

# Measuring of Leggett frequency in $^3\text{He-B}$ in aerogel

Vladislav V. Zavjalov

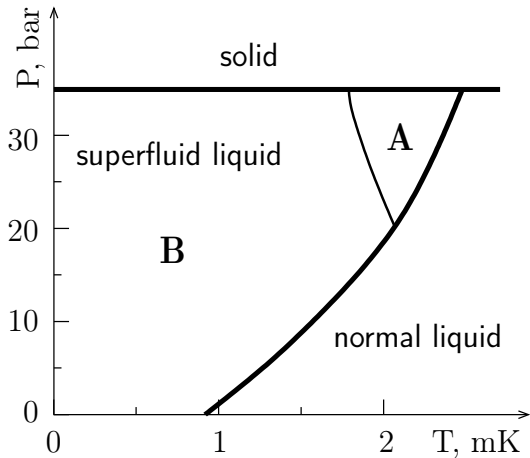
P.L.Kapitza Institute for Physical Problems

2012

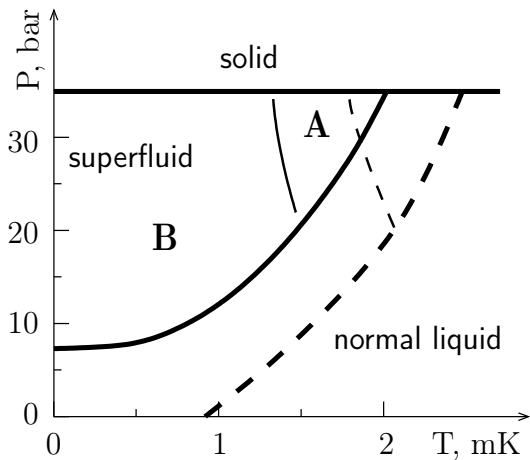
# Aerogel



# Phase diagram of $^3\text{He}$



## Phase diagram of $^3\text{He}$ in aerogel



## Order parameter in the B-phase of $^3\text{He}$

Order parameter:

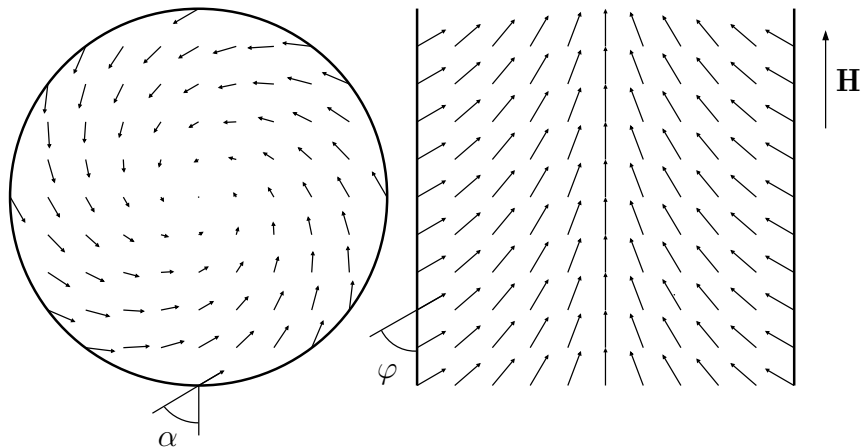
$$A_{jk} = \Delta(P, T) e^{i\phi} R_{jk}(\mathbf{n}, \theta).$$

Energy of spin-orbit interaction:

$$F_D = \frac{8\chi\Omega_B^2}{15\gamma^2} \left( \cos\theta + \frac{1}{4} \right)^2.$$

minimum at  $\theta = \arccos(-1/4) \approx 104.5^\circ$ .

## B-phase texture in the cylindrical cell



$$\alpha = 60^\circ, \phi = \cos^{-1}(1/\sqrt{5}) \approx 63.4^\circ$$

## Leggett equations

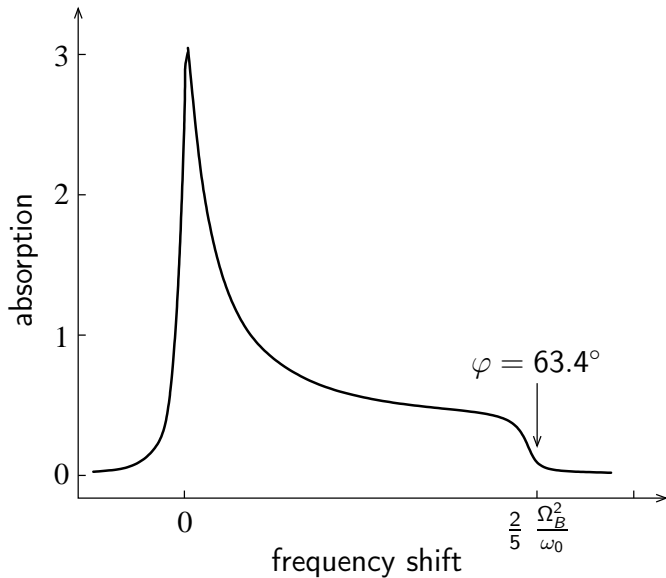
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\mathbf{M}} = \gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H} + \frac{4}{15} \frac{\chi \Omega_B^2}{\gamma} \sin \theta (1 + 4 \cos \theta) \mathbf{n} \\ \dot{\theta} = \gamma \mathbf{n} \left( \frac{\mathbf{M}}{\chi} - \mathbf{H} \right) \\ \dot{\mathbf{n}} = -\frac{\gamma}{2} \mathbf{n} \times \left( \frac{\mathbf{M}}{\chi} - \mathbf{H} \right) - \\ \quad -\frac{\gamma}{2} \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2} \left[ \mathbf{n} \left( \mathbf{n} \left( \frac{\mathbf{M}}{\chi} - \mathbf{H} \right) \right) - \left( \frac{\mathbf{M}}{\chi} - \mathbf{H} \right) \right] \end{array} \right.$$

Frequencies of small oscillations in linear NMR:

$$\omega_1 = \omega_0 + \frac{\Omega_B^2}{2\omega_0} \sin^2 \varphi, \quad \omega_2 = \Omega_B \cos \varphi;$$

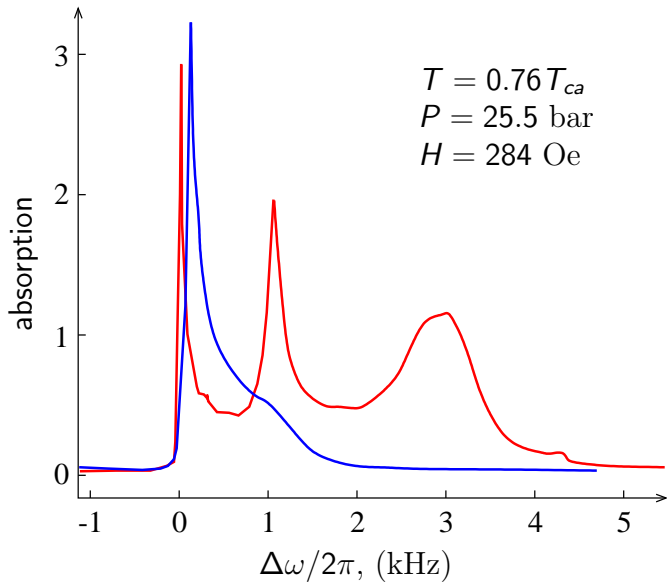
$\omega_0 = \gamma H$  — Larmor frequency,  $\varphi$  — angle between  $\mathbf{n}$  and  $\mathbf{H}$ .

## CW NMR in $^3\text{He-B}$

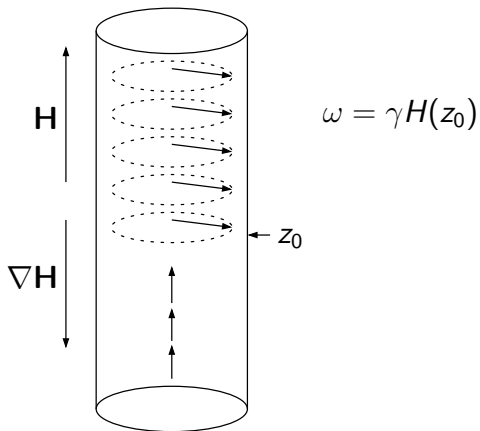




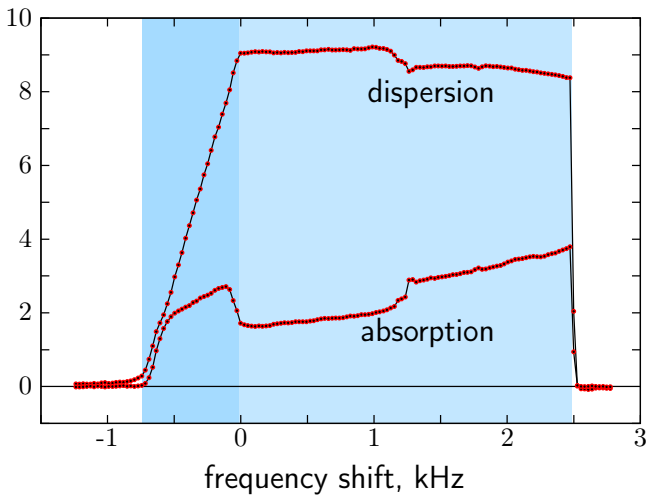
# CW NMR in $^3\text{He-B}$ in aerogel



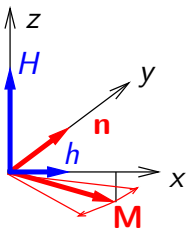
# Homogeneously precessing domain (HPD)



## HPD in CW NMR experiments



## HPD oscillations

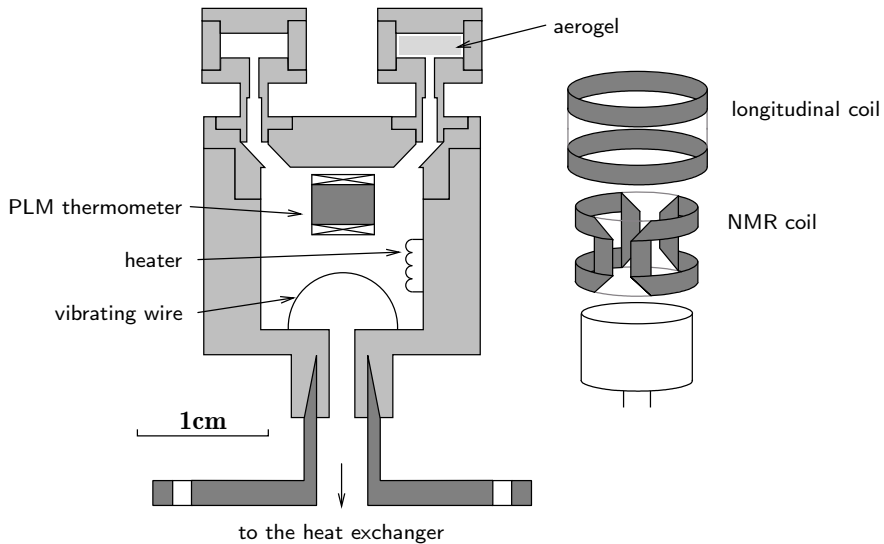


$$\Omega_1^2 = \omega_0^2 + \Omega_B^2$$

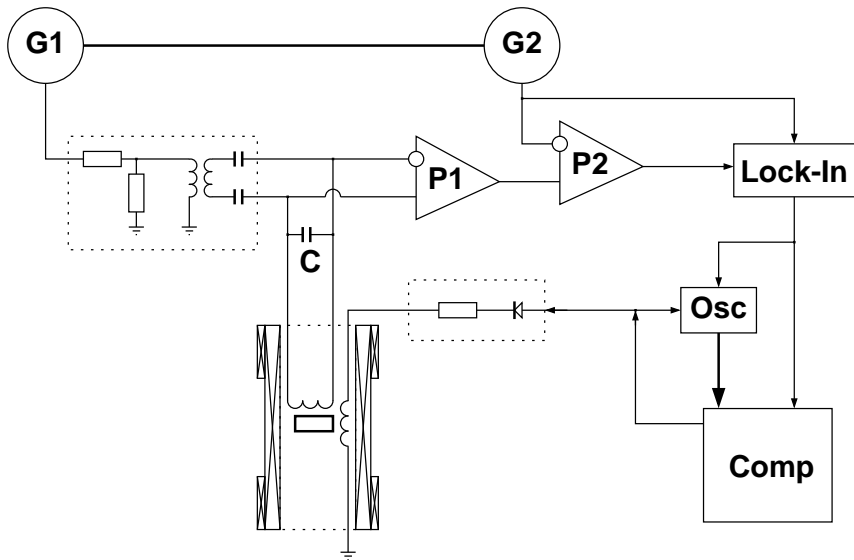
$$\Omega_2^2 = \frac{4}{\sqrt{15}} \frac{h}{H} \frac{\Omega_B^2}{1 + 8/3 \Omega_B^2/\omega_0^2}$$

$$\Omega_3^2 = \omega_0^2 \frac{\sqrt{15}\Delta\omega - \gamma h}{\sqrt{15}} \frac{3/8 + \Omega_B^2/\omega_0^2}{1 + \Omega_B^2/\omega_0^2}$$

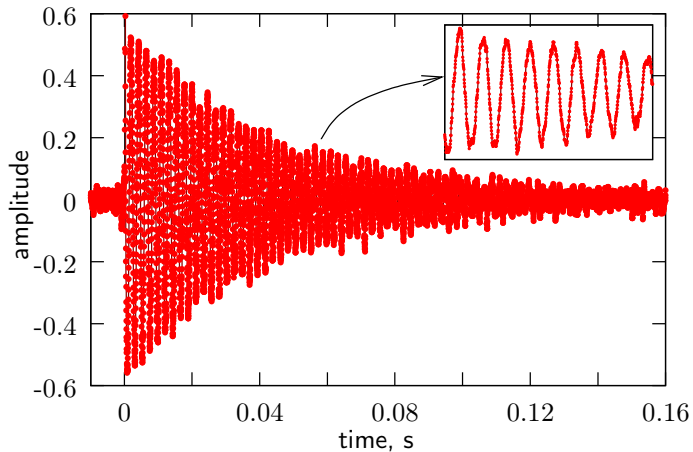
# Experimental cell



# NMR spectroscopy



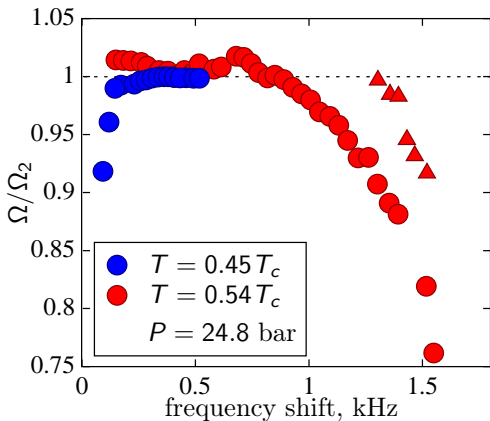
## Experiment: HPD oscillations



Pressure 24.8 bar, temperature  $0.46 T_c$ , magnetic field 279 Oe.

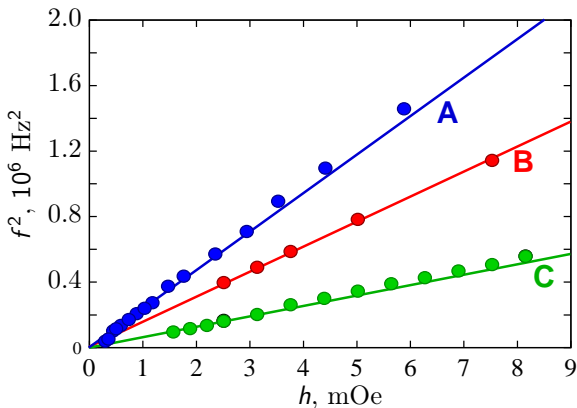
# Experiment: oscillation frequency vs. frequency shift

$$\Omega_2^2 = \frac{4}{\sqrt{15}} \frac{h}{H} \frac{\Omega_B^2}{1 + 8/3 \Omega_B^2/\omega_0^2}$$





## Experiment: oscillation frequency vs. RF-field

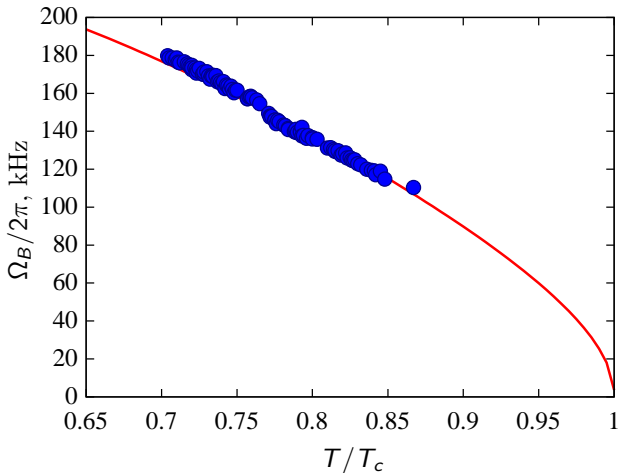


**A:**  $P = 24.8$  bar,  $H = 279$  Oe,  $T = 0.46 T_C$ ;

**B:**  $P = 19.5$  bar,  $H = 285$  Oe,  $T = 0.60 T_C$ ;

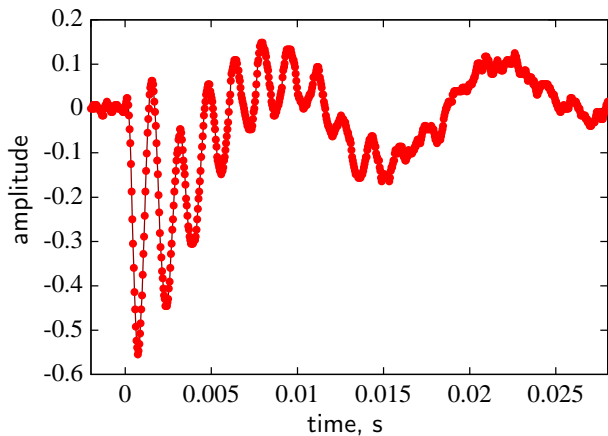
**C:**  $P = 19.5$  bar,  $H = 285$  Oe,  $T = 0.82 T_C$ .

## Experiment: Leggett frequency vs. temperature



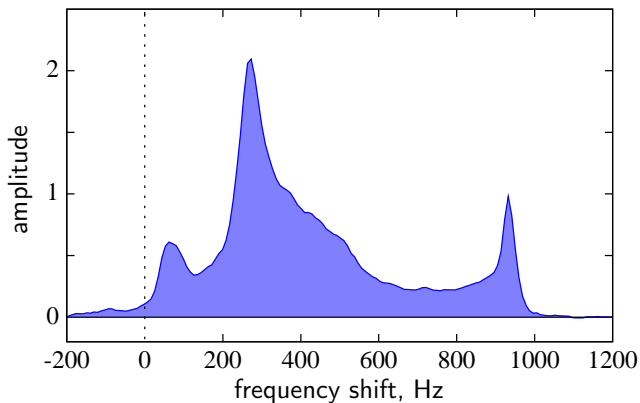
Pressure 19.5 bar

## Experiment: HPD oscillations in aerogel



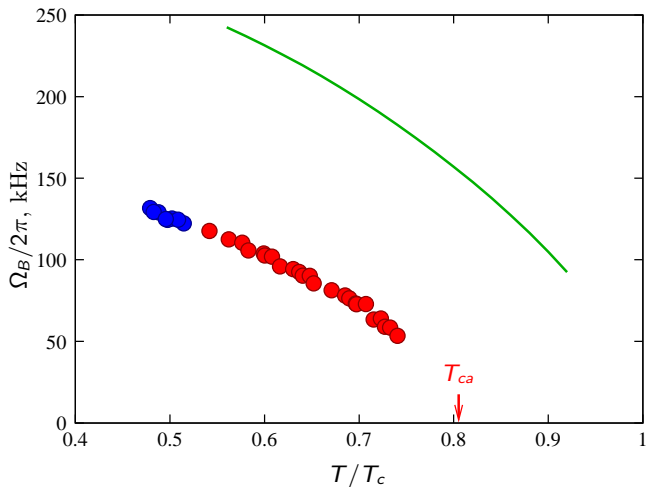
Pressure 24.8 bar, temperature  $0.60 T_{ca}$  ( $0.48 T_c$ ).

## Experiment: CW NMR line in aerogel



Pressure 24.8 bar, temperature  $0.76 T_{ca}$  ( $0.61 T_c$ )

## Experiment: Leggett frequency in aerogel



Pressure 24.8 bar,  $T_{ca} = 0.805 T_c$



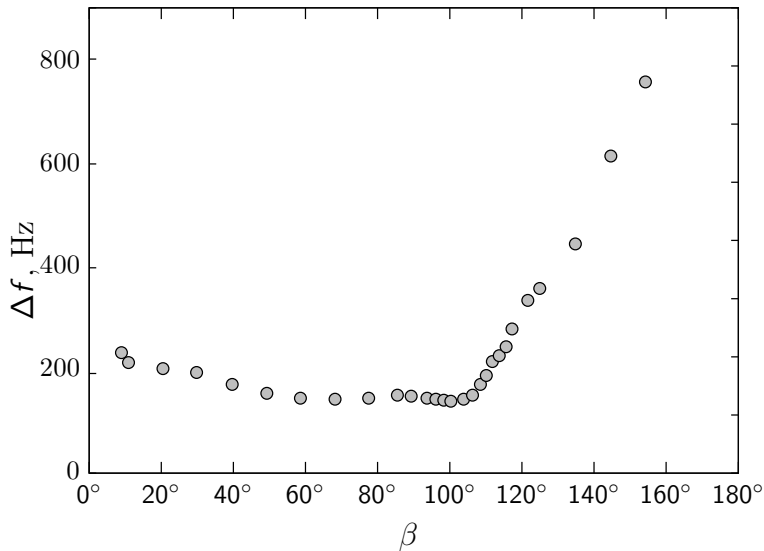
# Results

- впервые получена формула для низкочастотной моды пространственно-однородных колебаний ОПД;
- показано, что измерение частоты этих колебаний может быть использовано для измерения леггеттовской частоты в В-фазе  $^3\text{He}$ ;
- с помощью численных экспериментов было исследовано влияние пространственной неоднородности и магнитной релаксации на частоту и коэффициент затухания этих колебаний;
- колебания были обнаружены экспериментально как в объемном  $^3\text{He}$ , так и в  $^3\text{He}$  в аэрогеле, причем их свойства качественно совпали с теорией. Для объемного  $^3\text{He}$ , параметры которого известны, наблюдается и хорошее количественное совпадение с теорией.
- полученные результаты позволили провести измерения Леггеттовской частоты В-фазы  $^3\text{He}$  в аэрогеле.

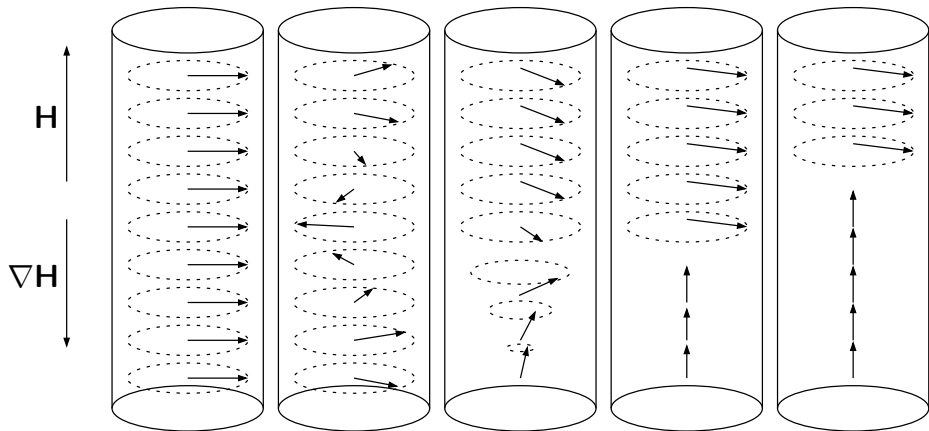




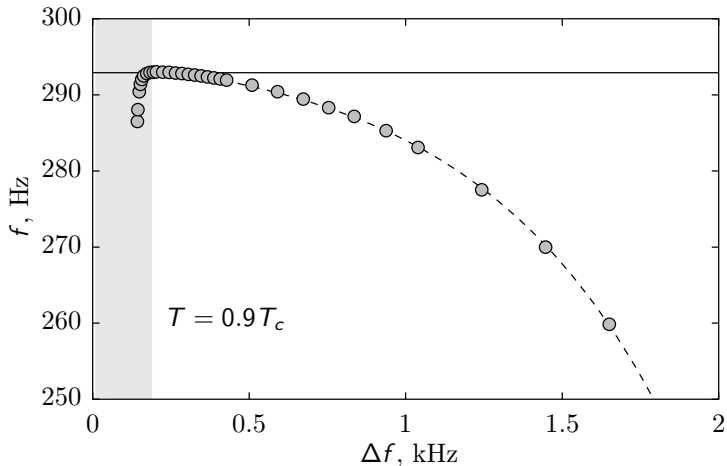
# Импульсный ЯМР в $^3\text{He}$ -В в аэрогеле



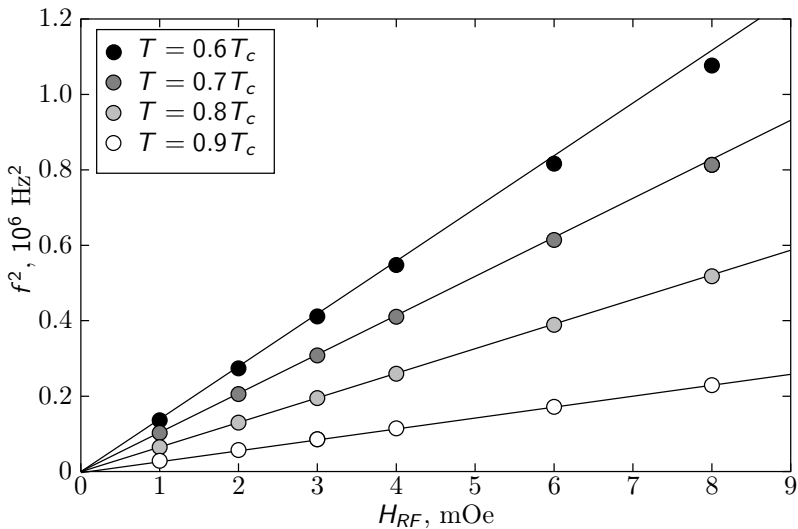
# Однородно-прецессирующий домен (ОПД)



# Численный эксперимент: зависимость частоты от сдвига частоты

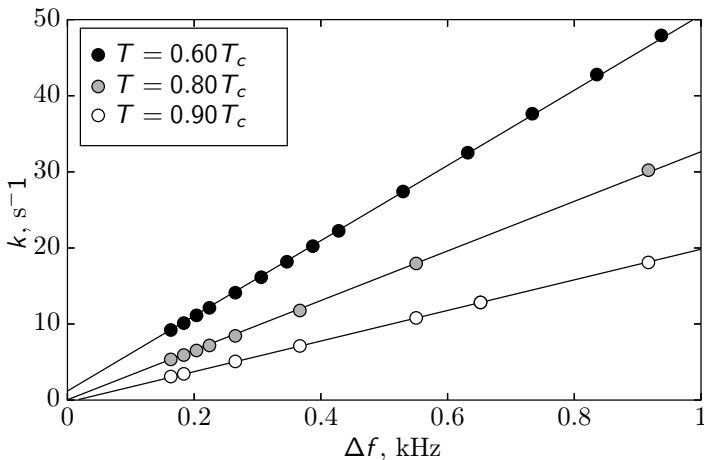


# Численный эксперимент: зависимость частоты от амплитуды накачки

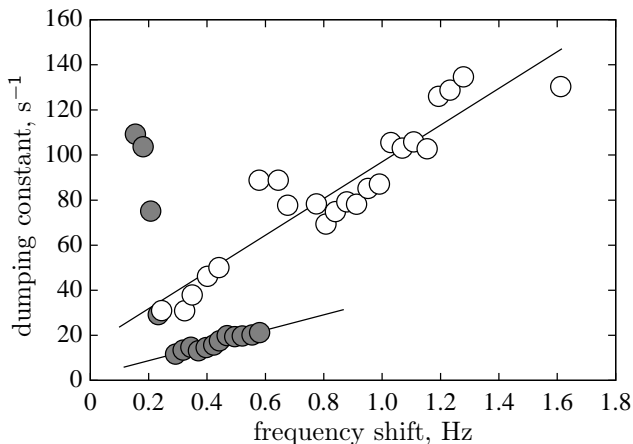


## Численный эксперимент: коэффициент затухания

$$k = \left( 0.1699 - 0.4187 \left( \frac{\Omega_B}{2\pi} \cdot 10^{-6} \right)^2 \right) \frac{10^{-6}}{\tau} \Delta f \quad (1)$$



# Эксперимент: коэффициента затухания в зависимости от сдвига частоты



Давление 24.8 бар, температура  $0.54 T_c$  (белые точки) и  $0.45 T_c$  (темные точки)