

제 16차 초상대론적 중이온 충돌에 관한 국제 학술회의

쿼크 - 글루온 플라즈마 연구 진척

● 일 자 : 2002년 7월 18일~24일

● 장 소 : 프랑스 낭뜨

물질의 기본이 되고 있는 원자는 원자핵과 그 주위를 돌고 있는 전자로 이루어져 있으며, 원자핵은 다시 양성자와 중성자들로 구성되어 있다. 1960년대와 1970년대 사이에 이론 및 실험 물리학을 통하여 보다 기본 입자인 쿼크(quark) 3개가 글루온(gluon)들에 의하여 묶여져 양성자와 중성자와 같은 강입자(hadron)를 이루고 있다는 것이 밝혀졌다. 그러나 쿼크와 글루온은 간접적인 방법에 의하여 그들의 존재와 강입자 내에서 지니고 있는 운동량의 분포가 알려졌을 뿐 이제까지 그들을 독립된 형태의 입자로서 관측할 수 없었다. 그 이유는 이들 사이에 작용하는 힘인 강력(strong force)이 중력이나 전기력과 다르게 상호거리가 멀어질수록 오히려 증가하기 때문이다. 양자색역학(Quantum Chromodynamics)이론에 의하면 만일 쿼크 사이의 거리가 충분히 가까워진다면 쿼크와 글루온이 강입자로부터 풀려나서 쿼크-글루온 플라즈마라는 새로운 물질의 상태를 만들 수 있을 것으로 예견된다.

금(Au)과 같은 중이온(heavy ion)을 상대성이론이 적용되는 높은 에너지로 가속시킨 후 서로 충돌시켰을 때 고온으로 압축된 강입자 물질이 만들어지며 쿼크 사이의 평균 거리가 짧게

되어 궁극적으로 쿼크-글루온 플라즈마 상태를 만들 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 시도가 1980년대 초부터 미국과 유럽에서 상대론적 중이온 충돌실험을 통하여 진행되고 있다. 흥미 있는 사실은 현재 기정 사실로 받아들여지고 있는 빅뱅(Big Bang)이론에 의하면 우주는 약 1백40억년 전에 대폭발을 통하여 탄생하였고, 탄생 직후에는 우주의 밀도와 온도가 충분히 높아 쿼크-글루온 플라즈마 상태로 존재하였던 것으로 알려져 있다. 이런 이유 때문에 상대론적 중이온 충돌실험을 작은 빅뱅이라고 부르기도 한다.

과학자 7백여명 참석

이번에 필자가 참석하였던 학술회의(Quark Matter 2002; 16th International Conference on Ultrarelativistic Nucleus-Nucleus Collision)는 1980년대 초에 시작되었고, 단 한번의 예외로 1997년 일본에서 개최되었던 것을 제외하고는 3년에 두번씩 미국과 유럽에서 번갈아 개최되고 있는 쿼크-글루온 플라즈마 연구의 가장 대표적인 학술회의이다. 현재 이 분야를 연구하고 있는 물리학자는 약 2천명 정도이며, 2002년 7월 18일부터 24일까지 프랑스 낭뜨(Nantes)에서 개최된 이번 회의는 약 7백명이

참석하여 1백50여편의 구두 발표와 2백여편의 포스터 발표가 있었다. 필자가 참여하고 있으며 미국 브룩헤븐국립연구소(BNL)에 있는 상대론적 중이온 충돌기(RHIC)를 이용하고 있는 PHENIX 실험은 구두 발표에서 17편 그리고 포스터 발표에서 28편의 연구 결과가 발표됐다. 이중 2편의 포스터는 필자가 지도하고 있는 대학원생 이름으로 발표되었다.

PHENIX 실험은 2000년에 완성된 RHIC과 함께 자료 수집이 시작되었으며, 현재 13개국, 53개 기관에서 모인 4백여명의 물리학자가 참여하고 있는 대형 국제공동실험이다. RHIC에서 수행되는 실험은 PHENIX 이외에 세계의 실험이 더 있고 모두 쿼크-글루온 플라즈마에 관한 연구를 수행하고 있다. 필자는 대학원생들과 함께 PHENIX 실험 중에서 실리콘 검출기와 뮤온 검출기에 관련된 연구를 수행하고 있으며, 현재 3명의 대학원생이 BNL에 장기 또는 단기 방문을 이용하여 박사학위 논문을 준비중이다. 필자와 함께 PHENIX 실험에 참여하고 있는 고려대학교 심광숙교수와 홍병식교수 그리고 같은 분야의 이론을 전공하고 있는 부산대학교 홍덕기교수도 이번 학술회의에서 만날 수 있었다

이번 학술회의에서 가장 주목을 받

제16차 초상대론적 중이온 충돌에 관한 국제학술회의가

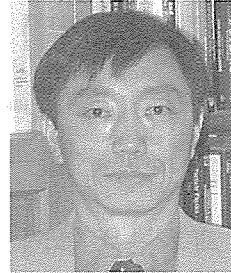
지난 7월 18일부터 1주일 동안 프랑스 낭뜨에서

7백여명의 과학자들이 참석한 가운데 열렸다.

1백50여편의 구두발표와 2백여편의 포스터발표로

진행된 이번 국제학술회의에서 필자가 참여하고 있는 PHENIX 실험은

구두발표 17편, 포스터 발표 28편으로 성황을 이루었다.



姜 珠 煥

(연세대 물리학과 교수)

있던 부분은 RHIC에서 수행되고 있는 PHENIX를 비롯한 4개의 실험 모두에서 관측된 제트퀸칭(jet quenching) 현상이라고 볼 수 있다. RHIC 가속기에서 핵자(양성자 또는 중성자)당 100GeV인 매우 높은 에너지로 가속된 두개의 금이온을 서로 충돌시켰을 때 상대성이론에 따라서 에너지는 수많은 입자들로 변하여 직경이 약 10^{-12} cm인 원통 모양의 작은 공간에 약 1만개에 달하는 입자들이 존재하게 되어 우주의 초기상태와 비슷한 고온 및 고밀도의 상태가 만들어진다. 이 때 비교적 강렬한 충돌에 참여한 파톤(쿼크 또는 글루온)은 충돌 빔(beam) 방향에 대하여 수직(가로) 성분이 큰 운동량을 갖고 튀어나오고, 소위 색속박(color confinement) 현상에 의하여 큰 가로운동량을 지닌 보통의 강입자들로 변한다. 이때 충돌 후 생성된 물질이 쿼크-글루온 플라즈마 상태에 있었다면 파톤(parton)이 이러한 물질을 통과할 때 그렇지 않은 경우와 비교하여 더 많은 에너지를 잃을 것이며, 결과적으로 높은 가로운동량을 가진 입자의 수가 감소되어 제트퀸칭 현상을 보일 것으로 예견된다. 이러한 현상은 하전입자가 전기적으로 중성인 원자 상태보다는 핵과 전자가 분리된 전기적 플라즈마 상태를 통과

할 때 더 많은 에너지를 잃게 되는 현상과 유사하다고 볼 수 있다.

그러나 위에서 언급한 제트퀸칭 현상이 실제로 쿼크-글루온 플라즈마에 의한 현상으로 단정하기는 아직 이르다. 왜냐하면 충돌 전의 파톤이 어떠한 운동량 분포를 갖고 있는지에 관한 좀더 정확한 정보가 필요하고, 파톤이 쿼크-글루온 플라즈마 상태로 상전이(phase transition)가 일어나지 않은 단순한 고온 및 고밀도의 강입자 상태를 지날 때 잃게 되는 에너지 값에 대한 정확한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 정보는 p-A(양성자-중이온) 및 d-A(중양자-중이온)를 포함한 여러 가지 조건의 충돌계를 이용한 체계적인 제트퀸칭 현상에 대한 연구를 통하여 앞으로 밝혀질 것이다. 또한, 강력을 기술하는데 필요한 색전하(color charge)에 대한 스크리닝(screening) 현상 등 현재 쿼크-글루온 플라즈마에 관한 신호로 알려진 여러 가지 신호에 대한 관측이 모두 이루어진 이후에 쿼크-글루온 플라즈마 현상이 완전히 규명될 것이다. 장래 10년 이상 이러한 연구들이 RHIC에 있는 실험들에 의하여 수행될 계획이고, 2007년 스위스의 CERN(유럽공동 핵입자물리연구소)에 완성될 예정인 LHC 가속기를 이용하게 될 ALICE 실험은 보다 높

은 에너지의 중이온을 충돌시켜 쿼크-글루온 플라즈마에 관한 연구를 계속할 예정이다.

선진국선 엄청난 연구비

1988년부터 이 분야 연구를 수행하고 있는 필자는 이 학술회의에 네번째로 참석하게 되었다. 지난 20여년 동안 미국 BNL에 있는 AGS 가속기 그리고 스위스 CERN에 있는 SPS 가속기에서 낮은 에너지의 중이온 충돌 실험을 통한 준비기간을 거친 후, 최근에 완성된 RHIC 가속기의 도래로 본격적인 쿼크-글루온 플라즈마 연구가 시작되고 있다는 것을 이번 회의의 통하여 느낄 수 있었다. 이러한 연구는 물질의 궁극적인 구조와 현상을 이해하기 위한 순수 기초학문인 동시에, 새로운 첨단 검출기의 개발은 물론 막대한 양의 자료를 처리하기 위한 첨단 전자 장비 및 컴퓨터 시스템의 개발을 요구하고 있다. 참고로 RHIC 전체 프로그램을 시작하는 데 약 6억달러가 소요되었고 매년 1억달러 정도의 운영비가 필요하다. ALICE 실험이 수행될 LHC의 예산은 이보다 훨씬 클 것이다. 미국과 유럽의 선진국들이 이러한 연구에 막대한 예산과 노력을 투자하고 있는 이유를 다시 한번 생각하게 되었던 학술회의였다. ①