

## ابرسانایی: چالش اساسی، کاربردها

حمیده شاکری پور

دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۴۱۵۶-۸۳۱۱۱

### چکیده

ابرسانایی، خاصیتی از ماده است که در یک دمای خاص وقتی اتفاق می افتد مقاومت الکتریکی ماده، رفتار فیزیکی ماده که حتی در کامل ترین مواد و کریستال ها همیشه مقداری غیرصفر دارد، کاملاً صفر می گردد. این دمای خاص، دمای گذار به حالت ابرسانایی نامیده می شود. با وجود ویژگی مقاومت کاملاً صفر برای ماده ی ابرسانا در دماهای بالایی نزدیک به ۱۵۰ کلوین، ابرسانایی یک پدیده نادر نیست. اکثر عناصر جدول مندلیف، آلیاژها، اکسیدهای فلزی، بعضی ترکیبات آلی و نانولوله های کربنی، این خاصیت شگفت انگیز کوانتومی - ماکروسکوپی (!) را از خود نشان می دهند. این پدیده ی بس ذره ای، در سال ۱۹۱۱ میلادی در هنگام سرد کردن جیوه با کمک هلیوم مایع کشف شد. بعد از آن برای استفاده های کاربردی از این پدیده، تحقیقات فراوانی برای کشف مواد جدید با دماهای گذار بالا انجام شد تا نیاز به استفاده از هلیوم مایع برای سرد سازی نمونه ابرسانا نباشد. تا اینکه در سال ۱۹۸۶ و ۱۹۸۷ میلادی گام موثری در این زمینه برداشته شد و ابرساناهای دمابالای آلیاژی-کوپراتی با دمای گذار ۹۰ کلوین، که با استفاده از نیتروژن مایع سرد می شدند، به میدان آمدند. در عرض مدت کوتاهی، کارهای تحقیقاتی فراوانی برای رسیدن به ابرسانای دمای اتاق انجام شد و دانشمندان توانستند دمای گذار را به ۱۶۳ کلوین برسانند. از آن پس، یکی از سوالات کلیدی و بنیادین و یکی از چالش های اساسی در زمینه ابرسانایی، فهم مکانیزم میکروسکوپی ابرسانایی در این ترکیبات ابرسانای دمابالا، برای رسیدن به هدف والاتر یعنی دست یابی به ابرسانایی در دمای اتاق بوده است. طبق تئوری میکروسکوپی باردین-کوپر-شریفر (BCS)، عامل رسانش در ترکیبات ابرسانا، جفت الکترون ها می باشد. در این تئوری، مغناطش در تضاد با ابرسانایی است و حضور یک یون مغناطیسی در ترکیب ابرسانا، موجب شکست جفت الکترون ها و دور شدن آنها از هم و منجر به کاهش ابرسانایی می شود. در حالیکه در نمودار فاز ابرساناهای کوپراتی یا نوع دیگری از ابرساناها به نام مواد فرمیون سنگین و یا حتی در ترکیبات آلی، ابرسانایی در کنار یک حالت پایه مغناطیسی ظاهر می شود. این مشاهدات، منجر به ارائه نظریه ای مبنی بر جفت شدگی الکترون ها به واسطه گری مغناطیس و یا به عبارتی نوسانات اسپینی شده است. کشف ترکیبات جدید ابرساناهای با پایه آهن در سال ۲۰۰۸ میلادی، تایید و شاهدی مسلم بر این نظریه ها بود. قطار تلاش های فراوان

برای فهم مکانیزم جفت شدگی در ترکیبات ابررساناهای کوپراتی و ترکیبات با پایه آهن به سرعت در حال جلورفتن است. در این مسیر، از آنجایی که مکانیزم جفت شدگی الکترون‌ها، با پارامتر نظم و یا در واقع با ساختار گاف یک ابررسانا رابطه‌ی مستقیم دارد، گام بنیادین، شناخت پارامتر نظم ابررسانایی و در واقع ساختار گاف ابررسانایی در این ترکیبات است. در ادامه، نشان می‌دهیم که اندازه‌گیری‌های هدایت الکتریکی در دماهای زیر یک کلوین و در راستاهای مختلفی از شبکه بلوری، بهترین ابزار برای یافتن ساختار گاف ابررسانایی می‌باشد. می‌بینیم که حضور یک ساختار گاف متقارن (موج S) در اطراف سطح فرمی، موجب می‌شود بسیاری از خواص فیزیکی سیستم در دماهای نزدیک به صفر کلوین، رفتار نمایی از خود نشان داده، در حالیکه یک گاف نامتقارن، این رفتار نمایی را مختل می‌کند. در این زمینه، مثال‌هایی از مواد فرمیون سنگین و ابررساناهای با پایه آهن ارائه خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: ابررسانای فرمیون سنگین، ابررساناهای با پایه آهن، پارامتر نظم، ساختار گاف، هدایت گرمایی

# Superconductivity: the main challenge and applications

Hamideh Shakeripour

Departement of Physics, Isfahan University of Technology, Isfahan 83111-84156, Iran

## Abstract

Superconductivity is the new state of matter where the electrical resistivity, the physical property of materials which is non zero even at absolute zero temperature, goes to zero at a superconducting critical transition temperature,  $T_c$ . However, this new state is not rare so that most of elements, ceramics, metallic oxides, some of organic compound and Carbon nanotubes become a superconductor. This many body phenomenon was discovered while mercury was liquefying in 1911. Then, many investigations were done to achieve superconductivity with higher critical transition temperature. Those efforts were led to the discovery of superconductivity in copper oxides in 1986 and 1987. Soon after, the  $T_c$  reached to 163K in a Hg-based copper oxide. One of the main questions and challenges in this field has been: what causes high  $T_c$  in these new compounds. In the other words, how the order parameter symmetry could be identified in a superconductor. The answer paves the road to reach to the room temperature superconductivity. In the BCS theory the magnetic and superconducting ground states are not allowable to be close to each other; adding a magnetic impurity in a superconductor will kill superconductivity. While new superconductors show proximity to or coexistence with magnetic order in their phase diagram. It is believed that spin fluctuations provide glue for exotic superconductivity<sup>1</sup> and drive materials to many different exotic phases. The recent discovery of superconductivity in Fe-based Pnictides<sup>2</sup> was one of the big surprize in the field and confirmed this hypothesis. Regarding to the BCS theory, there is a direct relation between the pairing mechanism and the symmetry of the order parameter. Thus, the first essential step to get information on the pairing mechanism is to determine the structure of the superconducting gap or the order parameter<sup>3</sup>. The s-wave/conventional superconductors have full point symmetry of the crystal lattice, thus they have full gap symmetry around of the Fermi surface. This leads to the exponential temperature dependence of many physical properties in the superconducting state at low temperature. However, the presence of nodes imposed by symmetry in the gap function of new superconductors implies a different order parameter other than conventional s-wave, which leads to a different temperature dependence of those physical properties. Here, we show how the thermal conductivity measurements below 1K identify the superconducting gap structure<sup>4</sup>. In this road, we present some of heavy-fermion and pnictides examples.

Key words: heavy-fermions, Fe-based superconductors, order parameter, gap structure, heat transport.

1 C.C. Tsuei and J.R. Kirtley, Reviews of Modern Physics, **72** (2000) 969; N. Mathur, *et al.*, *Nature* **394** (1998) 39.

2 Y. Kamihara, *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **130** (2008) 3296.

3 P. J. Hirschfeld, *et al.*, *Rep. Prog. Phys.* **74** (2011) 124508; P.J. Hirschfeld, *Comptes Rendus Physique* **17** (2016) 197; C. Tsuei and J. Kirtley, *Rev. Mod. Phys.* **72** (2000) 969.

4 H. Shakeripour, *et al.*, *New J. Phys.* **11** (2009) 055065; H. Shakeripour, *et al.*, *PRB* **82** (2010) 184531; H. Shakeripour, *et al.*, *PRL* **99** (2007) 187004; J.-Ph. Reid, *et al.*, *Supercond. Sci. Technol.* **25** (2012) 084013; J.-Ph. Reid, *et al.*, *PRB* **93** (2016) 214519.