



Сверхтекучесть ^3He была открыта в 1972 г. – с тех пор явление широко исследовалось, и современная теория хорошо описывает свойства чистого сверхтекучего ^3He .

Сверхтекучесть ^3He с примесями – важная задача современной физики, но ее решение осложняется тем, что изначально сверхтекучий ^3He — очень чистое вещество. При температурах порядка 1 мК, когда ^3He становится сверхтекучим, все примеси вымерзают, а изотоп ^4He уже практически не растворяется в ^3He . Решить эту проблему экспериментально стало возможно с помощью аэрогелей – особых веществ с высокой пористостью ($\sim 98\%$). В таких экспериментах частицы аэрогеля играют роль примесей, на которых рассеиваются частицы ^3He .

Аэрогель представляет собой твердое вещество из переплетенных тонких нитей. Расстояние между нитями много больше их диаметра. При этом, деформируя аэрогель, можно добиться того, что нити выстроятся вдоль одной прямой. Такое выравнивание делает материал анизотропным. Анизотропия аэрогеля заметна невооруженным глазом (см. рис. 1).

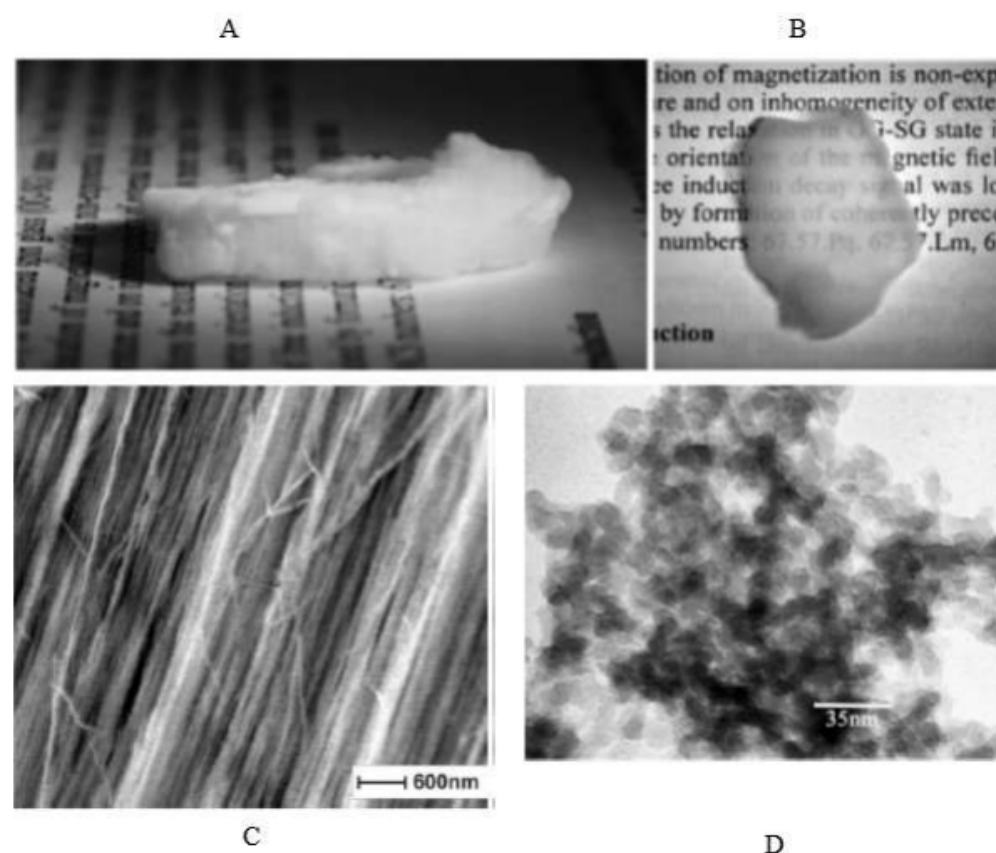


Рис. 1. Внешний вид «упорядоченного» аэрогеля в направлении вдоль (B) и поперек (A) нитей. На микрофотографиях, полученных с помощью электронной микроскопии показаны сечения аэрогеля в плоскости параллельной оси нитей (C) и перпендикулярной ей (D)

Рассмотрите двумерное движение атомов ^3He в плоскости, перпендикулярной оси аэрогеля. Образец аэрогеля можете считать бесконечным, радиус нитей $r = 1$ нм, а их «концентрация» в расчете на единицу площади $n = 10^{-4}$ нм $^{-2}$. Можно считать, что нити неподвижны и расположены случайным образом. Размером атомов ^3He можно пренебречь, соударения атомов о нити аэрогеля считать абсолютно упругими – атомы ^3He сохраняют величину скорости $v = 500$ м/с при соударении, а изменение направления движения задается геометрическим законом отражения. Взаимодействием между атомами гелия можно пренебречь.

Рассмотрим $N = 10^{10}$ ^3He , положения и направления движения которых в начальный момент выбраны случайным образом.

- A1^{1.00} Сколько $F_1(t)$ атомов ^3He успевают хотя бы один раз столкнуться с нитями аэрогеля за время $t \in [1 \text{ фс}; 1 \text{ пс}]$? Вычислите $F_1(10 \text{ фс})$
- A2^{1.00} Сколько $G(t)$ столкновений в среднем испытывает атом ^3He за время t ?
- A3^{1.00} Сколько $F_2(t)$ атомов ^3He ни разу не столкнется с нитями аэрогеля за время $t \in [1 \text{ фс}; 0.1 \text{ мкс}]$? Вычислите $F_2(10 \text{ нс})$.
- A4^{2.00} Какое количество $S(\phi, \Delta\phi)$ атомов ^3He при первом столкновении изменит направление скорости на угол $\alpha \in [\phi; \phi + \Delta\phi]$, где $\Delta\phi \in [10^{-5}; 10^{-3}]$, $\phi \in [10^{-1} - \pi; 10^{-1}] \cup [10^{-1}; \pi - 10^{-1}]$. Считайте угол положительным при изменении направления против часовой стрелки. Вычислите $S(\pi/2, 10^{-4})$.
- A5^{1.00} Какое среднее расстояние $\langle \lambda \rangle$ пройдет атом ^3He до первого столкновения с нитью аэрогеля? Приведите формулу и численный ответ.
- A6^{1.00} Каков средний квадрат этого расстояния $\langle \lambda^2 \rangle$? Приведите формулу и численный ответ.
- A7^{3.00} Каков средний квадрат смещения $\langle r^2 \rangle$ атома ^3He за время $t \in [1 \text{ мкс}; 1 \text{ мс}]$ с момента запуска? Вычислите $\langle r^2 \rangle(10 \text{ мкс})$.

Приставки: фемто – 10^{-15} , пико – 10^{-12} , нано – 10^{-9} , микро – 10^{-6} , милли – 10^{-3} .

T

Механика

Явления переноса

МКТ

2019

Сборы XY

Y

Современная физика