

New theory on superconductivity

Daehyeon KANG

29-6 Sangyeog-ro, Jinan-eup, Jinan-gun,
North Jeolla Province, Korea 2019.07.12

samplemoon@korea.kr

Abstract

고체에 초전도가 발생하는 기본조건을 만족하는 전자의 에너지준위밴드를 설정하고 이 에너지준위밴드를 가지고 여러 가지 초전도현상을 설명한다.

Define the conduction band that has the basic conditions under which the superconductivity in the solid occurs. With this conduction band, several superconducting phenomena are described.

새로운 초전도 이론

(1). 초전도의 개괄

1911년 온네스에 의해 수은이 4.2K이하 온도에서 초전도현상이 있다는 걸 처음 알아낸다.

1933년 마이스너효과가 발견되어 초전도의 기본이 자기장 배척과 전기저항 제로가 되었다.

1950년에 수은초전도체가 동위원소에 따라 초전도전이온도가 변한다는 사실이 처음 밝혀진다.

수은외에도 몇개의 원소 초전도체에서 동위원소효과가 잘 나타나는데 이들 몇몇원소를 제외한 도체에서는 동위원소효과가 아주 작거나 없다고 알려져 있다.

1957년 bcs이론이 출현한다. 이 이론의 주요내용은 2개의 전자가 포논을 매개로 인력이 작용하여 페르미 준위 상층에 에너지 갭을 발생시키며 이 갭이 결정격자의 진동수에 비례한다는 것을 보여주었다.

그리고 2개의 전자가 동시에 운동하며 초전도 현상을 일으킨다는 것이다. 그런데, 이 이론은 초전도체에서 전기저항이 어떻게 “제로”가 되는지 설명은 없으나, 초전도갭이나 비열, 동위원소효과 등을 설명하고 1961년 초전도체의 고리에서 자기선속이 양자화되는 단위값이 $hc/2e$ 로 측정되면서 이른바 전자(쿠퍼)쌍 개념이 확고해졌다고 인정되는 듯 하였다.

그러나 1986년 세라믹계열 고체에서 bcs이론이 예측하는 임계온도를 뛰어넘는 36K에서 초전도현상이 관측되고 얼마후 100K가 넘는 초전도체가 발견되면서 1980년대 후반이후 한때 초전도광풍이 일어나기도 했다.

고온초전도체에서 동위원소효과는 거의 없으나 자속양자 측정값이 $hc/2e$ 임이 알려지면서 전자쌍을 묶어주는 매개체가 무엇인지 찾는 연구가 진행 중이나 성과는 없어 보인다.

2010년 이후에 패러데이의 전자기유도 법칙에서 이론적으로 자속양자 측정값 $hc/2e$ 가 유도되어 자속양자를 해석에 오류가 알려지는데, 측정된 자속양자값은 전자쌍이 아닌 개별 전자에서 기인한다는 것이다.

이미 알려진 초전도임계온도 165K를 넘어 2015년 초고압에서 황화수소가 203K, 2019년 5월 란타늄수소에서 250K 임계온도 초전도현상을 나타나면서 상온초전도에 대한 기대감을 갖게하고 있다.

(2) 현재 초전도이론의 요약 및 문제점

○ 이론의 요점

- 1957년 바딘,쿠퍼,슈리퍼 3명이 창안한 이론이다.

고체 내의 전자 2개가 포논(결정격자 진동)을 매개로 전기적 척력을 이겨내고 전자쌍을 만드는 데, 2개의 전자가 알짜인력을 갖는다고 가정을 하고 이론을 전개한다. 이 알짜인력 때문에 디바 이 진동수에 비례하는 초전도갭이 만들어지며 이점 때문에 초전도체의 임계온도에 동위원소효과가 있는 것이며 1961년 초전도체 환을 통과하는 자기선속량이 $hc/2e$ 의 정수배로 측정이 되었고 그 시절의 상황에서 이론이 초전도현상을 설명하는 것으로 인정이 되었다. 그리고 전자쌍이 동시 집단적으로 움직여 전기저항이 없다는 내용이다.

○ 문제점

- 전자(쿠퍼)쌍이 존재하는가 하는 의문이 든다. 전자2개가 알짜인력이 있어서 전자쌍을 만든다면 구리,은,금 이런 금속은 초전도가 안되는 건지 설명하기가 곤란하다. 보통 금속에서 전자의 운동 에너지는 수전자볼트 정도인데 이렇게 큰 에너지를 갖는 전자를 2개씩 묶을 정도의 알짜인력이 어떻게 발생하는 지 납득이 안 간다. 더군다나 결정격자의 전기적 인력을 받는 상황에서 전자의 운동에너지가 수전자볼트인 상황이라 납득이 더 안되는 것이다.

측정된 자기선속 양자값 $hc/2e$ 을 1961년 당시에 2개의 전자가 한몸처럼 운동한다는 논리로 쿠퍼쌍에 유리하게 보았으나 2010년대에 들어와 패러데이 전자기유도법칙에서 개별전자의 운동에 의한 것으로 명백하게 증명되면서 상황이 달라져 결정적으로 불리하게 되었다.

- 전자(쿠퍼)쌍 이론은 날카로운 비열곡선을 설명할 수 있으나 임계온도이하에서 초전도체의 발열량에 대한 설명이 너무 어렵다.

자기장의 초전도체 침투깊이로부터 초전도전자의 농도는 원자 1개당 1개정도이다.

측정된 초전도체의 비열곡선에서 얻어지는 발열량은

초전도갭 \times 원자1몰당 초전도전자수 \times 원자1몰 = 10의 20승 전자볼트정도로 계산되는데 실제 측정된 수치와 비교하면 100배 정도로 너무나 크다. 이걸 전자쌍이 없다는 결정적 증거 중에 하나다. 이걸 초전도갭만큼 에너지를 방출하는 전자가 원자100개당 1개이하라는 뜻으로 전자쌍이론에 치명적인 것이다.

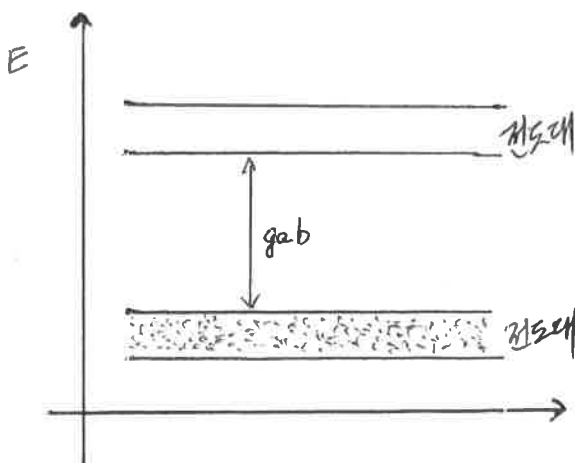
- 초전도체의 임계온도에 대한 동위원소효과가 얼마 안되는 초전도체에서 나타난다.

발견된 초전도체 종류가 1000종이 넘는데, 효과가 있다고 할만한 것이 10종 내외라 한다. 전체의 1% 정도에서 동위원소효과가 나타난다는 것이다.

이런 상황인데 전자쌍이론처럼 초전도갭이 디바이진동수에 비례한다고 하면 논리적으로 안맞다. 전체의 1%에서 보이는 동위원소효과가 나머지 99%에선 원자량이 변할 때 왜 이 효과가 없는지 설명하기보다는 차라리 본래는 동위원소효과가 없어야 하는데 가뭇에 콩나듯 소수의 초전도체에서 동위원소효과가 있는 이유를 설명하는 것이 훨씬 더 쉬워보인다.

초전도갭이 결정격자에 영향을 받기는 하지만 결정격자진동과는 직접적인 관계는 아니라는 뜻으로 추정된다. 우라늄같은 경우 초전도임계온도 변화가 3배인 경우도 있는 걸로 봐서 디바이진동수는 아니라고 보여진다.

(3) 새로운 초전도 이론



(3)-1 초전도 기본조건.

왼쪽 그림처럼 고체에서 초전도성이 나타나는 조건은 고체 내의 전자의 에너지준위 밴드에 의한 것이다.

밴드는 2개의 전도대가 에너지 준위상 위, 아래로 있고 아래쪽 전도대를 온도 0K에서 빈상태없이 채울 수 있는 만큼 전자가 있어야 하고 위에 밴드는 비어야 한다.

그리고 위아래 전도대 사이에 에너지 갭이 있어야 한다.

(3)-2 위의 기본조건으로부터 초전도체에서 나타나는 현상을 설명할 수 있다.

가. 전기저항 제로원인 :

아래 쪽 전도대를 전자가 빈상태없이 꽉 채우기 때문이다. 이 상황에서는 전자들이 포논이나 광자들과 상호작용해서 에너지를 주고받을 수 없다. 그러므로 갭보다 작은 에너지를 가진 포논이나 광자는 자유전자를 그냥 지나친다. 그래서 전류는 전기저항이 없다.

이 내용을 양자역학에서 사용하는 페르미골덴룰(Fermi's golden rule)로 보여줄 수가 있다.

나. 초전도체의 임계온도이하 발열량 :

임계온도는 전기저항이 제로인 온도를 가리킨다. 기본조건에서 아래 전도대를 전자가 거의 다 채워야 비로서 임계온도가 되는데 임계온도이하에서 얼마 안되는 전자들이 갭만큼 에너지를 방출하며 아래 전도대로 내려오며 빈상태없이 채운다. 따라서 에너지방출량이 아주 작다.

그리고 임계온도 근처의 비열곡선의 피크도 설명이 되고 그러면서도 대다수의 전자들이 초전도 상태가 되므로 금속초전도체의 자기장침투깊이에서 얻어진 초전도전자농도를 설명할 수 있다.

다. 금,은,구리 금속은 초전도성이 없는 이유 :

S오비탈에 전자1개가 들어가는 전도대로 전자로 꽉 채울 수 있는 경우가 아니다.

페르미골덴룰에 따라 전기저항이 제로가 될 수 없다.

라. 임계온도의 동위원소효과 설명 :

위아래 전도대 사이의 갭은 원자사이의 거리에 따라 변하는데 일반적으로 원자사이의 거리는 원자사이의 포텐셜이 조화진동포텐셜에서 벗어나야 변동이 일어나는데 대부분 물질에서 조화 포텐셜에 가까워 원자량의 변화로 결정격자의 진동수가 변해 에너지준위가 달라져도 원자사이의 거리에 변화가 없고 따라서 초전도갭도 변화가 없다고 보면 된다.

이런 이유로 1000종 이상의 초전도체가 존재하지만 극히 일부에서 효과가 나타난다.

보통 고체의 온도에 따라 결정격자의 에너지 준위가 변해 고체의 길이가 줄어들거나 늘어나는 것으로 알고 있지만 원자량의 변화(동위원소)로 에너지 준위가 변하므로 원자사이에 거리가 변동할 수 있다는 점에 유의할 필요가 있다.

마. 초전도밴드의 형성 과정에 의한 효과 :

물질마다 전도대가 형성되는 요인이 달라서 초전도임계온도와 갭 사이에 일정한 비율이 있다고 보기는 어렵다. 어떤 경로를 거쳐 전도대가 되든 위의 "초전도기본조건"을 만족하면 초전도가 되므로 초전도체를 제조할 때, 술이나 물에 넣거나, 서서히 식히거나, 압력을 가하거나 박막형태거나 어떤 방법으로 하든 전도대가 만들어지는 방법은 다양할 수 있다.

초전도임계온도 동위원소효과도 엄밀히 보면 원자질량이 바뀌면 원자사이의 거리가 변하면서 전도대가 형성되는 온도가 달라지는 경우에 해당할 수도 있다.

2015년경에 알려진 고압(197GPa)하에서 황화수소가 초전도현상을 보이는데 황화수소보다 황화중수소가 초전도임계온도에서 확연하게 높은 이유도 초전도밴드의 형성과정에 있다고 보여진다.

바. 초전도체 고리에서 자기선속 양자화 단위값 : $hc/2e$

자기선속이 측정된 1960년대부터 $hc/2e$ 는 2개의 전자가 전자쌍을 이루어 한몸처럼 고체 내에서 움직이는 증거로 여겨져왔다. 1986년 처음 발견된 산화물초전도체에서 자기선속 양자값 역시 금속 초전도체에서 측정된 것과 일치한다. 따라서 전자(쿠퍼)쌍을 만든다는 매개체 포논대신 다른“뭔가”를 찾으려고 30년 넘게 오랜세월 노력을 했으나 누구도 찾지를 못했다.

왜 그런가....사실은 측정된 자속양자값을 해석하는 데 쓰이는 방정식에 대한 인식오류였다.

페러데이의 전자기유도법칙에서 자기선속양자값이 처음 유도된 것은 2004년 3월이었다.

여기에서 측정된 자기선속 양자값이 보여주는 것은 초전도체 내의 전자들은 전자쌍을 이루어 운동하는 것이 아니고 개별적으로 전자가 홀로 운동한다는 것을 분명하게 보여준다는 것이다.

이미 오랜기간 엄격하게 검증된 전자기학,양자론,고전역학에 의해 이끌어 나온 이런 결과에 맞서는 전자쌍 개념에 동조할 이유가 없다.

초전도체에 전자(쿠퍼)쌍은 존재하지 않는 것이다.

(4) 에필로그

1989년 무렵에 처음 초전도이론을 보게되었다. 당시의 초전도열풍에 관심을 가지게 되었다.

초전도체에 전자가 2개씩 짝을 지은 전자쌍들이 동시에 움직여서 초전도현상이 나타난다는 것이다. 이리하여 초전도분야 공부가 시작되었던 것이다.

고체물리는 특정현상을 설명하는데 있어서 물리학의 어느 법칙을 사용해야하는 지 어렵다.

그러다보니 비교적 단순해보이는 자속양자화에 먼저 관심을 가지게 되었다.

어디를 봐도 자속양자는 2개의 전자가 한몸처럼 운동하므로 나타나는 현상이라한다. 이미 나와있는 것은 $P = mv + (e/c)A$ 방정식으로 플럭소이드라는 것이 보어의 양자조건을 이용해서 자기선속이 양자화된다는 증명을 1960년대 부터 사용한 것 같다. 플럭소이드라는 개념이 아주 그럴듯하니까 처음엔 잘 맞는다고 보았지만, 하이젠베르크의 불확정원리에 어긋나는 문제를 알게되었다.

실마리는 페러데이의 전자기유도법칙에서 나왔다. 초보적인 형태로 1996년에 알게 되었는데 서광이 비친 것이다. 그러나 완전하지는 않았다.

아주 긴 세월을 걸쳐 추려보니 벡터포텐셜(A)를 가진 방정식은 3가지가 있었다. 이 3가지에서 같은 결론이 나와야 했다. 그래야 물리학적 관점에서 일관성이 있는 것이라고 생각했다.

2004년 3월이 되면서 2가지 방정식에서 같은 결과가 나왔고 물리현상과 어떻게 대응되는지 아주

명백해졌다. 게이지불변원리에서 얻어진 파동함수형태의 방정식은 2017년경에 해결되었다. 2004년 경에 초전도체에서 측정된 자속양자값이 개별전자의 운동에서 비롯된 것이라는 점이 아주 명백해지면서 전자(쿠퍼)쌍 개념을 버렸다.

그와 동시에 전기저항제로나 초전도갭, 초전도체의 비열곡선, 발열량 등을 어떻게 설명해야 하는지 고민이 더욱 커졌다. 고온초전도체의 특성이 결정적인 영향을 미쳤다. 초전도체를 만들 때 고온으로 가열하고 식히는데 걸리는 시간 차이로도 초전도임계온도가 달라진다는 점이 강하게 와 닿았다. 이걸 누가봐도 고체에 있는 전자의 에너지준위 밴드와 직접적으로 관련이 있다고 보았다.

그러면서 전도대는 에너지 준위가 높은 것과 낮은 것 2개가 있고 둘 사이에 에너지 갭이 있어야 하고 준위상 낮은 전도대를 짝 채울 자유전자가 있어야 설명할 수 있다는 것을 알게 되었다. 초전도를 일으키는 고체의 전자에너지밴드는 라만산란실험이나 발열량, 비열곡선피크, 초전도전자농도 등을 참고해서 만든 것인데, 긴 시간동안 고체분야 책을 보며 공부를 많이 해야했다.

고체의 전자의 에너지준위 밴드는 결정격자를 구성하는 원자의 특성이 반영되므로 관찰되는 동위원소 효과를 설명하기에 아주 편리하다는 점을 인식하게 되었다.

온도에 따라 결정격자의 진동에너지 준위가 상승하면 원자 간의 포텐셜이 비대칭일 경우 원자사이의 거리는 늘어나거나 줄어들 수 있다. 일반적으로 온도가 오르면 늘어난다.

동위원소효과도 원자량이 다른 동종원소로 대체되면 에너지준위가 달라진다. 온도가 오르내리는 것과 동일하여 원자사이의 거리가 늘거나 줄게 된다. 거리변화로 위아래 전도대 사이의 갭에 변동이 오고 초전도임계온도가 변동이 된다. 이리므로 원자량이 변하면 갭이 변하는데 둘 사이에 일정한 비율이 있기는 어렵다.

다만 고체의 초전도는 전자밴드에 의한 것이므로 동위원소효과는 원자사이의 거리변화로 초전도를 일으키는 에너지준위밴드가 형성되는 시점에 변동을 줄 수가 있다. 고체 내의 전도대가 다양한 이유로 변동되므로 초전도임계온도 변화가 결정격자 진동수로 관련지어 예상한 것보다 상당히 크다. 이제 초전도는 해결되었기를 기대해본다.

참고문헌

- [1] S. Gasiorowicz *Quantum physics chapter 22*, John Wiley and Sons, Inc.
- [2] [viXra:1402.0011](#)
Theoretical Study of Zero Electrical Resistance in Superconductor
- [3] [viXra:1305.0172](#)
Theoretical Study of Quantization of Magnetic Flux in a Superconducting Ring
- [4] Charles Kittel, *Introduction to Solid State Physics* 7th ed. (John Wiley & Sons Inc, New York, 1996),