

20세기의 科学革命

分解된原子 原子의 모델 量子: 에너지의 原子

朴 星 来

(韓國外國語大教授)

과학은 자연으로부터 그 마지막 신비의 베일을 벗겨버릴 듯이 보였다. 18세기에까지 그 정체가 분명치 않았던 빛·전기·자기·열 등의 모든 에너지는 19세기동안 모두 상당히 이해할 수 있을만큼 사태가 바뀌었을 뿐 아니라 그 모든 에너지란 서로 변화될 수 있는 것이라는 전망이 서가고 있었다. 이제 모든 자연의 힘은 한 가지의 법칙으로 이해될 수 있을 것 같은 희망이 지평선위로 떠오르고 있었다. 비록 중력만은 이렇다할 설명이 시도되지 않았지만 그것도 시간문제인 듯이 보였다. 물질의 근본요소는 원자로서 되어 있고 이 세상에 존재하는 것으로 보이는 원소는 속속 발견되어 이세상을 만들어 주는 모든 기본물질, 즉, 원자라 불리우는 벽돌들이 모두 들어날 것처럼 보였다. 멘델레예프의 주기율표는 아예 어떤 원소가 더 있을 것 까지를 미리 예언해주고 있을 정도였다. 과학은 확실한 지식을 주고 있었고 인간은 보다 확신에 찬 미래를 내다보고 있었다. 또 과학이 낳은 놀라운 문명의 이기는 인간의 생활을 온통 뒤바꾸고 있었다. 5 대양을 누비는 기선과 기차와 무선전신이 세계를 하나로 만들고 의약품·염료·비료가 합성되고 다이내마이트가 발명되는 등 세상은 해마다 변해가고 있었다. 19세기는 과학기술에 바탕을 둔 確信의 시대였고 希望의 세기였다.

그러나 확신과 희망은 덧없이 허물어지기 시작했다. 19세기의 마지막 10년에 시작된 회의와 불확실의 시대는 20세기를 특징짓는 주체가 되고 말았다. 물질의 최종단위 입자로 보이던 원자는 분열하여 방사선을 낳는가하면, 에너지와 물질은 서로 모양을 바꿔갈 수도 있다는 새로운 이론이 나타나는가 하면, 소립자의 세계에서는 모든 측정이란 확실할 수가 없다는 것이 일어나기도 했다. 인류에게 유익하기만 하게 보이던 과학기술의 발달은 다이내마이트나 독가스의 발명에서 그리고 두차례의 세계대전을 경험하면서 의심의 대상으로 등장했다. 20세기와 함께 과학은 한 번 더 혁명적 변화를 겪었다. 소위 “古典物理学”이라고 알려져있는 뉴턴力学 체계가 수정을 받아 “現代物理学”의 문이 열린 것을 시작으로 하여 20세기의 중반에는 인간 유전의 본질에 대한 연구가 큰 진전을 보았고 生態學的 관심이 높아졌다.

分解된 原子

1895년부터 물리학은 놀라운 발견의 연속으로 급격한 발달을 거듭했다. 그 해 12월 독일의 뢰트겐(Wilhelm Roentgen, 1845-1923)은 진공방전을 연구하다가 발견한 새로운 放射線

이 인간의 몸까지도 뚫고 지나가는 강한 투과력을 갖고 있음을 발표했다. 그는 이 방사선을 X線이라 불렀으나 그 발표를 들은 사람들은 이것을 뢰트겐선이라 불렀다. 오늘날 병원에서 없어서는 안될 X선은 이렇게 발견됐고 그는 이 공로로 1901년 제 1 회의 노벨상을 받기도 했다. 이보다 두달 후 X선이 형광현상과 관계가 있을 것이라고 생각한 프랑스의 베크렐(Henri Becquerel, 1852-1908)은 이미 1841년에 발견되어 있던 우라늄으로부터 방사선이 나오고 있음을 알아냈다. 베크렐의 제자인 폴란드 출신의 큐리부인(Marie Curie, 1867-1934)이 그의 남편(Pierre Curie, 1856-1908)과 함께 1898년 더 강한 방사능을 가진 라듐을 발견해내자 19세기의 원자를 보던 태도는 더이상 그대로 가질 수가 없게 돼버렸다. 방사성원소가 내보내는 큰 에너지는 분명히 원자속에서 나오는 것으로 보였고 그렇다면 원자를 변하지 않는 물질의 기본으로 볼 수는 없지 않은가?

이미 1897년부터 영국의 제이·제이·톰슨(John Joseph Thomson, 1856-1940)은 음극선이란 어떤 입자의 흐름임을 증명해내고 이어 그 電荷와 질량의 비를 측정했으며 이 측정값은 방전관속의 기체의 종류나 전극의 금속 종류와는 아무 상관없이 늘 똑같다는 것을 알아냈다. 이제 모든 원자속에는 원자보다 더 작은 전기를 띤 입자가 포함되어 있음이 밝혀진 것이다. 1899년에 영국의 라더포드(Ernest Rutherford, 1871-1973)는 방사성 물질에서 나오는 방사선을 조사한 결과 거기에는 종류가 다른 두 가지가 있음을 알고 이를 알파(α)선·베타(β)선이라 불렀다. 1900년 프랑스에서 감마(γ)선이 발견되고, 또 같은 때에 큐리부처는 베타선이 마이너스 전기를 띤 입자의 흐름임을 증명해 냈다. 그 후 라더포드는 알파선은 플러스 전기를 띠고 있음을 알아냈고 이어 그것이 다름아닌 헬륨원자의 흐름이라는 사실을 밝혀내기에 이르렀다. 또 라더포드와 협조해오던 소디(Frederick Soddy, 1877-1956)은 한가지 원소란 한가지 원자로만 되어 있는 것이 아니라 비복 화학적으로

는 같으나 물리적 성질은 다른 원자들이 섞여 있음을 알아냈다. 同位元素가 발견된 것이다.

20세기초에 와서 원자는 완전히 분해되기 시작했다. 원자란 더 이상 나눌수 없는 것(a-tom)이라던 생각이 이제 잘못된 것이 들어날 것이다. 그러나 물질의 구조가 원자보다 작은 다른 알맹이들로 구성돼 있다는 믿음은 더욱 굳어졌다. 원자의 본 뜻을 잃은 채 과학자들은 원자적인 물질관을 굳혀간 셈이다. 또 방사능의 발견은 우주의 신비를 푸는 새로운 실마리를 제공해주는 듯도 했다. 지상에서 방사성원소가 태어나는 법은 없다. 그렇다면 지구의 바위속에 포함된 방사성원소의 붕괴상태를 조사하면 지구의 나이도 알 수 있지 않을까? 이 방법으로 과학자들은 지구의 나이를 20억년이라 짚어보기도 했다.

量子:에너지의 原子

앞에 말한 원자 개념의 수정은 20세기와 함께 발달한 놀라운 과학의 성과이기도 했지만 근본적으로 19세기까지의 과학을 부정하는 것은 아니었다고 할 수 있다. 그러나 19세기말부터 고전물리학으로는 설명할 수 없는 문제가 몇가지 학자들의 관심을 끌게 되었다. 그중 하나는 일상생활에서 우리가 경험하는 가열된 물체가 내는 빛의 문제였다. 물체를 가열하면 처음에는 붉은 빛을 내다가 점차 노랑, 파랑, 보라빛으로 바뀌어간다. 온도가 높아갈수록 짧은 파장의 빛이 주로 나기 때문이다. 그런데 온도에 따른 에너지의 분포 모습은 당시의 물리학이론으로는 도저히 설명할 수가 없는 것이었다. 도매체 빛이 파동이라는 이론 자체가 옳지 않은 듯 보일 지경이었다.

이 문제에 대한 해결책으로 독일의 플랑크(Max Planck, 1858-1947)는 1900년 기발한 생각을 해냈다. 그때까지 에너지란 무한히 작은 양이 연속적으로 방출되고 흡수될 수 있다고 생각되었으나, 실은 에너지도 원자처럼 일정한 단위로 뭉쳐서만 흡수되고 방사되는 것일거라는

생각이었다. 이 경우 에너지의 덩어리를 플랑크는 量子(quantum)라 불렀고, 양자의 에너지는 방사선의 진동수에 비례한다는 것이다. 물질이 더 나눌 수 없는 알맹이를 단위로하고 있듯이 에너지도 어떤 단위량을 가지고 전달된다는 생각이다. 이 경우 에너지의 단위량은 $h\nu$ (h 는 플랑크常数, ν 는 진동수)가 된다. 따라서 낮은 온도에서는 적은 양자에너지를 가진 파란빛 등이 난다는 것이다.

40세가 넘는 베를린대학교수의 이와같은 주장이 즉각 학자들의 동조를 얻지 못했다. 물질이 不連続상태로 존재하듯이 에너지도 불연속상태로 전파된다는 量子說은 1905년 아인슈타인(Albert Einstein, 1879-1955)이 光電효과를 양자설로 설명하는데 성공함으로써 널리 그 가치를 인정받게 되었다. 아인슈타인에 의해 나타난 光量子(photon)란 개념은 종래의 파동설로는 설명할 수 없던 빛의 전자 방출 현상을 훌륭히 설명해 주었다. 이제 부정되었던 뉴턴의 光粒子說은 다시 光量子의 개념으로 부활한 셈이다. 그래서 빛은 입자이면서 파동이라는 서로 모순되는 듯한 성격을 함께 가지고 있는 것으로 파악되게 되었다.

原子的 모델

원자보다 더 작은 세계에 대한 量子가설은 1913년부터는 원자의 모델을 구성하는데도 원용되기 시작했다. 그에 앞서 전자를 발견한 제이·제이·톰슨은 이미 1904년까지에는 그럴듯한 원자모형을 만들어 보았다. 그는 원자의 무게는 아무리 가벼운 것도 전자보다는 거의 2천배나 무겁다는 것을 알고 있었다. 그렇다면 원자란 전자가 2천개쯤 뭉쳐진 것이 아닐까 그는 생각했다. 아직 전자 이외에는 원자속에 무엇이 더 있는지 알지 못하던 그는 2천개의 전자가 둥근 플러스전기의 공돌레에 달려 붙어있는 것이 수소원자라고 생각한 것이다. 1911년 라더포드는 실험 결과 원자에는 核(nucleus)이 있어 대부분의 질량은 이 핵에 집중돼 있음을 밝혀냈다. 따라서 원자란 마치 태양계처럼 플

러스전기의 원자핵 돌레를 여러개의 전자가 돌고 있는 것이라는 결론에 도달한 셈이었다.

만체스터에 있는 라더포드의 연구실은 이미 세계적인 명성을 떨치고 있었고 그의 제자중에는 덴마크의 보어(Niels Bohr, 1885-1962)도 있었다. 보어는 라더포드의 원자핵 개념에다가 그전부터 알려져 있던 수소의 스펙트럼 연구, 그리고 플랑크의 양자론을 종합하여 원자의 모양을 새롭게 상상해 냈다. 라더포드의 원자모델에 가장 큰 난점은 어찌서 전자가 원자핵 돌레를 끊임없이 돌 수 있겠느냐는 의문이었다. 고전역학의 이론에 의하면 플러스 전기를 가진 핵돌레를 마이너스 전기를 가진 전자가 돌면 거기서는 끊임없는 방사선이 방출되어야만 할 것이다. 전자가 갖고 있던 운동에너지를 電子波로 방출해 버린다면 그 전자는 곧 회전할 힘을 잃고 원자핵의 힘에 끌려 핵속에 떨어져 버리고 말 것이다. 맥스웰의 전자장 방정식을 써서 이론적으로 계산해내면 전자는 전자파를 방출하고 1억분의 1초라는 시간안에 핵에 떨어져 버린다는 것이다. 즉 원자란 수명이 1억분의 1초가 되는 셈이며, 그렇다면 모든 원자는 계속하여 존재할 수조차 없겠고, 원자가 없이는 모든 물체는 없어질 것이다.

이러한 라더포드 원자모델의 모순을 보어는 양자가설을 이용하여 구조해 주었다. 그에 의하면 핵돌레를 도는 전자는 궤도를 바꾸지 않는 한 전자파를 방사하여 에너지를 잃음이 없이 계속 움직일 수 있다는 것이다. 왜냐하면 전자파는 그 에너지가 일정한 크기의 量子 덩어리를 이룰때만 방출되기 때문에 전자는 그 궤도를 바꿀 경우에만 방사선을 내보낸다는 것이다. 따라서 원자속의 세계에서는 뉴턴이래의 고전물리학은 성립하지 않는다. 물리학자 진스(James Jeans, 1877-1946)가 말했듯이 h (플랑크 상수)는 비록 작은 값이지만 이 우주를 존속시켜주는 열쇠를 쥐고 있다. 만약 h 가 零이었다면 이 우주의 에너지는 1억분의 1초라는 깜짝도 할 수 없을 순간에 사라져버릴 것이기 때문이다.