
The Antiphysical Review

Founded and Edited by M. Apostol

74 (2003)

ISSN 1453-4436

Lichide Bosonice si Faze Suprafluide de tip Bose-Einstein (LIBOS, CERES May 2003)

M. Apostol

Department of Theoretical Physics, Institute of Atomic Physics,
Magurele-Bucharest MG-6, POBox MG-35, Romania
email: apoma@theory.nipne.ro

Abstract

Obiectivul principal al acestui proiect este aprofundarea cunostintelor fundamentale si achizitionarea de noi cunostinte de baza in domeniul lichidelor bosonice cu faze suprafluide de tip Bose-Einstein in contextul actual al dezvoltarilor recente din condensarea si tranzitia Bose-Einstein. Proiectul este structurat pe obiective specifice majore de interes stiintific fundamental corespunzatoare problemelor de relevanta semnificativa ridicate la momentul actual de descoperirile experimentale si teoretice de virf in directia tranzitiei de tip Bose-Einstein si a proprietatilor definitorii ale fazelor suprafluide asociate, prezentate de ansamblele statistice de bosoni in interactie. Aceste obiective vizeaza probleme inca neelucidate ridicate de natura, originea si caracteristicile specifice fazelor statistice cuantice cu dinamica macroscopica in conditii noi de finitudine, geometrie confinata, neechilibru si raspuns la factori de perturbatie externi tipice investigatiilor experimentale curente asupra lichidelor compuse din specii multiple de constituinti atomici cu caracter bosonic in interactie realista.

Tehnicile experimentale de racire laser si confinare magnetica a atomilor individuali dezvoltate recent au dus la descoperirea condensarii atomice Bose-Einstein (BEC) a carei importanta a fost recunoscuta international prin acordarea premiului Nobel pentru fizica pe anul 2001. Relevanta acestei descoperiri fizice majore consta in manipularea fazelor atomice suprafluide condensate si accesarea lor macroscopica in conditii de finitudine, confinare si neechilibru, spre deosebire de suprafluidul de heliu traditional cu extindere termodinamica. Aceasta deschide cai noi de acces direct la fenomene pur cuantice, atit cu relevanta fundamentala asupra evidentei directe a nelocalitatii si nedecompozabilitatii functiei de unda, cit si cu important potential aplicativ in tehnologiile atomice ale viitorului, precum telecomunicarea codificata cuantic. Prezentul proiect vizeaza mecanica cuantica a bosonilor in interactie, specificitatea intervalului energetic interzis si natura rotonilor, originea cuantica a viscozitatii, reprezentabilitatea cuantica a undelor rotonice si dinamica vortexurilor condensatului. Aceste chestiuni fundamentale sint abordate in contextul finitudinii, confinarii si neechilibrului tipic tehnicilor experimentale curente, prin introducerea distributiei Wigner cuasi-clasice, a mediilor anormale de neechilibru, a self-consistentei modelului Bogoljubov in contextul descrierii Hartree-Fock generalizate, si prin analiza efectelor de raza scurta de actiune si de repulsie infinita a potentialelor inter-atomice realiste asupra spectrului de excitatii suprafluide. Directiile noi vizate de proiect sint natura atomistica a excitatiilor de lungime de unda scurta, reflectata in intervalul energetic interzis, in relevanta functiei de unda cuantice a excitatiilor de tip roton si in originea cuantica a viscozitatii, relevanta, validitatea si limitele modelului Bogoljubov in conditii de finitudine, confinare si ne-echilibru, dinamica gradelor de libertate colective in descrierea cuasi-clasica a picaturilor de lichide bosonice si structura acestor lichide pe distante de ordinul distantelor inter-atomice rezultata din caracterul specific al interactiunilor atomice.

Principalele rezultate preconizate vizeaza 1) analiza cuantica si statistica a tranzitiei Bose-Einstein si a relevantei acestei tranzitii asupra suprafluiditatii, 2) aproximatia cuasi-clasica in tratarea interactiei bosonice si efecte de neechilibru, 3) self-consistentia, validitatea si limitele teoriilor perturbative in interactia slaba a fazelor bosonice, 4) efectul potentialelor inter-atomice realiste asupra spectrului de excitatii suprafluide, analiza caracterului de raza scurta de actiune si de respingere infinita de tip punctual prezentat de aceste potentiale.

Pe plan national interactia gazelor bosonice, tranzitia Bose-Einstein si relevanta ei pentru suprafluiditate au constituit un subiect traditional de cercetare stiintifica fundamentala sii aplicata in instituturile, catedrele si colectivele de cercetare cu preocupari specifice in domeniu, precum fizica teoretica, mecanica statistica, mecanica cuantica, interactia ansamblelor statistice de mai multe corpuri, stiintele materialelor, criogenie, etc. Aceste cercetari au vizat elaborarea schemelor conceptuale si de calcul analitic aplicat pentru inglobarea cit mai completa a efectelor interactiei in tranzitia Bose-Einstein si relevanta acesteia asupra suprafluiditatii. Un punct principal in aceasta directie l-a constituit intotdeauna analiza modelului Bogoljubov de bosoni in interactie slaba, care conduce la suprafluiditate, precum si compatibilizarea modelului fenomenologic de suprafluiditate Landau cu teoria interactiei bosonice. Aceste cercetari capata acum un nou impuls in contextul dezvoltarilor recente de virf, atat experimentale cit si teoretice, aparute pe plan international in codensarea atomica Bose-Einstein (BEC) si distinse cu premiul Nobel pentru fizica pe anul 2001.

Intr-adevar, in ultima decada s-au facut progrese considerabile **pe plan international** in racirea atomilor individuali cu ajutorul laserilor si prin confinare magnetica. S-a demonstrat astfel experimental ca ansamble finite de alte specii de atomi prezinta condensarea Bose-Einstein si caracter suprafluid. Accesarea lor directa din exterior, prin variate mijloace experimentale macroscopice, le aduce in stare de neechilibru si ofera posibilitatea unei evidente experimentale directe asupra raspunsului lor la perturbatii externe. Aceste picaturi de lichide bosonice prezinta caracterul clar al nelocalitatii si nedecompozabilitatii funtiei de unda cuantice, proprietati extrem de importante pentru tehnicile atomice ale viitorului, cum ar fi telecomunicarea codificata cuantic. Studiul teoretic al acestor noi obiecte fizice ridica probleme fundamentale legate de finitudine, confinare, neechilibru si efectele interactiei. Ele constituie punctul de concentrare maxima la ora actuala in cercetarile stiintifice pe plan international. Aceste chestiuni fundamentale sint abordate de prezentul proiect de cercetare.

Utilizatorii potentiali ai rezultatelor prezentului proiect sint comunitatile stiintifice si tehnologice ce vizeaza avansul stiintific si tehnic, aprofundarea si dobindirea de noi cunostinte stiintifice in acest domeniu de baza, precum si tehnicile si tehnologiile moderne, electronice, laser, spectroscopice, computationale, care capata noi orizonturi prin proiectarea de noi experimente si prin achizitionare si prelucrarea de noi date in incercarea de a testa, infirma sau confirma noile predictii teoretice in acest domeniu.

Obiectivul principal al proiectului este aprofundarea cunostintelor fundamentale si achizitionarea de noi cunostinte de baza in domeniul lichidelor bosonice cu faze suprafluide de tip Bose-Einstein in contextul actual al dezvoltarilor recente din condensarea si tranzitia Bose-Einstein. In prima etapa din primul an se va reformula teoria cuantica a fluidului Bose, cu accent pe structura atomica. Se va urmari analiza dinamicii rotonilor si reprezentabilitatea cuantica a functiei lor de unda, originea intervalului energetic interzis si natura cuantica a viscozitatii, semnificatia modelului Bogoljubov si relevanta tranzitiei Bose-Einstein asupra starii suprafluide. Se vor analiza aplicabilitatea si limitele ecuatiei Gross-Pitaevskii in descrierea dinamicii condensatului sub actiunea perturbatiilor externe si in conditii de confinare geometrica. Aceste sint cunostinte fundamentale care vor constitui pre-rechizitele necesare abordarii urmatoarelor obiective. In etapa a doua din anul intii se va investiga posibilitatea descrierii cuasi-clasice a bosonilor in interactie folosind distributia Wigner,

in vederea analizei aprofundate a efectului de finitudine si confinare. Confinarea se va studia in prezenta unui potential extern atractiv, suficient de adinc si larg pentru a acomoda cit mai multe nivele uniparticulare cit mai dens distribuite. Este de presupus ca distributia Wigner reuseste sa cuprinda atit pozitia centrului de masa al particulei cuantice, cit si distributia ei de impulsuri in starea de nedeterminare cuantica proprie coerenței suprafluide. Aceasta abordare constituie o noutate cuasi-absoluta in domeniu, prezentind posibilitatea deducerii unei ecuatii cinetice pentru faza suprafluida, ceea ce ar deschide calea spre aprofundarea fenomenelor de transport in fazele suprafluide, o linie de maxim interes la ora actuala pe plan international. In etapa a treia anul al doilea se va aborda obiectivul corespunzator comportarii de neechilibru a lichidului Bose in interactie, aprofundindu-se natura punctuala si caracterul de repulsie infinita al potentialelor interatomice realiste. Acest obiectiv vizeaza o situatie noua, anume originea mediilor cuantice anormale in contextul conditiilor de neechilibru si legatura modelului Bogoljubov cu schema Hartree-Fock generalizata. In general, acest obiectiv are in vedere aprofundarea caracterului self-consistent al ecuatiilor cuantice ale condensarii Bose-Einstein in prezenta interactiei, si compararea acestor teorii cu rezultatele perturbative clasice, in vederea evaluarii gradului de confidenta in scheme teoretice mai simple dar aflate in mod curent in aplicatie. Etapa a patra anul doi si finala urmareste obiectivul de importanta majora al efectului cantitativ al interactiei asupra spectrului de excitatii suprafluide, in particular excitatiile de lungime de unda scurta, comparabila cu distantele interatomice. Se urmareste generalizarea modelului Bogoljubov, elaborat initial pentru gaze bosonice in interactie slaba, la lichide bosonice cu interactie tare, puternic corelate, a caror functie de interactie prezinta caracterul tipic al razei scurte de actiune si al repulsiei infinite pe distante scurte. Scaderea brusca pe astfel de distante a acestei functii face deosebit de interesanta analiza modului in care ea se reflecta asupra spectrului de excitatii rotonice, care este, asa cum s-a subliniat, o problema fundamentala si de lunga durata in acest domeniu. In acest sens, oscilatiile tipice potentialelor interatomice aduc o contributie importanta, a carei luare in considerare necesita tehnici computationale noi.

Toate aceste obiective sint masurabile prin comunicari stiintifice aferente, publicatiile stiintifice rezultate, publicarea raportului final al proiectului sub forma unei carti, inscripționarea finala a tuturor rezultatelor pe CD si realizarea unei pagini web asociate. Toate acestea constituie obiecte de livrare pina la finalizarea cercetarilor si prezentarea finala a rezultatelor intr-un intreg unitar. Toate obiectivele vizeaza dobindirea de noi cunostinte de baza si aprofundarea cunostintelor fundamentale in domeniul de virf al cercetarii stiintifice internationale cunoscut sub numele de BEC. Ele sint in perfecta armonie si conforme pe deplin cu cerintele programului CERES si cu prioritatile formulate de acest program atit pe plan national cit si pe plan international.

LIBOS este un proiect de cercetari noi si originale cu un inalt grad de complexitate in domeniul fundamental al aprofundarii si achizitionarii de noi cunostinte stiintifice de baza asupra lichidelor bosonice puternic corelate si a fazelor suprafluide de tip Bose-Einstein asociate. El raspunde interesului major prezentat de cercetarea stiintifica internationala la ora actuala in directia condensarii atomice Bose-Einstein (BEC). Tranzitia de faza Bose-Einstein si condensarea specifica gazelor de bosoni liberi la temperaturi joase a fost indicata de Einstein in 1924 cu ocazia analizei si reformularii statisticii cuantice propuse de Bose. Prin anii 1930 London a sugerat ca acest fenomen eminent cuantic si statistic constituie baza stiintifica si explicatia necesara pentru curiosul fenomen de suprafluiditate descoperit de Kapitza in heliul lichid. Aceste dezvoltari au fost posibile si totodata generate de progresele criogeniei, care reusea la acel timp sa obtina temperaturi de ordinul 2-3K. Evolutia tehnicilor criogenice isi avea originea in cercetarile originale ale lui Kamerlingh-Onnes care descoperise supraconductivitatea metalelor la inceputul secolului trecut. Sugestia teoretica a lui London a cunoscut o lunga perioada de studiu fundamental pina prin 1940 cind Landau a explicat suprafluiditatea pe baze cuantice, introducind

notiunile fundamentale de excitatii elementare, si, aparent, fara o legatura directa cu tranzitia Bose-Einstein. Aceasta descoperire epocala, precum si teoria tranzitiilor de faza generata de ea, i-au adus lui Landau premiul Nobel pentru fizica in 1960. Intre timp, prezenta condensarii Bose-Einstein in suprafluiditate a fost facuta explicit de catre Bogoljubov prin introducerea interactiei slabe in gazul de bosoni. Curios, modelul Bogoljubov nu prezinta insa un ingredient principal al suprafluiditatii, si anume, intervalul energetic interzis al rotonilor superfluizi. Aceasta chestiune fundamentala constituie si astazi un punct de interes intens sii de numeroase studii fundamentale aprofundate. Toate aceste cercetari s-au desfasurat pina in urma cu citiva ani avind in vedere faza de extindere termodinamica a lichidului heliu la temperaturi joase. Incepind cu anii 1995 domeniul suprafluiditatii s-a extins considerabil, si a capatat noi orizonturi, prin descoperirea condensarii suprafluide in alte specii de atomi.[1, 2] Caracteristicile principale ale acestei descoperiri sint finitudinea, confinarea, neechilibru si efectul interactiilor si corelatiilor puternice. Aceste probleme noi sint vizate de LIBOS. Totodata, concepte fundamentale de o complexitate deosebita precum reprezentabilitatea cuantica a undelor rotonice, originea cuantica a viscozitatii, aplicabilitatea si limitele ecuatiei Gross-Pitaevskii in noile conditii, efectul mediilor cuantice anormale asupra dinamicii de neechilibru si, in particular, intervalul energetic interzis provenit din scaderea abrupta a functiei de interactie inter-atomice pe distante mici si oscilatiile ei caracteristice pe distante mari, sint alte obiective noi si complexe vizate de LIBOS. Introducerea functiei de distributie Wigner si elaborarea cadrului conceptual de utilizare a ei in descrierea cuasi-clasica a fazelor suprafluide este o noutate cuasi-absoluta. Deducerea pe aceste baze a ecuatiei cinetice cuasi-clasice ce guverneaza fenomenele de transport in fazele suprafluide in conditii de finitudine, confinare si neechilibru prezinta iarasi un caracter de noutate absoluta. Este de subliniat in acest punct interesul major pentru conductia termica a acestor lichide bosonice, in special in conditii la limita date de contactul cu fazele normale, care ar putea fi abordat prin aceasta noua ecuatie cinetica de transport. Self-consistentia ecuatiilor cuantice ale condensatului, compararea lor cu rezultatele perturbative in noile conditii, precum si efectul potentialului extern de confinare, reprezinta iarasi chestiuni deosebit de complexe cu aplicatie directa la noile conditii experimentale. LIBOS va utiliza metode si tehnici matematice de un inalt grad de putere de analiza, si va aborda dezvoltarea unor tehnici noi de calcul numeric pentru reprezentarea spectrului rotonic cu potentiale inter-atomice realiste. Aceste activitati se vor desfura in mod curent cu tehnici computationale moderne si pachete de software specifice. LIBOS abordeaza o problema fundamentala majora, larg dezbatuta la ora actuala pe plan international, aceea a ansamblelor atomice bosonice in interactie cu tranzitie de tip Bose-Einstein si faze suprafluide asociate. Aceste lichide cuantice finite, obtinute la ora actuala la temperaturi extrem de joase, si in conditii speciale de confinare magnetica, ridica chestiunea interactiei puternice, si, in general, a corelatiilor puternice provenite din interactie, natura cuantica si regimul statistic, in realizarea tranzitiei Bose-Einstein si a fazei condensate. Modelele teoretice cunsocute se bazeaza pe o interactie slaba cel mult, dar cel mai adesea ele presupun un gaz de bosoni liberi. Noile obiecte fizice de forma unor picaturi de lichid suprafluid pot fi aduse in conditii de puternic neechilibru, ceea ce este un alt element de noutate in raport cu cadrul teoretic traditional. LIBOS abordeaza aceste chestiuni fundamentale pornind de la caracterul cuantic al ansamblelor statistice de particule identice in prezenta interactiei, finitudinii si a neechilibrului. Aceasta conduce la reformularea teoriei hidrodinamice a lichidelor cuantice in starea suprafluida, ceea ce are avantajul de a permite o perspectiva mai larga, cu pretul unei elaborari tehnice mai complexe insa. Odata rezultatele finalizate, ele au capacitatea potentiala de a fi reformulate in limbajul si in cadrul tehnicilor curente, cu incluziunea elementelor de noutate corespunzatoare. Cu aceasta viziune generala de lucru LIBOS re-analizeaza relatiile de comutare intre componentele vitezelor si re-evalueaza originea intervalului energetic interzis la excitatii de lungimi de unda scurte, natura atomica a rotonilor obtinuta pe aceasta baza, si caracterul lor fundamental pentru configurarea deplina a sensului corect al starii suprafluide. In

strinsa legatura cu aceste particularitati ale bosonilor cuantici, se introduce functia de unda a condensatului, comportarea ei la circulatia vectorului viteza pe contururi inchise, si analogia cu cimpul magnetic, precum si diferentierea intre proprietatile condensatului si cele ale functiilor de unde cuantice ale excitatiilor elementare. Aceste dezvoltari conduc la degajarea naturii cuantice a viscozitatii, prin evaluarea variatiei actiunii mecanice in procesele de interactie atomica, un rezultat fundamental surprinzator ce poate identifica noua cuanta de viscozitate. Este de subliniat in acest context ca viscozitatea este profund legata de dinamica turbulentei si, in general, de teoriile fluidelor turbulente, prin vorticitatea asociata rotonilor. Se creeaza astfel posibilitatea unor dezvoltari viitoare ale studiilor de turbulenta a fluidelor clasice cu concepte, metode si procedee ale mecanicii cuantice a sistemelor de bosoni in interactie, un domeniu deja abordat pe plan international, cu rezultate preliminare. Functia de unda a condensatului si proprietatile ei macroscopice sint reluate in studiul dinamicii cuasi-clasice prin introducerea distributiei Wigner. Realizarea acestui obiectiv LIBOS deschide calea spre o noua ecuatie cinetica corespunzatoare transportului macroscopic in suprafluide mult departate de conditiile de echilibru. O problema majora ce trebuie depasita in acest punct este acomodarea potentialului exten de confinare si a finitudinii in cadrul conceptual general al descrierii cuasi-clasice si in particular al utilizarii distributiei Wigner. LIBOS continua cu re-analizarea pe aceste baze a statutului modelului Bogoljubov generalizat in contextul descrierii Hartree-Fock, cu accent pe rolul mediilor cuantice anormale in instalarea fazei condensate in conditii de neechilibru. Un rezultat adiacent acestui obiectiv principal il constituie evaluarea gradului de confidenta in modelele teoretice curente de tratare perturbativa, cu o mare capacitate de adaptare in diverse situatii concrete experimentale. In sfirsit, LIBOS abordeaza chestiunea repulsiei punctuale infinite si a oscilatiilor de raza lunga in functia de interactia atomica, asa cum sint ele reprezentate in spectrul rotonic.

Domeniul cercetarilor fundamentale si aplicative de lichide bosonice in interactie, faze suprafluide asociate si tranzitie Bose-Einstein este concentrat la ora actuala pe plan international asupra citorva probleme fundamentale.[3] Prima chestiune in acest context este intelegerea situatiei noi caracteristice acestor picaturi atomice de lichide bosonice provenita din confinarea lor intr-un potential extern atractiv si efectul de finitudine asociat. Dupa cum se stie, teoria clasica a suprafluiditatii si condensarii Bose-Einstein isi bazeaza cadrul conceptual general pe ipoteza simplificatoare a extinderii termodinamice a fazei lichide. Odata cu noile dezvoltari in condensarea atomica Bose-Einstein, prin care cantitati finite de materie sint racite suficient de mult incit sa condenseze, apare atit problema noua a efectului de finitudine cit si necesitatea confinarii acestor picaturi de lichid. Confinarea se realizeaza la ora actuala cu capcane magnetice echivalente cu un potential extern atractiv. Ambele situatii experimentale noi conduc la nivele uniparticula suficient de multe pentru a acomoda un numar macroscopic de atomi, dar si suficient de dense pentru ca fluctuatiile cuantice sa nu impiedice coerenta necesara condensarii (sau, echivalent, o temperatura de operare mai ridicata, ceea ce ar evapora lichidul). Acest aspect fundamental al finitudinii si confinarii, si, in general, legata de el, competitia dintre corelatiile cuantice si termice, este un punct principal nou in LIBOS. Intelegerea riguroasa a mecanismului de suprafluiditate si condensare in conditii de finitudine si confinare este un element fundamental absolut necesar pentru avansul in domeniu. Legat de aceasta circumstanta, manipularea si accesarea din exterior a picaturilor de lichid conduc la scoaterea lor din starea de echilibru, intr-o masura mai mare sau mai mica. Teoria clasica este construita pe principiul echilibrului statistic, iar cinetica asociata presupune perturbatii mici in jurul acestui echilibru. Sub acest raport., LIBOS urmareste stari de neechilibru precum si o cinetica suprafluida mult indepartata de linia de echilibru, ceea ce iarasi este un avans fundamental in intelegerea concreta a noilor obiecte fizice in determinarea lor experimentala specifica. In plus, intreaga teorie clasica admite o interactie slaba intre bosoni, in vreme ce, atit in cazul heliului lichid, dar in special in cazul noilor suprafluide atomice, functia de interactie este puternic repulsiva

la distante mici si multiplu oscilanta pe distante mari. Dependenta ei de distanta este hotaritoare pentru interpretarea datelor experimentale privitoare la corelatiile atomice si la distributia de viteze, date ce contin evidenta experimentală directă a nelocalitatii si nedecompozabilitatii functiei de unda suprafluide. De o importanta deosebita in acest context sint experimentele de determinare a corelatiilor structurale prin imprastiere de neutroni, sau imprastieri inelastice de electroni si fotoni. Asa cum s-a subliniat, intervalul energetic interzis din spectrul rotonilor suprafluizi la lungimi de unda scurte, comparabile cu distantele inter-atomice, este pina astazi o problema controversata, atat in teoria traditionala cit si in noile dezvoltari teoretice. Rezolvarea ei ar permite un avans considerabil in intelegerea aspectelor fundamentale ale acestui fenomen propriu statisticii cuantice bosonice. Condensarea de tip Bose-Einstein este unul din putinele fenomene eminentamente cuantice cu proprietati macroscopice, si, acum, direct accesibile, la scara macroscopica. LIBOS admite ipotezele fundamentale de corelatii cuantice si termice in statistica Bose, condensarea de tip ocupare macroscopica (spre deosebire de alte tipuri particulare de condensari de tip perechi, inrudite cu aceasta) si principiile generale de echilibru termic si distributie statistica de echilibru. Acestea sint ipoteze general acceptate, si pot asigura un cadru de pornire adecvat. In ipoteza ca tratarea cuasi-clasica se dovedeste a fi utilizabila cu resurse rezonabile, atunci ecuatia cinetica corespunzatoare si transportul macroscopic in faze suprafluide ar constitui un avans considerabil. Riscul de a nu configura acest obiectiv la parametri acceptabili va conduce la eliminarea unei piste impracticabile in teoria moderna a suprafluiditatii si condensarii.

Obiectivele LIBOS reflectate in etapele de realizare sint in numar de patru, si anume:

1 Teoria cuantica a suprafluiditatii, hidrodinamica fluidului condensat, excitatiile rotonice, originea cuantica a viscozitatii si reprezentabilitatea cuantica a undelor rotonice (prescurtat Rotonii si Viscozitate), prin care se urmareste reformularea teoriei clasice a suprafluiditatii si condensarii Bose-Einstein in termeni suficient de generali pentru a putea incadra elementele de noutate din obiectivele viitoare (si anume, finitudinea, confinarea, neechilibru si interactia).

2 Aproximatia cuasi-clasica pentru bosoni si interactia cu repulsie infinita (prescurtat Aproximatia Cuasi-Clasica), prin care se urmareste investigarea aplicabilitatii distributiei cuasi-clasice Wigner la descrierea dinamicii suprafluide a condensatului bosonic cu corelatii de interactie, si deducerea ecuatiei cinetice asociate perturbatiilor puternice si transportului macroscopic in fazele suprafluide finite si confinate.

3 Self-consistentia teoriilor de bosoni in interactie slaba in conditii de neechilibru (prescurtat Self-Consistentia la Neechilibru), prin care se urmareste reformularea modelului Bogoljubov in conditii de medii anormale la neechilibru, efectul lor asupra spectrului excitatiilor elementare, pentru o evaluare cit mai corecta a posibilitatilor de aplicare practica a tehnicilor de calcul curente.

4 Spectrul excitatiilor de lungime de unda scurta rezultat din interactii inter-atomice realiste (prescurtat Spectrul Rotonilor), prin care se urmareste investigarea cantitativa a efectelor caracterului particular al dependentei de distanta a functiei de interactie, anume repulsia infinita pe distante scurte si oscilatiile multiple pe distante lungi, asupra spectrului rotonic, in particular, energia de excitatie, masa, inertia, eventuala interactie reziduala.

Realizarea acestor obiective se face in cadrul LIBOS in decursul a patru etape (faze) repartizate pe doi ani, dupa cum urmeaza:

1 Condensarea Bose-Einstein si suprafluiditatea (prescurtat Bose-Einstein), ce urmareste cu precadere obiectivul 1, dar care pregateste terenul conceptual general de aplicare a tehnicilor specifice abordarii celorlalte obiective

2 Aproximarea cuasi-clasica pentru bosoni cu interactie de scurta distanta in condensarea Bose-Einstein (prescurtat Cuasi-Clasic), ce vizeaza cu precadere obiectivul 2, cu o atentie sporita asupra distributiei Wigner si ecuatiei cinetice

3 Teorii self-consistente pentru bosoni in interactie slaba in conditii de echilibru si neechilibru (Prescurtat Self-Consistent), ce vizeaza obiectivul 3 in special, cu accent pe mediile anormale la neechilibru si compararea teoriilor perturbative

4 Spectrul rotonilor cu interactie atomica realista (prescurtat Spectrul Rotonilor), ce vizeaza obiectivul 4 si totodata concluzioneza rezultatele celorlalte trei etape intr-o formula finala unitara.

Rezultatele proiectului LIBOS se structureaza pe patru mari directii, cuprinzind atit rezultate principale cit si rezultate subsidiare, cu coeficienti variabili de realizare si risc. In prima faza rezultatul principal este reformularea teoriei cuantice a suprafluiditatii si tranzitiei Bose-Einstein asociate, evaluarea acestor cadre teoretice fundamentale in noul context al condensarii atomice Bose-Einstein, si evaluarea critica a resurselor de abordare eficiente a conditiilor noi de identificare experimentală a caracteristicilor noului obiect de lichid bosonic. Sint vizate aspectele fundamentale ale hidrodinamicii fluidului condensat, rolul si natura speciilor atomice in noul context experimental, natura spectrului rotonilor, reprezentabilitatea lor cuantica, si originea cuantica a viscozitatii. Toate aceste sint rezultate noi si fundamentale in domeniu, care deschid noi cai de abordare a picaturilor de lichid bosonic. Al doilea rezultat principal vizeaza elaborarea cadrului conceptual si tehnic de introducere a distributiei statistice cuasi-clasice Wigner in investigarea proprietatilor condensatului suprafluid in conditii de finitudine si confinare in potential extern atractiv. Reusita acestui rezultat are ca urmare directa deducerea ecuatiei cinetice de transport macroscopic in suprafluid in conditii departate de echilibru. In strinsa legatura cu acest punct este al treilea rezultat principal al LIBOS care vizeaza evaluarea teoriilor self-consistente a caror paradigma generala este modelul Bogoljubov in comparatie directa cu teoriile perturbative, atit in conditii de echilibru cit si in conditii de neechilibru. Acest rezultat fundamental deschide calea unei evaluari critice riguroase a teoriilor perturbative curente si a specificitatii teoriilor self-consistente, in special in cadrul general al descrierii Hartree-Fock, in raport cu acestea. Rezultatul final, care include cunostintele de baza acumulate pe parcursul tuturor celorlalte etape de investigare si de derulare a LIBOS abordeaza chestiunea fundamentala a efectului functiei de interactie atomice realiste asupra spectrului rotonilor, o problema deschisa in domeniu, a carei rezolvare va da un nou impuls cercetarilor fundamentale si aplicative. Beneficiile acestor rezultate se vor inregistra progresiv pe parcursul intregii perioade de derulare a proiectului prin acumularea si sistematizarea noilor cunostinte de baza, si evaluarea potentialului lor de aplicabilitate in cercetarile curente din domeniu. In plus, aceste cunostinte fundamentale vor contribui substantial la modificarea opticii in domeniu, prin aducerea in cimpul de cercetare curenta a unor noi concepte considerate pina acum ca ipoteze abstracte, contribuind astfel la fundamentarea pe termen lung a unei viziuni noi in domeniu picaturilor de lichid suprafluid. Profitul estimat in cazul acestor rezultate este acela al acreditarii substantiale a cercetarii nationale in domeniul de virf al condensatului Bose-Einstein, considerat la ora actuala drept unul dintre cele mai active domenii de cercetare pe plan international. De asemenea, echipa LIBOS va include noile tehnici de investigare fundamentala intr-un mod profitabil in viitoarea capacitate de expertiza necesara abordarii noilor chestiuni de virf ce apar in aceast directie si in directiile conexe. Rentabilitatea acestor cercetari este de cel mai inalt grad cunoscut in cercetarea stiintifica si dezvoltarea tehnologica intrucit se bazeaza pe resurse umane de o inalta conditionare profesionala, ale caror costuri efective sint cele mai scazute posibile. Valorificarea tuturor acestor rezultate se va face prin seminarii stiintifice nationale si internationale, prin comunicari stiintifice in cadrul manifestarilor de specialitate la nivel national si international, prin publicatii stiintifice in reviste nationale si internationale, prin rapoartele de activitate intermediare si finale la nivelul programului, prin publicarea unui volum cu rezultate complete si cu tehnici adiacente pentru o cit mai buna informare a publicului stiintific, si prin inscriptionarea pe mijloace electronice (CD) a tuturor acestor baze de date, tehnici si proceduri de investigare stiintifica si a rezultatelor aferente. Strins legat de aceasta valorificare LIBOS prevede

aspectul important al diseminarii rezultatelor stiintifice prin elaborarea prezentarilor electronice intermediare si finala, pe pagina de web a proiectului, cit si prin elaborarea unui film stiintific documentar cu totalitatea acestor rezultate.

LIBOS are un inalt grad de impact economic, social si asupra mediului, in noul context al societatii moderne bazate pe cunoastere, societate caracteristic informatizata, regionalizata si articulata la cooperare si transfer stiintific si tehnologic eficient, cu adresabilitate multiforma si plurala in tot spectrul grupurilor sociale. In primul rind LIBOS contribuie substantial la imbunatatirea conditiilor de viata in cercetarea stiintifica, fundamentala si aplicativa, atat prin crearea mediului propice pentru dezvoltarea unor investigatii teoretice fundamentale, aprofundarea si achizitionarea de noi cunostinte de baza, configurarea unui cadru de munca stimulator si cu multiple determinari specifice profesiei, cit si prin producerea cadrului conceptual necesar de simplificare, intelegere, adaptare, manipulare si apropiere a investigatiilor experimentale si a dezvoltarilor tehnologice aferente domeniului. Intelegerea adusa de LIBOS in aceasta directie contribuie substantial la imbunatatirea conditiilor de munca si viata profesionala a cercetarilor din propriul domeniu si din domenii conexe. LIBOS produce oportunitati concrete de insusire a noilor cunostinte de baza, in cadrul larg al cunostintelor fundamentale ce formeaza suportul acestor cercetari, prin organizarea de seminarii periodice si, mai ales, a cursului de aspecte moderne ale starii condensate a materiei ce inglobeaza rezultate de ultima ora in domeniu, inclusiv din aria specifica LIBOS. Echipa LIBOS asociaza doi tineri absolventi la cercetari concrete, si propune doua teme de lucrari de licenta pentru absolventii invatamintului superior de specialitate, precum si alte doua teme pentru lucrari de doctorat in domeniu. In plus, prin angajarea masiva si hotarita in directia introducerii si folosirii pe scara larga a mijloacelelor electronice de investigare, comunicare, editare, si diseminare, precum prezentari electronice, filme documentare, pagina web, LIBOS creeaza noi oportunitati de actiune, in special pentru tinerii cercetatori in domeniul informaticii stiintifice si in general al informatizarii societatii. Actiunile de popularizare prevazute de LIBOS se inscriu de asemenea in directia ridicarii gradului de percepere si sensibilizare a societatii si a cercurilor sociale largi in directia unei societati bazate de cunoastere, in care stiinta si tehnologia sint hotaritoare pentru bunastarea si siguranta vietii. LIBOS aduce o contributie importanta la conservarea si intarirea mediului inconjurator stiintific si tehnic si la intarirea resurselor umane si materiale de abordare stiintifica a vietii bazate pe cunoastere. LIBOS prevede de asemenea producerea de pachete informationale cu continut stiintific si tehnic in domeniul de activitate, precum si cu continut didactic de transfer de cunostinte, tehnici, proceduri si protocoale de lucru in domeniul cercetarii stiintifice avansate, asigurind asistenta tehnico-stiintifica pentru dezvoltarea, insusirea, aplicarea, adaptarea si utilizarea in noi conditii si cu adresabilitate precisa, a acestor cunostinte de baza. Membrii LIBOS sint disponibili in ture cu program de lucru precizat pentru acordarea de consultanta permanenta unor largi cercuri de profesionisti din domeniu, in vederea transferului eficient de cunostinte, a ridicarii gradului de adecvare a investigatiilor stiintifice la nevoile sociale, pentru depistarea, degajarea si configurarea unor noi posibilitati de colaborare si valorificare, de extindere sociala, a chestiunilor cu semnificatie si relevanta stiintifica, specifice cercetarii avansate. Aceste baze informationale sint puse la dispozitie tuturor celor interesati, dar ele vizeaza in primul rind populatia stiintifica, sau cu serioase angajari incipiente in directia stiintei si tehnologiei, din regiunile defavorizate, din grupurile minoritare, cu conditionari sociale restrinse, defavorizate sau ramase in urma, din rindul grupurilor sociale cu o bogata diversitate de orizonturi etno-culturale, al caror corespondent trebuie sa se regaseasca si sa fie valorificat si in domeniul stiintei si tehnologiei, in context cu cerintele epocii moderne, si in perfect acord cu prioritatile nationale in domeniu si al organizatiilor si structurilor internationale la care Romania adera sau este partener asociat, precum Uniunea Europeana si programele stiintifice, tehnice si educationale NATO.

Metoda de baza de coordonare si administrare a LIBOS este aceea a seminarilor stiintifice

ale întregii echipe, ce au loc cu regularitate conform orarului special adaptat situațiilor noi ce pot apărea în cadrul derulării curente a activităților proiectului. Aceste seminarii prezintă în mod obișnuit starea la zi a lucrărilor din cadrul proiectului, cu desfășurarea analizei specifice pe obiectivul principal al etapei, pe obiectivele secundare ale etapelor viitoare și pe finalizarea rezultatelor din etapa precedentă. Seminarul hotărăște căile de abordare și de dezvoltare ulterioară a activităților, reunește resursele necesare pentru rezolvarea dificultăților curente, a alegerii variantei optime pentru continuare, precum și adaptarea din mers a activităților conform cu cele mai noi progrese și avansuri făcute în domeniu. În particular, domeniul va fi monitorizat în mod continuu, în vederea depistării celor mai specifice orientări noi, a ipotezelor de lucru curente în comunitatea internațională, a rezultatelor publicate, anunțate, prezentate, discutate sau criticate. LIBOS are întotdeauna o privire atentă asupra chestiunilor controversate în domeniu, și contribuie substanțial și activ la luări de poziție în comunitatea internațională în chestiunile aflate în dezbateră. Fiecare etapă a activităților desfășurate în cadrul LIBOS, în conformitate cu obiectivul ei, are o schemă de derulare curentă, cu sarcini și responsabilități personalizate. În particular, fiecare fază și etapă de finalizare și raportare a rezultatelor din cadrul LIBOS are un responsabil și o echipă de cercetare restrinsă care prezintă periodic situația la zi a activităților în fața întregului grup. În același timp, în cadrul aceluiași seminar, membrii echipei însărcinați special, prezintă situația la zi în domeniu pe plan național și internațional. Coordonarea generală este asigurată de coordonatorul de proiect, prin monitorizarea detaliată a tuturor activităților pe întreaga perioadă de timp. Comunicarea între membrii echipei se face obișnuit în maniera clasică și tradițională directă, dar LIBOS prevede introducerea experimentală a tehnicilor de comunicare electronică audio-vizuală în rețea locală închisă, de tipul tele-conferințelor. Aceste tehnici au fost experimentate cu succes în cadrul echipei, urmând să se treacă în cadrul LIBOS la folosirea lor curentă, atât în cadrul echipei propriu-zise cât și în cadrul mai larg al includerii colaboratorilor, asociaților și al persoanelor de monitorizare și conducere. O problemă ce mai rămâne de rezolvat încă în această direcție este adecvarea, într-o formă convenabilă manipularilor curente, a protocoalelor de securizare a comunicațiilor, a accesării și înregistrării în arhiva personală a datelor, discuțiilor și concluziilor seminarului, pentru fluidizarea deplină a comunicabilității și inter-operationabilității în cadrul grupului. LIBOS se derulează în baza unei planificări detaliată a tuturor tipurilor de activitate, atât pe direcție verticală a operațiunilor desfășurate în timp, cât și pe direcția orizontală a inter-operării membrilor echipei, cât și pe a treia direcție transversală a integrării acestor activități în calendarul general al programului în raport cu etapizarea uniformă a raportărilor, esalonarea introducerii în fluxul operațional a resurselor umane, materiale și tehnice (documentare, editare, publicare, prezentare). Activitățile sunt monitorizate permanent printr-o schemă detaliată de urmărire a rezultatelor, a situației interne, extinse și globale, a inserării și evaluării gradului de acceptabilitate în comunitatea științifică, monitorizarea extinzându-se mult după prezentare, comunicare și publicare prin urmărirea impactului și a factorilor acceptați de măsurare a lui. Alocările bugetare, plățile precum și alte ingrediente tehnice, financiare și administrative ce au un regim caracteristic de permanent flux tranzitoriu sunt adecvate continuu și adaptate la activitățile curente, în vederea omogeneizării, uniformizării și eficientizării întregului sistem de operații. Derularea LIBOS este sprijinită de activități suport tip conferințe interne de prezentare a comunicărilor orale și tip postere, participări la manifestări științifice naționale și internaționale, în vederea asigurării sinergiei necesare unei abordări de coordonare deosebit de complexe.

References

- [1] M. H. Anderson et al, *Science* **269** 198 (1995)

[2] K. B. Davis et al, Phys. Rev. Lett. **75** 3969 (1995)

[3] W. Ketterle, Revs. Mod. Phys. **74** 1131 (2002)