

Opponensi vélemény
Tőke Csaba: Erős korreláció kétdimenziós elektronrendszerekben című
MTA doktori értekezéséről

A kondenzált anyagok fizikájában az elektronrendszerek leírása, megértése általánosan máig megoldatlan. Egy, háromdimenziós, nagy sűrűségű elektron folyadék tulajdonságai, ahol a kinetikus energia dominál a Coulomb kölcsönhatásból származó potenciális energia felett, a sűrűségfluktuációk elhanyagolhatósága miatt, bár fenomenologikusan, jól leírhatók a Landau Fermi folyadék elmélettel, amely szerint az alapállapot egy Fermi folyadék és az alacsony energiájú állapotok elektronszerű és lyukszerű egyrészecskés állapotok gyengén kölcsönható gáza. A hagyományos (BCS típusú) szupravezető, vagy sűrűség hullám állapotok tulajdonságai is egyszerűen leírható, amennyiben ezekben a magas hőmérsékletű állapot Landau Fermi folyadék, és az alacsony hőmérsékleten fellépő spontán szimmetriasértő állapotok és annak gerjesztett állapotai elektronszerű és lyukszerű állapotok kombinációi.

Alacsonyabb elektron sűrűség esetén az elektronok közötti kölcsönhatási energia dominál a kinetikus energia felett, a fenti kép nem alkalmazható. Ekkor a kölcsönhatás miatt fellépő korrelációs energia határozza meg a rendszer állapotait. Ezeket nevezzük erősen korrelált elektron rendszereknek.

A szerkezettől, sűrűségtől, dimenziótól, egyéb szabadsági fokoktól, a kölcsönhatás részleteitől stb. függően számos fázis jöhet létre, illetve a kísérleti eredmények alapján valósul meg.

Az erősen korrelált elektronrendszerek témában a legrégebben vizsgált probléma a mágneses rendeződés, ami néhány triviális esettől (pl. szigetelők egyszerűsített ferromágneses állapota) eltekintve, számos részeredmény ellenére, máig nyitott kérdés még abban az esetben is, ha a szabadsági fokok közül csak a spint tartjuk meg. Ez különösen jelentős alacsony dimenziós, kvázi egy, illetve kvázi kétdimenziós rendszerek esetén. Hasonlóan, ugyanezen okokból, az ún. magas hőmérsékletű szupravezetés fizikája máig nem tisztázott.

Mind a kísérleti mind az elméleti kutatások számára új lehetőség nyílt meg kétdimenzió elektronrendszerben fellépő kvantált Hall effektus felfedezésével és egy ideális, egyszerű, kvázi kétdimenziós anyag a grafén létrehozásával.

A kvantált Hall effektusnál, a külső mágneses tér függvényében, amennyiben a Landau nívók teljesen betöltöttek, a tömbi állapotok szabadsági fokainak befagyásával, a rendszer dinamikáját csak az élállapotok határozzák meg, az elektronok közötti kölcsönhatás elhanyagolható. Ez az egész számú kvantum Hall effektus. Amennyiben a valamelyik Landau nívó betöltöttsége kis egész számok hányadosa - törtszámú kvantum Hall effektus – az elektronok közötti kölcsönhatás következtében teljesen új, addig ismeretlen fázisok jelennek meg. Laughlin variációs hullámfüggvénye a legegyszerűbb esetben - csak a legalsó Landau nívó van részlegesen betöltve, a Zeeman felhasadás következménye elhanyagolható – megfelelően leírja az $1/m$ (m páratlan egész) betöltöttségeket, ahol az alapállapot egy összenyomhatatlan folyadék, a gerjesztett állapotok energiarésszel és tört töltéssel rendelkező lényegében elektronszerű illetve lyukszerű állapotok.

Ez a leírás azonban nem alkalmazható egyéb betöltöttségekre vagy bonyolultabb rendszerekre.

A jelölt értekezésében az egy és kétrétegű grafénban fellépő törtszámú kvantum Hall effektus elméleti vizsgálata terén elért eredményeit ismerteti.

A jelölt témaválasztása teljesen időszerű, a kondenzált anyagok fizikájának egyik, talán a legintenzívebben kutatott területe.

Az értekezés formai kivitelezéséről.

A 114 oldalas nagy sorsűrűséggel írt tartalmi részt, nagyon részletes (407 hivatkozást tartalmazó) irodalomjegyzékkel egészítette ki.

Az első fejezet a vizsgált terület rövid ismertetését és a felhasznált analitikus és numerikus matematikai módszerek felsorolását tartalmazza.

Az ezt követő három fejezet az értekezés lényegi része, az ezen a területen elért eredményeit ismerteti.

A törtszámú kvantum Hall jelenségnél a szabadsági fokok pl. völgy, pálya, paraméterek pl. Zeeman felhasadás, függvényében a különböző betöltési számokhoz gyakran alapvetően különböző fázisok tartoznak. Az egyetlen közös bennük, hogy ezek a Coulomb kölcsönhatás dominanciája miatt létrejövő erősen korrelált állapotok. Egyelőre nagyon is kérdéses, hogy létezik-e egységes elmélet.

A különböző betöltöttségekhez tartozó állapotokat gyakran teljesen más modellekkel lehet közelíteni. Ilyen módon az értekezés, - amely a szerző 15 nagynevű folyóiratokba megjelent publikációjának eredményeit tartalmazza, és a 15 tézispontja ugyancsak a megfelelő publikációkban foglalt eredmények összefoglalása- a szerzőnek az egymással hol szorosabb, hol lazább kapcsolatban álló rész kérdésekhez való hozzájárulásait tartalmazza, ahogy ezt a szerző is megemlíti.

A fentiek alapján is az értekezés nem könnyű olvasmány. Néhány esetben a publikáció könnyebben követhető, mint az értekezésben ismertetett része.

A kevesebb több lett volna. Hasznosabb lett volna, hogy a 15 publikációban elért eredményeinek tárgyalása helyett, kiemel csupán két területet, a kétrétegű grafénban megjelenő ferromágneses és töltéssűrűség-hullám állapotokkal kapcsolatos eredményeit (3. és 4. tézispont), ezeknek részletes tárgyalását, a többi – nem kevésbé fontos eredményeinek - csupán rövid ismertetését adja.

Ezt a két területet azért is emelném ki, mert amíg az egyrétegű grafén alacsony energiás tömbi állapotai nagyon egyszerűek, a kétrétegű grafénban még mágneses tér nélkül is váratlan, új fázisok megjelenése lehetséges, ahogy azt a közelmúltban megtalált szupravezető állapota is mutatja.

Egyetlen kérdésem lenne:

Elképzelhető-e valamilyen szorosabb kapcsolat a (4. tézispont) -ugyan csak mágneses tér jelenlétében- a rétegek közötti csatolás eredményeként létrejövő töltéssűrűség-hullám állapotok megjelenése és az ugyancsak réteges szerkezetű, magas hőmérsékletű szupravezetőkben feltételezett stripe állapotok között?

Összefoglalva:

A törtszámú kvantum Hall effektus kutatása terén, a tézisekben megfogalmazott eredményeket a szerző saját, nemzetközileg igen fontos tudományos eredményeinek tekintem. A téma jellegénél, összetettségénél fogva ezek a részeredmények igen lényegesek, nemcsak a kvantum Hall effektus jelenségének alaposabb feltárása szempontjából, de ezeket egyúttal az erősen korrelált elektronrendszerek tulajdonságainak feltérképezéséhez, megértéséhez vezető rögzös és valószínűleg igen hosszú úton is jelentős lépéseknek tekintem.

Kiemelném a 3. és a 4. tézispontjában megfogalmazott eredményeit, amelyek szerintem általánosabbak lehetnek, és szerintem nemcsak a törtszámú kvantum Hall effektus esetén játszhatnak szerepet.

A bírálatomban, az értekezés formájára tett megjegyzéseim csupán az opponens szubjektív észrevételei.

A bemutatott tudományos eredmények alapján javaslom a nyilvános vita kitűzését és az MTA Doktori címének odaítélését.

Budapest, 2018 április 21

Tüttö István