

ЭФФЕКТ МЕЙСНЕРА ОПРОВЕРГАЕТ ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Никулов А.В.

ИПТМ РАН, Черноголовка, Россия, nikulov@iptm.ru; nikulovalexey@gmail.com

Сверхпроводимость была открыта в 1911 году Хейке Камерлинг-Оннес (1853-1926) как идеальная проводимость, за что он уже в 1913 году получил Нобелевскую премию. Впоследствии было доказано, что проводимость действительно является идеальной. Экспериментально установленная нижняя граница характерного времени уменьшение сверхпроводящего тока в контуре равна 100000 лет.

Магнитное поле не может проникнуть внутрь идеального проводника согласно законам классической физики:

Согласно закону Ньютона $m dv/dt = qE$ электрическое поле E должно индуцировать ток плотностью $j = n_q qv$ в идеальном проводнике с плотностью носителей n_q заряда q с массой m по закону $dj/dt = n_q q dv/dt = (n_q q^2/m)E$, который может быть записан как $E = \mu_0 \lambda_L^2 dj/dt$ с помощью величины $\lambda_L = (m/\mu_0 n_q q^2)^{1/2}$ называемой глубиной проникновения магнитного поля.

Согласно уравнениям Максвелла $\text{rot } E = -dB/dt$; $\text{rot } H = j$ и соотношению $B = \mu_0 H$ между магнитной индукцией B и магнитным полем H должны быть верны соотношения:
 $\text{rot } E + dB/dt = \mu_0 \lambda_L^2 \text{rot } (dj/dt) + dB/dt = 0$; $\lambda_L^2 \text{rot rot}(dH/dt) + dH/dt = 0$; $\lambda_L^2 \nabla^2 (dH/dt) = dH/dt$
согласно которым при увеличении магнитного поля от нуля до H_0 проникновение магнитного поля в идеальный проводник определяется соотношением $\lambda_L^2 \nabla^2 H = H$ или $\lambda_L^2 d^2 H/d^2 r = H$, согласно которому $H = H_0 \exp(r-R)/\lambda_L$ в цилиндре радиусом R при $r < R$.

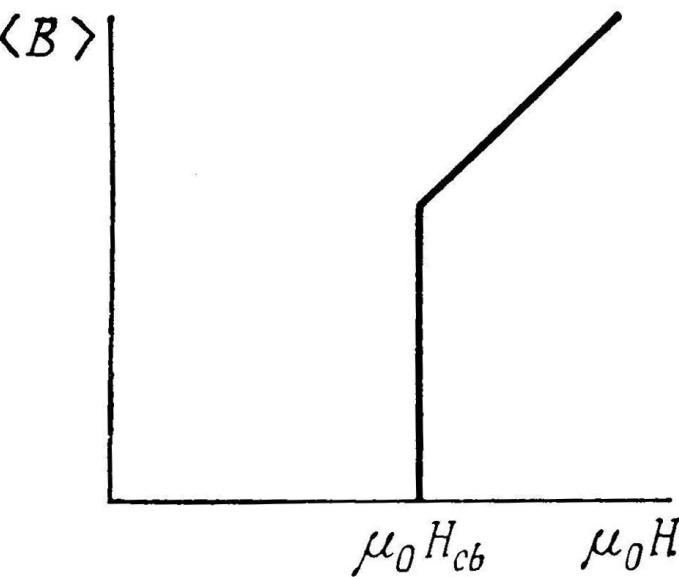
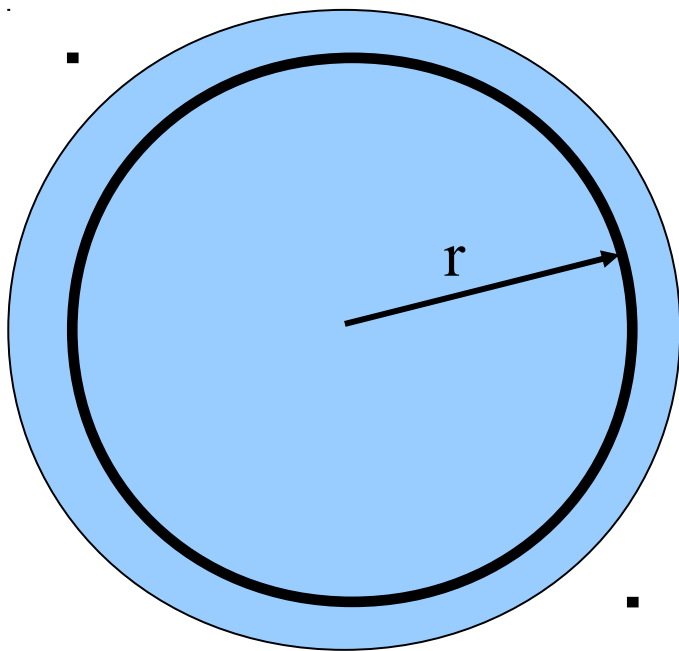


Рис.1. Зависимость магнитной поля внутри идеального проводника и сверхпроводника от внешнего поля H .

Внешнее магнитное поле H_0 экранируется поверхностным током плотность которого

$$j = j_0 \exp(R-r)/\lambda_L \quad (1)$$

уменьшается экспоненциально вглубь цилиндра. Плотность тока на поверхности цилиндра при $r = R$ равна $j_0 = H_0/\lambda_L$. Типичное значение $\lambda_L = 50 \text{ нм}$.

Экранирующий ток обладает кинетической энергией, которая создается источником мощности создающим магнитное поле H_0 . Плотность энергии определяется плотностью тока

$$\varepsilon = n_q m v^2 / 2 = m j^2 / 2 n_q q^2 = \mu_0 \lambda_L^2 j^2 / 2 \quad (2)$$

Согласно (1) и (2) источник мощности совершает работу по созданию экранирующего тока (1) равную

$$E = \mu_0 H_0^2 / 2 \quad (3)$$

на единицу объема цилиндра из идеального проводника.

Плотность тока $j_0 = H_0/\lambda_L$ и энергия (3) не могут возрастать до бесконечности. Состояние идеальной проводимости и сверхпроводимости разрушается когда внешнее магнитное поле достигает критического значения H_{cb} . Магнитное поле внутри цилиндра при этом изменяется скачком от нуля до H_0 .

Хорошо известно, что электрический ток затухает с появлением сопротивления, которым обладает любой металл в нормальном состоянии, с выделением Джоулевого тепла. Поэтому все авторы до 1933 года считали, что переход из сверхпроводящего в нормальное состояния в магнитном поле является необратимым термодинамическим процессом. Автор книги [1] писал в 1952 году: *"В то время [до 1933 года] предполагалось, что переход в магнитном поле по существу необратим, поскольку сверхпроводник рассматривался как идеальный проводник (в том смысле, который обсуждался в главе II), в котором при разрушении сверхпроводимости поверхностный ток, связанный с полем, затухает с выделением Джоулевого тепла"*.

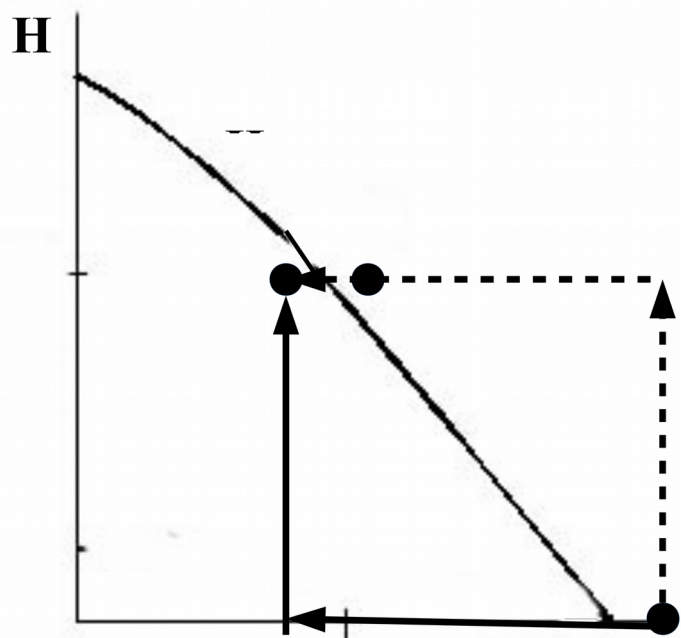


Рис.2. Зависимость критического поля H_c сверхпроводника от температуры T .

Но после открытия эффекта Мейснера в 1933 году **все физики стали считать этот переход обратимым термодинамическим процессом** и стали рассматривать все процессы в сверхпроводниках в рамках равновесной термодинамики. Поэтому все теории сверхпроводимости, которые были предложены после 1933 года, были созданы в этих рамках.

Это изменение представления о переходе было очевидно не обоснованным, так как процесс затухания тока в нормальном состоянии не должен зависеть от того из какого состояния произошел переход, сверхпроводимости или идеальной проводимости.

Поведение сверхпроводника не отличается от поведения идеального проводника, если вначале охладить их от температуры $T_1 > T_c$ до $T_2 < T_c$, а затем увеличить внешнее магнитное поле от $H = 0$ до $H = H_2$,

Рис.2. Все физики после 1933 года решили, что затухание экранирующего тока в точке 2' должен зависеть от того, в каком состоянии был цилиндр в точке 2, Рис.2.

Это заблуждение возникло и господствует почти девяносто лет вследствие отличия поведения сверхпроводника от идеального проводника, если вначале увеличить магнитное поле от $H = 0$ до $H = H_2$ и только затем охладить их от $T_1 > T_c$ до $T_2 < T_c$, Рис.2.

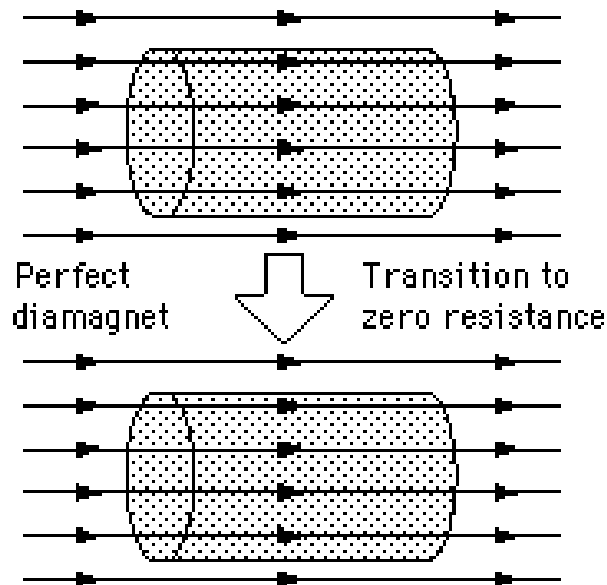


Рис.3. При переходе из нормального состояния (точка 2' на Рис.2) в состояние с идеальной проводимостью (точка 2 на Рис.2) в магнитном поле $H = H_2$ магнитный поток внутри цилиндра не изменяется.

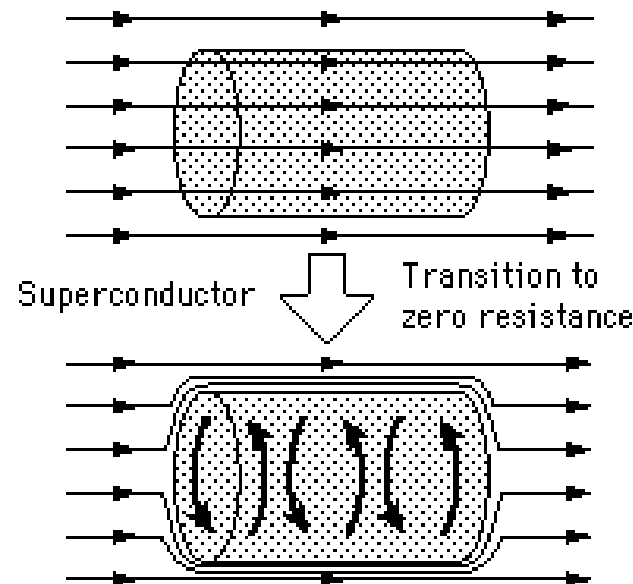


Рис.4. Магнитный поток выталкивается из сверхпроводника при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние в магнитном поле $H = H_2$.

Физики, необоснованно изменив представление о переходе из сверхпроводящего в нормальное состояния, не заметили, что отличие поведения сверхпроводника от идеального проводника при обратном переходе противоречит известным законам физика. Как ни странно, на это противоречие стал обращать внимани только один физик, Хорхе Хирш, известный как автор индекса Хирша <https://en.wikipedia.org/wiki/H-index> , и только двадцать лет назад, хотя противоречие очевидно.

Хирш обращает внимание в своих многочисленных публикациях, см. <http://www-physics.ucsd.edu/~jorge/jh.html> , на тот очевидный факт, что мобильные носители заряда ускоряются против действия электродвижущей силы Фарадея [2-6] и на противоречие с законом Ленца [7], связанное с этим загадочным поведением.

Физическое сообщество в основном игнорирует эти публикации. Хирш использует в недавней публикации [8] сказку Андерсена «**Новое платье короля**» для объяснения этого игнорирования физиками очевидного противоречия:

““Heaven help me” he thought as his eyes flew wide open, “I can’t see anything at all”. But he did not say so.’

“Heaven help me”, thought smart students that couldn’t understand how BCS theory explains the Meissner effect . “I can’t possibly see how momentum conservation is accounted for and Faraday’s law is not violated”. But they did not say so” [8].

Я не был таким умным студентом. Когда Вадим Васильевич Шмидт объяснял нам отличие сверхпроводника от идеального проводника я не заметил очевидного противоречия эффекта Мейснера с законом сохранения и законом Фарадея. Я заметил это только благодаря Хиршу, относительно недавно. Тогда я понимал уже, что некоторые динамические явления в сверхпроводниках противоречат второму закону термодинамики. Но противоречие эффекта Мейснера этому фундаментальному закону я заметил только благодаря статьям Хирша [9-11], опубликованным в этом году.

Сказку Андерсена можно использовать для объяснения отношения ученых как к общепризнанным теориям сверхпроводимости, так и ко второму закону термодинамики. Во время процессии короля каждый думал: **«Не может быть, чтобы король был действительно голый. В этом случае ктонибудь сказал бы об этом»**. Аналогично многие физики думают: **«Не может быть чтобы теория сверхпроводимости не описывала эффект Мейснера. Тогда бы не только Хирш писал бы об этом»**. Также многие ученые думают: **«Не может быть, чтобы второй закон термодинамики нарушался с такой очевидностью. Тогда бы все это заметили»**. Мне приходилось слышать от некоторых физиков: **«Я не верю, что такой фундаментальный закон может нарушаться так просто»**.

Опровержение второго закона термодинамики эффектом Мейснера особенно очевидно при использовании аналогии с движением автомобиля

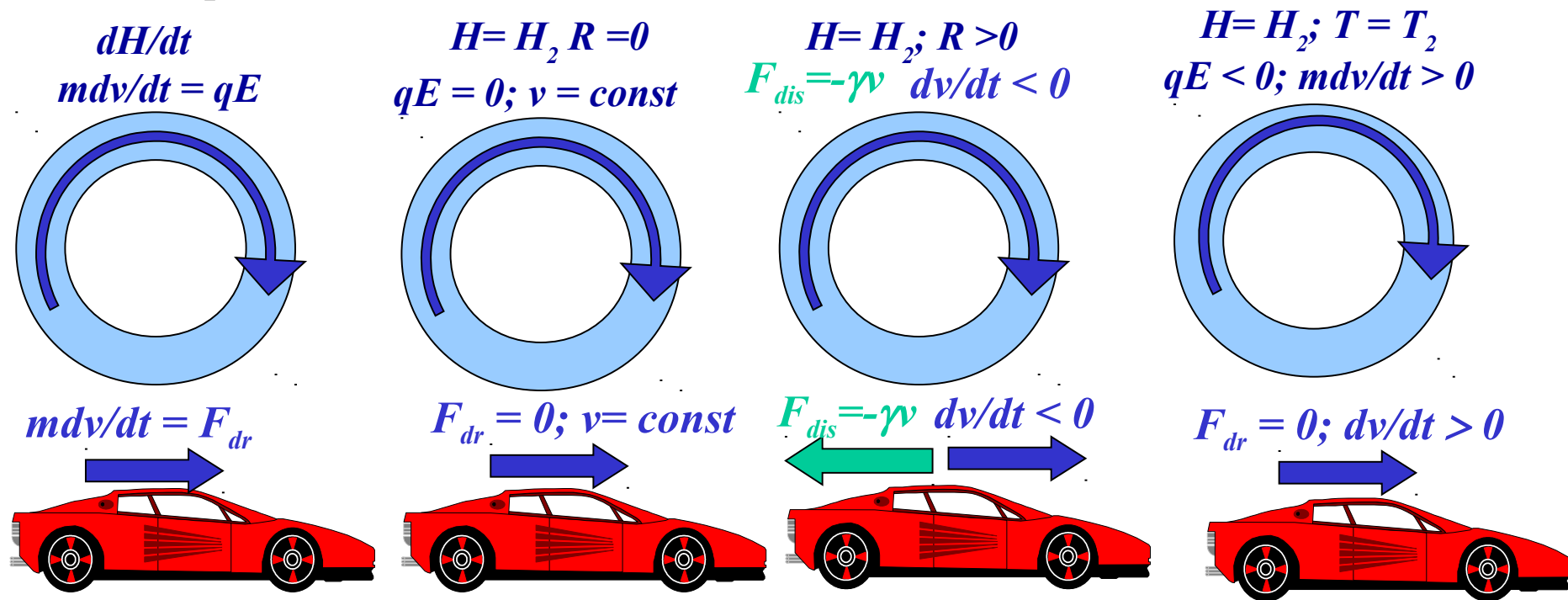


Рис.5а. Мобильные носители заряда и автомобиль ускоряются под действием движущей силы qE и F_{dr} .

Рис.5б. Мобильные носители заряда и автомобиль движутся по энергии в отсутствии силы трения или диссипации.

Рис.5с. Мобильные носители заряда и автомобиль останавливаются под действием силы диссипации.

Рис.5д. **Эффект Мейснера.** Мобильные носители заряда и автомобиль начинают двигаться без воздействия известных сил.

Уверенность всех физиков после 1933 года в том, что затухание экранирующего тока при переходе сверхпроводника в нормальное состояние является обратимым термодинамическим процессом, аналогично уверенности, что процесс генерации Джоулевого тепла при диссипации кинетической энергии автомобиля является обратимым термодинамическим процессом.

Это уверенность означает, что автомобиль может ездить без горючего, вопреки второму закону термодинамики, так как только необратимость процесса превращения кинетической энергии направленного движения в Джоулево тепло, постулированное термодинамикой, заставляет нас **использовать горючие**. Но если мы согласимся с мнением физиков до 1933 года, что переход из сверхпроводящего в нормальное состояние в магнитном поле является необратимым термодинамическим переходом, то мы должны будем признать, что **эффект Мейснера свидетельствует о процессе обратном необратимому термодинамическому процессу, который запрещен согласно второму закону термодинамики**.

Эффект Мейснера опровергает второй закон термодинамики в любом случае!

Противоречие эффекта Мейснера второму закону термодинамики настолько очевидно, что не замечать этого, это как не замечать того, что король голый. Хирш, который обратил внимание на противоречие общепризнанных теорий сверхпроводимости с законами термодинамики [9-11], сыграл роль ребенка в сказки Андерсена. Но он обратил внимание [9-11] на очевидное противоречие между необратимыми процессами в сверхпроводниках и теориями сверхпроводимости, созданными в рамках равновесной термодинамики, не совсем по наивности, как ребенок. Более тридцати лет Хирш пытается убедить экспертное сообщество в том, что только его теория сверхпроводимости адекватно описывает квантовые явления. Он уверен, что его теория может объяснить даже ускорение мобильных носителей заряда против электродвижущей силы Фарадея, хотя это объяснение очень парадоксально. Согласно теории Хирша, при переходе из нормального в сверхпроводящее состояние мобильные носители заряда движутся от центра к краю объемного сверхпроводника и поэтому приобретают круговую скорость под действием силы Лоренца. Хирша не смущает, что при этом в сверхпроводящем состоянии должен существовать градиент плотности заряда, создающий огромное электрическое поле. Когда несколько лет назад в нашей частной переписки я выразил сомнение в возможности существования постоянного электрического поля в сверхпроводящем состоянии, Хирш воспринял мои сомнения почти с возмущением. Но он признал, что даже его теория не может объяснить появление постоянного тока в кольце при его переходе в сверхпроводящее состояние, когда магнитный поток внутри этого кольца не кратен кванту потока, см. выражение (11).

Цель публикаций [9-11] Хирша, как и других его многочисленных публикаций, см. <http://www-physics.ucsd.edu/~jorge/jh.html> , доказать, что только его теория может описать адекватно сверхпроводящие явления. Хирш не ставит под сомнение законы термодинамики и его теория, как и все другие теории сверхпроводимости, создана в рамках равновесной термодинамики. Он утверждает, что **общепризнанные теории сверхпроводимости противоречивы**, так как с одной стороны они созданы **в рамках равновесной термодинамики**, а с другой стороны они *«predicts that when an electric field exists in a superconductor at finite temperature, Joule heat is always generated»* [9].

Последнее утверждение является не совсем верным, так как в известных теориях сверхпроводимости генерация Джоулевого тепла скорее подразумевается, чем предсказывается, так как эти теории не описывают динамические процессы. Эффект Мейснера считается первым экспериментальным свидетельством того, что сверхпроводимость является макроскопическим квантовым явлением и именно как квантовое явление сверхпроводимость рассматривается во всех теориях.

Постулат Ландау.

Но как возможно описать макроскопическое квантовое явление если согласно квантованию Бора $rmv = rp = n\hbar$ дискретность спектра уменьшается с радиусом орбиты и массой частиц, а квантовость можно наблюдать если только разность энергии между разрешенными уровнями не меньше температуры измерения

$$\Delta E_{n+1,n} = \frac{mv_{n+1}^2}{2} - \frac{mv_n^2}{2} \approx \frac{\hbar^2}{2mr^2} > k_B T \quad (4)$$

При массе электрона $m \approx 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ и радиусе первой боровской орбиты $r \approx 0.05 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ энергия $\hbar^2/2mr^2 \approx 2 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$ соответствует температуре $T \approx 100000 \text{ К}$. Но в кольце радиусом полмикрона $r \approx 0.5 \text{ мкм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ энергия и температура уменьшаются на восемь порядков до $T \approx 0.001 \text{ К}$. Поэтому устойчивый ток (the persistent current) электронов, квантовое явление связанное с квантованием Бора, наблюдалось относительно недавно и только при низких температурах [12,13].

Поэтому важно понять как Ландау еще в 1941 году в статье [14], в основном посвященной теории сверхтекучести, удалось описать эффект Мейснера как макроскопическое квантовое явление. Ландау предположив, что электроны не просто находятся на одном уровне, но и движутся как единая жидкость описал сверхпроводимость волновой функцией,

$$\Psi_{GL} = |\Psi_{GL}| \exp(i\phi) \quad (5)$$

которая стала известна как волновая функция теории Гинцбурга-Ландау. Теории Гинцбурга-Ландау, была опубликована через девять лет в 1950 году [15]. Предположение Ландау было незаконным с точки зрения квантовой механики, так как электроны, являясь фермионами, не могут находиться на одном уровне. Усилия теоретиков были направлены на то, чтобы объяснить как мобильные носители заряда в сверхпроводниках могут стать бозонами. Считается, что это удалось сделать в 1957 году Джону Бардину, Леону Куперу и Роберту Шрифферу [16]. Теория БКШ [16] оправдала предположение Ландау [14] и почти все физики уверены, что эта теория смогла объяснить сверхпроводимость, как макроскопическое квантовое явления. Они не принимают во внимание замечание сделанное Ландау в начале статьи [14]:

«Тисса [L. Tisza. Nature, 141, 913, (1938)] предложил рассматривать гелий II как вырожденный идеальный бозе-газ. При этом предполагается, что атомы, находящиеся в основном состоянии (состоянии с равной нулю энергией), движутся через жидкость без трения ни о стенки сосуда, ни об остальную часть жидкости. Такое представление не может, однако, быть признано удовлетворительным. Не говоря уже о том, что жидкий гелий не имеет ничего общего с идеальным газом, атомы, находящиеся в основном состоянии, отнюдь не вели бы себя как «сверхтекучие». Напротив, ничто не могло бы помешать атомам, находящимся в нормальном состоянии, сталкиваться с возбужденными атомами, т. е. при движении через жидкость они испытывали бы трение и ни о какой «сверхтекучести» не могло бы быть и речи. Таким образом, объяснение, предложенное Тиссой, является лишь кажущимся, и не только не вытекает из делаемых предположений, но прямо противоречит им».

Чтобы объяснить явление сверхтекучести, Ландау постулировал, что атомы гелия II не просто находятся на одном уровне, но и не могут двигаться индивидуально.

Ландау использовал этот постулат и для описания эффекта Мейснера, как макроскопического квантового явления [14]. Величина $|\Psi_{GL}|^2 = n_q$ в его волновой функции (5) описывает плотность всех $N_q = Vn_q$ сверхпроводящих носителей заряда q в макроскопическом сверхпроводнике, но фаза волновой функции (5) описывает каждый носителей заряда: $\hbar \nabla \phi = p = mv + qA$ — это канонический импульс частицы с микроскопической массой и зарядом, $m = m_e \approx 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$; $q = e$ в теории Ландау [14] и $m = 2m_e \approx 18.2 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$; $q = 2e$ в теории БКШ [16]. Таким образом, Ландау ввел волновую функцию (5) которая описывает одновременно микроскопические частицы и макроскопическую жидкость. Это позволило ему написать выражение для для плотности сверхпроводящего тока

$$j = \frac{q}{m} (\hbar \nabla \phi - qA) |\Psi|^2 = qvn_q \quad (6)$$

с помощью которого, Ландау объяснил эффект Мейснера, как частный случай когда градиент фазы равен нулю $\nabla \phi = 0$. В этом случае $j = -n_q q^2 A / m = -A / \mu_0 \lambda_L^2$ и

$$\text{rot } j = -B / \mu_0 \lambda_L^2 = -H / \lambda_L^2. \quad (7)$$

Выражение (7) есть выражение, выведенное на первой странице из законом классической физики для идеального сверхпроводника, в котором устранены производные по времени. Хорошо известен трюк с устранением производных по времени, который предложили братья Лондоны в 1935 году [17] для описания эффекта Мейснера, в то время как обоснование этого трюка Ландау [14] малоизвестно.

Волновая функция предложенная Ландау в 1941 году [14] позволяет объяснить не только эффект Мейснера, но и квантования магнитного потока и сверхпроводящего тока, экспериментально открытые через двадцать лет [18,19]. Согласно требованию однозначности волновой функции (5)

$$\Psi = |\Psi| \exp i\phi = |\Psi| \exp i(\phi + n2\pi) \quad (8)$$

при обходе по замкнутому контуру фаза волновой функции может изменяться только на величину кратную 2π .

Квантование Бора может выведено из требование однозначности (8).

$$\oint dl p = \oint dl \hbar \nabla \phi = \oint dl (mv + qA) = m \oint dl v + q\Phi = n 2\pi \hbar \quad (9)$$

Согласно квантованию (9) скорость частиц зарядом q не может быть равным нулю

$$\oint dl v = \frac{2\pi \hbar}{m} \left(n - \frac{\Phi}{\Phi_0} \right) \quad (10)$$

Когда магнитный поток внутри контура l не кратен кванту потока $\Phi_0 = 2\pi\hbar/q$

В цилиндре $w \ll \lambda_L$ или кольце $wd = s \ll \lambda_L^2$ со слабым экранированием, согласно теории Ландау [14], должно наблюдаться квантование скорости $v = (\hbar/mr)(n - \Phi/\Phi_0)$ и сверхпроводящего тока

$$I_p = sj = sn_q qv = sn_q q (\hbar/mr) (n - \Phi/\Phi_0) \quad (11)$$

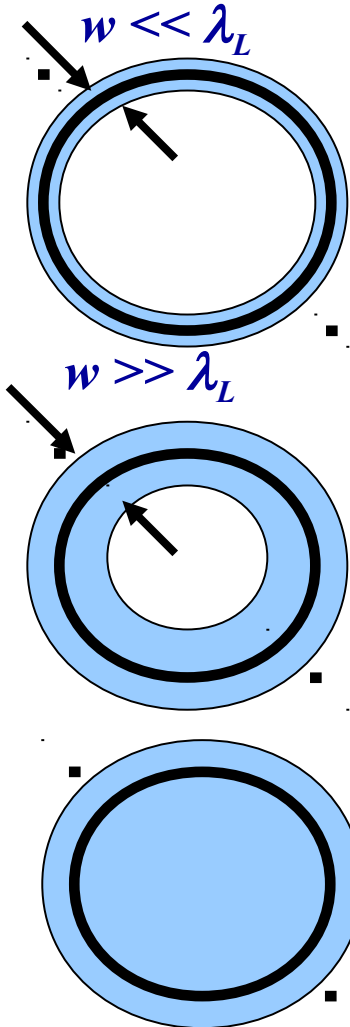
Квантование скорости наблюдалось впервые в 1962 году [19].

В случае сильного экранирования $w \gg \lambda_L$ или $wd = s \gg \lambda_L^2$ имеется контур l вдоль которого скорость равна нулю. Поэтому в соответствии с выражением (10), полученным в теории Ландау [14], должно наблюдаться квантование магнитного потока

$$\Phi = n \Phi_0 \quad (12)$$

которое наблюдалось впервые в 1961 год [18]. Измерения [18,19] позволили определить величину кванта потока $\Phi_0 = 2.07 \cdot 10^{-7} \text{ Oe cm}^2 = 20.7 \text{ Oe } \mu\text{m}^2$, которая оказалась соответствующей заряду $q = 2e$ пары электронов $\Phi_0 = 2\pi\hbar/2e$.

В случае сплошного сверхпроводящего цилиндра контур l может быть стянут в точку. Поэтому в этом случае квантовое число должно быть равно нулю $n = 0$ и $\nabla\phi = 0$, как и предположил Ландау в 1941 году [14] для объяснения эффекта Мейснера, который можно рассматривать как частный случай квантования (12).



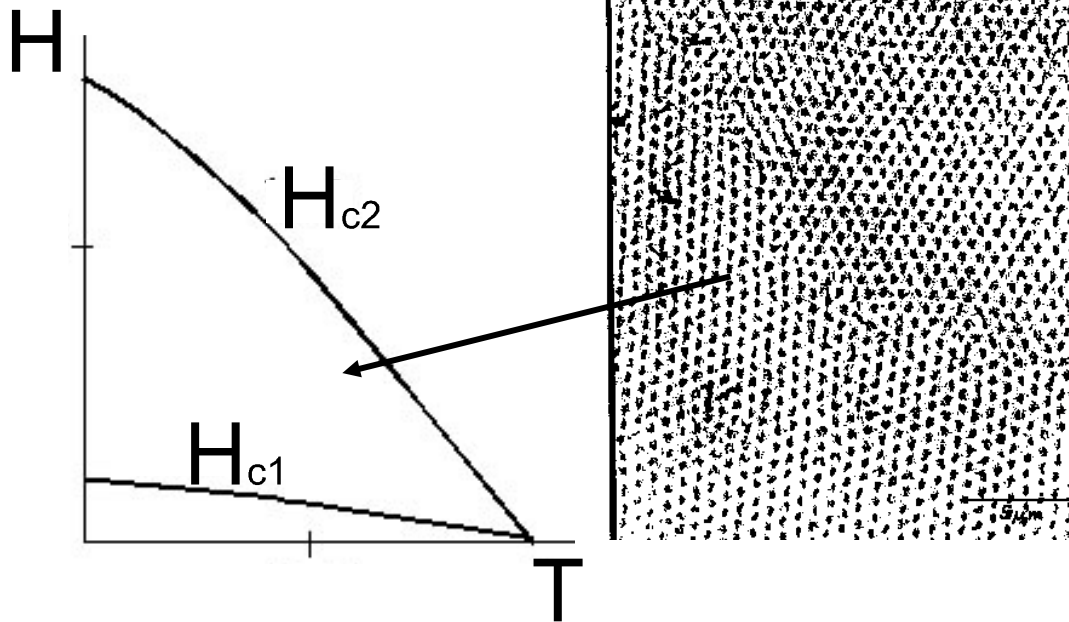
Постулат Ландау позволил не только описать квантовые явления, наблюдаемые в сверхпроводниках, но и объяснить почему могут наблюдаться макроскопические квантовые явления, несмотря на уменьшение дискретности спектра разрешенных состояний с увеличением радиуса и массы (4). Согласно теории Ландау дискретность спектра по скорости (10) определяется микроскопической массой m каждого носителя заряда, в то время как дискретность спектра кинетической энергии определяется макроскопической массой всего сверхпроводящего конденсата $M = N_s m$ в сверхпроводнике, так как частицу не могут изменять импульс индивидуально, согласно постулату Ландау [14]. Поэтому дискретность спектра по энергии возрастает на множитель равный числу сверхпроводящих пар в кольце

$$\Delta E_{n+1,n} = \frac{Mv_{n+1}^2}{2} - \frac{Mv_n^2}{2} \approx \frac{M}{m} \frac{\hbar^2}{2mr^2} = N_s \frac{\hbar^2}{2mr^2} \quad (13)$$

В кольце диаметром $2R \approx 1 \mu m$ разность энергий электрона $\Delta E_{n+1,n} = \hbar^2/2mr^2 \approx k_B 0.001 K$, и конденсата $\Delta E_{n+1,n} = N_s \hbar^2/2mr^2 \approx k_B 100 K$ при $N_s \approx 10^5$. Дискретность спектра, т.е. разность энергий между разрешенными состояниями $\Delta E_{n+1,n} = N_s \hbar^2/2mR^2 = n_s \hbar^2 \pi w h / m R$ увеличивается с увеличением всех трех размеров $\Delta E_{n+1,n} \propto wh/R$, см. [20].

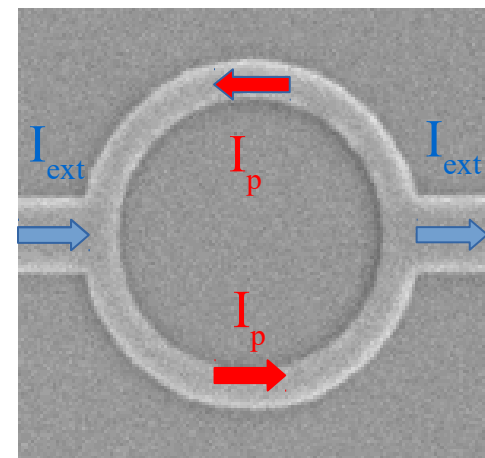
Теория Гинцбурга-Ландау.

Волновая функция (5), написанная Ландау в 1941 году [14], стала одной из основ теории Гинцбурга-Ландау, одной из лучших теорий физики. Другой основой теории Гинцбурга-Ландау является теории фазовых переходов Ландау 1937 года. Теория фазовых переходов относится к равновесной термодинамике. Поэтому она, строго говоря, не применима для описания динамических процессов в сверхпроводниках. Несмотря на это, теория Гинцбурга-Ландау описывает множество квантовых явлений наблюдаемых в сверхпроводниках. Это теория обосновала, в частности, разное поведение в магнитном поле сверхпроводников первого и второго рода.



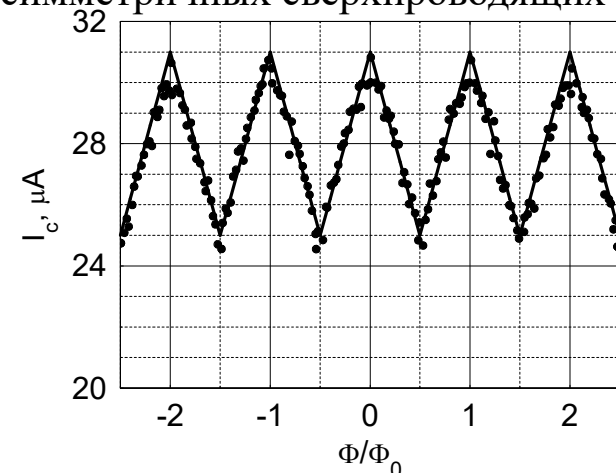
Описание состояния Абрикосова с помощью волновой функции (5) введенной Ландау в 1941 году [14] особенно поражает. Вихри Абрикосова это сингулярности волновой функции (5), которые позволяют магнитному потоку проникнуть вглубь сверхпроводника не разрушая сверхпроводимости. Набег фазы вокруг каждого вихря равен 2π , а вокруг n вихрей $n2\pi$.

Теория Гинцбурга-Ландау описывает осцилляции критического тока симметричных сверхпроводящих колец в магнитном поле [21].



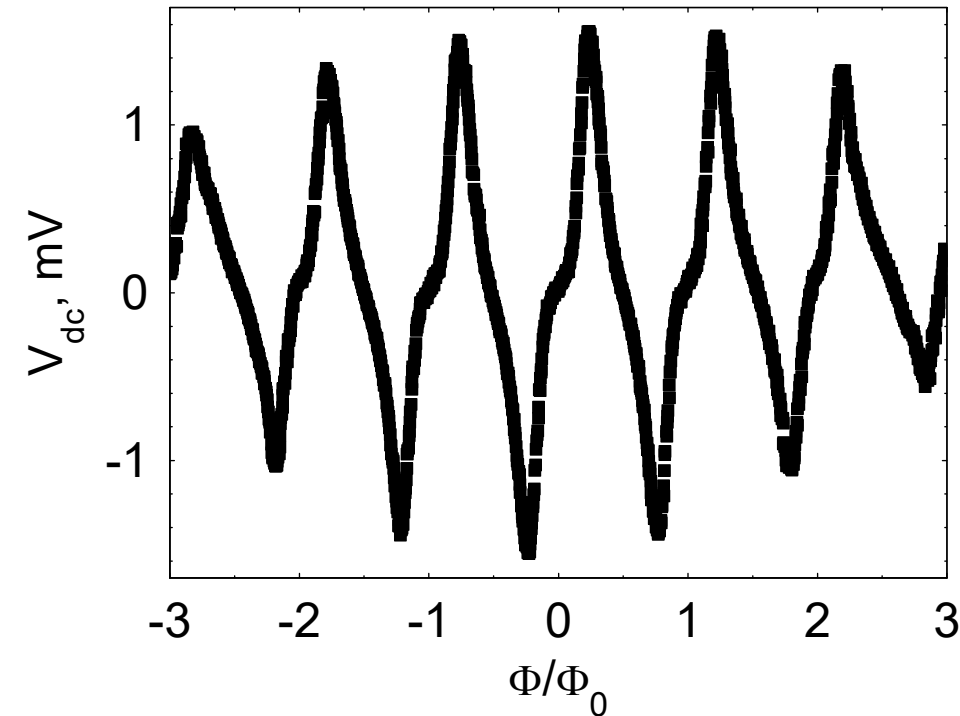
Критический ток изменяется периодически в магнитном поле с периодом соответствующем кванту потока внутри кольца так как устойчивый ток (11) $I_p = I_{p,A} 2(n - \Phi/\Phi_0)$ увеличивает скорость пар в одной из половинок кольца, поэтому:

$$I_{c+} = I_{c0} - 2 I_{p,A} 2 \left| n - \frac{\Phi}{\Phi_0} \right|$$

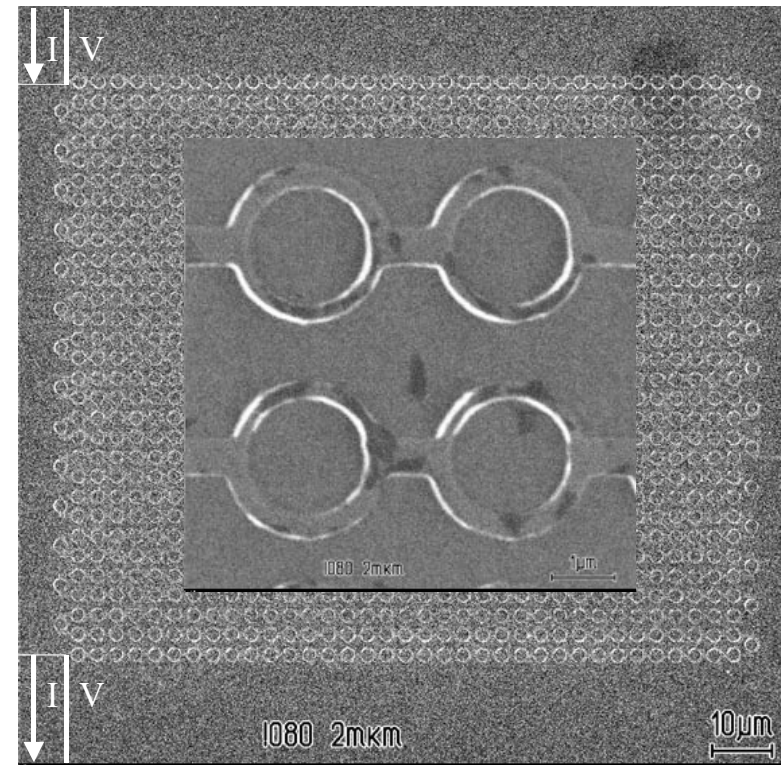


Зависимость критического тока симметричного алюминиевого кольца (показан слева) от магнитного потока

Но ни теории Гинцбурга-Ландау, никакая другая теория сверхпроводимости, созданная в рамках равновесной термодинамики не может объяснить наблюдение постоянной разности потенциалов на сегментах асимметричных колец [22-28], так как это разность потенциалов возникает в результате необратимых термодинамических процессов и процессов обратных необратимым термодинамическим процессам.



Квантовые осцилляции постоянного напряжения, наблюдавшиеся в [28] на системе из 1080 колец с устойчивым током (11), при их переключении между сверхпроводящим и нормальным состояниями $V_{dc}(\Phi) \propto I_p(\Phi)$

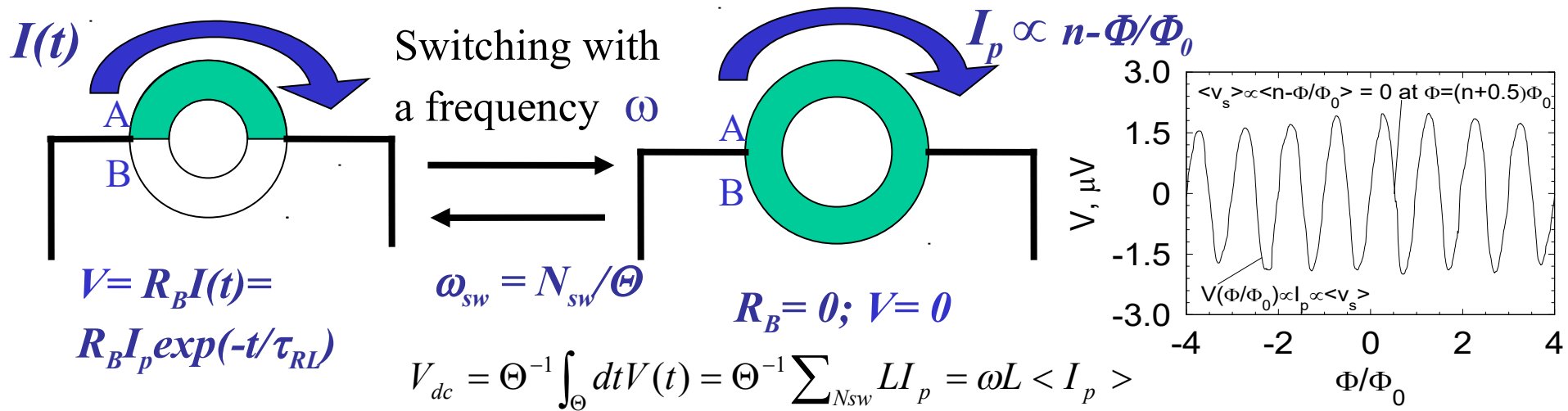


Системы из 1080 одинаковых асимметричных алюминиевых колец на которой наблюдались осцилляции показанные слева с амплитудой большей 1 мВ. Напряжение на 1080 кольцах в тысячу раз больше чем на одном кольце.

В одной из половинок каждого из колец ток I_p течет против разности потенциалов V_{dc} .

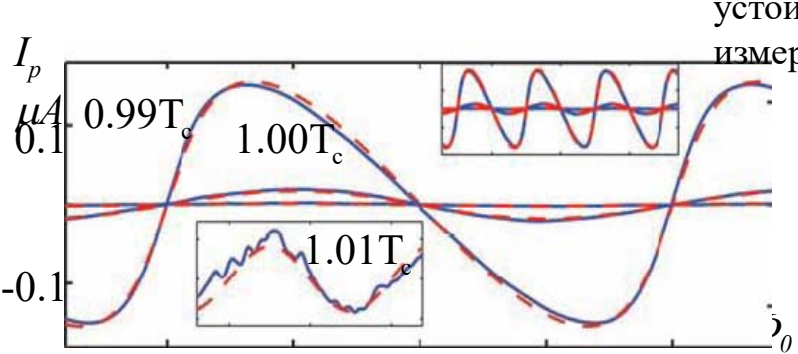
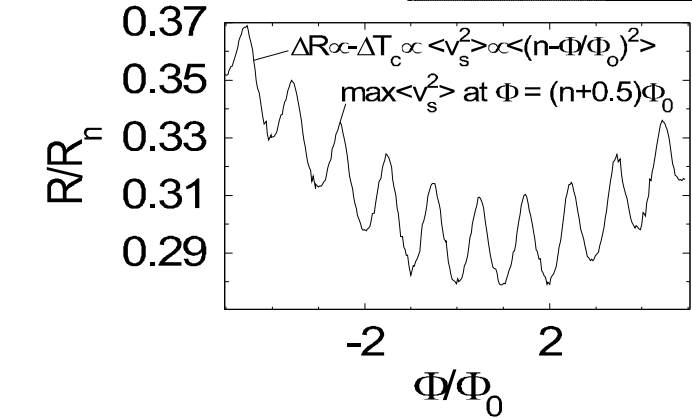
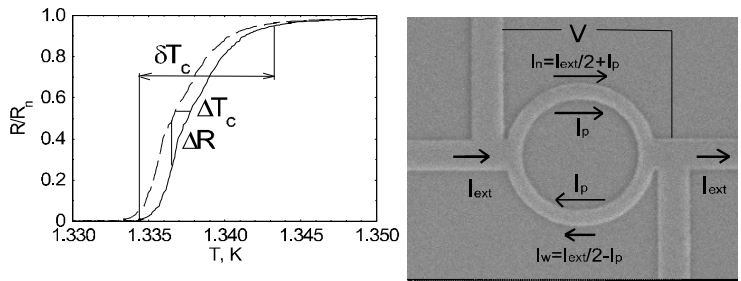
Наблюдение мощности постоянного тока $I_p V_{dc}$ является еще одним свидетельством нарушения второго закона термодинамики.

Возможность наблюдения постоянной разности потенциалов, пропорциональной устойчивому току, можно понять рассмотрев, как это было сделано в статье [29], переключение одного сегмента кольца с устойчивым током между сверхпроводящим и нормальным состояниями



При переходе нижней половины кольца с устойчивым током в нормальное состояние (кольцо слева) с сопротивлением R_B , на ней возникает разность потенциалов $V = R_B I(t)$, которая затухает вместе с током вследствие диссипации энергии с выделением Джоулевого тепла. Этот процесс является необратимым термодинамическим процессом. При возвращении половинки в сверхпроводящее состояние (кольцо справа) в кольцо снова должен возникнуть устойчивый ток (11), так как состояние с нулевой скоростью согласно (10) запрещено вследствие квантования (9), при потоке внутри кольца не кратном кванту потока $\Phi \neq n\Phi_0$. Этот процесс является обратным необратимому термодинамическому процессу и поэтому **противоречит второму закону термодинамики**. При многократных переключениях должна наблюдаться разность потенциалов с постоянной составляющей, $V_{dc} = \omega_{sw} L \langle I_p \rangle$ которая пропорциональна, частоте переключения ω_{sw} , индуктивности кольца L и средней величине устойчивого тока $\langle I_p \rangle$. Следует подчеркнуть, что средняя величина устойчивого тока не равна нулю благодаря большой дискретности спектра по энергии, которая пропорциональна числу пар в кольце, согласно выражению (13), полученному на основе постулата Ландау.

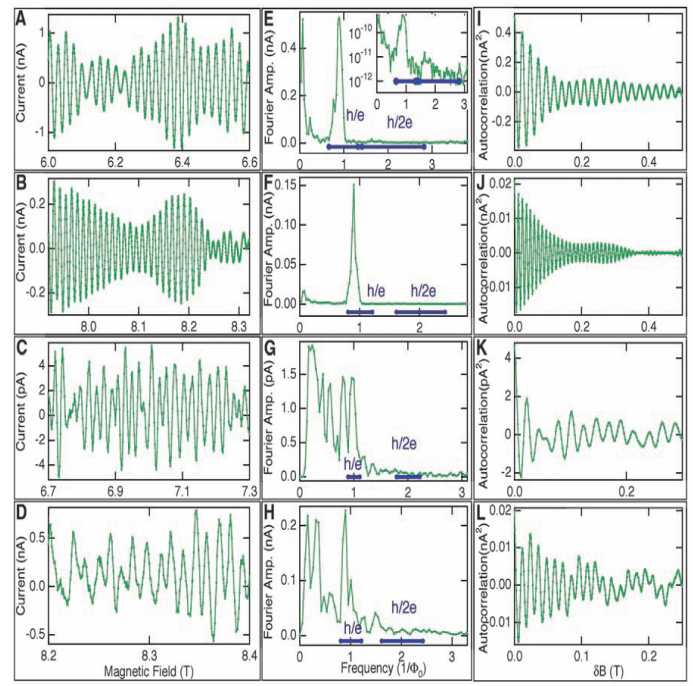
Дискретность спектра превышает температуру измерения даже в области флуктуаций вблизи сверхпроводящего перехода, о чем свидетельствуют осцилляции сопротивления в эффекте Литтла-Паркса [19] и осцилляции устойчивого тока в области флуктуаций [30].



Наблюдение в [30] осцилляций устойчивого тока I_p сверхпроводящих пар при температурах резистивного сверхпроводящего перехода, когда сопротивления кольца не равно нулю $R > 0$.

← Наблюдения осцилляций сопротивления в области флуктуаций свидетельствует о том, что устойчивый ток I_p не затухает при ненулевом сопротивлении $R > 0$.

→ При сопротивлении не равном нулю габлюдается устойчивый ток не только сверхпроводящих пар, но и электронов. Справа показаны осцилляции устойчивого тока измеренные в [12].



Многочисленные наблюдения устойчивого тока I_p сверхпроводящих пар и электронов незатухающего при ненулевом сопротивлении $R > 0$ свидетельствуют о существовании источника мощности постоянного тока при термодинамическом равновесии, что является прямым свидетельством **нарушения второго закона термодинамики**.

Почему Макс Планк ставил под сомнение Н - теорему Больцмана.

Экспериментальные свидетельства нарушения второго закона термодинамики настолько очевидны, что необходимо объяснить почему большая часть физического сообщества не хочет их признавать и даже замечать. Главная причина состоит очевидно в том, что нарушение второго закона термодинамики означает возможность создания вечного двигателя. Принцип Карно, который мы называем со времен Клаузиуса вторым законом термодинамики, Сади Карно постулировал в 1824 году на основе веры в невозможность вечного двигателя. Вечный двигатель был бы неизбежен, согласно закону сохранения энергии, если бы все процессы в физике были обратимы. Карно постулировал необратимость превращения механической энергии в тепло, т. е. необратимость некоторых термодинамических процессов.

Вечный двигатель был бы также неизбежен если бы эти необратимые термодинамические процессы допускали обращения. Именно поэтому все физики изменили свое мнение о переходе из сверхпроводящего в нормальное состояние после открытие эффекта Мейснера. Если бы они продолжали думать, что этот переход является необратимым термодинамическим процессом, то они должны были бы признать, что эффект Мейснера свидетельствует о процессе обратном необратимому термодинамическому процессу. Они не учли, что считая диссипацию направленного движения электрического тока в тепло равновесным термодинамическим процессом, они тем самым отрицают существование необратимых термодинамических процессов и делают неизбежным возможность вечного двигателя.

Другой причиной нежелания многих физиков признавать очевидные свидетельства нарушения второго закона термодинамики является их недостаточное знание истории физики. Не очень многие знают, что большинство ученых в конце 19-го и даже начале 20-го века относились отрицательно к статистической теории Максвелла — Больцмана из-за ее противоречия со вторым законом термодинамики. Многие отрицали даже существования атомов и их вечное движение. Об этом писал, например, Мариан Смолуховский в начале статьи 1914 года «Границы справедливости второго начала термодинамики»:

«Изложение названной выше темы я начинаю с краткого исторического обзора. Тот, кто в последние сорок лет принимал участие в борьбе между термодинамически-энергетическим и атомистическо-кинетическим миропониманием, знает, почему я так поступаю. Сегодня нам уже не легко представить тот образ мышления, который господствовал в конце прошлого столетия. Ведь в то время научные деятели Германии и Франции были убеждены в том, что кинетическая теория атомов уже сыграла свою роль. Принцип Карно, интуитивно осознанный им, мы называем со времен Клаузиуса вторым началом термодинамики. В силу доверия к большим достижениям термодинамики этот принцип был возведен в ранг абсолютной, точной и не знающей исключения догмы. А так как в то время молекулярная кинетика при интерпретации этого начала столкнулась с известными трудностями, связанными с необратимостью процессов, она вместе с атомистикой была сразу же осуждена как несостоятельная. Правда Больцман пытался доказать, что если противоречия и существуют, то все же практически они не могут стать ощутимыми. Впрочем, в это умонастроение многое было привнесено и общим, так сказать агностически-скептическим течением того времени, которое смотрело на атомистику, как и вообще на каждое более смелое заключение, с недоверием, считая, что единственно правильным методом исследования есть простое феноменологическое описание» [31].

В 20-ом веке миропонимание изменилось. Как писал Смолуховский:

«Атомистика признается основой современной физики вообще; второе же начало термодинамики раз и навсегда потеряло свое значение как непоколебимая догма, как один из основных принципов физики» [31].

Сейчас действительно признается, что все вещества состоят из атомов, но второе начало термодинамики не потеряло свое значение как непоколебимая догма. Вера в эту догму обосновывается той самой статистической механикой Максвелла - Больцмана, которая отвергалась большинством ученых в конце 19-го века, вследствие ее противоречия с термодинамикой.

Это изменение точки зрения на противоположную произошло, в частности, под влиянием исследования флуктуационных явлений.

«В явлениях флуктуаций, экспериментально наблюдаемых в последние годы, стороннику классической термодинамики кажется чрезвычайно странным то обстоятельство, что он видит собственными глазами обратный ход процессов, которые вообще-то расцениваются как необратимые. Потому что в соответствии с классической теорией второе начало термодинамики должно ведь исчезать, если хотя бы один процесс, расценивающийся как необратимый, допускает обращение» [31] стр.735.

Особенно важную роль здесь сыграли исследования такого наглядного флуктуационного явления как броуновское движение, важный вклад в создание теории которого наряду с Эйнштейном внес Смолуховский. Наблюдения броуновского движения наглядно свидетельствуют о существовании вечного двигателя:

«После открытия броуновского движения строгая интерпретация второго начала становится уже невозможной: здесь налицо был реальный опыт, который показывал независимо от какой бы то ни было молекулярной теории, что второй закон термодинамики постоянно нарушается в природе, что вечный двигатель второго рода не только не исключен, но постоянно осуществляется прямо на наших глазах» [32] стр.347.

Но Смолуховский, как почти все физики двадцатого века, был уверен, что этот вечный двигатель не может быть полезным, так как броуновское движение, как и любое тепловое движение при термодинамическом равновесии всегда хаотично. Поэтому он утверждал:

*«Напротив, с точки зрения молекулярной статистики совершенно правильно положение термодинамики о том, что не может быть получено *perpetuum mobile* второго рода, если этому выражению придают более точный смысл, а именно: «автоматическая машина, потребляющая теплоту другого тела с более низкой температурой, за счет непрерывного производства конечной работы»»* [31] стр. 745.

Смолуховский доказывал невозможность такой автоматической машины на примере невозможности создания направленного броуновского движения с помощью механического устройства, позволяющего броуновской частице двигаться только в одном направлении [31]. Буквально такое же доказательство приводит почти через 50 лет Ричард Фейнман в Главе 46 «Храповик и собачка» своих лекций по физике [33]. **Смолуховский и Фейнман убедительно доказывают, что с помощью механических устройств невозможно создать направленное движение без нарушения термодинамического равновесия, так как части любого механического устройства, например храповик и собачка, подвержены тепловому движению.**

Но дискретность спектра и нарушение симметрии между противоположными направлениями в магнитном поле не подвержены тепловому движению [34]. Поэтому наблюдается такое направленное броуновское движение [35], как устойчивый ток не затухающий при ненулевом сопротивлении [12,13,19,30]. Это является одним из свидетельств нарушения второго закона термодинамики [36].

Почти все, но не все физики уверены, что у нас есть основания считать, что любое тепловое движение хаотично. Великий ученый Макс Планк ставил под сомнение обоснованность этой почти всеобщей уверенности. Именно на этом основании он ставил под сомнение Н - теорему Больцмана. Он писал в своей автобиографии, что *«в вычислениях Больцмана отсутствует упоминание о допущении молекулярного беспорядка, необходимом для справедливости его теоремы. По-видимому он считал это чем-то само собой разумеющимся»* [37]. Те кто знал об этом сомнении в допущении молекулярного беспорядка видимо считали его только проявлением педантизма Планка, который не указал примеров нарушения этого допущения. Планк не мог знать об экспериментах [12,13,19,30], свидетельствующих о наблюдении кругового тока не затухающего в кольцах с ненулевым сопротивлением при термодинамическом равновесии. Эти наблюдения являются свидетельством нарушения допущения молекулярного беспорядка. **Педантизм Планка оказался гениальным.**

Заключение.

Артур Эддингтон утверждал: *«Второй закон термодинамики занимает, я думаю, высшее положение среди законов природы»* [38]. Это высшее положение очевидно обусловлено многовековой верой ученых в невозможность вечного двигателя. Смолуховский был уверен более ста лет назад, что *второе начало термодинамики раз и навсегда потеряло свое значение как непоколебимая догма, как один из основных принципов физики* [31]. Он оказался не совсем прав. Второй закон термодинамики не перестал быть догмой для большинства ученых, хотя догма изменилась. Если в 19-ом веке ученые были уверены, что вечное движение невозможно, то в 20-ом веки большинство ученых были уверены, что направленное вечное движение невозможно. Только немногие, например Макс Планк, сомневались в обоснованности этой уверенности и не считали *допущение молекулярного беспорядка чем-то само собой разумеющимся*.

Из-за веры в догму о невозможности направленного вечного движения нескольких поколений физиков были уверены, что процесс диссипации энергии направленного движения в тепло является обратимым термодинамическим процессом. Это вера заставила авторов [12], наблюдавших устойчивый ток электронов в кольцах из нормального металла утверждать, что они наблюдают бездиссипативный (dissipationless) ток. Автор [39] с ними соглашается, хотя и признает: *"The idea that a normal, nonsuperconducting metal ring can sustain a persistent current - one that flows forever without dissipating energy - seems preposterous. Metal wires have an electrical resistance, and currents passing through resistors dissipate energy"*. Идея, что в кольце из нормального металла может протекать электрический ток без диссипации энергии является не только нелепой, но и противоречит элементарной математики. Авторы [12] наблюдают ток $I_p \neq 0$ и измеряют сопротивление $R > 0$ и утверждают, что $RI_p^2 = 0$.

Большинство, но не все физики верят в догму о невозможности нарушения второго закона термодинамики. Опубликованы статьи [40-42] и даже книга [43] авторы которых ставят эту догму под сомнения. Хотя нельзя не признать, что в большинстве случаев эти сомнения являются необоснованными, ученые должно понять, что вера в невозможность нарушения второго закона является только необоснованной догмой. Более ста лет назад даже сторонники термодинамически-энергетическим миропонимания должны были признать, что броуновское движение свидетельствует о существовании вечного движения. Сейчас ученые должны понять, что устойчивый ток, наблюдаемый в кольцах с ненулевым сопротивлением свидетельствует о направленном вечном движении, которое может быть использовано для совершения полезной работы.

1. D. Shoenberg, *Superconductivity* / Cambridge Univ. Press: London, 1952.
2. J.E. Hirsch, *The Lorentz force and superconductivity. Phys.Lett. A* **315**, 474 (2003).
3. J.E. Hirsch, *The missing angular momentum of superconductors. J. Phys. Cond. Matt.* **20**, 235233 (2008)
4. J. E. Hirsch, *Electromotive forces and the Meissner effect puzzle. J. of Superconductivity and Novel Magnetism* **23**, 309-317 (2010).
5. J.E. Hirsch, *Dynamics of the normal-superconductor phase transition and the puzzle of the Meissner effect. Ann. Phys.* **362**, 1 (2015).
6. J.E. Hirsch, *On the reversibility of the Meissner effect and the angular momentum puzzle. Ann. Phys.* **373**, 230 (2016).

7. J.E. Hirsch, **Do superconductors violate Lenz's law? Body rotation under field cooling and theoretical implications.** *Phys. Lett. A* **366**, 615 (2007).
8. J. E. Hirsch, **Superconductivity, what the H? The emperor has no clothes.** *APS Forum on Physics and Society Newsletter*, January 2020, p. 4-9; arXiv: <https://arxiv.org/abs/2001.09496>
9. J. E. Hirsch, **Inconsistency of the conventional theory of superconductivity.** *EPL (Europhysics Letters)* **130**, 17006 (2020)
10. J. E. Hirsch, **Joule heating in the normal-superconductor phase transition in a magnetic field.** *Physica C* **576**, 1353687 (2020); <https://arxiv.org/abs/2001.07509> .
11. J.E. Hirsch, **Thermodynamic inconsistency of the conventional theory of superconductivity.** *Int. J. Mod. Phys. B* **34**, 2050175 (2020); <https://arxiv.org/abs/1907.11273> .
12. A.C. Bleszynski-Jayich, W. E. Shanks, B. Peaudecer, E. Ginossar, F. von Oppen, L. Glazman, J. G. E. Harris, **Persistent Currents in Normal Metal Rings.** *Science* **326**, 272 (2009).
13. H. Bluhm et al., **Persistent Currents in Normal Metal Rings.** *Phys. Rev. Lett.* **102**, 136802 (2009)
14. Л.Д. Ландау, **Теория сверхтекучести гелия II.** *ЖЭТФ*, **11**, 592 (1941)
15. В. Л. Гинзбург, Л.Д. Ландау, **К теории сверхпроводимости.** *ЖЭТФ*, **20**, 1064 (1950)
16. J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, *Phys. Rev.* **108**, 1175 (1957)
17. F. London and H. London, *Proc. Roy. Soc. (Lond.)*, **A149**, 71 (1935).
18. B.S. Deaver and W. M. Fairbank, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 43 (1961); R. Doll and M. Nabauer, *Phys. Rev. Lett.* **7**, 51 (1961)
19. W. A. Little and R. D. Parks, *Phys. Rev. Lett.* **9**, 9 (1962)
20. A. V. Nikulov, **Bohm's quantum potential and quantum force in superconductor.** *AIP Conference Proceedings*, Vol. **1101** "Foundations of Probability and Physics-5" 2009. P. 134; arXiv: 0812.4118 (2008)
21. Гуртовой В.Л., Дубонос С.В., Карпий С.В., Никулов А.В., Тулин В.А., **Противоречие между наблюдениями квантовых осцилляций сопротивления и критического тока асимметричных сверхпроводящих колец.** *ЖЭТФ* **132**, 297 (2007).
22. Dubonos S.V., Kuznetsov V.I., and Nikulov A.V., **Segment of an Inhomogeneous Mesoscopic Loop as a DC Power Source.** Proceedings of 10th International Symposium "NANOSTRUCTURES: Physics and Technology", St Petersburg: Ioffe Institute, p. 350 (2002).
23. Дубонос С.В., Кузнецов В.И., Жилиев И.Н., Никулов А.В., Фирсов А.А., **Наблюдение постоянного напряжения, пропорционального устойчивому току в сверхпроводящих кольцах, индуцированного внешним переменным током.** *Письма в ЖЭТФ* **77**, 439 (2003).
24. Гуртовой В.Л., Дубонос С.В., Никулов А.В., Осипов Н.Н., Тулин В.А., **Зависимость величины и направления устойчивого тока от величины магнитного потока в сверхпроводящих кольцах.** *ЖЭТФ* **132**, 1320 (2007).

25. Бурлаков, АА, Гуртовой, ВЛ, Дубонос, СВ, Никулов, АВ, Тулин, ВА, "Исследование эффекта Литтла-Паркса на системе асимметричных сверхпроводящих колец", Письма в ЖЭТФ 86, 589-593 (2007).
26. Burlakov A. A., Gurtovoi V. L., Ilin A. I., Nikulov A. V., and Tulin V. A., A possibility of persistent voltage observation in a system of asymmetric superconducting rings. *Phys. Lett. A* 2012. V. 376. P. 2325-2329.
27. Burlakov A.A., Chernykh A.V., Gurtovoi V.L., Ilin A.I., Mikhailov G.M., Nikulov A.V., Tulin V.A., Quantum periodicity in the critical current of superconducting rings with asymmetric link-up of current leads. *Phys. Lett. A* 2017. V. 381. P. 2432–2438.
28. V.L. Gurtovoi, V.N. Antonov, M. Exarchos, A.I. Il'in, A.V. Nikulov, The dc power observed on the half of asymmetric superconducting ring in which current flows against electric field. *Physica C* 559, 14 (2019)
29. Nikulov A.V. and Zhilyaev I.N., The Little-Parks Effect in an Inhomogeneous Superconducting Ring. *J. Low Temp. Phys.* 112, 227-236 (1998).
30. N. C. Koshnick, et al. "Fluctuation Superconductivity in Mesoscopic Aluminum Rings", *Science* **318** 1440 (2007).
31. М.Смолуховский, Границы справедливости второго начала термодинамики, УФН **93**, 724 (1964).
32. Марио Льюцци, *История физики*. Мир М.1970.
33. Р.Фейнман, Р.Лейтон, М.Сэндс, *Фейнмановские лекции по физике. Т.4. Кинетика, теплота, звук*. Мир М.1967.
34. Alexey Nikulov, Quantum limits to the second law and breach of symmetry, arXiv:cond-mat/0505508
35. A.V. Nikulov, Quantum Force in a Superconductor. *Phys. Rev. B* **64**, 012505 (2001).
36. A.V. Nikulov, Reply to Comment on "Quantum Force in a Superconductor" arXiv: <https://arxiv.org/abs/cond-mat/0304313>
37. М. Планк, Научная автобиография. УФН **64**, 625–637 (1958)
38. A.S. Eddington, *The Nature of the Physical World*. Macmillan, New York, 1948.
39. N.O. Birge, Sensing a Small But Persistent Current. *Science*, **326**, 244 (2009).
40. V. Capek and J. Bok. A thought construction of working perpetuum mobile of the second kind. *Czech. J. Phys.* **49**, 1645 (1999).
41. Allahverdyan, A.E. and Nieuwenhuizen, Th.M., Extraction of work form a single thermal bath in quantum regime. *Phys. Rev. Lett.* **85**, 1799 (2000).
42. Weiss P., Breaking the Law: Can quantum mechanics + thermodynamics =perpetual motion? *Science News*, **158**, 234. (2000)
43. V. Capek and D. Sheehan, *Challenges to the Second Law of Thermodynamics. Theory and Experiment*. Springer. An International Book Series on the Fundamental Theories of Physics. 2005