

# Доклад по теме «квaziичастицы»

---

РИЗВАНОВ РИНАТ 11Х

*ЧТОБЫ ВЫГЛЯДЕТЬ УМНЕЕ,  
ДОБАВЛЯЙ ВЕЗДЕ СЛОВО КВАНТОВЫЙ*

# Что это такое? И зачем?

---

Квазичастица — понятие в квантовой механике, введение которого позволяет существенно упростить описание сложных квантовых систем со взаимодействием, таких как твёрдые тела и квантовые жидкости.

Например, чрезвычайно сложное описание движения электронов в полупроводниках может упроститься введением квазичастицы под названием электрон проводимости, отличающейся от электрона массой и движущейся в свободном пространстве.

Идея использования квазичастиц была впервые предложена Л. Д. Ландау в теории ферми-жидкости (квантовая жидкость, состоящая из фермионов, подверженных определённым физическим условиям) для описания жидкого гелия-3.

# Немного теории

Частицы имеющие суммарный целый спин могут в некоторых условиях проявлять свойства бозонов.

Например  $^4\text{He}$  при температуре ниже 2К становится сверхтекучим, тогда как атомы  $^3\text{He}$  чтобы стать сверхтекучими должны образовать между собой пары Купера

**Куперовская пара** — связанное состояние двух взаимодействующих через фонон фермионов

## Обмен. Заполнение состояний (принцип Паули)

Тип статистики зависит от спина:

Частицы с полуцелым спином - фермионы (*e. p. n*),  
с целым спином - бозоны.

Сложные частицы (молекула из нескольких атомов) ?

Важна четность числа входящих в состав фермионов.

четное числа фермионов ( $^4\text{He}$ ,  $^{28}\text{Si}$ ) - статистика Бозе  
нечетное число фермионов ( $^3\text{He}$ ,  $^{29}\text{Si}$ ) - Ферми

**Из фермионов можно составить бозоны, но не наоборот**

Принцип Паули для фермионов (Pauli 1925)

В системе одинаковых фермионов не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии две или более частицы.

# Фонон

---



**Фонон** — квазичастица, квант энергии согласованного колебательного движения атомов твёрдого тела, образующих идеальную кристаллическую решётку

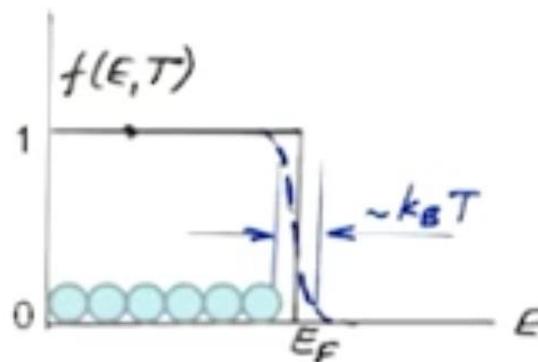
Понятие «фонон» введено в теорию твёрдого тела учёным Игорем Евгеньевичем Таммом

Заполнение  
квантовых  
уровней у  
фермионов и  
бозонов  
отличается

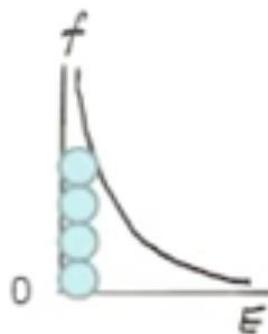
Фермионы занимают  
разные состояния, в то  
время как бозоны в  
основном находятся в  
одинаковом состоянии

## Статистика: вероятность заполнения квантованных уровней энергии

фермионы



бозоны



$$f(E, T) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{E - \mu}{k_B T}\right)}$$

статистика Ферми  
 $\mu > 0$

$$f(E, T) = \frac{1}{-1 + \exp\left(\frac{E - \mu}{k_B T}\right)}$$

статистика Бозе  
 $\mu = 0, \mu < 0$

# Обнаружение квазичастицы

При детальном исследовании квантового эффекта Холла были обнаружены частицы с зарядом в 3 раза меньше чем заряд электрона – это были квазичастицы (хотя из-за величины заряда, исследователи сначала подумали, что они имеют дело с кварками)

Дробно заряженные квазичастицы не являются ни бозонами, ни фермионами

Нобелевская премия по физике 1998 года была присуждена Роберту Лафлину, Хорсту Штермеру и Даниэлю Цюю "за открытие новой формы квантовой жидкости с фракционно заряженными возбуждениями"

## Прогресс в качестве образцов и понижении температуры: явное наблюдение ДКЭХ

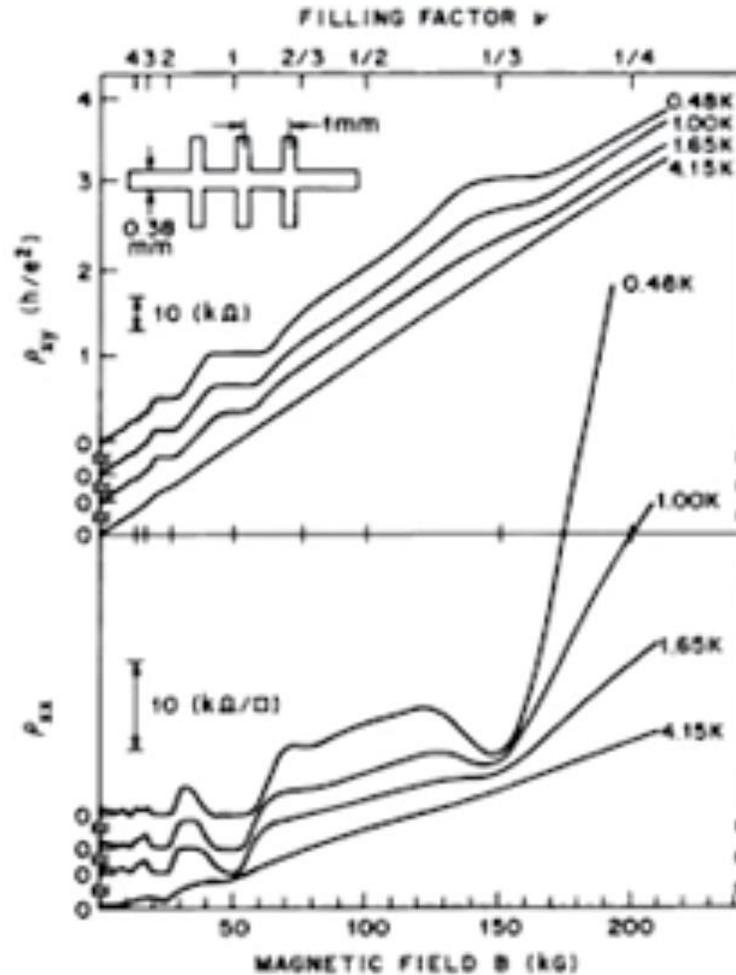


Figure 11. First successful operation of our dilution refrigerator in high-magnetic field. The sign reads 0.5K, 2/3ν, 7/28, 10/30. The proud operators are clockwise from upper left: Albert Chang, Peter Beylond (who was largely responsible for the design and implementation of the instrument), Greg Boebinger, Dan Tsui and Horst Störmer.

Как понять плато  
 $R_H = 3h/e^2$  ?

$$\frac{3h}{e^2} = \frac{\Phi_0}{e/3}$$

Дробный заряд  $e/3$  !

# Пояснение

---

**Эффект Холла** — это возникновение в электрическом проводнике разности потенциалов (**напряжения Холла**) на краях образца, помещённого в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярного полю

**Квантовый эффект Холла** — эффект квантования холловского сопротивления или проводимости двумерного электронного газа в сильных магнитных полях и при низких температурах

# Квантовые капли

---

дроплетрон или «квантовая капля» - первая известная квазичастица, ведущая себя как жидкость

Квантовые капли были найдены в плазме Арсенида Галлия (GaAs), который также является важным полупроводником. в результате экспериментов с Арсенидом Галлия были найдены и многие другие квазичастицы.

Сложные слоистые структуры арсенида галлия в комбинации с арсенидом алюминия (AlAs) или тройными растворами  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  (гетероструктуры) можно вырастить с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Из-за практически идеального согласования постоянных решёток слои имеют малые механические напряжения и могут выращиваться произвольной толщины

Именно такую комбинацию и использовали при исследовании предыдущей квазичастицей.



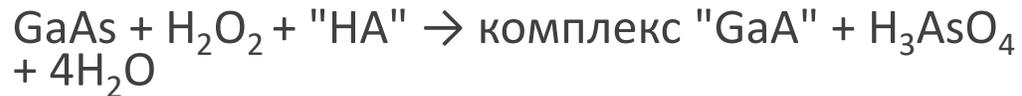
# Арсенид Галлия

---

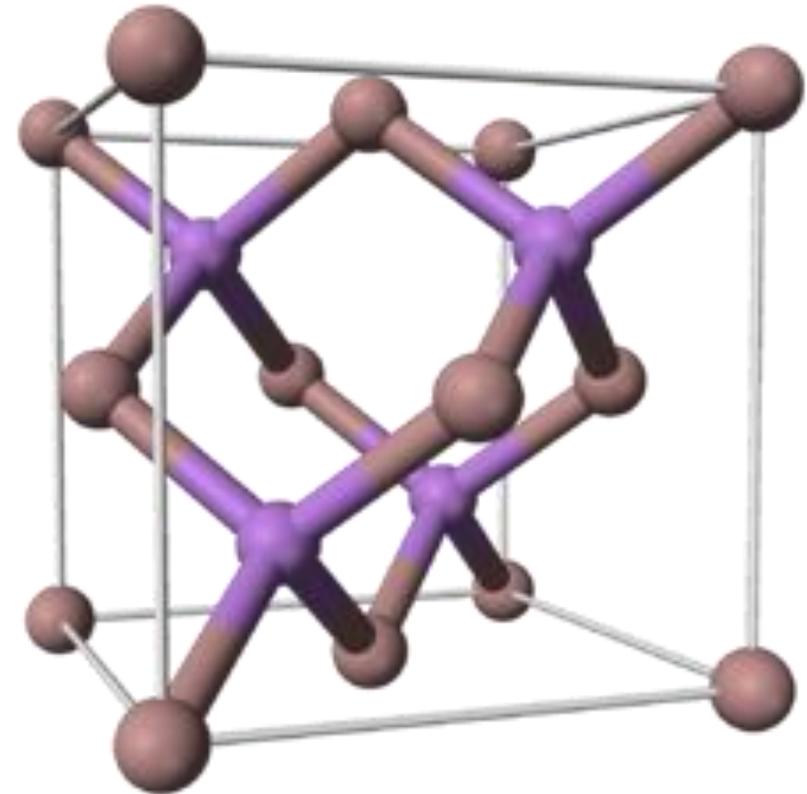
Имеет структуру Сфалерита

Окисляясь, полупроводник теряет свои качества, поэтому его поверхность может быть пассивирована путем нанесения кубического слоя сульфида галлия(II) с использованием трет-бутилсульфида галлия, такого как  $(^t\text{BuGaS})_7$

Чтобы получить тонкий слой полупроводника используют травление, в основе которого лежит такая реакция:

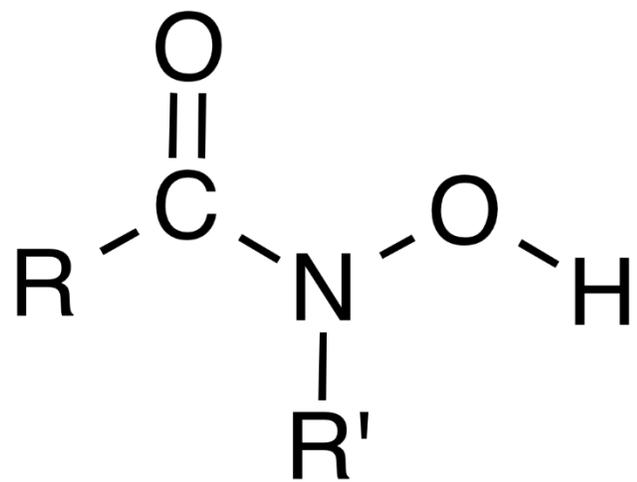


Где HA – Гидроксамовая кислота

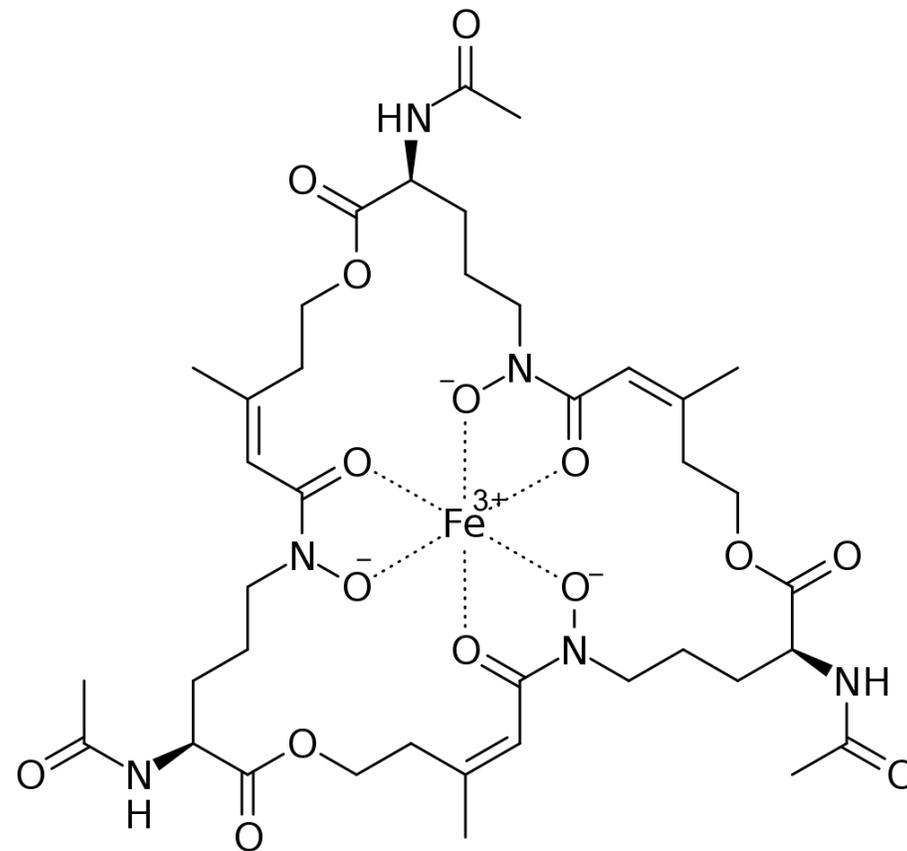


ОБЩАЯ ФОРМУЛА

ГИДРОКСАМОВЫХ КИСЛОТ



ГИДРОКСАМАТ ЖЕЛЕЗА



# МАГНИТНЫЕ КВАЗИМОНОПОЛИ

---

**Магнитный монополь** — гипотетическая элементарная частица, обладающая ненулевым магнитным зарядом — точечный источник радиального магнитного поля. Магнитный заряд является источником статического магнитного поля совершенно так же, как электрический заряд является источником статического электрического поля.

Магнитный монополь можно представлять как отдельно взятый полюс длинного и тонкого постоянного магнита

Эти квазичастицы были найдены в спиновом льду

# Спиновый лёд

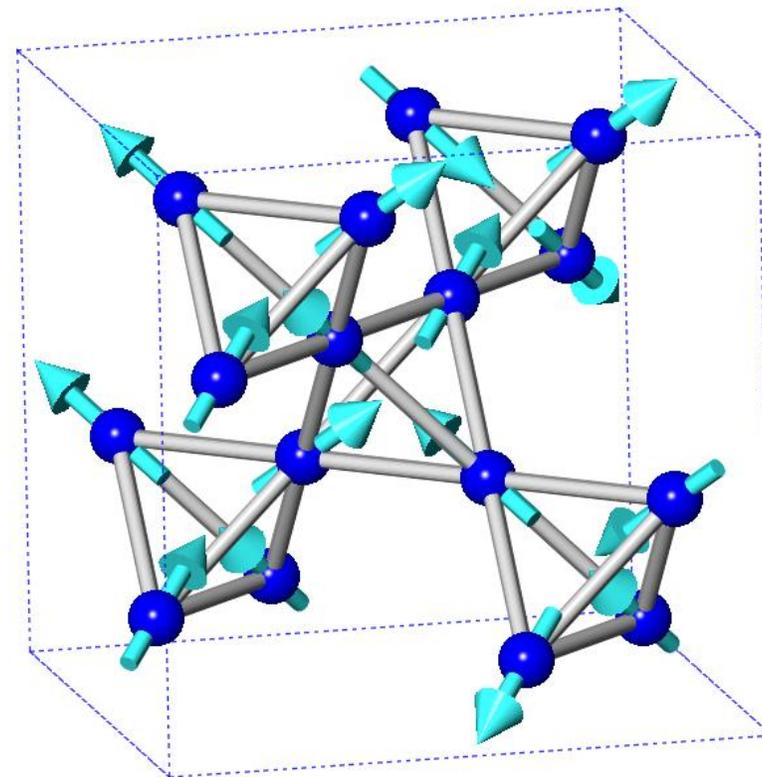
Спиновый лёд — вещество, в котором магнитные моменты атомов организованы так же, как организованы протоны в обычном льде из воды. При температурах, близких к абсолютному нулю, спины атомов выстраиваются так, что часть из них «смотрит» внутрь ячейки кристаллической решётки, а часть — наружу. В итоге в спиновом льде образуется квазичастица, напоминающая магнитный заряд, не привязанный к определённому физическому носителю.

Имеет формулу  $Dy_2Ti_2O_7$ . (В кристаллической решетке справа изображены только атомы диспрозия)

Вместо диспрозия часто используют гольмий ( $Ho_2Ti_2O_7$ )

Также иногда используют станнаты, вместо титанатов ( $Dy_2Sn_2O_7$  и  $Ho_2Sn_2O_7$ )

Шпинель формулой  $CdEr_2Se_4$  Проявляет схожие свойства с свойствами спинового льда



# Задача для закрепления

---

Я сделал задачу про квазичастицы, чтобы можно было закрепить эту тему

Вот

<https://docs.google.com/document/d/18OdnU63Ok5e6XaXPj5ZFettJQBCxpzDDLp2rJF7inks/edit?usp=sharing>

Ссылка на гугд диск



# Литература

---

"Atomic and Electronic Structure of Solids" Efthimios Kaxiras

Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. "Гидродинамика" 16 глава "гидродинамика сверхтекучей жидкости«

Статьи:

10.1063/1.882480

<https://doi.org/10.1038/nature06433>

10.1126/science.1181510

10.1126/science.118151010.1038/nature12994

*СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ*

P.S. Если заценил доклад, подписывайся, там много СИГМ:  
Харизмочастиц  
@charisma\_aesc ([https://vk.com/charisma\\_aesc](https://vk.com/charisma_aesc))

