

## MỘT PHÁT HIỆN MỚI VỀ BẢN CHẤT CỦA HIỆN TƯỢNG SIÊU DẪN

Vũ Huy Toàn

Công ty cổ phần CONINCO-MI, 4 Tôn Thất Tùng, Hà Nội.

Email: [yuhuytoan@conincomi.vn](mailto:yuhuytoan@conincomi.vn)

**Tóm tắt:** Xuất phát từ việc xem xét lại bản chất của dòng điện trong kim loại nói riêng và trong chất rắn nói chung, tác giả đã tìm ra được bản chất thực của dòng điện – ở đây không phải là dòng các điện tử tự do, mà chỉ là dòng của các điện tử dẫn nối tiếp từ nguyên tử này sang nguyên tử khác khi có tác động của điện trường ngoài. Kết hợp với quan niệm mới về chuyển động theo quán tính là dạng chuyển động không tiêu tốn năng lượng, tương tự như chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo tròn xung quanh Trái đất, của các hành tinh xung quanh ngôi sao, tác giả đã khám phá ra bản chất của hiện tượng siêu dẫn với mọi thang nhiệt độ. Từ đây, bí ẩn của hiện tượng siêu dẫn nhiệt độ cao cũng được lộ diện, mở ra khả năng chế tạo vật liệu siêu dẫn nhiệt độ phòng.

**Từ khoá:** Vật liệu siêu dẫn, bản chất dòng điện trong kim loại, điện tử dẫn.

### MỞ ĐẦU

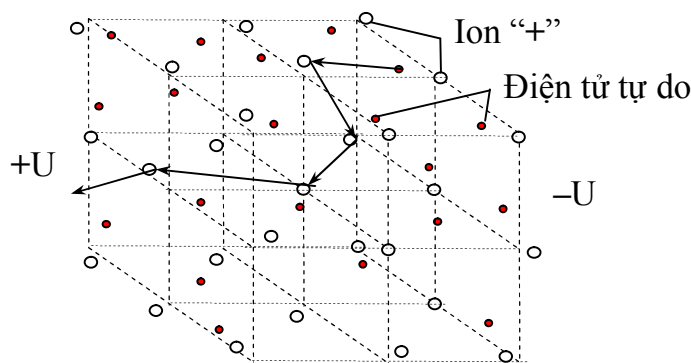
Mặc dù chất siêu dẫn đã được phát hiện ra từ hơn một thế kỷ trước, nhưng bản chất của hiện tượng này cho đến nay vẫn còn là một bí ẩn, vì về mặt lý thuyết, người ta vẫn chưa thể giải thích được thoả đáng chất siêu dẫn thực tế hoạt động như thế nào? Lý thuyết BCS (Bardeen-Cooper-Schrieffer) dường như có thể giải đáp được hiện tượng siêu dẫn ở nhiệt độ thấp  $< 30\text{ K}$  [1], nhưng lại bất lực trước hiện tượng siêu dẫn ở nhiệt độ cao hơn. Những lý thuyết được đề xuất về sau này, ví dụ B. Edegger [2] dựa trên những ý tưởng của A. Abrikosov, J. Leggett, V. L. Ginzburg [3] từ những năm 1950, cũng không thể dự đoán được gì ở nhiệt độ cho tới  $135\text{ K}$  ở áp suất thường và  $164\text{ K}$  ở áp suất cao mà thực nghiệm đã đạt được [4, 5] và hơn thế nữa là ở nhiệt độ phòng – điều mà các nhà vật lý thực nghiệm đang muốn cố hướng tới [6]. Và không chỉ có thế, lại phải đòi hỏi thêm một hay vài lý thuyết khác nữa để giải thích cơ chế hoạt động của chúng? Vì giờ đây, vật liệu siêu dẫn không những chỉ có kim loại mà cả bán dẫn như silicon, thậm chí còn là chất cách điện như gốm, hydrogên – là những vật liệu không chứa các điện tử tự do để có thể “kết cặp Cooper” như lý thuyết mong đợi?

Đồng hành với siêu dẫn là hiệu ứng Meissner – là hiện tượng liên quan tới các biến đổi từ tính dị thường của vật liệu khi đạt tới trạng thái siêu dẫn và được giải thích theo kiểu cổ điển, độc lập với các lý thuyết lượng tử về siêu dẫn [5]. Tại sao cách giải thích mỗi hiện tượng lại mỗi kiểu, cho dù có chung một bản chất là siêu dẫn thế? Như thế liệu có thỏa đáng không?

Tóm lại, bản chất của hiện tượng siêu dẫn này thật ra là gì, cho đến nay, vẫn còn là vấn đề tồn đọng và chính vì vậy, việc nghiên cứu chế tạo các vật liệu siêu dẫn suốt 100 năm qua chỉ trông chờ chủ yếu vào thực nghiệm theo kiểu mò mẫm, chưa có một lý thuyết nền tảng thật sự dẫn dắt. Việc giải quyết bế tắc đó chính là nội dung báo cáo này đề cập tới. Nhưng để đạt được mục đích đó, chúng ta hãy tạm quên đi vật lý lượng tử với mô hình chuẩn, vì nó đã thực sự bất lực, mà sẽ dựa trên một quan niệm hoàn toàn khác, rất lành mạnh: Không có lưỡng tính sóng-hạt, không có những quỹ đạo dừng của điện tử trong nguyên tử, không có những “đám mây” nơi điện tử thoát ẩn, thoát hiện, không phân biệt vi mô (nguyên tử, hạ nguyên tử) hay vĩ mô (từ phân tử tới các thiên hà)... Tất cả chúng đều chỉ tuân theo một nguyên lý chung đã được tác giả trình bày tại [7] và định luật quán tính tổng quát tại [8].

### NHỮNG BẤT CẬP CỦA MÔ HÌNH DÒNG ĐIỆN TRONG KIM LOẠI

Ta hãy bắt đầu xem xét ví dụ một mạng tinh thể (biểu diễn bởi các đường nét đứt) như trên Hình 1 trong đó, các ion “+” dao động xung quanh các nút mạng, còn các điện tử tự do chuyển động hỗn loạn giữa các ion đó.



Hình 1. Mô hình dòng điện trong kim loại

Dòng điện trong kim loại được cho là do các điện tử tự do gây nên dưới tác động của điện trường ngoài ( $\pm U$ ) và trong quá trình chuyển động, chúng va chạm với các ion đó trong mạng tinh thể (xem các mũi tên) gây nên điện trở. Nhiệt độ càng cao, mạng tinh thể dao động càng mạnh, xác suất va chạm càng

lớn dẫn đến điện trở càng lớn. Bên cạnh những ưu điểm về khả năng ứng dụng để giải quyết các bài toán thực tế, mô hình này chứa đựng rất nhiều bất cập [10], chủ yếu là:

*Thứ nhất*, không giải thích được vì sao hai dây dẫn có dòng điện chạy qua lại tương tác được với nhau theo lực Lorenz? Nếu dòng điện là dòng của các điện tử tự do thì bằng cách nào mà 2 dòng điện đẩy nhau hay hút nhau lại kéo theo chúng là cả mạng tinh thể của dây dẫn nữa? Nếu đã kéo theo được cả mạng tinh thể theo chúng thì các điện tử tạo nên dòng điện này đâu có thể “tự do”? Trái lại, chúng phải có mối liên kết rất chặt chẽ với mạng tinh thể là đằng khác? Thậm chí cứ cho rằng dòng các điện tử chuyển động này sinh ra từ trường, rồi các từ trường mới tương tác với nhau thì cũng vẫn thế thôi: Từ trường này liên kết thế nào với mạng tinh thể của dây dẫn một khi điện tử đã thoát khỏi ảnh hưởng của nguyên tử để trở thành “tự do”?

*Thứ hai*, khi ở trong nguyên tử, các điện tử chuyển động với tốc độ cực lớn: Cỡ hàng trăm tới hàng ngàn km/s. Do đó, muốn trở thành “tự do”, chúng phải chuyển động nhanh hơn nữa mới thắng được lực hút của hạt nhân và rời xa nó (vì nếu chuyển động chậm hơn thì phải có chỗ cho những quỹ đạo ở xa hạt nhân hơn, mà trong mạng tinh thể chất rắn lại không có chỗ để chứa các quỹ đạo đó!). Nhưng với tốc độ lớn như thế, tại sao các điện tử “tự do” lại không khuếch tán vào môi trường xung quanh, thậm chí ngay cả khi môi trường chỉ còn là chân không, không còn bất cứ môi chất nào cản trở chuyển động của nó? Có nghĩa là lẽ ra đưa một tấm kim loại vào bình chân không thì nó sẽ phải tích điện dương “+”, vì các điện tích tự do với tốc độ  $10^5$  m/s sẽ không thể nào ở lại trong kim loại được? Còn nếu chúng vẫn ở lại trong kim loại thì điều gì ngăn cản chúng không lao vào hạt nhân nguyên tử và nằm yên lại?

*Thứ ba*, lực tương tác giữa các điện tích điểm  $q_1, q_2$  theo định luật Coulomb là tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách:

$$F_C = k_C \frac{q_1 q_2}{R^2}, \quad (1)$$

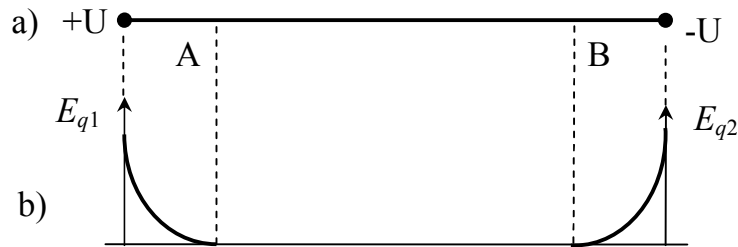
ở đây  $k_C$  – hằng số điện tĩnh;  $R$  – khoảng cách giữa 2 điện tích điểm. Nếu chia cả hai vế của (1) cho  $q_2$ , ta có cường độ điện trường  $E$  do điện tích  $q_1$  tạo ra:

$$E_{q_1} = \frac{F_C}{q_2} = k_C \frac{q_1}{R^2}. \quad (2)$$

Tương tự như vậy với điện tích  $q_2$ , ta cũng có:

$$E_{q_2} = \frac{F_C}{q_1} = k_C \frac{q_2}{R^2} \quad (3)$$

Khi khoảng cách giữa các điện tích lớn hơn rất nhiều lần kích thước của các vật tích điện, các điện tích tương ứng cũng có thể coi là các điện tích điểm. Trên thực tế, các dây dẫn điện có tiết diện rất nhỏ trong khi chiều dài có thể lớn hơn cả chục ngàn lần nên chúng thỏa mãn điều kiện này. Nếu bây giờ nối hai đầu của dây dẫn với hai cực của nguồn điện  $\pm U$  như trên Hình 2a, ta có thể thấy cường độ điện trường dọc dây dẫn có dạng tỷ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tới các đầu dây dẫn theo các biểu thức (2) và (3) và được biểu diễn trên Hình 2b.



Hình 2. Phân bố cường độ điện trường dọc theo chiều dài dây dẫn điện

Đó là còn chưa nói tới một thực tế là dây dẫn vốn trung hoà về điện và các nguyên tử tạo nên dây dẫn cũng là các phân tử trung hoà về điện khi xem xét chúng từ khoảng cách lớn hơn hàng chục, hàng trăm lần kích thước nguyên tử (tức  $10^{-9} \div 10^{-8}$  m). Vậy, bằng cách nào mà các nguyên tử trung hoà này có thể tương tác được với các điện tích từ hai cực của nguồn điện ở cự ly còn lớn hơn khoảng cách đó hàng triệu, hàng tỷ lần (tùy thuộc vào chiều dài dây dẫn)? Từ đây cho thấy chỉ có đoạn đầu và cuối dây dẫn là chịu ảnh hưởng của điện trường, còn ở khoảng giữa (đoạn AB) bao gồm những ion “+” và các điện tử vây quanh cũng chẳng khác gì các nguyên tử trung hoà (đối với điện trường  $\pm U$ ), tức là tương tác của điện trường với chúng bằng không, nên các điện tử vẫn chỉ chuyển động hỗn loạn? Khi đó, làm sao có được dòng điện duy trì thường xuyên và như nhau trên toàn bộ tiết diện của dây dẫn? Kể cả việc đã tính đến khả năng tại đầu âm của nguồn điện ( $-U$ ) luôn luôn cung cấp một số lượng nhất định các điện tử vào cho dây dẫn thì chúng cũng chỉ có động năng ban đầu do tác dụng của điện trường thôi, còn sau đó, chúng vẫn chuyển động tự do?

*Thứ tư*, khi xảy ra hiện tượng siêu dẫn, điện trở của dây dẫn có đúng là bằng 0 hay có một giá trị nào đó cho dù là rất nhỏ? Vì rõ ràng nếu quả thực điện trở mà bằng 0 thì dường như có thể dùng một dây dẫn có tiết diện rất nhỏ để tải một dòng điện lớn bao nhiêu tùy ý? Lý thuyết BCS không chỉ ra được và cũng chẳng có lý thuyết nào đến nay chỉ ra được giá trị điện trở tới hạn này.

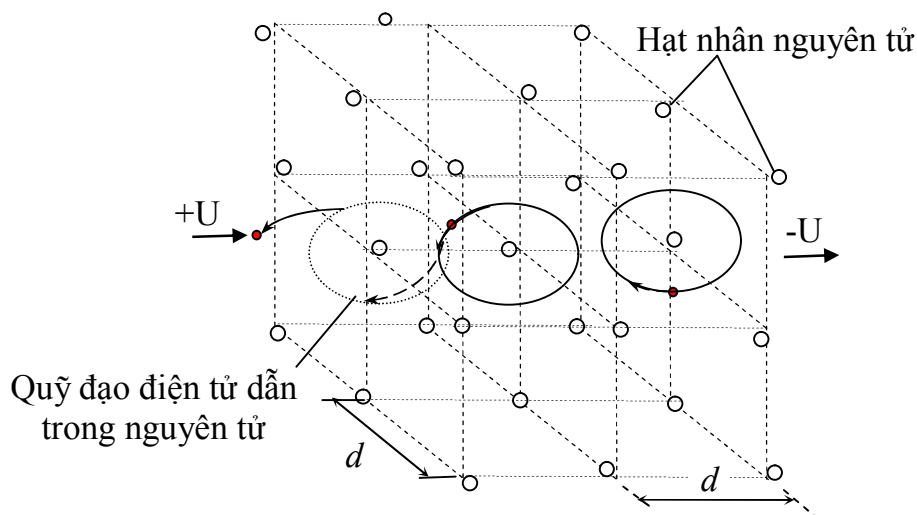
Từ trước tới nay, dòng điện trong chất rắn tuân theo 3 mô hình hoàn toàn khác nhau: Đối với kim loại là chuyển động của các điện tử tự do; đối với chất điện môi (cách điện) là sự phân cực của các dipole; đối với chất bán dẫn là sự chuyển dịch của các “lỗ trống” và điện tử. Phải chăng đây chính là nguyên nhân cơ bản khiến cho lý thuyết về siêu dẫn đã 100 năm nay không có được bước tiến đột phá căn bản nào mà chủ yếu chỉ chạy theo đuôi thực nghiệm? Có một thực tế là cả ba dạng vật liệu đó đều có thể đạt tới trạng thái siêu dẫn, bất luận bản chất dòng điện trong đó có là gì! Liệu có phải thực ra dòng điện trong mọi chất rắn đều có chung một bản chất hay không? Vì xét cho cùng, tất cả chúng đều có một điểm chung đó là đều có cấu trúc mạng tinh thể? – Đây thực sự là một gợi ý đáng để suy ngẫm?

### **BẢN CHẤT THỰC CỦA DÒNG ĐIỆN TRONG KIM LOẠI VÀ CHẤT RẮN**

Hãy chấp nhận một mô hình hoàn toàn tự nhiên ban đầu của kim loại như được thể hiện trên Hình 3. So với mô hình truyền thống trên Hình 1, nó có một điểm khác biệt cơ bản ở chỗ, tất cả các nguyên tử đều trong trạng thái trung hòa về điện, vì vậy, không có điện tử nào của chúng bị thoát ra thành điện tử tự do cả. Khi đó, bất cập thứ hai đã nói về trạng thái không xác định của các điện tử tự do đương nhiên cũng không còn nữa. Khi không có điện trường ngoài, các điện tử vẫn chuyển động theo quỹ đạo của mình trong nguyên tử; (trên Hình 3, không mô tả đầy đủ mà chỉ thể hiện vài hình elip tượng trưng để đỡ rối). Bản thân các nguyên tử lại dao động nhiệt xung quanh vị trí cân bằng là các nút mạng dẫn tới việc các quỹ đạo của các điện tử dẫn (là các điện tử ở quỹ đạo ngoài cùng) của hai nguyên tử liền kề có cơ hội lúc tiếp xúc được với nhau (xem hình elip thứ nhất và thứ hai từ trái qua phải).

Khi đưa điện trường ngoài vào, những điện tử dẫn của các nguyên tử gần nhất với điện cực “+” của nguồn điện (xem elip thứ nhất) chịu tác động mạnh nhất đủ để điện cực này bứt chúng ra khỏi nguyên tử, bay về phía mình (theo mũi tên cong nét liền gắn với elip ấy). Khi đó, nguyên tử tương ứng trở thành một “điện cực +” mới đối với các nguyên tử lân cận kế tiếp (vì vậy, quỹ đạo elip này vẽ bởi đường nét đứt ngụ ý là hiện không có điện tử trên quỹ đạo). Nếu có một nguyên tử lân cận (xem elip thứ hai liền kề) có điện tử dẫn với quỹ đạo tiếp giáp với quỹ đạo của điện tử vừa mới bị bứt ra ở trên thì điện tử dẫn này sẽ có cơ hội thế chỗ nó (xem mũi tên cong nét đứt gắn với elip thứ hai), khiến nguyên tử-điện cực “+” mới đó lại trở nên trung hoà, còn bản thân nguyên tử đó sẽ lại trở thành “điện cực +” mới... Quá trình lại được diễn ra như vậy đối với các

nguyên tử tiếp theo và cứ như thế cho đến điện cực “-” của nguồn (giống như hiệu ứng đô-mi-nô vậy).



Hình 3. Chuyển động của điện tử trong mạng tinh thể dưới tác động của điện trường ngoài

Chính vì dòng điện trong dây dẫn lúc này không phải là dòng các điện tử tự do mà chính là dòng các điện tử dẫn của bản thân nguyên tử như vậy, nên việc tương tác giữa hai dòng điện trong hai dây dẫn khác nhau sẽ kéo theo sự chuyển dời mạng tinh thể của cả hai dây dẫn như đã thấy trong thực tế là điều hoàn toàn có thể hiểu được, tức là bất cập thứ nhất ở trên đã được hoá giải.

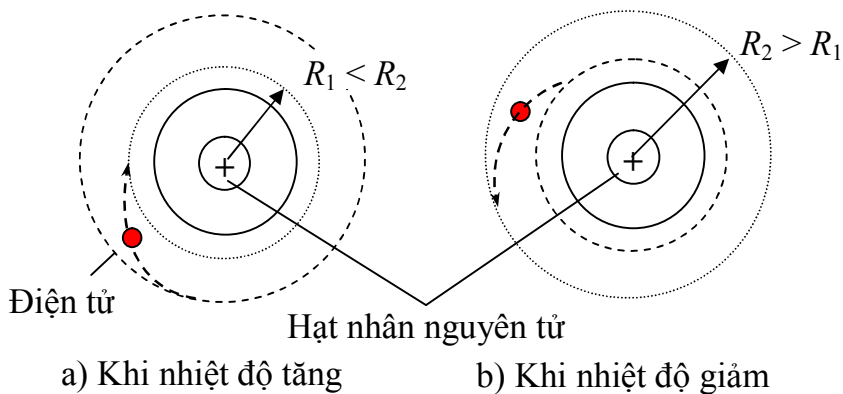
Mặt khác, theo cách chuyển động của các điện tử dẫn như thế này, dòng điện sẽ tuyệt đối như nhau trên toàn bộ chiều dài dây dẫn, bất luận dây dẫn có dài bao nhiêu, hình dạng ra sao, thậm chí có bị cuộn lại như thế nào, tức là khắc phục luôn được bất cập thứ ba đã nói ở trên.

Lưu ý rằng ở đây, các điện tử bị bứt ra không nhất thiết là chính điện tử vừa mới sát nhập vào nguyên tử mà có thể là một điện tử dẫn khác của nguyên tử đó và vào thời điểm khác. Chính khoảng thời gian chờ đợi bước chuyển tiếp của điện tử từ nguyên tử này sang nguyên tử khác đã làm hạn chế tốc độ trung bình của điện tử chuyển động dọc theo dây dẫn và gây nên cái gọi là “điện trở” cho dây dẫn đó chứ không phải sự va chạm của các điện tử tự do với ion “+” của mạng tinh thể gây nên như mô hình cũ. Vấn đề là ở chỗ, mặc dù có tác động của điện trường ngoài, nhưng trạng thái của điện tử trong nguyên tử chưa đủ thích hợp cho bước chuyển tiếp thì điện tử vẫn cứ tiếp tục quay xung quanh hạt nhân đó trên quỹ đạo của mình. Vậy thế nào là “trạng thái thích hợp”?



Ta biết rằng do ảnh hưởng của nhiệt độ, các nguyên tử trung hoà dao động xung quanh vị trí cân bằng tại các nút của mạng tinh thể như đã được thể hiện trên Hình 3. Tùy thuộc vào nhiệt độ cao hay thấp mà biên độ dao động này lớn hay nhỏ và, hơn thế nữa, chính cái gọi là “mạng tinh thể” (xem các đường nét đứt trên Hình 3) cũng do các nguyên tử tương tác với nhau định hình nên, chứ không phải là một cái mạng độc lập có sẵn với các “nút” để nguyên tử chỉ việc dao động quanh nó. Chính các “nút” ấy là do tương tác giữa các nguyên tử dao động nhiệt quy định. Chính vì thế, khi các nguyên tử dao động mạnh, biên độ dao động lớn sẽ làm xô dịch vị trí của các “nút” ấy và dẫn đến kích thước của cả khối vật liệu cũng thay đổi theo: Nhiệt độ càng cao, khoảng cách giữa các nguyên tử và do đó là kích thước của cả khối vật liệu càng lớn và ngược lại. Điều này cũng trực tiếp ảnh hưởng tới “trạng thái năng lượng” của điện tử trong nguyên tử đã nói ở trên. Cụ thể như sau.

Khi biên độ dao động của các nguyên tử càng lớn, va chạm giữa chúng càng mạnh, còn khi biên độ dao động càng nhỏ, va chạm càng yếu. Sự va chạm này không đơn giản như va chạm của hai viên bi-a chỉ có lực đẩy lẫn nhau tuân theo định luật bảo toàn động lượng, mà phức tạp hơn nhiều. Đó là sự va chạm của các điện tử quay cực nhanh trên quỹ đạo của nguyên tử này với các điện tử cũng quay nhanh tương tự như vậy của nguyên tử khác. Lúc này, chiều quay của điện tử cũng đóng vai trò quan trọng không kém gì chuyển động tịnh tiến của chúng về phía nhau do dao động nhiệt của nguyên tử sở hữu chúng. Chính vì vậy, sau va chạm, một điện tử của nguyên tử này có thể bị đẩy sâu vào quỹ đạo bên trong gần hạt nhân hơn, nếu còn chỗ, hoặc bị kéo ra quỹ đạo bên ngoài xa hạt nhân hơn. Kết quả của mỗi sự va chạm ấy tuân theo nguyên lý tác động tối thiểu được tác giả phát biểu ở [7], đại thể: *Nếu va chạm đủ gây nên một tác dụng quỹ đạo tối thiểu bằng  $h$  (hằng số Planck) thì điện tử sẽ thay đổi quỹ đạo chuyển động của mình: vào bên sâu bên trong hay nhảy ra xa bên ngoài hạt nhân của nguyên tử đó* (như thể hiện trên Hình 4).



Hình 4. Kết quả của mỗi va chạm tuân theo nguyên lý tác động tối thiểu

Khi nhiệt độ tăng lên, dao động của nguyên tử mạnh lên, tạo ra tác động đủ lớn để đẩy các điện tử từ quỹ đạo bên ngoài vào các quỹ đạo bên trong (xem Hình 4a), vì như chúng ta đã biết ở [8, 10], càng vào quỹ đạo bên trong gần hạt nhân nguyên tử, cơ năng của điện tử càng lớn và ngược lại, càng ra quỹ đạo bên ngoài, cơ năng của điện tử càng nhỏ. Tức là, để chuyển từ quỹ đạo bên ngoài vào quỹ đạo bên trong liền kề, điện tử cần phải được cấp nhiều năng lượng hơn so với việc chuyển từ quỹ đạo ấy ra quỹ đạo bên ngoài kế tiếp. Xét về tổng thể trên toàn bộ thể tích của vật liệu, sau mỗi lần xảy ra một va chạm như vậy, đa phần *khoảng cách giữa các nguyên tử sẽ tăng lên, trong khi bán kính nguyên tử thì nhỏ lại.*

Khi nhiệt độ giảm, sự va chạm giữa các nguyên tử ít đi cả về cường độ lẫn tần suất khiến khoảng cách giữa chúng đa phần giảm đi, nhưng các điện tử dẫn cũng mất dần năng lượng, buộc phải chuyển ra quỹ đạo bên ngoài với cơ năng nhỏ hơn làm cho bán kính của nguyên tử sở hữu chúng tăng lên (xem Hình 4b). Điều này là trái ngược với vật lý hiện hành, nhưng lại hoàn toàn phù hợp với bản chất thực của sự vật. Từ đây cho thấy, đa phần *khi nhiệt độ càng thấp, khoảng cách giữa các nguyên tử càng thu ngắn lại, trong khi bản thân nguyên tử sở hữu chúng lại phình to ra* khiến quỹ đạo của các điện tử dẫn thuộc các nguyên tử liền kề có nhiều cơ hội tiếp xúc với nhau hơn và thêm vào đó, do càng ở xa hạt nhân, liên kết của chúng với hạt nhân sở hữu chúng càng nhỏ dẫn đến khả năng bị nguyên tử-điện cực “+” bên cạnh chiếm lấy nhiều hơn. Khi đó, khả năng chuyển tiếp của điện tử từ quỹ đạo của nguyên tử này sang quỹ đạo của nguyên tử khác dưới tác động của điện trường ngoài sẽ tăng lên. Đó chính là “trạng thái thích hợp” mà ta đã đề cập tới ở trên.

Tóm lại, *bản chất dòng điện trong kim loại là dòng các điện tử, nhưng không phải là điện tử tự do, mà là các điện tử ở lớp ngoài cùng của nguyên tử (còn được gọi là các điện tử dẫn) chuyển động lần lượt từ nguyên tử này đến nguyên tử khác dưới tác động kết hợp của điện trường ngoài với điện trường hạt nhân của các nguyên tử kim loại.*

Việc khẳng định vai trò của điện trường hạt nhân nguyên tử kim loại trong việc tạo ra dòng điện cùng với điện trường ngoài là rất quan trọng; nó cho phép ta nghĩ tới ảnh hưởng của cấu trúc mạng tinh thể vật liệu tới tính dẫn điện của vật liệu đó. Chỉ cần phân biệt trong vật liệu các nguyên tử dẫn điện là những nguyên tử dễ bị ion hoá nên sẽ tham gia vào quá trình tạo ra dòng điện và các nguyên tử không dẫn điện là các nguyên tử rất khó bị ion hoá. Từ đây có thể suy



rộng ra đối với các vật liệu là chất rắn nói chung, bởi chúng đều có cùng cấu trúc tinh thể nên sẽ có khả năng dẫn điện theo cùng một cách thức như đã được trình bày ở trên đối với các nguyên tử dẫn điện. Tuy nhiên, tùy thuộc vào “trạng thái thích hợp” cụ thể ta đã phân tích mà điện trở của vật liệu có thể khác nhau, từ rất nhỏ (với kim loại) tới rất lớn (với chất điện môi) mà được chia ra thành 3 nhóm: Chất dẫn điện, chất bán dẫn và chất cách điện. Việc coi dòng điện trong chất bán dẫn là chuyển động của các điện tử và lỗ trống (ion “+”) về thực chất, cũng gần tương tự như những gì đã nói tới ở đây đối với kim loại. Khi “trạng thái thích hợp” không thể xảy ra đối với một kiểu mạng tinh thể nào đó khiến các điện tử lớp ngoài cùng của các nguyên tử không thể chuyển dịch được sang các nguyên tử lân cận, nhưng quỹ đạo của chúng sẽ bị lệch tâm về phía cực “+” của điện trường khiến cho chính các nguyên tử này trở thành dipole – đó chính là những gì xảy ra trong các chất cách điện.

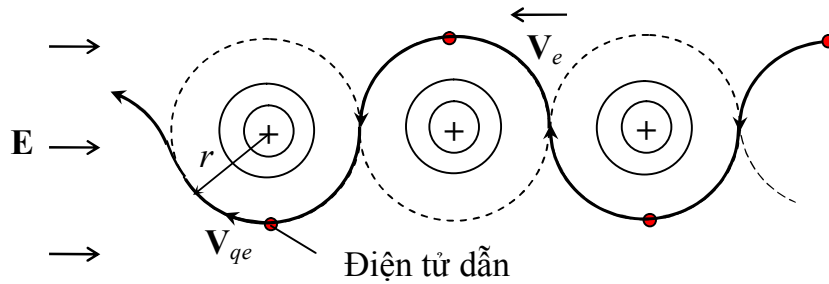
Nói cách khác, hiện tượng dẫn điện trong chất rắn đều có chung một bản chất và đó là tiền đề rất tốt để hiểu được bản chất của hiện tượng siêu dẫn một cách nhất quán đối với mọi dạng vật liệu rắn, ở mọi thang nhiệt độ như kỳ vọng đặt ra ngay từ ban đầu của báo cáo này.

### **GIẢI THÍCH HIỆN TƯỢNG SIÊU DẪN TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH ĐIỆN TỬ DẪN**

Khi nói điện trở của vật liệu trong trạng thái siêu dẫn bằng không, hoặc chính xác hơn là rất nhỏ, đồng nghĩa với việc cho rằng các điện tử chuyển động hầu như không thất thoát năng lượng. Trong [8], chúng ta đã biết đến chuyển động với trạng thái năng lượng không đổi (động năng không đổi, thế năng không đổi và nội năng cũng không đổi) mới được gọi là “chuyển động theo quán tính” (còn “chuyển động thẳng đều” trong cơ học cổ điển chỉ là một trường hợp riêng). Chỉ duy nhất có chuyển động theo quán tính là dạng chuyển động không thất thoát năng lượng như chuyển động của vệ tinh trên quỹ đạo tròn xung quanh Trái đất, của Trái đất xung quanh Mặt trời, của các hành tinh xung quanh một ngôi sao v.v.. Trong trường hợp này, đó là chuyển động của điện tử dẫn theo quỹ đạo trên các mặt đẳng thế quanh hạt nhân nguyên tử dẫn điện.

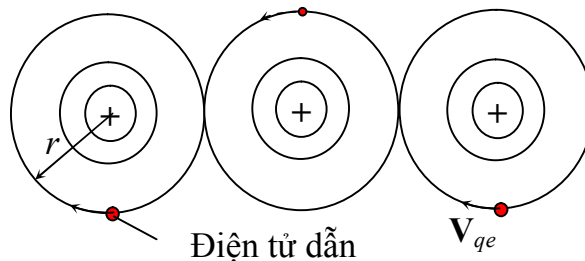
Từ đây cho thấy trong ví dụ trên Hình 3, khi điện tử chuyển động trong mạng tinh thể của chất rắn theo các quỹ đạo là các nửa đường tròn nối tiếp nhau từ nguyên tử dẫn điện này sang nguyên tử dẫn điện khác dưới tác động của điện trường ngoài, như được biểu diễn trên Hình 5, cũng có thể được coi gần đúng là “chuyển động theo quán tính” và chỉ khi đó, điện tử mới không bị thất thoát

năng lượng, đúng như những gì đã nhận được từ thực nghiệm: Điện trở của vật liệu siêu dẫn bằng 0, hay nói một cách chính xác là xấp xỉ bằng 0.



Hình 5. Quỹ đạo của điện tử dẫn trong vật liệu rắn ở trạng thái siêu dẫn dưới tác động của điện trường ngoài

Để đạt được trạng thái này, cần hạ nhiệt độ xuống một mức nhất định khiến cho sự dao động của các nguyên tử dẫn điện trong mạng tinh thể giảm xuống, sao cho các quỹ đạo của điện tử dẫn (quỹ đạo ngoài cùng) của hai nguyên tử dẫn điện liền kề tiếp xúc được với nhau khiến cho sự tiếp nhận và giải phóng các điện tử dẫn của chúng với nhau xảy ra thuận lợi nhất. Nhờ vậy, các điện tử sẽ duy trì được tốc độ chuyển động không đổi bằng chính tốc độ quỹ đạo  $V_{ge}$  của chúng (xem Hình 6).



Hình 6. Quỹ đạo chuyển động của điện tử trong nguyên tử vật liệu rắn ở nhiệt độ tới hạn  $T_c$

Nói cách khác, khi nhiệt độ càng thấp, nội năng của vật càng nhỏ. Nội năng nhỏ, một mặt thể hiện qua sự giảm dao động nhiệt của các nguyên tử dẫn điện (động năng), mặt khác qua sự phình to kích thước của nó. Kích thước nguyên tử dẫn điện phình to ra, tức là bán kính quỹ đạo của điện tử dẫn phình to ra. Do ở xa hạt nhân, vận tốc thoát của điện tử dẫn ra khỏi nguyên tử dẫn điện trở nên dễ dàng hơn so với khi chúng còn ở các quỹ đạo bên trong. Và vì các nguyên tử dẫn điện hầu như không còn dao động nữa nên lực nguyên tử sẽ kéo chúng sát lại với nhau hơn (kích thước mọi vật đều co ngắn lại). Chính sự xích lại gần nhau hơn này càng làm tăng thêm khả năng cho điện tử thoát khỏi nguyên tử dẫn điện này chuyển sang ngay một nguyên tử dẫn điện khác khi có

điều kiện (chẳng hạn có điện trường ngoài). Còn khi không có điều kiện đó, tuy vẫn chuyển động theo quỹ đạo trong một nguyên tử dẫn điện của mình, nhưng các điện tử dẫn của các nguyên tử dẫn điện lân cận sẽ ảnh hưởng lẫn nhau khiến cho quỹ đạo chuyển động của chúng có dạng hoàn toàn ổn định theo một cách nào đây và xác định trạng thái cân bằng động trên tổng thể. Đó là *trạng thái khi tất các nguyên tử dẫn điện đều có cùng một kích thước như nhau, các điện tử dẫn quay trên quỹ đạo với cùng một tần số như nhau*. Đây chính là bản chất của hiện tượng siêu dẫn cho dù vật liệu có được cấu tạo từ bất kỳ nguyên tố nào.

Thay cho việc hạ thấp nhiệt độ, có thể sử dụng phương pháp tăng cao áp suất để các nguyên tử vật liệu có thể xích lại đủ gần nhau và nhờ đó cũng có thể đạt tới trạng thái siêu dẫn như trên thực tế đã được thực hiện gần đây [4, 6].

Tỷ lệ giữa tốc độ quỹ đạo  $V_{qe}$  với tốc độ dịch  $V_e$  dọc theo dây dẫn (cũng tức là theo đường kính nguyên tử) của điện tử sẽ tương ứng với tỷ lệ giữa một nửa chu vi đường tròn quỹ đạo bán kính  $r$  với đường kính  $d = 2r$  của đường tròn đó:

$$\frac{V_{qe}}{V_e} = \frac{\pi r}{2r} = \frac{\pi}{2} \quad (4)$$

Từ đây, ta có:

$$V_e = \frac{2V_{qe}}{\pi} \quad (5)$$

Trong nguyên tử, tốc độ quỹ đạo  $V_{qe}$  của điện tử dẫn thường bị giới hạn ở mức  $\sim 10^5$  m/s và do đó, nó là một yếu tố ảnh hưởng tới giới hạn trên của dòng điện siêu dẫn, cũng tức là giới hạn dưới của điện trở vật liệu ở trạng thái siêu dẫn. Ngoài ra, còn phải kể tới tính gián đoạn của vật chất do các nguyên tử ở cách xa nhau một khoảng cỡ  $\sim 10^{-10} \div 10^{-9}$  m chứ không phải nhỏ bao nhiêu tùy ý nên số lượng điện tích trên một diện tích luôn là hữu hạn (xem Hình 8), do đó, mật độ dòng điện siêu dẫn sẽ còn bị giới hạn bởi tính gián đoạn đó chứ không thể lớn tới vô cùng được.

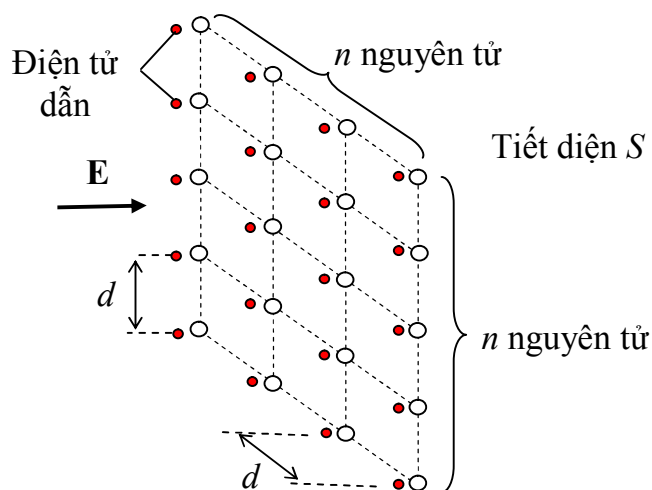
Kết quả là sẽ phải tồn tại một giá trị điện trở đối với một dây dẫn với tiết diện  $S$  xác định chứ không thể chính xác bằng không. Từ Hình 8, ta có thể xác định diện tích  $S$  thông qua số lượng các nguyên tử  $N$  tại các nút mạng, khi biết số hàng dọc và số hàng ngang là  $n$ :

$$N = n^2 \quad (6)$$

$$S = (n-1)^2 d^2 \quad (7)$$

Từ (7) ta có:

$$n = \frac{\sqrt{S}}{d} + 1 \quad (8)$$



Hình 8. Số lượng điện tích trên một tiết diện là hữu hạn

Thay (8) vào (6), ta được:

$$N = \left( \frac{\sqrt{S}}{d} + 1 \right)^2 \quad (9)$$

Khi đó, dòng điện đi qua dây dẫn có tiết diện là  $S$  chính là số lượng điện tích đi qua tiết diện đó trong một đơn vị thời gian; nó còn phụ thuộc vào tốc độ chuyển dịch  $V_e$  của điện tử và khoảng cách  $l$  giữa các nguyên tử dọc theo chiều dài dây dẫn:

$$I_m = Nq_e \frac{V_e}{l} \quad (10)$$

ở đây,  $q_e = 1,6 \times 10^{-19}$  C – là điện tích của điện tử. Khi đó, thay (5) và (9) vào (10), ta được:

$$I_m = q_e \frac{2V_{qe}}{\pi l} \left( \frac{\sqrt{S}}{d} + 1 \right)^2 \quad (11)$$

Hay:

$$I_m \approx q_e \frac{2V_{qe}}{\pi} \frac{S}{ld^2} = \rho_s S, \quad (12)$$

ở đây, ta đặt:

$$\rho_s = q_e \frac{2V_{qe}}{\pi ld^2} \quad (\text{A/m}^2). \quad (13)$$

Đó chính là mật độ tới hạn của dòng điện siêu dẫn. Thay số vào (13), ta được:

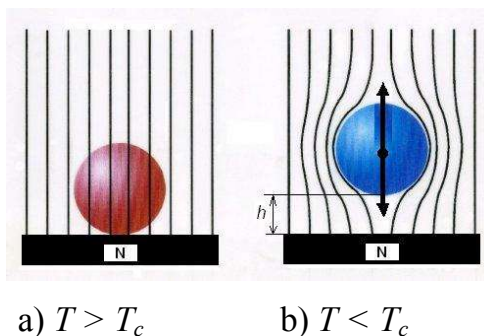
$$\rho_s = 1,6 \times 10^{-19} \times \frac{2 \times 10^6}{\pi \times 10^{-27}} \approx 10^{14} (\text{A/m}^2). \quad (14)$$

Điều này có nghĩa là một dây dẫn có tiết diện  $S = 1 \text{ mm}^2$ , trong trạng thái siêu dẫn, sẽ cho phép một dòng điện tối đa là  $10^8$  A đi qua. Tất nhiên, đối với mỗi loại vật liệu khác nhau với cấu trúc mạng tinh thể khác nhau, sẽ có các

thông số  $V_{qe}$ ,  $l$  và  $d$  khác nhau nên mật độ dòng siêu dẫn cũng sẽ khác nhau. Như vậy, bất cập thứ tư đã nói ở trên đối với mô hình điện tử tự do của dòng điện trong kim loại cũng được hoá giải nốt.

### GIẢI THÍCH HIỆU ỨNG MEISSNER TRÊN CƠ SỞ MÔ HÌNH ĐIỆN TỬ DẪN

Hiệu ứng Meissner là hiệu ứng khi vật liệu chưa được làm lạnh dưới nhiệt độ tới hạn  $T_c$ , được đặt trên một nam châm vĩnh cửu, nó sẽ không gây nên bất cứ sự ảnh hưởng nào tới từ trường của nam châm như được mô tả trên Hình 7a; tuy nhiên, khi làm lạnh xuống dưới nhiệt độ tới hạn  $T_c$ , nó duy trì trạng thái lơ lửng trên bề mặt của một nam châm vĩnh cửu như được mô tả trên Hình 7b. Vị trí của vật liệu siêu dẫn và nam châm vĩnh cửu có thể được hoán đổi, nhưng không làm thay đổi hiện tượng. Người ta còn gọi hiện tượng này là “từ trường không đi xuyên được qua chất siêu dẫn”, hay “kháng từ”, “đệm từ”. Bên cạnh đó còn có hiện tượng “một phần từ trường bị kẹt lại bên trong chất siêu dẫn”, gọi là “khoá từ”. Ta sẽ giải thích các hiện tượng này chỉ bằng bản chất của hiện tượng siêu dẫn đã biết ở mục trên: Trong trạng thái siêu dẫn, khi không có điện trường ngoài, các điện tử dẫn của nguyên tử dẫn điện nào chỉ chuyển động theo quỹ đạo của nguyên tử đó, nhưng do các quỹ đạo có điểm tiếp xúc với nhau nên chúng sẽ nhanh chóng thiết lập trạng thái cân bằng động trong toàn mạng tinh thể.



Hình 7. Tính chất “kháng từ” trong vật liệu siêu dẫn

Đây là mạng tinh thể đã ở trong trạng thái lý tưởng khi tất cả các nguyên tử dẫn điện đều có bán kính như nhau và gần như định vị tại các nút; hơn thế nữa, không còn trong tình trạng đơn lẻ, mà hầu như tất cả chúng, hoặc theo từng nhóm cùng dao động như một khối thống nhất theo hiệu ứng lôi kéo tần số đã được biết đến trong cơ học và thông tin vô tuyến điện. Điều này cũng có nghĩa là tần số của điện tử ở lớp ngoài cùng đều như nhau đã dẫn đến việc cộng hưởng của toàn bộ các nguyên tử dẫn điện trong toàn mạng tinh thể.

Tuy nhiên, khái niệm “đều cùng như nhau” ở đây chỉ liên quan tới một thông số duy nhất, đó là tần số thời, còn pha và mặt phẳng quỹ đạo của các điện tử dẫn khác nhau sẽ có thể khác nhau. Mặc dù vậy, vẫn không có sự phân bố lộn xộn, ngẫu nhiên nào mà tất cả chúng đều như đã được gắn kết với nhau thành một khối khiến cho từ trường tổng hợp luôn được xác định theo cùng một cách. Đó là cấu trúc mạng tinh thể với các nguyên tử dẫn điện cho phép từ trường của chúng đa phần từng cặp một triệt tiêu lẫn nhau nên từ trường chung còn lại rất yếu. Khi xuất hiện “từ trường” ngoài, sẽ xảy ra sự phân bố lại tương tác từ của các điện tử dẫn trong nguyên tử khiến mặt phẳng quỹ đạo của chúng bị dao động. Kết quả là hình thành nên dòng điện cục bộ trong vật liệu theo các định luật cảm ứng điện từ của Lenz và Faraday. Kết quả là sẽ xuất hiện một vị trí mà tại đó đạt được sự cân bằng giữa lực đẩy và lực kéo của vật liệu với từ trường ngoài và gây ra hiện tượng gọi là “đệm từ” như đã biết. Khi đó, chất siêu dẫn sẽ “treo” lơ lửng phía trên (hoặc dưới) một nam châm vĩnh cửu ở khoảng cách  $h$  như trên Hình 7b – đó chính là vị trí cân bằng vừa nói, trái với trạng thái khi chưa đạt tới nhiệt độ siêu dẫn  $T_k$ . Tuy nhiên, khi từ trường ngoài quá mạnh, vượt ngưỡng tới hạn, sẽ thắng áp đảo được từ trường cục bộ bên trong vật liệu, làm biến mất trạng thái cộng hưởng của các nguyên tử dẫn điện, cũng tức là phá vỡ trạng thái siêu dẫn.

Tương tự như vậy, hiện tượng “khóa từ” có thể được giải thích bởi mức độ cộng hưởng cục bộ trong từng vật liệu với cấu trúc tinh thể khác nhau mà không hề là một cái gì ngoại lệ.

Ứng với mỗi kiểu cấu trúc tinh thể cũng như dạng nguyên tử nhất định sẽ có một nhiệt độ nhất định để có thể xảy ra quá trình cộng hưởng này và tạo điều kiện để chuyển động của điện tử dẫn thuận tiện nhất.

### HƯỚNG CHẾ TẠO VẬT LIỆU SIÊU DẪN

Để chế tạo được vật liệu siêu dẫn cần tạo ra chất rắn có cấu trúc mạng tinh thể sao cho các nguyên tử dẫn điện của nó có các quỹ đạo điện tử dẫn có xu hướng tiếp xúc được với nhau. Trạng thái tiếp xúc này có thể xảy ra hoặc do giảm nhiệt độ, hoặc do tăng áp suất, hoặc cả hai – đó chính là các vật liệu siêu dẫn đã từng được biết cho tới nay. Thậm chí ngay mới trong tháng 7 vừa đây thôi, đã có đã thông báo [6] chế tạo được vật liệu siêu dẫn ở nhiệt độ lên tới 203 K – một kỷ lục thật ấn tượng. Tuy nhiên, cái giá phải trả là cần tới áp suất hàng trăm GPa – xét cho cùng đây là một sự đánh đổi lợi bất cập hại.

Để đạt tới trạng thái siêu dẫn ở nhiệt độ cao, cần giảm thiểu tác động từ các dao động của nguyên tử dẫn điện trong mạng tinh thể. Chúng ta biết rằng,



kim loại và các chất dẫn nhiệt tốt có độ dẫn nhiệt lớn hơn nhiều so với các vật liệu cách điện và cách nhiệt khác. Có nghĩa là nguyên tử dẫn điện có độ dao động nhiệt lớn hơn nhiều so với các nguyên tử cách điện. Mặt khác ta lại được biết, vật liệu siêu dẫn có nhiệt độ tới hạn cao nhất hiện nay là gốm chứ không phải kim loại, ví dụ như  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$  ở nhiệt độ 77 K, hay  $\text{HgBa}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_8$  ở nhiệt độ 135 K, trong khi ở nhiệt độ bình thường, chúng vẫn là các chất cách điện, cách nhiệt rất tốt. Từ đây ta có thể thấy mặc dù vật liệu từ các nguyên tử kim loại tinh khiết chỉ đạt tới trạng thái siêu dẫn ở nhiệt độ rất thấp ( $< 23$  K), nhưng trong sự kết hợp với các nguyên tử cách điện như oxygen, chúng lại trở nên dẫn điện rất tốt, tức là vai trò kiểm chế dao động nguyên tử dẫn điện của nguyên tử cách điện có vai trò rất lớn, nếu như không nói là quyết định.

Với bản chất dòng điện không phải là dòng các điện tử tự do mà là dòng chuyển động của các điện tử dẫn từ nguyên tử dẫn điện này sang nguyên tử dẫn điện khác nên sẽ chịu sự ảnh hưởng rất lớn của các nguyên tử lân cận. Khi điện áp là xoay chiều, các điện tử dẫn liên tục phải đổi chiều chuyển động sang bên này hoặc sang bên đối diện sau mỗi chu kỳ. Do đó, tốc độ chuyển dịch trung bình  $V_e$  của điện tử dẫn dọc theo chiều dài dây sẽ phải giảm đi và phụ thuộc vào tần số. Sự ảnh hưởng của các nguyên tử lân cận càng lớn thì tốc độ chuyển dịch này càng nhỏ. Điều đó có nghĩa là một nguyên tử càng nằm sâu bên trong dây dẫn, càng chịu ảnh hưởng nhiều hơn và do đó tốc độ chuyển dịch trung bình  $V_e$  của điện tử dẫn cũng giảm nhiều hơn. Từ đây suy ra, việc chuyển dịch các điện tử ở bề mặt dây dẫn là ít chịu ảnh hưởng nhất vì chỉ bị tác động từ một phía của dây dẫn thôi, còn phía bên kia là không khí hoặc vỏ cách điện. Tần số càng cao, hiện tượng suy giảm tốc độ  $V_e$  càng lớn, dòng điện do các điện tử dẫn tạo ra càng nhỏ. Chính vì thế, tần số càng cao, hiệu ứng bề mặt đã biết trong kỹ thuật vô tuyến điện này càng thể hiện rõ như: Những nguyên tử dẫn điện nằm sâu bên trong dây dẫn hầu như không còn tham gia vào việc truyền dẫn dòng điện nữa, tức là có thể nói chúng là hoàn toàn cách điện. Như vậy, về nguyên tắc, ta có thể làm một dây dẫn có dạng ống rỗng có tiết diện hình xuyên như trên Hình 9 để tiết kiệm vật liệu, thay vì một dây dẫn đặc thông thường. Từ đây, có thể thấy thêm được một yếu tố nữa chứng minh cho bản chất dòng điện siêu dẫn: Nếu có thể chế tạo được một ống như vậy với độ dày chỉ vừa đúng bằng kích thước 1 nguyên tử (cỡ  $10^{-10}$  m) thì dòng điện đi qua nó sẽ không còn chịu ảnh hưởng của các nguyên tử dẫn điện theo phương của đường kính ống nữa nên điện trở sẽ là nhỏ nhất. Lúc đó, điện trở của ống dẫn chỉ còn do các nguyên tử dẫn điện lân cận trên bề mặt của ống gây nên nữa thôi.



Hình 9. Ống dẫn thay cho thanh trụ đặc

Để đạt được trạng thái siêu dẫn ở nhiệt độ cao nhất thì cần phải giải phóng nốt ảnh hưởng này bằng cách tạo ra cấu trúc gồm những sợi có đường kính chỉ bằng đúng 1 nguyên tử dẫn điện, được xen kẽ bởi các nguyên tử không dẫn điện, nhằm hạn chế dao động nhiệt của nguyên tử dẫn điện. Khi đó, mỗi sợi kim loại này sẽ tương đương với một đường trên bề mặt ống dẫn vừa nói tới ở trên, nhưng với các nguyên tử dẫn điện được giải phóng hoàn toàn khỏi dao động nhiệt có hại từ các nguyên tử dẫn điện lân cận theo chu vi của ống. Kết quả là, khả năng truyền dẫn dòng điện sẽ là cực đại, đây chính là dòng điện siêu dẫn nhiệt độ cao nhất có thể có đối với loại nguyên tử dẫn điện được sử dụng.

### KẾT LUẬN

- Dòng điện trong kim loại nói riêng và dòng điện trong chất rắn nói chung đều có chung một bản chất là sự chuyển dịch của các điện tử dẫn của nguyên tử cấu thành nên vật liệu, dưới tác động của điện trường ngoài. Đối với kim loại và bán dẫn, sự chuyển dịch này được thực hiện giữa các nguyên tử kế cận, tuy ở mức độ khác nhau. Đối với chất điện môi, sự chuyển dịch của các điện tử dẫn chỉ dừng ở mức độ dịch chuyển quỹ đạo so với hạt nhân để tạo nên dipole.

- Bản chất của hiện tượng siêu dẫn là quá trình sắp xếp cấu trúc mạng tinh thể của vật liệu ở một nhiệt độ nhất định đủ để các điện tử dẫn trong nguyên tử có thể chuyển động theo quán tính theo một hướng xác định khi xuất hiện điện trường ngoài. Nếu cấu trúc mạng tinh thể của vật liệu được bố trí sao cho vẫn hội đủ điều kiện tạo nên trạng thái chuyển động theo quán tính của các điện tử ở nhiệt độ phòng thì ta sẽ có chất siêu dẫn ở ngay nhiệt độ phòng, hay thậm chí có thể cao hơn mà không cần tới điều kiện áp suất lớn.

- Trên cơ sở định hướng mới này rồi đây sẽ phát triển được lý thuyết về siêu dẫn một cách đầy đủ, có thể dự đoán được các kiểu cấu trúc tinh thể tối ưu trong tầm của công nghệ mà không cần phải mò mẫm nữa.

### Tài liệu tham khảo

1. J. Bardeen, L.N. Cooper, J.R. Schrieffer, Phys. Rev. **108**, 8 (1957).
2. B. Edegger. Gutzwiller-RVB Theory of High Temperature Superconductivity-Dissertation for doctorate of the Natural Sciences presented at

the Department of Physics, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt, 2007.

3. В. Л. Гинзбург, Л. Д. Ландау, ЖЭТФ. **20** (1950).
4. German and Canadian Scientists Discover Room Temperature Silicon Superconductor Daylytech  
<http://www.dailytech.com/thongtincongngh/article11167.htm>, (2008).
5. F. London and H. London, Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences, 1935, Vol. **149**, No. 866, p. 71.
6. A. P. Drozdov, M. I. Erements, Conventional superconductivity at 203 kelvin at high pressures in the sulfur hydride system, Nature, **525**, 73 (2015).
7. Vu Huy Toan, Proceedings of IMFP-2005 – International Meeting on Frontiers of Physics, Kuala Lumpur, Malaysia, 2005, p.119.
8. Vũ Huy Toàn, Con đường mới của vật lý học, NXB Khoa học & Công nghệ, Hà Nội, 2007.
9. Vũ Huy Toàn, Bản chất thực của dòng điện trong kim loại, 2014,  
[https://vuhuytoan.files.wordpress.com/2014/05/49\\_ban-chat-cua-dong-dien-trong-kim-loai2.pdf](https://vuhuytoan.files.wordpress.com/2014/05/49_ban-chat-cua-dong-dien-trong-kim-loai2.pdf)
10. Vũ Huy Toàn. *Xét lại định luật bảo toàn cơ năng của thực thể vật lý trong trường lực thế*, (2008).  
<http://vuhuytoan.files.wordpress.com/2008/12/xet-lai-dinh-luat-bao-toan-co-nang5.pdf>