

뉴턴 力學의 현대문명의 「인페라」

기틀을 마련했다.

時空에 대한 인식을 송두리째 바꿔놓아 상대론은 원자력발전의 시간과 공간은 별개의 것이 아니라 서로 얽혀 있다는 상대론을 발표
아인슈타인은 당시 물리학자들이 빠져있는 고정관념에서 탈피,
전화·전기를 쓰는 것은 전자기학의 덕분이다.

빌딩과 교량을 갖고 비행기를 움직이는 것은 뉴턴의 덕택이며

물리학이 기초과학의 꽃이라고 많이들 말하고 있다. 그렇게 동떨어진 진단은 아닌 것 같다. 과학의 꽃인 물리학이 구체적인 과학으로 자리잡게 된 것은 뉴턴이란 천재의 힘이 크다는데 이의를 제기할 사람은 별로 없으리라 생각된다. 그는 만유인력을 가시화했고 $F=ma$ 즉, 질량과 가속도의 곱은 힘과 같다는 물리학의 기본틀을 만들었다. 그의 $F=ma$ 로 표시되는 '뉴턴의 역학'은 우리 인류가 누리고 있는 현대과학의 '인프라'라고 할 수 있다. 교량의 디자인과 안정성, 고층 건물의 역학적 구조, 자동차 브레이크의 디자인, 인공위성의 발사, 그리고 수없이 많은 기계들의 제작과 생산에 이르기까지 '뉴턴 역학'이란 이론의 틀을 벗어난 것이 없다.

이렇게 움직이는 것, 서 있는 것, 돌아가는 것, 이 모두가 '뉴턴 역학'의 지배를 받고 있다. '뉴턴 역학' 외에도 또 하나의 기초가 있다. 전자기학(電磁氣學)으로 알려진 전기와 자기에 관한 틀은 암페어(Ampere), 쿨롱(Coulomb), 페라데이(Faraday), 막스웰(Maxwell) 등 여러 사람들의 손을 거쳐서 과학화되었다. 두 대전된 입자간에 나타나는 힘의 법칙의 기틀을 잡은 쿨롱, 전류의 크기와 자장의 관계를 나타낸 암페어, 자력의 시간적인 변화가 전력을 생산한다는 발전기의 원리를 마련한 페라데이, 그리고 전기와 자기가 본질적으로 같은 대상이며 그저 다른 면을 강조할 뿐이라는 막스웰의 생각이 구체화됨으로써 전파가 가능하다는 것이 알려졌다. 이러한 이론을 실천에 옮긴



金濟琬

〈서울대 명예교수·물리학/과학문화진흥회장〉

헬프를 거쳐서 말코니가 전신을 실용화한지 벌써 백년이란 세월이 흘렀다. 이렇게 우리들은 대형 건물을 짓고 교량을 놓았으며 비행기가 나는 사회에서 살고 있는 것은 어떻게 생각하면 '뉴턴'의 덕택이라 할 수 있고 전화를 쓰고 전깃불을 켜서 신문을 보며 냉장고를 쓰는 전기문명을 과학의 다른 '인프라'인 전자기학의 덕분이라 할 수 있다. 20세기에 들어오면서 과학자들은 이러한 일상적인 대상을 떠나서 눈에 보이지 않는 미시의 세계와 지극히 거대하고 빨리 움직이는 세상을 이해하려고 하였다. 물질의 궁극적인 요소인 원자를 이해하려고 한 것이며 거대한 대우주의 시간과 공간을 이해하려는 노력이 시작되었다. 일상적인 사회에서 일어나는 '뉴턴의 역학'과 상식적인 전자기의 현상이 지극히 작은 티끌우주인 원자의 세상에서도 그대로 통용되고 있을까? 원자핵을 맴돌고 있는 전자의 세상에서는 우리가 생각하고 있는 상식적인 운동의 법칙이 그대로 적용되고 있을까? 이런 의문들이 생각지도 않는 곳에서 그 모습을 드러내기 시작했다.

여러 과학자들의 손을 거쳐 시간과 공간이 동떨어진 독립적인 그런 존재가 아니라 하나로 통일된 시공간이란 생각이 천재 '아인슈타인'에 의해 완성되고 만유인력이 이 시공의 기하학적인 성질이란 상대론이 이 세상에 선을 보인다. 그와 거의 같은 무렵 보어(Bohr), 슈레딩거(Schrödinger), 하이젠베르크(Heisenberg) 같은 천재들에 의하여 미시의 세계에서의 '뉴턴의 법

칙'과 같은 존재 그 자체를 새로운 틀에서 생각하는 '양자론'(Quantum Theory)이 생겨나고 특수 상대론과 양자론을 합친 '전기양자역학'이란 체계는 인류가 개발한 가장 정확하고 폭넓은 이론이 된다. 이 이론은 반도체를 가능하게 했고 레이저를 낳았으며 우리가 알고 있는 첨단 기기의 제작에서 교량의 건설에 쓰이는 '뉴턴 역학'처럼 쓰이고 있다. 이 두 이론은 뉴턴의 역학과 맥스웰의 전자기학의 참 모습이라 하겠다.

물리학의 꽃인 이 두 이론체계가 오늘날 과학의 틀을 잡았다고 할 수 있다. 먼저 '상대론'이 무엇인가 알아보자.

천재의 생각

19세기가 저무는 무렵 천재 아인슈타인(Albert Einstein)은 막 대학과정을 마친 물리학 지망생이었다. 함께 졸업한 물리과 학생이래야 고작 네명이었는데 다른 세명은 곧바로 조교로 임명되었지만 멍청하다고 보여진 아인슈타인은 직장을 얻지 못하였다. 2년동안 직장이 없어서 가정교사 및 대리교사로 전전하다가 드디어 1902년에 오스트리아의 특허국에 3급 기술직으로 채용된다. 안정된 직장을 얻은 아인슈타인은 자기가 좋아하는 취미생활인 물리학을 연구할 수 있었고 1905년에는 '특수 상대성원리'라는 어려운 물리이론을 발표했다.

아인슈타인은 이 이론을 통하여 우리가 느끼는 시간과 공간의 개념을 송두리째 바꾸어 놓았다. 아인슈타인의 시공간은 뉴턴이나 우리들이

상식적으로 생각하는 절대시간과 공간이 따로 있는 것이 아니라 각자가 다른 다양한 시간과 공간을 가지고 있고 시간과 공간은 서로가 동떨어진 것이 아니라 서로가 뒤엉켜서 분리할 수 없는 시공(時空)이지 시간이 있고 공간이 따로따로 있는 것이 아니라는 생각이다. 이러한 시공간은 4차원의 세계이고 우리의 상식을 넘는 그런 시공간이다. 아인슈타인의 4차원 세계에서 빨리 움직이는 물체는 길이가 짧아지고 시간은 더 천천히 흐른다는 상식을 넘어선 일들이 일어난다. 아인슈타인의 4차원 시공간에서는 빛의 속도로 움직이는 로켓이 있다면 시간은 완전히 멈추고 공간은 그 움직이는 방향으로 그 길이가 0이 된다는 이야기이다. 그러나 우리들 주변에서는 아무도 그런 경험을 한 사람이 없다. 달리는 기차의 길이가 서 있을 때보다 짧아지는 것을 본 적도 없고 비행기 위에서는 시계가 더 천천히 움직인다는 것은 말도 안되는 소리이다. 그런 세상은 본 적도 없고 상상도 되지 않기에 아인슈타인의 4차원 세계는 정녕 우리가 살고 있는 이 현실 세계는 아니라고 생각할 것이다. 그러나 그렇지 않다. 우리가 살고 있는 이 세상이 바로 아인슈타인의 4차원 세계이다. 믿지 않을지 모르지만 이것은 사실이고 그렇다는 것을 독자들에게 설득하고자 한다.

시간을 아시나요?

사실상 우리들이 인식하는 시간과 공간은 말 그대로 시간은 따로 공간은 또 따로 독립적으로 존재하는 것이다. 딱딱하고 끝이 없는 우주라는

공간 속에 별들이 있고 그 중의 하나인 태양이란 별을 맴돌고 있는 지구가 있다는 절대적인 공간개념이 우리들의 피부에 와 닿는다. 시간 역시 그렇다. 지구상이든 먼 별나라이든 1초의 길이는 똑같고 시간은 이 우주의 어느 곳에서든 꼭 같이 흘러가고 있다는 절대적인 시간을 생각한다. 물론 편리상 약속에 의한 뉴욕과 서울의 시간은 다르다. 서울의 낮 12시가 뉴욕의 밤 11시이지만 이것은 단지 약속이지 서울의 24시간의 길이가 뉴욕의 24시간과 다른바가 없다.

다시 말해서 서울 사람이 비행기를 타고 뉴욕에 갔다가 다시 서울로 돌아올 때까지 시계를 뉴욕시간에 맞추지 않고 그대로 두면 서울에 돌아왔을 때 서울 사람들의 시간과 꼭 같다는 것이다. 왜 이렇게 자명하고 누구나 아는 사실을 구태여 설명할까? 지나간 많은 세월은 우리들의 상식이 틀려서 새로운 과학을 가져온 예가 너무나 많다. 세기의 천재 아인슈타인은 이렇게 명백한 일에 의심を 갖기 시작했다. '같은 시간' 대신 '같은 장소'라는 것이 누구에게나 똑같이 적용되는 지부터 알아보자. 가령 어떤 사람이 달리는 기차의 식당차에서 커피를 마시고 커피잔을 테이블 위에 놓고 약 십분간 친구와 함께 이야기를 하고 있었다고 하자. 그들에게는 분명히 그 커피잔이 같은 장소에 있었다. 그렇지만 기차밖의 동네 사람에게는 그 '커피잔'은 10분 뒤에 기차와 그리고 열차 식당의 식탁과 함께 적어도 십리밖 다른 곳에 가 있다. 기차 위의 사람에게는 움직이지 않고 같은

장소에 있는 커피잔이 동네사람에게는 십리나 떨어진 다른 곳에 있는 것처럼 과연 모든 사람에게 어떤 사건이 같은 시간에 일어났다는 말이 꼭 옳은 것인가? 이야기는 19세기 말부터 20세기가 시작되는 1890년부터 1905년으로 거슬러 올라간다. 그 당시만 해도 빛은 파동이어야 한다고 믿는 시대였다. 그런데 파동은 (그 당시만 해도) 꼭 매질이 있어야 전파되는 것이라고 믿었다. 음파는 공기가 매질이고, 물의 파동은 물이 매질이며, 빛은 전자파로서 에테르(ether)라는 매질의 파동이라고 믿었다. 많은 과학자들이 이 에테르라는 매질은 우주 전체에 깔려 있으며 지구와 태양, 그 모든 것이 이 에테르의 호수 속을 지나가는 배처럼 에테르를 헤치면서 움직인다고 생각했다. 모든 사람들이 이에 관심을 갖고 연구를 하다보니 자연히 그런 생각에 젖게 되고 에테르는 꼭 있어야 된다고 믿게 된 것이다. 그러나 에테르를 통한 지구의 운동을 알아봄으로써 에테르의 존재를 알려던 모든 실험에서 에테르가 있다는 아무런 증거를 얻지못하였음에도 불구하고 물리학자들은 계속 에테르를 찾아 내고자 했다. 아인슈타인은 이러한 사실을 그대로 받아들이고 빛은 에테르가 없이도 전파한다고 생각했다. 빛은 공간의 전기와 자기장의 강약이 서로 엇갈리면서 전파되는 것이 매질이 필요한 것이 아니란 생각이다. 모든 사람들이 너무 고정관념에 빠져서 극히 자명한 사실을 너무 왜곡해서 생각하는 것을 아인슈타인은 있는 그대로 받아들인 것이다. 이는 마치 서양의 우화 '임금

님의 새 옷'을 연상케 한다.

임금님의 새 옷

『옛날 옛적에 굉장히 백성들을 엄하게 다스리는 임금님이 있었습니다. 이 임금님의 말이 곧 법이고 백성들은 무엇이든지 임금님이 말하는 것은 거역하지 못하였습니다. 어느 날 임금님은 새로 만든 좋은 옷을 입고 성 밖으로 나온다고 백성들에게 알렸습니다. 그러나 임금님은 발가벗은 알몸으로 말을 타고 성문을 나섰으나 길가에 있는 백성들은 임금님의 새 옷이 정말 좋다고 칭찬을 늘어 놓았으며 정말 그렇게 믿고 있었답니다. 그런데 지나가는 아이가 깜짝 놀라면서 "아이구 어머니, 임금님께서서는 옷도 안 입으신 알몸이 시네"하고 외쳤습니다.』

이러한 서양의 우화처럼 아인슈타인은 그릇된 고정관념을 깨고 에테르란 원래 없는 것이며 빛은 진공을 통하여 전달될 수 있다고 생각함으로써 그의 유명한 상대론을 만들 수 있었던 것이다. 20세기에 이르기까지 물리학자들이 설명하고 이해한 대상은 이 우주의 극히 일부분에 지나지 않은 것이 있었다. 많은 은하계들이 빛의 속도의 4분의 1 정도의 맹렬한 속도로 우리들로부터 멀어져 가고 있다는 것도 그 당시에는 알려지지 않았었다. 그때는 빛의 속도(1초동안에 30만킬로미터임)에 비하여 천천히 움직이는 사물, 즉 사과가 떨어진다든가, 행성이 태양 주위를 돈다든가 하는 비교적 천천히 움직이는 것만을 대상으로 했다. 그런데 빛 자신을 입자로 보고 그 운동을 알아내려고 했더니 이는 빛

을 내는 물체의 속도에 상관없이 일정한 속도 $C=30$ 만km/sec인 것을 알게 되었다.

이는 마치 초속 20만km로 달리는 로켓(그런 로켓은 아직은 없지만)에서 손전등으로 로켓의 운동방향과 반대방향으로 빛을 비추면 그 빛의 속도는 땅에서 있는 사람에게 어떻게 보일까? 상식적으로는 이렇게 대답할 것이다. 로켓의 진행방향으로는 초속 50만km 즉(20만+30만)km 또 그 반대방향으로는 초속(30만-20만)km=10만km이어야 할 것이다. 그런데 미국의 과학자 마이클슨과 모리박사가 지구의 운동(지구를 마치 로켓처럼 이용하여)의 반대방향과 같은 방향으로의 빛의 속도가 똑같은 초속 30만km임을 확인했고 그 뒤에 레이저 등을 이용하여 더 정확한 실험을 해보아도 역시 빛의 속도는 운동체나 관측자의 운동에 무관하게 초속 30만km임이 드러났다. 빛의 속도는 (20만+30만)km=50만km가 아니라 (20만+30만)km=30만km란 결과인 것이다. 우리들은 빛의 속도가 초속 30만km로 고정된 그런 세상에 살고 있는 것이다. 과학이란 정말 묘한 것이다. 특히 물리학에서는 아무리 상식에 어긋나더라도 실험의 결과는 받아들여야 한다. 속도란 간거리 즉 길이를 걸린 시간으로 나눈 것이다. 따라서 움직이고 있든 말든 빛의 속도가 변하지 않으려면 운동에 따라서 길이가 변하든가 또는 시간이 변하든가 또는 길이와 시간이 모두 함께 변하여야 한다는 선택밖에 없다. 이렇게 우리들은 시간과 공간의 구조를 달리 생각하여야

되는 공지에 몰린 것이다. 그런데 이렇게 시간과 공간이 변하는 것을 빛의 속도 30만km에 가까워져야만 관측되지 그렇지 않으면 그 효과가 극히 미미하여 우리가 느낄 수 없다는 것이 아인슈타인의 이론이다. 그러나 우리들 주변에는 시간이 늦게 가고 길이가 줄어드는 효과를 나타낼 만큼 빨리 움직이는 물체가 없다. 시간이 느려지고 길이가 짧아지는 효과가 나타나려면 적어도 빛의 속도와 버금가게 빨리 움직이는 그런 물체 위에서만 일어난다. 아무리 빠른 비행기라고 해도 시속 3600km를 넘지 못하는 까닭에 이는 초속으로 따지면 초속 1km이고 이는 빛의 속도인 초속 30만km에 비하면 문제가 되지 않는 까닭에 그 효과를 볼 수 없다. 굳이 그 효과를 계산해보면 1.0초가 1.000000000005초로 변한다. (구체적인 계산은 설명하기 어렵고 필자를 믿어주기 바람) 우리들이 가진 가장 정확한 원자시계도 이렇게 정밀한 차이는 잴 수 없기에 우리들은 '상대론'적인 효과를 느끼지 못한다.

그러나 작은 원자의 세계나 그 보다 더 작은 소립자의 세계에서는 이런 일들이 항상 일어나고 있다. 소립자 가운데 뮤 중간자(μ -meson)라는 입자는 가만히 정지하고 있을 때는 10^{-6} 초 즉 0.000000001초가 지나면 전자와 중성미자(이들 소립자에 관하여는 뒤에 더 상세히 이야기 하겠음)로 변한다. 다시 말해서 정지하고 있는 뮤 중간자의 생명은 0.000000001초이다. 그런데 가속기를 써서 빛의 속도의 99%까지 가속시키면 10^{-8} 초 뒤에야 전자와 중

성미자로 붕괴하므로, 그 생명이 10배로 늘어난다는 것이 지금은 확인된 바이다. 그러나 아인슈타인이 소위 '특수 상대론'을 1905년에 발표했을 때는 가속기도 없었고 더구나 뮤 중간자는 아직 발견되지 않은 시절이었다. 시간과 공간이 서로가 무관한 것이 아니고 서로 얽혀있는 시공(時空)이라고 주장한다. 물질의 질량과 에너지도 동등하여 서로 변할 수 있다는 그의 이론은 원자력 발전이나 원자탄을 만들 수 있는 기틀을 마련했고 이제는 우리들에게 익숙한 대상이 되었다.

그러나 가속기가 없었던 그 시절에 상대적인 시공의 개념이나 질량과 에너지가 동등하다는 것을 실험으로 알아볼 수 없었기에 아인슈타인의 생각이 맞는지 틀리는지 오랫동안 알 수 없었다. 따라서 물리학자들 사회에서는 그 이론 자체의 아름다움에 심취된 사람은 많았지만 일반대중에게는 아무런 관심을 끌지 못했다. 특허국 기술직 3급의 젊은 아인슈타인은 인류 역사상 처음으로 절대시간의 개념을 벗어나서 시간이나 공간 모두가 상대적이라는 참된 자유인이 되었지만 사람들은 그 진가를 알아주지 못했다. 그의 혁명적인 논문 「움직이는 물체의 전기역학에 관하여」(Zur Electrodynamik bewegter Körper, Ann. d. physik 17 891 1905)를 발표한 다음 해 젊은 아인슈타인은 기술직 2급으로 승진 발령을 받았다. 그러나 아인슈타인을 일약 유명하게 만든 '일반상대론'의 실마리는 우연히 찾아 왔다. ⑥7

(다음호에 계속)