

Bírálati vélemény

Bajnok Zoltán: “Integrálható modellek és az AdS/CFT megfeleltetés”

című MTA doktori értekezéséről

Integrálható, vagyis egzaktul megoldható, modellek fontos szerepet játszanak a fizikában. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy néhány kulcsfontosságú és direkt relevanciájú modell (mint például a Coulomb-Kepler probléma) egzaktul megoldható. Másrészt pedig annak, hogy egzaktul megoldható „játékmodellek” vizsgálata gyakran hasznos első közelítést biztosít a bonyolultabb, realisztikus modellek vizsgálatához, illetve lehetővé teszi a bonyolultabb esetekben is alkalmazni kívánt elméleti elképzelések és numerikus eljárások tesztelését. A kvantumtérelméleti integrálható modellek mindkét említett szempontból relevánsak, és az is közismert tény, hogy jelenleg ilyen modellek két téridő dimenzió esetén ismeretesek.

A jelen értekezésben bemutatott eredeti kutatómunka a 2-dimenziós integrálható kvantumtérelméletek 2 nagyobb témakörét érinti, úgymint a végesméret-effektusok illetve a peremes modellek elvi kérdéseit és alkalmazásait. Bár integrálható térelméleti modelleket relatíve a legegyszerűbb az egyenesen konstruálni, a gyakorlati alkalmazások szempontjából a véges méretű minták nyilvánvalón fontosak, és perem jelenléte is érdekes és releváns kutatási területet jelent. A „Budapesti Eötvös-iskola”, amelynek Bajnok Zoltán az egyik oszlopa, már hosszú évek óta a nemzetközileg egyik legfontosabb centrum ezen a területen. A terület fontossága különösen megnőtt az utóbbi években, annak köszönhetően, hogy a húrelmélet és a Yang-Mills elmélet között hidat jelentő Maldacena-féle AdS/CFT sejtés ellenőrzése bizonyos kétdimenziós integrálható térelméletek végesméreti-spektrumának meghatározását követeli meg. Ezen sejtés révén feltűnt a láthatáron valami vitathatatlanul fontos (ez a Yang-Mills elmélet), amelynek egy speciális esete a húrokon keresztül is vizsgálható. Ez a húrelméletet egy eredetileg nem látott fizikai alkalmazással gazdagítja, amelynek részletes kidolgozása integrálhatósági technikákat igényel. Bajnok Zoltán eddig legsikeresebb munkája, amelyet a dolgozatban is tárgyal, ezen a „nagyon forró” területen aratott kiemelkedő nemzetközi elismerést. Ez a témaválasztás rendkívül aktuális és szerencsés voltát minden kétséget kizáróan bizonyítja.

A dolgozat a szerző kilenc cikkben közölt eredményeit dolgozza fel és foglalja egységes keretbe. A cikkek közül 8 a Nucl. Phys. B-ben 1 pedig a J. Phys. A-ban jelent meg. A dolgozatban egy tömör és világos bevezetés után két nagyobb fejezetet találunk, melyeket az összefoglalás mellett egy technikai függelék és az irodalomjegyzék követ. Az első fő rész az “Integrálható modellek periódikus peremfeltétellel” címet viseli. Itt először ismerteti és példákkal (sinh-Gordon, sine-Gordon, Lee-Yang modellek) illusztrálja az egyenesen tekintett integrálható térelméletek standard konstrukcióját,

amelynek fő lépései az önkonzisztens S-mátrix konstrukciója a bootstrap vagy „önmegoldó” program révén, majd a lokális operátorok alaktényezőinek és végül korrelációs függvényeinek elvi meghatározása. Ezután következik egy nagyon fontos alfejezet, ahol a véges térfogatban, periódikus határfeltétellel, tekintett modellek energia spektrumának elvi meghatározására koncentrálnak. Elmagyarázza, hogy a szabad spektrum első korrekcióját az egyeneshez tartozó S-mátrixot használó Bethe-Yang egyenletek határozzák meg, és ez akkor jogos közelítés, ha a részecskék mérete jóval kisebb mint a minta térfogata. Lüscher klasszikus (1986-os) cikkeiből ismert, hogy a részecskék átfedései, a vákuum polarizációs effektusok, a Bethe-Yang egyenletek és a megfelelő energia spektrum modifikációjára vezetnek, amely a térfogat exponenciálisában kifejezhető korrekciókat jelent. A 3.6 alfejezetben a sokrészecskés állapotok vezető Lüscher korrekciójára javasol egy elegáns univerzális egyenletrendszert, amit az utóbbi időben többen „Bajnok-Janik formula” néven idéztek. A formula eleganciája abban áll, hogy csak az egyeneshez tartozó S-mátrixot tartalmazza mint bemenő adatot. Bajnok és Janik a formulát eredetileg a sinh-Gordon modellben levezették, a gerjesztett állapotok abban az esetben ismert TBA egyenletéből, azután néhány más esetben leellenőrizték, majd univerzális érvényességét sejtésként fogalmazták meg.

A Bajnok-Janik formula elsőpró sikere volt, hogy segítségével sikerült meghatározni az AdS háttérben mozgó húr bizonyos kétrészecske állapotainak vezető rendű Lüscher korrekcióját, amely teljes egyezést mutatott a planáris limeszben tekintett megfelelő Yang-Mills modell Konishi operátorának 4-hurok rendben független módszerrel kiszámolt anomális dimenziójával. Ez adja a 4.3 alfejezet témáját, ahol további eredményekről, mint a Konishi operátor anomális dimenziójának vezető utáni rendű korrekciójáról, is beszámol.

A dolgozat következő fő része a „Peremes integrálható modellek” címet viseli. Itt először bemutatja, hogy a félegyenesen tekintett sine-Gordon modell esetén az origóba helyezett peremen milyen határfeltételek őrzik meg a modell klasszikus integrálhatóságát. A kvantumelméletre áttérve saját vizsgálatok alapján ismerteti, hogy elvileg hogyan határozható meg a peremhez tartozó reflexiós mátrix a korrelációs függvényekből egy általánosított redukciós formula segítségével, és hogy ennek révén a korrelációs függvények lehetséges szingularitásai hogyan határozzák meg a reflexiós mátrix szingularitásait. Szintén bemutatja és példákkal (Lee-Yang, sinh-Gordon, sine-Gordon) illusztrálja a munkatársaival közösen kidolgozott peremes reflexiós mátrix „önmegoldó” programot, melynek révén a sine-Gordon modellben levezették a peremes kötött állapotok spektrumát. További lényeges eredménye a peremes önmegoldó alaktényező program kifejlesztése és végrehajtása néhány példában. Az összefoglalás előtti utolsó részben véges térfogatban vizsgálja a peremes integrálható modelleket, leírja a Bethe-Yang kvantálási feltétel megfelelő általánosítását és ismerteti a peremes végesméret-korrekciókra vonatkozó saját eredményeit.

A peremes modellekre vonatkozó eredmények közel évtizedes kiterjedésű szisztematikus munkán alapulnak és a területen jelenleg elérhető ismeretek csúcsszintjéhez tartoznak.

Az értekezés olvasása közben felmerültek bennem a következő kérdések:

1. A dolgozat elkészítése óta eltelt időben napvilágra kerültek-e a „Bajnok-Janik formula” további bizonyítékai? Hogyan nézhet ki egy általános bizonyítás? A térfogat exponenciálisában magasabb rendű Lüscher korrekciók (esetleg univerzális?) alakjáról léteznek-e eredmények, elképzelések?
2. Milyen bizonyítékai vannak az AdS-CFT sejtésnek az általános esetben, ha a Yang-Mills oldalon nem korlátozódunk a planáris limeszre?
3. A peremes modellek perturbatív tárgyalásához a szabad mezőre Neumann határfeltételt választott. Van ennek a választásnak valamilyen mélyebb oka? Hogyan módosulna a tárgyalás Dirichlet vagy Robin határfeltétel választása esetén?

Az értekezés egy igényesen elkészített, alapvetően olvasmányosnak mondható mű; a szerzőnek sikerült az úgyis csak a legjobb specialisták által értékelhető részleteket ügyesen elkerülni. A terület mesteri ismerete a nem-specialista olvasó számára is jól érzékelhető a dolgozat alapján, amire a szerző releváns publikációinak különböző paraméterei is garanciát jelentenek.

A bíráló számára világos, hogy a doktori munka eredményei bőségesen elegendőek az MTA doktora cím megszerzéséhez. A jelölt ezen eredményei, melyeket a PhD fokozat megszerzése után ért el, lényegesen hozzájárultak a szakterület továbbfejlődéséhez.

Ezért javaslom a nyilvános vita kitűzését, a doktori mű elfogadását és Bajnok Zoltán részére az MTA doktora cím odaítélését.

Fehér László