

Opponensi vélemény Dóra Balázs
Nem-egyensúlyi dinamika alacsony dimenziós
kvantum rendszerekben
című, az MTA doktora címre benyújtott
értekezéséről

Dóra Balázs disszertációja időszerű, mert a nem-egyensúlyi fizikában – amely jelenleg a nemzetközi tudományos érdeklődés egyik központi területe – elért kutatási eredményeiről ad számot. A dolgozat szerkezete a hagyományos formát követi. A szerző összefoglalja eddigi kutatásai eredményeit, s teszi ezt igen tetszetős és jól kiállított formában. Az értekezés 9 fejezetből áll, melyek közül az elsőben egy hasznos és részletes bevezetőt kapunk a tudományos előzményeket illetően, a második fejezet a célkitűzéseket fogalmazza meg, az utolsó kettő a tézisek és a köszönetnyilvánítás, míg a maradék öt viszont az eredményeket tartalmazza részletesen. A benyújtott munka alapjául 10 magas színvonalú publikáció szolgál, melyek közül 8-ban első, 1-ben pedig utolsó szerző a jelölt, így szakirodalmi tevékenységével teljesíti az akadémiai doktori cím követelményét. A cikkek kivétel nélkül rangos nemzetközi folyóiratokban (Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B ...) jelentek meg, ami egyet jelent független és szakértő bírálók szakmai jóváhagyásával, illetve azok pozitív véleményével. Ez a bíráló számára mindenképpen könnyebbé teszi a szolgálatát, hiszen jórészt csak a disszertációra kell koncentrálnia.

A 3. fejezetben a Dirac-egyenlet segítségével vizsgálja két dimenziós rendszer elektromos tér bekapcsolása után fellépő áram viszonyait, amellyel a grafén, illetve a topológiai szigetelők tulajdonságait írja le. A 4. részben megmutatja, hogy a kétrétegű grafén spektruma merőleges elektromos térrel szabályozható, amelynek a következménye lesz aztán a tiltott sáv kialakulása. Az 5. fejezet Rabi-oszcillációkat vizsgál mágneses térbe helyezett grafénben, míg a hatodikban Floquet közelítésben két dimenziós topologikus szigetelők spin-Hall-

él-állapotainak tulajdonságait vizsgálja cirkulárisan polarizált elektromos tér hatására. A hetedik fejezet, amely a dolgozat eredményeinek közel harmadát jelenti, meglehetősen összetett. Különböző típusú folyadékok számos tulajdonságát vizsgálja a fermionikus egyrészecske sűrűség mátrix segítségével az idő és térkoordináta függvényében.

Az értekezés logikusan felépített, gondosan elkészített munka, mind az alkalmazott módszereket, mind pedig a vizsgált jelenségeket részletesen ismerteti. Nyelvi hiba és elírás csak elvétve található benne. A dolgozatban jól elkülönülten jelennek meg a jelölt saját eredményei, de az irodalomban található kísérleti és elméleti eredményekkel való összevetés és diszkusszió is lényeges szerepet kap. A jelölt különböző fizikai problémák leírására modelleket dolgozott ki, amelyek keretében a saját maga által elvégzett analitikus számolások és numerikus szimulációk segítségével, illetve az irodalomból már ismert elméleti és kísérleti eredmények felhasználásával próbál válasz találni a felvetett problémákra.

Tekintettel arra, hogy a nem-egyensúlyi dinamika vizsgálata az utóbbi években az atom és molekulafizikai kutatásokban is egyre inkább a középpontba került (elektrondinamika, magdinamika), ezért az alábbiakban megfogalmazott kérdéseim ill. megjegyzéseim részben arra is vonatkoznak, hogy lát-e a jelölt konkrét kapcsolatot, hasonlóságot a két terület között.

- A jelölt a kétrétegű grafénban erős elektromos tér segítségével csatolja a rétegeket, amelynek következtében a spektrumban megjelenő tiltott sáv hangolhatóságát és dinamikáját vizsgálja. Teszi mindezt a 2×2 Floquet reprezentáció alkalmazásával. Mennyire konzisztens ez? Az erős tér ugyanis nemcsak az egy, hanem a több fotonos folyamatokat is magában foglalja. Viszont ha az elektromos tér miatt időfüggő Hamilton-operátor eredeti egzakt $n \times n$ -es Floquet alakjáról áttérünk a 2×2 -es alakra, akkor ez ismereteim szerint annyit jelent, hogy csak az egyfotonos folyamatokat vesszük figyelembe. Ez pedig gyenge, vagy legfeljebb mérsékelt intenzitású elektromos térben tartható. Egy áthidaló megoldás lehetne az RWA (rotating wave approximation) közelítés használata. Erről a jelölt említést is tesz a dolgozatban. Ez annyiban pontosabb, hogy időtől függő burkoló függvénnyel dolgozik a Floquet-ban használatos konstans amplitudó helyett. Érdekes lenne megnézni, hogy egy ilyen leírás mekkora változást okozna a kapott eredményekben. Ismert ezzel kapcsolatban valamilyen munka az irodalomban?
- Okozhatna-e érdekes fizikai hatást, ha a két réteg csatolása frekvencia csörpölt elektromos térrel történne? Hogyan módosulna a dinamika, illetve a hangolhatóság?
- A Berry fázist két állapot között a nemadiabatikus csatolási vektornak, egy a konfigurációs téren felvett zár görbe mentén számítható integráljaként kaphatjuk meg. Ezt a formulát adja meg a disszertáció 1.7 képlete is. A számítás nem is szokott nehézséget okozni, amennyiben elektromos tér nincs jelen. Kérdésem az lenne, hogy hogyan,

pontosan milyen módszerrel, illetve közelítéssel történik a számítása, amennyiben erős, időfüggő elektromos teret kapcsolunk be?

- Az ötödik fejezetben rámutat, hogy az egyrétegű grafén statikus mágneses térbeli viselkedése összefüggésbe hozható egy kétállapotú rendszer (pl. atom) elektromágneses térbeli viselkedésével. Konkrétan az elektromos tér hatására bekövetkező populációtranszfernek az oszcillációi (Rabi-oszcillációk) megjelennek a kvantáló mágneses térbe helyezett grafén optikai válaszában is. Az atomfizikában van egy érdekes határeset, amikor is rezonáns gerjesztések esetén a Rabi frekvenciát kizárólag a dipólus csatolás erőssége határozza meg. Van-e ennek fizikai megfelelője, s ha igen, akkor mi a mágneses térbe helyezett grafén esetén?
- A hetedik fejezetben egy kölcsönhatás kvencs hatását vizsgálja Luttinger-folyadékban a fermion egyrészecke sűrűségmátrix tér és időkoordináták szerinti viselkedésének függvényében. Azt találja, hogy árnyékolt Coulomb kölcsönhatást bekapcsolva (1 szomszéd közelítés) a rendszer rövid távú leírását a nagy energiás, nem egyensúlyi módusok, míg a térbeli hosszú távolságú viselkedést a kis energiás, erősen nem egyensúlyi módusok határozzák meg. Mennyire változhatna ez, ha távolabbi, mint első szomszéd kölcsönhatásokat is figyelembe vennénk? Hogyan módosulna a rendszer dinamikai viselkedése egy disszipációt jelentő hatás bekapcsolása után? Léteznek-e kísérleti eredmények ezen a területen?

Kritikaként mindössze csak annyit szeretnék megjegyezni, hogy hasznos lett volna a disszertációt olvasó számára, ha a jelölt készít egy rövidítés jegyzékét, amelyet a dolgozat elejére elhelyez, megkönnyítvén az olvasást és a megértést.

Összefoglalásként megállapítható, hogy Dóra Balázs az elmúlt évek folyamán komoly és értékes munkát végzett, mely átfogó tudásról és érdeklődésről tesz tanúbizonyságot. A tézispontokban foglaltakat a jelölt új tudományos eredményeinek ismerem el. Mindezek alapján javaslom az értekezés nyilvános vitára bocsátását és sikeres védés esetén az MTA doktori cím odaítélését.

Debrecen, 2015. április 7.

Vibók Ágnes