

# 相對論 以後의 物理學

아인슈타인의 業績과 그 以後의 物理學

(下)

金 貞 欽

<高麗大學校教授>

## §3 特殊相對性理論이 後世에 미친 影響

特殊相對性理論에 關한 재미나는 理論의 또 하나의 發展은 1967年 Feinberg에 依해 提唱된 tachyon의 理論이다. tachyon이란 眞空 속에서의 光速인  $C$ 보다도 더 빠른 粒子를 뜻하며 이 粒子의 質量은 虛數이다. 虛數는 觀測에는 안걸리나  $E^2 = m^2c^4 + c^2p^2$ 이란 公式는 質量이 虛數인 경우에도 使用될 수 있으므로 Energy 關係를 調查함으로써 이 粒子의 存在를 確認할 길은 열려 있다. 그러나 67年 以來의 오랜 實驗的探索에도 不拘하고 여지껏 tachyon은 發見되어 있지 않다. 그러나 萬若 이것이 發見되는 경우 人類는 數萬光年이나 멀리 떨어진 별과도 거의 단숨에 通信할 可能性마저 있어 그 實驗的 確認이 期待되고 있다.

끝으로 또 한 가지 言及해둘 것은 1959年 無名의 物理學徒가 發見한 Terrell 效果이다. 速度로 運動하고 있는 物體는 運動方向으로  $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ 의 率로 줄어들어 보인다는 것이 1905年 Einstein 以來의 見解였다. 例컨데 觀測者에 對해서 直角方向으로 달리는 사람은 Lorentz 收縮의 結果 縮아져서 보일 것이란 것이다. 그러나 Terrell 이 指摘한 바와같이 그것은 잘못이고, 우리 눈에는 이 物體는  $\theta = \sin^{-1} \frac{v}{c}$ 란 角만큼 廻轉(進行方向에서 視線方向쪽을 向해 廻轉)해 보인다는 것이다. 이것은 우리의 눈이 物體를 본다는 것

은 우리 눈에 四方에서 同時에 到着한 光子들의 刺戟으로 이루어진다는 事實에만 注意한다면 쉽게 理解가 된다. 이리하여 特殊相對性理論의 提唱以來 54年間이나 Einstein 自身까지 包含해 모든 物理學者가 멋있게 속아왔던 셈이다.

事實인즉 이 Terrell 效果의 理論的 背景은 Einstein이 誘導해낸 光行差(aberration) 公式 속에 다 들어 있다. 단지 모든 物理學者들이 이 公式를 제대로 理解하려는 努力을 기울였다는 것 뿐이다.

## §4. 量子論

Einstein의 또 하나의 빛나는 業績은 量子論建設에 미친 그의 影響이다. 周知하는 바와 같이 지난 世紀末인 1900年 12월에 發表된 Planck의 量子假說, 即 黑體輻射를 數學的으로 代表하는 單振動子로서의 行動을 하는 電磁氣輻射는 放出 및 吸收될 때 반드시  $E = nh\nu$  ( $h$ 은 Planck 常數인 作用量子) 즉 빛의 振動數를  $\nu$ 라 할 때  $h\nu$ 의 整數( $n$ ) 倍만큼씩 離散的으로만 放出 및 吸收한다는 假定은 發表當時 그리고 그 以後數年間 學問界에서 別다른 關心을 끌지 못했다. 事實은 Planck 自身, 自己가 發見하고 誘導해낸 이 理論 (energy 密度公式 即 輻射分布公式  $U_\nu = \frac{2 \times \nu^2}{c^3} kT$ ) 을 오랫동안 疑心에 찬 눈으로 보았고, 어떻게 하던 離散的 energy 分布가 아닌 連續分布로 가져갈 수 있는가를 궁리했던 증거가 보인다.

그런데 1905年 Einstein은 대담하게도 아무도

돌보지 않는 이 이론의 개념을 더욱擴張하여 그의 光量子說을 提唱했던 것이다. 즉 빛은 放出 및 吸收될 때마다  $h\nu$ 의 整數倍의 energy를 주고 받는 것이 아니라 빛 自體가  $h\nu$ 란 에너지의 덩어리로 構成되어 있는 粒子란 것이다. 이것은 放出·吸收 때만  $E=nh\nu$ 란 制限된 離散的 energy를 갖는다는 Planck의 생각을 進一步시킨 것이다. 특히 이 光量子說은 1887년에 發見된 光電效果의 여러 實驗事實을 明快하게 解明하였다. 한편 波動論에 依하면 光電效果의 여러 實驗事實이 原理적으로 說明不能한 點으로 보아 빛은 光電效果에 關한 限 粒子性을 띠는 結論이 내려 새로운 問題를 惹起시켰던 것이다. 즉 빛은 干涉·廻折·偏光 등의 實驗으로 틀림없는 波動性을 갖는 것이 明白했는데, 그 빛이 粒子性마저 갖는다면 理解하기가 힘들게 된다. 왜냐하면 粒子性의 屬性은 「가두어두기」이고 波動性의 屬性은 「퍼지기」即 「가두어두지 못하기」가 되어 두 性質을 단 하나의 빛에 同時에 要求하기가 論理的으로 모순되기 때문이다.

어쨌든 이 光量子說과 Planck의 量子假說이 土臺가 되어 오늘날의 量子力學이 25年間の 歲月과 여러 偉大한 科學者들의 오랜 暗中摸索을 통해 겨우 1925~26년에 完成되었다는 것은 여러분도 다 아는 바라 생각된다.

Einstein은 1905년의 光量子說에 이어 1907년에는 그의 有名한 固體比熱公式를 유도해내어 Planck의 量子假說 및 그 自身の 光量子說이 옳다는 또 하나의 證據를 보였다. 이 論文은 Nernst의 注意를 끌었다. Nernst(熱力學 第3法則의 發見者)는 Einstein의 理論과 思考法을 크게 信賴하고 그 理論을 普及하려 하던 차 Belguim의 工業家인 Solvey의 出資로 物理學의 國際會議를 組織할 것을 委託받아 이 會議의 中心 theme을 「輻射 및 量子論」으로 決定하고 1911年 10月 30일부터 5日間 第1回 會議를 召集했다.

재미나케도 이 會議에서 Planck는 오히려 Einstein의 光量子說을 拒否하는 保守의 立場에 섰다. 그는 그 自身이 發見한 量子란 概念을 그때까지의 傳統的 物理學과 兩立시키려고 努力했기 때문이다.

相對性理論이 提唱되었을 때 Planck는 누구보다도 앞장서서 그 普及에 힘썼다. 그런데 그 自身の 量子論에서는 世上의 아무도 注目하지 않았던 Planck 理論에 Einstein은 革命的 意義를 發見하고 사람들에게 그 有用性을 提示했다. 이 두 사람은 모두가 眞理를 잃어 내는테는 天才였다. 그러나 Planck 쪽이 Einstein 보다는 더 保守의 이였다.

事實은 위에 가서 Einstein도 自己 自身이 걸러낸 量子論의 認識論的 解釋에 反旗를 들었다. 歷史는 恒常 ironical한 것이다.

第1回 Solvey 會議後 이 會議는 每年 召集되어 量子論 發展에 커다란 貢獻을 하였다.

## § 5. 一般相對論

特殊相對論이나 光量子論 以上으로 Einstein을 더욱 더 有名하게 만든 것은 一般相對性理論이다. 1915년에 完成시킨 이 理論은 特殊相對性理論보다도 時空間에 대한 概念에 더 큰 革命을 우리들에게 要求하였다.

Einstein에 依하면 物質이 存在하는 時空間은 휘게 되고, 이 휨으로 因하여 重力 또는 萬有引力의 場이 생긴다는 것이다. 즉 時空間은 그 自體만의 存在는 아니며 빛이나 物質의 存在에 依해서 規制되며 反對로 物質이나 힘은 時空間의 幾何學과 聯關됨으로써 그 存在가 明白해진다는 것이다.

그러나 一般相對性理論은 wheeler의 말과같이 「理論家에게는 樂園이요, 實驗家에게는 地獄」이였다. 勿論 一般相對論은 發表當時 水星의 近日點移動(100年間 5600秒中 Newton 力學으로 說明되는 5557秒를 除外한 나머지 43秒) 問題, 太陽 周邊을 지나는 빛의 進路의 屈曲(1.75秒) 등 實驗의으로 確認(빛의 進路屈曲 1919年)된 것도 있으나 나머지 效果는 너무도 작아서 거의 半世紀 동안이나 實驗이 困難하였다.

그러다가 1960年代에 들어와서야 天文學·物理學에 關한 여러 가지 새로운 實驗事實과 理論 및 實驗技術의 發達로 一般相對論의 研究는 갑자기 活潑하여져 그 前에는 1년에 기껏해야 數

篇정도였던 論文이 現在는 年産 600~700篇에 이르고 있을 정도이다.

또 1937년에 Oppenheimer와 그 弟子인 Volkoff는 一般相對論의 한 結論으로서 한 없는 重力收縮에 依해 작브러진 超高密度(물의 密度的 2兆倍의 萬倍 以上)狀態인 Black Hole의 存在를 豫言하였는데 最近들어 이런 Black Hole이 적어도 몇 個가 存在해 있듯이 보이는 間接的 證據가 觀測되어 있다.

## § 6. 統一場理論

Einstein은 또 1919年以來 1955年 逝去할 때까지 Weyl, Kaluza, Hoffmann 등등과 協力 또는 競爭해서 電磁氣場을 다루는 特殊相對論과 重力을 다루는 一般相對論을 統合하는 統一場理論을 研究해 왔는데 이 理論은 形式的으로 部分的인 成功은 했으나 아직도 그 完成은 요원한 것 같다.

統一場理論은 그후 더욱더 擴張되어 電磁氣力 重力의 둘을 統合한 뿐만 아니라, 이 以外에 原子核力과 같은 強力(重粒子나 中間子間에 作用하는 힘), 核의  $\beta$ 崩壞 때 作用하는 弱力까지도 包含하는 더 一般的인 統一場理論을 構成해 보자는 努力으로 擴大되었다. 이것을 比喻를 들어 說明하자면 蹴球·아이스하키·테니스·野球 및 將棋의 5가지 game에 共通하게 使用될 수 있는 規則을 만드는 것과도 같다. 아시다시피 이들 game은 그것을 展開할 表面(競技場 또는 棋面)이 다르고, 競技의 팀 構成이 다르고, 道具도 제각기 다르다. 그러면서도 이들 全體에 共通된 法則, 競技規則을 만든다는 것은 쉬운 일은 아니다. 勿論 이 모든 game은 서로 두 패로 갈라져 勝負를 결정한다는 共通된 點은 있기는 하다

1967~68년에 들어와 Steven Weinberg와 Abdur Salam의 두 사람은 위의 네 가지 힘中 우선 弱力과 電磁氣力을 統合하는 理論을 세웠고, 이 理論은 昨年까지 實驗的으로도 거의 確實하다는 것이 證明이 되어, Einstein의 本來의 統一場理論과 다른 意味의 統一場理論이 部分的으로 成

功을 거둔 셈이다.

素粒子 物理學者들은 계속해서 Weinberg-Salam의 理論과 強力을 統一하는 새로운 試圖를 展開하고 있는데 現在 相當한 進척을 보이고 있다. 그러나 아직까지는 重力과의 統合은 머나먼 旅程인 것 같이 생각된다.

## § 7. 其他의業績(統計力學部門)

Einstein의 또하나의 功績分野는 統計力學部門이다. 이미 1905년에 發表된 Brown運動에 關한 論文이 그 시작이다. 이 論文은 分子論의 立場에서 分子의 熱運動에 依한 巨大物體(花粉 自體는 우리 肉眼에는 매우 작으나 分子立場에서는 매우 큼)의 不規則的인 Zig Zag 運動을 觀測함으로써 分子나 原子의 存在를 確證했다는 點에서 우선 매우 重要하다. 事實 當子原子論이나 分子論은 energetics를 主張하는 Ostwald 一派에 의해서 困境에 빠져 있었다. 即 原子나 分子는 그 存在를 알아낼 實驗的 方法이 없는 以上 存在할 수 없다는 것이다. 그러나 Einstein의 論文에 依해 그 實驗的 確證이 Brown 運動의 觀測으로 可能해졌고, 후에는 이 理論에 依해 Avogadro. 數까지도 計算될 수 있게되자 Ostwald는 聲名書까지 내서 自己의 잘못을 밝혔다는 有名な 이야기마저 있다.

어쨌든 流動(fluctuation) 現象을 統計力學的으로 다룬 이 論文은 앞서 말한 바와 같이 特殊相對論이나 光量子說에 關한 論文만큼이나 重要하고 또 무게 있는 論文이라 評價되고 있다.

1917年 Einstein은 誘導輻射의 轉移確率에 關한 論文에서 Planck의 輻射公式을 全然 色다른 方法으로 誘導해 내는데 成功했다. 이 理論은 오늘날 여러 方面에 應用되고 있는 laser 理論의 基礎가 되어 있다.

또 1924년에는 Bose-Einstein 統計라는 새로운 量子統計의 한 分野를 完成시켜 統計力學方面에도 1905年以來 繼續 活躍을 했다. Einstein의 粘度公式 등등은 이런 統計力學에서 그가 이루어 놓은 業績의 한 部分이다.