

既知 와 未知 의 世界

= 소립자물리학과 물질의 구조 =

김 재 관

〈한국과학기술원 물리학과 교수〉

고전 희랍시대 때부터 물질의 기본구조에 관한 관심은 항상 깊었다. 그러나 18세기에 와서 뉴턴이 우주는 별의 모임으로 구성되어 있으며 별사이에 작용하는 힘은 萬有引力의 법칙을 만족하는 중력이라는 것이 제안되었다. 그러나 물질의 미세구조는 20세기 초부터 획기적인 발전을 거듭하여 왔다. 물질은 원자로 구성되어 있고 원자는 원자핵과 주위를 돌고 있는 전자로 구성되어 있다. 전자와 원자핵 사이에는 쿠퍼의 법칙이 적용되는 전자기력이 작용하고 있다.

원자핵은 양자와 중성자의 모임으로 구성되어 있으며 이 양자와 중성자 사이에 작용하는 힘은 유가와(Yukawa)박사가 제안한 중간자의 교환으로 생기는 강력이 작용하고 있다.

그리고 한 원자핵이 붕괴하여 다른 원자핵으로 변환하는 α, β, γ 선 붕괴과정이 알려지게 되었고 붕괴과정에 작용하는 힘이 약력이고 이 힘은 무거운 W입자의 교환으로 생기는 것이라고 이론화되었다.

1960년까지 알려진 물질의 기본 구성입자는 양자 중성자 및 전자였다. 그리고 그 사이에 작용하는 힘의 종류는 이미 기술한바와 같이 네가지가 있다.

즉, 중력은 질량과 질량사이에 작용하고 전자기력은 전하를 갖고 있는 입자사이에 작용하며 강력은 양자 및 중성자 같은 강입자 사이에

작용한다. 그리고 약력은 중성자가 양자 및 전자로 β 선이붕괴할때 작용하는 힘이다.

그러나 1960년 이후부터 소립자 연구는 양자와 중성자의 미세구조 연구와 위 네가지 힘의 통합연구에 집중하였다. 실험적으로는 고에너지 전자빔을 사용하여 양자속을 깊이 드러다 보았다. 확실히 양자는 미세구조를 갖고 있다는 것을 알게 되었고 또한 많은 작은입자의 모임으로 구성되어 있다는 것도 알게 되었다. 겔만(Gell Mann)은 이 구성입자를 쿼크(Quark)라고 불렀다. 한편 와인버그(Weinberg)와 싸람(Salam)은 전자기력과 약력을 통합하는 게이지이론(Gauge Theory)을 만드는데 성공하였다. 이것이 1960년대의 중요한 결실이었다.

1970년대에 와서 소립자 물리학은 쿼크의 실험적 발견을 위하여 많은 노력을하였다. 그러나 쿼크는 발견할 수 없었고 Assymptotic Freedom이라는 이론을 내세웠다. 이 이론에 의하면 쿼크와 쿼크간에 작용하는 강력은 상호간의 거리가 가까워지면 더 약해지고 거리가 멀면 멀수록 힘은 더 강해진다는 것이다. 그래서 양자는 쿼크의 모임으로 구성되어 있으나 양자속에서 쿼크가 밖으로 나올려고 하면 거리가 멀어지므로 쿼크간의 인력이 커져 나올 수가 없게 된다는 것이다. 양자속에서는 쿼크간의 거리가 작기때

문에 쿼커가 거의 자유롭게 움직인다는 의미에서 Asymptotic Freedom이란 이름이 이론에 부여된 것이다. 그래서 자유롭게 쿼커는 실험적으로 볼 수 없다고 설명한다.

이 Asymptotic Freedom은 강력에 관한 힘의 법칙을 처음으로 자세히 밝혀주게 된 것이다.

이 힘의 법칙을 쿼커사이에 사용하여 만든 강상호 작용이론(Strong Interaction Theory)인데 Quantum Chromodynamics (QCD)이다. 1970년대 후반에서 QCD에 관한 연구가 활발하였다. 실험으로 전자빔을 사용하여 양자속에 있는 쿼커의 분포함수를 측정하였고 이 이론을 사용하여 계산한 분포함수는 실험결과를 잘 설명할 수 있다. 그리고 많은 강입자와 강입자의 충돌로 생성된 여러 실험결과를 QCD는 성공적으로 계산할 수 있다. QCD의 실험적인 Test는 상당한 수준에 와 있다. 즉, 강상호작용 이론이 역사적으로 처음 성공적으로 만들어진 것이다.

그러나 양자의 구조는 QCD가지고 설명할 수 있으나 중요한 양자의 질량계산에는 많은 문제점이 있다. 소립자 물리학에서 기본적인 문제는 양자와 중성자와 같은 많은 강입자가 쿼커로 구성되어 있다는 것을 알게 되었고, 그 사이에 있는 힘의 법칙인 Asymptotic Freedom도 알게 되었으며, 그리고 이 구조를 설명하는 역학인 QCD도 완성되었으면 양자와 중성자의 질량계산이 가능해져야 된다는 것이다. 그래서 윌슨(Wilson)은 쿼커와 쿼커사이에 작용하는 힘의 교환양자인 구루온(Gluon)과 쿼커가 고체물리에서 사용하는 격자(Lattice)분포를 이루고 있다고 가정하고, 역학은 QCD를 사용하여 질량계산과 그의 여러가지 계산을 할 수 있는 격자게이지 이론(Lattice Gauge Theory)을 창안하였다. 최근에 와서 Monte Carlo방법을 사용하여 몇사람의 소립자 물리학자들은 양자 및 여러 강입자의 질량계산에 성공을 하였다. 이것은 물질구조 연구에서 오래된 기본문제 해결의 돌파구를 마련한 것이다. 적양자의 구조연구는 상당한 수준에 도달한 것이다.

한편 힘의 통합과정도 상당한 수준으로 발전하였다. 전자기력과 약력을 통합한 Weinberg Salam 게이지이론과 강력을 성공적으로 기술한 QCD를 통합한 통일장게이지 이론(Unified Gauge Theories)이 Georgi와 Glashow에 의하여 이루어진 것이다. 즉, 물질구조에 중요한 세가지의 힘, 전자기력, 약력, 강력을 통합하는데 성공한 것이다. 이 통일장이론에 의하면 양자는 굉장히 긴 시간($\sim 10^{31}$ 초)후에는 붕괴한다는 것이다. 그래서 많은 실험학자들은 양자붕괴실험을 하고 있다.

이미 붕괴과정을 몇개 보았는데 실험 결과가 나오고 있다. 이것은 우주 진화론에도 큰 영향을 주게 된다. 그러나 아직까지 Einstein의 꿈이었던 중력과의 통합은 성공하지 못하고 있다. 과거 몇년동안에 많은 발전은 하였다. 멀지 않은 장래에 자연에 있는 네가지의 기본힘인 전자기력, 약력, 강력 및 중력을 통합한 초통일장 이론(Super Unified Gauge Theory)이 성공적으로 탄생할 것은 틀림없는 사실이다.

소립자물리학은 최근에 와서 눈부신 발전을 거듭하여 왔고, 장차 하게 될 것이다. 멀지 않은 장래에 물질의 기본구조를 설명할 수 있는 이론이 완성될 수 있을 가능성이 크다.

그러나 항상 실험에서 예측치 못한 새로운 현상이 발견되어 소립자 물리학의 미래를 많이 바꾸어 놓을 수도 있는 것이다. 예측하기에는 너무 힘든 것이다.

돌이켜 보건데 첫 물질구조의 이론인 원자물리의 양자역학이 탄생한 후 많은 응용이 탄생하였다. 즉, Transister, IC, LSI, VLSI등 현 전자산업의 기본구성물질이 물질구조 연구의 소산이다. 그리고 다음 단계의 원자핵구조연구에서 나온 원자력은 현 에너지의 중요한 근원이 되고 있다. 지금 현재 완성중에 있는 양자구조론이 확실히 되면 그 결과에서 나올 엄청나고 상상불능의 응용은 예측키 힘들 정도이다. 현재 기초중의 기초인 소립자 물리학은 미래 몇십년 후에는 응용의 기초가 된다는 것을 다시 강조하는 바이다.