

Bírálat

TÓKE CSABA

Erős korreláció kétdimenziós elektronrendszerekben című akadémiai doktori értekezéséről

Tőke Csaba értekezése meglehetősen általános címe ellenére kevés kivétellel koherensen épül a kvantált Hall-effektus jelensége köré. E jelenség kutatása az utóbbi időben két irányból is új lendületet kapott. Egyrészt a grafén 2004-es felfedezése egy olyan kétdimenziós rendszert adott a kutatók kezébe, amelyben az elektronspektrum sajátos szerkezete és mágneses térben a Landau-nívók többszörös degenerációja révén a kvantált Hall-effektus tulajdonságai lényegesen eltérnek a korábban leginkább vizsgált, félvezető heteroszerkezetekben létrehozott kétdimenziós elektrongázban megfigyelt jelenségektől. Másrészt az utóbbi évtized szilárdtest-fizikájának talán legizgalmasabb, intellektuálisan legkihívóbb új koncepciója, a topologikus szigetelő, nem kis részben a kvantált Hall-effektust mutató rendszerek tulajdonságaiból merítette ihletését.

Tőke Csaba e terület számos ágában letette névjegyét jelentős nemzetközi visszhangot kiváltó eredményekkel, melyekből a jelen értekezésben válogat. Kétségtelenül megállapítható, hogy az értekezés témája fontos és időszerű. Módszereit tekintve a kétdimenziós elektronrendszerek leírásának számos klasszikus megközelítést alkalmazza az átlagtérelmélettől a perturbációszámításon, a renormáliscsoport-módszeren át az egzakt diagonalizálásig. Ezek a módszerek jól illenek a kérdésköréhez, imponáló magabiztossággal alkalmazza őket.

Öröm kézbe venni a bő 100 oldalas, rendkívül igényes tipográfiával készült értekezést, melynek megértését számos gondosan készített ábra könnyíti. Az értekezés stílusa szabatos, gördülékeny. Kár, hogy a szép ábrák némelyikét olyannyira lekicsinyítette, hogy az már akadályozza a feliratok olvashatóságát.

A mai világban, amikor a tudomány nyelve szinte kizárólag az angol, a magyar nyelven írt értekezés kétségtelenül legfontosabb feladata a szaknyelv ápolása, gazdagítása a legújabb területek szakkifejezéseivel. Sajnos ennek a feladatnak nem mindenhol felel meg: éppen szűkebb szakterületén gyakran az angol nyelvű szakkifejezés tükörfordítását használja, ami a magyar nyelv eltérő szerkezetére, logikájára tekintettel nem hangzik választékosnak.

A dolgozat szerkezete jól követi a tudományos értekezések szokásos tartalmi-logikai tagozódását. Az első fejezet egy rövid általános bevezetőt ad a kvantált Hall-effektus jelenségről, az azt mutató anyagok előállításáról, a jelenség elméleti vizsgálatának módszereiről. Az értekezés zömét saját új tudományos eredményeinek ismertetése teszi ki (2-4. fejezet). Végül összefoglalás gyanánt a téziseit adja meg az 5. fejezetben.

A 2.1 és 2.4 alfejezetek kilógnak a sorból annyiban, hogy itt nem a kvantált Hall-effektussal foglalkozik a szerző. Érdekes módon ide tartozik a pályázó legnagyobb nemzetközi visszhangot kiváltó eredménye: javaslatot tesz a kétrétegű grafén szimmetriasértő alapállapotára.

A 3. fejezetben még mindig a grafénél maradván a törtszámú kvantált Hall-állapotok szerkezetét és gerjesztéseit vizsgálja. Munkájának általában is erénye, hogy jórészt kísérleti eredmények inspirálják és elméleti eredményeit is következetesen összeveti a kísérletekkel. Kiemelkedő példája ennek a 3.1

fejezet, ahol kiterjedt egzakt diagonalizációs számításaira támaszkodva kvantitatívan összeveti a kompozitfermion-elmélet jóslatait a kísérleti eredményekkel ideálshoz közeli kétdimenziós rendszerekben (grafén, vékony GaAs heteroátmenetek).

A 4. fejezetben a félig töltött Landau-szintek fizikáját vizsgálja a törtszámú kvantált Hall-effektus elméletének néhány megoldatlan problémájához keresvén a kulcsot. A bírálónak az volt a benyomása, hogy a pályázó itt van leginkább elemében: imponáló jártasságról tesz bizonyosságot a törtszámú kvantált Hall-effektus szerteágazó elméletében. Kiemelkedik eredményei közül, hogy megmutatja, hogy az $5/2$ törtszámmal kvantált állapotban létezik a fázisdiagramnak egy olyan tartománya, ahol a Pfaff-féle modell helyesen írja le az alapállapotot és alacsony energiás gerjesztéseket.

A pályázó téziseiben összefoglalt új tudományos eredményeit 15, rangos nemzetközi folyóiratokban megjelent publikációban tette közzé (4 közülük a *Physical Review Letters* folyóiratban jelent meg, 9 a *Physical Review B*-ben). Ezekre a cikkekre az MTMT adatbázisa szerint 264 hivatkozás történt. Szintén az MTMT szerint összesen 28 cikke jelent meg nemzetközi szakfolyóiratokban és ezekre 1319 hivatkozás történt. A képet árnyalja, hogy a hivatkozások nagyobb része (730) egy diplomamunkás korában született, a jelen értekezés eredményeihez távolról sem kapcsolódó cikkekre érkezett.

Az értekezéssel kapcsolatban az alábbi kérdéseim, megjegyzéseim vannak:

1. A 2.1 fejezetben spontán szimmetriasértés megjelenésére tesz javaslatot kétrétegű grafénben. Megállapítja, hogy a rendszer pontcsoportja D_{3h} (valójában nem is ez, hanem D_{3d}), majd úgy folytatja, hogy mivel ez a pontcsoport izomorf a grafén C_{6v} pontcsoportjával, ez utóbbi csoport „terminológiáját” használja. Ez akadályozza a tisztánlátást, hiszen az izomorfizmus ellenére ezek a csoportok más operációkat tartalmaznak és nehéz azonosítani, hogy a lehetséges szimmetriasértések a rács milyen torzulásának felelnek meg. Ráadásul az elektronszerkezetet a Brillouin-zóna K pontjában vizsgálja, melynek csoportja D_3 .

Amikor a Hamilton-operátorban a rövid távú elektron-elektron kölcsönhatást leíró tagokban szereplő csatolási állandókat osztályozza, egy „kiterjesztett pontcsoportot” használ, melyet nem definiál, csak egy irodalmi hivatkozást ad meg [143]. Miért van szükség erre a nem szokványos leírásra? Miért „pontcsoport” az a kristallográfiai csoport, amely tartalmaz translációkat? A hivatkozott mű a grafén tulajdonságait tárgyalja; kérem, adja meg, hogyan lehet a módszert a kétrétegű grafénre alkalmazni. Más szóval: hogyan változik [143] II. táblázatának fejléce, első oszlopa és a III. táblázat? A kétrétegű grafén tényleges szimmetriáinak a nyelvéen mi lesz végül is a javasolt szimmetriasértés?

A szakirodalomban más szimmetriasértő alapállapotokra is javaslatot tesznek. Ezekkel kapcsolatban a 19. oldalon úgy fogalmaz, hogy az általa javasolt szimmetriasértés a „legvalószínűbb.” Hogyan számolta ezt a valószínűséget – kérdezhetném kis iróniával? Például elképzelhetőnek tartja-e, hogy az elektronrendszer kollektív gerjesztései lényegesen módosíthatják az értekezésben felvázolt képet?

2. Befolyásolhatják-e az éleken terjedő magnetoexcitonok a második tézispontban leírt, a kvantált Hall-állapotban a Landau-nívókon belüli gerjesztésekre vonatkozó eredményeit?
3. A 2.3 fejezetben a dőpoltatlan kétrétegű grafén nulla energiájú Landau-szintjén kialakuló kvantált Hall-ferromágneses állapotok szerkezetét vizsgálja Hartree-Fock-közelítésben. Arra a következtetésre jut, hogy más elméleti jóslatokkal szemben a részecske-lyuk szimmetria fennáll. Ismeretes ugyanakkor, hogy a Coulomb-kölcsönhatás rövid távú részében

megjelennek olyan tagok, amelyek sértik a részecske-lyuk szimmetriát és feloldják a $0 - 1$ pályadegenerációt. Ilyen például a rétegek közötti másodsomszéd-kölcsönhatás. Mennyiben befolyásolja a részecske-lyuk szimmetria e sérülése a 3. tézispont eredményeit?

4. Elképzelhetőnek tartja-e, hogy többretegű grafénben spinsűrűség-hullám állapot alakuljon ki? Létezik-e a különböző völgyállapotok betöltésében sűrűség-hullám szerű moduláció?
5. Az $5/2$ törtszámú kvantált Hall-állapotra vonatkozó, a 4.2 fejezetben leírt eredményeit lehet-e általánosítani más félig betöltött Landau-nívóra (gondolok elsősorban a $7/2$ állapotra).

Összességében az értekezés minden szempontból messzemenően megfelel az MTA doktora cím megszerzése követelményeinek. Valamennyi tézispontot új tudományos eredménynek ismerem el. Javasolom a nyilvános vita megtartását és sikeres védelem esetén a cím odaítélését.

Budapest, 2018. május 1.



Kriza György
a fizikai tudomány doktora