

- [1]. A. Csordás, P. Szépfalusy P, É. Szőke: "Clustering of Fermi particles with arbitrary spin", Physical Review Letters 92, 090401-1-4 (2004)
- [2]. A. Csordás, É. Szőke, P. Szépfalusy: "Cluster states of fermions in the single l-shell model", cond-mat/0511734

Csapdázott Fermi-gáz a körülményektől függően modellezhető úgy, hogy a nem teljesen betöltött külső héjat emeljük ki úgy, hogy az úgynevezett lokális sűrűség közelítést alkalmazzuk. A csapdapotenciált izotrópnak véve a Hartree-Fock közelítés szellemében a nyílt héj részecskéinek radiális hullámfüggvénye mind ugyanaz, amit a betöltött héjak effektív potenciálja és a csapdapotenciál határoz meg. Modellünkben a részecskék kölcsönhatására egy vonzó, spinfüggetlen, kontakt kölcsönhatást véve a héjefektusokra koncentráltunk. Az egyetlen nyílt "l"-héjat ("l" a nyílt héj-beli részecskék pályaimpulzus-momentumának kvantumszáma) leíró Hamilton-operátor alap- és gerjesztett állapotainak energiáját, illetve ezen állapotok szerkezetét vizsgáltuk az [1] és [2] munkákban. Feles spinű részecskék és vonzó kölcsönhatás esetén ilyenkor fellép a Cooper-jelenség, a rendszer alapállapota két részecskéből álló párokkal írható le. Vizsgálatunk egyik fő célja az volt, hogy ez a kép mennyire módosul amennyiben a fermionok "s" spinje nagyobb 1/2-nél. Másik megvizsgálandó kérdés az "l" kvantumszámtól, és az "N" részecskeszámától való függés felderítése volt. A Cooper-jelenség általánosításaként [1]-ben l=1,2-re és minden "s"-re azt találtuk, hogy az alapállapot (2s+1) részecskéből álló fűrtök (klaszterek) együttesével írható le, ha a részecskeszám (2s+1) többszöröse. Ekkor az alapállapot energiája lokális minimumot mutat ezeknél a részecskeszámoknál. Taglaltuk ennek az eredménynek a fontosságát más esetekben is, mint például a homogén rendszer esetében. Az [1] munka az alapállapotot elsőkvantálva tárgyalta. Ez a leírás magasabb "s" és "l" esetén kényelmetlen. A [2] munka már a másodikkvantált formalizmust használta, és a nagyobb "l" kvantumszámokat célozta meg. Még viszonylag kis "l" és "s" esetén is az egy-héj modell Fock-terének dimenziója igen nagy lehet: 2-nek a (2l+1)(2s+1)-dik hatványa. Így érthető, hogy nagy numerikus munkát jelentett az egzakt diagonalizálása a Hamilton-operátornak. Hamar kiderült, hogy a fűrt kép tetszőleges "l"-re, "s"-re helyes, bár a fűrtökből felépített alapállapot l>2-re csak közelítően igaz. A fűrtökből felépített hullámfüggvény l>2-re, illetve 1/2-től különböző "s"-re egy másik közelítő Hamilton-operátor egzakt alapállapota. A közelítő Hamilton-operátor viszonylag magas szimmetriát mutat, mert a részecskeszám operátorából, az SO(2l+1) és SU(2l+1) csoportok Casimir-operátorából épül fel. (Kontakt kölcsönhatás esetén az egy-héj Hamilton-operátornak SO(2l+1) nem egzakt szimmetriája l>2 esetén). Megmutattuk, hogy a fűrt állapotokkal képezve az "igazi" Hamilton-operátor várhatóértékét, az megegyezik a közelítő Hamilton-operátor várhatóértékével. Ez magával vonja azt, hogy perturbációnak tekintve a két operátor különbségét, energiában csak másodrendű korrekció léphet fel. Néhány "l"-re "s"-re numerikus számításból konkrétan meg is adtuk a két operátor alapállapot energiáját, ami tükrözte a fenti képet. Konkrétan l=3 (f-héj), s=3/2-re az alapállapot majdnem teljesen a fűrt állapot, ahhoz kis mértékben SO(2l+1) és SU(2l+1) Casimirjainak egy másik közös sajátvektora keveredik hozzá.

- [3] A. Csordás, Z. Adam, "Collective excitations of trapped Fermi or Bose gases", cond-mat/0512584, beküldve a Physical Review A-nak.

Csapdázott atomgázok kollektív gerjesztései igen hasonlóak egy lebegő vízcsepp rezgéseivel. A korábbi években bozonokat használva a Bose-Einstein (BEC) fázisátalakulás kritikus hőmérséklete alatt ezeknek a gerjesztéseknek a frekvenciáit és csillapodását több kísérleti csoport is nagy pontossággal megmérte. Ma az egyik, mind elméletileg, mind kísérletileg, a legérdekesebb

kérdés a Bardeen-Cooper-Schriffer féle (BCS) fázisátalakulás kritikus hőmérséklete alatt megfigyelhető hasonló kollektív gerjesztések mibenlétének a megismerése ha a kísérletekben fermionikus izotópokat használnak. Mindkét esetben egy hidrodinamikai leírás kielégítően megmagyarázza a gerjesztések frekvenciáinak viselkedését. Célunk volt, hogy a hidrodinamikai leírásban egy általános módszert adjunk tetszőleges gerjesztés kiszámítására, illetve konkrét számolást végezni a kísérletekben tapasztalt BCS-BEC átmenet leírására használt átlagtérelméleti modellre. A hidrodinamikai egyenletek egy térben változó együtthatókkal rendelkező hullámegyenletet adnak a sűrűségmódusokra. Az irodalomban általános előírás eddig nem létezett a sűrűségmódusok peremfeltételeire. Kimutattuk, hogy létezik egy "természetes" skalárszorzat a módusfüggvények között, amellyel a módusfrekvenciák meghatározása a hullámoperátor mátrixelemeinek kiszámítása után egyszerű diagonalizálásra vezethető vissza. Eredményeinket összehasonlítottuk az ú.n. skálaansatz-cal kapott eredménnyel a konkrét esetben, és azt találtuk, hogy a numerikus eltérés igen kicsi a kvadrupól módusok esetén a teljes átmeneti tartományban. Más módusokra még skálaansatz sem ismeretes, de módszerünkkel ezeknek a módusoknak a frekvenciái is meghatározhatóak. A [3] munkában az izotróp harmonikus csapdapotenciálban számolható eredményeket mutattuk be. Jelenleg a kísérleteknek megfelelő erősen anizotróp potenciálban végzünk számításokat. Előzetes eredményeink szerint a módszer ott is kiválóan működik, bár jóval tetemesebb számolást igényel. A módszerről kimutattuk, hogy számos, a gerjesztésekre vonatkozó kritériumot "automatikusan" tud. A részecske megmaradásra vonatkozó megkötés, illetve az ú.n. Kohn-módusok (A 3 tömegközépponti módus) egzaktak a módszerben. A munka kulcs elemeit először két konferencián poszter formájában mutattuk be, amelyeket igen pozitívan fogadtak. A munka egyes részeiből egy TDK dolgozat született (Adam Zoltán: Alacsony hőmérsékletű fermionok vizsgálata a Leggett-modellben, izotróp csapdában), amellyel Adam Zoltán az ELTE TTK Kari TDK konferenciáján I. díjat szerzett. Az alkalmazott formalizmust, az izotróp harmonikus csapdapotenciálra vonatkozó eredményeket a [3] munkában publikáltuk. Jelenleg a munka elbírálás alatt van a Physical Review A-nál.

[4] Cserti J., Csordás A., Zülicke U.: "Electronic and spin properties of Rashba billiards", Physical Review B 70, 233307-1-4 (2004).

[5] A. Csordás, J. Cserti, A. Pályi, U. Zülicke, "Rashba billiards", cond-mat/0512397, beküldve a Physical Review B-nek

Első látásra egy távoli probléma, a Rashba-billiárdok szintstatisztikája volt a tárgya másik két publikációnak. A matematikai struktúra hasonlósága, nevezetesen a [3] és [6] munkában használtakéhoz igen hasonló alakban fellépő elliptikus integrálok kezelése segített a Rashba-billiárdok állapotssűrűségének és az állapotssűrűség korrekcióinak a kiszámításában. Ballisztikus elektronok problémáját, amelyek zárt, kétdimenziós felület belsejében mozoghatnak, és Rashba-típusú spin-pálya csatolás is hat rájuk, nevezik Rashba-billiárdoknak. Klasszikusan az elektronok diszperziós relációja két ágra hasad, és egy jól meghatározott hullámszám tartományban az egyik ágon a klasszikus sebesség és az impulzus iránya egymással ellentétes. Kvantumosan a rendszer negatív sajátenergiákkal is rendelkezik. Az egyik fő vizsgált kérdés éppen ez a spektrumrész volt, mert ebben a tartományban az állapotssűrűség néhány szokatlan tulajdonsággal rendelkezik. Kiszámítottuk az állapotssűrűség sima részét korrekciókkal harmad rendig, amely tökéletes egyezést mutatott a numerikusan egzakt kvantummechanikai számolásokkal. A kvantummechanikai szintek numerikus megoldása sem volt könnyű probléma, nagy Rasha spin-pálya tag esetén a numerikus alulcsordulást kellett kivédeni. Megmutattuk, hogy az állapotssűrűség finomabb részletei (Az állapotssűrűség sima részével még nem jellemzett egyes szingularitások) negatív energiákon és kör alak esetén jól leírhatók viszonylag

egyszerű szemiklasszikus módszerekkel. A legfontosabb eredményeket először a [4] rövidebb terjedelmű munkában, majd a részletes számolásokat az [5] publikációban írtuk le.

[6] Almásy Orsolya "Csapdázott szuperfolyékony Fermi-gázok vizsgálata, gradiens korrekciók", 2005, Témavezetők: Csordás András, Szépfalusy Péter

Ennek a munkának a szuperfolyékony rendszer sűrűségének és gap-profiljának a gradiens-korrekciói volt a tárgya. Csapdázott rendszerekben a két profilt vezető rendben az úgynevezett lokális sűrűség közelítésből kaphatjuk, amikor is lokálisan a homogén-rendszerbeli eredményeket alkalmazzuk úgy, hogy a kémiai potenciált a csapdapotenciállal eltolt értékkel vesszük figyelembe. Kíváncsiak voltunk, hogy a profilokra az így kapott önkonzisztens egyenletekben milyen további tagok lépnek fel annak következtében, hogy a csapdapotenciál (leggyakrabban egy harmonikus oszcillátor potenciál) térben nem állandó. Homogén rendszerben ilyen korrekciók nem lépnek fel, ezek csak térben változó potenciál esetén adnak járulékot. A számolás a Green-függvényes formalizmuson keresztül történt. Csapdázott rendszerben a normális és anomális Green-függvény két helyváltozótól is függ (homogén rendszerben csak a két helyváltozó különbségétől). E két helyváltozóról áttérve a tömegközépponti és relatív koordinátákra, majd a relatív koordinátákban Fourier-transzformálva a Green-függvények egy fázistérben definiált reprezentációihoz jutunk. Ebben a reprezentációban célszerű először a Green-függvény fázistérbeli gradiens-korrekcióit számolni. A két Green-függvényből a megfelelő impulzus integrálok elvégzése után kaphatóak a két vizsgált profil gradiens-korrekciói. Zérus hőmérsékleten a csapdázott szuperfolyékony Leggett-modellre számítottuk ki konkrétan a profilok korrekcióit. Az impulzus integrálok elvégzése a teljes elliptikus integrálok egy széles családjának a kiszámítását tette szükségessé. Kidolgoztuk ezekre igen hatékony analitikus és numerikus módszereket. Számításaink eredménye az volt, hogy a profilokban elsőrendben nem lépnek fel gradiens korrekciók. Másodrendben két típusú,  $(\text{grad } V) \cdot (\text{grad } V)$  és  $(\text{div grad } V)$  típusú korrekciók lépnek fel mindkét profilban. Harmonikus csapdázás esetén az egyéb paramétereiktől függően (részecske tömeg, részecske kölcsönhatás erőssége, csapdafrekvenciák, stb.) a gap-profil kissé, de észrevehetően, a sűrűség alig észrevehetően módosul a gradiens korrekcióknak köszönhetően, realisztikus részecskeszámoknál. A munkából a [6] jelesre megvédett diplomamunka született, amelynek első cikk-kézirat verziója már megszületett. A munka közlésre való beküldése 2006 első felében várható.