

Raport stiintific

privind implementarea proiectului TE 90/05.10.2011 in perioada ianuarie –decembrie 2012

In anul 2012 am continuat studiile privind faza functiei de unda electronice, studii incepute in octombrie 2011, in cadrul prezentului proiect. Motivatia principala o constituie existenta unor experimente de data relativ recenta, a caror rezultate nu au primit, pana acum, o explicatie teoretica unanim acceptata. Deasemenea, exista o importanta de principiu in a cunoaste proprietatile fazei deoarece, de exemplu, legaturile moleculare sau conductivitatea in solide depind nu doar de amplitudine, ci si de faza functiei de unda.

Activitatea grupului nostru din primele trei luni de implementare a proiectului (octombrie-decembrie 2011) a fost descrisa in precedentul raport stiintific si se referea la posibilitatea determinarii fazei functiei de unda prin metode non-interferometrice, in perechi de forme izospectrale, dupa cum a fost propus in [1]. Extragerea fazei functiei de unda folosind forme izospectrale este posibila deoarece functiile de unda ale perechilor de forme prezinta o proprietate numita transplantare, care permite constructia unei functii din cealalta. Aceasta aduce o informatie suplimentara permitans in final calculul fazelor functiilor de unda, daca se cunosc amplitudinile. In prezenta dezordinii, am demonstrat ca este in continuare posibila extragerea corecta fazei, daca dezordinea este sub un anumit prag. Cu dezordine, izospectralitatea stricta nu se mai pastreaza, dar se poate defini o faza, ca in [1], care minimizeaza misfitul functiilor de unda dupa transplantare.

In prima parte a acestui an, conform planului propus, am continuat analiza privind extragerea fazei functiei de unda electronice folosind forme izospectrale. Rezultatele descrise in continuare (cat si cele descrise in raportul stiintific precedent) au fost publicate in lucrarea [2]. In experimentul [1], o sursa importanta de abatere de la o izospectralitatea "stricta" il constituie (pe langa dezordine) si rugozitatea marginilor. Simularile noastre numerice au constatat in medierea amplitudinii functiei de unda (pentru un anumit mod propriu), mediere realizata peste un numar de 200 de realizari pentru fiecare nivel de rugozitate. Rugozitatea a fost definita ca raportul dintre suprafata toata adaugata (sau extrasa) si suprafata unei forme ideale (de rugozitate zero). Calculele noastre sugereaza ca izospectralitatea (in limita abaterilor statistice) cat si o extragere corecta a fazei se pastreaza daca rugozitatea este sub 2.5%. In termeni de misfit al functiilor de unda dupa transplantare, rezultatul coincide cu cel obtinut in cazul medierii peste dezordinea de suprafata: misfitul trebuie sa fie mai mic de 4-5%. Acest rezultat este descris in Figura 1.

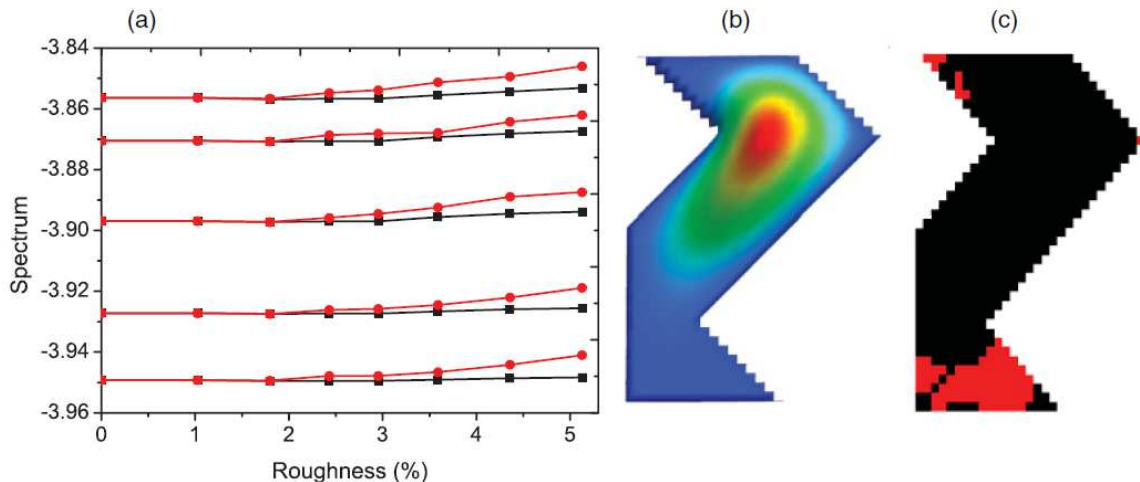


Figura 1: a) Evolutia primelor cinci nivele de energie ale lui Bilby (linie neagra, cu simboluri patrat) si Hawk (linie rosie, cu simboluri cercuri) cu cresterea nivelului de rugozitate a marginilor. b) Amplitudinea primului mod al lui Bilby si faza extrasa pentru o rugozitate de 3.5%. Spectrele si distributia de amplitudine au fost calculate prin mediere peste 200 de realizari aleatoare pentru fiecare rugozitate. Distributia fazei a fost calculata dupa ce este descris in [2], cu conditia de minimizare a misfitului functiilor de unda dupa transplantare.

Analiza evolutiei fazei cu rugozitatea, in perechile de forme izospectrale, conchide prima parte a proiectului. In continuare am analizat extragerea fazei transmitantei electronice prin metoda "clasica" folosind interferenta. Prima asemenea masuratoare de faza a fost realizata de catre Yacoby et al. [3], care a inserat un dot cuantic pe unul din bratele unui interferometru mezosopic, ca in Figura 2. Un asemenea interferometru se mai numeste si "inchis" deoarece are doar doua terminale, respectiv sursa si drena. La aplicarea unui potential variabil pe dot-ul cuantic, variatia fazei transmitantei dot-ului ar trebui sa se regaseasca in variatia de faza a oscilatiilor Aharonov-Bohm. Problema cu acest set-up de interferenta este ca electronul poate inconjura inelul de mai multe ori, dand nastere la interferente multiple. Rezolvarea a fost introducerea de fire suplimentare, numite regiuni de baza, cu scopul de a absorbi electronii reflectati la contacte si de nu permite interferentele multiple (un asemenea interferometru numindu-se "deschis"). Rezultatele experimentale astfel obtinute [4] au continut un element cu totul neasteptat, si care nu a primit, deocamdata, o explicatie unanim acceptata, si anume ca faza transmitantei electronice nu este constanta intre rezonante (asa cum ar fi sugerat de regula de sumare Friedel, care leaga evolutia fazei de sarcina dot-ului, cantitate care ramane constanta intre rezonante). Desi in acest caz -al interferometrului deschis- se poate folosi in mod convenabil formula interferentei simple, exista neajunsuri importante, si anume un semnal slab si incertitudinea privind efectele suplimentare care pot fi introduse de regiunile de baza. In acest context, ar fi important daca anumite informatii despre evolutia fazei transmitantei ar putea fi extrase si folosind interferometre inchise.

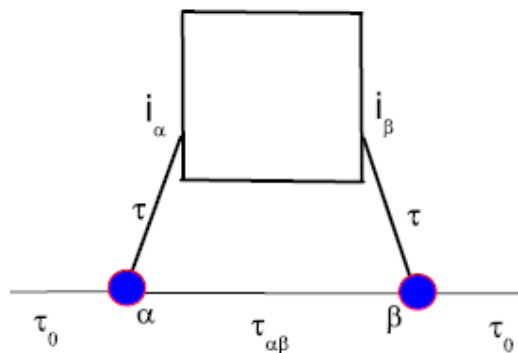


Figura 2: Schema unui interferometru inchis, pe unul din brate fiind inserat un dot cuantic bidimensional.

In geometria prezentata in Fig.1, daca se aplica pe dot-ul cuantic un potential variabil, efectul este aparitia de linii Fano asimetrice in conductanta. Noutatea studiului nostru o constituie gasirea unei demonstratii analitice a faptului ca semnul parametrului Fano poate fi corelata direct cu evolutia fazei transmitantei intre rezonante. Mai precis, daca doua rezonante consecutive (ale sistemului inel+dot) au acelasi semn al parametrului Fano, rezulta ca intre rezonantele corespunzatoare ale dot-ului a avut loc o

cadere a fazei cu π . Acest rezultat este inclus in doua articole publicate de grupul nostru [5,6], care contin demonstratiile detaliate. In prezentul raport reproducem ilustratia grafica a acestei proprietati, in Fig.3.

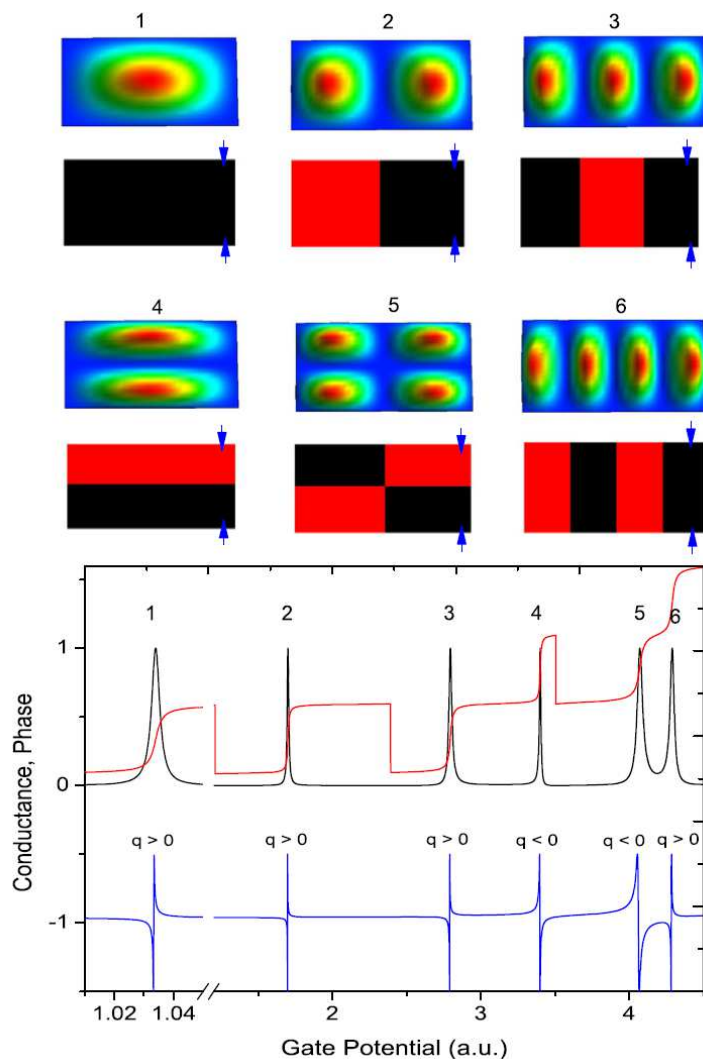


Figura 3: In partea de sus: Amplitudinea si faza primelor sase functii proprii ale unui dot dreptunghiular. Pnetru faza, putem face conventia de a atribui semnul "+" culorii negre si "-" culorii rosii (gri). Sagetile albastre indica pozitia unde vor fi conectate firele. In partea de jos: Transmitanta dot-ului cuantic (in partea de sus a graficului) fiind plutate atat amplitudinea (cu negru) cat si evolutia fazei (cu rosu). Sub fiecare rezonanta este plotata, cu albastru, linia Fano corespunzatoare care ar rezulta daca dot-ul ar fi plasat intr-un interferometru. In dreptul fiecărei linii este indicat semnul parametrului Fano. Prima rezonanta este foarte ingusta, fiind plotata cu zoom. rezultatul principal il constituie faptul ca daca doua rezonante Fano consecutive au acelasi semn al parametrului Fano, aceasta implica existenta unei caderi de faza cu π a transmitantei dot-ului; in caz contrar, faza ramane constanta intre rezonante.

In articolul [5] este inclusa deasemenea si o analiza a comportamentului fazei in prezenta interactiei electron-electron. In acest caz, insasi formularea problemei se complica semnificativ, nemaifiind posibila folosirea formalismului de transport Landauer-Buttiker. Este important de mentionat ca, in prezenta interactiei electron-electron, formularea problemei fazei trebuie facuta in corelatie stransa cu metoda de masurare. Formalismul folosit nemaifiind unul de imprastiere (Landauer-Buttiker) faza functiei de unda nu mai poate fi calculata direct, o definitie corecta fiind : "ce variatie de faza, extrasa din shift-ul oscilatiilor Aharonov-Bohm, este determinata experimental". In acest context, dupa cum aratam in [5], se poate vorbi fespse faza matricii T, corespunzatoare energiei Fermi.

Rezultatele sunt de aceasta data doar numerice (nemaifiind posibil un calcul analitic), dar ele confirma rezultatele analitice (si numerice) gasite pentru cazul fara interactie. Rezultatul este de

importanta in domeniu, deoarece demonstreaza ca problema caderilor de faza intre rezonante (numita de unii autori cea mai longeviva problema nerezolvata din fizica mezoscopica [7]) poate fi adresata folosind interferometre inchise, acestea prezentand, dupa cum am explicat, o serie importanta de avantaje comparativ cu interferometrele deschise. Problema fazei in fizica mezoscopica apare si in cazul curentilor permanenti in inele mezoscopice. In acest context, grupul nostru a realizat un studiu privind generarea si evolutia curentilor permanenti de sarcina si de spin in inele mezoscopice, in prezenta interactiei spin-orbita. Un pattern deosebit de complex apare in cazul in care avem interactie spin-orbita Rashba cat si Dresselhaus (prima putand fi indusa si controlata prin campuri electrostatice neomogene, cea de a doua fiind in principiu o proprietate de material). Rezultatele studiului sunt incluse in articolul [8].

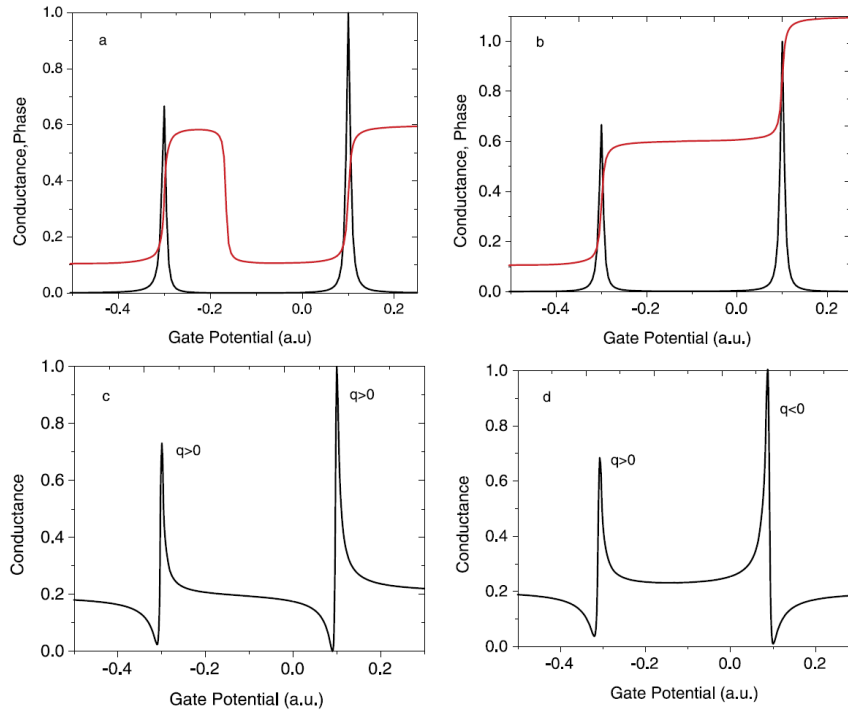


Figura 4: In prezenta interactiei electron-electron se pastreaza concluziile de la cazul fara interactie, prezentate in Fig.3: daca rezonantele Fano au acelasi semn al parametrului Fano, faza transmitantei prezinta o cadere cu π , in caz contrar faza ramanand constanta intre rezonante.

Concluzionand acest Raport Stiintific, rezultatele grupului nostru in anul 2012, in cadrul proiectului PNCDI II TE 90/05.10.2012, respecta planul initial care prevedea pentru acest an analiza extragerii de faza prin metode non-interferometrice (folosind forme izospectrale); deasemenea ne-am propus (si s-a realizat) sa raspundem la intrebarea ce informatii de faza pot fi extrase din interferometre inchise si efectuarea unui studiu de interferenta in inele mezoscopice cu interactie spin-orbita.

Rezultatele au fost publicate in patru articole ISI in reviste cu factor de impact ridicat (Referintele 2,5,6 si 8 de mai jos). Deasemenea, rezultatele au fost prezentate la o serie de conferinte din strainatate si din tara (a se vedea lista de deplasari din raportul economic).

In continuarea proiectului, grupul nostru va incepe implementarea unui calcul spectral many-body pentru dot-uri cuantice bidimensionale. In sine, un asemenea calcul spectral, numeric exact (cunoscut in literatura si ca metoda configuratie-interactie), combinat cu o evolutie in timp, sub actiunea unor potentiale externe, permite adresarea unor probleme de actualitate in fizica mezoscopica, cum ar fi gasirea de candidati pentru bitul cuantic de informatie (a se vedea, de exemplu, articolul recent [9] si referintele continute), descrierea proprietatilor magnetice in prezenta corelatiilor, etc. Ulterior, se va urmari rezolvarea problemei de imprastiere many-body cu accent pe calculul si posibilitatile de masurare a variatiei de faza a transmitantei, pentru acest caz.

Bibliografie:

- [1] C.R. Moon et al., Science **319**, 782 (2008).
- [2] M. Tolea, B. Ostahie, M. Nita, F. Tolea, A. Aldea, Phys. Rev. E **85**, 036604 (2012).
- [3] A. Yacoby et al., Phys.rev.Lett. **74**, 4047 (1995).
- [4] R. Schuster et al., Nature **385**, 417 (1997).
- [5] M. Tolea, V. Moldoveanu, I.V. Dinu, B. Tanatar, Phys.Lett.A **376**, 3229 (2012).
- [6] M. Tolea, V. Moldoveanu, I.V. Dinu, B. Tanatar, Nano.Res.Lett. **7**, 568 (2012).
- [7] Y. Oreg, New J. Phys. **9**, 122 (2007).
- [8] M. Nita, D.C. Marinescu, A. Manolescu, B. Ostahie, V. Gudmundsson, Physica E **46**, 12 (2012).
- [9] C-Y. Hsieh et al., Phys.Rev.B **86**, 115312 (2012).

Director proiect,
Dr. Mugurel Tolea