

Bírálat

DÓRA BALÁZS

Non-equilibrium dynamics of low dimensional quantum systems

című akadémiai doktori értekezéséről

Dóra Balázs doktori értekezésének már a meglehetősen általános címe is azt sugallja, hogy munkássága szerteágazó. Ez így is van: az értekezés számos lazán kapcsolódó eredményre épül. A bíráló általában a téma ismertetése után nyilatkozik arról, hogy az lényeges és időszerű-e. Jelen esetben akaratlanul is megfordul a sorrend: talán a legkézenfekvőbb kapcsolat a műben tárgyalt eredmények között éppen az, hogy a mai szilárdtest-fizika legidőszerűbb, legintenzívebben művelt területeihez tartoznak. A pályázót elismerés illeti, hogy erős nemzetközi versenyben sikerült nagy érdeklődést kiváltó eredményeket elérnie ezeken a területeken.

Az elmúlt évtized kétségkívül legnagyobb szenzációja nem csak a szilárdtest-fizikában, de a diszciplínák egész sorában a grafén. Jelentősége, különleges tulajdonságai közismertek, nem szükséges itt részletezni ezeket. Az értekezés 3 tézise kapcsolódik a grafén és kétrétegű grafén fizikájához. Kiemelem ezek közül, hogy leírta a grafén nagy elektromos terű vezetőképességét és kvantitatívan jellemezte az ún. Schwinger-mechanizmussal keltett elektron-lyuk párok járulékát.

Az utóbbi évek egyik legérdekesebb, intellektuálisan kihívó új paradigmája a kölcsönható elektronrendszerek fizikájában a topologikus szigetelő. A topologikus szigetelők olyan anyagok, melyek tömbi része szigetelő, de a felületükön vezető állapotok léteznek. Ezek a vezető állapotok csak kritikus pontokban keletkeznek vagy tűnnek el. A kritikus pontok között az állapotok „topologikusan védettek”, az elektronrendszer szimmetriái, megmaradó mennyiségei megkövetelik, hogy számuk nem változhat, és ez az anyag mérhető makroszkopikus tulajdonságainak kvantáltságához vezet. A pályázó egyik tézise a topologikus szigetelők tulajdonságairól szól. Megmutatta, hogyan befolyásolhatók intenzív elektromágneses sugárzással a kvantált spin-Hall-szigetelők éllállapotai.

Az elmúlt idők lélegzetelállító új kísérleti technikája a szilárdtest-fizikában az ultrahideg atomi rendszerek előállítás. A környezetüktől elszigetelt, de egymással kölcsönható 100 nK nagyságrendbe eső hőmérsékletű atomcsoportok többféle térbeli alakzatba rendezhetők és kölcsönhatásuk is hangolható. Az értekezés 3 tézise foglalkozik az ultrahideg atomok fizikájával. Legjelentősebbnek tartom ezek közül, hogy tárgyalta a kölcsönhatás bekapcsolásának hatását tetszőleges sebességű bekapcsolásra (szemben a korábban tárgyalt pillanatszerű, illetve adiabatikus bekapcsolással).

Időszerű kérdéseket vizsgál tehát az értekezés? Határozottan állíthatjuk akadémiaink korábbi elnöke, Arany János szavaival: „Bízást! ... mi benn vagyunk a fősodorban.”*

Közös eleme vizsgálatainak, hogy egyensúlytól távoli állapotok időfüggését tanulmányozza. Módszerei sokfélék. Többször alkalmazza a probléma leképezését ismert modellekre, mint pl. a Zener-Landau-modell vagy a Jaynes-Cummings-modell. Esetenként az időfüggő Schrödinger- vagy

* Arany János: Magányban

Dirac-egyenlet egzakt megoldásából indul ki. Máskor munkatársai numerikus eredményeit veszi alapul.

A bő 100 oldalas értekezés lapozgatása öröm a szemnek: a tipográfia igényes, az ábrák gondosan készültek, szépek, informatívak, méretük megfelelő. Stílusa szabatos, gördülékeny, lényegre törő. Megítélésem szerint megfelelően hivatkozik a szakirodalomra. Meg kell azonban itt jegyeznem, hogy több ábrát hivatkozás nélkül vesz át másoktól (1.4, 1.16, 3.3), ami különösen visszaszokásban az esetekben, amikor az ábrafeliratot is szó szerint, de hivatkozás nélkül közli. Úgy tűnik, az 1.17 ábra attribúciója hibás; véleményem szerint ez az ábra a következő cikkben jelent meg eredetileg: Kinoshita et al., Nature **440**, 900 (2006).

Az értekezés felépítése követi a tudományos értekezések szokásos tartalmi-gondolati tagolását. Az 1. fejezet, a 32 oldalas szakirodalmi bevezető 6, egymáshoz csak lazán vagy néha egyáltalán nem kapcsolódó alfejezetből áll. A bevezető tömör, célratoró és lényeglátó. Ezt követi egy egy oldalas problémafelvetés (2. fejezet), majd saját eredményeit ismerteti 5 fejezetben (3-7), 43 oldalon. E fejezetek lényeglátó, logikus stílusát is elismerés illeti. Összefoglalás, konklúzió gyanánt téziseit sorolja fel a 8. fejezetben.

A sokféle vizsgált probléma némiképp töredezetté, inkoherenssé teszi az értekezést, amely így igencsak nehéz olvasmány. Terjedelme körülbelül ugyanakkora (vagy talán rövidebb?), mint az alapjául szolgáló 10 eredeti folyóiratcikk összesített terjedelme, amely tömörség szintén nehezíti az elmélyült megértést. Hiányoltam, hogy a saját tudományos eredményeket tárgyaló fejezetekben csak elvétve jelenik meg az összevetés a kísérleti eredményekkel.

A szerző téziseiben összefoglalt új tudományos eredményeit tartalmazó fent említett 10 közlemény a legrangosabb nemzetközi folyóiratokban jelent meg (4 cikk a Physical Review Letters-ben, 5 a Physical Review B-ben). Publikációs tevékenysége, scientometriai mutatói kiemelkedőek: 108 nemzetközi szakfolyóirat-cikkének összesített impaktfaktora 336, a független hivatkozások száma 700-hoz közelít.

Az értekezéssel kapcsolatban az alábbi kérdéseket teszem fel:

1. A 3. fejezetben a grafén nagyáramú elektromos transzportját vizsgálja és megállapítja, hogy különböző elektromostér-tartományokban eltérő viselkedés figyelhető meg. Megvizsgálja különösen, hogy a relativisztikus kvantummechanikából több mint 60 éve ismert, de kísérletileg sohasem igazolt Schwinger-mechanizmus (grafénban elektron-lyuk párok keltése alagutazással) hogyan befolyásolja az áram elektromostér-függését. Eredményeit összeveti Vandecasteele és munkatársai [Phys. Rev. B **82**, 045416 (2010)] kísérleti eredményeivel. Ezek a szerzők bizonyos mintákon valóban szuperlineáris, 1-nél nagyobb kitevőjű hatványfüggvény szerinti áram-feszültség karakterisztikát mértek, hasonlóan eredményeihez. A kitevő értéke azonban a kísérletekben 1 és 1,4 között változik, ami egyrészt nem egyezik a számításaiból kapott $3/2$ exponenssel, másrészt nem is univerzális érték, mintáról mintára változik. A fentiek tükrében túlzónak tűnik az 1. tézispont azon állítása, hogy elméleti eredményeit később kísérletileg igazolták. Milyen kísérletben lehetne meggyőzően kimutatni a Schwinger-mechanizmus szerepét a transzportfolyamatokban?
2. A fent említett párkeltési tartományban az elektromos tér bekapcsolásának hatását az egzaktul megoldható Landau-Zener-modellben írja le: kiszámolja, hogy a bekapcsolás után

adott idővel mennyire ürül ki egy negatív energiájú elektronállapot, illetve mennyire töltődik be ennek az állapotnak az azonos hullámszám-vektorú pozitív energiájú párja. A nagy elektromos tér azonban sérti a rács diszkrét transzlációs szimmetriáját, így felmerül a kérdés, hogy a jelölt által használt, csak két állapotot figyelembe vevő számítás mennyire helyesen írja le a tényleges gerjesztési folyamatot. Vajon nem gerjesztődnek más hullámszám-vektorú állapotok is? Milyen elektromos térben és milyen mértékben befolyásolhatja ez a jelenség az eredményeit?

3. Grafénban (és hasonlóképp a kétrétegű grafénban) a plazmonok energiája nullához tart a nulla hullámszámú határesetben. Milyen körülmények között befolyásolhatják ezek a kisenergiás kollektív gerjesztések a transzporttulajdonságokat?
4. A kísérletileg mért kvantált Hall-effektus elromlásában nem csak a nemdiagonális vezetőképesség nagyterű változásának, hanem a véges diagonális vezetőképesség megjelenésének is szerepe van. Meg tudja-e határozni számításaiból a kísérletekben mért Hall-ellenállás áramfüggését? Mennyire egyezik a kvantált Hall-effektus kísérletileg megfigyelt elromlása az elméleti várakozásaival?
5. A 68. oldalon megjegyzi, hogy intuíciója szerint az általa leírt Rabi-oszcillációk és a Zitterbewegung egylényegű jelenségek. Hogyan lehetne alátámasztani ezt a felvetést?
6. A Floquet-féle topologikus szigetelők vizsgálata kapcsán felmerült bennem a kérdés, hogy lehetne-e általános szimmetria-megfontolások alapján tárgyalni az erős elektromágneses terek hatását az elektronrendszer topologikus jellemzőire?
7. A 7.1-7.2 fejezetekben leírt kutatások motivációjaként elsősorban azt említi, hogy a kísérletekben értelemszerűen nem valósítható meg tisztán sem a kölcsönhatás pillanatszerű bekapcsolása, sem a végtelen hosszú ideig tartó adiabatikus bekapcsolás, mégsem tér ki arra, hogy a tényleges kísérletek hol helyezkednek el a 7.3 ábrán mutatott állapottérben és eredményei mennyiben segítik elő e kísérletek helyes értelmezését. Kérem, foglalja ezt össze röviden.

Összességében az értekezést kiemelkedő értékűnek tartom. Valamennyi tézispontot új tudományos eredménynek ismerem el. Javaslom a nyilvános vita megtartását és sikeres védelem esetén a cím odaítélését.

Budapest, 2015. május 7.

Kriza György
a fizikai tudomány doktora