D4D0 Kara Deliği Için Okluklar (Quiver), Ayrık Çekici Akışları Ve SU(2)-Etiketlemesi Kullanan Bir Kuantum Kütleçekimsel Model

Program Kodu: 3501

Proje No: 113F164

Proje Yürütücüsü:

Yard. Doç. Dr. Dieter VAN DEN BLEEKEN

Bursiyerler:

Zürbiye Çapku

Dr. Ilies Messamah

ÖNSÖZ

Kuvantum kütle çekimi kuramının aranması, kuramsal fizikteki başlıca hedeflerden birisi olarak durmaktadır. Bu tür kuramları test etmenin bir mükemmel yolu kara delik termodinamiğini test edip etmediklerini araştırmaktır. Sicim teorisi bu testi basit ve ileri derecede süpersimetrik kara deliklerde geçmiştir. Hedef bunu daha gerçekçi kara delikler için genişletmektir. Şu anda gerçekliğe yakınlaşmak için gerekli olan karmaşıklık ile kesin hesaplamalara imkan sağlayacak kadar basitlik arasındaki denge D4D0 kara delikleridir. Bu projede, bu D4D0 kara deliklerin makroskopic Bekenstein-Hawking entropisini, temelde yatan sicim kuramının mikroskopic istatistiksel modelini anlama yolunda büyük bir ilerleme kaydedildi. Bu gelişmeler 3 çizgide yapıldı: Ufuksuz kütle çekimsel çözümlerin yapımı, kara delik durumlarının kuvantum mekaniksel okluk modelinin tanımlanması ve bu durumların modelin parametrelerinin değişimleri altındaki davranışları. Bu çalışmalar 9 uluslararası bilimsel makalede(7 tanesi yayınlandı, 1 tanes yayınlanmak için sunuldu ve 1 tanesi yayınlanmak için hazırlanıyor) ve 1 yüksek lisans tezinde toplandı.

Bu proje, 113F164 kod numarasıyla 1 Ekim 2013 – 1 Ekim 2016 tarihleri arasında ARDEB 3501 programı kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

1. Giriş 1

1.1 Genel Durum 1

1.2 Sicim Kuramında Kara Delikler 1

1.3 D4D0 Kara Deliği 2

2. Literatür Özeti 3

3. Yöntem 5

3.1 Süper Kütle Çekimi 5

3.2 Okluk Ayar Teorisi 5

3.3 Abelyan Olmayan Monopollar 6

4. Bulgular 7

4.1 Çok büyük kütle çekimsel çiftleşim sabitinde D4D0 kara delikleri 7

4.2 Küçük Kütle Çekimsel Çiftleşimlerde D4D0 Kara deliği 8

4.3 BPS durumlarının duvar geçişi 10

4.4 Araştırma aşamalarının proje önerisiyle karşılaştırılması 11

5. Tartışma ve Sonuçlar 14

5.1 Proje Kapsamında Yapılan Yayınlar 15

5.2 Proje Kapsamında Yetiştirilen Lisansüstü Öğrencileri 16

5.3 Bu Proje Kapsamında Gerçekleştirilen Seminerler 16

Kaynakça 18

ÖZET

Hawking, Bekenstein ve diğerlerinin klasik çalışmalarından beri, kara deliklerin, kökenlerini kütle çekiminin kuvantum özelliklerinden alan termodinamik yasaları takip ettiği açık hale gelmiştir. Bunun bir sonucu olarak, her kuvantum kütle çekimi kuramı önerisi, bu termodinamik özellliklerinin mikroskopik ve istatistiksel mekaniksel olarak türetilmesi zorluğuyla karşılaşmaktadır. Bu projede, D4D0 kara delikleri için bu tür bir mikroskopik model sağlama yolunda büyük bir ilerleme kaydedildi. Sicim kuramı, süper kütle çekimi, kuvantum alan kuramı ve cebirsel geometri ve topoloji matematiğinin yöntemlerini kullanarak, şu ana sonuçları elde ettik.

1) Süpersimetrik ve AdS3xS2 çözümlerinin çok sayıda yeni sınıfı, D4D0 kara delikleriyle aynı yükleri taşımaktadırlar. Bu çözümler, ufuksuz olup kapalı zamansı eğrilerin patolojilerinden de mauftırlar. Bu çözümlerin, bir ikili alan kuramsal yorumuna doğru ilk adımlar atıldı.

2) D4D0 kara deliklerinin mikro durumlarının, denizyıldızı okluk kuvantum mekaniğinin uygun bir takımının saf Higgs durumlarıyla tarif edilebildiği var sayımıyla ilgili yeni ve güçlü kanıtlar. Bu Coulomb dalı durumları ve Grassmann çarpımları üzerindeki bir vektör dalının kaybolan bir kısım gezneğinin eylektik kohomolojisi arasında kesin bir tanımlama ve saf Higgs durumlarını temsil eden tekil kohomolojilerin kararlılığının doğrulanmasını içeriyor. Bu bizim SU(2) etiketleme olarak adlandırdığımız, SU(2) kuvantum numaraları yoluyla durum tanımlamadaki yeni tekniğin etkisini gösteriyor.

3) HiperKahler monopolu moduli uzayındaki bir Dirac operatorünün sıfır modu içeren süper Yang-Mills kuramındaki BPS durumlarının kesin bir şekilde tanımlanması yoluyla, BPS durumlarının duvar geçişleriyle ilgili yeni kavrayışlar. Bu anlayışlar, bu Dirac operatorlernin çeşitli matematiksel özellikleri için yeni ve güçlü tahminler yapmamızı sağladı.

D4D0 kara deliğinin mikro fiziği için önemli bu ana sonuçların dışında, kuramsal yüksel enerji fiziği litaratürü için kayda değer bir çok ek sonuç bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kara delikler, kuantum kütleçekimi, sicim kuramı, süperkütleçekim, D-zarları, okluk ayar kuramı, süpersimetri.

ABSTRACT

Since the classical work of Hawking, Bekenstein and others it has become clear that black holes follow thermodynamic laws that find their origin in the quantum properties of gravity. As a consequence any proposed theory of quantum gravity faces the challenge of providing a microscopic, statistical mechanical derivation of these thermodynamic properties. In this project great progress is made towards providing such a microscopic model for the D4D0 black hole. Using methods of string theory, supergravity, quantum field theory and the mathematics of algebraic geometry and topology we derived the following main results:

1) A large new class of supersymmetric, asymptotic AdS3xS2 solutions carrying the same charges as the D4D0 black hole. These solutions are free of horizons and possible pathologies like closed timelike curves. First steps towards a dual field theoretic interpretation of these solutions were made.

2) New and strong evidence towards the conjecture that the microstates of the D4D0 black hole can be described by pure-Higgs states of an appropriate set of starfish quiver quantummechanics. It consists of a precise identification between the Coulomb branch states and the induced cohomology of a vanishing section locus of a vectorbundle on the product of Grassmannians, and the verification of the stability of the singular cohomology representing the pure-Higgs states. This showed the effectiveness of the new technique of state identification via SU(2)-quantum numbers, which we called SU(2)-tagging.

3) New understanding in the wall-crossing of BPS states via a precise identification of BPS states in super Yang-Mills theory with zero-modes of a Dirac operator on the hyperkahler monopole moduli space. This lead us to make powerful new predictions for various mathematical properties of these Dirac operators.

Apart from these main results which are of importance to microphysics of the D4D0 black hole a lot of additional results were found that are of significant interest to the theoretical high energy physics literature.

Keywords: Black holes, quantum gravity, string theory, supergravity, D-branes, quiver gauge theory, supersymmetry.

1. GİRİŞ

1.1 Genel Durum

Hem elektrozayıf hem de güçlü çekirdek kuvveti renormalize edilebilir kuvantum alan kuramı yoluyla, temel kuramsal bir şekilde tanımlanmışlardır. Uzak mesafelerde çok iyi bir şekilde tanımlanabilen kütle çekim kuvveti kuramına sahip olmamıza rağmen, bu kuvvetin yerleşmiş mikroskopik kuvantum mekaniksel kuramı eksik kalmıştır. Bu durum genel göreleliğin pertürbatif kuvantum alan kuramsal yaklaşımının renormalize edilememesinden kaynaklanmaktadır ve sadece düşük enerjilerde efektif bir kuram olarak kullanılabilmektedir. Bu şu ana kadar şu soruna tam bir cevabımız olmadığı anlamına geliyor: Her gün gözlemlediğimiz makroskopik kütle çekim kuvvetinin oluşmasına sebep olan doğanın temel ilkeleri nelerdir?

Kütle çekiminin kaçılamaz bölgeleri olan kara delikler için, kara deliklerin tamamen kara olmadığını, aslında radyasyon yayan ve entropi taşıyan termodinamik sistemler olduğunu işaret eden kuvantum etkilerin esas öneme sahip olduğu ortaya çıktı . Bu genel olarak sadece eğri uzaylarda kuvantum alan kuramı olarak bilinen ve effektif bir makroskopic tanımlama sağlamasına karşın, bu termodinamik davranışın mikroskopik unsurları cinsinden bir istatisel mekaniksel açıklamayı dışarıda bırakan bir yaklaşımla kurulabilmiştir. Bu tür bir açıklama bir kuvantum kütleçekimi kuramında aranmalıdır; ya da tersine, kara deliklerin makroskopik yasalarını türetmek için kullanılabilen her mikroskopik model bize kuvantum kütle çekiminin fiziksel özellikleri ile ilgili bir çok şey öğretecektir. Bu projenin amacı tam olarak bir (4 boyutlu, büyük) kara deliğin detaylı ve hesaplanabilir mikroskopic modeline yönelik bir çalışmadır.

1.2 Sicim Kuramında Kara Delikler

Şu anda tamamen anlaşılmış ve onaylanmış bir kuvantum kütle çekimi kuramı olmamasına rağmen, son zamanlada büyük bir ilerleme kaydedildi ve bir kaç rakip fikir formüle edildi: ör. Döngü kuvantum kütle çekimi, asimptotik emniyet (asymptotic safety), sicim kuramı ve diğerleri. Sicim kuramı, diğer kuvvetleri ve parçacıkları da içeren bir çerçeve sunduğu için ve doğru termodinamik limiti türeten bir mikroskopic kara delik resmi gösterdiği için bunların arasında en başarılısı olarak düşünülebilir. Bu kara deliklerin ilki (Strominger ve Vafa, 1996)'da formüle edilmiştir. Burada çok küçük ufuklu (yaklaşık olarak Planck ölçeğinde) 5 boyutlu bir kara delik düşündüler ve aynı korunan yükleri taşıyan kara deliklerin sicim teorisinde mikroskopik yapı taşlarının sayısınının, büyük yük liitinde kara deliğin entropisiyle tam olarak eşleştiğini gösterdiler. Bununla birlikte çok hayati öneme sahip bir teknik numara

kullandılar: süpersimetri, mikro durumların sayılabildiği sıfır kütle çekimi kuvveti limitinde durumların sayısının korunduğunu belirtir. Bununla birlikte, bu durum çalışmalarında, mikro durumların sicim teorisindeki varlığını göstermiş olsalar da, bunun bize kütle çekiminin özellikleri hakkında hiç bir şey öğretmediğini gösterir.

1.3 D4D0 Kara Deliği

Gerçekleştirdiğimiz bu araştırmada, D4D0 kara deliğini tarif eden matematiksel model ile tanımlanmasına önemli katkılarda bulunduk. Bu parametrik olarak büyük bir ufku olan 4 boyutlu bir kara deliktir ve bu nedenle Orijinal SV kara deliğinden daha gerçekçidir. Bunlar yüklü, süpersimetrik ve en uç noktalardaki kara delikler oldukları için, hala evrende gözlemlediğimiz kara deliklerin idealleştirilmiş yaklaşımları olduklarının farkında olmalıyız. Fakat, gözlemlediğimiz daha karmaşık kara deliklerle uğraşmadan önce, daha basit modelleri anlamamız gerektiği de açıktır.

D4D0 kara deliği ismini 10 boyutlu tip IIA sicim kuramındaki D4 ve D0 branlarından oluşturulmuş olmasından almaktadır. Bu 10 boyutlu sicim kuramı, iyi anlaşılmış kompaktifikasyon aşamaları sonucu tarif ettiği, 4d N=2 süper kütle çekimi olarak adlandırılan 4 boyutlu bir kütle çekimi kuramını tarif etmektedir. Bu 10 boyutun 6 tanesi, zamanı da içeren diğer 4 boyuttan çok daha küçüktür ve bu nedenle, fizik düşük enerjili süreçlerde efektif olarak 4 boyutludur. Sicim kuramının denklemleri (ve süpersimetri korunumu şartı), bu 6 boyutlu uzayın matematiksel olarak bir Calabi-Yau manifoldu olarak adlandırılan özel bir şekilde olması gerektirir. Bu nedenle, bu kurulum, 4d N=2 süper kütle çekiminin iyi bilinen uç kara delik çözümü olan D4D0 kara deliğinin anlaşılmasının, D4 ve D0 branlarının bir Calabi-Yau manifoldu üzerindeki davranışının anlaşılmasına eş değer olduğunu önermektedir. Bunun gerçekten doğru olduğunu gösteren ilk ve ünlü hesaplamalar (Maldacena vd., 1997)'de yapılmıştır. Bununla birlikte, SV modelinde olduğu gibi, bu hesaplamalar, durumların kütle çekimsel özelliklerini anlama gereği duymadan sadece genel durum sayımının eşleştiğini gösterir. Daha yeni olarak, (Denef, 2002)'de mikro durumların okluk kuvantum mekaniği cinsinden daha detaylı tanımlarının kütle çekiminin zayıf ve güçlü çiftleşim rejimleri arasındaki boşlukta bir köprü görevi görme potansiyeline sahip olduğu anlaşıldı. 4. bölümde ayrıntılı bir biçimde tartışılacağı gibi, bu projede, bu potansiyelin büyük bir kısmının doğruluğunu onayladık.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

1996 yılında, Strominger ve Vafa string teorinin D1D5P kara deliğinin entropisini doğru şekilde öngörebileceğini gösterdi (Strominger ve Vafa, 1996). O zaman devrim niteliğinde olmasına rağmen Strominger-Vafa D5D1P kara delik açıklamasının bir çok eksikleri vardı. Modelledikleri 5 boyutlu kara delik fiziksel olmayan bir ufka sahipti ve mikro durumların kütle çekimsel özelliklerini bilinmez bir şekilde bırakıyordu. (Maldacena vd, 1997) makalesinde bu hesaplamalar daha gerçekçi 4 boyutlu ve büyük D4D0 kara delikler için genişletildi. Yine de D5D1P kara deliği D4D0 kara deliğinden çok daha basit yapıdaydı ve bu nedenle mikro durumların kütle çekimsel özellikleri ile ilgili ilk incelemeler bu bağlamda yapıldı. Bununla ilgili kritik bir referans olarak, mikro durumların düzgün ve ufuksuz kütle çekimsel çözümler olduğunun gösterildiği (Giusto vd., 2004) verilebilir. Bu, tüytopu(fuzzball) önerisi (Mathur, 2005) olarak adlandırılan, kara delik ufuklarının çok sayıda ufuksuz çözümlerin termodinamik ortalaması olarak ortaya çıkan effektif bir konsept olduğu fikrinin farkına varılmasına neden oldu.

Tüytopu önergesinin D1D5P kara delikleri için olan başarısı, benzer bir başarı D4D0 kara delikleri için de elde edilebilir mi diye meraklanmaya neden oldu. D4D0 kara delikleri Planck büyüklüğünde bir ufka sahip oldukları için, bu ufuk, bir takım ufuksuz durumlardan ortaya çıkan effektif bir tanım olarak bu küçüklükteki ölçekleri yorumlamayı sağlayan yapay bir olgu olabilir. D4D0 kara deliklerinin entropileri ve ufukları onları daha gerçekçi kara delikler yapacak şekilde parametrik olarak daha büyükler ve “fuzzball” önergesinin burada çalışıp çalışmayacağı tam olarak açık değil. Olay ufkunun temel ya da effektif bir olgu olduğu seçenekler literatürde tartışıldı. Derleme için bkz. (Balasubramanian vd., 2008a).
Bir grup çözümün içindeki D4D0 yüklü süper kütle çekimi çözümleri ilk olarak (Denef, 2000)’de keşfedildi. Bu çözümlerin fiziksel özellikleri ve durumlarının düzgünlüğü birtakım makalede incelendi (de Boer vd., 2008; Bena ve Warner, 2006; Denef ve Moore, 2011). Bu tip düzgün süper kütleçekimi çözümleriyle ilgili durumların sayan bir metod (de Boer vd., 2009)’da baş araştırmacı ve ortakları tarafından geliştirildi ve bu tür tüm çözümleri toplanmasını sağlayan bir yönteme entegre edildi (Manschot vd., 2011a; Manschot vd., 2011b). Bu tür bir toplamanın kara delik entropisini türeteceği ile ilgili bazı savlar (Bena vd., 2010) ortaya atılsa da, baş araştırmacı ve ortakları, durumun böyle olmadığına dair güvenilir kanıtlar buldular (de Boer vd., 2010). D5D1P kurulumunun aksine, bu zamana kadar D4D0 kara deliklerinin entropisi, ufuksuz süper kütle çekimi çözümleriyle açıklanamamıştır.

Hiç kanıt olmamasına rağmen, bu durum kara delik mikro durumlarının sadace kütle çekimi dışında bir formalizm kullanılarak anlaşılması gerekliliğini işaret ediyor. Baş araştırmacı ve ortakları tarafından (Bena vd., 2012)'de problemin anahtarının kara deliklerin okluk ayar teorileri cinsinden tarifinde olabileceğini keşfedildi. İlk olarak (Denef, 2002; Balasubramaniann vd., 2008b)'de , okluk kuvantum mekaniğinde, D4D0 yüklü süper kütle çekimi çözümlerinin hepsinin alternatif tarifleri işaret edildi. "Okluk" teorisi prensipte kütle çekimsel ve mikro durumsal bakış açıları arasında bir köprü arayışına olanak sağlamaktadır. Bu konuda ilk önemli adım (Bena vd., 2012)'de, okluk teorilerinin, bilinen bir süper kütle çekimi yorumu olamayan muazzam sayıda mikro durum içeren D4D0 kara delikeriyle alakalı teorilere benzediği gösterilerek atıldı. Bu tam olarak araştırmacıların aradığı kara delik mikro durumlarına benziyordu. O zamandan beri, 'saf Higgs' durumları olarak adlandırılan bu yeni tip durumların varlığı, daha geniş bir kurulumda onaylandı (Lee vd., 2012a; Lee vd., 2012b; Manschot vd., 2012; Manschot vd., 2013).

(Vafa, 1998; Gaiotto vd., 2006; Gaiotto vd., 2007)'de büyük yük limitinde incelenen Calabi-Yau üzerindeki D4D0 bran teorisinin kendisi de bir okluk teorisidir. Burada BPS durumları olarak kendini gösteren kara delik mikro durumlar ince bir şekilde Calabi-Yau parametrelerine bağlı olan muhtemel sarma modları tarafından temsil edilmektedir. Duvar geçişi olarak adlandırılan olay, detaylı bir şekilde ilk olarak (Denef ve Moore, 2011)'de çalışıldı. Bu olay, derin bir matematiksel yapıya sahip ama pratikte oldukça karmaşıktır. Bu nedenle, daha çok daha basit alan teorisi kurulumlarında çalışılmıştır, bkz. (Seiberg ve Witten, 1994; Gaiotto vd., 2010).

Son olarak, kara delik yeniden yapılanması modeli olarak adlandırılan bir başka olası D4D0 durumları açıklamasından bahsedelim (Denef vd., 2012). Burada mikro durumlar sarılmış D2 branlarının uyarımları olarak görünüyorlar. Bu model bir probe yaklaşımında entropiyi doğru olarak yeniden türetse de, geri tepkiyle ilgili bazı problemler belirdi. Bu geri tepkiyle ilgili çalışma baş araştırmacı ve ortakları tarafından (Levi vd., 2010)'de başlatılmıştır.

Bu projenin başlangıcındaki litaratürün durumuydu. Daha yeni litaratür ve projenin bu litaratüre katkıları 4. bölümde tartışılacaktır.

3. YÖNTEM

Burada projede kullanılan bazı en önemli metodlar, teknikler ve sistemler kısaca gözden geçirilecektir.

3.1 Süper Kütle Çekimi

Süper kütle çekimi oldukça olgun ve iyi çalışılmış bir alandır. Genel görelelik kuramının süpersimetrik bir genişlemesine olanak sağlar. Öyle ki çeşitli boyutlarda çeşitli formlarda görünebilir. Bu çeşitli olasılıklar sınıflandırılmışlardır ve kesin Lagrange'lar ve süpersimetri dönüşümleri (Freedman ve Van Proeyen, 2012) ders kitabında bulunabilir. Dahası bu teorilerin çoğunluğu kompaktifikasyon ve düşük enerji limiti yoluyla sicim teorisi ile doğrudan bağlantılıdır. Bizim özel ilgimiz, 4 boyutlu N=2 süper kütle çekimi ve onun yakın ilişkili kuzeni, 5 boyutlu N=1 süper kütle çekimi üzerine olacak. Çünkü bunlar sırasıyla tip II sicim teorisinin ve M teorisinin Calabi-Yau kompaktifikasyonlarına karşılık gelmektedirler. D4D0 kara deliği, N=2 süper kütle çekiminin süpersimetrsinin yarısını koruyan bir kara delik çözümüdür. Bu projede, D4D0 kara deliklerinin (ya da 5 boyutlu M5P siciminin) mikro durumlarını, dinamik hipermultiplete sahip 5 boyutlu N=1 süper kütle çekimi çözümleriyle karşılaştırıyoruz. Biçimsel olarak bu tip çözümler (Bellorin vd., 2007)'de sınıflandırılmışlardır.

3.2 Okluk Ayar Teorisi

Okluk ayar teorileri ilk olarak orbifold arkaplanları üzerindeki branlar bağlamında keşfedildiler (bkz. Douglas ve Moore, 1996). Ayrıca, bu teoriler, bu projede çalışılan D4D0 sisteminde olduğu gibi, kesişen bran kurulumlarında doğal olarak belirebilirler. Bir okluk ayar teorisi, tamamen, okluk adı verilen, birkaç düğüm ve bu düğümler arası yönlendirilmiş oklardan oluşan bir basit diyagram tarafından belirlenir. Her düğüm için bir U(n) ayar grubu ve süpermultiplet içeren bir ayar vektör alanı ilişkilendirilmesine karşın her ok için teoriye bir bifundamental madde multipleti eklenir. Bu teoride hayati önem taşıyan bir obje, maddedeki skalarlar ve vektör multipletlerinin vakum beklenti değeri tarafından parametrize edilen uzay vakumudur. Bu tipik olarak, Higgs ve Coulomb dalları adı verilen, birbirinden bağımsız iki daldan oluşur. Bunlar sırasıyla, vektör multipletinin ve madde multipletinin skalerlerinin beklenti değerlerinin sıfır olmasıyla tanımlanır.

Coulomb dalında, teorinin stabil durumlarını beraberinde getiren bir doğal simplektik form ve bir geometrik kuvantumlama bulunmaktadır.

Witten'ın süpersimetrik kuvantum mekaniğindenki ünlü gözlemlerinde (Witten 1982) olduğu gibi, Higgs dalında, durumlar kohomoloji sınıflarıyla bir bir eşleştirilirler. Higgs dalı, genellikle, D ve F terimleri olarak adlandırılan, bir takım cebir denklemlerinin çözümleriyle belirlenirler,

böylece BPS durumlarının hesaplanması cebirsel geometride bir kohomoloji problemine indirgenmiş olur. Bu problem, kapalı döngülerin olmadığı okluk diyagramları için genel olarak çözülmüştür ve cevap Reinekes denkleminde verilmiştir (Reineke, 2003). Bununla birlikte, D4D0 ve D6D6D0 okluklarında olduğu gibi, kapalı döngüler var olduğunda, kohomolojinin her durum için ayrıca türetilmesi gerekmektedir. Bu durum, bu projenin ana sonuçlarından birisi olacaktır.

3.3 Abelyan Olmayan Monopollar

D4D0 kara delikleriyle doğrudan ilgili olmasalar da, abelyan olmayan monopoller, bu projede D4D0 mikro durumları karakterize edilmesinde büyük bir rol oynadılar. Bunun nedeni, elde edilen kara delik mikro durumlarının her zaman, anlaşılması zor olan ve en kolay bir şekilde alan kuramı bağlamında çalışılabilen, duvar geçişine maruz kalmasıdır. En somut olarak, yarı klasik limitte, süper simetrik Yang-Mills teorilerinin BPS durumları abelyan olmayan monopolların bozulması olarak gerçekleşirler. Derleme için, bkz. (Weinberg ve Yi, 2007). Özellikle, kuvantumlama moduli-uzay yaklaşımı olarak adlandırılan, kuvantum BPS durumları, Hiper-Kahler monopolü moduli uzayında tanımlı belirli bir Dirac operatörün sıfır modları(zeromode) olarak temsil edilirler.

4. BULGULAR

Burada araştırmacıların bu proje ile ilgili elde ettiği gelişmeleri özetleyeceğiz. Bu ilerlemeler toplamda dokuz uluslararası yayın (yedi tanesi yayınladı, bir tanesi yayınlanmak için sunuldu ve bir tanesi de yayınlamak için hazırlanıyor) ve bir tane yüksek lisans tezini içermektedir (Bunların ve bu projenin başka pozitif sonuçlarının detaylı bir listesi için 5. bölüme bakınız). Litaratürdeki gelişmeler, her biri D4D0 kara deliğinin kuantum kütle çekimsel modelinin tamamlanmasına katıkıda bulunan ve aşağıda 4.1, 4.2 ve 4.3 kısımlarında anlatılan 3 alt başlıkta toplanabilir. Bu rapor farklı başlıklar arasındaki mantıksal ilişkileri vurgulamaktadır. Bu bilim dalının uzmanları, bu ilişkilerin, kısım 4.4'te yeniden açıkladığımız proje takviminde listelenen farklı alt problemleri kapsadığını tespit edebileceklerdir. Orada ayrıca 4.1-4.3 kısımlarında tartışılan sonuçların bu listeyle nasıl ilişkilendiği ile ilgili bazı ilave açıklamalar yapacağız.

Sonuç olarak, proje önerisindeki araştırma problemlerinin, kısmen anlaşılan zorlayıcı bir kaç prablem dışındaki, çok büyük bir çoğunluğunun başarılı bir şekilde ele alındığını söyleyebiliriz. Bu durum, projedeki araştırma sonucunun, projenin ana odak noktasıyla alakalı yeni kavrayışlar geliştirmesi ve fazladan sorulara cevap vermesiyle birlikte dengelenmiştir.

4.1 Çok büyük kütle çekimsel çiftleşim sabitinde D4D0 kara delikleri

Araştırmannın ilk bölümü, bu projede muazzam bir ilerlemenin kaydedildiği D4D0 kara delik yapıbozumu tarifi ile ilgilidir (Gaiatto vd. 2012). Bu özgün model doğru sayıda kuvantum durumu vermektedir ama tam olarak geri tepkili kurulumlara nasıl genişletileceği belli olamayan bir probe yaklaşımı kullanmaktadır. Bu yöndeki ilk adım (Levi vd., 2010)'da atılmıştır, ama çözümler kapalı zamansı eğrilerden dolayı sorun yaşamışlardır. Bu projenin baş araştırmacısı, Prag'daki bir ortağıyla birlikte (Bellorin vd., 2007)'deki çözümlerin sınıflandırılmasında bir gedik bulmayı başarana kadar birkaç sene boyunca gelişmelerin önü kapanmış gibi göründü. Bu onların, geri tepkili D4D0 mikro durum çözümlerinin içermesinin beklendiği dinamik hipermultiplere sahip 5 boyutlu N=1 süper kütleçekiminde yeni bir takım çözümler bulunmalarını sağladı (Raeymaekers ve Van den Bleeken, 2014). Bu sonuçlar, holomorfik bir axion dilatonlu 4 boyutlu bir Kahler bazının fibrasyonları olan çözümleri içermektedir. Biz ekstra simetriler barındıran çözümler üzerine yoğunlaştık ve süpersimetriler tarafından dayatılan fazladan yapıları koruyan Killing vektörleri sınıflandırdık. Özellikle daha önceden var olan uzaysal U(1) isometri çözümlerinin sınıflandırılmasını, Killing vektörlerin rotasyonel olduuğu durumlara genişlettik. Takip eden çalışmada (Raeymaekers ve Van den Bleeken, 2015), D4D0 mikro durumlara denk gelen çözümleri tamamen tanımlamak için son

adımı attık ve çözümlerin fiziksel zelliklerini çalıştık. Özellikle Calabi-Yau üçkatı üzerine sıkıştırılmış 11 boyutlu süper kütleçekiminin yeni bir grup asimptotik AdS3xS2 çözümlerini sunduk. Bunlar D4D0 kara delik entropisinin mikro durumları üzerinde rol oynayan S2 üzerine sarılmış M2 branlarının geri tepkilerine denk gelmektedirler. Bu çözümlerin kapalı zamansal eğriler gibi olası patolojilerden muaf olduğunu gösterdik ve holografik yorumunu tartıştık.

D4D0 kara deliğinin güçlü kütle çekimsel tasviri 4 ya da 5 boyutta doğal olarak formülleştirilmiştir. Bununla birlikte, bir kürenin üzerine indirgeme yapılarak, yukarıdaki çalışmada hayati öneme sahip bütün bilgileri içeren daha basit bir model elde edilebilir. (Değer vd., 2014) makalesinde, bu ilişkiyi daha geniş bir kurulumda çalıştık. Özellikle, hedef uzayı SO(4,4)/(SO(4)×SO(4)) olan, 3 boyutlu $SO(4) \ltimes \mathbb{R}6$ ayarlı N=4 süper kütle çekimini, tek bir kiral tensör multipletiyle çiftleşen D=6, N=(1,0) süper kütle çekimine, tutarlı bir AdS3×S3 indirgenmesi yoluyla gömülmesini ilk sunanlar biz olduk. Bu indirgemenin sadece özel çözümlerde değil, aynı zamanda teori seviyesinde de nasıl çalışabileceğinin bir örneğidir.

Son olarak, kara delik çalışmalarında hali hazırda çığır açmış bazı araştırmalar gerçekleştirdik. Kuvantum kara delikleri karmaşık objeler oldukları için, problemi basitleştirmeye yardımcı olan tüm yaklaşım metodları hoş karşılanmaktadır. Göreceli olmayan yaklaşım, büyük oranda keşfedilmemiş bir yön olarak kaldı. Naif Newton limiti ilginç bir kara delik fenomeni içermemesine rağmen, problemin biraz daha dikkatli bir analizi, göreceli olmayan limitte bile ilginç fiziksel fenomenlere yer olabileceğini gösterdi. (Van den Bleeken ve Yunus, 2016)'de, Newton-Cartan kütle çekiminde Kaluza-Klein indirgemesini gerçekleştirdik. Bu bize skaler ve vektör maddenin Newton-Cartan kütle çekimine geri tepkili çiftleşiminin ilk örneğini verdi. Bu geri tepki, uzaysal Ricci eğriliğini besleyip göreceli olmayan kütle çekiminin sadece bir Newton potansiyelinden fazlasını gösteren bir örnek sağladığı için ilginçtir.

4.2 Küçük Kütle Çekimsel Çiftleşimlerde D4D0 Kara deliği

Araştırmanın başka bir çizgisinde, okluk kuvantum mekaniği resmine yoğunlaştık. Yüksek lisans tezinde, Zürbiye Çapku, okluk resmiy ile kütle çekim resmi arasında nasıl bir bağlantı olabileceğinin detaylarını araştırdı. Ağır titreşim modları için bir adiyabatik yaklaşım

uygulayarak, okluk kuvantum mekaniğinde efektif potansiyelin nasıl üretildiğinin ilk adımları üzerine çalışma yaptı.

Bu çalışmanın üzerine, araştırma yürütücüsü Dr. Van den Bleeken ve doktora sonrası araştırma bursiyeri Dr. Ilies, yakında yayınlanmak üzere sunulacak bir çalışma yaptılar. Bunun sonuçlarını şimdiden burada özetliyoruz. (Bena vd., 2012) varsayımları üzerine bir takım basit olmayan kontroller gerçekleştirdik: 1) Coulomb dalı (süper kütle çekimi) durumlarıla, ortamsal manifolddan geri çekilmiş kohomolojinin arasında bire bir eşleme bulunmaktadır. Bu durumlar tek merkezli kara deliklerle ilişkilendirilmemelidirler. 2) Tek merkezli kara delik mikro durumları tekil (ilkel) kohomolojilerle bire bir eşleştirilirler.

İkinci durumlar Higgs durumları olarak adlandırılırlar. Bire bir eşleme uzay zaman SO(3) spininin, eylektik kohomolojinin Lefschetz SU(2) spiniyle tanımlanmasıyla çalışır.

Bu iddiayı, Bps tayfına en baskın katkıyı verdiğini savunduğumuz deniz yıldızı oklukları denilen durumda detaylıca inceledik. İlk sonucumuz olarak, bu modellerin Higgs dalının aslında Grassmann çeşitlerinin bir doğrudan çarpımı olduğunu ortaya koyduk. Daha sonra da bu uzayların kohomolojisiyle uğraşabilmek için gerekli cebir, geometri ve topolojiyi öğrendik.

Ek olarak, kütle çekimi tanımındaki BPS durumlarının kesin SO(3)- spin multipletlerini tanımladıktan sonra Higgs dalındaki eylektik kohomologinin Lefschetz SU(2) spin yapılarının aynı spin multipletlerini eşenerjilikleri tam olarak yeniden türettiğini kanıtladık. Böylece, ilk kez çalışılan, bu geniş okluk ve süper kütle çekimi çözümleri ailesi için uzay zaman SO(3) spin ile Lefschetz SU(2) özdeşliğini, iki ayrı resimde kanıtlamış olduk. Bu süper kütleçekimi/Coulomb dalları BPS durumlarının, genel olarak, Higgs dalının eylektik kohomolojisi ile tanımlanması gerektiğine dair kanıtları büyük oranda genişletti.

Daha sonra, iki tane test uygulayacağımız, saf Higgs durumlarının araştırılmasına geçtik. Birinci test, durumların ölçeklendirikmeyen rejimlerde bulunmamalarıydı. İkincisi ise bu durumların duvar geçişlerindeki marjinal kararlılıklarının korunmasıydı. Birinci test için eylektik kohomolojiiden gelen durumların eşdeğerliliğini, toplam Euler sayısından hesaplanan ile karşılaştırdık. Eylektik kohomoloji çift dereceli olduğu sürece, toplam Euler sayısını hesaplarken, eylektik kohomoloji durumları arasında hiç bir sadeleşme olmamaktadır. Schubert-hesaplaması içeren uzun işlemlerin sonucunda, ölçeklenmeyen rejimdeki eylektik Euler sayısının, sadece eylektik kohomoloji sayımından gelen sonuçla kesiştiğini gördük. Bu nedenle, kanıtlamaya çalıştığımız gibi, ölçeklenmeyen rejimde hiç saf Higgs durumu bulunmamaktadır. Saf Higgs durumlarıyla ilgili gerçekleştirdiğimiz ikinci test bu durumların marjinal kararlılıkların duvar geçişleri sırasındaki kararlılığını uyguladık. Eğer saf Higgs

durumlarını tek merkezli kara deliklerin mikro durumlarıyla birlikte tespit edebilirsek, bunlar en azından bu kara deliklerin özelliklerini göstermeliler. Eşdeğerlilikteki sıçrayış ile başladık. Eğer Higgs durumları duvar geçişi altında kararlı yapıdalarsa, bu eylektik kohomolojilerden gelen durum sayılarındaki bu sıçrayış marjinal kararlılığın duvar geçişi sırasındaki toplam Euler sayısındaki sıçrayış ile eşit olmalıdırlar. Yeniden Euler sayısını, eylektik kohomolojilerdeki eşdeğerlilikle karşılaştırarak, bu sefer ölçeklenen rejimde, saf Higgs durumlarının gerçekten kararlı olduğunu kanıtlamış olduk. Bu yine, bu durumların, kara delik mikro durumları olarak yorumlanması fikrini güçlendirdi. Bu sonuçlar hali hazırda yakın bir zamanda yayınlanması için sunmayı planladığımız bir taslakta yazılı halde bulunmaktadır. Kalan son test ise saf Higgs durumlarını sayarak kara deliklerin entropisini doğrudan yeniden türetmek olacak. Bunu daha sonraki çalışmalara bıraktık.

4.3 BPS durumlarının duvar geçişi

Parametrelerin çeşitli rejimlerinde kara delik durumlarının çalışılmasındaki bir incelik, bu durumların varlığının ve dolayısıyla sayılarının bu parametrelerin değerlerine bağlı olabilmesidir. Bu problem, sadece parametrelerin çok spesifik ve nadir (eşboyutlu bir alt uzay) değerlerinde bozunan BPS durumlarının var olduğu süper simetrik teorilerde büyük oranda giderilmiştir. Çok daha basit olmasına rağmen, bu süper simetrik teorilerde bile durum, çoğu son dönemlerde yapılan ilerlemelerle, sadece kısmen anlaşılabilmiştir. Kara delik fiziği ile bağlantıları ile ilgili bir derleme ve detaylı bir irdelemme (Pioline, 2013)'te bulunabilir.

(Moore vd., 2016a) ve (Moore vd., 2016b) makalelerinde hiperkahler manifoldları üzerindeki Dirac opertörleri üzerine olan çalışmalarla tam olarak ilişkilendirerek, bu problemin anlaşılması yolunda yeni ve etkileyici bir katkı yaptık. Tekil monopollerin moduli uzayında bulunan bir süpersimetrik kuvantum mekaniği cinsinden 't Hooft eksiklikleri tarafından irdelenen 4 boyultlu N=2 süper Yang-Mills teorilerindeki çerçevelenmiş BPS durumlarının, yarı klasik bir tanımından başladık.Çerçevelenmiş BPS durumları, eksiklik olmayan kuramlardaki sıradan karşılıkları gibi moduli uzayındaki belli Dirac operatörlerinin L^2 kerneliyle ya da eş bir şekilde ilintili Dolbeault operatörlerinin L^2 kohomolojileriyle ilişkidirler. Dirac/Dolbeault operatörleri Cartan değerli Higgs vakum beklenti değerine bağlıdırlar. Bu vakum beklenti değerleri ve Seiberg-Witten özel koordinatkarı arasında, bir döngü analiziyle uyumlu ve örneklerle kontrol edilmiş bir eşleşme varsaydık. Bu eşleşme Coulomb dalının uygun bir şekilde tanımlanmış zayıf çiftleşim rejimindeki, yarı klasik BPS durum yapılarıyla ilgili bütün pertürbatif ve pertürbatif olmayan düzeltmeleri kapsamaktadır. Bu eşleşmeyi duvar

geçişi formulasyonunu, Dirac/Dolbeault operatörlerinin egzotik olmayanlar teoremine(non-exotics theorem) çevirmek için kullandık. BPS tayfındaki basit olmayan SU(2)_R temsillerinin yokluğuyla ilgilenen egzotik olmayanlar teoremi Dirac operatörünün kernelinin kiral olduğunu vurguluyor ve dahası orta derecede yoğunlaşmış Dolbeauly operatörünün tüm L^2 kohomolojisine çeviriyor. Duvar geçişi formülleri Dirac operatörlerinin Fredholm olamadığı ve kernellerinin nasıl sıçradığı ile ilgili detaylı tahminlere götürdü.

Bu çalışma, daha önceki ilerlemelerimizin, monopol moduli uzaylarının matematiğini, tekillik içeren durumlara genişletmesiyle mümkün oldu. Bu çalışma, R^3 üzerindeki Bogomolny denkleminin ayar-eşlenik olmayan çözümlerinin moduli uzayının boyutlarını, sonlu sayıdaki ‘t Hooft eksikliklerinin eklenmesine karşılık gelen belirlenmiş tekillikler ile hesapladığımız (Moore vd., 2014a) ve (Moore vd., 2014b) makalelerinde yayınlandı. Bunu (Weınberg, 1979) makalesindeki metodları, sonlu sayıda noktanın çıkarlıdığı R^3 durumuna genelletirilmesiyle yaptık. Ayrıca, 4 boyutlu Yang-Mills-Higgs teorisindeki bir sınıf tekil monopol kurulumlarını gerçekleştiren kesişen bran sistemlerini de çalıştık. Bran yapılanmalarını, çözümlerin moduli uzayının boş olmadığı şartlar üzerine olan varsayımımızı motive etmek için kullandık. Ayrıca, branların, (Moore vd., 2014a)’da türettiğimiz, boyutlara eksikliklerden gelen katkıları ve bunun ‘t Hooft yüklerinin Weyl yansımaları altında değişmez olduğunu içeren, boyut formülünün çeşitli yönleri için nasıl fiziksel önsezi sağladığını gösterdik. Bu sırada, düzgün manifold çıkartmanın bir tanımı ve ‘t Hooft eksikliklerinden doğan bir kabarcıklanmayı kapsayan, bran sistemleri için yeni bir dinamik olgu ortaya çıkardık ve örnekledik.

4.4 Araştırma aşamalarının proje önerisiyle karşılaştırılması

Bu kısımda proje önerisindeki araştırma aşamaları listesi inelecektir. Her başlıktan sonra, bu noktaların ne kadarının yukarıda anlatılan araştırma sonuçlarında karşılandığı ile ilgili italik karakterler ile bir yorum yazacağız ve bunu yüzdesel olarak (%...) şeklinde ifade edeceğiz.

1) Küçük yük durumunun yeniden türetilmesi: Yüksek lisans öğrencisine bu konuyu en ileri seviyede öğretmek ve metodlarımız ve denklemlerimizin iyi ayarlandığından emin olmak için, bazı iyi bilinen sonuçlar, yeni metodlarla bağımsız bir şekilde yeniden türetilecektir.

Yüksek lisans öğrencisi Zürbiye Çapku tezinde (bkz. Kısım 5.2) okluk kuantum mekaniğinin kuantum efektif potensiyelinin (Denef ve Moore, 2011) adiyabatik metodlar kullanılarak nasıl yeniden türetilebileceğini gösterdi. (%100)

2) SU(2) temsillerinin analizi: Bu bölümde bilinen sonuçlara SU(2) temsillerine ayırma yaparak katkıda bulunacağız. Bu daha sonra SU(2) etiketleme metodunu kontrol etmemize olanak sağlayacak.

İlk kez Yardımcı Doçent Dr. Van den Bleeken ve doktora sonrası araştırmacısı Dr. Messamah tarafından analiz edilen deniz yıldızı okluklarında, SU(2) Lefschetz eyleminin temsilleri tanımlandı ve çeşitli temsillerin eşenerjiliğini barındıran bir üretim fonksiyonu hesaplandı. Çalışmanın bu kısmı çok yakında yayınlanmak için sunulacaktır. (%100)

3) D4D0'ların ilk basit olmayan duruma genişletilmesi: Bu kısımda tek bir D4 branı ve beşinci dereceden Calabi-Yau içeren bir basit durum incelenecektir. Bu bilinmeyen bölgeye doğru atılan ilk adım olacaktır. Dört tane D0 branının olduğu durumlarda, D4D0 okluğu, D6D6D0 okluğu ve ayrık çekici akımı adıyla üç tane tanım ve kesin SU(2) temsilleri türetilecektir.

Bu problemin son derece basit olduğu ortaya çıktı ve 4. maddede tartışılan genelleştirmeyi hemen yapmayı başardık. Yani yukarıdaki problem, bu maddenin özel bir durumu olduğu ortaya çıktı (100%)

4) Keyfi D0 yüklerine genelleştirme: Dört tane D0 branının olduğu durum bir kez anlaşıldığında, aynı teknikler keyfi bir D0 branın olduğu durumları anlamak için kullanılabilmelidir. Bu aşamanın son ayında bir doktora sonrası araştırmacısı gruba katılacaktır. Araştırmanın bu kısmı, o ana kadar kullanılan içerikleri barındıracağı için ve böylece doktora sonrası araştırmacı projenin tüm ana kısımlarını öğrenebileceği için onun katılımı ideal bir zaman olacak.

Bu bölümdeki kritik kavrayış artan bir D0 yüküydü. Bu yük D6D6D0 okluğundaki abelyan olmayan düğümlerin sayısındaki kontrollü bir şekilde gerçekleşen bir artışa denk gelmektedir ve bu durum bir üçgen okluğu bir deniz yıldızı okluğuna genelleştirmektedir. Bu nedenle hesaplamalarımız bu okluğun Higgs dalının, matematiksel olarak Grassman manifoldlarının bir çarpımı içindeki tam bir kesişim manifoldu olarak açık bir şekilde tarif edilebileceğini göstermektedir. Bu nedenle projedeki araştırma zamanının büyük bir kısmı, fiziksel durumları açıklayan bu uzayların kohomolojilerini hesaplamak için ayrıldı. Tüm basit olmayan adımlar çalışıldı ve sonuçlar elde edildi. Çeşitli kontroller ve pedagojik yazım ise hala sürmektedir. Bu çalışmanın yakın bir zamanda yayınlanmak için sunulması beklenmektedir. (90%)

5) Bilinen sonuçların büyük yük limitinde kontrolleri: Keyfi bir D0 yükünde sonuçlar bulunduktan sonra, şimdi, sonuçları litaratürde bilinen, büyük yük limiti alınabilir. Bu tamamen genelleştirilmiş durumlara başlamadan önce yaptığımız işi kontrol etmemizi sağlayacaktır.

Büyük yük limitinde (Denef vd., 2012) kara delik durumlarının bir tasvirini sağlamıştır. Öte yandan bu tasvirin kütleçekimsel geri tepkileri çok iyi anlaşılamamıştı. Ama bu projede yapılan çalışmalar ile (Raeymaekers ve Van den Bleeken, 2014) ve (Raeymaekers ve Van den Bleeken, 2015) yayınlarında bu problem çözülmüştür. Küre üzerine indirgemenin nasıl yapılacağının iç yüzünü kavranması (Değer vd, 2014) yayınında incelenmiştir. Bu çalışma ayrıca büyük yük limitinin süper kütleçekimi bakış açısından detaylı bir şekilde anlaşılmasını sağlamıştır. Bunu okluk tasvirleriyle eşleştirmenin ise beklenildiğinden biraz daha zor olduğu ortaya çıkmıştır. Bu durum için analatik bir yaklaşım bulunamamıştır; fakat nümerik bir yaklaşım yapmak olasıdır. İleride analitik bir yaklaşımın bulunması ilginç bir durum olacaktır. (%90)

6) Higgs-Coulomb eşleştirmesinin hesaplanması: Saf Higgs durumlarının ve onların kütle çekimsel özelliklerinin anlaşılabilmesi için okluklardaki Higgs-Coulomb eşleştirmesini inceleyeceğiz.

Daha önceki tekniklerimizi, yeni deniz yıldızı okluklarına uygulamada başarılı olduk ve Higgs dalının içindeli saf Higgs durumlarını hesaplamayı ve ayırmayı başardık. Higgs-Coulomb eşleştirmesinin detaylı bir kontrolü yani Higgs dalında kalan durumların Coloumb dalıyla bire bir eşleştirmesi yapıldı. Bu durum saf Higgs durumlarının kara deliklerin kütleçekimsel tarifi olduklarına dair kanıtları ciddi olarak güçlendirdi. Bu sonuçlar şu anda hazırlanmakta olan çalışmanın bir kısmını oluşturmaktadır. (%100)

*7)***Keyfi bir D4 yüküne genelleştirme:** Şimdi en basit durumdaki bütün fizik çalışıldığına göre, genel duruma geçmeyi düşünmeye başlayabiliriz. İlk olarak keyfi bir D4 yükü düşünülecektir.

Bu madde ile ilgili açıklamalar 8. madde ile birlikte yapılacaktır.

8)Keyfi bir Calabi-Yau'ya genelleştirme: Tamamen genelliştirilmiş bir tanımlamaya doğru bir sonraki adım beşinci dereceden bir Calabi-Yau yerine Calabi-Yau üç katlısı düşünmek olacaktır.

Bu genelleştirmelerin ana zorluklarından birisi marjinal kararlılık duvarlarının çok daha karmaşık olduğu ve duvar geçişlerini anlamanın daha zorlayıcı olduğu gerçeğidir. (Moore vd, 2014a), (Moore vd, 2014a) and (Moore vd, 2016) çalışmalarında duvar geçişlerinin anlaşılması yönünde büyük bir ilerleme sağladık. Bu konuyla ilgili yeni fikrimiz, duvar

geçişlerini basit alan kuramsal durumlarda düşünmek ve probleme solitonik modül uzayların bakış açısında yaklaşmaktı. Tartışmalarımızı, Calabi-Yau kompaktifikasyonları üzerindeki D-branlarıve okluk kuantum mekaniği ile yakından ilgili olan N=2 süper simetrik ayar kuramlarındaki monopoller için özelleştirdik. Bu basit modelde çok büyük bir ilerleme katetmemize rağmen, aynı problemin okluk kuantum mekaniğinde tam olarak anlaşılması hala eksik kalmış durumdadır.(%90)

9) AdS/CFT yorumunun çalışılması: Bu bölüm, proje önerisindeki daha zor olan aşamalardan birisi olacaktır. Daha önceden bilinen Higgs-Coulomb eşleştirmesi ve AdS/CFT arasındaki ilişkinin sonuçları kullanılar, sonuçlarımızı AdS2/CFT1 cinsinden yorumlayacağız.

Bu hedefe yönelik ilk ilerlemeler (Raeymaekers ve Van den Bleeken, 2015) makalesinde, saf Higgs durumlarının kütle çekimsel eşleniği sayılan sarılmış M2-branlarının AdS3/CFT2 cinsinden yorumlanması oldu. Bunun AdS2/CFT1'de bir tanımlamaya indirgenebileceğinin ilk belirtileri, CFT2'nin sarılmış bir kiral CFT olarak tekrardan formülleştirilebileceğinin gözlenlemesiyle bulundu. (%90)

10) İstatistiksel Mekanik Analizin Yapılması: Son aşama her bir ayrı mikro durum için türetilen bilgilerin bir araya toplanması ve bunun kara delikleri temsil eden bir termodinamik topluluk kurmak için kullanılması olacaktır. Bu kara deliğin kütle çekimsel özelliklerinin türetilmesini sağlayacaktır ve kara delik ufkunun kökeni ile ilgili soruları cevaplayacaktır.

Deniz yıldızı oklukları tarafından tarif edildiği gibi mikro durumların termodinamiğini betimleyen şekilsel bir bölüşüm fonksiyonu hesaplandı. Bu yakın zamanda sunmayı planladığımız makalede yer alacaklardır. Bu hesaplar, teknik olarak bu mikro durumların bütün fiziksel özelliklerini içerseler de, bölüşüm fonksiyonunun çeşitli rejimlerde iyice anlaşılması ve açılımı ile analizinin matematiksel bir yolla yapılması eksik kaldı. (%70)

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu projenin sadece büyük bir başarı olarak nitelenebileceğini düşünüyoruz. Bu proje 7 tanesi yayınlanan, 1 tanesi yayınlanmak için sunulan ve 1 tanesi de sunulmaya hazırlanan 9 Uluslar arası makaleye öncülük etti. Bu çalışmalar toplamda 600 sayfanın üzerinde olup, halihazırda başka Uluslar arası makalelerden 42 atıf aldı (28 Eylül 2016 itibariyle INSPIRES veri tabanı, https://inspirehep.net/, dikkate alınmıştır).

Bunların yanında, bu projede Zürbiye Çapku'nun, yüksek enerji kuramsal fiziğinde, süpersimetrik okluk kuvantum mekaniği üzerine yoğunlaşmış yüksek lisans tezi de ortaya çıktı. Bu tez özellikle bu tür becerilerin nadir olduğu Türkiye için verimli bir çalışmaydı.

Bu projedeki çalışmaların çoğunluğu Uluslar arası koferanslarda ve davetli seminerlerde sunulmuştur.

Bu proje ayrıca Avrupa Bilim ve Teknoloji İşbirliği Hareketi (European COST Action) olan "Sicim kuramu evreni"ne (The String Theory Universe) dahildir. Proje yürütücüsü idari komitede Türkiye'yi temsil eden ilk üyedir.

(http://www.cost.eu/domains_actions/mpns/Actions/MP1210?management)

Tüm bunlar bu çalışmanın önemini ve projede yer alan araştırmacıların, Boğaziçi Üniversitesi'nin ve bir finansman kuruluşu olarak TUBİTAK'ın uluslararası bilimsel yetkinliği ve iddiasını ortaya koymaktadır.

Aşağıda yukarıda bahsedilen sonuçların bir listesini bulabilrsiniz.

5.1 Proje Kapsamında Yapılan Yayınlar

1) Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2014. "Brane bending and monopole moduli", Journal of High Energy Physics, 1410, 157.

2) Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2016. 'Semiclassical framed BPS states', Journal of High Energy Physics, 1607, 071.

3) Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. "L^2-Kernels Of Dirac-Type Operators On Monopole Moduli Spaces". ArXiv. http://arxiv.org/abs/hep-th/1512.08923

4) Deger N, Samtleben H, Sarioglu O, Van den Bleeken D. 2014 "A supersymmetric reduction on the three-sphere", Nuclear Physics B, 890, 350.

5) Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2014. "Parameter counting for singular monopoles on R3", Journal of High Energy Physics, 1410, 142.

6) Raeymaekers J, Van den Bleeken D. 2014. "Unlocking the Axion-Dilaton in 5D Supergravity", Journal of High Energy Physics, 1411, 029.

7) Raeymaekers J, Van den Bleeken D. 2015. “Microstate solutions from black hole deconstruction”, Journal of High Energy Physics, 1512, 095.

8) Van den Bleeken D, Yunus C. 2016, 'Newton-Cartan, Galileo-Maxwell and Kaluza-Klein', Classical and Quantum Gravity, 33, 137002.

5.2 Proje kapsamında yetiştirilen lisansüstü öğrencileri

1) Zurbiye Capku (Bogazici Universitesi, Fizik Bölümü)

Yuksek Lisans Mezuniyet Tarihi: 23.12.2014

Tez Başlığı: ASPECTS OF SUPERSYMMETRIC MECHANICS

Danışman: Yard. Doc. Dr. Dieter Van den Bleeken

5.3 Bu Proje Kapsamında Gerçekleştirilen Seminerler

“Nonrelativisitic, non-Newtonian Gravity”, D. Van den Bleeken, Quantum Aspects of Black Holes and its Recent Progress, Agustos 2016

1) “Nonrelativisitic, non-Newtonian Gravity”, D. Van den Bleeken, Recent Trends in String Theory and Related Topics, Tehran, Mayis 2016

2) “Nonrelativisitic, non-Newtonian Gravity”, D. Van den Bleeken, 15TH Workshop On Quantization, Dualities and Integrable Systems, Istanbul, Mayis 2016

3) "Sifting through black hole microstates", D. Van den Bleeken, University of Padova, Padova, Subat 2016

4) “Microstate solutions from black hole deconstruction”, D. Van den Bleeken, Mimar Sinan U. Istanbul, Ekim 2015

5) “Black holes under the microscope”, D. Van den Bleeken, Sabanci U., Istanbul, Nisan 2015

6) “Semiclassical framed BPS states”, D. Van den Bleeken, Conference on Recent Progress in Quantum Field Theory and String Theory, Yerevan, Eylul 2014

7) “From singular monopoles to framed BPS states”, D. Van den Bleeken, CERN theory seminar, Geneva, Kasim 2014

8) “From singular monopoles to framed BPS states”, D. Van den Bleeken, University of Leuven, Ekim 2014

9) “From singular monopoles to framed BPS states”, D. Van den Bleeken, University of Amsterdam, Ekim 2014

10) “Parameter counting for singular monopoles”, D. Van den Bleeken, Mimar Sinan U. Istanbul, Mayis 2014

11) “Parameter counting for singular monopoles”, D. Van den Bleeken, METU Ankara, Aralik 2013

KAYNAKÇA

Balasubramanian V., de Boer J., El-Showk S., Messamah I. 2008. “Black Holes as Effective Geometries”, Classical and Quantum Gravity, 25, 214004.

Balasubramanian V., Gimon E., Levi T. 2008. "Four Dimensional Black Hole Microstates: From D-branes to Spacetime Foam", Journal of High Energy Physics, 0801, 32.

Bellorin J, Meessen P, Ortin T. 2007. "All the supersymmetric solutions of N=1,d=5 ungauged supergravity", Journal of High Energy Physics, 0701, 020.

Bena I., Berkooz M., de Boer J., El-Showk S., Van den Bleeken D. 2012. "Scaling BPS Solutions and pure-Higgs States", Journal of High Energy Physics, 1211, 37.

Bena I., Bobev N., Ruef C., Warner N. 2010. "Entropy Enhancement and Black Hole Microstates", Physical Review Letters, 105, 231301.

Bena I, Warner N. 2006. "Bubbling supertubes and foaming black holes", Physical Review D, 74, 066001.

de Boer J., Denef F., El-Showk S., Messamah I., Van den Bleeken D. 2008. "Black hole bound states in AdS3xS2", Journal of High Energy Physics, 0811, 72.

de Boer J., El-Showk S., Messamah I., Van den Bleeken D. 2009. "Quantizing N=2 Multicenter Solutions", Journal of High Energy Physics, 0905, 49.

Deger N, Samtleben H, Sarioglu O, Van den Bleeken D. 2014 “A supersymmetric reduction on the three-sphere”, Nuclear Physics B, 890, 350.

Denef F. 2000. "Supergravity flows and D-brane stability", Journal of High Energy Physics, 0008, 41.

Denef F., Gaiotto D., Strominger A., Van den Bleeken D., Yin X. 2012. "Black Hole Deconstruction", Journal of High Energy Physics, 1203, 071.

Denef F, Moore G. 2011. "Split states, entropy enigmas, holes and halos", Journal of High Energy Physics, 1111, 129.

Douglas M, Moore G. "D-branes, quivers, and ALE instantons". ArXiv. http://arxiv.org/abs/hep-th/9603167 Son erişim tarihi: 26 Mart 1996.

Freedman D.Z., Van Proeyen A. 2012. Supergravity (1. Basım), Cambridge UK: Cambridge University Press.

Gaiotto D., Guica M., Huang L., Simons A., Strominger A.,Yin X. 2006. "D4-D0 branes on the quintic", Journal of High Energy Physics 0603, 019.

Gaiotto D, Moore G, Neitzke A. 2010. "Four-dimensional wall-crossing via three-dimensional field theory", Communications in Mathematical Physics, 299, 163-224.

Gaiotto D., Strominger A., Yin X. 2007. "The M5-Brane Elliptic Genus: Modularity and BPS States", Journal of High Energy Physics, 0708, 070.

Giusto S., Mathur S., Saxena A. 2004. "Dual geometries for a set of 3-charge microstates", Nuclear Physics B, 701, 357-379.

Lee S., Wang Z., Yi P. 2012. "Quiver Invariants from Intrinsic Higgs States", Journal of High Energy Physics, 1207, 23.

Lee S., Wang Z., Yi P. 2012. "BPS States, Refined Indices, and Quiver Invariants", Journal of High Energy Physics, 1210, 51.

Levi T., Raeymaekers J., Van den Bleeken D., Van Herck W., Vercnocke B. 2010. "Godel space from wrapped M2-branes", Journal of High Energy Physics, 1001, 082.

Maldacena J., Strominger A., Witten E. 1997. "Black hole entropy in M theory", Journal of High Energy Physics, 9712, 15.

Manschot J., Pioline B., Sen A. 2011. "A Fixed point formula for the index of multi-centered N=2 black holes", Journal of High Energy Physics, 1105, 62.

Manschot J., Pioline B., Sen A. 2011. "Wall Crossing from Boltzmann Black Hole Halos", Journal of High Energy Physics, 1107, 72.

Manschot J., Pioline B., Sen A. 2012. "From Black Holes to Quivers", Journal of High Energy Physics, 1211, 57.

Manschot J., Pioline B., Sen A. 2013. "On the Coulomb and Higgs branch formulae for multi-centered black holes and quiver invariants", Journal of High Energy Physics, 1305, 46.

Mathur S. 2005. "The Fuzzball proposal for black holes: An Elementary review", Fortsc. Phys., 53, 793-827.

Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2014. "Parameter counting for singular monopoles on R3", Journal of High Energy Physics, 1410, 142.

Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2014. "Brane bending and monopole moduli", Journal of High Energy Physics, 1410, 157.

Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. 2016. 'Semiclassical framed BPS states', Journal of High Energy Physics, 1607, 071.

Moore G, Royston A, Van den Bleeken D. "L^2-Kernels Of Dirac-Type Operators On Monopole Moduli Spaces". ArXiv. http://arxiv.org/abs/hep-th/1512.08923 Son erişim tarihi: 25 Subat 2016

Pioline B. 2013. "Corfu lectures on wall-crossing, multi-centered black holes, and quiver invariants", Proceedings of Science, 085, 19.

Raeymaekers J, Van den Bleeken D. 2014. "Unlocking the Axion-Dilaton in 5D Supergravity", Journal of High Energy Physics, 1411, 029.

Raeymaekers J, Van den Bleeken D. 2015. "Microstate solutions from black hole deconstruction", Journal of High Energy Physics, 1512, 095.

Reineke M. 2003. "The Harder-Narasimhan system in quantum groups and cohomology of quiver moduli", Inventiones Mathematicae, 152, 349-368.

Seiberg N., Witten E. 1994. "Electric - magnetic duality, monopole condensation, and confinement in N=2 supersymmetric Yang-Mills theory", Nuclear Physics B, 426, 19-52.

Strominger A., Vafa C. 1996. "Microscopic origin of the Bekenstein-Hawking entropy", Physics Letters B, 379, 99-104.

Vafa C. 1998. "Black holes and Calabi-Yau threefolds", Advances in Theoretical and Mathematical Physics, 2, 207-218

Van den Bleeken D, Yunus C. 2016, 'Newton-Cartan, Galileo-Maxwell and Kaluza-Klein', Classical and Quantum Gravity, 33, 137002.

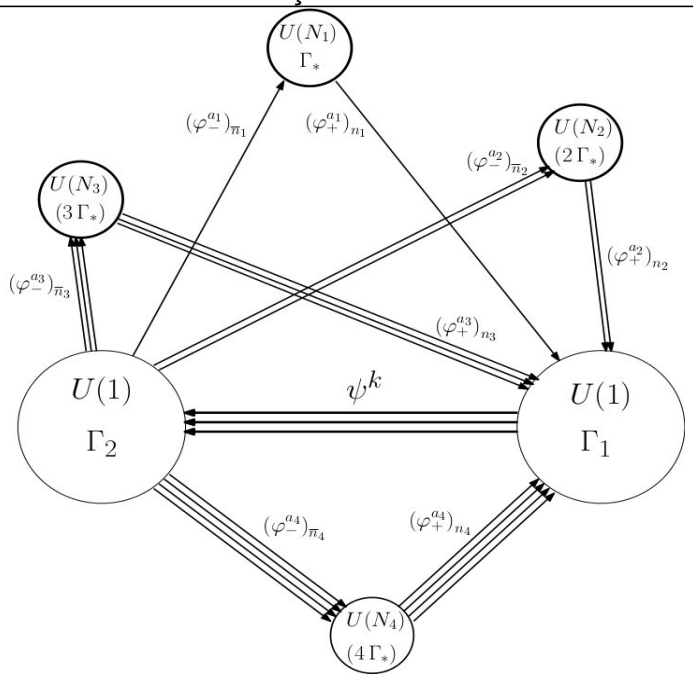
Weinberg E, Yi P. 2007. "Magnetic Monopole Dynamics, Supersymmetry, and Duality", Physics Reports, 438, 65-236.

Witten E. 1982. "Constraints on Supersymmetry Breaking", Nuclear Physics B, 202, 253.

Weinberg E. 1979. "Parameter Counting for Multi-Monopole Solutions", Physical Review, D20, 936-944.

TÜBİTAK

ARDEB BAŞARI ÖYKÜSÜ

Proje Adı D4D0 Kara Deliği Için Okluklar (Quiver), Ayrık Çekici Akışları Ve SU(2)-Etiketlemesi Kullanan Bir Kuantum Kütleçekimsel Model	**Proje Yürütücüsü** Yrd.Doç.Dr. Dieter Van den Bleeken
	**Proje No** 113F164 **Destek Miktarı (TL)** 161.000 **Proje Başlama-Bitiş Tarihi** 01/10/2013-30/09/2016 

Projenin Amacı ve Önemi

Kara delik termodinamiğinin mikrokopik olarak anlaşılması kuvantum kütle çekimi araştırmalarının bir nevi altın kasesi durumundadır. Bu projede D4D0 kara delikleri için mikroskopik bir istatistiksel mekanik model geliştirilmesi yönünde büyük bir ilerleme sağlandı. Sicim kuramı, kuvantum alan kuramı ve cebirsel geometri ve topoloji matematiğini kullanar şu ana sonuçları ürettik:

1) Ufuksuz olan ama D4D0 kara delikleriyle aynı yükleri taşıyan Yeni bir büyük süpersimetrik, asimptotik AdS3xS2 çözüm sınıfı.

2) D4D0 kara deliklerinin mikro durumlarının, uygun bir takım denizyıldızı okluk kuvantum mekaniğinin saf Higgs durumları tarafında tarif edilebileceği varsayımıyla ilgili yeni ve güçlü kanıtlar.

3) Yang-Mills teorisinin BPS durumlarının Hiperkahler monopol moduli uzayındaki Dirak operatörünün sıfır modlarıyla birlikte kesin bir tanımlanması yoluyla BPS durumlarının duvar geçişleri ile ilgili yeni kavrayışlar.

Proje ile Elde Edilen veya Beklenen Bilimsel, Teknolojik, Ekonomik ve Sosyal Kazanımlar

- Projeden uluslararası, etki faktörü yüksek dergilerde toplam 7 yayın yaptık:

- Classical and Quantum Gravity (1 yayın, 2015 etki faktörü: 2.837)

- Journal of High Energy Physics (5 yayın, 2015 etki faktörü: 6.023)

- Nuclear Physics B (1 yayın, 2015 etki faktörü: 3.735)

- Projemiz kapsamında bir yüksek lisans tezi tamamlandı.
- Bu proje, Türkiye'de emsali olmayan bir şekilde, mikroskopik kara deliklerin termodinamiği alanında dünya çapında bir ilerleme sağladı.

Proje için TÜBİTAK Desteğinin Önemi

TUBİTAK desteği bu projenin başarısı için hayati bir önem taşımaktaydı. Araştırmada ana rollerden birisi, doktora sonrası araştırmacı olarak yürütücünün süpervizyonu altında görev yapan Dr. Ilies Messamah'a aitti. Şu anda Türk vatandaşı olarak Dr Messamah'ın yeteneklerine ve bilgisine eş değer bir doktora sonrası araştırmacısı bulmak imkansızdır. Bu tip projeler için yabancı araştırmacılar gereklidir ve şu anda TUBİTAK bunun finansmanı için tek kaynak durumundadır.

1. Proje yürütücüsü iletişim bilgileri:

Adı – Soyadı : Dieter – Van den Bleeken
Unvanı : Yrd.Doç.Dr.
Telefon : +90 212 359 4468
E-posta adresi : dieter.van@boun.edu.tr