

문명이 발달하면서 전기, 자기를 이용한 도구들의 발전이 이어지고 이를 이용하여 미시세계가 존재함을 알게되었습니다.

특히, 거시세계는 무수히 많은 미시세계의 구조가 쌓여 모인 결과라고 이해하게 되었죠. 이러한 문제들을 다루는 물리학에 따르면 위의 질문들은 다시 정리하여 “미시세계가 어떤 기본단위로 구성되어 있을까?” “이들 기본단위는 어떤 기본힘의 법칙에 따라 운동하는가?” “미시세계는 어떤 상호작용으로 결합하여 더 커다란 구조물인 거시세계를 만드는가?”로 압축, 요약할 수 있겠습니다.

첫 번째 질문인 기본단위의 정체는 인류 고금의 역사를 통하여 가장 중요한 철학적 질문입니다. 이 질문에 답하고자 노력한 인류의 역사를 자세히 조사해보면, 만물의 기본단위에 대한 주장은 ‘그 당시의 과학기술로 관찰할 수 있었던 가장 작은 크기가 어느정도인가와 밀접하게 관련되어 있었음을 볼 수 있다. 현미경이 없었던 중세의 시절에는 먼지정도가 관찰할 수 있는 가장 작은 크기였겠죠. 지금도 기술적인 제한이 있음은 똑같습니다. 21세기의 찬란한 기술문명으로도, 나노입자의 1억분의 1 이하의 크기를 관찰하는 것이 불가능합니다.

두 번째와 세 번째 질문에 대해 현대물리학이 제시하는 답에 따르면, 미시세계에는 중력 (gravity), 전자기 힘 (electromagnetism), 강한힘 (strong interaction), 약한힘 (weak interaction) 네가지 기본힘이 작용하고 있습니다. 이중 중력과 전자기힘은 힘이 미치는 거리가 워낙 길어서 거시세계에서도 작용하는 힘들이지요. 강한힘과 약한힘은 원자핵의 크기인 백만분의 1 나노미터 혹은 더 짧은 거리에서만 나타나고 그 이상의 거리에서는 급격히 감소하여 없어집니다. 거시세계에는 중력과 전자기힘, 미시세계에는 이에 더불어 약한힘, 강한힘이 함께 작용한다고 보면 되겠습니다.

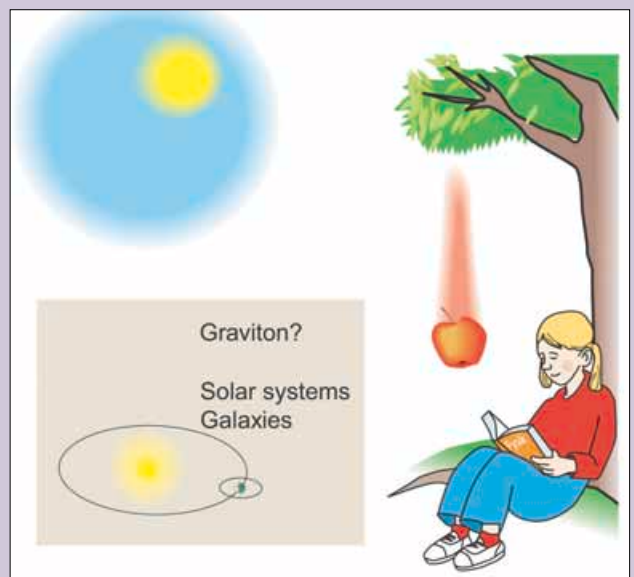
이들 힘이 물체들 사이에 작용하는 방법은 흥미롭습니다. 두 사람이 마주서서 농구공을 주고받으면 몸이 뒤로 쏠리는 힘을 느낄것입니다. 즉, 힘은 농구공이 두사람사이를 왔다갔다하면서 전달한 것이지요. 마찬가지로 각각의 기본힘에는 농구공과 유사한 ‘힘전달단위’가 존재합니다. 약한힘은 W, Z 입자들, 강한 힘은 부착입자(gluon), 전자기힘은 빛 혹은 광자(photon), 그리고 중력은 중력자(graviton)가 힘을 전달합니다. 이들중, 빛과 중력자는 질량이 없습니다. 기본단위와 힘전달단위, 이들

이 세상을 구성하는 기초단위이지요.

그런데 만물의 기본구성단위를 찾아 끊임없이 노력한 인간의 착상과정들을 살펴보면 재미있는 공통점을 발견할 수 있습니다. 매번 가장 기본이라고 여겨지는 구성단위를 발견할 때 마다 그 단위는 점과 같이 크기가 없는 것이라고 보았죠. 기술문명이 더욱 발전하여 보다 정밀한 관찰을 통하여 더욱 작은 기본단위가 있음이 밝혀질 때 마다 그 모양은 둥그런 ‘공모양’의 형태를 가지고 있고, 그 내부에는 다시 크기가 없는 점모양의 새로운 기본단위가 존재한다고 생각했던 것이지요. 왜 하필이면 기본단위는 항상 크기가 없는 점모양이라고 반복하여 가정해 왔을까요? 생각해보면 단지 가장 간단한 가학적 성질을 가진다는 것 이외에는 그리 특별한 이유가 있었던 것도 아닙니다.

중력-뉴턴에서 아인슈타인으로

미시세계에서 거시세계는 어떤 과정을 거쳐 만들어질까요? 미시세계의 쿼크와 전자로부터 시작해봅시다. 쿼크들은 3개씩 강한힘으로 뭉쳐 양성자, 중성자를 만들고 이들은 다시 강한힘과 약한힘의 복합작용으로 결합하여 다양한 종류의 원자핵들을 만듭니다. 또 원자핵들은 전자들과 전자기힘으로 결합하여 원소주기율표에서 찾아볼 수 있는 109가지 다양한 원자들을 구성합니다. 또 원자들은 모여 더욱 다양한 분자들, 분자들은 모여 거시세계의 삼라만상 물질들을 만들고 물질들은 모여 커다란 돌



덩어리를 만드는 과정들은 모두 전자기힘의 영향이지요. 돌덩어리들이 모여 달이나 지구 혹은 더 커다란 거시세계의 구조물을 만드는 과정에는 중력의 영향이 지배적이지요. 우주 진화 역시 중력의 상호작용 결과입니다.

거시세계의 가장 중요한 기본힘인 중력, 중력이란 과연 무엇 일까요? 방금 설명하였듯이 중력은 기본단위로부터 돌덩어리 정도까지 만드는 데에는 그렇게 중요하지 않습니다. 사실 그 이유는 중력이 네가지 기본힘중 가장 미약한 힘이기 때문이죠. 웬만 큼 덩치가 크지 않고서는 그리고 웬만큼 질량이 크지 않고서는 중력은 중요하지 않습니다. 보통 덩치가 큰 물체는 질량도 크기 때문에 중력에 의한 운동효과가 쉽게 나타나는 경우는 인간이 쉽게 관찰할 수 있는 거시세계(macro-world) - 예를 들자면 태풍, 바다, 지구, 달, 태양계, 은하, 우주 - 에서 중력의 영향은 절대적입니다. 또한 하늘에서 빗방울이 떨어지는 것이나, GPS 신호를 전송하는 인공위성이 지구 주변 궤도를 따라 운동하는 것, 태양같은 별들이 백만개 이상 모여 은하를 만드는 것 모두 중력의 작용때문이지요. 뉴턴(Isaac Newton)은 중력의 이러한 성질을 최초로 밝혀냈습니다. 그에 따르면, 중력이란 두 물체들의 사잇거리를 반으로 줄이면 세기가 꼭 4배 증가하며, 각 물체 질량값들의 곱에 비례하여 증가하는 잡아당기는 힘입니다. 특히, 물체를 구성하는 기본단위의 구성분포에는 전혀 관계없으며, 오직 질량값으로만 힘의 크기가 결정된다는 것을 바탕으로 중력을 만유인력, 즉 보편성을 가진 힘을 밝혀냈습니다. 중력의 또다른 특성은 항상 잡아당기는 힘만 있다는 것입니다. 전자기힘과 같이 밀치는 힘은 없죠. 뉴턴은 이와함께 모든 물체들은 외부에서 중력과 같은 힘을 받으면, 속도가 변화하는 운동을 일으킨다는 운동법칙을 밝혀냈습니다.

뉴턴의 만유인력법칙은 발견 이후 19세기 말까지 물리학의 가장 중요한 법칙으로 자리잡았습니다. 1905년 아인슈타인이 발표한 “특수상대론”(special relativity)은 시간과 공간이 독립적인 개념이 아니고 4차원 시공간 하나의 통합된 개념으로만 존재한다는 심오한 사실을 밝혀냈습니다. 이러한 개념을 확장하면서 아인슈타인은 물체의 속도가 계속 바뀌는 운동, 즉 가속도 운동을 이해하는데 심혈을 기울였습니다. 왜냐하면 뉴턴의 법칙에 따르면 물체의 가속도 운동은 어떤 힘이 작용하여 나타나는 현상이지만, 자신의 상대론에 따르면 단순히 물체는 가만히 있

고 대신 내가 계속 속도를 바꾸면서 움직이며 물체를 관찰하면 물체가 가속도 운동하는 것으로 느껴지게 됩니다.

어린이 놀이터에 빙글빙글 돌아가는 팽팽이를 타보면 누구나 금방 아인슈타인의 관점을 이해할 수 있습니다. 10여년간의 각고 끝에 아인슈타인은 이런 현상은 가속도운동 주변의 시공간이 평평한 것이 아니라 가속도의 크기에 따라 휘어진다는 사실을 발견하였습니다. 시공간의 형태가 고정된 것이 아니고 마구 바뀌며 바뀌는 정도가 바로 중력이라는 아인슈타인의 주장이 바로 “일반상대론”(general relativity)입니다.

구불어진 시공간에서 운동하는 물체는 볼링공처럼 직선으로 운동하지 못하고 시공간의 구불어진 모양에 따라 휘어진 궤적을 따라 움직입니다. 지구 주변을 빙글빙글 돌고있는 달이나 인공위성의 경로를 예로 들어보죠. 이제 일반상대론에 따르면 지구는 주변의 시공간을 구불어지게 만들고, 이 구불어진 시공간에서 달이나 인공위성이 최단경로를 따라 움직입니다. 이 최단경로는 시공간이 구불어져 있으므로 직선이 아니고 휘어진 경로이 겠죠. 시공간의 구불어짐 즉 평평한 상태에서 벗어난 정도는 물체의 질량이 클수록 따라서 커집니다.

아인슈타인의 상대론들에 따르면 새로운 현상을 예측할 수 있습니다. 뉴턴의 만유인력법칙에 따르면 질량을 가진 모든 것들은 중력의 영향을 받는다고 하였죠? 그런데, 기본단위중 빛과 중력자는 질량이 없다고 하였습니다. 그러면 빛은 중력의 영향을 받지 않나요? 아인슈타인은 그렇지 않음을 보였습니다. 그 이유는 너무나도 유명하여 티셔츠나 상표에도 자주 쓰이는 $E = Mc^2$ 라는 식으로부터 알 수 있습니다. 여기서 c 는 빛의 속도 (1초당 30만 킬로미터)인데, 에너지란 질량과 같음을 나타내고 있습니다. 따라서, 에너지를 가진 빛은 사실 에너지를 빛속도 제곱으로 나눈 값만큼 질량을 가지고 있다고 볼 수 있겠죠. 아인슈타인은 멀리서 지구로 오는 별빛이 태양 주변을 스치며 지나갈 때 태양의 중력 영향을 받아 휘어질 것이라고 예측하였으며, 이는 즉시 천문학자 애딩턴(Arthur S. Eddington)에 의하여 정확히 맞음이 검증되었습니다.

“아인슈타인은 틀렸다” - 양자세계와 일반상대론

거시세계의 중력을 설명하는 일반상대론의 가장 현저한 특성은 4차원 시공간의 구조가 질량 혹은 에너지의 존재로 인하여 마

구 휘어지고 요동한다는 사실입니다. 그렇다면, 미시세계에서의 중력은 어떨까요? 앞서 미시세계의 기본단위들은 주로 강한힘, 약한힘 그리고 전자기힘으로 말미암아 서로 뭉쳐 거시세계의 복잡한 구조를 만든다고 설명하였습니다. 이 설명을 그대로 받아들이면 중력은 미시세계에서는 전혀 중요한 역할을 하지 못하는 듯 보입니다. 상대성이론을 제창한 아인슈타인도 당연히 그렇게 믿었습니다. 그런데 아인슈타인이 조금 더 똑똑했다라면, 중력이 극히 작은 미시세계에서는 다시 중요해지리라는 것을 충분히 간파할 수 있었는데, 그렇지 못하였죠. 사실, 발견하였다 하더라도 아인슈타인은 일반상대론이 여러 문제점으로 틀린 이론이라는 것을 알고난 후 아마 무척 괴로워 했을 것입니다.

도대체 아인슈타인의 훌륭한 업적이라고 간주되는 일반상대론에 어떤 문제가 있다는 걸까요? 중력이 미시세계에서 고려되지 않는 이유는 사실 기본단위인 쿼크나 전자의 질량이 아주 작아서 이들끼리의 중력이 다른 3가지 힘보다 워낙 약하기 때문이죠. 그런데, 이들 기본단위가 빛속도에 가깝게 아주 빨리 움직이거나 사잇거리가 현재의 분해능보다 엄청나게 작은 영역을 고려하면 이야기는 달라집니다. 이론의 계산에 따르면 중력힘의 크기는 거리를 줄이면 중력은 사잇거리의 제곱에 반비례하여 급격히 커지지만, 다른 3가지 힘은 거리를 더 줄여보아도 힘의 세기가 별로 변하지 않습니다.

따라서 극미의 세계에서 점점 더 거리를 좁혀가면 언젠가는 중력이 다른 기본힘들보다 훨씬 더 강해져 가장 중요한 힘이 되겠죠. 얼마나 짧은 거리에서 이런 반전이 발생할까요? 계산에 따르면 양성자 크기의 100경분의 1 정도, 정말로 짧은 거리입니다. 그렇지만 에너지는 아주 높아 공식으로 환산하여 질량을 재어보면 약 100만분의 1 그램 정도입니다. 크기에 비하여 질량은 엄청 높다고 하겠죠. 이 에너지를 물리학자들은 “플랑크(Planck) 에너지”라고 부릅니다. 지금까지 논의를 정리해보면 미시세계와 거시세계를 통틀어 중력이 다른 힘보다 중요해지는 영역은 극미의 세계와 극대의 세계입니다.

극미의 세계를 지배하는 물리법칙은 모든 미시세계가 그렇듯이 양자법칙을 따라야 합니다. 양자현상이란 입자(particle)와 파동(wave)의 성질이 같아져 구별할 수 없음을 뜻합니다. 거시세계에서는 입자와 파동이 엄연히 구별되지만 미시세계에서는 동일하다는 것이지요. 이 두가지 특성을 연결시키는 물리상수



를 플랑크 양자상수라고 부릅니다. X선 촬영, 양전자 단층촬영기, 반도체, 도난방지 등 양자현상을 이용한 기술은 주변에서 많이 찾을 수 있습니다. 극미의 세계에서의 중력 역시 마찬가지로 양자법칙에 따라 설명할 수 있어야 하겠죠. 미시세계의 전자기힘을 설명하는 양자전기역학(quantum electrodynamics)이 완성된 1940년대 말 이후 물리학자들은 미시세계의 중력을 설명하는 양자중력(quantum gravity)의 이론을 찾자 심혈을 기울였습니다. 당연히 아인슈타인의 일반상대론에 양자법칙을 가미하여 먼저 시도하여 보았죠.

그 결과는 참담한 실패였어요. 전자기힘과는 달리, 중력의 경우, 일반상대론의 법칙들과 양자현상의 법칙들은 수학적으로 모순을 일으켜 서로 공존할 수 없음을 알게되었기 때문이지요. 그 이유는 사실 쉽게 이해할 수 있습니다. 시공간이 질량값에 따라 구부러지는 일반상대론의 법칙이 극미의 세계에도 적용된다고 가정하면, 짧은 거리로 갈수록 시공간의 요동은 점점 더 커집니다. 왜냐하면, 더 짧은 거리는 양자법칙인 불확정성원리(uncertainty principle)에 따르면 더 높은 에너지에 해당하고 $E = Mc^2$ 공식으로부터 더 무거운 질량에 해당하여, 시공간이 더욱 구부러지기 때문이죠. 더 짧은 거리에서는 더욱 높은 에너지, 더욱 무거운 질량에 해당하여 결국 거리를 0으로 보내면 무한대의 에너지, 무한대의 질량으로 시공간의 구부러짐이 무한대로 날뛰며 요동할 것입니다. 무한히 구부러진 시공간은 일반상대론에 사용되는 수학적 방법이 적용될 수 있는 영역을 벗어나는 시공간입니다.

극대의 세계에서는 훌륭히 잘 성립하는 아인슈타인의 일반상대론이 극미의 세계에서는 양자법칙과 정면배치되어 틀린 이론이라는 사실은 무엇인가 미시세계의 중력을 우리가 잘못 이해하

고 있음을 반증하는 것입니다. 그래서 1950년대 이후, 물리학의 가장 중요한 미해결문제중 하나는 옳은 양자중력이론이 무엇인지 찾는 문제였습니다. 이 문제는 너무나도 어려워, 아인슈타인은 양자법칙조차 부정하였으며, 무수히 많은 물리학자들이 도전해 보았으나 번번히 모두 참담한 실패만 남겼습니다.

“양자중력이론을 찾아라” - 끈이론의 출현

답보상태에 놓여있던 궁극적인 양자중력이론을 찾는 문제에 극적인 해결을 제시한 이론이 바로 ‘끈이론’(string theory)입니다. 다양한 원자핵들을 설명하기 위하여 처음 도입되었던 끈이론은 1974년 잠깐 유행한 양자중력이론으로 제안되었습니다. 그러나, 이 이론의 구조를 제대로 알고있지 못하였던 이유로 10여년을 더 기다려야 했습니다. 주요이론구조가 밝혀진 후 1984년에 극적으로 대두된 끈이론은 양자법칙과 미시세계의 중력을 모순없이 통합하였을 뿐 아니라, 부수효과로 미시세계의 나머지 세가지힘인 전자기힘, 약한힘 그리고 강한힘들을 중력과 함께 통합된 하나의 원리로 간결히 묶을 수 있음을 보여주었습니다. 정말 놀라운 결과이지요. 그래서 끈이론을 우주만물이론(Theory of Everything)이라고 부르기도 합니다. 도대체 끈이론이 무엇인데 이렇듯 중력의 문제점을 해결할 뿐 아니라, 네 가지 기본힘들을 통합할 수 있는걸까요?

끈이론의 출발점을 두가지로 압축한다면 다음과 같습니다. 첫째, 모든 자연의 기본단위는 0차원의 점이 아니라 고무밴드와 같이 1차원의 선이라는 것이죠. 물론 지금까지 밝혀진 쿼크나 전자등 미시세계의 기본단위는 이제 모두 끈으로부터 설명할 수 있어야겠죠. 이는 기타줄에 비유하여 보면 쉽게 이해할 수 있습니다. 기타줄은 연주자가 어떤 코드를 잡고 튕기느냐에 따라 여러 가지 다양한 음높이의 소리를 만듭니다. 음높이들을 하나하나 구별하기 위하여 ‘도레미파솔라시도’와 같이 계명을 이름으로 붙여놓았죠. ‘도’의 음높이는 기타줄이 특별한 모양으로 진동할 때 나는 소리이죠. 그래서 기타줄의 진동모양만 보아도 분명 ‘도’는 어떤 다른 음높이와 구별될 수 있습니다.

끈이론의 방법 역시 마찬가지입니다. 끈을 고리모양의 고무줄이라고 생각해 보세요. 기타줄과 마찬가지로 수많은 모양으로 진동하겠죠. 놀랍게도 각각 다른 진동은 전자, 쿼크, 빛, W, Z, 중력자 등과 질량이나 전기전하, 스핀(spin)등 여러 가지 물리적

특성들에 있어서 똑같음을 밝힐 수 있었습니다. 전자나 쿼크는 현재의 분해능 범위안에서는 점이며 크기가 없으므로 끈의 직경 역시 아주 작아야 하겠죠. 사실 직경은 엄청나게 작아서 약 10조 개의 끈을 연결한 것들을 다시 약 10조개 합쳐놓아야 머리카락 하나정도되는 굵기를 만들 수 있을 정도입니다. 양성자로는 천만개를 다시 천만번 쌓으면 같은 굵기가 되는 것에 비하면 초끈 직경이 얼마나 작은지 알 수 있겠죠.

끈의 크기는 끈의 직경 정도 입니다. 따라서 미시세계에서 기본단위를 점이 아니라 끈으로 취급하면 끈 사이의 거리를 직경보다 작게 만들 수 없겠죠. 바로 이런 특성 때문에 앞서 설명했던 양자중력의 문제 즉 에너지와 질량이 무한히 커지는 수학적 문제를 피할 수 있습니다. 중력의 세기는 기껏해보야 거리가 끈의 직경 정도에서의 값이고 따라서 유한하므로, 끈이 가지는 에너지와 질량 역시 항상 유한하다는 놀라운 결론에 도달합니다. 또한 끈이론의 이런 특성은 앞으로 미래에 기술문명이 발달하여 무한히 높은 해상도의 현미경장치를 만든다 하여도 끈의 직경이하의 거리에서 시공간의 구부러짐을 기껏해보아야 드문드문 보여줄 뿐임을 시사합니다. 끈이론이 가지는 또다른 놀라운 특성은 시공간의 차원이 10차원, 즉 9차원의 공간과 1차원의 시간으로 결정된다는 점입니다.

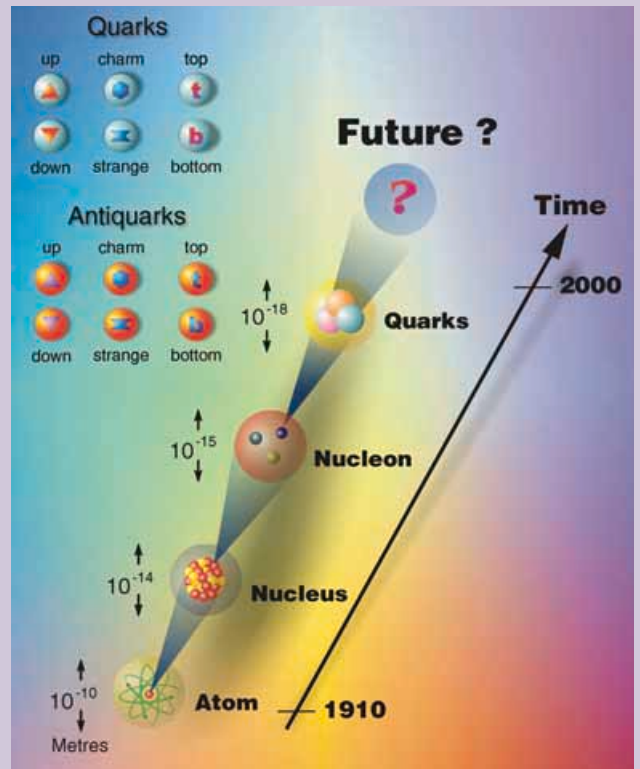
끈이론에 따르면 끈은 빛속도로 운동합니다. 이 운동을 조사해보면 고무밴드와 같이 닫힌끈에는 항상 스핀이 2이고 질량은 0인 특성을 가지는 진동상태가 존재함을 알 수 있습니다. 이는 다름아닌 중력힘의 전달단위 즉 ‘중력자’(graviton)가 가지는 특성이지요. 같은 방법으로 구두끈과 같은 열린끈에는 항상 스핀이 1이고 질량이 0인 특성을 가지는 진동상태가 존재함을 알 수 있습니다. 이들은 나머지 3가지 힘의 전달단위인 빛, 부착입자, W, Z 들이 가지는 특성입니다. 사실 열린끈과 닫힌끈은 별개의 것이 아닙니다. 닫힌끈들은 서로 만나 부딪히면서 결합과 분리를 반복합니다. 가장 간단한 과정은 끈의 한 지점이 잘라져 닫힌끈이 열린끈으로 바뀌는 과정이지요. 열린끈은 다시 두 끝점이 만나 결합하여 닫힌끈으로 바뀔 수 있습니다. 혹은 닫힌끈 두개가 한점에서 접촉하여 닫힌끈 하나로 바뀌는 과정도 있습니다. 이런 여러과정들이 바로 끈의 입장에서 기본상호작용이겠지요. 이제, 왜 끈이론이 우주만물의 법칙 (Theory of Everything)이라고 불리는지 이해할 수 있겠죠?

그런데 알쏭달쏭한 문제가 생겼습니다. 1985년에, 물리학자들은 끈이론은 모두 다섯 종류가 있음을 발견하였습니다. 끈이론의 특성을 개선하기 위하여 보즈(Bose)단위입자와 페르미(Fermi)단위입자들을 서로 맞바꾸는 대칭성을 부여하면 SO(32) 열린끈, IIA 및 IIB 형태의 닫힌끈이론들, SO(32) 및 E8xE8 복합끈(heterotic string)이론들이 가능하다는 것을 알게되었습니다. 각각의 끈이론은 모두 모순이 없는 완벽한 이론이며 이중 어떤 것이 다른 것보다 더 우수한 이론이라고 판가름할 근거는 전혀 없었습니다. 끈이론이 정말로 궁극적인 우주만물의 법칙(Theory of Everything)이라면 어떻게 하나로 결정되지않고 5가지 다른 법칙들이 가능하단 말입니까?

필자가 'S-양면성이 끈이론의 특성' 처음 제안

1990년대에 이르러 끈이론학자들은 5가지의 끈이론이 서로 다른 이론이 아니고 사실 모두 연결되어있음을 밝혀내게 되었습니다. 이 실마리의 시발점은 끈이론을 양자법칙에 따라 연구하기 시작하면서 제시되었는데, 필자가 세계최초로 S-양면성이 끈이론의 특성임을 제안하면서 시작되었습니다. S-양면성이란 끈의 상호작용이 약한 경우와 강한 경우가 같다는 기상천외한 특성입니다. 예를들면 약하게 상호작용하는 열린끈은 강하게 상호작용하는 복합끈과 같다는 것이지요. 이렇게 5가지 끈이론을 모두 통합한 것을 M-이론이라고 합니다. 놀랍게도 이렇게 통합과정이 이루어지려면, 끈의 양자효과를 나타내는 플랑크의 양자상수가 그냥 숫자가 아니라 새롭게 나타나는 1차원 공간의 범위로 표현된다는 발견입니다. 이 새로운 차원은 끈이 운동하는 10차원과 합쳐져 새로이 11차원의 시공간에서만 M-이론이 존재합니다.

시공간의 차원은 거시세계는 분명 4차원이며 미시세계 역시 쿼크, 전자의 범위까지 분명 4차원입니다. 그런데 극미의 세계에서 끈이론은 10차원의 시공간을 가지고 있습니다. 어떻게 10차원에서 4차원으로 줄일 수 있을까요? 끈이론학자들이 고안한 한가지 방법은 10차원중 6차원 공간의 크기를 엄청나게 작게 줄이는 것입니다. 당연히 쿼크나 전자보다 훨씬 작게 만들어야 하겠죠. 6차원 공간의 모양이나 비틀림에 따라 4차원의 물리현상이 바뀌므로, 아무렇게나 택할 것이 아니라, 아주 특별한 6차원 공간을 선택해야 합니다. 다행히 요구하는 조건들을 충족시키



는 6차원 공간의 종류는 수학자들에 의하여 분류되어 있어서 이런 방법을 통하여 4차원 시공간을 구성할 수 있겠습니까.

최근 끈이론학자들은 이와는 다른 방법으로 4차원 시공간을 구성하는 방법을 고안하였습니다. 거시세계의 중력이 4차원에서 작용한다는 근거는 사실 1밀리미터 이상의 거리에서만 실험으로 확인되었습니다. 거꾸로 말하면, 1밀리미터 이하의 거리에서는 시공간이 4차원이 아니라 다른 차원이어도 무방하다는 뜻이지요. 물론 중력을 제외한 나머지 3가지 힘은 극미의 세계까지 항상 4차원임이 실험으로 정밀하게 확인되었습니다. 놀랍게도 끈이론에서는, 이런 실험결과와 같이, 중력은 10차원에서 나머지 힘들은 4차원에서 작용하도록 만들 수 있습니다. 그 방법은 닫힌끈은 10차원에서 운동하도록 허용하되 열린끈의 두 끝은 10차원중 4차원에서만 움직이도록 끈이론을 바꾸는 것입니다. 앞서 밝혔듯이 닫힌끈은 중력을 전달하는 스핀2인 중력자를 포함하고 있으며, 4차원에 구속되어 운동하는 열린끈은 항상 스핀1인 힘전달입자들을 포함하고 있습니다.

따라서 이런 방법에 따르면 닫힌끈에서는 10차원 중력을 열린끈에서는 4차원의 강한힘, 약한힘, 전자기힘을 구현할 수 있

습니다. 이런 관점에서 보면 우리가 살고있는 4차원 우주는 사실은 10차원안에 놓여있는 구속면이라고 해석할 수 있겠습니다. 주변에서 관찰할 수 있는 모든 자연의 구조물들은 강한힘, 약한힘, 전자기힘들로 뭉친 것들입니다. 이에 비하여 중력은 4차원에만 국한된 것이 아니라 10차원에 퍼져있으며 힘이 미약하여 구조물들이 생성되는 과정 자체에는 특별히 영향을 미치지 못합니다. 따라서 전통적인 우주관과는 달리 끈이론으로부터 제시되는 새로운 우주관에 따르자면 우주는 10차원이지만, 인간은 4차원에 구속되어 살고있어서 중력이외의 모든힘은 3차원의 법칙으로 지배되고 오직 중력을 통해서만 10차원임을 감지할 수 있다고 보는 것이지요.

필자가 '4차원 속의 힘의 원리' 세계 최초 규명

새로운 우주관은 인간으로 하여금 자연에 대하여 다시 한번 경외감을 느끼도록 만듭니다. 우리 인간은 10차원안에 떠돌아다니는 4차원 시공간에 구속되어 살고 있는 미미한 존재에 불과하니까요.

10차원안의 중력과는 달리 나머지 3가지힘들은 모두 4차원에 구속되어 있다는 관점이 쉽게 이해되지 않을 것입니다. 이를 직관적으로 이해할 수 있는 방법을 필자가 세계최초로 규명하여 밝혔습니다. 전하를 띠는 두 물체는 전자기힘을 주고 받는다는 사실은 누구나 잘 알고 있습니다. 이들 사이의 힘은 쿨롱법칙에 따라 거리의 제곱에 반비례하고 각 전하들의 곱에 비례합니다. 끈이론의 입장에서 4차원 시공간에 구속된 전하는 열린끈의 끝부분에 해당합니다. 물론 끈은 4차원에 매달린 채 10차원 공간을 휘저어 진동하겠죠. 벽에 실을 매달고 이 실을 멀리서 잡아당기는 상황을 상상하면 되겠습니다.


이렇게 매달린 두개의 끈을 서로 일정거리 떨어뜨려놓고 두 끈을 팽팽하게 잡아당겨보죠. 한쪽 끈을 잡아당기는 강도를 바꾸면 다른 끈에 힘이 전달됩니다. 필자가 규명한 것은 바로 이 힘이 쿨롱의 법칙에 따르는 전자기힘과 동일하다는 사실입니다. 물론 같은 방법으로 강한힘, 약한힘의 경우에도 힘이 작용하는 원리를 직관적으로 설명할 수 있습니다. 놀랍게도 필자가 규명한 방법에 따르면, 이들 힘의 크기가 아주 강해지는 영역에서는 끈이론의 입장으로 힘의 크기를 찾아내는 것이 도리어 더 간단해집니다. 이는 1997년 이후 눈부시게 발전한 "상보성"에 따른

것인데요, 내용인 즉, 약한 상호작용을 가지는 중력이외의 기본힘은 강한 상호작용의 중력에 해당하고 반대로 강한 상호작용을 가지는 기본힘은 약한 상호작용의 중력에 해당한다는 것입니다.

"빅뱅" 이전은 무엇? - 21세기 물리학이 과제 풀것"

끈이론은 지난 20년동안 말그대로 충격적인 발전을 거듭하여 왔습니다. 전세계에서 가장 똑똑한 물리학자들이 이 이론의 구조에 매료되어 우주만물의 법칙을 완성하는데 동참하고 있습니다. 특히 내부모순으로 가득찬 아인슈타인의 일반상대론을 대체하는 끈이론의 특성은 앞으로도 계속 충격적인 발전을 거듭 우리에게 보여줄 것이라고 확신합니다. 이미, 끈이론의 발전으로 물리학은 물론 현대수학에도 심오한 영향을 끼쳐 새로운 방법론은 물론 새로운 분야들을 열어주었습니다. 그럼에도 아직 완벽하게 완성하여야 할 부분이 도처에 남아있습니다. 특히, 강한 상호작용 영역의 물리현상은 흥미로운 비밀들이 많이 숨어있는 부분입니다. 끈이론을 완벽하게 완성하는 순간, 인간은 역사 이래 꿈꾸어왔던 우주만물의 법칙(Theory of Everything)을 구현하게 되는 것입니다.

앞으로 남은 부분은 우주만물의 법칙(Theory of Everything)으로서 우주의 기원과 지금까지의 진화과정을 설명하는 작업입니다. 우주가 대폭발 이후 팽창을 거듭하여 137억년 이후 현재에 이르렀음은 잘 알려져 있습니다. 그러나, 우주의 나이 - 1초 이전의 역사는 아직 완벽하게 밝혀진 바 없습니다. 특히 우주탄생의 비밀 - 도대체 우주가 어떻게 생겨났는지, 우주가 태어나기 이전은 무엇이였는지 - 은 앞으로 21세기의 물리학이 풀어야할 가장 중요한 숙제입니다. 중력파를 검출하려는 거대한 망원경을 현재 건설중이며, 이는 초기우주의 끈들이 만들어낸 특이한 우주의 신호를 탐색하는 가장 적합한 실험을 제공할 것입니다.

아인슈타인의 상대론을 뛰어넘는 끈이론, 오직 밝은 장래만이 앞에 놓여있습니다. 



글쓴이는 서울대 사범대학 물리교육과 졸, 미국 CALTECH 석사 및 박사, 미국 산타바바라 이론물리연구소 연구원, 예일대학교 및 프린스턴대학교 연구교수, 프린스턴고등연구소 정회원 역임, Institute of Physics 펠로우, J.J. Sakurai 상, 미국에너지청 SSC 펠로우쉽, 2001 ICTP 상, 서울대자연대연구상, 2004 홀보트재단 베셀상 수상.