

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН ВТОРОГО ЗВУКА В СРЕДЕ С НАНОЧАСТИЦАМИ

ЕФИМОВ В.Б., МЕЖОВ-ДЕГЛИН Л.П.

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА РАН,

ЧЕРНОГОЛОВКА

XXIX НАУЧНАЯ СЕССИЯ СОВЕТА РАН ПО НЕЛИНЕЙНОЙ
ДИНАМИКЕ

МОТИВАЦИЯ

- ВОЛНЫ ВТОРОГО ЗВУКА В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ СИЛЬНО НЕЛИНЕЙНЫ
- В РЕЗОНАТОРЕ МОЖНО СОЗДАВАТЬ ВОЛНЫ ВТОРОГО ЗВУКА БОЛЬШОЙ АМПЛИТУДЫ ПРИ МАЛЫХ АМПЛИТУДАХ НАКАЧКИ
- В СИСТЕМЕ ВОЛН ВТОРОГО ЗВУКА МОЖНО НАБЛЮДАТЬ ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ПОТОКИ ЭНЕРГИИ – КОЛМОГОРОВ-LIKE КАСКАДЫ
- В СВЕРХТЕКУЧИЙ ГЕЛИЙ МОЖНО ВНОСИТЬ КОНТРОЛИРУЕМЫМ ОБРАЗОМ ДИССИПАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ – КВАНТОВЫЕ ВИХРИ, ПРИМЕСНЫЕ ЧАСТИЦЫ И Т.Д.
- В ДАННОЙ РАБОТЕ МЫ РАЗРАБОТАЛИ МЕТОД ВНЕСЕНИЯ ПРИМЕСЬ-ГЕЛИЕВЫХ ЧАСТИЦ В РЕЗОНАТОР ВОЛН ВТОРОГО ЗВУКА

НЕЛИНЕЙНЫЙ ВТОРОЙ ЗВУК В СВЕРХТЕКУЧЕМ ГЕЛИИ

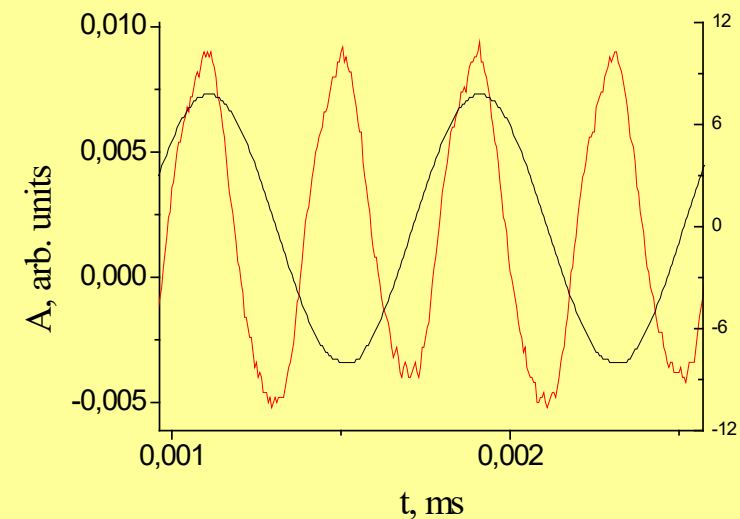
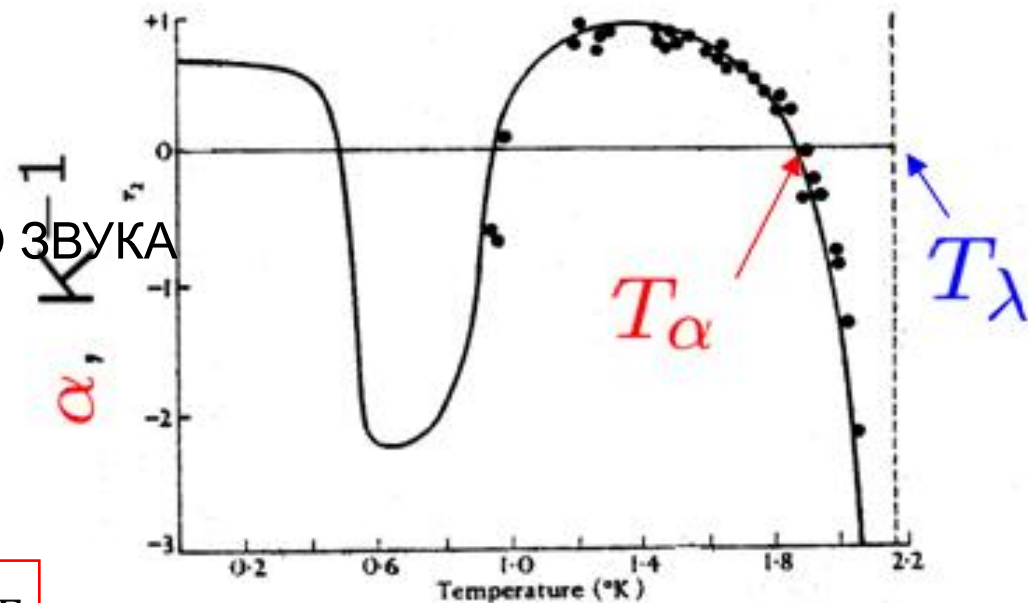
- МАЛАЯ СКОРОСТЬ ВОЛН ВТОРОГО ЗВУКА
- СЛАБОЕ ЗАТУХАНИЕ
- СИЛЬНАЯ НЕЛИНЕЙНОСТЬ СКОРОСТИ ВТОРОГО ЗВУКА ОТ АМПЛИТУДЫ (МК)
- ЛИНЕЙНЫЙ ЗАКОН ДИСПЕРСИИ

УРАВНЕНИЕ БЮРГЕРСА

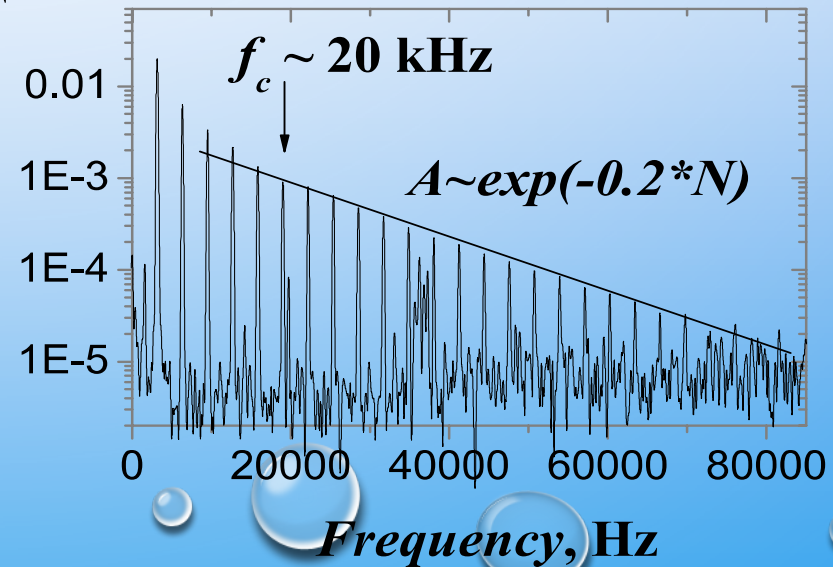
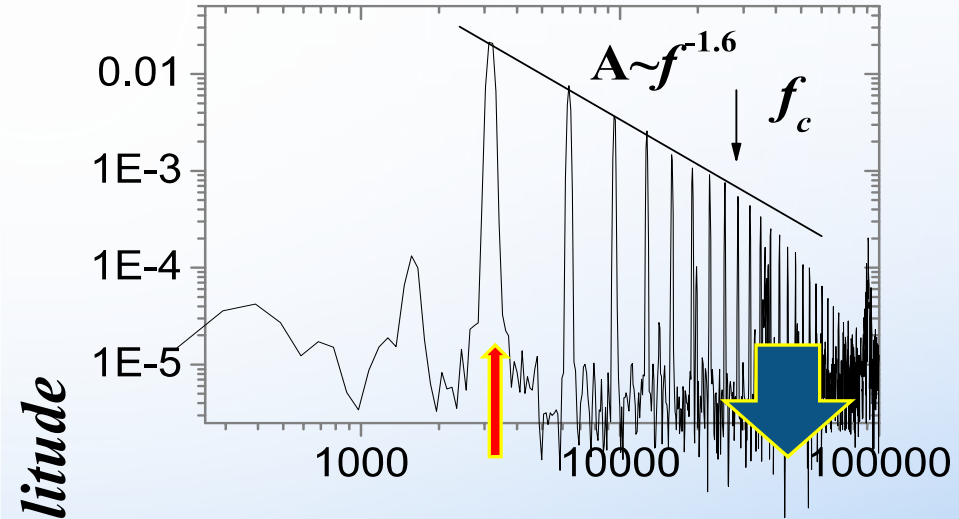
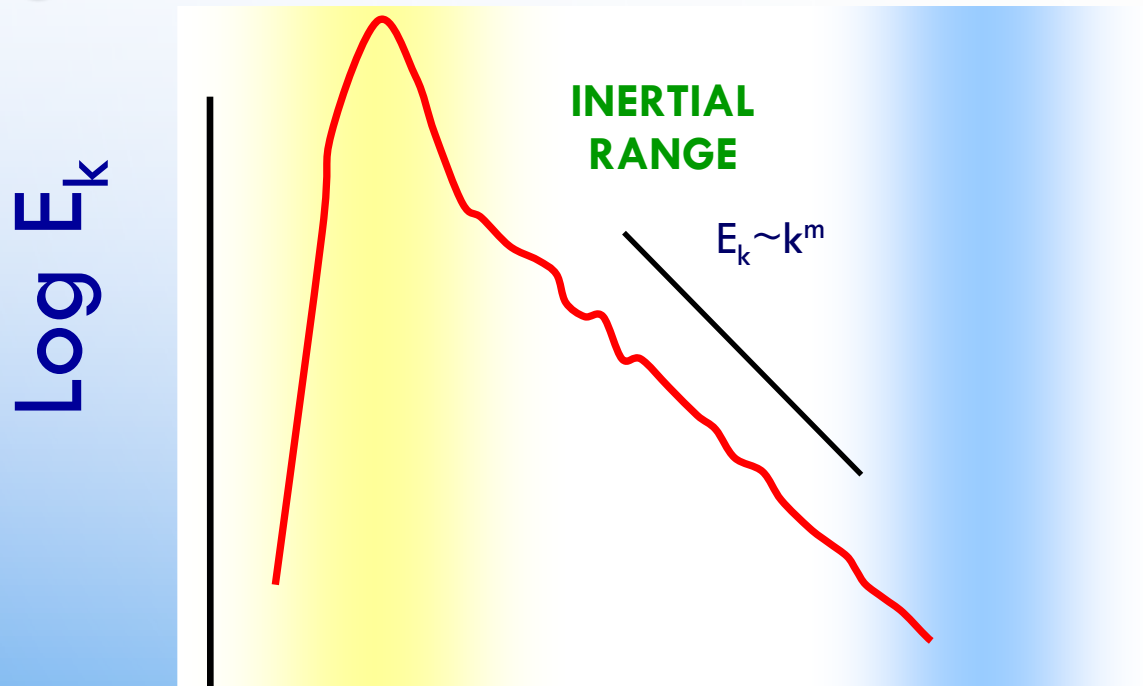
$$\frac{\partial}{\partial t} \delta T + u_{20}(1 + \alpha \delta T) \frac{\partial}{\partial x} \delta T = \nu \frac{\partial^2}{\partial x^2} \delta T$$

Зависимость скорости второго звука от амплитуды волны:

$$u_2(\delta T) = u_{20}(1 + \alpha \delta T)$$



КОЛМОГОРОВСКИЕ КАСКАДЫ АКУСТИЧЕСКАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ



ПРИМЕСЬ-ГЕЛИЕВЫЕ ГЕЛИ

NUMERICAL RESULTS: $Re = 0.1$, $Pe = 2 \times 10^{-3}$

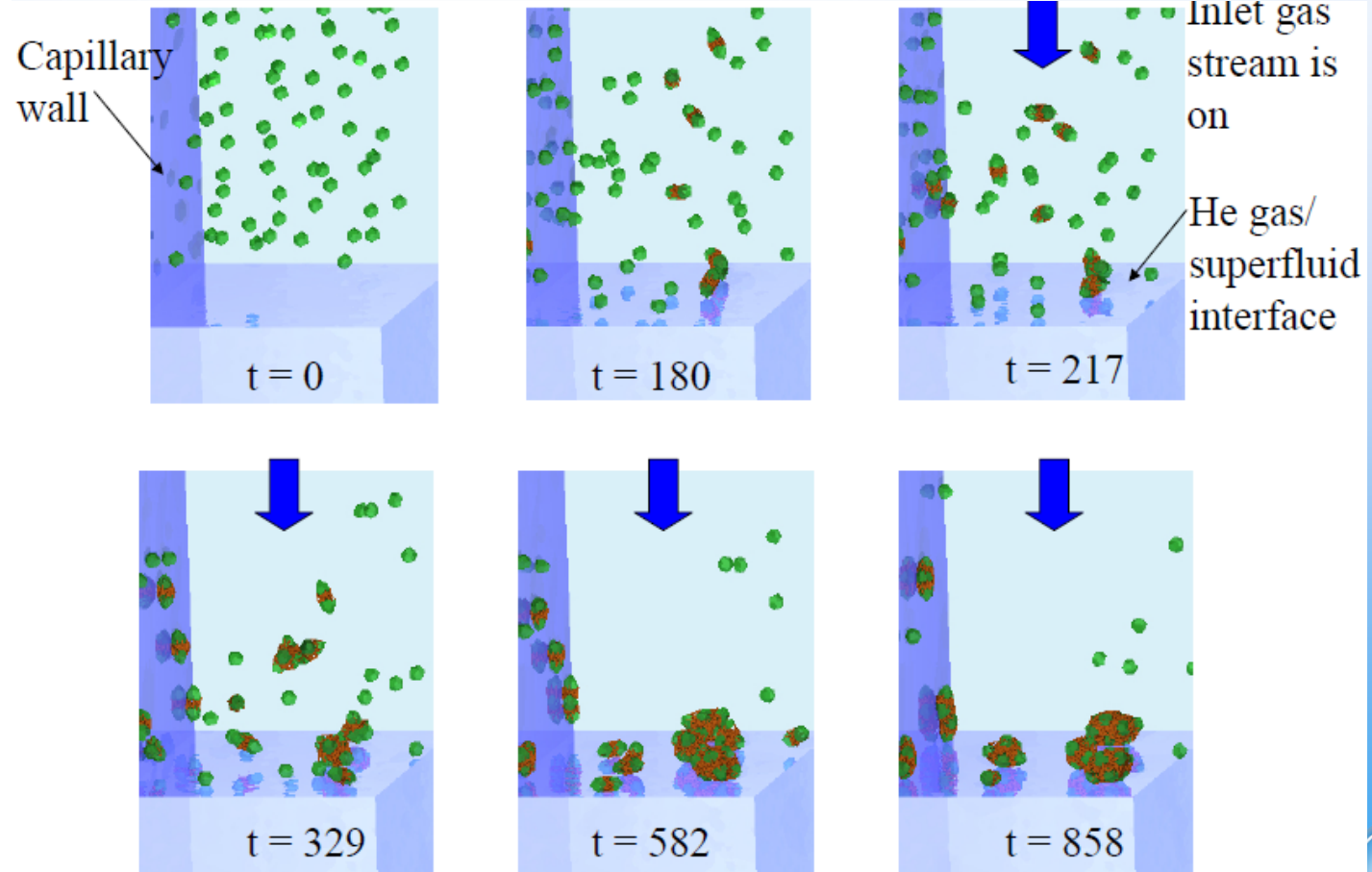
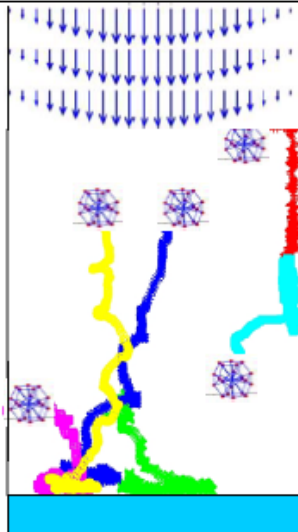
- Reynolds number

$$Re = Ru_{\text{gas}}/v_{\text{gas}}$$

- Peclet number

$$Pe = Ru_{\text{gas}}/D_{\text{cl}}$$

Trajectories of clusters
 $Re=10^{-1}$, $Pe = 2 \times 10^{-3}$



COMPUTATIONAL ARRANGEMENT

- **Initial conditions**

- * Randomly placed clusters in gas phase

- **Later stages**

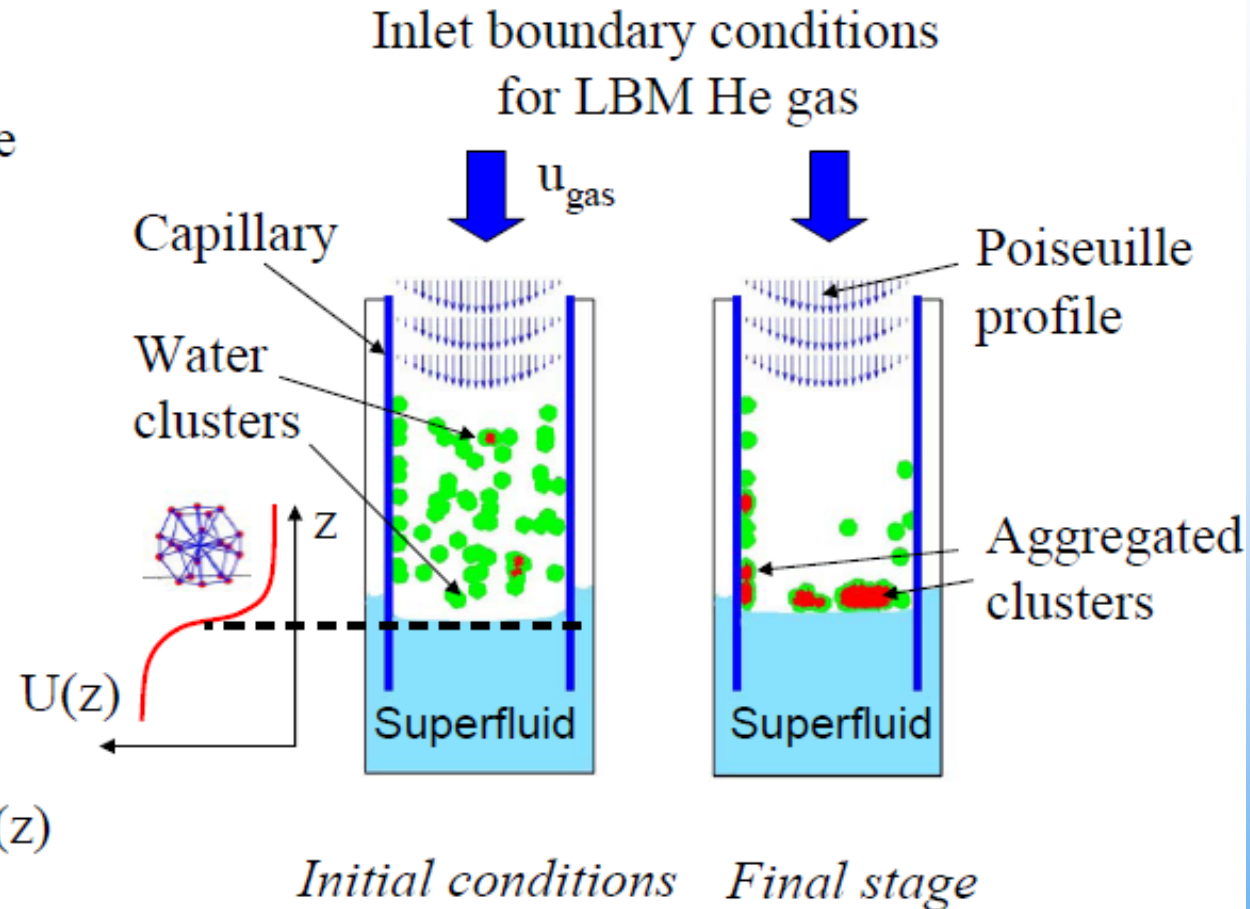
- * Aggregation of clusters
 - in gas phase
 - at He-II surface
 - at capillary walls

- **Gas/Fluid Interface**

- * Potential barrier $U(z)$

- **Forces at capillary walls**

- * Attraction due to van der Waals interaction



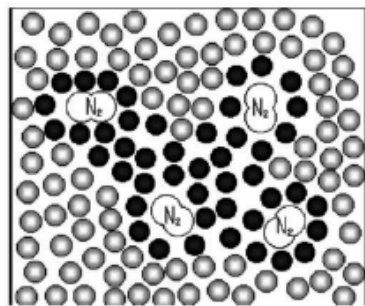
PRB, 65, 024517,(2001)

Structural studies of impurity-helium solids

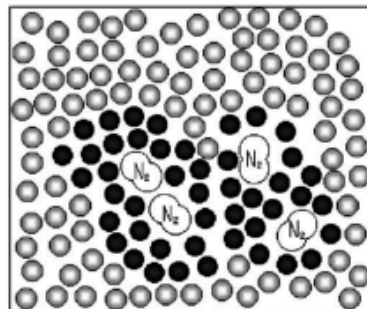
S. I. Kiselev, V. V. Khmelenko, and

D. M. Lee et al.

A.



B.



C.

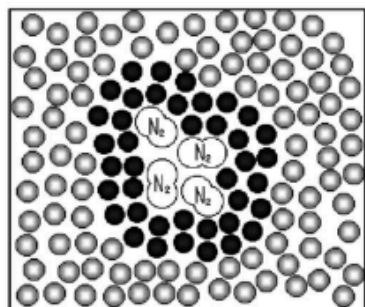


FIG. 13. The model of Im-He solid formation: (A). On formation, the impurities are mainly isolated from one another by helium atoms in the solid (black circles). Superfluid liquid helium contained in the pores (gray circles) transports heat efficiently. (B) As the sample is warmed up, diffusion allows impurities to aggregate slowly. The associated heat is carried away by superfluid helium. (C). As the sample is warmed above the T_λ , the diffusion rate increases. Larger aggregates form. The heat of aggregation can no longer be carried away by liquid helium for $T > T_\lambda$. More diffusion takes place and even larger aggregates form.

Sample of D₂ gel

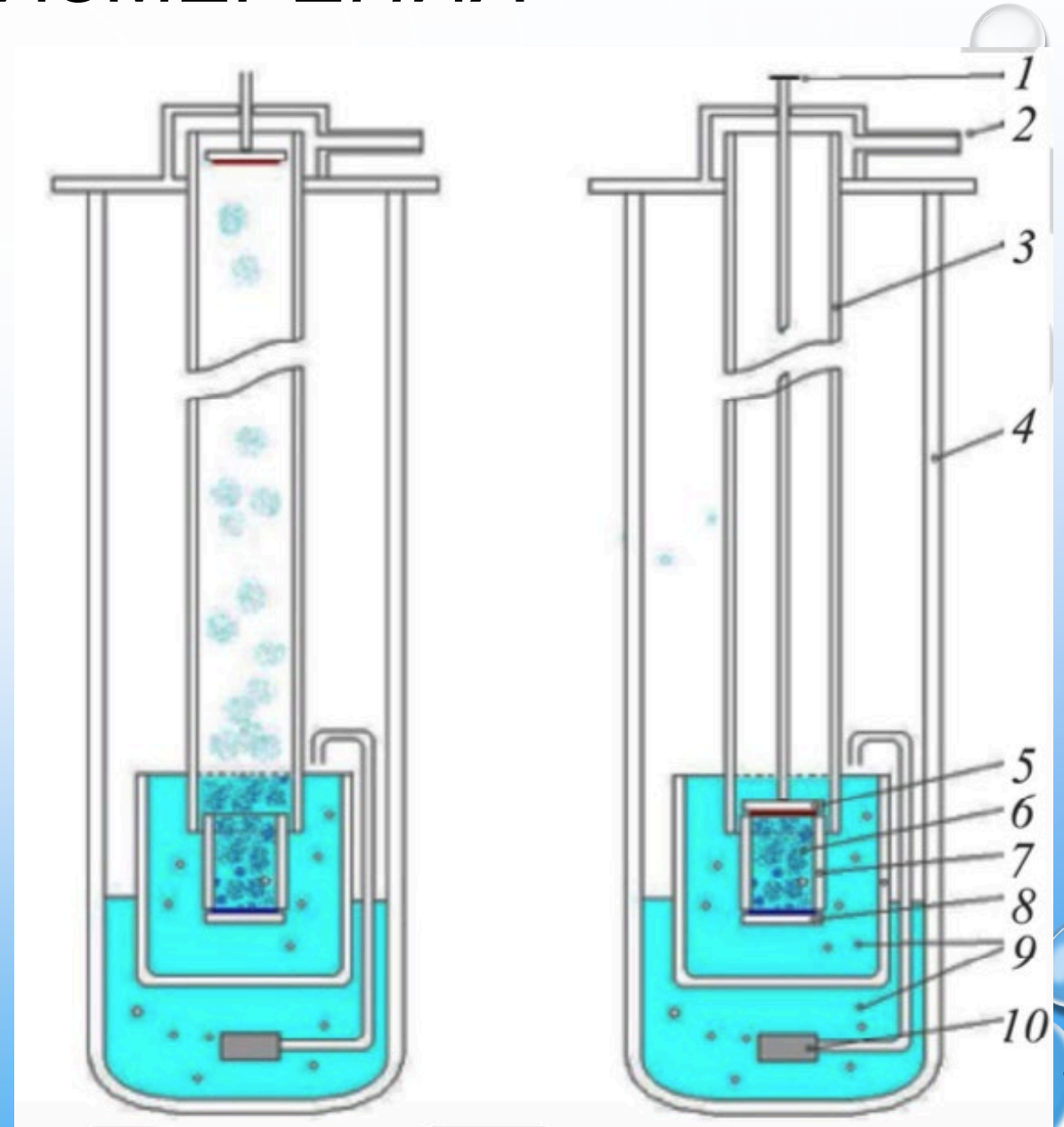
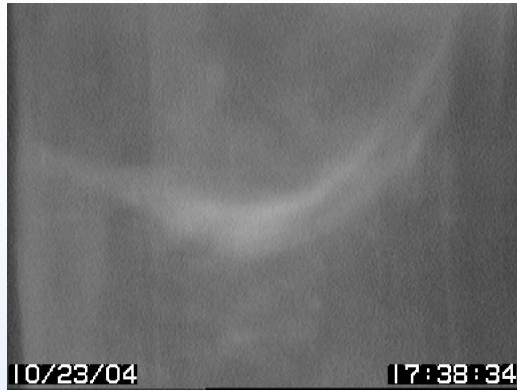
2 mm



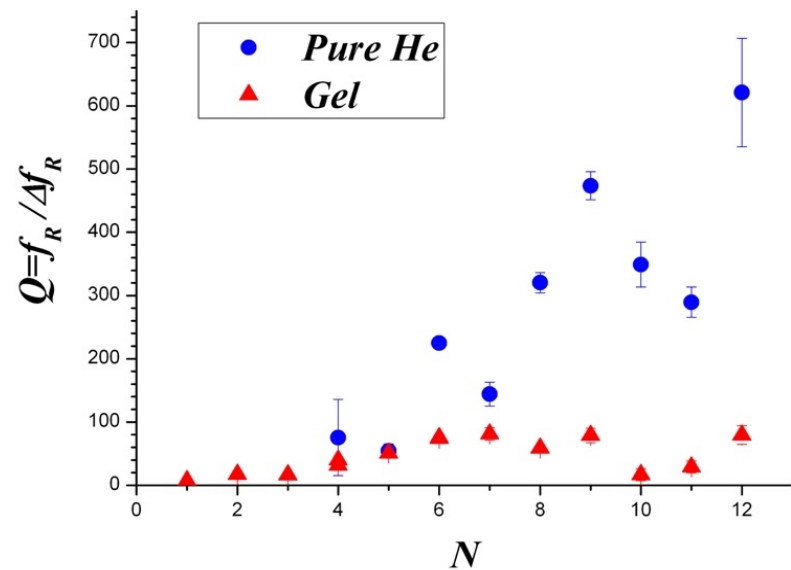
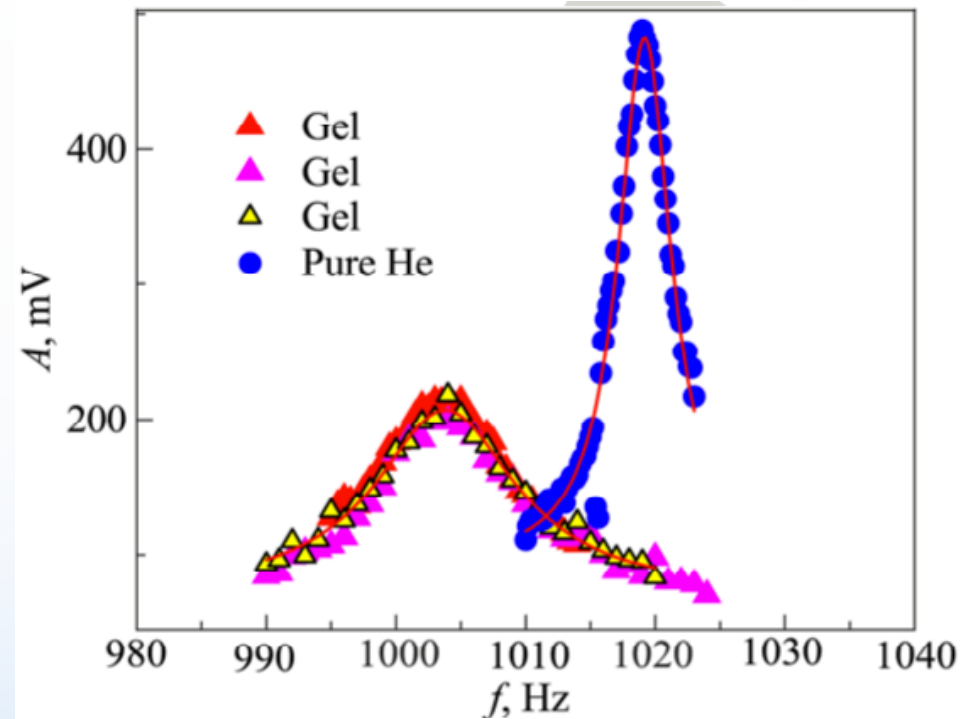
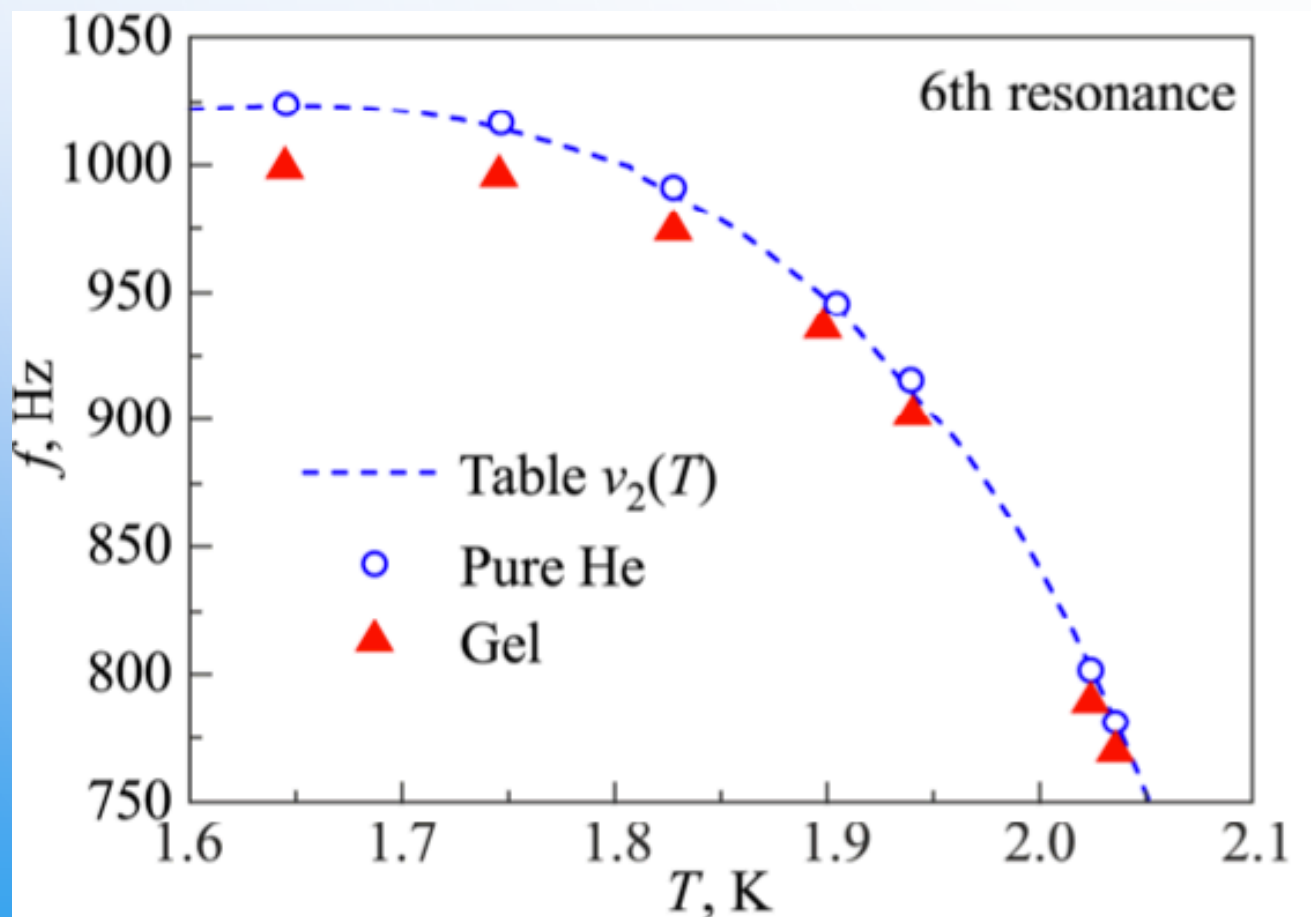
10/23/04

17:41:53

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ



РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ



- РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ ДЛЯ РЕЗОНАТОРА С РАЗМЕРАМИ $L=30$ ММ И ДИАМЕТРОМ $D=15$ ММ БУДУТ

- $f_{PMN}=(1/2)*C_{20} [(p/L)^2+(2\alpha_{MN}/D)^2]^{1/2}$

- ДЛЯ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ 5-ГО РЕЗОНАНСА $f_5=848.3$ HZ, ДЛЯ РАДИАЛЬНЫХ МОД ПОЛУЧИМ $f_{01}=520$ HZ; $f_{11}=828$ HZ И $f_{02}=1193$ HZ.

- PURE HE, $f_{11}=815.59\pm 0.10$ HZ

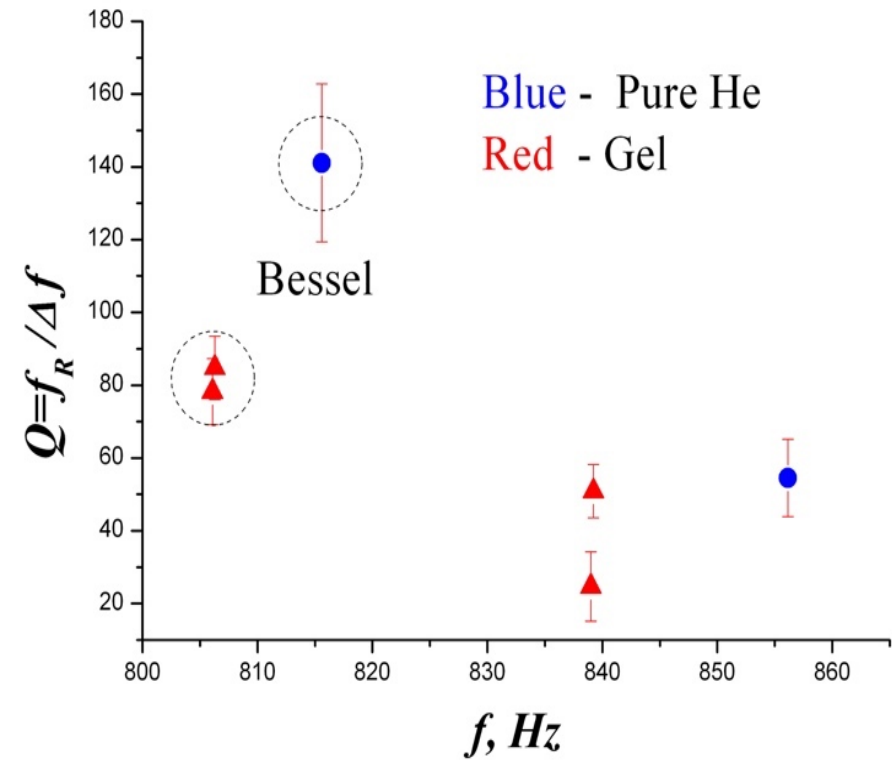
- PURE HE, $f_5=856.14\pm 0.12$ HZ

- GEL, $f_{11}=806.09\pm 0.23$ HZ

- GEL, $f_5=839.00\pm 0.50$ HZ

- GEL, $f_{11}=806.29\pm 0.19$ HZ

- GEL, $f_5=839.22\pm 0.24$ HZ



SUMMARY

- РАЗРАБОТАНА МЕТОДИКА ВНЕСЕНИЯ ПРИМЕСЬ-ГЕЛИЕВОГО ГЕЛЯ В РЕЗОНАТОР ВОЛН ВТОРОГО ЗВУКА;
- ПРОВЕДЕНЫ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ВТОРОГО ЗВУКА В РЕЗОНАТОРЕ С ЧИСТЫМ ГЕЛИЕМ И С ДЕЙТЕРИЕВО-ГЕЛИЕВЫМ ГЕЛЕМ;
- ГЕЛЬ УМЕНЬШАЕТ СКОРОСТЬ ВТОРОГО ЗВУКА НА ВЕЛИЧИНУ ПОРЯДКА 2 %, ХОТЯ ДЛЯ СЛУЧАЯ СИЛЬНОГО ТРЕНИЯ НОРМАЛЬНОЙ КОМПОНЕНТЫ О ПОРИСТУЮ СТРУКТУРУ ДОЛЖНО БЫТЬ УВЕЛИЧЕНИЕ СКОРОСТИ ВТОРОГО ЗВУКА (КАК ДЛЯ АЭРОГЕЛЕЙ) – ВТОРОЙ ЗВУК СТАНОВИТСЯ ЧЕТВЕРТЫМ ЗВУКОМ. НАБЛЮДАЕМОЕ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ УМЕНЬШЕНИЕ ЧАСТОТЫ РЕЗОНАНСА — ЭТО ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА, ТАК КАК ЭФФЕКТ ПРОЯВЛЯЕТСЯ НЕ ТОЛЬКО НА ПРОДОЛЬНЫХ РЕЗОНАНСАХ, НО И НА РАДИАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЯХ (НА «БЕССЕЛЯХ», НА СТОЯЧИХ ВОЛНАХ, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ РАДИУСОМ РЕЗОНАТОРА.
- УМЕНЬШЕНИЕ СКОРОСТИ ВТОРОГО ЗВУКА ВО ВСЕМ ИССЛЕДОВАННОМ ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ($1,3 \text{ K} - T_1$), ПО-ВИДИМОМУ, МОЖНО ПРИПИСАТЬ К ПОВЕДЕНИЮ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ В МЯГКОМ ОКРУЖЕНИИ – SUPERFLUIDITY IN SOFT MATTER.
- ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО ПОКАЗАНО, ЧТО НАЛИЧИЕ ДЕЙТЕРИЕВОГО ГЕЛЯ РЕЗКО УВЕЛИЧИВАЕТ ЗАТУХАНИЕ ВТОРОГО ЗВУКА. ДОБРОТНОСТЬ СИСТЕМЫ СИЛЬНО ЗАВИСИТ ОТ НОМЕРА РЕЗОНАНСА. ТАК ДЛЯ МАЛЫХ РЕЗОНАНСНЫХ МОД ДОБРОТНОСТЬ РЕЗОНАТОРА В СЛУЧАЕ ЧАСТИЧНОГО НАПОЛНЕНИЯ ЦИЛИНДРА РЕЗОНАТОРА ГЕЛЕМ БЛИЗКА К ДОБРОТНОСТИ РЕЗОНАТОРА БЕЗ ГЕЛЯ, В ТО ВРЕМЯ КАК ДЛЯ МОД ВБЛИЗИ 10 РЕЗОНАНСА ДОБРОТНОСТЬ РЕЗОНАТОРА С ЧИСТЫМ ГЕЛИЕМ ПРИБЛИЖАЛАСЬ К 1000, А С ГЕЛЕМ ДЛЯ ЭТИХ ЖЕ РЕЗОНАНСОВ ВЕЛИЧИНА Q НЕ ДОСТИГАЛА И ПЯТИДЕСЯТИ. ДОБРОТНОСТЬ РЕЗОНАТОРА С ГЕЛЕМ КОРРЕЛИРУЕТ С ДОБРОТНОСТЬЮ СИСТЕМЫ С ЧИСТЫМ ГЕЛИЕМ, БОЛЬШАЯ