

Бурденков Никита

# СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

- \* **Материя**
- \* **Вещество**
- \* **Агрегатные состояния**
- \* **Ток и поле**
- \* **Электропроводность**
- \* **Проводники, полупроводники, диэлектрики**
- \* **Проводимость твердых, жидких и газообразных тел**
- \* **Сверхпроводимость**

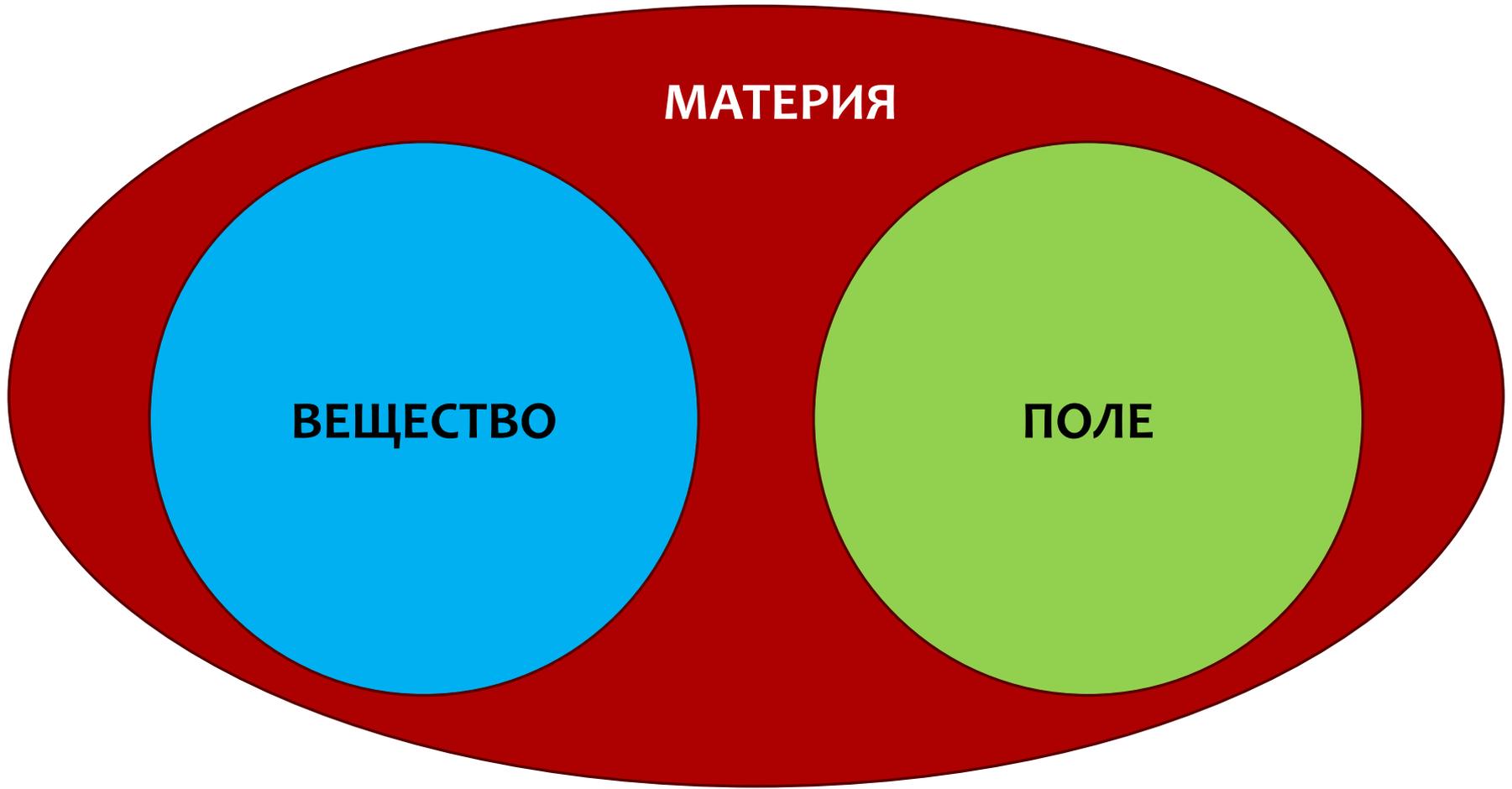
- \* **Структура, проводимость, ионизация,**
- \* **Атомы, молекулы, материя, вещество, соединения, объекты**



**МАТЕРИЯ**

**ВЕЩЕСТВО**

**ПОЛЕ**



# ВЕЩЕСТВО

АТОМЫ

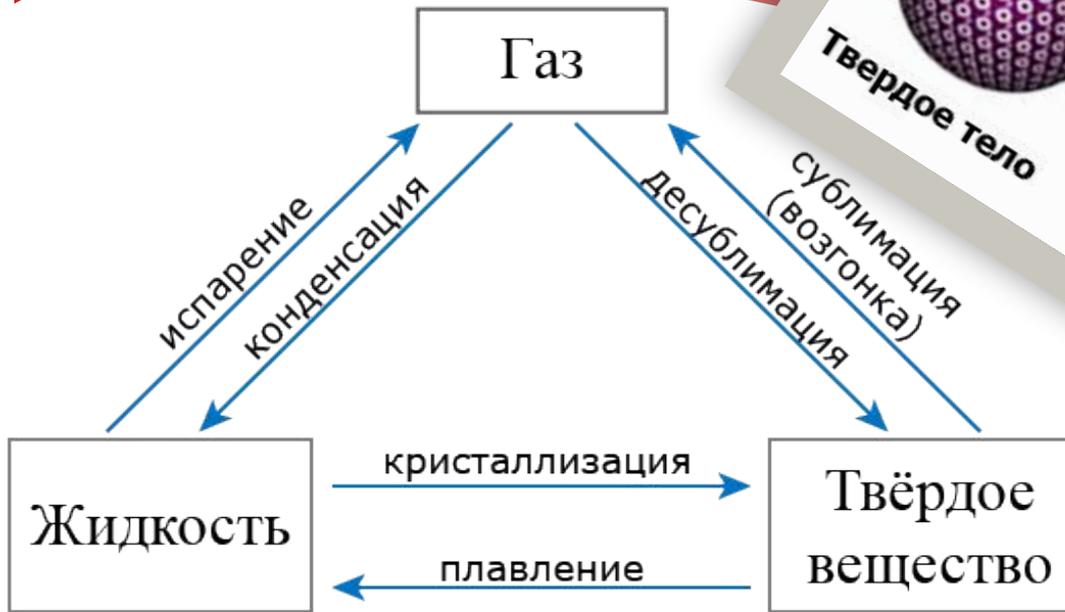
МОЛЕКУЛЫ

СОЕДИНЕНИЯ

ОБЪЕКТЫ

**ВЕЩЕСТВО** обладает  
физическими и  
химическими свойствами

# Агрегатные состояния вещества



- \* **Классическое вещество** может находиться в одном из нескольких агрегатных состояний: **газообразном**, **жидком**, **твёрдом кристаллическом**, **твёрдом аморфном** или в виде **жидкого кристалла**.
- \* Кроме того, выделяют **высокоионизованное** состояние вещества (чаще газообразного, но, в широком смысле, любого агрегатного состояния), называемое **плазмой**.

# Ток и электро-магнитное поле

- \* **Электрический ток** или **электроток** —
- \* направленное (упорядоченное) движение частиц или квазичастиц — носителей электрического заряд.
- \* Такими носителями могут являться:
  - в **металлах** — электроны,
  - в **электролитах** — ионы (катионы и анионы),
  - в **газах** — ионы и электроны, в **вакууме** при определённых условиях — электроны,
  - в **полупроводниках** — электроны или дырки (электронно-дырочная проводимость).
- \* Иногда электрическим током называют также ток смещения, возникающий в результате изменения во времени электрического поле.



Электрический ток (I), проходя по проводнику, создаёт вокруг него магнитное поле (B)

- \* Электрический ток имеет следующие **проявления**:
  - нагревание проводников (не происходит в сверхпроводниках);
  - изменение химического состава проводников (наблюдается преимущественно в электролитах);
  - создание магнитного поля (проявляется у всех без исключения проводников).
- \* Вместе, магнитное и электрическое поля образуют электромагнитное поле, проявлениями которого являются, в частности свет и все другие электромагнитные волны.

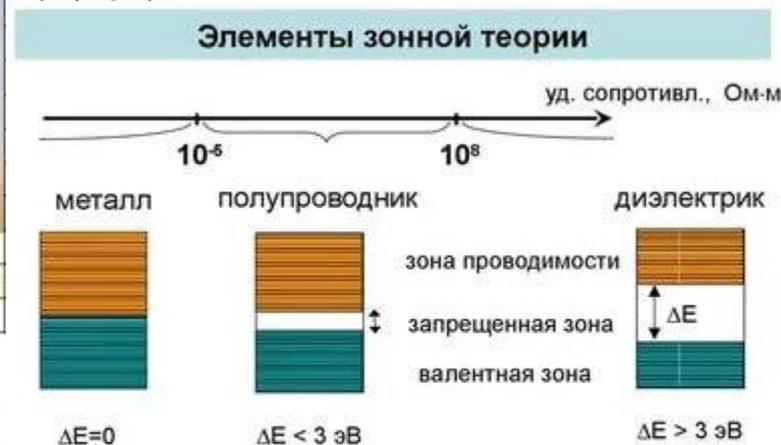
# Электропроводность

- \* **Электропроводность (электрическая проводимость, проводимость)** — способность тела (среды) проводить электрический ток, свойство тела или среды, определяющее возникновение в них электрического тока под воздействием электрического поля.
- \* В Международной системе единиц (СИ) единицей измерения электрической проводимости является сименс (русское обозначение: **См**; международное: **S**), определяемый как  $1 \text{ См} = 1 \text{ Ом}^{-1}$ , то есть как электрическая проводимость участка электрической цепи сопротивлением 1 Ом
- \* Под электропроводностью подразумевается способность проводить прежде всего постоянный ток (под воздействием постоянного поля), в отличие от способности диэлектриков откликаться на переменное электрическое поле колебаниями связанных зарядов (переменной поляризацией), создающими переменный ток. Ток проводимости практически не зависит от частоты приложенного поля (до определённых пределов, в области низких частот).
- \* Электропроводность среды (вещества) связана со способностью заряженных частиц (электронов, ионов), содержащихся в этой среде, достаточно свободно перемещаться в ней. Величина электропроводности и её механизм зависят от природы (строения) данного вещества, его химического состава, агрегатного состояния, а также от физических условий, прежде всего таких, как температура.

# Проводники, полупроводники диэлектрики



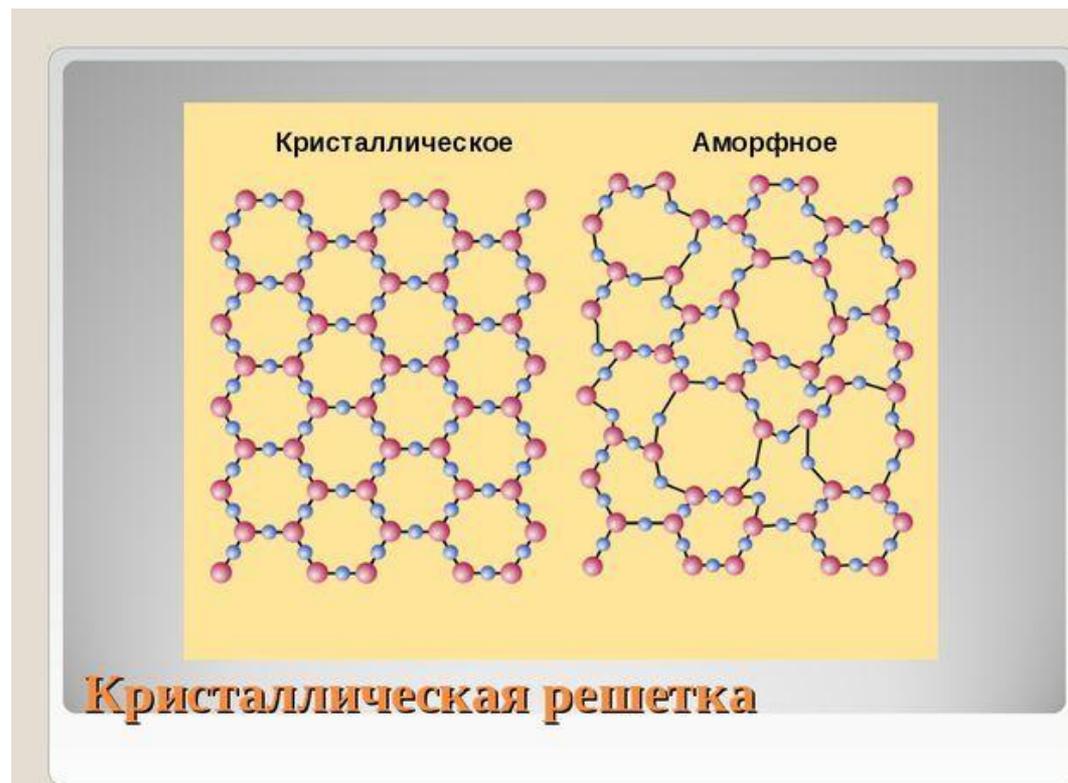
По способам проводить электрический заряд, вещества делятся на проводники, полупроводники и диэлектрики.



Металлы, полупроводники, диэлектрики отличаются типом химической связи, зонной диаграммой, величиной удельного сопротивления

# ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

- \* Твердые тела со стабильной кристаллической решеткой – проводники
- \* Твердые аморфные тела являются - диэлектриками.



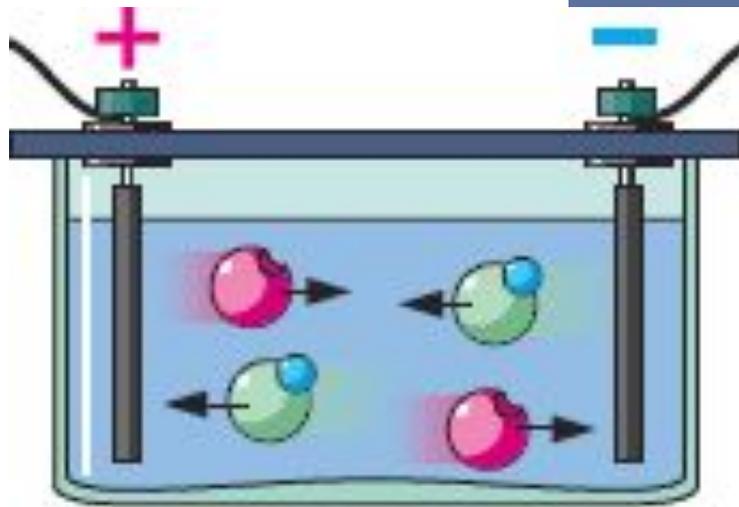
# ТВЕРДЫЕ ТЕЛА

- \* **Полупроводник** — материал, по удельной проводимости занимающий промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающийся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.



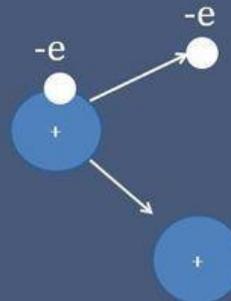
# Жидкости и газы

- \* Неионизированные жидкости и газы – диэлектрики.



## Ионизация

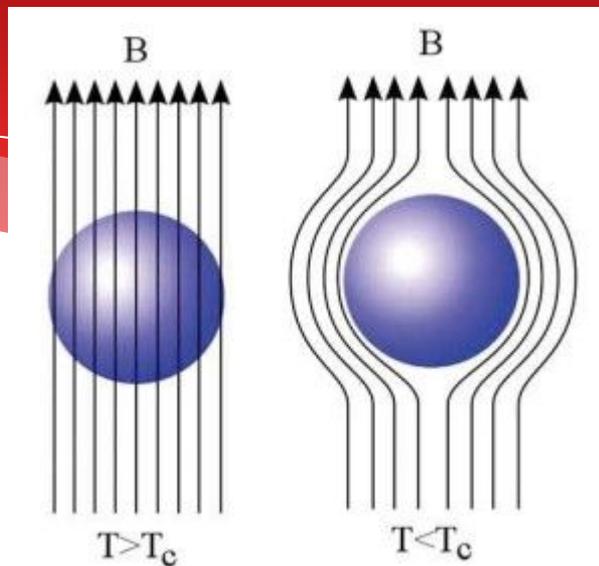
*Ионизация* – распад на положительно заряженные ионы и электроны



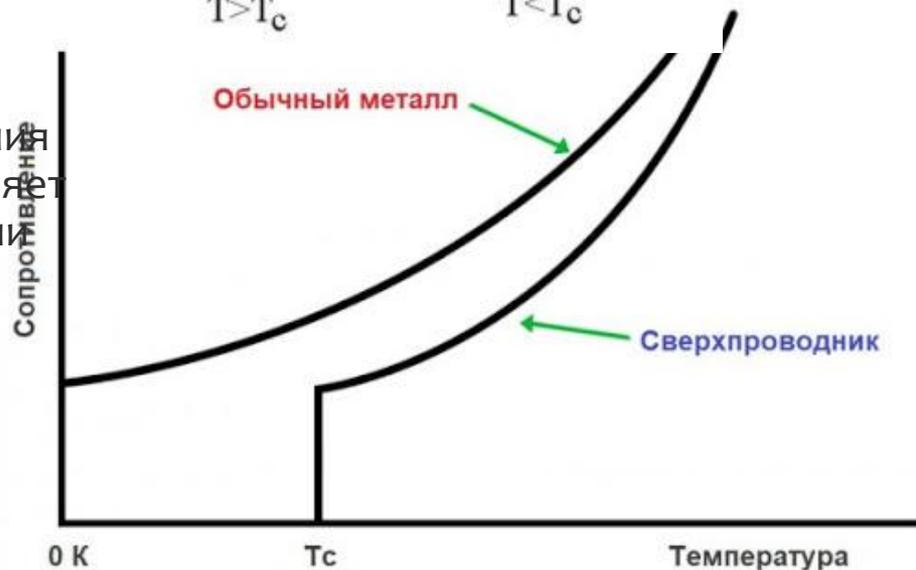
При обычных условиях газы почти полностью состоят из нейтральных атомов или молекул

При быстром движении молекул, *часть из них при столкновении распадается, превращаясь в ионы*

# СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ



- \* **Полупроводник** — материал, по удельной проводимости занимающий промежуточное место между проводниками и диэлектриками, и отличающийся от проводников сильной зависимостью удельной проводимости от концентрации примесей, температуры и воздействия различных видов излучения.
- \* НЕ НАДО ПУТАТЬ....
- \* Явление **сверхпроводимости металлов** – практического отсутствия электросопротивления при протекании электрического тока — позволяет значительно увеличить эффективность передачи электроэнергии, особенно на значительные расстояния.
- \* Известны несколько сотен соединений, чистых элементов, **сплавов** и **керамик**, переходящих в сверхпроводящее состояние.

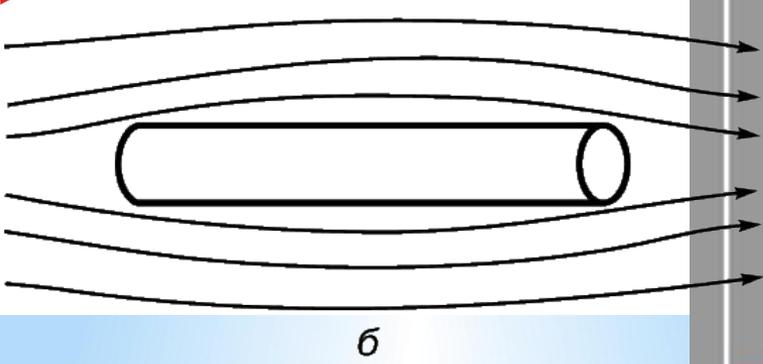
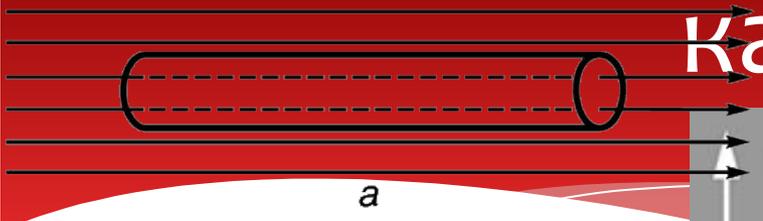


# История



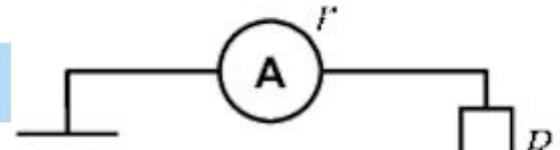
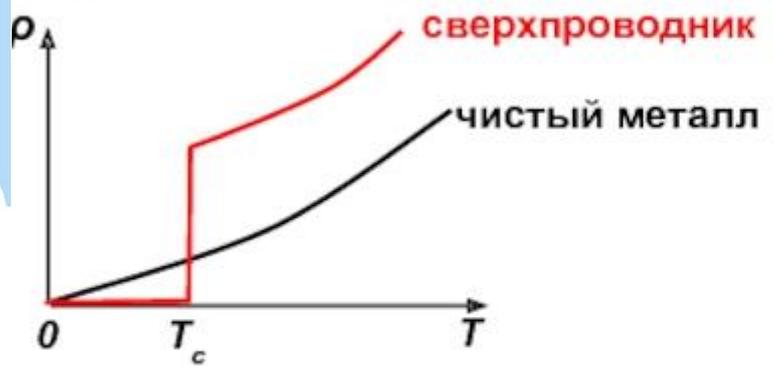
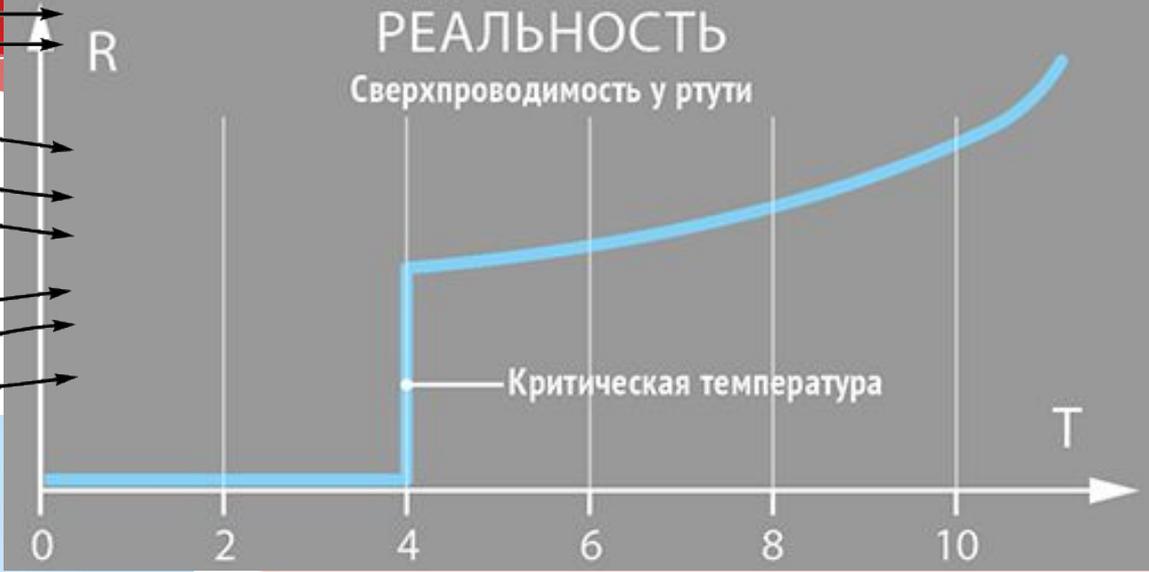
- \* При значительной номенклатуре веществ, пригодных для сверхпроводимости – на сегодняшний день их насчитывается несколько десятков – имеется весьма ограниченный круг газов, способных активизировать данный процесс.
- \* Первые опыты по сверхпроводимости были проведены ещё в 1893 году физиком Камерлинг-Оннесом, причём голландец в своих опытах для охлаждения проводников использовал жидкий гелий. Использование столь экзотического газа было связано с тем, что сам автор первоначально применил жидкий гелий в качестве средства для изучения зависимости электросопротивления от температуры. В ходе экспериментов выяснилось, что сверхнизкие температуры вообще обеспечивают нулевое электросопротивление ртути, олова, свинца и ряда других металлов.
- \* По мере изучения процессов сверхпроводимости было установлено, что применение жидкого гелия не очень удобно, поскольку этот газ в земных условиях в сколько-нибудь заметных количествах получать довольно сложно. Вдобавок и сама сверхпроводимость обеспечивалась при температурах лишь около  $-2700\text{C}$ . Таким образом, для производства и последующего сжижения гелия требовались гигантские энергозатраты, несоизмеримые с последующим снижением электрических потерь в цепи.
- \* Неустанная работа специалистов в области криогеники привела к тому, что уже в конце XX века были открыты так называемые высокотемпературные сверхпроводники, обеспечивающие необходимый эффект при гораздо более высоких температурах. Например, некоторые сплавы на основе ниобия, германия, меди, и даже ряда оксиднокерамических веществ проявили свойство сверхпроводимости уже при  $-1960\text{C}$ . Поскольку в таком состоянии могут находиться уже значительно больше веществ, то и внедрение высокотемпературных проводников в практику оказалось значительно более доступным. На первое место в ряду охлаждающих сред вышел жидкий азот, температура сжижения которого составляет всего  $-195,750\text{C}$ .

# картинки



## Сверхпроводимость

- низкотемпературная (до 30 К)
- высокотемпературная (выше 77 К)
- комнатная (293 К)



# Свойства

- \* **Нулевое электрическое сопротивление** (Для постоянного электрического тока электрическое сопротивление сверхпроводника равно нулю.)
- \* **Сверхпроводники в высокочастотном поле** (Строго говоря, утверждение о том, что сопротивление сверхпроводников равно нулю, справедливо только для постоянного электрического тока. В переменном электрическом поле сопротивление сверхпроводника отлично от нуля и растёт с увеличением частоты поля.)
- \* **Фазовый переход в сверхпроводящее состояние** (Температурный интервал перехода в сверхпроводящее состояние для чистых образцов не превышает тысячных долей Кельвина и поэтому имеет смысл определённое значение  $T_c$  — температуры перехода в сверхпроводящее состояние. Эта величина называется *критической температурой перехода*. Ширина интервала перехода зависит от неоднородности металла, в первую очередь — от наличия примесей и внутренних напряжений. Известные ныне температуры  $T_c$  изменяются в пределах от 0,0005 К у магния (Mg) до 23,2 К у интерметаллида ниобия и германия (Nb<sub>3</sub>Ge, в плёнке) и 39 К у дигборида магния (MgB<sub>2</sub>) у низкотемпературных сверхпроводников ( $T_c$  ниже 77 К, температуры кипения жидкого азота), до примерно 135 К у ртутьсодержащих высокотемпературных сверхпроводников.)
- \* **Эффект Мейснера** (Даже более важным свойством сверхпроводника, чем нулевое электрическое сопротивление, является так называемый эффект Мейснера, заключающийся в вытеснении постоянного магнитного поля из сверхпроводника. Из этого экспериментального наблюдения делается вывод о существовании незатухающих токов вблизи поверхности сверхпроводника, которые создают внутреннее магнитное поле, противоположно направленное внешнему, приложенному магнитному полю и компенсирующее его. Достаточно сильное магнитное поле при данной температуре разрушает сверхпроводящее состояние вещества. Магнитное поле с напряжённостью  $H_c$ , которое при данной температуре вызывает переход вещества из сверхпроводящего состояния в нормальное, называется *критическим полем*.)
- \* **Эффект Литтла — Паркса** (температура перехода тонкостенного цилиндра малого радиуса в сверхпроводящее состояние периодически (с периодом равным кванту потока) зависит от величины магнитного потока)
- \* **Изотопический эффект** (температуры  $T_c$  обратно пропорциональны квадратным корням из атомных масс изотопов одного и того же сверхпроводящего элемента. Как следствие моноизотопные препараты несколько отличаются по критическим температурам от природной смеси и от друг друга)
- \* Но есть и другой способ получить сверхпроводимость в материале — сверхвысокое давление. При давлении выше одного миллиона атмосфер многие вещества (в основном гидриды различных элементов) демонстрировали сверхпроводимость при температурах до минус 23 градусов Цельсия. А следовую сверхпроводимость физики обнаруживали даже при минус 13 градусах

# критерии для классификации сверхпроводников

- \* По их отклику на магнитное поле: они могут быть I рода, что значит, что они имеют единственное значение магнитного поля,  $H_c$ , выше которого они теряют сверхпроводимость. Или II рода, подразумевающего наличие двух критических значений магнитного поля,  $H_{c1}$  и  $H_{c2}$ . При приложении магнитного поля в этом диапазоне происходит частичное его проникновение в сверхпроводник с сохранением сверхпроводящих свойств.
- \* По теории, объясняющей их (БКШ или нет).
- \* По их критической температуре: низкотемпературные, если  $T_c < 77$  К (ниже температуры кипения азота), и высокотемпературные.
- \* По материалу: чистый химический элемент (такие как свинец или ртуть, однако не все элементы в чистом виде достигают сверхпроводящего состояния), сплавы (например, NbTi), керамика (например, YBCO, MgB<sub>2</sub>), сверхпроводники на основе железа, органические сверхпроводники, графен[9] и т. п.
- \* Молекулы органических веществ, содержащие  $\pi$  — электронную систему, являются миниатюрными сверхпроводниками, в которых  $\pi$  — электроны образуют связанные электронные пары[13].

# применение

\* Вихри в сверхпроводниках второго рода можно использовать в качестве ячеек памяти.

\* Важное применение находят миниатюрные сверхпроводящие приборы-кольца — [СКВИДЫ](#), действие которых основано на связи изменения магнитного потока и напряжения. Они входят в состав сверхчувствительных магнитометров, измеряющих [магнитное поле Земли](#), а также используемых в медицине для получения магнитограмм различных органов

\* В СССР на основе сверхпроводников в начале 1980х годов были созданы [турбогенераторы](#) КГТ-20 и КГТ-1000<sup>[31]</sup>. В дальнейшем, в Ленинградском институте электромашиностроения был создан первый в мире криогенный турбогенератор мощностью 20 МВт (после завершения испытаний включенный в энергосистему Ленинграда)

\* Существуют детекторы [фотонов](#) на сверхпроводниках. В одних используется наличие критического тока, используют также [эффект Джозефсона](#), [андреевское отражение](#) и т. д. Так, существуют сверхпроводниковые однофотонные детекторы (SSPD)<sup>[25]</sup> для регистрации единичных фотонов ИК-диапазона, имеющие ряд преимуществ перед детекторами аналогичного диапазона ([ФЭУ](#) и др.), использующими другие способы регистрации.

\* Отсутствие потерь на нагревание при прохождении постоянного тока через сверхпроводник делает привлекательным применение сверхпроводящих кабелей для доставки электричества, так как один тонкий подземный кабель способен передавать мощность, которая традиционным методом требует создания цепи линии электропередач с несколькими кабелями много большей толщины. Проблемами, препятствующими широкому использованию, является стоимость кабелей и их обслуживания — через сверхпроводящие линии необходимо постоянно прокачивать жидкий азот. Первая коммерческая сверхпроводящая линия электропередачи была запущена в эксплуатацию фирмой American Superconductor на Лонг-Айленде в Нью-Йорке в конце июня 2008 года[28]. Энергосистемы Южной Кореи собирались создать к 2015 году сверхпроводящие линии электропередачи общей длиной

Сверхпроводники также применяются в [маглевах](#). в 3000 км

\* Явление зависимости температуры перехода в сверхпроводящее состояние от величины магнитного поля используется в [криотронах](#) — управляемых сопротивлений

\* Явление сверхпроводимости используется для получения сильных магнитных полей (например, в циклотронах), поскольку при прохождении по сверхпроводнику сильных токов, создающих сильные магнитные поля, отсутствуют тепловые потери. Однако в связи с тем, что магнитное поле разрушает состояние сверхпроводимости, для получения сильных магнитных полей применяются т. н. сверхпроводники II рода, в которых возможно сосуществование сверхпроводимости и магнитного поля.