

Opponensi vélemény

Földi Péter “*Közegbeli elektronok spin és időfüggő dinamikája külső elektromágneses terekben*” MTA doktori értekezéséről

Földi Péter doktori értekezésében ismertetett munkássága három, egymástól lényegében független témakörhöz tartozik. Ezek sorrendben i) kétdimenziós elektrongázban létrehozott egydimenziós rendszerekben, ún. kvantumgyűrűkben terjedő elektronok spin dinamikája, ii) molekuláris mágnesekben található lokalizált spinek kölcsönhatása időfüggő mágneses terekkel, iii) erős lézerpulzusok kölcsönhatása dielektrikumokkal. Mindegyik témakör olyan, amely egy adott időszakban számos kísérleti munkát is motivált/motivál, amint arra szerző több helyen utal a dolgozatában. Az utolsó témakör a szilárdtestfizika és optika határterületének tekinthető, és természetesen kapcsolódik ahhoz a körülményhez is, hogy Szegeden, ahol a Szerző dolgozik, egy jelentős lézerkísérleti laboratórium épült. Az értekezésben ismertetett munka tehát jól illeszkedik a szilárdtestfizika elmúlt 15 évének nemzetközi és hazai fejlődéséhez.

Az értekezés tagolása követi a tudományos értekezések szokásos felépítését. Az első fejezetben, összesen 11 alfejezetben egy szakirodalmi bevezetőt találunk, melynek keretében a szerző bemutatja az eredményeinek megértéséhez szükséges alapvető ismereteket. Ennek a fejezetnek végén ismerteti a főbb célkitűzéseit is. Ezt követi a saját eredményeinek tárgyalása négy fejezetben. A dolgozat szakmai része egy rövid összefoglalással és kitekintéssel, valamint a tézispontokat tartalmazó fejezettel zárul. A fent említett három témakör közül az elsőnek szenteli a legtöbb figyelmet a szerző, és az összesen nyolc tézispontból négy tézispont ehhez tartozik. A másik két témakörben elért eredményei két-két tézispontban kerülnek összefoglalásra.

Az értekezés magyar nyelven készült, a stílusa világos és lényegretörő. Egy-két helyen talán lehetett volna figyelni, hogy ne maradjanak benne idegenül hangzó megfogalmazások, mint pl amikor módusok “populáltságáról” (11. oldal) vagy “kriogenikus” hőmérsékletről (57. oldal) ír. Az értekezés gondosan kivitelezett, az egyes fejezetek végén található rövid összefoglalók sokban segítenek a bemutatott eredmények áttekintésében. Az ábrák általában informatívak. Ez alól némileg kivétel pl a 20. ábra, ahol az ábra aláírásban hivatkozott vékony fekete vonal nem megkülönböztethető a szürke vonaltól.

A tézispontokban összefoglalt új tudományos eredményeket tartalmazó 8 közlemény rangos nemzetközi folyóiratokban jelent meg (5 cikk a Physical Review B-ben, egy-egy pedig a Nano Letters-ben, New Journal of Physics-ben Physical Review A-ban). Ezenkívül a harmadik és a negyedik fejezetben tárgyalt témakörhöz még további publikációk is kapcsolódnak, amelyek részletes tárgyalására nem kerül sor a dolgozatban, viszont a legfontosabb eredmények rövid összefoglalója a fejezetek végén megtalálható. Ezen publikációk közül pl. kiemelhető az a munkája, amely egy ELI-ALPS-ben végzett kísérlethez kapcsolódik és a Phys.Rev.Lett-ben került publikálásra.

Megjegyzések:

1. A spintronikai témákkal kapcsolatos bevezető részben található a következő mondat: “Az elektronok szilárdtestbeli mozgásának teljesen kvantumos tartományát ballisztikus transzportnak szokás nevezni...” (4. oldal). Ezzel a kijelentéssel nem tudok teljesen egyetérteni. Például a gyenge

lokalizáció jelensége nem a ballisztikus transzport tartományba esik, ennek ellenére véleményem szerint kvantumos jelenség, mert időtükrözött hullámfüggvények interferenciájával kapcsolatos.

2. A spintronikai bevezetőnél maradva, a Rashba féle spin-pálya kölcsönhatást először háromdimenziós esetben tárgyalja a szerző és ennek a fejezetnek a végén megemlíti, hogy “A teljesség kedvéért érdemes megjegyezni, hogy ismeretes egy más típusú (pl köbös) kristályokban előforduló, Dresselhaus típusú SOI-nak nevezett kölcsönhatás is, amely az impulzusban köbös tagokat tartalmaz...” Ezek után kerül sor a Rashba effektusnak a kétdimenziós elektrongázban történő bemutatására. Hiányolom viszont, hogy még említés szintjén sem kerül elő az a tény, hogy a Dresselhaus típusú SOI is általában jelen van a kétdimenziós elektrongázban és az impulzusban lineáris (lásd pl. Roland Winkler, *Spin-orbit coupling effects in two-dimensional electron and hole systems*, Springer 2003), ugyanúgy, mint a Rashba SOI.

Kisebb megjegyzések

1. A 40. ábra alatt érdemes lett volna megemlíteni, hogy mit jelölnek az ábrán látható különböző szimbólumok.

2. A 44. ábrával kapcsolatban a szerző azt írja a 45. ábra felett: “Ugyanakkor, ahogyan az ábra felső része mutatja, $j_x(t)$ maximuma csökken az idő múlásával.” Feltételezem, itt a nem a $j_x(t)$ -re, hanem az $n_c(\mathbf{k}, t)$ -re akart utalni a szerző, hiszen az látható a 44.(a) ábrán.

3. A 48. ábrán érdemes lett volna jelölni, hogy mi a használt színskála pontos jelentése. Feltételezem, ugyanaz, mint pl a 43. ábrán (sötét szín kisebb érték, sárga a legnagyobb érték), de ez a szövegből nem derül ki egyértelműen.

Kérdések:

1. A szerző a második fejezetben azt találja, hogy kvantumos gyűrűk segítségével többféle kvantumos logikai kapunak megfelelő viselkedés elérhető. Ezt az eredményt egy olyan modellre alapozva éri el, amely csak a Rashba SOI-t veszi figyelembe. Ennek egyik motivációja az lehet, hogy a Rashba SOI változtatható külső elektromos tér segítségével, illetve egyes félvezető heteroszerkezetekben ez a domináns spin-pálya kölcsönhatás. Másrészt viszont, kapcsolódva a megjegyzésben már említettekhez, legtöbb kétdimenziós elektrongázban a Dresselhaus SOI is jelen van. Ismer-e a szerző olyan, akár analitikus, akár numerikus számolást, mely a Rashba SOI és a Dresselhaus SOI együttes jelenlétében vizsgálja a kvantumos gyűrűk tulajdonságait? Miként érintheti a Dresselhaus SOI az kvantumgyűrűk logikai kapuként való működését?

2. A 26-ik ábrán azt láthatjuk, hogy egy $N \times N$ kvantumgyűrű hálózat transzmissziós valószínűsége hogyan függ a szórási folyamat erősségétől. Habár kezdetben a spinfüggő szórócentrumok gyorsabb csökkenést eredményeznek, egy bizonyos szórócentrum erősség felett ($D/E_F > 0.05$) a spinfüggetlen szórás nagyobb transzmisszió csökkenéshez vezet, mint a spinfüggő. Van-e olyan egyszerű érvelés, amely segíthet ennek a megértésében?

3. Összehasonlítva a 43.(a) és a 44.(a) ábrákat, látható, hogy pozitív időkre az elektron sűrűség kisebb lesz abban az esetben, amikor a fononokon való szórás is figyelembe vételre kerül a dinamika leírásában (a 44.(a) ábra jobb szélén kevesebb sárga színt látok mint a 43.(a) ábra jobb szélén). Ez

érthető, hiszen a fononokon való szórás miatt az elektronok kiszóródnak a $k_y=0$ síkból. Negatív időkre viszont fordítottan tűnik a helyzet: a 44.(a) ábrán magasabb elektronsűrűségek jelennek meg, mint a 43.(a) ábrán. Miért látható a fonon szórás hatását bemutató ábrán nagyobb elektronsűrűség $t<0$ -ra mint a szórás nélküli esetben? Más kezdeti elektronsűrűséget használt a szerző a számolások elvégzésére?

4. Az 50-ik ábrán látható, hogy a szerző által használt vektorpotenciál esetén (5.27 egyenlet) csak páratlan rendű magasabb harmonikusok jelennek meg a gerjesztés utáni másodlagos sugárzásban. Van-e olyan egyszerű fizikai érvelés, ami segít megérteni, hogy miért hiányoznak a páros rendű felharmonikusok? Lehet-e ennek köze a számolásban használt modell valamilyen szimmetriájához? Itt a következőkre gondolok: az atomi vékony anyagok optikai tulajdonságainak vizsgálatokor általában folyamatos működésű lézertényet használnak, tehát ilyen szempontból különbözik a helyzet a dolgozatban tárgyalthoz képest. Ezekben a kísérletekben a második harmonikus megjelenését a minta inverziós szimmetriájának sérülésével lehet kapcsolatba hozni.

Összefoglalva, a Szerző komoly és értékes munkát mutat be a doktori értekezésben. A megfogalmazott nyolc tézispontot a Szerző saját eredményeinek fogadom el. Javasolom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását és sikeres védelem esetén a doktori cím odaítélését.

Budapest, 2022. március 9.

Kormányos Andor
ELTE, Komplex Rendszerek Fizikája Tanszék