

# Измерение леггеттовской частоты $^3\text{He-V}$ в аэрогеле

Завьялов Владислав Витальевич

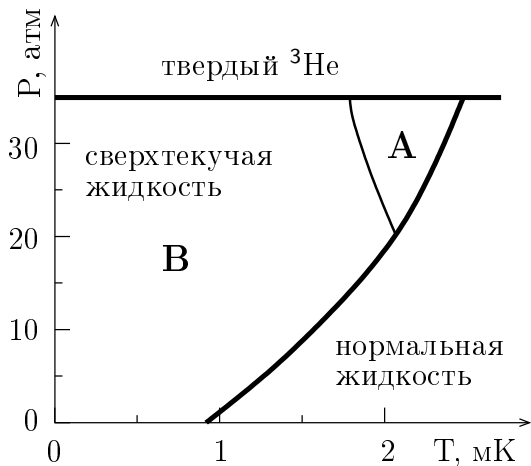
Институт физических проблем имени П. Л. Капицы

2011

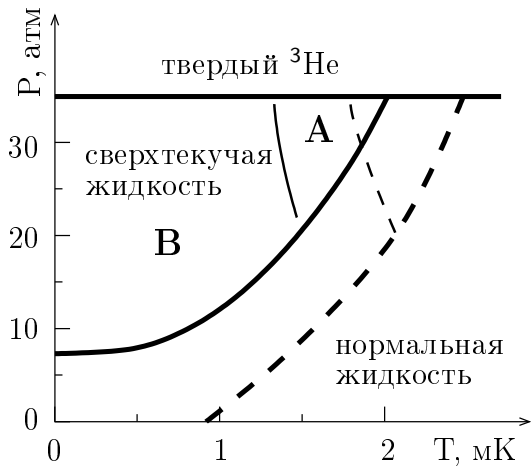
# Аэрогель



## Фазовая диаграмма $^3\text{He}$



## Фазовая диаграмма $^3\text{He}$ в аэрогеле



## Параметра порядка В-фазы $^3\text{He}$

Параметр порядка:

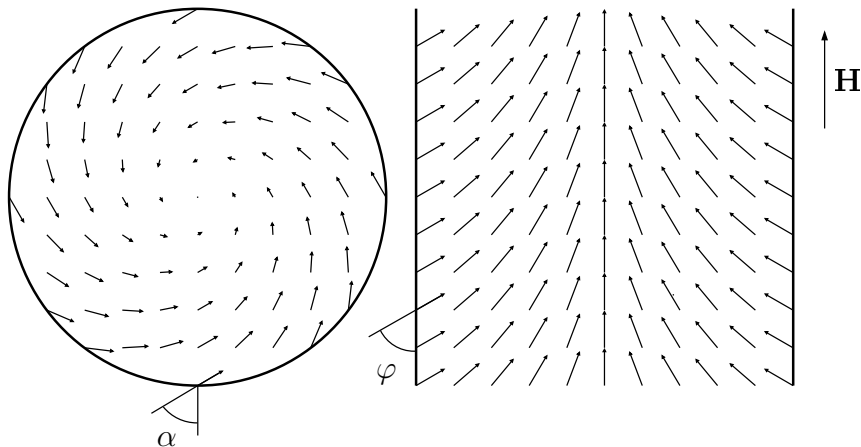
$$A_{jk} = \Delta(P, T) e^{i\phi} R_{jk}(\mathbf{n}, \theta).$$

Дипольная энергия:

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

Минимум достигается при  $\theta = \arccos(-1/4) \approx 104.5^\circ$ .

## Текстура В-фазы в цилиндрическом сосуде



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

## Уравнения Леггетта

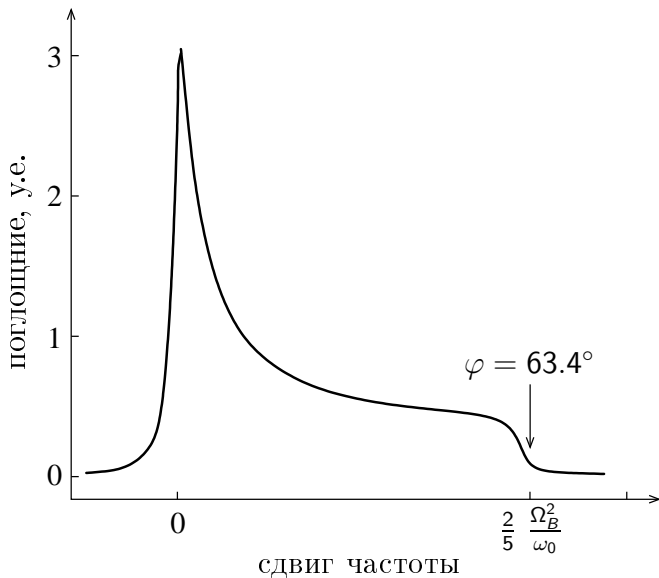
$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{\mathbf{M}} = \gamma \mathbf{M} \times \mathbf{H} + \frac{4}{15} \frac{\chi \Omega_B^2}{\gamma} \sin \theta (1 + 4 \cos \theta) \mathbf{n} \\ \dot{\theta} = \gamma \mathbf{n} \left( \frac{\mathbf{M}}{\chi} - \mathbf{H} \right) \\ \dot{\mathbf{n}} = -\frac{\gamma}{2} \mathbf{n}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

Частоты малых колебаний при линейном ЯМР:

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

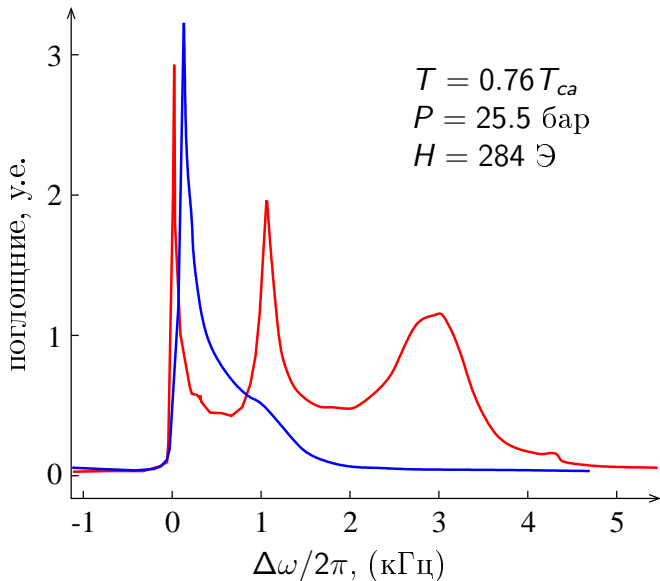
$\omega_0 = \gamma H$  — ларморовская частота,  $\varphi$  — угол между  $\mathbf{n}$  и  $\mathbf{H}$ .

## Непрерывный ЯМР в $^3\text{He-B}$

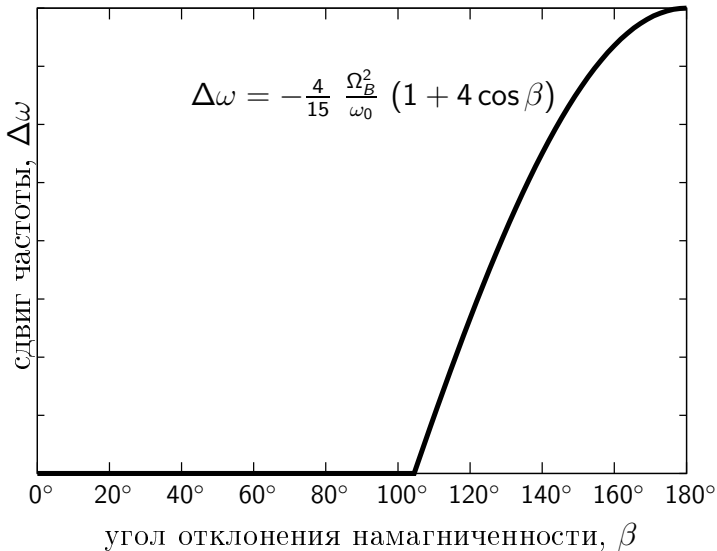




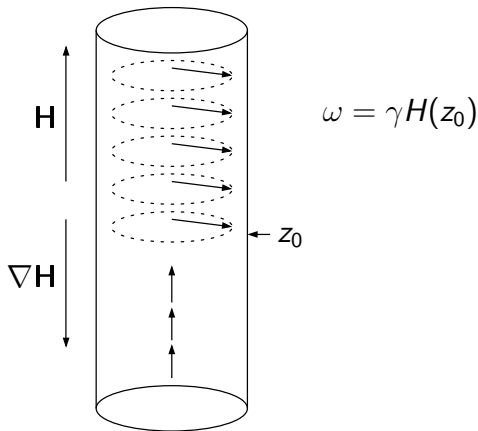
# Непрерывный ЯМР в $^3\text{He-V}$ в аэрогеле



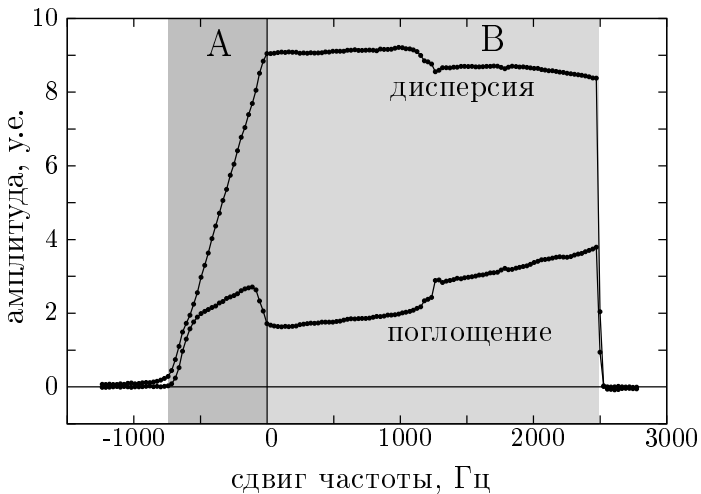
## Импульсный ЯМР в $^3\text{He-B}$



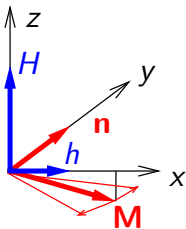
# Однородно-прецессирующий домен (ОПД)



# получение ОПД с помощью непрерывного ЯМР



## Колебания ОПД



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

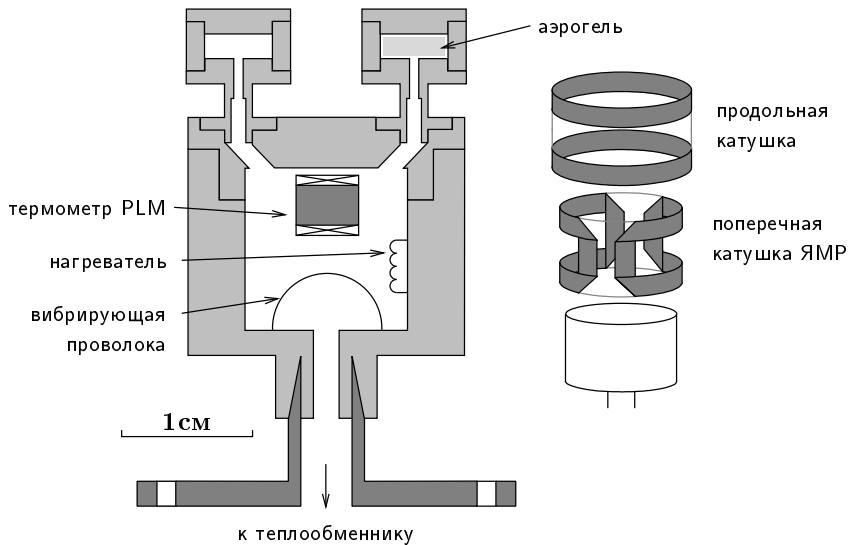
$$\Omega_2^2 = \frac{4}{\sqrt{15}} \frac{h}{H} \frac{\Omega_B^2}{1 + 8/3 \Omega_B^2/\omega_0^2}$$

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

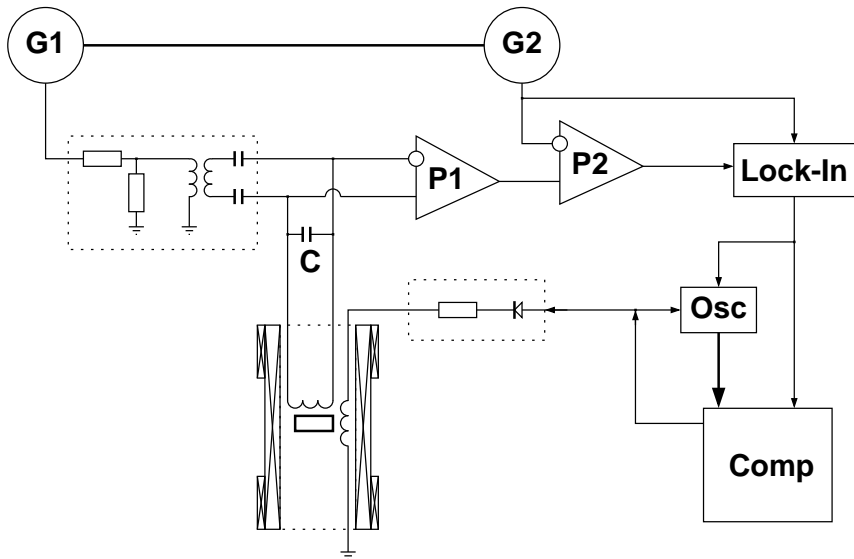
# Численный эксперимент

- обнаружение колебаний ОПД, проверка формулы для их частоты;
- нахождение оптимального способа возбуждения и наблюдения колебаний;
- изучение влияния спиновой релаксации и пространственной неоднородности на частоту колебаний;
- изучение коэффициента затухания колебаний;
- изучение влияния объемного  $^3\text{He}$ , находящегося в зазорах между аэрогелем и стенками ячейки.

# Схема экспериментальных ячеек

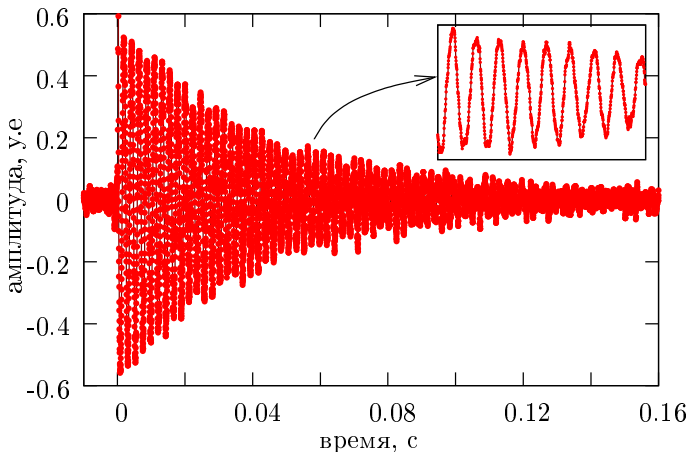


# Схема ЯМР-спектрометра





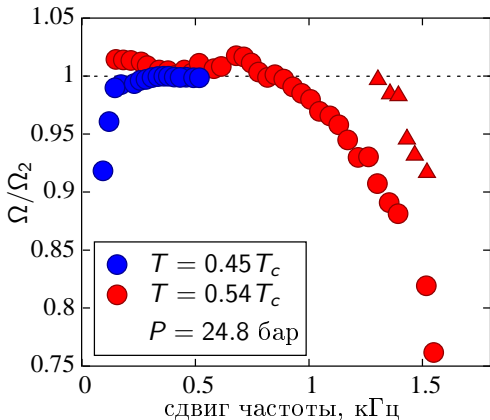
## Эксперимент: колебания ОПД



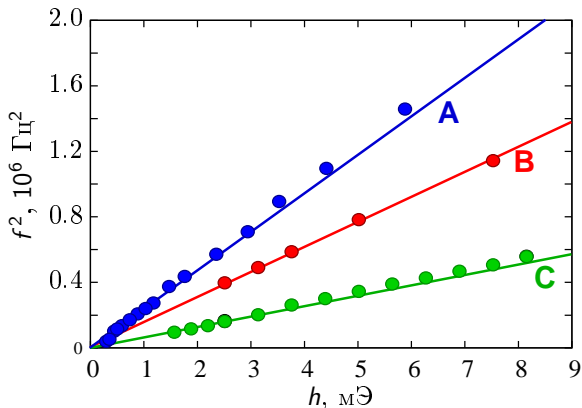
Давление 24.8 бар, температура 0.46  $T_c$ , магнитное поле 279 Э.

# Эксперимент: частота колебаний в зависимости от сдвига частоты

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



# Эксперимент: частота колебаний в зависимости от поля накачки

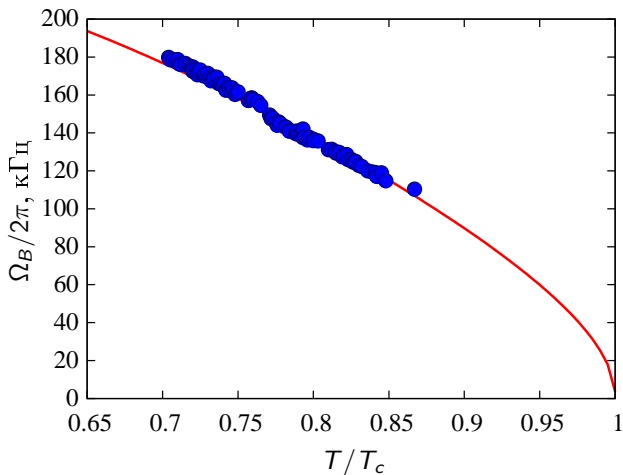


**A:**  $P = 24.8$  бар,  $H = 279$  Э,  $T = 0.46 T_c$ ;

**B:**  $P = 19.5$  бар,  $H = 285$  Э,  $T = 0.60 T_c$ ;

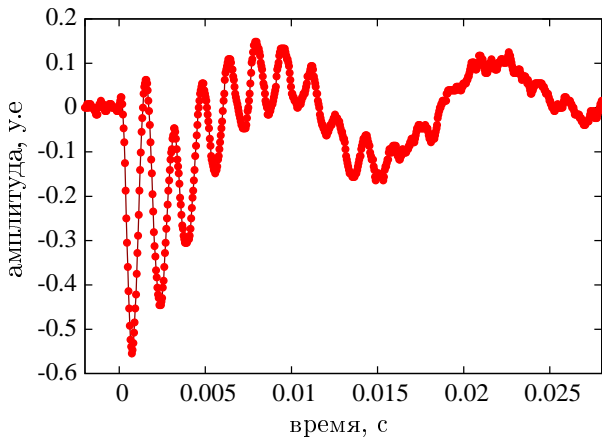
**C:**  $P = 19.5$  бар,  $H = 285$  Э,  $T = 0.82 T_c$ .

# Эксперимент: леггеттовская частота в зависимости от температуры



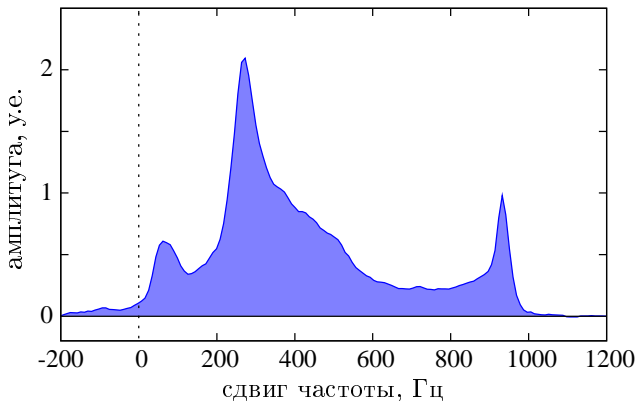
Давление 19.5 бар

## Эксперимент: колебания ОПД в аэрогеле



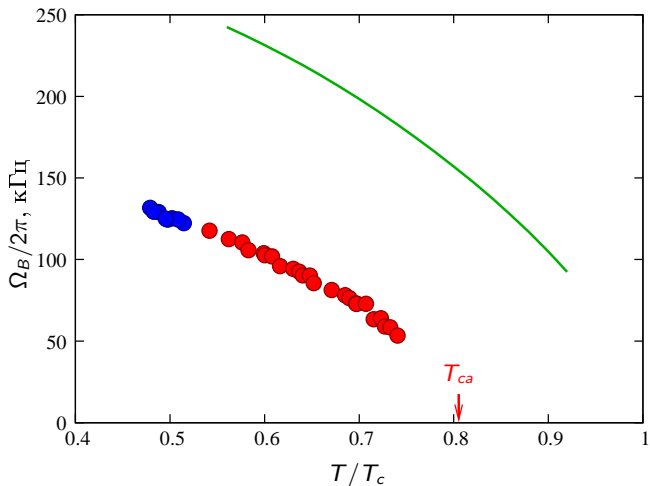
Давление 24.8 бар, температура  $0.60 T_{ca}$  ( $0.48 T_c$ ).

## Эксперимент: линия непрерывного ЯМР в аэрогеле



Давление 24.8 бар, температура  $0.76 T_{ca}$  ( $0.61 T_c$ )

# Эксперимент: леггеттовская частота в аэрогеле



Давление 24.8 бар,  $T_{ca} = 0.805 T_c$

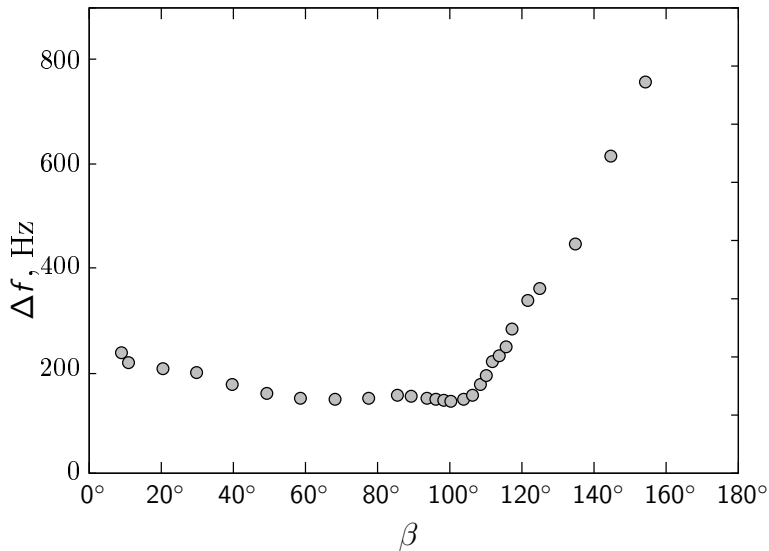
## Основные результаты

- 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.

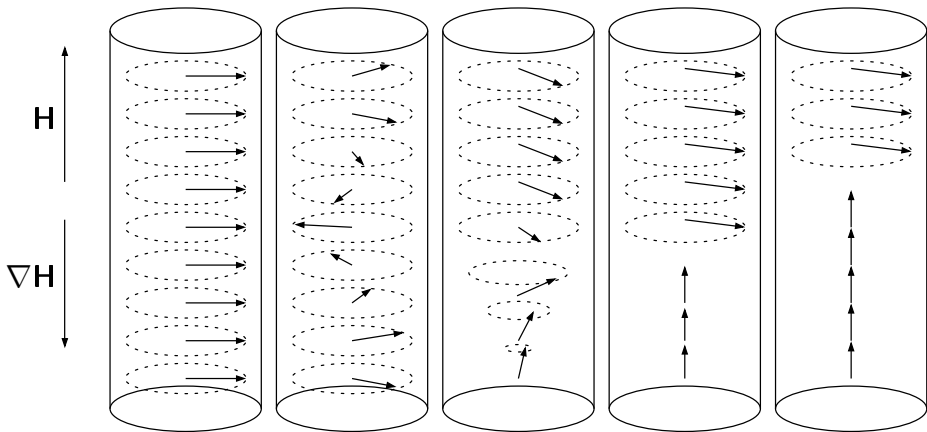




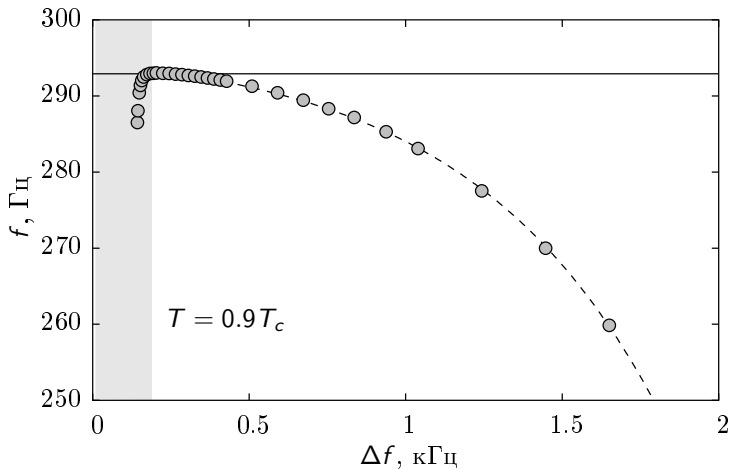
## Импульсный ЯМР в $^3\text{He-V}$ в аэрогеле



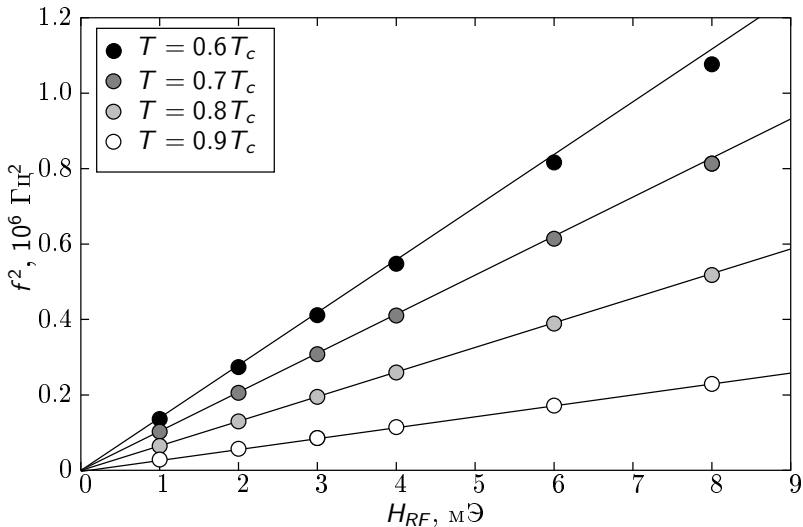
# Однородно-прецессирующий домен (ОПД)



# Численный эксперимент: зависимость частоты от сдвига частоты

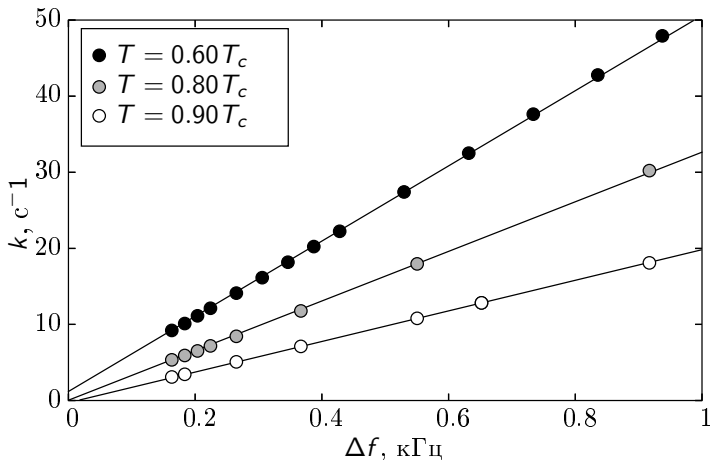


# Численный эксперимент: зависимость частоты от амплитуды накачки

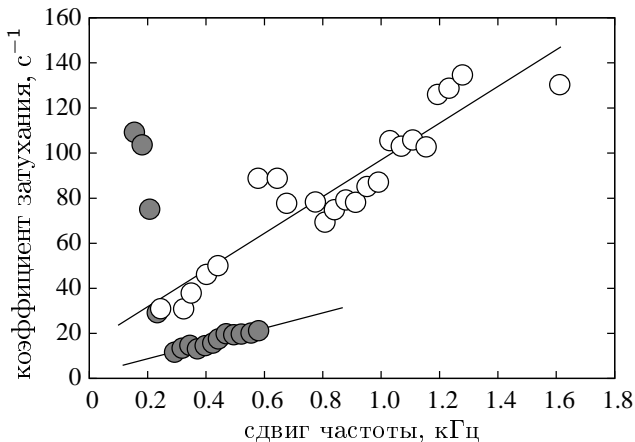


## Численный эксперимент: коэффициент затухания

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



# 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)