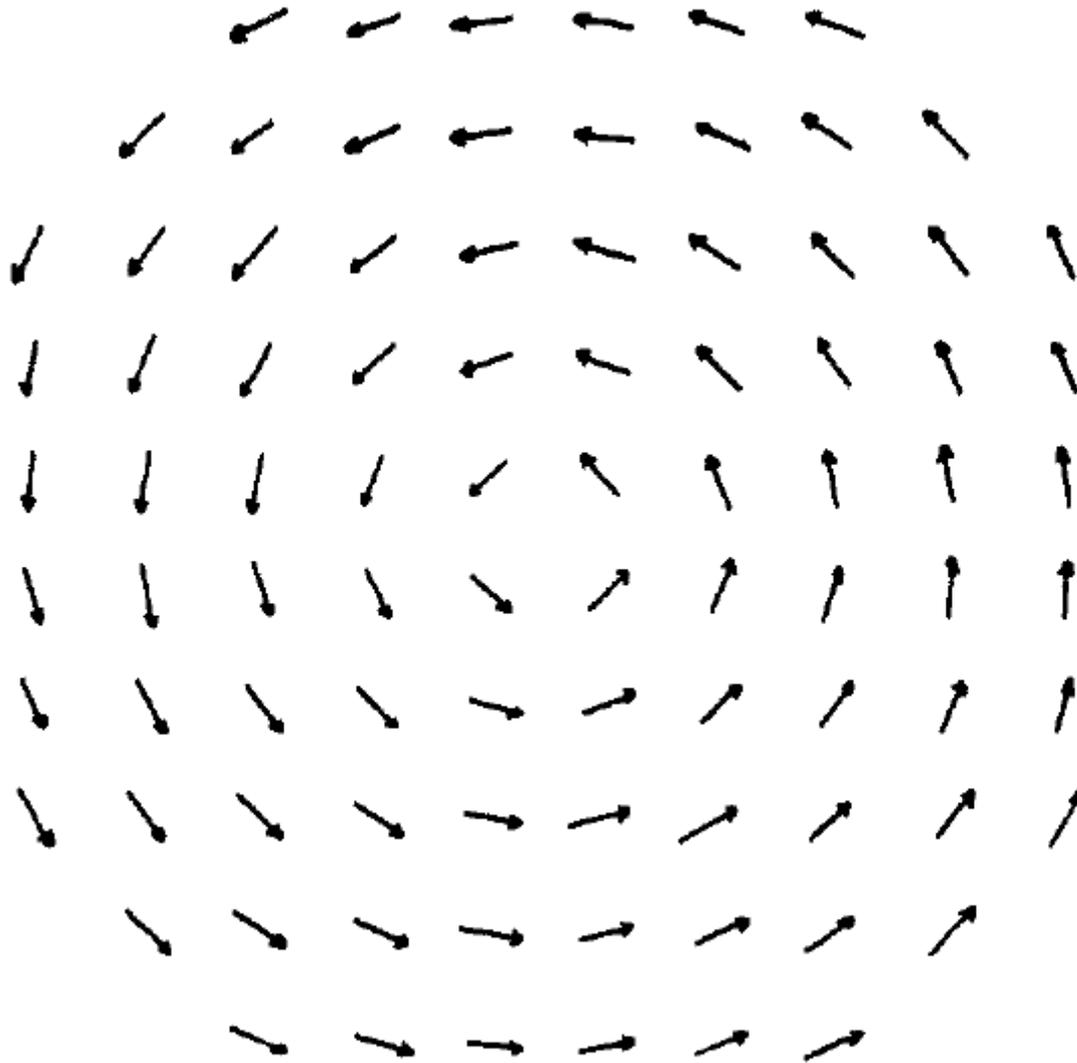
квадратная решётка,
взаимодействие ближайших соседей,
ферромагнитный случай ($J < 0$),
классические спины единичной длины

$$H = J \sum_{\langle j, j \rangle} \cos(\phi_i - \phi_j)$$

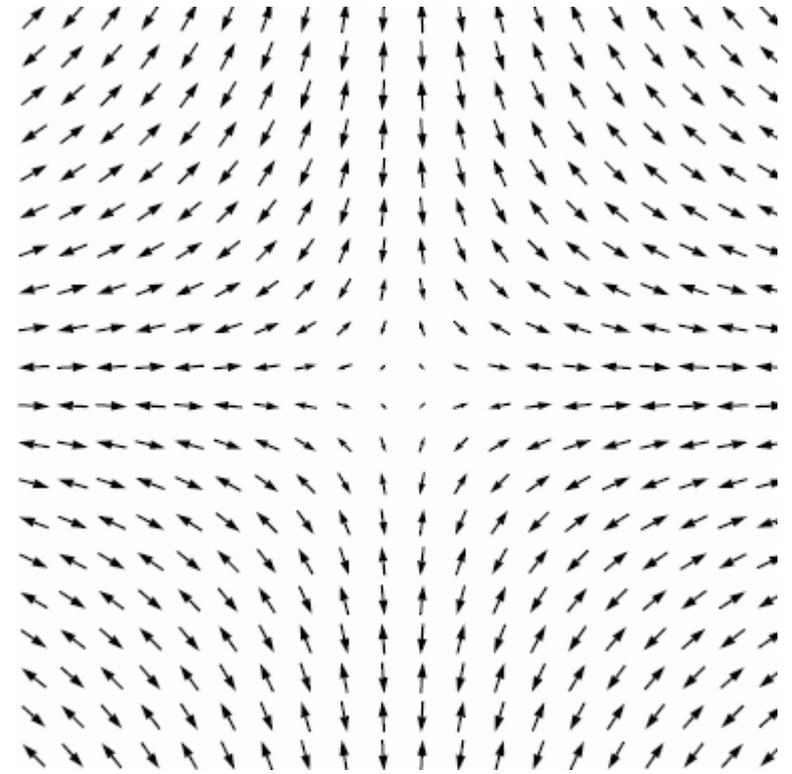
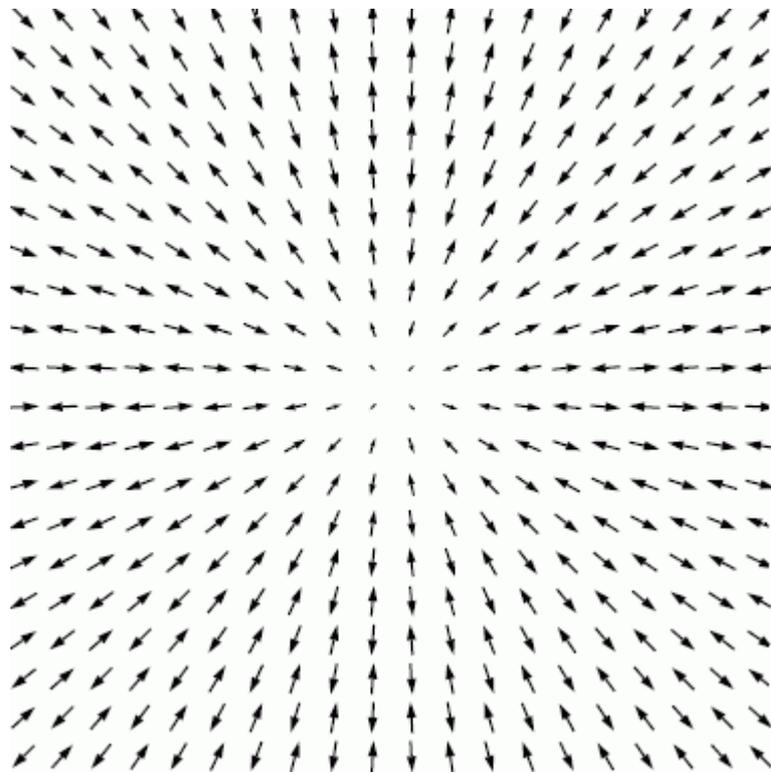
$$H = E_0 - \frac{J}{2} \sum_{\langle j, j \rangle} (\phi_i - \phi_j)^2$$

минимальная энергия в коллинеарной ориентации спинов, но при конечной температуре такой порядок разрушается длинноволновыми флуктуациями.

Конфигурация вихря.

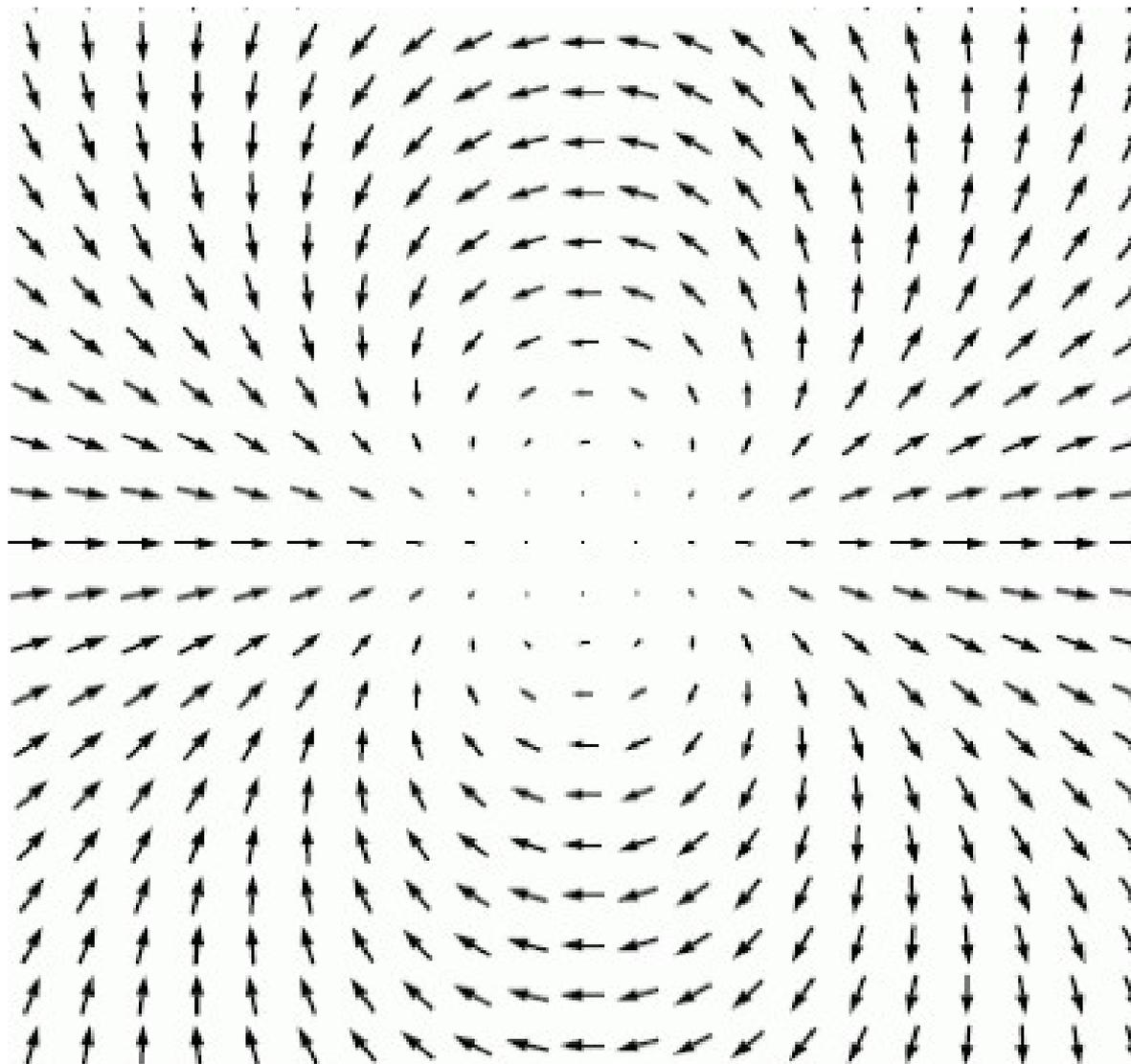


J.M.Kosterlitz and D.J.Thouless, Ordering, metastability and phase transitions in two-dimensional systems, J.Phys.C:Solid State Phys.,(1973)



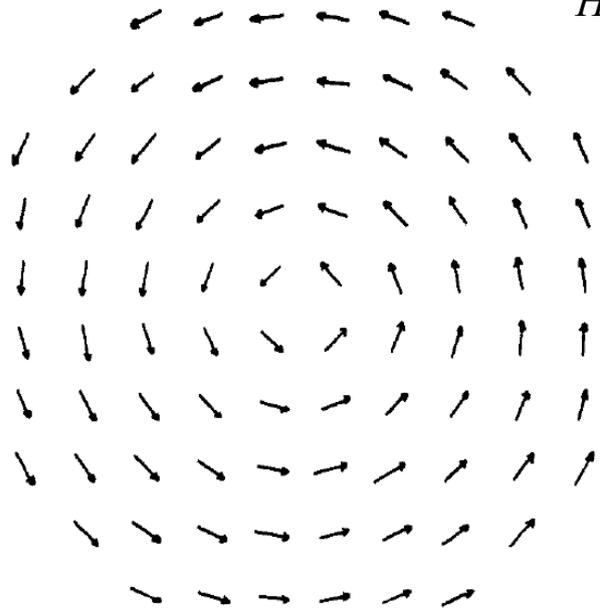
Вихрь(слева) и антивихрь (справа) в XY-антиферромагнетике.

S. Komineas and N. Papanicolaou, Vortex dynamics in two-dimensional antiferromagnets , Nonlinearity,11, 265(1998)



Вихрь с набегом фазы 4π

S. Komineas and N. Papanicolaou, Vortex dynamics in two-dimensional antiferromagnets , Nonlinearity,11, 265(1998)



J.M.Kosterlitz and D.J.Thouless,
Ordering, metastability and phase
transitions in two-dimensional systems,
J.Phys.C:Solid State Phys.,(1973)

$$H \approx E_0 - \frac{J}{2} \sum_i \left(\frac{a}{r_i} \right)^2 \approx E_0 - \frac{J}{2} \int \left(\frac{a}{r} \right)^2 \frac{d^2 r}{a^2} = E_0 - \pi J \int \frac{dr}{r} = E_0 - \pi J \ln \left(\frac{R}{r_0} \right)$$

$$S = \ln N = 2 \ln \left(\frac{R}{r_0'} \right)$$

$$F = E - TS = F_0 - \pi J \ln \left(\frac{R}{r_0} \right) - 2T \ln \left(\frac{R}{r_0'} \right)$$

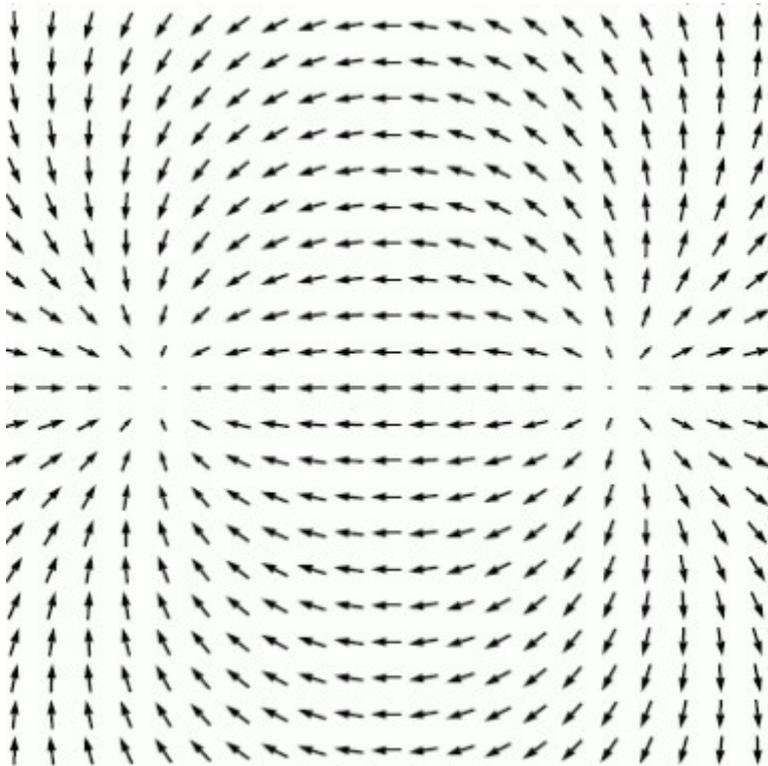
$$T_c \simeq -\frac{\pi J}{2}$$

с учётом
взаимодействия
вихрей

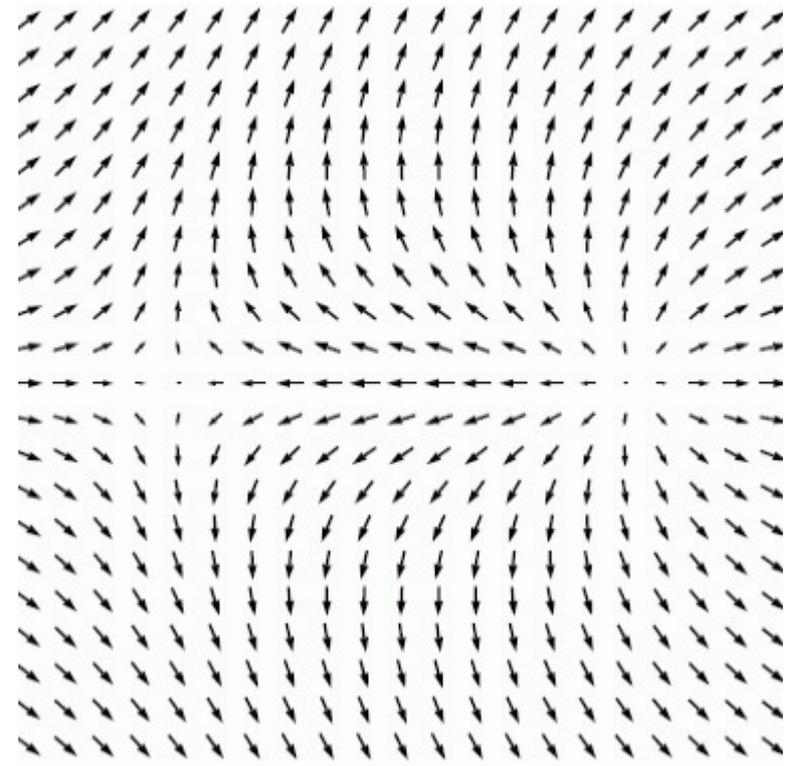
$$\frac{\pi |J|}{2T_c} \approx 1.12$$

Взаимодействие вихрей

разноимённые:
притягиваются

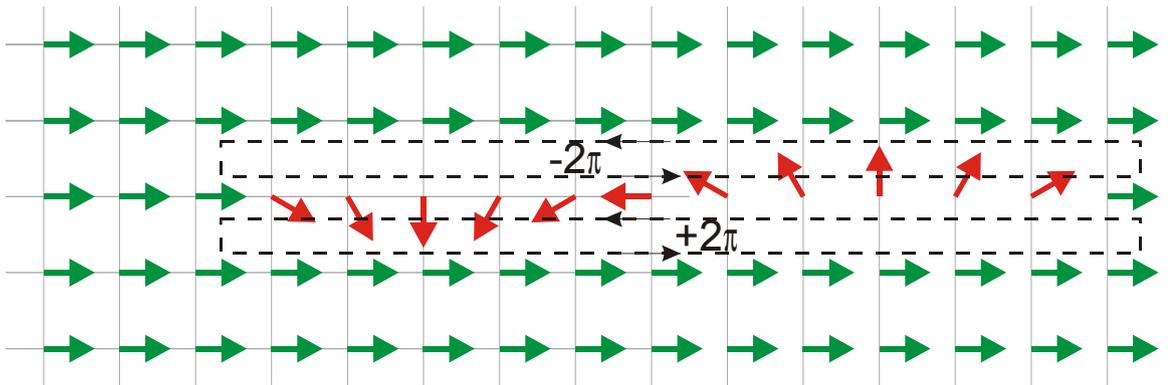
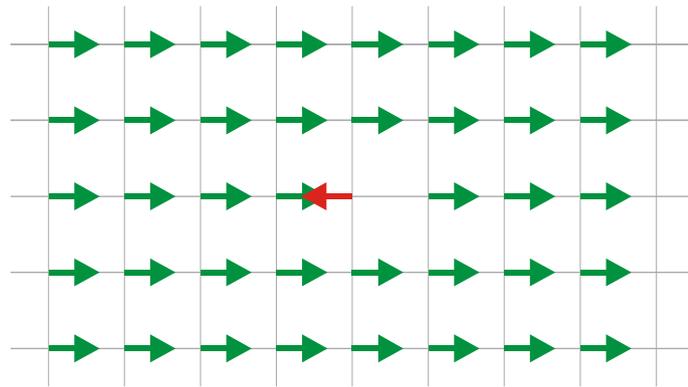
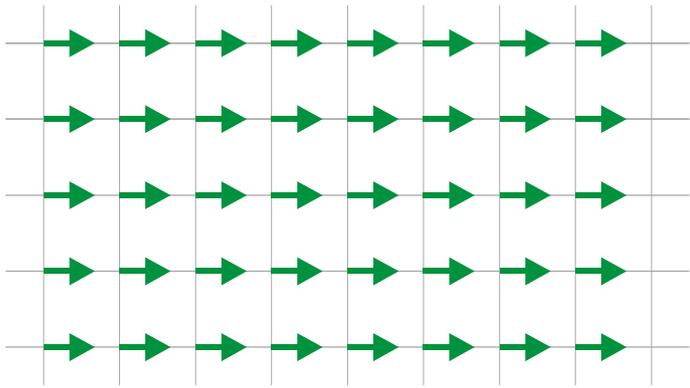


одноимённые:
отталкиваются



Пара вихрь-антивихрь (слева) и вихрь-вихрь (справа)

S. Komineas and N. Papanicolaou, Vortex dynamics in two-dimensional antiferromagnets , Nonlinearity,11, 265(1998)



Образование пары вихрь-антивихрь при перевороте одного спина.

Плѐнки гелия: сверхтекучесть без бозе-конденсации.

при нулевой
температуре

$$\Psi = \text{const} \cdot e^{i\Phi}$$

При конечной температуре возникнут длинноволновые флуктуации фазы параметра порядка, разрушающие когерентность на больших расстояниях.

НО! Для сверхтекучести важна не когерентность бозе конденсата, а потенциальность фазы: нулевое изменение при обходе по контуру = отсутствие свободных вихрей

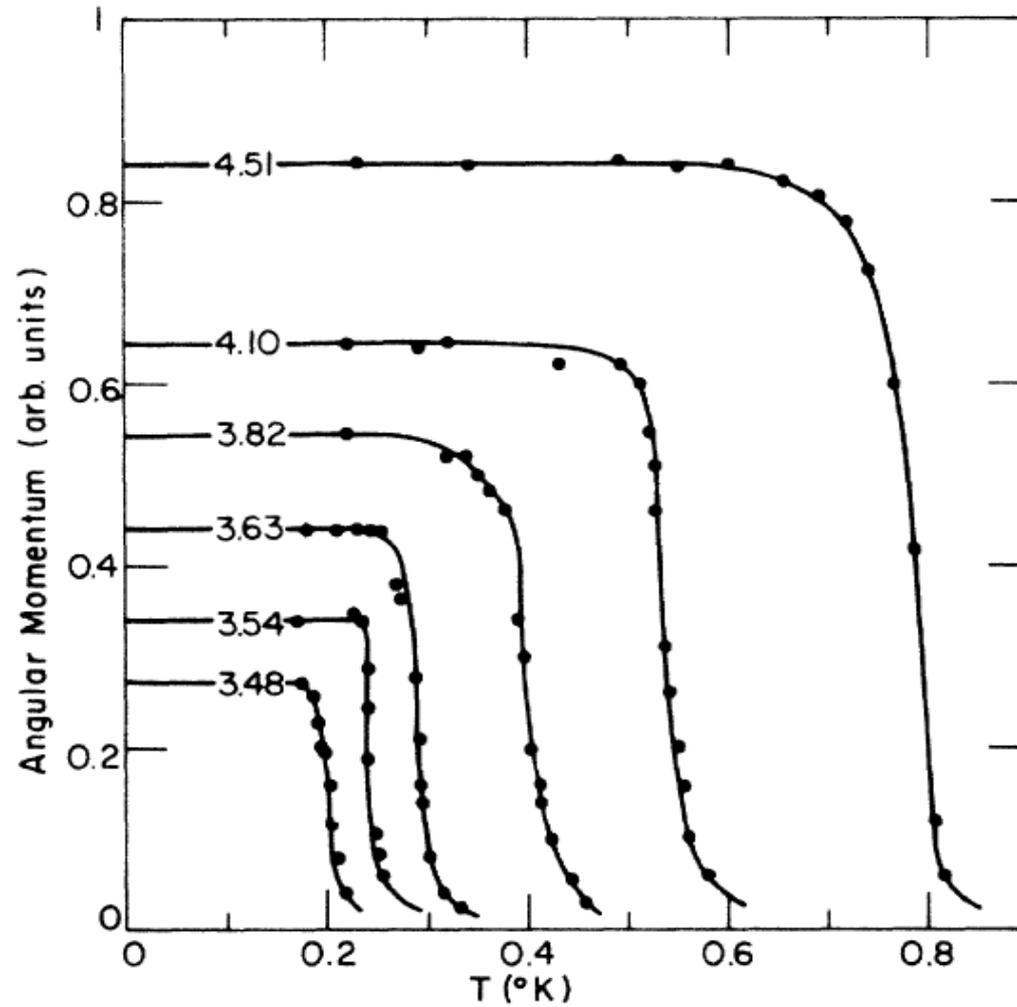
$$\vec{v}_s = \frac{\hbar}{m} \text{grad } \Phi$$

$$E = \iiint \frac{1}{2} \rho_s \vec{v}_s^2 dV = \frac{1}{2} \frac{\hbar^2}{m^2} d_s \iint (\text{grad } \Phi)^2 dS$$

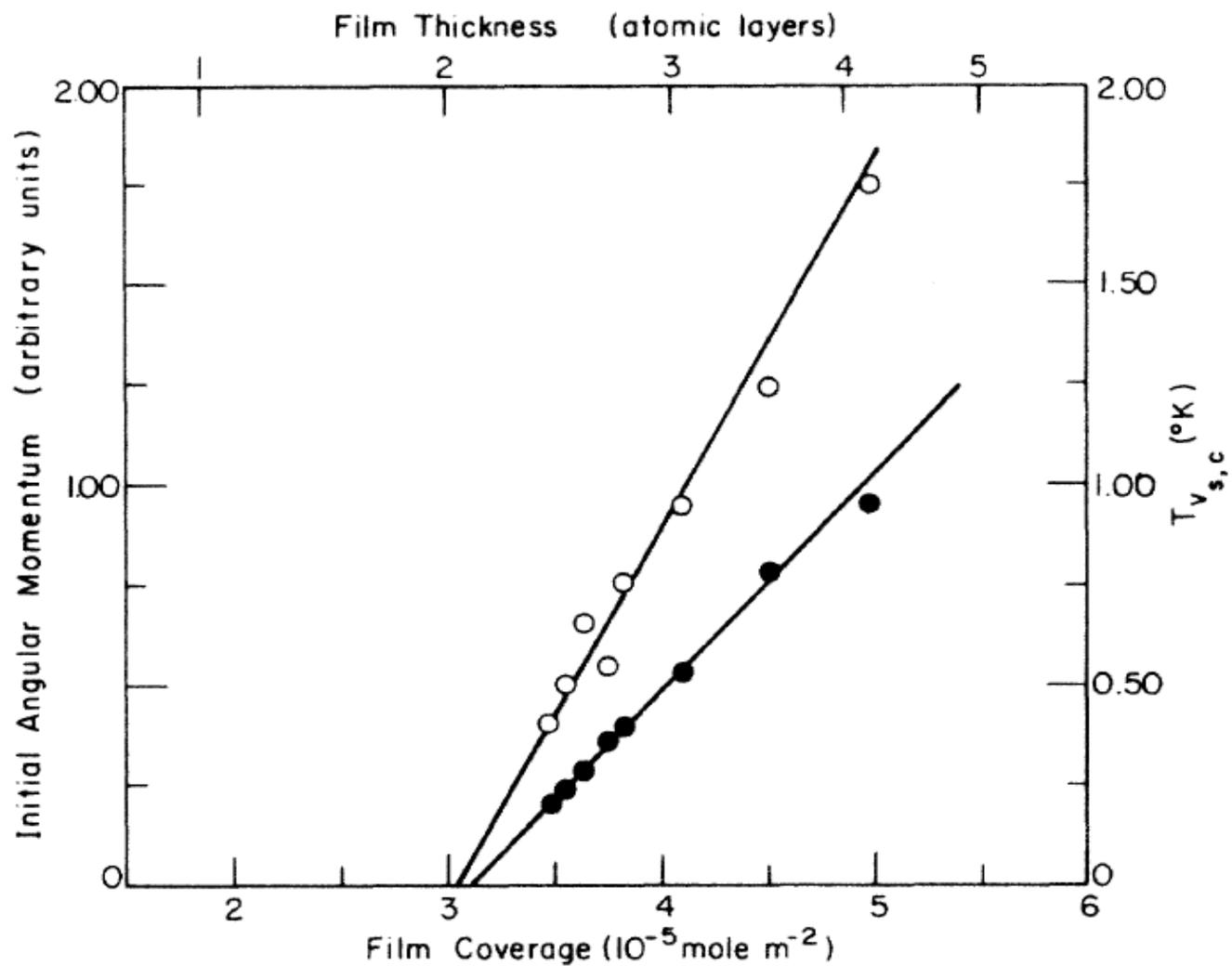
$$J_{\text{эквив}} = -\frac{\hbar^2}{m^2} d_s$$

$$T_c = \frac{\pi}{2} d_s \frac{\hbar^2}{m^2}$$

Измерение углового момента сверхтекучего тока в плёнках



M.H.W.Chan, A.W.Yanof, and J.D.Reppy, Superfluidity of thin He-4 films, Physical Review Letters, 32 (1347)(1974)

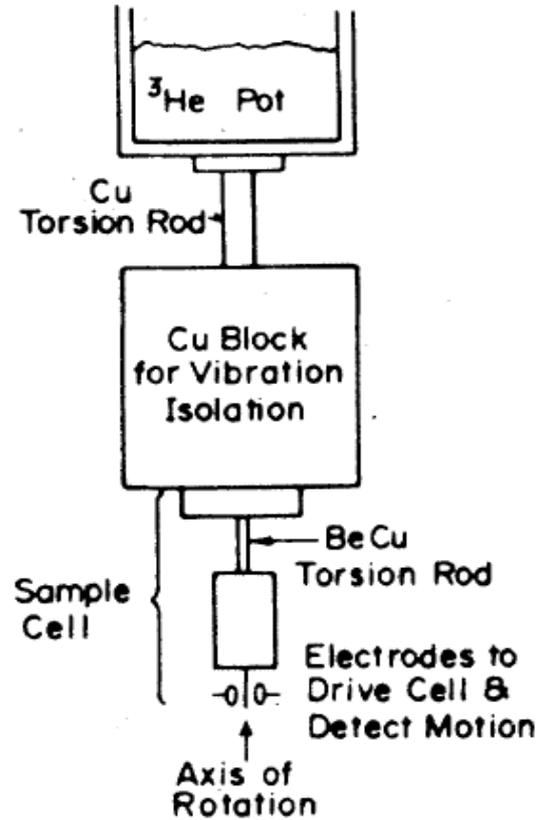


Закрашенные символы: зависимость температуры перехода от количества сорбированного гелия (от количества слоёв сорбированных на поверхности). Открытые символы: зависимость углового момента сверхтекучей компоненты от количества сорбированного гелия.

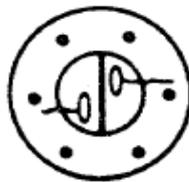
M.H.W.Chan, A.W.Yanof, and J.D.Reppy, Superfluidity of thin He-4 films, Physical Review Letters, 32 (1347)(1974)

Изучение свойств плёнки торсионным маятником

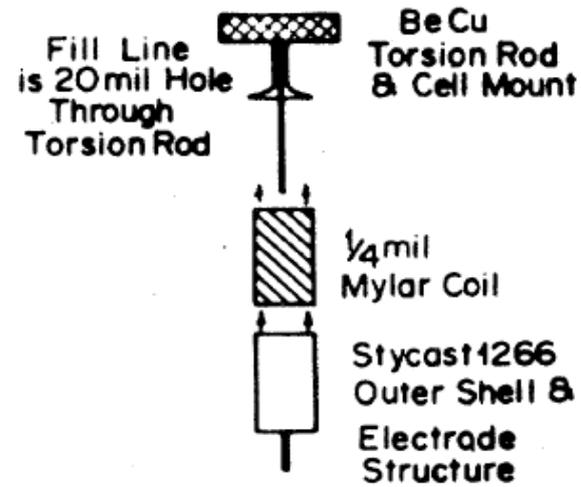
SIDE VIEW OF EXPERIMENT



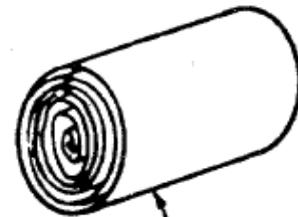
END VIEW OF CELL & ELECTRODES



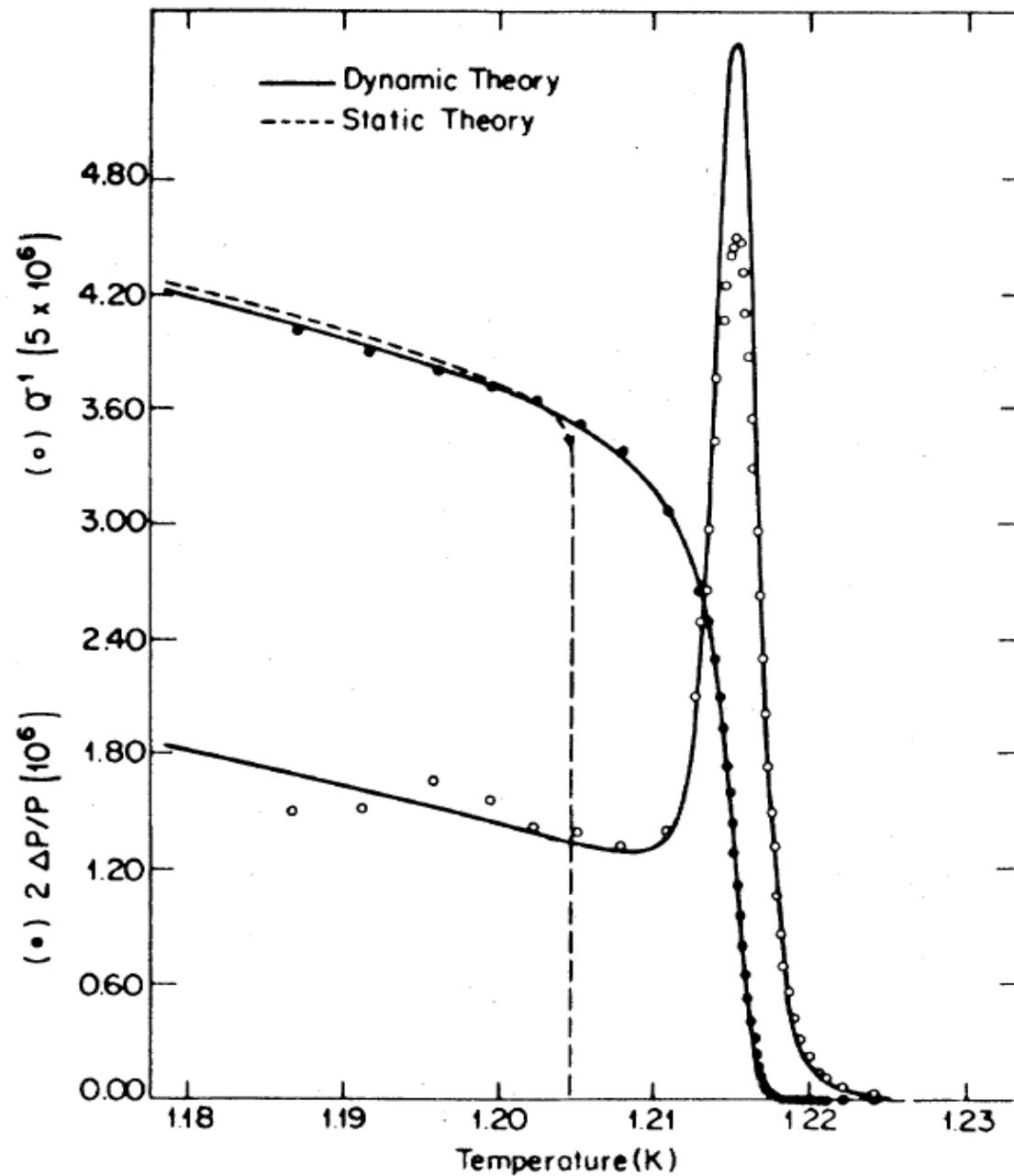
SAMPLE CELL ASSEMBLY



MYLAR COIL

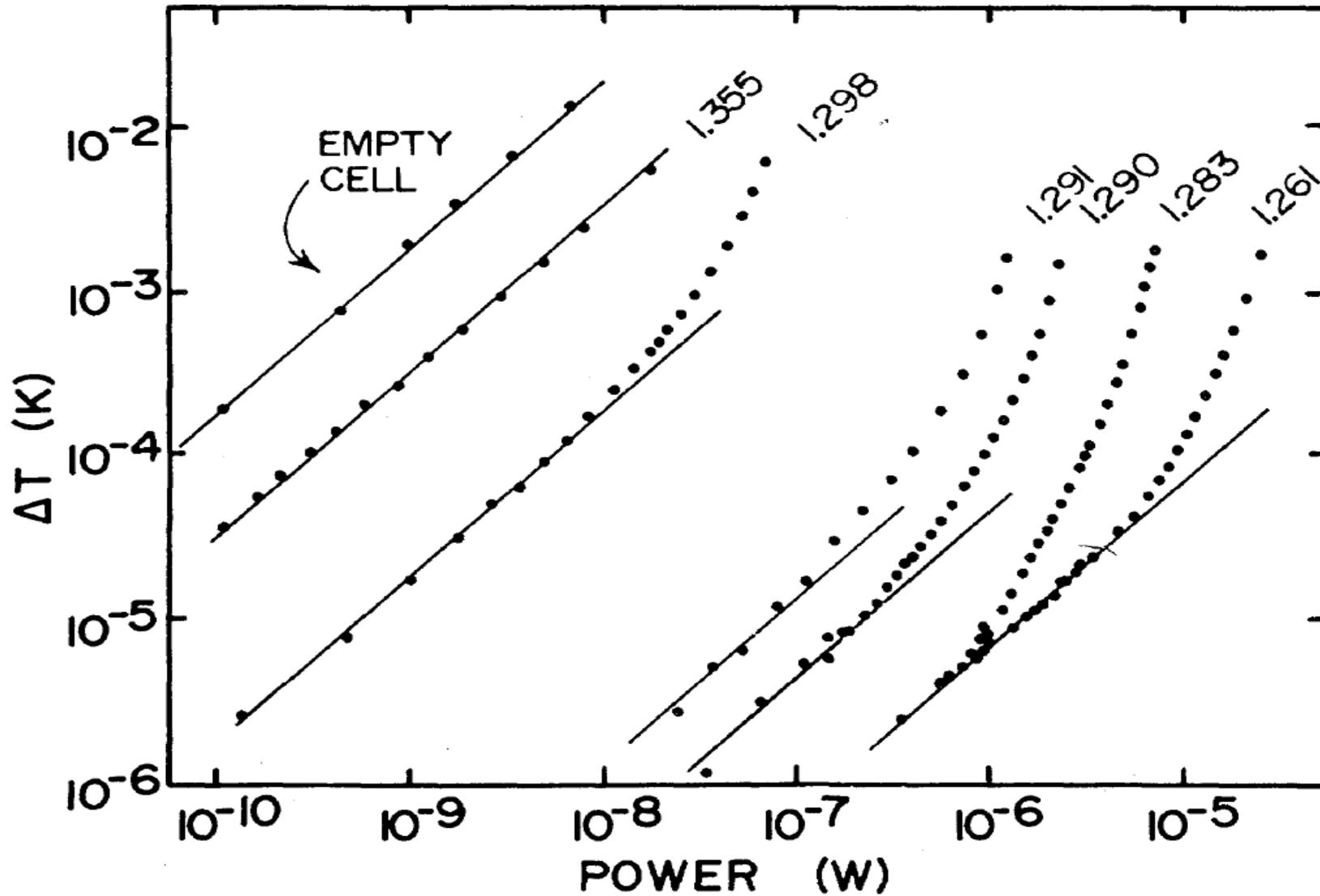


Sheet of Mylar
 $\frac{1}{4}$ mil x 1 cm x 20 meter
Rolled into a Jelly Roll

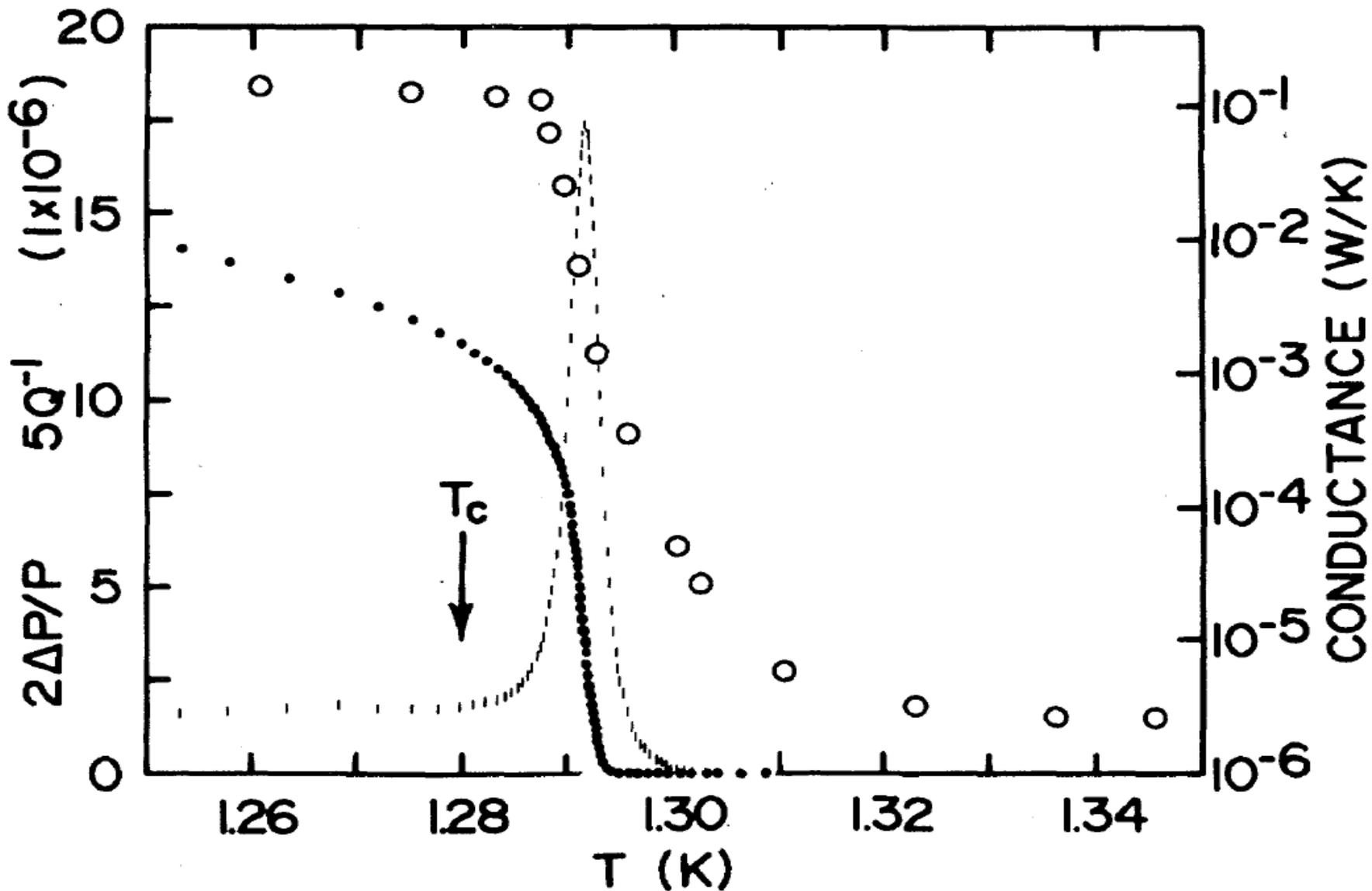


Закрашенные символы: изменение периода колебаний торсионного маятника. Открытые символы: добротность колебаний торсионного маятника. Пунктирная линия: предсказание статической теории.

Теплопроводность плёнок



ависимость перепада температур между нагревателем и теплосъёмом в эксперименте по измерению теплопроводности от подаваемой мощности. Прямые соответствуют линейной зависимости.



(закрашенные кружки) сдвиг периода торсионного маятника, (вертикальные штрихи) потери торсионного маятника, (открытые кружки) теплопроводность тонкой плёнки гелия в окрестности перехода. Отмеченное значение критической температуры T_c соответствует критической температуре перехода в статическом случае.