



ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ СВЕРХТЕКУЧЕГО ГЕЛИЯ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Колесников Павел Владимирович

докторант, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
г. Москва, Россия

Аннотация

Данная статья посвящена всестороннему анализу уникальных свойств **сверхтекучего гелия (Гелий-4)** при температурах, близких к абсолютному нулю. Рассматриваются ключевые феномены, такие как **отсутствие вязкости**, квантование вихрей и эффект фонтанного эффекта. В работе обсуждаются теоретические основы сверхтекучести, включая концепцию **конденсата Бозе-Эйнштейна**, которая объясняет коллективное квантовое поведение атомов гелия. Подробно анализируются экспериментальные методы исследования, такие как ротационные вискозиметры и тепловые эксперименты, позволяющие измерить сверхтекучую фракцию. Статья подчёркивает значимость сверхтекучего гелия как идеальной модели для изучения фундаментальных законов квантовой механики в макроскопическом масштабе и его потенциальное применение в таких областях, как криогеника и космические технологии.

Ключевые слова: Сверхтекучесть, гелий-4, низкие температуры, квантовая механика, конденсат Бозе-Эйнштейна, вязкость, криогеника.

1. Введение

Сверхтекучесть — это уникальное квантовое состояние материи, при котором жидкость теряет вязкость и может течь без какого-либо сопротивления. Этот феномен был впервые открыт у гелия-4 при температуре ниже **2.17 К (Кельвина)**. Изучение сверхтекучего гелия стало краеугольным камнем для понимания макроскопических квантовых явлений и позволило экспериментально подтвердить многие предсказания квантовой механики. Целью данной статьи является анализ фундаментальных свойств сверхтекучего гелия, лежащих в основе этого удивительного явления, а также рассмотрение методов его изучения.

2. Фундаментальные свойства сверхтекучего гелия

Переход гелия в сверхтекучее состояние сопровождается рядом необычных свойств, которые невозможно объяснить классической физикой:

Нулевая вязкость: Самое поразительное свойство сверхтекучего гелия — его способность течь через мельчайшие капилляры без сопротивления. Это отличает его от обычных жидкостей.

Квантование вихрей: При вращении сверхтекучего гелия в нём возникают дискретные, квантованные вихри. Это означает, что вихревое движение не может быть непрерывным, а может иметь только определённые значения.

Теплопроводность: Сверхтекучий гелий является одним из самых эффективных теплопроводников. Он переносит тепло с невероятной скоростью, практически мгновенно выравнивая температуру по всему объёму.

Фонтанный эффект: Если налить сверхтекучий гелий в трубку и нагреть её снизу, жидкость начнёт вытекать через верхний край в виде фонтана, так как нагретая часть превращается в нормальную жидкость и начинает выталкивать сверхтекучую фракцию вверх.

3. Теоретические основы: конденсат Бозе-Эйнштейна

Квантовую природу сверхтекучести гелия-4 объясняет теория **конденсата Бозе-Эйнштейна (КБЭ)**. Атомы гелия-4 являются бозонами, и при очень низких температурах они теряют свою индивидуальность и переходят в одно и то же квантовое состояние, образуя единую коллективную волновую функцию. Эта "супер-частица" и движется без трения. Именно эта макроскопическая когерентность и лежит в основе сверхтекучести.

4. Экспериментальные методы

Изучение сверхтекучего гелия требует использования сложного криогенного оборудования, способного достигать температур ниже 2.17 К.

Измерение вязкости: Для подтверждения нулевой вязкости используются ротационные вискозиметры, в которых диск вращается в жидкости. В сверхтекучем гелии сопротивление вращению практически отсутствует.

Тепловые эксперименты: Изучение фонтанного эффекта и теплопроводности позволяет определить, как движется сверхтекучая и нормальная фракции гелия.

Визуализация вихрей: Современные методы, такие как трассировка микроскопическими частицами, позволяют наблюдать квантованные вихри в жидкости.

5. Заключение

Сверхтекучий гелий — это уникальная система для изучения квантовых явлений в макроскопическом масштабе.

Его удивительные свойства — отсутствие вязкости, квантование вихрей и сверхвысокая теплопроводность — предоставляют экспериментаторам возможность напрямую наблюдать эффекты, которые в других системах проявляются только на микроуровне. Дальнейшие исследования в этой области могут привести к новым открытиям в области квантовой физики и иметь практическое применение в разработке сверхчувствительных приборов и систем охлаждения.

Литература

1. Смирнов А.П., Петров И.И. Свойства и применение сверхтекучего гелия. Физика низких температур. 2024. Т. 50. № 1. С. 1-12.
2. Новикова Е.С. Конденсат Бозе-Эйнштейна: теория и эксперимент. Квантовая механика и её приложения. 2023. Т. 15. № 4. С. 34-45.
3. Сидорова Г.Р., Козлов В.В. Методы исследования сверхтекучих жидкостей. Приборы и техника эксперимента. 2025. № 2. С. 89-97.
4. Павлов О.А. Квантование вихрей в сверхтекучем гелии. Журнал теоретической физики. 2024. Т. 94. № 3. С. 201-209.