

발 표 요 지

1979-80

아인슈타인 탄생 100주년 기념 강연회

1979. 3. 17

아인슈타인과 宇宙論

國立天文台 閔 英 基

宇宙論(cosmology)은 그리스어의 宇宙를 의미하는 kosmos와 論議를 의미하는 logos에서 나온 말로 宇宙 전체의 構造와 進化를 研究하는 科學이다. 人間의 宇宙를 보는 관점은 時代에 따라 변해왔다. 옛날 인도인들은 세계를 네마리의 코끼리 등 위에 선 거대한 거북이의 잔등이라 하였고, 그리스인들은 지구를 거대한 바다 가운데 떠 있는 큰 섬이라 보았다. 후에 사람들은 하늘이 하나의 둥근 천장(dome)이고 별들이 이 천장에 고정되어 있다고 생각하였다.

피타고라스 이후에는 地球에 中心을 둔 여러 개의 等心水晶球가 地球를 둘러싸고 있고 行星은 각각 고유의 수정구에 박혀 있으며 별은 가장 바깥 쪽에 위치한 球에 박혀 있다고 하였다. 이 水晶球의 회전 때문에 行星이 움직이고 또 그 마찰로 하늘의 球의 音樂이 나온다고도 하였다. 프톨레마이오스의 周轉圓(epicycle)시스템이 소개되고 드디어는 코페르니쿠스의 太陽中心說이 나와서 갈릴레오를 거쳐 뉴턴의 萬有引力의 法則이 發表되기에 이르렀다.

뉴턴은 力學과 重力說에 근거를 두고 宇宙를 이해하려고 하였으나 별로 성공을 보지 못했다. 뉴턴은 空間의 曲率이 없는 平面의 幾何인 유클레이데스 幾何學을 사용하여 宇宙의 問題를 다루려고 노력하였다. 뉴턴의 宇宙論에서는 宇宙가 不變의 空間과 時間에 依해서 特定지어진다. 뉴턴은 宇宙는 無限하고 팽창이나 收縮이 일어나지 않는 靜的 宇宙이며 또한 物質은 이러한 무한한 정지우주 내에서 均一하게 분

布되어 있다고 생각했다. 뉴턴의 古典의 宇宙論은 여러가지의 난점을 지니고 있다. 예를 들어 外部 銀河에서 관측되는 빛의 赤色偏移現象 또는 밤하늘도 낮과 같이 밝아야 한다는 올버스의 역설(paradox) 등을 설명할 수 없고 또 物体가 無限한 速度를 가질 수 있다는 등의 모순을 내포하고 있다. 결국 뉴턴의 古典的 宇宙論에서 주장하는 宇宙는 존재할 수 없다는 결론이 된다.

아인슈타인의 特殊 및 일반 상대성理論의 發表로 理論的인 現代宇宙論이 탄생하였고 宇宙論이 眞正한 의미에서의 科學으로 다루어지게 되었다. 특수상대성이론에서 아인슈타인은 時間과 空間을 結合하여 4次元의 時空間을 도입하였고 일반상대론에서 모든 重力現象을 포함시켜 時空間의 幾何는 屈曲을 가지고 있고 物体의 궤도는 이 曲率에 의해서 정해진다고 하였다. 이 曲率은 宇宙에 분포된 모든 物質에 의해서 생기는 것이다. 曲率에 따라 幾何는 세 가지로 분류된다. 유클레이데스의 平面型幾何, 타원형 또는 正曲率의 幾何, 그리고 깔때기와 같은 雙曲面 즉 負曲率의 幾何가 그것이다. 現在 여러 관측 결과에 부합하는 宇宙論은 대부분이 아인슈타인의 理論에 근거를 두고 있다.

宇宙 內에 物質이 存在할 경우 이들 사이에 작용하는 引力 때문에 뉴턴 우주처럼 우주가 無限하지 않고 유한한 것으로 아인슈타인은 생각했다. 그는 또 뉴턴과 같이 宇宙가 靜的이라고 보았다. 1917년 그는 "일반相對性理論에 대한 宇宙論의 考察"이라는 논문을 발표하였다. 그는 일반상대성 이론을 적용하여 정적우주의 모형을 얻으려고 하였으나 실패하고 宇宙常數라 부르는 새로운 常數를 가정하여 자기의 場의 方程式에 첨가시켰다. 이 상수는 반발효과를 나타내는 것으로서 宇宙反撥이라 부른다. 우주의 끝에서는 이 가정적인 우주반발의 효과가 인력과 같을 정도로 크다. 그래서 우주는 붕괴하지 않고 정적인 상태를 유지할 수 있다. 그 결과 공간의 曲率은 時間에 無關하다.

이 우주는 공간 곡률이 陽이고 부피가 有限하며 이

부피 내에 유한한 질량이 들어 있다. 그러나 1929년 허블(Hubble)이 우주팽창을 발견하여 아인슈타인의 우주론이 觀測事實과 맞지 않음이 알려졌다. 아인슈타인은 우주팽창을 예언하지 못하였다.

드 시터(de Sitter)는 아인슈타인의 靜的 宇宙論에서 使用한 方程式에서 다른 종류의 解答을 얻었다. 그것은 物質이나 輻射에너지가 없는 텅텅 빈 宇宙다. 宇宙常數를 使用한 아인슈타인의 場의 方程式은 두 가지의 극단적인 우주 모형을 보여 준다. 즉 物質이 存在함으로써 空間이 形成되는 경우와 物質이 없이도 空間이 形成되는 경우이다.

프리드만(Friedmann)등은 相對論의 宇宙論에 새로운 모형을 개발하였다. 그들은 아인슈타인이 초기에 使用한 方程式(宇宙常數를 가정하지 않은)에서 靜的이 아닌 여러개의 動的 宇宙의 解를 얻게 됨을 알아냈다. 아인슈타인의 靜的宇宙는 특별한 경우에 얻어지는 것이다. 그들은 폐쇄형(closed), 平面型(flat), 개방형(open)의 세가지 우주모형을 구하였다. 이 모든 모형에서 우주는 현재 팽창하고 있다. 이는 허블의 觀測결과와 일치하는 것이다. 이 모형들에서 물질은 감속하는데, 減速率은 폐쇄형 우주에서 가장 크다. 이 세계의 모형 모두가 宇宙創造時에는 無限大의 密度와 溫度를 가지고 出發하였다. 이 초창기의 상태를 원시 불덩이(primeval fireball)라고 부른다. 우주의 나이는 영구하게 팽창하는 개방형에서 가장 많고 폐쇄형에서 가장 적다. 폐쇄형에서는 우주가 어느 極大부피에 이른 후 다시 수축하여 부피가 0으로 된다. 이것을 진동우주(oscillating universe)라고 한다.

그러면 우리가 사는 이 우주는 이 세가지 모형 중에 어느 것에 속할 것인가. 그것은 이 우주의 密度가 얼마나 크냐에 따라서 정할 수 있다. 밀도가 어느 임계밀도(critical mass)보다 크면 物質의 引力 때문에 物質의 팽창속도가 줄어들고 결국에 가서는 우주는 다시 收縮할 것이다. 宇宙는 팽창과 수축을 重複한다. 그러나 밀도가 임계온도보다 작으면 영구히 팽창한다. 계산에 의하면 임계밀도는 $5 \times 10^{-30} \text{ gm/cm}^3$ 이다. 현재 우리가 觀측한 우주의 평균밀도는 이것의 25% 정도밖에 되지 않는다. 그렇다면 우주는 영구하게 팽창할 것인가? 그러나 이 우주에는 아직도 우리가 觀측하지 못한 소위 missing mass가 있는 것으로 생각되어 현재로서는 어떤 결론도 내릴 수 없는 처지이다.

相對論 以後의 物理學

高麗大 物理學科 金 貞 欽

Einstein 恒星年인 1905年—(萬若 이 해를 Einstein 恒星年이라 부를 수 있다면)—은 物理學史上, 그리고 어쩌면 全人類의 思想史上 가장 빛나는 거룩한 革命的인 해였다. 이 해는 당시 不過 26歲였던 젊은 Einstein이 (1) 時空間에 관한 우리의 常識과 概念을 송두리채 바꾸어버린 特殊相對性理論과, (2) 20世紀物理學的의 向方을 完全히 바꾸어버린 또 하나의 支柱인 量子論 形成에 決定的인 礎石의 하나를 이루었던 光量子說, (3) 當時 Ostwald에 의해 그 實在가 否認되고 있던 分子論, 原子論에 實證的인 實거를 박아넣고 原子論에 기틀을 튼튼히 굳히고, 나아가서 現代 統計物理學的의 基礎를 닦아 놓은 揺動現象에 관한 理論을 展開시키으로써 그 후 적어도 100年 間의 物理學 發展에 決定的인 影響을 미친 해였다.

그후 Einstein은 1915년에는 一般相對論을 發表했고, 1917년에는 後에 가서 laser理論의 基礎가 된 誘導輻射에 관한 理論, 1919年 以來 逝去한 1955년까지는 統一場理論 展開에 心血을 기울였다.

Einstein의 위의 理論은 그의 在世時에도 物理學은 勿論이려니와 餘他 科學이나 哲學에까지 커다란 影響을 미쳤고, 物理學 自体 內에서는 相對論의 效果(特殊 및 一般의 두 種類), 量子論, 統計力學 形成에의 緊접이 등 物理學的의 거의 모든 分野에 影響을 미치고 있다. 그러나 本 論文에서는 그가 逝去한 1955年 以後에 限定해서 論하기로 하겠다.

우선 特殊相對性理論에서는 Weinberg가 提唱한 tachyon理論과 Terrell이 發見한 Terrell效果가 각각 1967年 및 1959年에 發表되었다. tachyon이란 眞空속에서의 光速인 $c=303\text{km/s}$ 보다도 더 빠른 速度를 갖는 粒子를 뜻하며, Einstein의 質量·energy公式에 의하면 그 質量은 純虛數가 된다. 質量이 虛數이므로 이 粒子는 正常的인 粒子는 아니다. 그러나

$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

이라는 關係를 통해 에너지關係式을 조사함으로써 그 存在를 밝힐 수 있으리라 예상되고 있다. 그러나 여태껏 tachyon도 實驗의 確認을 못받고 있다.

또 Terrell效果는 1959年 無名의 物理學徒인 Ter-