

노벨물리학상 수상자들과 공동연구, 그리고 에피소드

‘쿼크’와 ‘만물의 법칙’ (Quark) (Theory of Everything)

원자내부 미시세계와 우주바깥 거시세계의 기원을 밝혀내는 놀라운 노력의 결과로 지금까지 60여명의 고에너지물리학자에게 전체 노벨물리학상의 약 1/3이 수여되었다. 올해도 어김없이 노벨물리학상은 이 분야를 지목하여 폴리처(David H. Politzer), 그로스(David J. Gross), 윌첵(Frank Wilczek)에게 수여되었다. 수상자들은 모두 필자와 공동연구를 했었고, 개인적으로 잘 알고 지내는 학자들이다. 이들의 업적을 에피소드와 함께 소개하고자 한다.

글_ 이수종 서울대 교수 sjrey@phya.snu.ac.kr

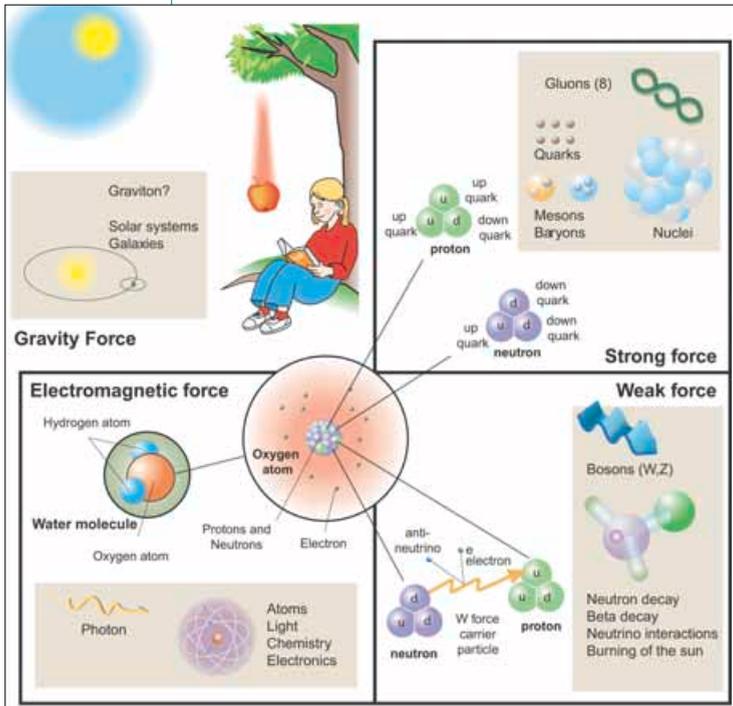
“세상은 무엇으로 만들어졌을까?” 인류가 항상 궁금하게 여기고 있는 가장 본질적인 질문이지요. 물리학이란 그 해답을 알아내려는 지적 호기심의 활동입니다. 즉, 세상만물을 구성하는 ‘최소단위’를 찾아내고 이들이 ‘기본힘’들로 서로 뭉쳐 복잡하게 얽

혀 지구, 은하, 우주와 같은 거시세계를 형성하는 과정을 이해하는 것이랍니다. 그런데 ‘최소단위’란 개념은 물질속 미시세계를 얼마나 정밀하게 볼 수 있느냐에 달려있습니다. 거대분자, 분자, 원자, 양성자와 중성자, 전자 등등 얼마나 더 작게 쪼갤 수 있을까요? 성능 좋은 현미경으로는 기껏해야 세포에서 분자구조까지만 볼 수 있어요.

미시세계 최소단위 밝혀내면 ‘태초의 우주’ 이해

원자의 내부를 보려면 직경이 수킬로미터에서 수십킬로미터에 이르는 거대한 입자가속기가 필요하며, 그래도 현재의 기술수준으로는 기껏 나노세계의 100만분의 1 크기까지만 관찰가능합니다. 몇 년후에는 LHC라는 고에너지 가속기를 이용하여 나노세계의 1억분의 1만큼 작은 크기를 관찰하는 것이 가능할 거예요. 흥미롭게도 미시세계의 ‘최소단위’를 밝혀낸다면, 이로부터 태초에 대폭발로부터 출발한 우주가 미시세계와 비슷한 크기였던 유아기를 이해할 수 있습니다.

‘최소단위’가 서로 밀고 당기는 ‘기본힘’에는 어떤 것이 있을까? 중력은 무거운 물체가 땅에 떨어지게 만들며 행성운동과 우주의 탄생, 진화를 일으키는 힘이지요. 거시세계에서는 물체가 무거워 중력이 큰 힘으로





작용합니다. 그렇지만 전자나 양성자 정도 크기의 미시세계에서는 중력은 너무나도 미약합니다. 대신, 미시세계에서는 세가지 다른 힘이 보다 중요한 기본힘으로 작용하는데 이들은 ‘전자기힘’, ‘약한힘’, ‘강한힘’입니다. 이들 기본힘을 설명하는 물리법칙의 기본원리는 상대성원리와 양자법칙이며, ‘최소단위’ 사이를 ‘힘전달입자’가 오가며 기본힘을 발생시킵니다. ‘최소단위’ 들은 ‘힘전달입자’와 함께 기본힘으로 뭉쳐 원자를 만들고 원자는 모여 분자를 만들며 분자는 쌓여서 생명체와 같은 복잡한 구조에서부터 우주전체까지 모두 만들어내는 놀라운 복잡다양성을 보여줍니다.

세상은 ‘최소단위’와 ‘힘전달 입자’의 복합체

전자기힘은 주변에서 흔히 볼수 있는 전기, 자석 그리고 마찰현상 등을 설명합니다. 먼거리까지 힘이 작용한다는 면에서 중력과 현상이 비슷한데, 그 이유는 전자기힘의 힘전달입자인 ‘빛’이 중력의 힘전달입자인 ‘중력입자’와 마찬가지로 질량이 없기 때문입니다. 미시세계의 전자기힘은 양자전기역학(QED, quantum electrodynamics)으로 설명되며 천만분의 일 오차범위에서 정확한 이론임이 많은 실험을 통하여 입증됐습니다. 일본의 도모나가 미국의 슈빙거와 파인만이 이 이론을 제창한 업적으로 1965년 노벨물리학상을 수상하였죠.

사실 이렇게 정확히 계산할 수 있는 이유는 전자나 양성자가 원자내에서 느끼는 전자기힘이 아주 미약하기 때문입니다. 만일 전자나 쿼크를 보다 가까운 거리로 접근시키면 진공의 양자현상으로 말미암아 점점 더 커지게 돼요. 예를들어 이들 거리가 양성자크기의 약 백분의 일만큼 더 가까워지면 전자기힘은 7%정도 커 집니다. 거리와 전자기힘의 크기가 서로 반비례하는 것은 우연한 것이 아니고 중요한 이유가 숨어있죠. 전하를 띤 물질들이 양자법칙에 따라 운동하려면 힘의 크기가 거리에 반비례해야만 한다는 사실입니다. 켈만과 로우는 1953년에 양자전기역학의 이러한 사실을 엄밀하게 증명하였죠. 힘과 거리가 반비례하는 기울기를

베타함수라고 부르며, 따라서 양자전기역학의 베타함수는 양수값을 가집니다.

태양이 쬐어주는 빛은 지구의 생명체에게 없어서는 안될 에너지를 제공하여 줍니다. 그러면 태양의 에너지는 어떻게 만들어질까요? 이 에너지는 핵반응을 통해 만들어지는데, 이 반응은 ‘강한힘’과 ‘약한힘’의 상호보완적인 방법에 의하여 이루어 집니다.

약한힘은 W와 Z라는 힘전달입자들이 나타내는 힘입니다. 전자기힘이나 중력과와 차이는 이들 입자들은 양성자보다 100배 정도 무거운데, 그 때문에 힘이 작용하는 거리 역시 짧습니다. 약한힘은 쿼크와 전자 모두에 작용하며, 핵분열은 대표적인 현상입니다. 이런 차이에도 불구하고 전자기힘과 약한힘은 사실 한가지 힘이라는 놀라운 사실이 밝혀졌습니다. 1960~70년대에 완벽하게 이해된 이 힘을 ‘약전자기힘’이라고 부르는데, 이 이론을 완성시킨 공로로 1979년 글래쇼우, 살람, 와인버그에게, 1999년 터프트, 벨트만에게 노벨물리학상을 수상하였습니다.

故 이휘소 박사는 ‘약전자기힘’ 이론완성

불의의 사고로 타계하신 고 이휘소 박사는 이 이론의 완성에 가장 중요하게 기여한 학자이며, 생존하셨더라면 당연히 노벨상을 공동수상하셨을 분입니다. 프린스턴대학교 물리학과 3층 복도에는 유명한 이론물리학자들 10여명의 사진이 걸려있는데 그 한가운데에 이휘소 박사가 위치하고 있는 것만 보아도 알 수 있습니다. 켈만은 양성자와 중성자는 기본입자가 아니고 ‘쿼크’들이 모여 만든 복합체라는 놀라운 이론을 발표하여 1969년 노벨상을 수상하였습니다. 그의 이론에 따르면 이들 ‘쿼크’를 꺼내 하나씩 관찰하는 것은 불가능합니다. 이들은 항상 단단하게 구속되어있고, 다만 3개의 ‘쿼크’가 모여 양성자나 중성자를 형성하면 비로소 자유롭게 움직이죠. ‘쿼크’가 전기전하 -1/3 혹은 +2/3를 가지는 것은 이런 성질과 잘 부합하지만 왜 이렇게 분수값을 가지는지 아직 모릅니다.

‘쿼크’는 전하 이외에 불연속값만 가지는 다른 전하

를 띠는데, 특성이 빛의 삼원색 개념과 비슷하여서 ‘색깔전하’라고 부르죠. 즉, ‘쿼크’는 빨강, 파랑 그리고 초록 세가지 종류가 있습니다. 빛의 삼원색을 섞으면 색깔이 없어지죠? 마찬가지로 세가지 색깔전하의 ‘쿼크’를 조합하여 색깔전하가 없는 양성자나 중성자를 만들면 이들은 힘을 받지않고 자유롭게 움직인다는 사실은 이미 알려졌었죠. 색깔전하를 띠고 있는 쿼크들 사이의 힘이 바로 ‘강한힘’입니다. 마치 전기중성의 분자들이 편극현상으로 화학결합을 이루듯 원자핵속 양성자, 중성자 사이의 강한힘은 이들 사이에 색깔전하를 바꾸는 ‘힘전달입자’를 교환함으로써 작용해요. 이 교환된 입자를 ‘접합입자’라고 부릅니다. 광자와 달리 ‘접합입자’는 색깔전하를 띠고 있으며, 이런 특성때문에 강한힘이 전자기힘과 아주 다른 특성을 가집니다.

쿼크의 성질을 밝혀내기 시작한 1960년대에 ‘쿼크’들을 구속하는 ‘강한힘’을 설명하는 기본이론은 ‘전자기힘’이나 ‘약한힘’과는 달리 말그대로 힘이 강하여 정밀한 계산이 불가능하다고 여겼습니다. 예를들면 두 양성자 사이의 힘은 ‘쿼크’ 2개로 구성된 ‘파이’라는 입자가 전달되어 나타나죠. 문제는 이 힘이 꽤커서 구체적으로 힘의 효과를 계산하는 것은 어려워요.

만일 두 양성자 사이의 거리를 좁혀 에너지를 높이면 어떻게요? ‘전자기힘’의 경우 거리를 좁혀 에너지를 높이면 힘의 세기는 더 커진다고 하지 않았습니까? 같은 이유로 양성자 사이의 ‘강한힘’은 더욱 커져 이론 계산이 불가능해져요. 1970년대 초, 독일의 시만직은 이런 문제점을 해결할 유일한 해결책은 강한힘을 설명하는 기본이론이 특별하여 다른힘들과는 달리 거리가 짧아지면 힘이 약해지는, 즉 베타함수가 음수값이어야 한다는 결론에 도달하였습니다. 이 경우, 양성자내부의 ‘쿼크’에 높은 에너지를 부여하면 강한힘을 거의 받지 않아 자유입자처럼 행동하겠지요. 실제로 그런 특성은 1960년대 말 스탠포드대학교의 선형가속기에서 양성자에 높은 에너지의 전자를 충돌시킨 결과 이미 관찰된 현상입니다. 그러나, 시만직 자신은 도대체 어떤 이론이 그런 특성을 가지는지 발견하지 못하였으

며, 물리학자들은 수없는 노력에도 불구하고, 1972년 여름 네델란드의 터프트와 이태리의 파리시가 그런 이론에 거의 근접한 것 이외에는 어떤 기본이론도 찾을 수 없어 낙담하고 있었답니다. 왜냐하면, 그 당시 알려진 모든 기본이론은 베타함수가 양수값이어서 예외없이 짧은 거리에서는 힘이 강해지기 때문이었죠.

수상자들, 1973년에 ‘색깔전하’ 이론 첫 발표

1973년 초여름, 역사를 바꾸는 연구결과가 올해 노벨상 수상자들로부터 발표되었습니다. 그로스과 윌첵, 그리고 폴리처는 거리가 짧아짐에따라 힘의 크기가 줄어드는 특성을 가진 이론이 딱 하나있는데 이를 발견하였다고 발표하였죠. 더군다나 이 이론은 바로 ‘색깔전하’에 따라 힘이 결정되는 이론이었어요.

그렇다면 이 이론을 찾는 것이 왜 그리 힘들었을까요? 앞서 색깔전하의 힘은 힘전달입자인 ‘접합입자’ 자신이 ‘색깔전하’를 띠고 있어서, 전자기힘과는 달리 복잡한 양상을 보인다는 것이죠. 어쨌든, ‘접합입자’의 이런 특이성때문에 ‘쿼크’ 사이의 강한힘은 거리가 짧아져 에너지가 증가하면 세기가 점점 더 작아지고, 아주 짧은 거리에서는 결국 자유롭게 행동할겁니다.

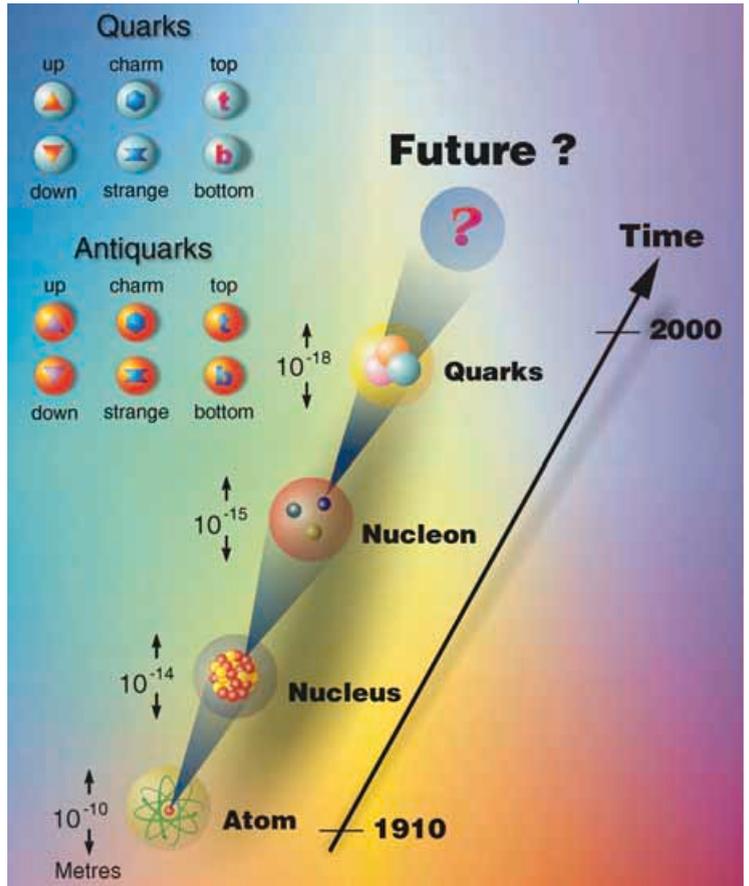
처음으로 1960년대 말 스탠포드 선형가속기의 실험 결과를 설명할 수 있게 된겁니다. 이런 특성, 즉 베타함수가 음수값인 특성을 ‘점근자유성’이라고 부릅니다. 더욱 놀라운 것은 이 이론이 ‘쿼크’가 양성자, 중성자 안에만 구속되어야 한다는 겔만의 주장도 설명한다는 점이죠. 왜냐하면 점근자유성에 따르면 거꾸로 색깔전하를 띤 ‘쿼크’끼리 거리를 점점 늘려 에너지를 낮추면 색깔힘이 무한히 강해져 서로 떼내는 것이 불가능하기 때문이죠. 유일하게 떼낼 수 있는 경우는 색깔전하들이 합쳐져 백색인 경우만 가능하고 바로 이것이 양성자나 중성자에 해당하죠! 이렇게 완성된 이론을 양자색깔역학(QCD, Quantum ChromoDynamics)이라고 부르며, 지금까지 30년동안 무수한 실험을 통하여 검증하여 본 결과 이 이론이 맞는 기본이론임이 확실하게 밝혀졌습니다.



대학원 시절 폴리처와 '인플레이션 우주론' 공동연구

폴리처는 세계 가장 인상적인 학자였습니다. 대학원 생 시절 폴리처와 두번 공동연구를 수행하였어요. 당시 우리는 인플레이션 우주론에 관심있었는데, 두번 다 제 아이디어로 시작하였죠. 폴리처에게 제 아이디어를 칠판에 적어가며 열심히 설명하였어요. 이미 훌륭한 업적의 학자임을 잘 아는 저로서는 강의나 일상적인 토론은 많이 하였지만, 공동연구를 시작한 것은 처음이어서 상당히 기대하며 설명했어요. 그런데 그의 반응은 기대이하였습니다. 1분이 멀다하고, "미안하지만 다시 설명해달라", 아니면 "맞는 것 같긴한데, 아직 이해가 잘 안된다" 하면서 말이죠. 전 속으로 '천재라고 하더니 별거아니네' 라고 느꼈지만 일단 성실하게 모두 설명하였답니다. 몇 시간후 그가 일어서면서 "아이디어는 맞는 것 같으니 돌아가서 다시 생각해보겠다"라고 말을 남겼지만, 저는 실망감과 함께 사실 별로 기대하지 않았답니다.

그런데, 며칠후 제 연구실로 갑자기 그가 들어닥쳤어요. 늘상 그러듯이 문밖에서 머리만 뺨뚱이 들이밀고, "수종아, 네 아이디어에 대해 다시 한번 토론할 수 있을까"라고 말하면서요. 이번에는 폴리처가 칠판에 써가며 설명하기 시작하였죠. 여유롭게 듣고있던 저는, 그의 설명이 점점 저의 원래 아이디어에서 벗어나는 듯 느꼈답니다. 그래서 "데이빗, 지금 무얼 말하려 하는거죠?"라고 묻자, 그가 어리둥절해 하면서 "수종아, 이게 지난번 나에게 설명한 네 아이디어 아니니?"라고 되묻는게 아니겠어요? 아! 그는 저의 아이디어를 며칠 동안 차근차근 따져보면서, 제가 미처 생각하지 못하였던 깊은 부분까지 세밀하게 간파하고 있었던 겁니다. 이해속도는 느리지만 일단 집중하면 그 어느 누구보다도 완벽하게 이해하는 그의 탁월한 능력을 저는 일상적 만남에서는 미처 느끼지 못하고 있었답니다. 대학원생인 내게 그가 행동으로 가르쳐준 지론은 "어떤 연구결과든 사람들에게 직관적으로 설명할 수 없다면 완전하게 이해하지 못한 것이다"이며, 이런 점에서 후일 저의 연구태도에 깊은 영향을 끼친 학자랍니다.



양자색갈역학이 '강한힘'의 기본법칙으로 자리잡을 수 있었던 것은 점근자유성이 의미하는 3가지 특성 때문입니다. 첫째, 점근자유성에 따라 '쿼크' 들은 짧은거리에서 거의 자유입자로 행동하며, 스탠포드 선형가속기에서의 실험결과와 정확하게 일치하는 점이죠. 둘째, 점근자유성에 따라 짧은 거리에서 쿼크들 사이의 강한힘을 전자기힘이나 약한힘과 같이 정밀하게 계산할 수 있는 방법을 제시하였어요. 셋째, 점근자유성을 뒤집어 생각하면 '쿼크' 사이거리가 멀어질 때 힘은 엄청나게 커지겠죠. 그래서 양성자나 중성자 내부의 '쿼크구속현상'을 확인할 수 있었습니다. 이 세가지 특성은 지난 30년간 수많은 실험을 통하여 정밀하게 검증되었고, 이로써 전자기힘, 약한힘에 이어 미시세계의 세 번째 힘인 '강한힘' 까지 모두 기본이론이 정립되었습니다.



월척과 점심 잊은채 칠판 앞에서 수많은 토론

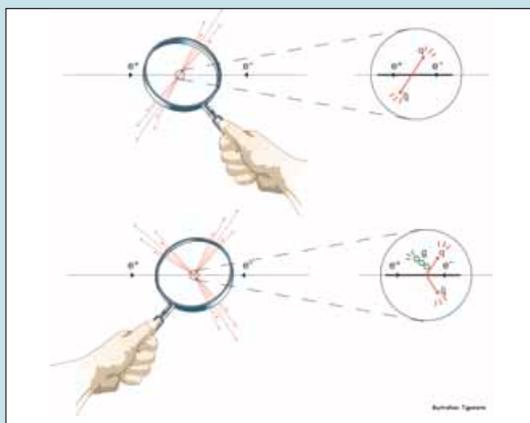
양자색깔역학의 점근자유성, 즉 베타함수가 음수값임을 보이는 계산은 1973년 당시 아주 복잡한 계산이었습니다. 월척은 당시 그로스의 대학원생이었는데, 후일 저에게 이 계산을 마치는데 밤낮없이 꼬박 2주일

이 걸렸다고 회고했어요. 요즘은 계산방법이 개선되어 이제는 대학원과목 속제로 나오는 단골문제이죠. 월척은 제가 연구원으로 산타바바라 이론물리연구소에 부임할 당시 그곳 교수였습니다.

항상 새 아이디어를 만들어내며, 신날때마다 목젓 넘어가는 꼴꼴웃음 때문에 주변사람들을 다시 한번 웃게 만드는 그런 신명나는 학자랍니다. 그가 매일 만들어내는 아이디어들은 대부분 쓰레기통으로 들어가는 것들이었습니다. 그래서 대학원생들이나 저와 같은 연구원들은 그가 커피잔을 들고 꼴꼴거리며 다가와 아이디어들을 흥분하며 설명할 때마다 곤혹스러워, 빨리 그가 모순을 발견하고 흥분을 가라앉히기를 바라며 몸을 비틀곤 하였어요.

물론 항상 틀린 것은 아니었고, 자주 날카로운 예지가 번뜩이는 것을 직감적으로 느낄 수 있었으며, 같이 점심시간도 잊은 채 칠판 앞에서 여러시간을 보낸 적이 셀 수 없었습니다. 월척은 제게 토론을 통하여 많은

폴리처 vs 그로스-월척 경쟁은 +일까 -일까



폴리처와 공동연구논문을 마친 어느날 저녁, 우리는 자축하기위해 칼텍근처 '늑대'라는 이름의 동네 햄버거집에서 모였습니다. 이런 저런 이야기끝에 폴리처는

'점근자유성'을 발견할 당시의 비화를 우리에게 솔직하게 말해주었습니다. 개인적인 이야기이지만 좀처럼 듣기 힘든 재미있는 내용이라 옮겨볼까 합니다.

1972년, 폴리처는 하버드대학교 물리학과와 콜만교수는 대학원생이었던 폴리처에게 그해 여름 시간직이 결론내린 '베타함수가 음수값인 이론'이 혹시 양자색깔역학인지 알아보라고 제안하였습니다. 폴리처는 대학원에서 이미 전자기힘의 기본이론인 양자전기역학을 충분히 섭렵한 터라 이 문제가 비슷한 유형의 간단한 문제라고 생각하며 시작하였습니다. 전자기힘의 경우, 베타함수는 겔만과 로우가 1953년 계산한 것과 같이 양수값이므로 양자색깔역학의 경우도 마찬가지라고 예상하였습니다.

그런데 몇 달동안 이리 계산 해보고 저리 계산을 해보아



것을 일깨워준 학자입니다. 제가 산타바바라 재직중 발표한 2가지 주요연구에는 월척과의 무수한 토론이 아주 중요했어요. 제 연구성과는 이후 90년대 중반 끈 이론을 통합하는 M-이론을 발견하는 결정적 근거를 제공하였으며, 2001년 유네스코 ICTP상과 2004년 흠볼트재단 베셀상의 영예를 안겨주었죠.

아마도 '강한힘'의 '점근자유성'이 내포하는 가장 놀랄만한 효과는 미시세계 기본힘들을 한가지 원리로 통합하여 설명할 수 있는 가능성입니다. 앞서 설명하였듯이 기본힘들은 거리가 바뀔때 따라 크기도 바뀌는 특성을 가집니다. 이 특성을 '전자기힘', '약한힘' 그리고 '강한힘'의 경우 비교해보면, 세 힘의 크기가 대략 일치하는 특별한 거리가 있음을 알 수 있습니다.

만일 정확히 일치한다면 이는 그동안 물리학의 영원인 '대통일이론'의 존재를 암시하겠지요. 그런데, 표준 모형의 경우 완벽하게 일치하지는 않으며, 따라서 '대통일이론'의 염원을 이루려면 몇가지 이론적인 보완작

업이 필요합니다. 보다 심각한 문제는 이정도 거리에서 '중력'이 결코 작지 않다는 사실입니다. 양성자, 중성자 크기의 거리에서는 앞서 설명한대로 무시할만큼 작습니다. 그러나, '대통일'이 이루어지는 미시세계에서는 중력이 결코 다른 세가지 힘에 비하여 작지 않으며, 따라서 중력을 포함한 모든 네가지 힘의 대통일이 이루어져야만 합니다. 이제, 미시세계에서 마지막 남은 기본힘은 '중력'입니다. 대폭발 직후, 태초의 우주를 지배하는 가장 중요한 힘 역시 '중력'이었습니다. 흔히 '중력'은 미시세계에서 중요하지 않다고 말합니다. 그런데 이는 틀린 이야기예요. 미시세계에서 '중력'은 '전자기힘'과 비슷하게 양자현상 때문에 거리가 짧아질수록 급격히 강해지는 특성을 보이기 때문이죠.

거시세계에서 '중력'은 아인슈타인의 일반상대론으로 설명됩니다. 이 이론을 양자효과가 중요한 미시세계로 확장하려는 노력은 1950년대말 이후 끊임없이 시도되었는데, 실망스럽게도 이 경우 아인슈타인 이론은

도 이상하게 베타함수가 항상 음수값으로 나왔습니다. 왜 그런 결과가 나오는지 정말 오리무중이었답니다. 이미 전자기힘의 경우, 베타함수가 양수값이 되어야하는 이유는 물질들이 항상 보존된다는 기본적인 물리법칙으로부터 나오는 특성임이 잘 알려져 있느니라 당연히 이런 이유가 양자색깔역학에도 적용되리라고 가정했죠. 그는 벌써 대학원 4학년인데, 이런 '기초적인 문제'도 제대로 계산하지 못한다는 생각에 폴리처는 이만저만 낙담이 아니었습니다. 지도교수를 만나기는 더군다나 주저스러웠습니다. 콜만교수의 성격에, 분명 "기초에 문제가 있다"고 야단을 칠게 뻔하니깐요. 시간은 흘러 1973년 4월이 되었답니다. 5월초부터 콜만교수는 방향중 연구자 세계 여러 연구소들을 돌아다니기 시작하겠죠. 이를 잘 알고있는 폴리처는 방학이 시작되기 전에 지도교수에게 현재 연구진척상황을 알리는게 좋겠다고 생각해 콜만교수 연구실 방문을 두드렸습니다.

문을 열고 들어간 폴리처에게 콜만교수는 대뜸 물어봤습

니다. "그래, 결과가 무엇인가?" 폴리처는 겨우 대답하기 시작했습니다. "네, 계산을 해보았는데, 이상하게 자꾸만 베타함수가 음수값으로 나오..." 말이 끝나기도 전에 콜만교수의 불호령이 날아들었습니다. "뭐라구? 음수값이야? 자넨, 도대체 기초도 없나? 그걸 결과라고 들고와서 보고하나? 썩 나가!"

예상은 했지만, 이만저만 낙담이 아니었겠죠. 그래서 그 날로 폴리처는 기숙사에서 짐을 챙겨서 부모님이 사시는 미시간주 산골로 되돌아갔답니다. 연구를 계속할 의욕도 나지 않아서 날마다 형과 함께 근처 호수에 가서 낚시를 하며 상념에 잠겼답니다. '이젠, 물리학자가 되기는커녕, 박사학위도 받기가 틀린 것 같아. 대학원을 그만두면 뭘 해야 하나' 장래에 대한 걱정으로 하루하루를 보내고 있었답니다. 이주일 정도 지난 어느날 오후 늦게, 폴리처는 콜만교수로부터 다급한 장거리 전화를 받았습니다. "데이빗, 내일 잘 들어. 자네 계산이 모두 맞다네. 당장 논문을 오늘저녁에

어떤 계산도 할 수 없는 모순덩어리임이 밝혀졌어요. 답보상태에 놓인 이 문제에 극적인 해결을 제시한 이론이 바로 ‘끈이론’ 이랍니다. 1984년 극적으로 대두된 끈이론은 양자법칙과 중력을 모순없이 통합하였을 뿐 아니라, 미시세계의 세가지힘인 ‘전자기힘’, ‘약한힘’ 그리고 ‘강한힘’ 을 ‘중력’ 과 함께 하나의 간결한 원리로 묶을 수 있음을 제시하였습니다. 지난 20년간 ‘끈이론’ 은 엄청난 발전을 거듭하여 이제는 미시세계를 이해하는 가장 중요한 기본도구로 자리잡았습니다. 그래서 그로스는 미시세계의 네가지 기본힘을 모두 통합하는 놀라운 특성을 가진 끈이론이 바로 물리학의 궁극적 목표인 ‘만물의 법칙’ 이라고 강조하여 왔습니다.

그로스와는 ‘쿼크작용힘과 끈이론’ 공동연구중

그로스는 가치 이론물리학계의 선도자입니다. 지난 40년 동안 깊은 통찰력으로 미시세계의 기본구조와 상호작용의 가장 중요한 현안들을 해결하여 왔으며, 특히

끈이론의 연구에 심혈을 기울여, ‘만물의 법칙’ 으로 완성시키는 까다로운 작업을 풀어가는데 앞장서 왔죠. 저 역시 학회나 방문 연구를 통하여 그를 만날 때 마다 항상 연구방향과 방법에 대한 값진 조언을 받았어요. 특히 제가 지난 몇 년간 발표한 끈이론과 쿼크의 상호관계에 대한 연구에 관심이 많아, 그로스와 저는 최근 양자색갈역학에서 쿼크작용힘을 끈이론 결과를 이용하여 규명하는 공동연구를 착수하여 현재 진행중입니다.

그로스의 노벨상 수상에 얽힌 재미있는 에피소드가 있습니다. 2000년 10월 초 제가 연구발표차 미서부를 방문중이었는데, 산타바바라에 도착한 첫날 깜짝 놀랐답니다. 연구소 주변이 기자, 방송차량들로 꽂차 있었기 때문이었죠. 곧 산타바바라대학교에서 노벨 물리학상(크레머)과 화학상(히거)을 수상하였음을 알게 되었어요. 저를 초청한 그로스는 기자회견을 지휘하느라 분주하게 움직이고 있었어요.

그는 점심시간쯤 되어서야 겨우 빠져나올 수 있었는

작성해서 속달로 학술지로 보내게. 이게 자네 인생을 바꾸어 놓을테니 명심하고 일초도 지체하지 말어. 찰칵”. 폴리처는 무슨 영문인지 몰랐답니다. 여하튼 연구노트를 다시 펼쳐 계산한 결과를 밤새 정리하여 다음날 아침 일찍 동네 우체국에 가서 속달등기로 논문을 송부하였답니다.

도대체 콜만교수한테 무슨 일이 있었을까? 폴리처가 나중에 콜만교수로부터 들은 자초지종은 다음과 같았습니다. 방향이 시작되자 콜만교수는 보스턴에서 뉴욕을 거쳐 프린스턴대학교를 방문하였습니다. 그곳에서 전에 하버드대학 연구원이었던 그로스박사를 만나 의례적으로 최근 연구근황에 대해 서로 토론을 시작하였더랍니다. 그로스 역시 시만직의 최근제안에 흥미를 느껴 베타함수가 음수값이 되는 기본이론을 찾기 시작하였고 공교롭게도 ‘양자색갈역학’ 을 지목하여 연구하고 있었습니다.

그로스는 이미 유명한 그의 깊은 직관으로 이 이론이야말로 베타함수가 음수값이어야함을 계산해보지도 않고 알

고 있었습니다. “제 직관은 이래요. ‘접합입자’ 는 특이하게 색깔전하를 가지지 않습니까? 따라서, 양자전기역학의 결과를 이 이론에 적용하는 것은 타당하지 않을겁니다. 특히 베타함수가 음수값이 나오는 것도 가능하지요.” 여기서 콜만교수는 무릎을 탁 쳤습니다. ‘아! 바로 이거구나. 내가 간과하고 있었던 것이. 폴리처 계산이 맞은거야!’

그로스는 계속 이어갔습니다. “그래서 내 지도학생인 월첵과 함께 베타함수를 계산했는데요, 이상하게 계속 예측과는 다르게 양수값이 나오네요. 하여간, 이 문제와 지금 씨름하고 있습니다.” 그로스가 말을 마치자 콜만교수가 천천히 입을 떼었습니다. “데이빗, 사실은 폴리처라는 내 대학원생이 하나 있는데, 지난 1년간 바로 그 문제를 연구하고 있었네. 폴리처 계산에 의하면 베타함수가 음수값인데, 자네와 학생의 계산을 다시 한번 검토해보는게 어떨겠나?” 이 말에 그로스의 눈이 번쩍 띄었습니다. ‘혹시 우리가 계산 실수를 한 것은 아닐까?’ 혈레벌떡, 그로스는 대학원생



데, 같이 제 세미나 발표장으로 향하며 “데이비드, 오늘같이 바쁜 날이 내년이면 당신에게서 일어날거라고 믿는데”라고 농담반 진담반으로 말을 건넸죠. 그는 빙그레 미소를 지으며 “그런데, 화학분야는 아니고!”라고 대답하여 같이 파안대소하였습니다. 히거교수가 물리학자인데, 흥미롭게도 노벨화학상을 받은 것을 빗대어 한 말이었죠. 물론 노벨상을 받으리라는 확신은 가득 찬채로 말이죠. 다음달 공동연구를 진척시키려 다시 방문하는데, 그의 일상이 어떻게 변해 있을지 자못 궁금합니다.

스웨덴 한림원 “다음 노벨물리학상은 끈이론” 암시

올해 노벨물리학상 수상요지의 마지막 부분에서 스웨덴 한림원은 흥미롭게도 “강한힘의 이론정립이 ‘만물의 법칙’에 한발 다가서는 계기를 마련하였다”라고 극찬하였습니다. 노벨위원회에서 다음 노벨상 후보업적으로 ‘끈이론’을 주시하고 있다는 뜻입니다. 현재

‘끈이론’ 자체는 엄청나게 발전하였지만, 이를 뒷받침할 실험기술의 발전이 워낙 더디어서 제대로 정밀한 검증을 받지 못하고 있어요. 이런 어려움을 돕기 위하여 저를 포함한 끈이론학자들은 현재 다양한 발상의 전환을 통하여, ‘끈이론’을 발휘할 수 있는 새로운 실험들을 고안하고 있습니다. 가장 각광받고 있는 제안은 태초 우주의 탄생 및 진화과정에서 끈이론이 예측하는 특별한 효과들을 우주정밀관측을 통하여 찾는 것이죠. 특히, 향후 10여년간 수많은 우주탐사계획을 통하여 이러한 노력이 결실을 가져오리라 확신합니다. 이를 통하여 마치 20세기 초반과 같이 21세기의 새로운 물리학의 법칙이 끈이론으로부터 태동되리라는 행복한 예감을 떨어버릴 수 없답니다.



글쓴이는 서울대학교 물리교육과를 졸업 후, 미국 캘리포니아공과대학에서 박사학위를 받았다. 미국 산타바바라 이론물리연구소 연구원, 에일대학교 및 프린스턴대학교 연구조교수, 미국 프린스턴 고등연구소 정회원을 역임했고, 유네스코 ICTP상(2001), 훔볼트재단 베셀상(2004), 서울대 자연대학 연구생(2002) 등을 수상했다.

인 월책을 불러 계산노트를 검토하기 시작하였습니다. 아니나 다를까, 월책이 계산을 맡은 한 부분의 수식 부호가 틀린 것을 발견할 수 있었습니다.

그로스는 월책에게 강경하게 말하였습니다. “지금부터 이 계산을 마칠때까지 우리에게 밥먹을 시간도, 잠잘 시간도 없네. 돌아가서 모든 수단을 동원하여 가장 빠른시간안에 베타함수를 다시 계산하게” 월책은 그야말로 지옥과 천당을 오가는 시간을 보냈다고 합니다. 연구실에 처박혀 무수히 많은 종이장위에 계산하기를 2주일 지나서야, 비로소 올바른 결과를 얻었다고 합니다. 이들 역시 논문을 등기속달로 학술지에 보냈고, 두 논문은 동시에 편집국에 도착하여 ‘물리학 리뷰 레터’지에 나란히 게재되었습니다. 결국, 폴리처의 올바른 계산과 그로스, 월책의 올바른 직관이 서로 학문적 시너지효과를 발휘하여 양자색갈역학이 강한힘의 기본법칙으로 탄생하게 된 것이죠.

사실, 양자색갈역학의 베타함수가 음수값임은 1년전 유럽

의 여름학회에서 언급된 적이 있었습니다. 이 학회에서 시만직은 베타함수가 음수값을 가지는 이론을 찾아내는 것이 강한힘을 이해하는 중요한 관건이라고 강의를 하였습니다. 강의를 마치자마자, 청중 중에서 네델란드의 터프트와 이태리의 파리시가 손을 번쩍들며 일어나 각자 “양자색갈역학의 베타함수를 계산해보았는데 음수값이 나왔습니다”라고 언급하였습니다.

두사람 모두 무명의 대학원생들이었죠. 그러나, 양자색갈역학에 대하여 관심이 없었던 시만직은 별다른 반응을 보이지 않았고, 이들 역시 그 후 자신들이 주장한 계산결과를 논문으로 발표하지도 않았죠. 과연 폴리처, 그로스, 월책은 이 두사람의 언급에 영향을 받아 계산을 시작하였을까요? 당시의 상황이 잘 기록되어있는 그 학회논문집을 살펴보면 터프트와 파리시의 언급은 주목받지 못한 채 즉시 파묻혀 버렸고, 아마도 미국까지 전해지지 않았을 것이라는 학계의 해석이 설득력이 있어 보입니다. ④