

우리생활을 바꿀 대발명 ⑧

아인슈타인
理論의
完成

존. H. 슈와르츠
〈캘리포니아어工大 교수〉

알버트 아인슈타인은 1920년대에 중력에 관한 혁명적인 새 이론을 제창했다.

지구가 중력으로 태양에게 끌려가는 것은 태양의 질량이 우주의 時空구조를 부분적으로 휘게 만들었기 때문이라는 것이다.

우리는 지금 다시 중력의 이론을 수정해야 할 필요에 직면하고 있다. 이번의 수정은 중력을 양자역학(소립자를 다루는 물리학)과 결합시키려는 시도이다. 이것은 자연계의 힘을 오직 하나의 이론으로 통일하려는 통일장이론의 일환을 이루고 아인슈타인의 일반상대성이론과 마찬가지로 기본적으로는 기하학이다.

“초대칭 끈 이론”이라고 불리는 이 새로운 이론에서는 우주는 공간적으로는 9차원이라고 생각하고 있다. 우리의 공간이 3차원이 아니라 9차원이라는 것은 흡사 공상과학소설같이 들릴지는 모르나 양자 초대칭 끈 이론에서는 완전히 가능한 것이다. 9차원은 실재하는 차원인 것이다.

물리학자들은 실제로 이 이론에 따라 종래의 편의적 이론에서 생기는 모순에서 벗어날 수 있다. 특히 몇가지의 기본문제에 대해서는 근거가 없는 가정을 몇씩이나 설정하지 않아도 된다. 그리고 또 여기서 전개되는 새로운 전망 때문에 초대칭 끈 이론은 현대물리학의 최고의 두뇌들의 관심을 사로잡았던 것이다.

물리학의 목표는 물질의 작용을 제어하는 가장 근본적인 법칙을 밝히는 일이다. 그래서 사용되어 왔고 또 현재까지 많은 실적을 올린 것이 소립자가속기이다. 생물학에서의 현미경과 마찬가지로 가속기는 우리를 작디 작은 원자핵보다도 더 작은 세계로 인도해 갔다. 한편 이론가는 이론가대로 종이와 연필만을 사용하고 때로는 컴퓨터를 사용하여 이론발전에 노력해 왔다.

이 결과 밝혀진 사실은 자연계에는 헤아릴 수 없이 많은, 더 이상은 분해할 수 없는 소립자라고 생각되는 입자가 있다는 것이었다. 이 소립자중의 한 그룹은 양자역학에 따르면 ‘게이지 입자’라고 불리며 소립자끼리간에 힘을 전달하는 역할을 갖고 있다. 이렇게 소립자와 힘은 서로 깊은 관계를 갖고 있기 때문에 소립자를 이해하는 일은 힘

을 이해하는 일이며, 힘을 이해하는 일은 소립자를 이해하는 일이 된다.

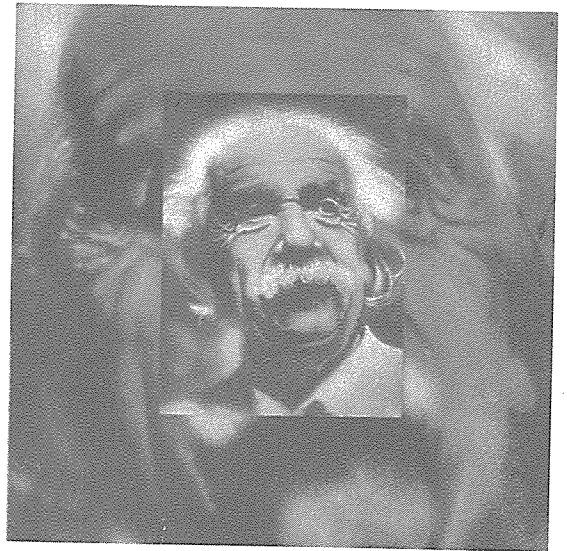
중력과 전자기력은 일상적인 실험에서 가장 분명한 힘이다. 그러나 이보다 우리에게서 더 서떡서떡한 힘이 있는데, 그것은 강한 핵력과 약한 핵력이다. 그리고 이런 힘은 각각 특수한 게이지입자로 전달된다. 예컨대 태양이 지구를 쬐 때는 광자라는 전자기의 게이지입자가 에너지를 나르고, 지구가 달을 끌어 당길 때는 달과 지구가 중력의 게이지입자인 중력자를 교환하고 있다고 생각하는 것이다.

이렇게 볼때, 아인슈타인의 일반상대성이론은 중력자라는 소립자에 관한 이론이라고 할 수 있다. 그러나 이 이론을 양자역학에 적용하여 계산하면 엄청나게 큰 “무한대”의 해답이 나온다. 수학자가 말하는 “발산”의 벽에 부딪치는 것이다.

따라서 뉴턴과 아인슈타인의 중력이론만이 양자역학과 마지막까지 저항해 왔다. 그리고 그 상층의 원인은 양자역학에 의한 장의 이론의 기본적인 전제에 있었다. 곧 양자역학에서는 중력자를 포함한 모든 소립자가 차원을 갖지 않는 “점”으로 설명되고 있는데, 이것이 문제이었다.

1974년 프랑스의 물리학자 고 요에르 샤크와나는 소립자는 점이 아니라 1차원의 끈(스트링)이라는 이론을 발표했다. 이 끈에는 부피가 없고 길이만 있다. 상황에 따라 다르기는 하지만 대표적인 길이는 “프랑크의 길이”(10의 마이너스 33승 센티미터)이다. 이 이론은 초대칭 끈이론이라고 불리는데, 이 이론으로 물리학자들은 종래의 연구에서는 불가능했던 몇가지의 불합리에서 해방되었다. 예컨대 초대칭 끈 이론의 계산으로는 중력을 부가해도 답은 무한대로 되지 않는다.

초대칭 끈 이론을 사용하여 중력과 양자역학의 통합을 이룩하려면 우주의 기하학구조를 뿌리부터 뒤집을 필요가 있다. 종래의 3차원외에 6개의 차원을 보태서 9차원으로 해야 하는 것이다. 이 6개의 차원은 너무나 작아서 우리의 관측에는 걸리지 않는다. 본래 9차원은 서로 동등했으나 우주가 태어난 뒤 짧은 시간내에 그중에서 3개만이 확장하고 나머지의 6차원은 오그라들어 작은 구



▲알버트 아인슈타인

가 된 것이 아닌가 생각되고 있다. 이 6차원의 소구는 현재 시공연속체의 온갖 점에 존재하고 있다.

끈에는 2가지의 종류가 있다. 양쪽 끝이 열린 “열려진 끈”과 연속곡선 또는 동그라미의 모양을 한 “닫혀진 끈”이 있다. 가장 단순하고 전망이 있는 이론에서는 닫혀진 끈만 다루는데, 이 끈은 몇가지의 재미 있는 행동을 한다.

첫째, 진동하여 그 진동하는 방법에 따라 끈이 전자도 되고 양자도 된다. 끈 존재하는 것은 오직 1종류의 소립자(끈) 뿐이지만 진동의 차이로 여러가지 소립자로 변화하는 것이다.

둘째, 끈은 2개가 연결되어 하나가 되기도 하고 하나가 갈라져서 2개로 되기도 한다. 이 결합·분리의 상호작용에 따라 자연계의 유일한 기본적인 힘이 태어난다. 이 유일한 힘으로부터 중력, 전자기력, 핵력 등의 힘이 나오게 된다.

〈초대칭성에서 태어나는 2종류의 입자〉

초대칭 끈 이론에서 중요한 사실은 대칭성이라는 개념이다. 이 생각은 1971년 피에르 라몽, 앙드레 누바 그리고 내가 발표한 이론에서 처음으로 등장했다. 같은 시기에 소련의 물리학자 유 A

콜판드와 E. A. 리히트만도 3차원공간에서의 점 입자에 관해 독자적으로 이 개념을 도입했다. 주리어스 웨스, 부루노 주미노, 세르지오 페라라, 대니엘 프리드만, 피터 폰 뉴본회이젠 등 그밖의 많은 물리학자들도 이 개념을 전개하는데 중요한 역할을 했다.

상대성이라는 것은 물리학자들에게는 가장 사용하기 쉬운 도구의 하나이다. 수학적으로는 일련의 방정식의 요소를 서로 바꿔 넣어도 그 식이 나타나는 특성이 변화하지 않으면 이것은 대칭성을 갖는다고 한다. 예컨대 구는 방사상층(대칭)이다. 그 이유는 구의 표면이 갖는 특성을 이 구를 회전시켜도 변화하지 않기 때문이다. 이런 대칭성의 개념을 중요하게 생각하는 것은 언뜻 보기에는 전혀 다른 것처럼 보이는 것 사이에서 중요한 유사성을 지적할 수 있기 때문이다.

예컨대, 우리가 보는 자석의 자력은 어떤 방향성을 갖고 있다. 그러나 방정식에서는 자기력은 모든 방향에 대해 평등하다. 곧 대칭적인 것이다. 이렇게 관측한 현상이 때로는 대칭성의 법칙을 벗어나도 본래는 대칭적이며 실제로는 놀라울 정도의 유사성을 품고 있는 경우가 있다. 예컨대, 9개의 공간차원은 모두 수학적으로는 동등하여 대칭이지만 우리가 관측하는 세계에서는 3개의 차원만이 다른 6개보다는 두드러지게 크게 보인다고 생각되기 때문이다. 같은 경우를 힘에서도 볼 수 있다. 매우 높은 에너지나 온도하에서는 모든 힘은 같은 세기를 갖고 있으나 현재의 상황에서는 각각 다른 세기를 보이고 있다고 생각할 수 있는 것이다.

초대칭성이라는 것은 크게 나누어 2종류의 소립자가 서로 수학적으로 대체할 수 있는 대칭성을 말한다. 이 2종류의 소립자란 페르미온과 보손이다. 곧 페르미온과 보손은 동일한 입자의 다른 2개의 상태라고 생각된다. 페르미온에 속하는 것은 쿼크나 렙톤(예컨대 전자는 렙톤이지만 양자는 3개의 쿼크로 되어 있다), 보손에는 게이지 입자가 포함되어 있으나 이것은 페르미온과 스핀(양자역학적 특성의 하나)이 다르다.

초상대성에 따르면 페르미온과 보손은 서로 파

트너(대체가능)의 관계에 있다. 그렇다면 어떤 페르미온과 어떤 보손이 짝이 되는 것일까? 언뜻 보기에는 게이지입자가 쿼크나 렙톤의 파트너처럼 생각되나 실제로 조합해 보면 잘 맞아 들어가지 않는다. 그래서 각 파트너로서 새로운 입자의 존재를 가정해 본다.

예컨대, 게이지입자의 파트너가 되는 페르미온을 생각하고 게이지노라는 총칭을 준다. 포톤(광자)의 게이지노는 포토노가 되는 것이다. 또 쿼크나 렙톤의 파트너로서는 스퀴크나 슬렙톤을 생각한다. 전자(일렉톤)의 파트너는 셀렉트론이라고 불리는데, 다행이도 나는 이 슬렉게이지(슬렙 + 렙게이지)의 명명자는 아니다. 또 그라비톤(중력자)의 파트너가 그라비티노이며 이것은 중력을 운반하는 게이지 입자이다.

〈그림자의 물질〉

현재 이 초대칭성입자를 발견하는 실험을 정력적으로 계속하고 있으나 이론물리 학자들은 이론적으로 이미 실용단계로 들어갔다. 예컨대, 중력자에 파트너가 있다는 해석은 초대칭성 끈 이론의 이해를 크게 전진시켰던 것이다.

종래 보손과 페르미온을 다룬 어떤 계산은 무한대의 해답을 냈다. 그러나 초대칭적 이론에서는 그런 일이 생기지 않는다. 초대칭 끈 이론을 사용하여 보손과 페르미온을 조합했을 때 미묘한 패턴의 소거작용이 일어나서 유한의 확실한 해답을 얻을 수 있게 되는 것이다.

나는 1984년 여름 런던대학의 마이클 그린과 함께 9차원공간의 초대칭성이론을 사용하면(종래 일반상대론이나 게이지이론의 양자화를 원리적으로 막았던) “量子力學的 異狀項”이라는 항을 피할 수 있다는 사실을 발견했다. 이것은 우리의 5년간에 걸친 공동연구의 클라이막스였다.

그런데 이 회피는 초대칭성이론의 2개의 “개정판”을 사용했을 때만 가능하다. 이 2개의 “개정판”이란 수학자가 SO(32) 및 E₈×E₈라고 불리는 2개의 대칭군에게 각각 다르게 개변한 것으로서 소립자가 갖는 모든 대칭성이 이중 어느 쪽에든

포함되어 있다.

나는 $SO(32)$ 의 대칭성을 사용하여 열린 끈과 닫힌 끈의 이론을 만들어 “양자역학적 이상향”과 “발산”의 양쪽을 회피할 수 있다는 것을 제시했다. 그 몇달 뒤 이번에는 2개의 새로운 닫힌 끈의 이론이 등장했다. 그 중의 하나는 $E_8 \times E_8$ 대칭성이었으며, 다른 하나는 $SO(32)$ 대칭성을 사용한 이론인데, 프린스턴대학의 데이비드 그로스, 제프리 하비, 에밀 마티벵 및 리안 톰등이 수식을 만들었다.

이리하여 중력과 양자장이론을 통일하려는 시도가 오래동안 양자장이론을 괴롭혀 온 많은 혼미를 씻어 버릴 수 있다는 것을 처음 제시했다. 2개의 합당한 대칭군이 결정된다는 것은 모든 소립자의 모든 상호작용이 결정된다는 뜻이며 시간과 공간의 차원구조가 결정된다는 뜻이다. 이 발견은 이론물리학계를 흥분의 도가니로 몰아 넣었다.

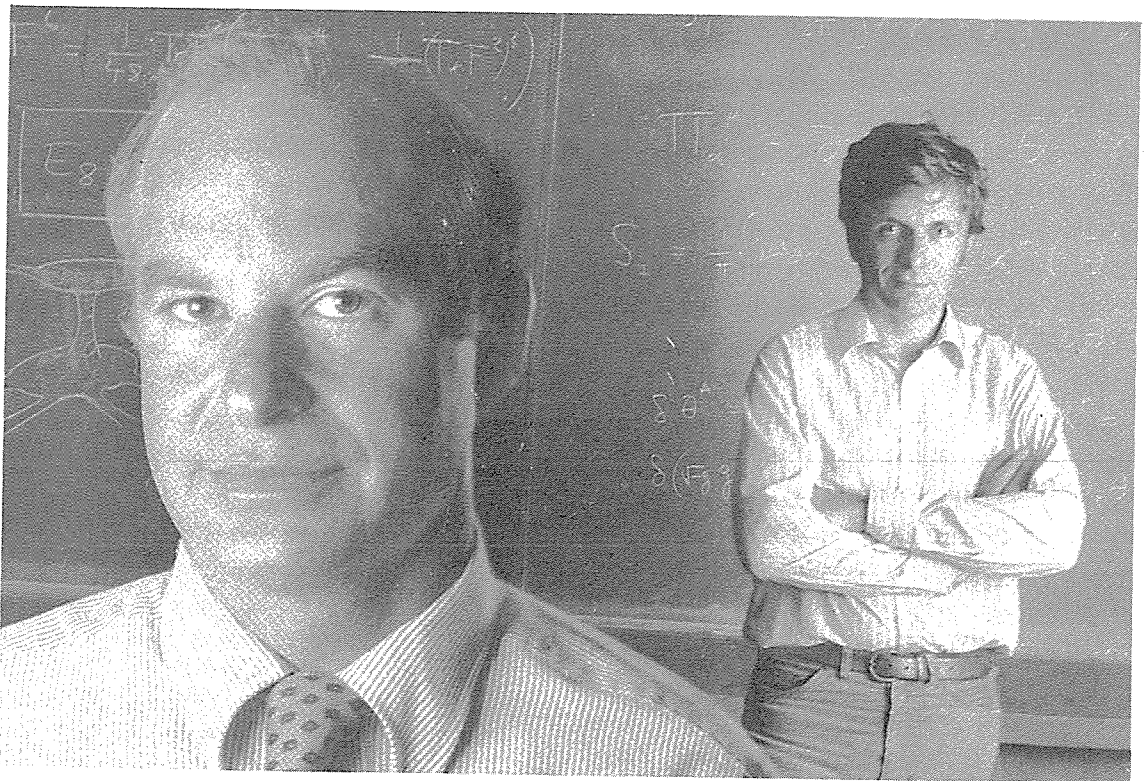
다.

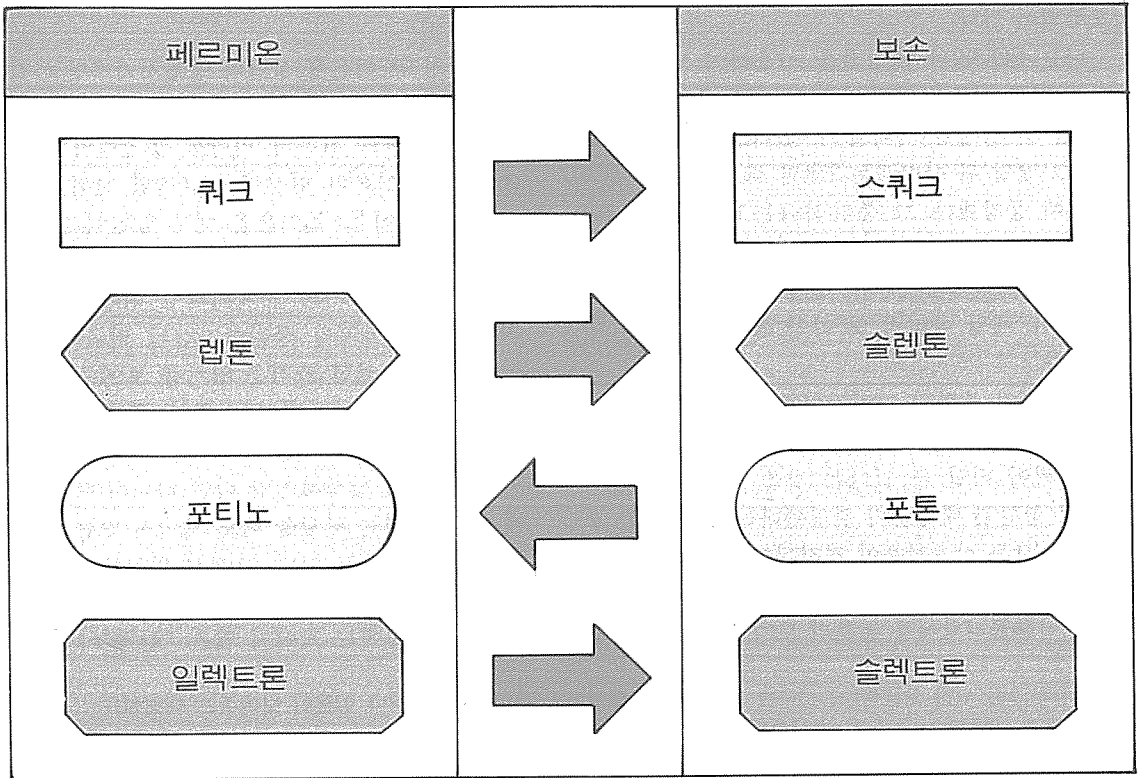
초대칭 끈 이론을 실험과 연결시키자면 아직도 많은 노력이 필요할 것이다. 그러나 프린스턴대학의 에드워드 위튼의 비상한 동찰력의 덕으로 초대칭 끈 이론의 현상학은 급속한 진전을 보이고 있다. 특히 $E_8 \times E_8$ 이론은 매우 앞날이 밝다. 중요한 사실은 작은 6차원의 기하학적구조를 어떻게 설명할 것인가의 문제이지만 이에 관해서는 최첨단의 수학자와 물리학자간의 커뮤니케이션이 일찌기 없었던 뜨거운 열기를 보여주고 있다.

$E \times E$ 이론에는 재미있는 뜻이 내포되어 있다. 하나의(예컨대 머리부분) E_8 그룹에서 모든 소립자와 모든 힘이 발생하지만 다른 하나의(예컨대 아래부분) E 에서는 관찰을 해도 보이지 않는 소립자나 힘이 발생하고 있다. 그래서 만약에 이 2개의 E 그룹이 같은 패턴이라는 것이 밝혀지면 이 세상의 모든 입자에는 보이지 않는 “한쪽”이 있다는

▼나와 그린(사진 오른쪽)이 연구한 자연법칙은 명쾌하고 우아하다. 그러나 이론이 보여주는 대칭성은 우리가 관찰하는 혼돈한 현상으로 감춰져 있다.

——— 존 H. 슈와르츠





것이 된다.

이러한 “그림자의 물질”이 있어 보이지 않는 별, 보이지 않는 은하가 있다는 것이 된다. 이것을 확인하는 수단은 중력밖에 없다. 옛부터 천체 물리학자들은 은하에서 관측되는 온갖 현상을 설명하기 위해서는 몇가지 종류의 보이지 않는 “까만 물질”이 존재하지 않으면 안된다고 생각해 왔다. 제2의 E속에 포함된 물질이 바로 이것을 구성하는 요소일지도 모른다.

초대칭 끈 이론은 오늘날 확인의 시기로 접어들고 있다. 그러나 이 중에는 실험할 수 없는 것도 있다. 예컨대, 작은 6차원의 존재를 증명하려면 입자를 고에너지로 충돌시켜 새로운 입자를 탄생시키는 실험이 필요한 것이다. 그러나 이를 위해서 필요한 에너지는 엄청나게 크고 앞으로 우리가 입수할 수 있다고 전망하는 에너지보다 훨씬 웃도는 규모의 것이다.

그러나 다른 것의 진위는 확인할 수 있다. 초대칭성이 예언하는 페르미온과 보손의 파트너 찾기는

현재 빠른 속도로 진행 중이다. 아마도 양자 충돌장치로 그 질량을 관측하게 될 것은 틀림없다. 최근의 실험에서 이 입자들은 지루할 정도로 천천히 그 모습을 들어 내기 시작한 것이다. 초대칭성이 확립되면 이것은 현대물리학의 역사에서 가장 중요한 발견의 하나가 될 것이다.

지금까지 물리학자들은 오랜 세월을 소립자의 질량과 그밖의 성질을 다만 하나의 기본원리에서 이해할 수 있는 날이 올 것을 꿈꿔왔다. 시공구조를 최소단위로 이해하고 “플랑크의 길이”로부터 우주반경에 이르는 그렇게도 다양성이 풍부한 길이의 단위가 존재하는 이유는 무엇일까를 이들은 알고 싶었다. 초대칭 끈 이론의 발전은 이런 의문에 접근하는 기회를 제공하고 있는 것으로 생각된다.

玄源福 譯
(科學저널리스트)