

Superconductividad: un fenómeno de la región del tiempo

Prof. KVK Nehru, Ph.D.

1. Introducción

La principal característica de la superconductividad es la ausencia total de resistencia eléctrica. A medida que disminuye la temperatura, el cambio del estado normal al superconductor tiene lugar abruptamente a una temperatura crítica T_c . Aunque el fenómeno se descubrió ya en 1911, resistió toda comprensión teórica y no fue hasta 1957 que se propuso la famosa teoría BCS (Bardeen, Cooper y Schrieffer). Según esta teoría, la superconductividad ocurre cuando la interacción repulsiva entre dos electrones es superada por una atractiva, resultante de un mecanismo que da origen a pares de electrones conocidos desde entonces como "Pares de Cooper", que se comportaban como bosones y se movían sin resistencia.

Los experimentos de tunelización y cuantificación de flujo establecieron firmemente la presencia de pares de electrones. Sin embargo, el mecanismo de apareamiento de electrones de los fonones aún no había sido probado experimentalmente. El trabajo experimental posterior sacó a la luz muchas anomalías y resultados inexplicables que demostraron la insuficiencia de la teoría BCS. La tendencia teórica, en la última década, ha sido invocar el concepto de la mecánica cuántica de "interacciones de intercambio" para explicar la formación de los pares de electrones.

Sin embargo, todavía no se ha intentado explicar el fenómeno de la superconductividad desde el punto de vista del sistema recíproco. El propio Larson se refiere al fenómeno con nada más que un comentario de pasada.¹ Como ve el presente autor, el progreso hacia este fin no habría sido posible en el Sistema Recíproco, ya que necesitaba el descubrimiento de un nuevo desarrollo, que surgió recientemente. Ésta es la nueva luz que arroja el estudio de la "controversia de los fotones", que condujo al descubrimiento de la birotación. de una birotación que se manifiesta como un Movimiento Armónico ² Allí se ha demostrado que los dos componentes rotacionales iguales y opuestos Simple (MAS) lineal. El conocimiento de esto abre ahora el camino hacia la comprensión del fenómeno de la superconductividad.

2 El origen del fenómeno

Es bien sabido que la superconductividad, por lo abrupto de su aparición a la temperatura T_c , es un fenómeno colectivo (como el del ferromagnetismo, por ejemplo) en el que participan todas las partículas de forma cooperativa. Hemos demostrado que el orden ferromagnético es un fenómeno de la región del tiempo.³ Ahora encontramos que la superconductividad es el resultado del movimiento de los electrones que entran en la región del tiempo. De hecho, dado que en los sólidos los átomos ya están en la región del tiempo, la región dentro de la unidad de espacio, se deduce que la superconductividad, al igual que el ferromagnetismo, se produce cuando el movimiento en cuestión cruza otro límite regional, a saber, la región del tiempo unidad del espacio (que es una unidad compuesta).

¹ Larson, Dewey B., Propiedades básicas de la materia, Sociedad Internacional de Ciencia Unificada, Utah, EE. UU., 1983, [pág. 104](#).

² KVK Nehru, "[La ley de conservación de la dirección](#)", Reciprocidad, XVIII (3), otoño de 1989, págs. 3-6.

³ KVK Nehru, "[¿Es el ferromagnetismo un fenómeno comagnético?](#)", Reciprocidad, XIX (1), primavera de 1990, p. 6

2.1 El director perfecto

Larson señala: "... el electrón no es esencialmente más que una unidad de espacio en rotación".⁴ Identifica el movimiento de los electrones (unidades giratorias del espacio) a través de la materia (una estructura temporal) como corriente eléctrica. Podríamos observar que no hay carga eléctrica asociada con estos electrones. Una de las causas, según Larson, de la resistencia al flujo de corriente es la componente espacial del movimiento térmico de los átomos. "Si los átomos de la materia a través de la cual pasa la corriente están efectivamente en reposo..., el movimiento uniforme de los electrones (espacio) a través de la materia tiene las mismas propiedades generales que el movimiento de la materia a través del espacio. Sigue la primera ley del movimiento de Newton... y puede continuar indefinidamente... Esta situación existe en el fenómeno conocido como superconductividad."¹

Nos gustaría señalar que la situación real es algo diferente. En primer lugar, como veremos más adelante, la superconductividad no es únicamente un fenómeno de resistencia cero que llamaremos conducción perfecta (es decir, conductividad infinita), que es lo que Larson parece implicar con "superconductividad" en el párrafo citado anteriormente. El segundo hecho se refiere a la resistencia causada por los átomos de impurezas debido a su desplazamiento espacial. Dado que la corriente se mueve, según el Sistema Recíproco, a través de todos los átomos del conductor (incluidos los átomos de impurezas), y no a través de los intersticios entre los átomos, los átomos de impurezas contribuyen en gran medida a la resistencia.⁵ Por lo tanto, la mera reducción del movimiento térmico no puede servir para eliminar la causa de la resistencia a la corriente.

2.2 El par de electrones como birotación

En el "estado sin carga, los electrones no pueden moverse con referencia al espacio de extensión, porque son unidades de espacio inherentemente giratorias, y la relación del espacio con el espacio no es movimiento. ... En el contexto del sistema espacial estacionario, el electrón sin carga, al igual que el fotón, es arrastrado hacia afuera por la progresión del sistema de referencia natural."⁶ Pero a medida que la temperatura desciende por debajo del valor crítico T_c y los electrones en el sólido entran en la región del interior de la unidad compuesta de espacio, la dirección del movimiento del electrón cambia de afuera hacia adentro desde el punto de vista del sistema de referencia estacionario. Así, los electrones comienzan a moverse uno hacia el otro, como si se atrajeran mutuamente.

Recordando que el electrón es una unidad de espacio rotacional, cuando dos de ellos con rotaciones antiparalelas se acercan a una distancia efectiva menor que una unidad compuesta de espacio, las dos rotaciones opuestas forman una birrotación. Como se explica en detalle en otra parte², una birotación se manifiesta como un Movimiento Armónico Simple (MAS). Podríamos llamar a este proceso "condensación de pares", siguiendo la nomenclatura convencional. La formación de birotación (es decir, MAS) tiene dos efectos distintos que deben tenerse en cuenta:

- i. el carácter del movimiento cambia de rotacional (bidimensional en el espacio de extensión) a lineal (unidimensional en el espacio de extensión);
- ii. la magnitud del movimiento cambia de constante (velocidad constante en el tiempo) a ondulatoria (velocidad variable en el tiempo).

Llamemos a estos dos efectos respectivamente "reducción de dimensión" y "activación" para facilitar referencias futuras.

⁴ Larson, Dewey B., Propiedades básicas de la materia, op. cit., pág. 102.

⁵ Ibid., pág. 114.

⁶ Ibid., pág. 113.

2.3 La resistividad eléctrica cero

El espacio de rotación, es decir el electrón, puede considerarse como un área de disco circular. Vemos que el efecto de la reducción dimensional es convertir el área del disco en un elemento de línea recta (de área cero). Lo que causa la resistencia eléctrica en la conducción normal es la finitud del área proyectada del electrón en la dirección del flujo de corriente. La desaparición de esta área proyectada al formar el par elimina la causa de la resistencia y convierte el material en un conductor perfecto (resistividad cero).

Debe enfatizarse que una reducción dimensional de una extensión espacial tridimensional (digamos, un volumen esférico) a una extensión espacial bidimensional (un disco circular) no podría haber logrado tal eliminación del área proyectada. Esto sólo es posible cuando la reducción es de una extensión espacial bidimensional a una dimensión unidimensional.

En el lenguaje convencional podríamos decir que mientras el electrón único (rotacional) es un fermión, el par de electrones (MAS lineal) se comporta como un bosón. En el caso análogo de un fotón, vemos que el fotón es un MAS lineal y es un bosón. Por lo tanto, se puede conjeturar que el fotón² polarizado circularmente debería comportarse como un fermión. Supongo que una verificación experimental de esta predicción podría confirmarse fácilmente.

3 El efecto Meissner

Se trata de una interacción entre la superconductividad y el campo magnético y sirve para distinguir un superconductor del llamado "conductor perfecto". Si pudiéramos colocar un conductor perfecto en un campo magnético externo, ninguna línea de flujo magnético penetraría la muestra ya que las corrientes superficiales inducidas contrarrestarían el efecto del campo externo. Ahora imagine un conductor normal, colocado en el campo magnético y con la temperatura bajada, de manera que en T_c se convierte en un conductor perfecto mientras está en ese campo (consulte la fila superior de la Figura 1, que está adoptada de Blackmore⁷). El campo que lo atravesaba continuaría haciéndolo (arriba al centro, Figura 1). Si ahora se elimina el campo externo (arriba a la derecha), el cambio en este campo induciría corrientes eléctricas que persistirían (ya que no hay resistencia), y estas corrientes producen el flujo interno que se bloquea como se muestra.

Pero la situación es muy diferente en el caso del superconductor. Como se puede ver en la fila inferior de la Figura 1, un metal colocado en un campo magnético externo y enfriado a través de la temperatura de transición superconductora T_c expulsa todas las líneas de flujo del interior (siempre que, por supuesto, el campo sea menor que un valor crítico, H_c) (ver centro inferior). Esto se llama efecto Meissner. De hecho, el campo externo que atraviesa el superconductor genera corrientes superficiales persistentes, y estas corrientes generan un campo interno que contrarresta exactamente el campo externo, lo que resulta en el fenómeno de expulsión de flujo. La terminación del campo externo induce una corriente superficial opuesta que cancela la anterior y deja al superconductor libre de campo y de corriente.

Ahora bien, el punto crucial que se debe tener en cuenta es que un flujo magnético constante que pasa por un conductor que está estacionario con respecto a él no induce una corriente eléctrica. Lo que induce una corriente es un cambio en el campo magnético. En el caso de un conductor perfecto que consideramos anteriormente, el campo es estable (es decir, constante con el tiempo) y no aparecen corrientes inducidas (centro superior, Figura 1).

Pero en el caso del superconductor, el campo estacionario induce una corriente eléctrica. Este ha sido un hecho recalcitrante que desafió la explicación de la teoría convencional y obligó a los teóricos a arriesgar extraños inventos conceptuales como las interacciones de intercambio. El desarrollo del Sistema Recíproco ha demostrado claramente que en todos estos casos no es necesario idear desviaciones extremas.

⁷ Blackmore JS., Física del estado sólido, Universidad de Cambridge. Prensa, 1985, pág. 274.

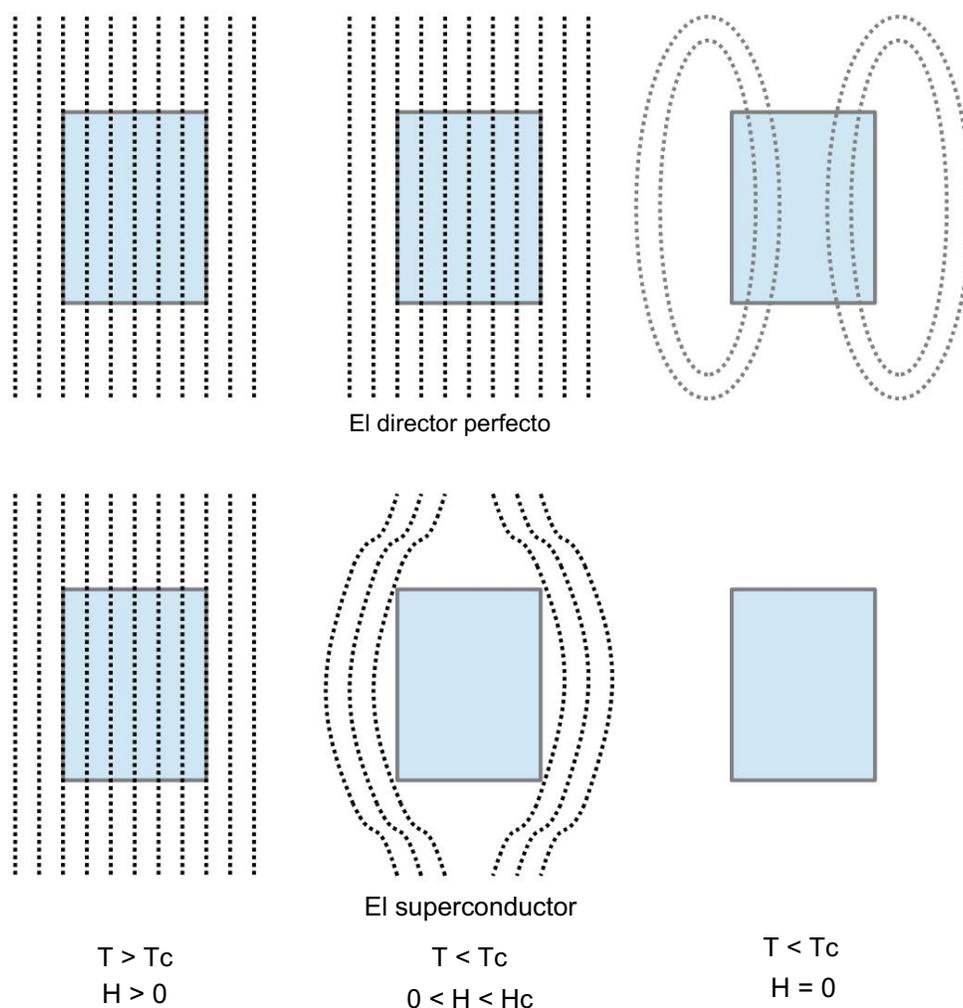


Figura 1: El efecto Meissner

de las sencillas explicaciones que de otro modo serían comprensibles. Por ejemplo, hemos demostrado en la explicación del ferromagnetismo que no hay necesidad alguna de invocar la ayuda como una "interacción de intercambio".³ Se demostró que la comprensión del origen y las características de ese fenómeno se deriva del reconocimiento de que ha cruzado un límite regional y entró en la región horaria.

Exactamente por las mismas razones, encontramos que en el presente tampoco es necesario recurrir a la explicación puramente hipotética de la interacción de intercambio. La razón por la cual un campo magnético constante que atraviesa el superconductor induce una corriente en él se deriva del aspecto de activación del par de electrones. Es decir, mientras que en el caso del electrón normal el espacio de rotación es constante con el tiempo, en el caso del par de electrones el espacio varía de forma sinusoidal con el tiempo. En la conducción normal, la corriente eléctrica se induce si el flujo magnético que atraviesa el espacio de los electrones cambia con el tiempo. En la superconductividad, la corriente eléctrica se induce ya que el espacio de los electrones que atraviesan el flujo magnético varía con el tiempo. Podemos llamar a esto "superinducción" y a la corriente relevante "corriente de activación".

Superconductividad: un fenómeno de región temporal

4 La no localidad del emparejamiento Se ha descubierto que “el

tamaño de los pares de electrones es del orden de 10^{-4} a 4 cm y el movimiento de los electrones en diferentes puntos del metal muestra correlaciones en distancias de este orden”. 8 Richard Feynman señala: “No quiero que se imaginen que los pares están realmente unidos muy estrechamente como una partícula puntual. De hecho, una de las grandes dificultades para comprender este fenómeno originalmente fue que las cosas no son así. Los electrones que forman el par están realmente repartidos a una distancia considerable; y la distancia media entre pares es relativamente menor que el tamaño de un solo par. Varios pares ocupan el mismo espacio al mismo tiempo”. 9 Desde cualquier punto de vista convencional, ésta es una situación bastante extraña.

Sin embargo, desde el punto de vista del Sistema Recíproco, vemos que los dos electrones que forman el par son adyacentes en el tiempo y no en el espacio, ya que el movimiento de los electrones se produce en la región del tiempo, como ya se ha señalado. Como la ubicación de las partículas en el espacio no está de ninguna manera correlacionada con su ubicación en el tiempo, la adyacencia en el tiempo no implica necesariamente proximidad en el espacio. Por lo tanto, los componentes de un par podrían estar separados espacialmente y al mismo tiempo ser contiguos en el tiempo. Su separación máxima podría ser la unidad natural de espacio multiplicada por la relación interregional (casi $7 \times 10^{-4} \text{ cm}$).

5 Superconductividad y ordenamiento magnético

Dado que tanto el orden magnético como la superconductividad son el resultado de los respectivos movimientos que ingresan a la región temporal, sería interesante examinar si se afectan entre sí y cómo. En la disposición ferromagnética, las direcciones de todos los dipolos atómicos son paralelas entre sí. Tal estado de ordenamiento impide la formación de pares de electrones requerida en la superconductividad, ya que los espines de los electrones están dispuestos para orientarse paralelos entre sí. Como tal, podemos predecir que la superconductividad y el ferromagnetismo no pueden coexistir.

Por otro lado, en el orden antiferromagnético, los dipolos magnéticos adyacentes están orientados de forma antiparalela entre sí. Dado que el espacio de rotación que es el electrón tendrá mayores posibilidades de asumir las direcciones de estos dipolos, los electrones adyacentes con direcciones de espín opuestas estarían fácilmente disponibles para emparejarse. En consecuencia, podemos concluir que el ordenamiento antiferromagnético puede coexistir o incluso promover el emparejamiento de electrones que subyace a la superconductividad. Si esto es así, podría conducir al desarrollo de materiales superconductores con alta T_c explotando el potencial de las estructuras de tipo antiferromagnético.

6 aspectos termodinámicos

Las relaciones observables entre los estados superconductor y normal se derivan directamente de la naturaleza cuadrática de la relación entre las cantidades correspondientes de la región temporal y la región exterior.¹⁰

8 Nariikar AV. & Ekbote SN., Superconductividad y materiales superconductores, Pub. del Sur de Asia, Nueva Delhi, India, 1983, pág. 36.

9 Feynman RP., Las conferencias Feynman sobre física - Vol. 1, núm. III, Pub Narosa. House, India, 1986, págs. 21-27.

10 Larson, Dewey B., Nada más que movimiento, PNP, 1979, pág. 155.

6.1 Relaciones de calor específicas

Citando a Larson, "...la relación entre temperatura y energía depende de las características del proceso de transmisión. La radiación se origina tridimensionalmente en la región temporal y entra en contacto unidimensionalmente en la región exterior. Por tanto, es tetradimensional, mientras que la temperatura es sólo unidimensional. Así encontramos que la energía de la radiación es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura, $E_{rad} = K \cdot T^4$."¹¹

Hemos visto anteriormente que el fenómeno de birotación del par de electrones es idéntico al de la birotación de fotones (excepto por la ausencia de la base de rotación en este último). En consecuencia, la energía de la región temporal asociada con los pares de electrones es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura. Por lo tanto, considerando la unidad de volumen del material, la expresión de la energía térmica en el estado superconductor se puede escribir como

$E_s = K_s \times T^4$ (1) donde K_s es una constante y el sufijo s denota el estado superconductor. Derivando esta ecuación se obtiene la expresión del calor específico en el estado superconductor,

$$C_s = 4 \times K_s \times T^3 \quad (2)$$

Esta relación cúbica se confirma experimentalmente.

Continuando con la cita de Larson: "El movimiento térmico que se origina dentro de una unidad de distancia también es tetradimensional en el proceso de transmisión de energía. Sin embargo, este movimiento no se transmite directamente, aunque la oscilación térmica es idéntica a la oscilación del fotón; se diferencia en que su dirección es colineal con la progresión del sistema de referencia natural y no perpendicular a él. "La transmisión es un proceso de contacto... sujeto a la relación interregional general explicada anteriormente. En lugar de $E = K T^4$, como en la radiación, el movimiento térmico es $E_2 = K' T^4$ ",¹² es decir,

$$E_n = K_n \times T^2 \quad (3)$$

donde K_n es una constante y el sufijo n denota el estado normal. Esto, por supuesto, da la relación lineal entre el calor específico normal C_n y la temperatura que Larson utiliza en sus cálculos.¹²

$$C_n = 2 \times K_n \times T \quad (4)$$

Sabemos que la entropía de ambos estados, S_n y S_s , debe ser igual tanto en T_c como en 0 kelvin (según la tercera ley de la termodinámica). Usando $dS = dE/T$, tenemos de las Ecuaciones (1) y (3),

$$S_s(T) = \int_0^T 4 \times K_s \times T^2 \times dT = (4/3) \times K_s \times T^3 \quad (5)$$

$$S_n = \int_0^T 2 \times K_n \times dT = 2 \times K_n \times T \quad (6)$$

En $T = T_c$ tenemos $S_s(T_c) = S_n(T_c)$ lo que da

$$K_s = \frac{(3 \times K_n)}{(2 \times T_c^2)} \quad (7)$$

¹¹ Larson, Dewey B., Propiedades básicas de la materia, op. cit., pág. 57.

¹² Ibíd., pág. 58.

Superconductividad: un fenómeno de región temporal

Usando las ecuaciones (2), (4) y (7), ahora podemos encontrar que en la transición el exceso de calor específico viene dado por

$$C_s - C_n = 6 k_B T_c - 2 k_B T \quad c = 4 k_B T \quad c = 2 C_n \quad (8)$$

El resultado anterior se corrobora experimentalmente.

6.2 Campo magnético externo

Por debajo de la temperatura crítica T_c , la superconductividad se apaga aplicando un campo magnético externo de intensidad mayor que el valor crítico H_c . Las relaciones de cuarta potencia y segunda potencia, ecuaciones (1) y (3) respectivamente, pertenecientes a las dos regiones a través del límite, nos llevan al resultado (ver Sección 7).

$$\frac{[H_c(T)]}{[H_c(0)]} = 1 - \left(\frac{T}{T_c}\right)^2 \quad (9)$$

donde $H_c(T)$ es el campo magnético crítico que apaga la superconductividad a la temperatura T (menor que T_c).

Esta es la conocida relación parabólica que se cumple especialmente en el caso de todos los materiales superconductores blandos (Tipo I). Por supuesto, un tratamiento más riguroso debería tener en cuenta la probabilidad de existencia de algunos electrones desapareados a temperaturas superiores a 0 kelvin. Los materiales superconductores de Tipo II presentan un estado mixto que no podemos considerar en un estudio preliminar como el presente.

7 Dependencia de la temperatura del campo crítico

A la temperatura de transición T , bajo un campo magnético externo H_c , la condición de equilibrio es la igualdad de las energías libres F_n y F_s de los estados normal y superconductor respectivamente.¹³ Considerando la variación de las energías libres con la temperatura podemos escribir

$$dF_n = dF_s \quad (10)$$

Ya que por definición

$$dF = -SdT - BdH \quad (11)$$

con S como entropía y B la inducción magnética, tenemos

$$-S_n dT - B_n dH = -S_s dT - B_s dH \quad (12)$$

o

$$(B_s - B_n) dH = (S_n - S_s) dT \quad (13)$$

Podemos suponer que el material es sólo débilmente magnético en el estado normal y, por tanto, omitir el término B_n . Dado que en el estado superconductor el material actúa como un diamagnético perfecto, podemos tomar

$$B_s = -\mu_0 H \quad (14)$$

donde μ_0 es la permeabilidad. Usando las ecuaciones (14), (5), (6) y (7), obtenemos de la Ecuación (13)

¹³ Duzer TV. & Turner CW., Principios de circuitos y dispositivos superconductores, Elsevier Pub., Nueva York, EE. UU., 1981, Capítulo 6.

$$-\int_{H_c}^0 \mu_0 H dH = \int_{T_c}^T [2KnT - \frac{(2 \text{ nudos}^3)}{tc^2}] dt \quad (15)$$

ya que en el límite $T = T_c$, $H_c = 0$. Realizando la integración y simplificando,

$$\mu_0 H_c^2(T) = Kn T_c^2 \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right] \quad (\text{dieciséis})$$

Para $T = 0^\circ \text{ K}$ esto da

$$2 \mu_0 H_c^2 = Kn T_c^2 \quad (17)$$

Sustituyendo de la Ecuación (17) en la Ecuación (16) y sacando la raíz cuadrada, finalmente obtenemos

$$\frac{H_c(T)}{H_c(0)} = \sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2} \quad (18)$$

8 Conclusión

La explicación anterior de la superconductividad añade un elemento más que demuestra la coherencia y generalidad del sistema recíproco de la teoría. Se ha demostrado que la aparente inversión de dirección, desde el punto de vista del sistema de referencia espacial tridimensional estacionario, que tiene lugar cuando el movimiento escalar que constituye un fenómeno cruza un límite unitario de algún tipo subyace a la explicación de fenómenos tan diversos. como las enanas blancas, los cuásares, la cohesión en sólidos, las manchas solares y el ferromagnetismo. En el presente artículo ampliamos esta explicación también al fenómeno de la superconductividad. La superconductividad es el resultado del movimiento de los electrones (espacio de rotación) que ingresa a la región del tiempo y se convierte en una birotación.

- la formación de pares de electrones,
- la no localidad del emparejamiento,
- la resistencia eléctrica nula, • la expulsión del campo magnético, • el cambio abrupto en el calor específico en la transición, • la forma de variación del campo crítico con temperatura,

Se ha demostrado que todos estos se derivan lógicamente de la teoría.