

OTKA témapályázat zárójelentése

Nemkonvencionális kondenzátumok szilárdtestekben

Tudományterület: **Szilárdtestfizika**

OTKA nyilvántartási szám: **T 46269**

Témavezető: **Virosztek Attila**, a fizikai tudomány doktora

Kutatóhely: **BME, Fizika Tanszék**

A kutatás időtartama: **2004-2007**

Az OTKA támogatás összege: **5.307 MFt**

Tartalomjegyzék

1. A pályázat célja	2
2. Az elért eredmények	2
2.1. Transzport tulajdonságok	3
2.2. Raman szórás	3
2.3. Elektron-fonon csatolás	3
2.4. Nem tökéletes nesting	4
2.5. Versengő rendparaméterek	4
2.6. Szennyezők hatása	4
2.7. Optikai vezetőképesség nodális szupravezetőben	5
3. Kiegészítő információk	5

1. A pályázat célja

Alacsony dimenziós elektron rendszerekben, ahol a sáv szerkezet rendelkezik egy speciális illeszkedési (nesting) tulajdonsággal, sűrűség hullám alap állapot alakulhat ki. Ennek konvencionális változatai, a spin-, és töltéssűrűség hullámok régóta ismertek és kutatottak. Az elektronok közötti kölcsönhatás szerkezetétől függően azonban megvalósulhat a nemkonvencionális változat, melyet hullámszámfüggő rendparaméter jellemez (csakúgy, mint a szupravezetők esetében). Az elméleti leírás teljességének igénye mellett a közel egy évtizede folyó ez irányú kutatásokat (melyben csoportunk a kezdetektől részt vett) az is indokolja, hogy az utóbbi években számos olyan kísérleti eredmény látott napvilágot, melyek több anyagban is nemkonvencionális sűrűség hullám fázist valószínűsítettek. Ezek közé tartoznak egyes töltésátviteli sók és nehézferrionos anyagok, de még a magashőmérsékletű szupravezetők (MHSZ) is.

A MHSZ anyagok szupravezető fázisának nemkonvencionális viselkedése mellett különleges kihívást jelent az aludópolt MHSZ anyagok leírása, ahol a szupravezető fázis fölötti széles hőmérséklettartományban egy úgynevezett *pszeudogap* fázis jelenik meg. Bár a Fermi energiánál bekövetkező állapotsűrűség csökkenés több mérhető mennyiségben is megmutatkozik, nem nyilvánvaló, hogy mi a fázis rendparamétere. Erre utal a *rejtett rend* elnevezés. Az itt (és más anyagokban is) előforduló pszeudogap fázis anomális viselkedésére adhat magyarázatot a nemkonvencionális sűrűség hullám kondenzátum kialakulása.

A munka során célul tűztük ki, hogy a nemkonvencionális sűrűség hullám fázis korábban általunk kidolgozott elméleti alapjaira építve több kísérleti érdeklődésre is számot tartó fizikai mennyiséget meghatározzunk, és jóslatainkat minél több anyag esetében összevessük az elérhető mérési eredményekkel. A felvetődő kérdések megválaszolásához általában egy alkalmasan választott átlagtér elmélet keretén belül a hőmérsékleti Green függvény technikát alkalmaztuk.

2. Az elért eredmények

A továbbiakban a kutatási eredményeket a téma egyes részterületei szerint csoportosítva alfejezetekben ismertetjük. A szövegben megadott referenciák a publikációs lista megfelelő elemére vonatkoznak.

2.1. Transzport tulajdonságok

Elsősorban mérési eredmények motiválták a nemkonvencionális sűrűséghullámokban észlelhető mágneses tértől függő ellenállásra, valamint a termoelektromos erőre, és a termoelektromos tenzor nemdiagonális komponensére, a Nernst effektusra irányuló vizsgálatainkat. A hullámszámfüggő rendparaméter \mathbf{k} -térbeli zérushelyei környezetében megjelenő alacsony energiás kvázirészecskék (tömeg nélküli Dirac-fermionok) energiájának Landau kvantálásán alapuló elméletünk alapján sikerült értelmezni a fenti mennyiségek mért hőmérséklet és mágneses tér függését (beleértve a tér irányát is) egy α -ET sóban [1], egy TMTSF sóban [2], az LSCO, a BSCO és az YBCO magashőmérsékletű szupravezetőkben [3,7,19], valamint a CeCoIn₅ nehézfermionos anyagban [8,9,10]. A Landau kvantálásra épülő eredményeinket egy minireview publikációban [1] és egy könyvfejezetben [20] is összefoglaltuk.

2.2. Raman szórás

Kidolgoztuk az elektronokon történő Raman szórás elméletét kvázi-egydimenziós nemkonvencionális sűrűséghullámokban. Megállapítottuk, hogy a különböző szórási geometriákban fölvetett spektrumokból egyértelmű következtetést vonhatunk le a gap szimmetriáját illetően [4]. Kiderült, hogy a kondenzátum kollektív amplitúdó módusa az alacsony energiás gerjesztésekbe bomlás lehetősége miatt túlszillapított, és csak a fény láncirányú polarizációja esetén játszik szerepet.

2.3. Elektron-fonon csatolás

Lefektettük a nemkonvencionális sűrűséghullámok elméletének alapjait abban az esetben is, amikor az átalakulást nem az elektron-elektron kölcsönhatás, hanem az elektron-fonon kölcsönhatás hajtja. Rávilágítottunk arra, hogy ez esetben a rendparaméter hullámszám függése követi az elektron-fonon csatolásét, kiszámítottuk a frekvenciafüggő vezetőképességet, és észleltük, hogy (a konvencionális esettel ellentétben) a kondenzátum effektív tömegének hőmérséklet függése nem monoton [5,11,15].

2.4. Nem tökéletes nesting

Megvizsgáltuk, hogy hogyan befolyásolja a nemkonvencionális sűrűséghullámok viselkedését az a gyakorlatban igen fontos körülmény, ha a sávszerkezet fentebb említett speciális illeszkedési (nesting) tulajdonsága nem tökéletes. Meghatároztuk a rendszer termodinamikáját, és jóslást adtunk a frekvenciafüggő vezetőképességre is [6].

2.5. Versengő rendparaméterek

A $(\text{TaSe}_4)_2\text{I}$ töltéssűrűség-hullám anyag normál állapotában tapasztalható pszeudogap viselkedést egy konvencionális, és egy nemkonvencionális komponenssel is rendelkező rendparaméter segítségével értelmeztük. A rendszer termodinamikájának leírása mellett kiszámítottuk a spin szuszceptibilitást és a spin-rács relaxációs rátát, melyek a mérésekkel kvalitatív egyezésben vannak [12].

2.6. Szennyezők hatása

Tanulmányoztuk a szennyezők következtében fellépő jelenségeket is. A kvázi-egydimenziós nemkonvencionális sűrűséghullám rendszer és egy nem mágneses szennyező kölcsönhatását vizsgálva kiszámítottuk a szennyezőtől való távolság függvényében a lokális állapotssűrűséget és a Friedel-oszcilláció tulajdonságait, melyek alkalmasak lehetnek ennek a fázisnak pásztázó alagút-mikroszkóp segítségével történő azonosítására [14]. Megvizsgáltuk továbbá makroszkópikus mennyiségű szennyező hatását a rendszer termodinamikájára és állapotssűrűségére tetszőleges szórési amplitúdó esetén. Ellentétben a gyenge és erős szórás sokat vizsgált határesetekkel azt találtuk, hogy általános esetben sérül a rendszer elektron-lyuk szimmetriája [16]. A mágneses szennyezők és a nemkonvencionális spinsűrűség-hullám kölcsönhatásának vizsgálata arra a figyelemreméltó eredményre vezetett, hogy a csatolás megnöveli a kondenzátum rendparaméterét [17,18]. Ez az effektus állhat a nikkellel adalékolt NBCO magashőmérsékletű szupravezetőben észlelt pszeudogap növekedés hátterében.

2.7. Optikai vezetőképesség nodális szupravezetőben

Az előző alfejezetekből kitűnik, hogy a nemkonvencionális sűrűség-hullám állapot fontos szerepet játszik szupravezető anyagokban. Vizsgáltuk ugyanakkor magát a szupravezető kondenzátumot is. Kiszámítottuk egy nemkonvencionális (nodális) szupravezető frekvenciafüggő vezetőképességét abban az esetben, amikor a szennyezők szórási amplitúdója nagy (unitary limit) [13]. Megállapítottuk, hogy a szennyező körüli kötött állapot hatása megjelenik mind az állapot-sűrűségben, mind pedig az optikai vezetőképességben. Eredményeink alkalmazást találhatnak olyan nodális szupravezetőkhöz, mint például a Sr_2RuO_4 , vagy a cinkkel szennyezett YBCO magashőmérsékletű szupravezető.

3. Kiegészítő információk

Az előző fejezetben leírt eredmények tovább erősítették azt a meggyőződésünket, hogy számos egyéb anyagban is joggal valószínűsíthető ezeknek az egzotikus nemkonvencionális kondenzátumoknak a megjelenése fázisdiagrammjuk egyes tartományaiban. Így az ilyen irányú kutatásokat a továbbiakban hosszabb távon is gyümölcsözőnek véljük.

A jelen beszámoló tárgyául szolgáló téma alapkutatás jellegű, eredményei elsősorban referált nemzetközi folyóiratokban megjelent publikációkban testesülnek meg. Ezen 20 publikáció között szerepel hét Phys. Rev. B, egy New J. Phys., és két Europhys. Lett. cikk, így a publikációk össz. impakt faktora 40.3. A publikációkon kívül a támogatott kutatási program egy részéből PhD disszertáció született, melyet az egyik résztvevő kutató, Ványolos András 2007-ben "summa cum laude" minősítéssel védett meg.

Budapest, 2008. február 22.

Virosztek Attila