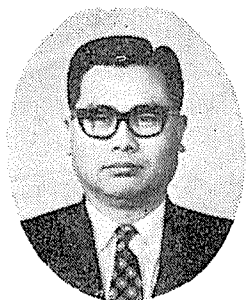


第12次 宇宙線 國際會議 參席報告



〈Reports of the 12th International Conference on Cosmic Rays, 1971, Hobart〉

高麗大學校 理工大學 物理學科 教授 理學博士 金 鍾 五

1. 緒 論

第12次 宇宙線 國際會議(1971年度)는 호주 타스마니아州 호바트市에서 10日間(8月 16日—8月 25日) 開催되었다. 22個國에서 221名의 代表들이 모여서 宇宙線物理學 및 關聯된 分野에 關한 研究論文과 招請講演이 있었는데 그 論文數가 400편이 넘는 大盛況을 이루었다. 隔年으로 開催되는 이 國際會議는, 이번에는 호주 自然科學 學術院(Australian Academy of Science)과 타스마니아大學校(University of Tasmania)의 後援을 얻어서 IUPAP(International Union of Pure and Applied Physics)의 宇宙線分科委員會의 主催로 열렸다. 1970年度부터 韓國物理學會도 이 IUPAP의 會員이 된 것이다. 筆者가 所屬한 高麗大學校의 宇宙線物理學研究室에서는 다음 2편의 論文:

(a) C. O. Kim and K. S. Sim, "Power-Law Energy Spectrum Deduced from the Angular Distribution of Secondary Particles Produced in High-Energy Nuclear Interactions of 20 to 10^3 GeV", Paper HE-45, *International Conference on Cosmic Ray's Hobart, 1971, Conference Papers*(University of Tasmania), 3, 1255.

(b) K. A. Choi and C. O. Kim, "Study of the Charge Spectrum of Cosmic-Ray Nuclei", Paper OG-67, *ibid.* 1, 235.

을 發表하였다.

타스마니아大學校物理學科에서 會議도 開催되

기 以前에, 미리 發表할 論文을 整理해서 6卷의 Conference Papers(vol. I—VI) 형태로 準備해서 各代表들에게 配布했었다. 各代表의 우편함을 準備하고 여러 가지 觀光의 機會를 마련하고 宿所를 定해 주는 일 등을 보았을때 많은 細心한 努力과 熱誠으로 일했음을 엿볼 수 있었다.

全地球 上的의 宇宙線의 研究그룹들이 지나간 2年間의 새 研究成果를 報告하는 이 國際會議에서, 또 몇분의 代表의이고 專門的인 權威者에 의해서 選定된 分野에서 두드러진 學術的인 進歩狀況과 發見 및 그 意義가 解說되며 敷衍되는 rapporteur papers도 發表했었다. 筆者로서는 1967年에 美國에서 돌아온 以來 오래간만에 宇宙線研究의 여러 分野에 걸친 綜合的인 工夫를 할 수 있었던 機會가 됐었다.

二十世紀 後半은 宇宙科學의 全盛時代라고 해도 過言이 아니다. 17世紀初에 「갈릴레오」가 光學望遠鏡을 使用해서 近代의인 天文學의 發展이 始作된 以來 가장 革命的인 宇宙科學의 時代가 온 것이다. 지금까지는 大氣의 最下深部인 地上에서 하늘을 觀測해 왔으나. 이제는 人工衛星을 利用해서 地球의 大氣圈 밖에서 달 表面에서 衛星空間에서 宇宙를 觀測할 수 있게 된 것이다. 또 宇宙科學은 光學望遠鏡이라는 手段을 通해 可視光만에 依存해 왔던 것을 脫皮해서 X線, 감마線, 電波 等の 넓은 波長의 領域에 걸쳐 電磁波의 形態로 地球上에 들어 오는 「시그널(signal)」을 通해서 宇宙의 얼굴을 볼 수 있게 됐고, 더욱이 宇宙線이라는, 大部分이 荷電粒子인 原子核의 入射成分을 研究하므로써 大宇宙의 참모습을 알 수 있게 된 것이다.



本稿의 構成은 다음의 第2章에서는 이 機會에 簡單히 宇宙線에 關한 知識의 現況을 說明하겠으며 第3章에서는 1971年度 宇宙線 國際會議에서 報告되고 討議된 主要成果를 高에너지 核反應研究, 巨大한 空氣샤워 (Extensive air showers), 一次宇宙線의 元素 및 同位元素 存在比 測定結果, X線 및 伽마線 天文學, 太陽電波에 關한 새로운 研究, 其他의 順으로 大概筆者의 興味의 多少順으로 이번 國際會議에서 見聞한 面만을 中心으로 紹介하겠다.

2. 宇宙線 物理學의 現況

宇宙線은 地球 밖에서 들어 오는 強力한 放射線을 말한다. 宇宙線이라는 형태로 地球에 쏟아져 들어 오는 에너지의 總流入量은, 별에서 오는 빛의 형태로 들어 오는 에너지의 流入量과 거의 같다. 宇宙線은 1913년에 헤스(Hess)에 의해 발견되었으며, 그 후 많은 研究를 통해서 一次宇宙線의 大部分이 高에너지의 原子核으로 되어 있다는 것이 알려진 것이다. 極小部分(~1%)의 次成分이 電子나 伽마線도 包含하고 있는 것이다. 그러나 地上에서 觀測할 때에는 一次宇宙線이 약 1000(gm/cm²) 두께의 大氣中을 透過해 온 途中에서 보는 것이라 벌써 一次宇宙線은 볼 수 없다. 空氣를 構成하는 酸素와 窒素 등의 原

子核과 衝突한 結果로 變貌하기 때문인 것이다. 宇宙線研究가 大氣圈 밖에 나가서 行해져야 할 緣由가 여기에 있는 것이다. 人工衛星이나 「플라스틱」 氣球에 計測器를 실어서 自由롭게 大氣圈을 벗어나게 할 수 있게 해서 그 研究의 劃期的인 發展을 보게 된 것이다. 勿論 地上에서도 많은 研究를 하고 있음을 否定한 것은 아니다.

宇宙線의 研究에는 目的에 따라서 크게 두가지 分野로 나눌 수 있다.

첫째는 天文學的인 或은 宇宙論的인 興味를 가지고 宇宙線의 發生處이며, 그 始源에서의 加速法, 銀河間이나 星間空間에서의 遍歷過程을 研究하려는 것이다.

둘째는 宇宙線의 一次成分 中에는 高에너지의 原子核이 包含돼 있으니 이 宇宙線을 利用하여 그것이 일으키는 高에너지의 原子核 反應을 研究하는 것이다.

알루미늄의 原子核인 一次宇宙線은 水素의 原子核인 陽性자가 제일 많이 들어 있고, 그 나머지는 알파粒子(Z=2) 또는 그 보다도 더 큰 電荷(Z>2)를 가진 무거운 原子核으로 돼 있다.

이 事實이 처음으로 알려지기 始作한것은 1948年 頃이었다. 結局 宇宙線으로 化學的인 元素의 存在比를 測定할 수 있었다. 特히 宇宙線의 始源에서 發生할 當時의 化學的인 元素의 存在比는 宇宙空間을 거쳐서 地球까지 오는 途中 또 太陽空間을 거치는 동안 進路修正을 받은 다음 달라졌을 것이다. 왜냐하면 宇宙의 星間空間에 차 있는 水素 같은 原子核과 衝突해서 부스러져서 무거운 原子核이 조각이 날 可能性이 있게 된 것이기 때문이다. 또 우리가 觀測할 때에는 다시 空氣가 남았거나 計測器의 壁을 통해서 들어 오니 우리가 가장 興味가 있는 宇宙線의 始源에서의 元素存在比를 알려고 한다면 慎重한 實驗과 細心한 解釋을 해야 한다.

研究의 結果는 一次宇宙線에서 測定한 元素의 存在比는 宇宙를 構成하는 元素의 平均의 存在比와 거의 같다고 알려졌다. 宇宙의 元素의 平均存在比는 地上에서의 岩石 分析·星光스펙트럼 研究·隕石 分析·其他 方法에 의해서 알려진 것이다. 宇宙線 內의 元素存在比는 처음부터

原子核乾板을 利用했었다. 宇宙線을 寫眞乾板 안에 飛跡을 남기게 해서 研究했었다. 이 顯微鏡을 통해서 入射宇宙線의 飛跡에 對한 에너지 測定과 「델타」線의 測定으로 粒子의 電荷 Z 를 測定할 수 있는 것이다. 우리 研究구름에서 試圖한 바도 이 力法의 實驗이어서 위에서 말한 우리구름의 發表論文 (b)가 이러한 實驗인 것이다.

그러나 宇宙線 中の 平均元素의 存在比는 宇宙의 平均存在比에 比할 때 다음 두 가지 點에서 다르다. 즉 (i) 原子番號 Z 가 10보다 더 큰 무거운 元素가 約 十倍나 더 存在한다. 특히 鐵의 原子核 (Fe^{56})이 풍부하다. (ii) 리튬(Li), 베릴륨(Be), 붕소(B)가 많이 存在한다. 이러한 두 事實에 根據를 두고 우리는 宇宙線의 始源과 그 遍歷過程에 關해서 單純한 模型을 가지고 理解할 수 있다. 星體 內에서 元素가 만들어지는데, 이 原子核合成過程에서 鐵元素의 原子核은 特殊한 位置에 있는 것이다⁽¹⁾. 原子核의 核子當의 結合에너지를 따져 볼 때에 鐵이 極大가 된다는 것이다. 즉 原子核 中에서 가장 安定된 核이 鐵核이라는 것이다.

이래서 宇宙線의 始源을 鐵核이 많은 老年期에 들어선 恒星體에서 찾게 되는 것이다. 계星雲 같은 超新星의 爆發等 一連의 核合成過程의 最終段階에서 大部分의 宇宙線이 생긴다고 推測하는 根據가 된다. 始源地에서 무거운 原子核이 比較的 많은 星體에서 發生한 一次宇宙線이 星間空間을 거쳐서 긴 旅程을 지나 地球에 到達하는 동안 星間物質과 衝突해서 炭素보다 무거운 原子核들이 부스러져서 그 조각이 리튬·베릴륨·붕소 같은 원소의 原子核이 됐다고 생각해서 (iii)가 說明된다. (이런 原子核은 恒星 內部에서는 파괴 당하기가 쉬워서 存在할 수가 없으니 始源地에서의 一次宇宙線中에는 없거나 겨우 宇宙 平均元素의 存在比와 같다고 풀이하는 것이다.) 이러한 理由에서 다른 觀測에서 알아낸 星間水素의 平均量을 基礎로 해서, 地球 밖에서의 리튬·베릴륨·붕소의 流入量을 測定한 데이터로부터 宇宙線이 發生해서 地球까지 오는 동안 거쳐 온 水素의 量을 알게 된다. 또 그것에 所要되는 平均壽命도 짐작할 수 있다.

同位元素 (H^2 , H^3 , He^3 , He^4)의 存在比의 測定도 그 實驗이 어렵지만 結果는 亦是 이 거쳐 온 水素의 量 $M(gm/cm^2)$ 를 주게 된다. 特히 人工 衛星에 실어서 ($dE/dx-E$) 關係를 알려주는 粒子計測器의 論理(logic)를 써서, 많은 研究가 電子工學的인 邊速性을 가지고 行해져서 이 方面의 研究에 活氣를 주게 된다. 從前의 原子核乾板만을 使用했던 方法보다 한 자리가 더 많은 데이터도 주어서 定量的인 確固한 實驗으로 배가고 있는 것이다. 더욱이 最近에는 「플라스틱」이나 結晶面에 무거운 原子核의 飛跡이 홈(etching)으로 남는 事實에서 극히 높은 原子番號를 가진 原子核 ($Z \sim 82$)의 存在比도 定量的으로 決定돼가고 있는 實情이다.

같은 一次宇宙線의, 星間空間의 거쳐 온, 水素量의 두께 M 는 宇宙線一次成分 中에 微量 섞여 있는 電子成分의 陽陰의 電荷測定에서도 얻어진다. 陽의 電荷를 가진 陽電子는 自然에서는 存在하지 않는다고 볼 수 있다. 거의 모두가 陽의 電荷를 가진 「뮤」중간자의 붕괴(崩壞)에서 온다고 볼 수 있다. 또 이 陽「뮤」중간자는 陽의 「파이」중간자로부터 붕괴해서 온다. 卽 이 陰陽의 電子의 存在比率를 測定하면, 仔細한 模型을 써서, 宇宙線의 遍歷旅程의 두께 M 과 그 壽命을 알게 된다. 宇宙線은 이 모든 研究에서

$$M \approx 4 \text{ gm/cm}^2 \quad (1)$$

의 物質을 透過한 後에 地球 大氣 上空까지 온다고 實驗의 結果에서 決定됐다.

宇宙線 分科 中에서 X線天文學과 감마線天文學은 1962년에 點 X線源이 發見된 以來, 그 年輪은 얼마 안되지만, 發展템포와 그들이 宇宙科學에서 차지하는 重要性은 極히 크다. 에너지가 1 KeV~100 KeV 程度의 光子를 다루는 쪽이 X線天文學이고 1 MeV (= 10^6 eV) 以上の 高에너지 光子를 檢出 觀察하는 學問이 감마線天文學이다. 筆者가 「라디오天文學과 X線天文學」이라는 節을 통해서 本誌에 1968년에 若干 紹介했지만⁽²⁾, 지금은 電波天文學과 雙璧을 이루어 發展해 나가고 있으며, 항상 가장 놀라운 뉴스거리

(1) 金鍾五, 新東亞 1969年7月號 p.308.

(2) 金鍾五 과학과 기술 第1卷第4號 p.47(1968)

로 新聞紙上을 떠들석하게 만드는 分野이기도 한 것이다⁽³⁾. 宇宙空間에서 X線이나 감마線이라는 電磁波가 發生한 機構는 몇 가지 있다. 高溫 「플라즈마」에서 나오며, 電子의 制動輻射(Bremsstrahlung), 電子가 磁場 안에 共存해서 運動하며 나오는 싱크로트론輻射(synchrotron radiation), 反「콤프톤」효과(anti-Compton Effect) 및 黑體輻射를 들 수 있다. 에너지 스펙트럼을 測定해 보면 어떤 過程이 가장 그 星體에서 優勢한 X線이나 감마線的 發生機構인가 알 수 있다. 「싱크로트론」輻射에서는 冪數法則으로 스펙트럼이 記述되며, 熱的인 輻射에서는 指數函數的으로 나타나는 것이다. 또 實驗方法은, 各各 人工衛星·로켓·氣球에 실는 세 가지가 있다. 人工衛星에 의한 X線星의 觀察은 半年 乃至는 1年 以上の 期間을 통해서 같은 計器로 行할 수 있는 利點이 있으나 重量의 制限을 받는다. 로켓에 依한 觀測은 約 100分이어서 強度가 比較的 큰 1~10 KeV 領域의 X線觀測에 適合하다. 氣球을 使用한 觀測은 50 乃至는 100時間 測定해서 20 KeV 以上の X線을 測定하기에 알맞다. 後者의 2 方法은 서로 競爭하다느니 보다 오히려 서로 補完한다는 位置에 있는 것이다. X線의 흩어진 背後強度(diffuse back ground)의 測定이 되며, 點 X線源이 50餘個나 發見되어 그 位置를 알리게 되어 있는 것이 實情이다. 또 點 X線源에서의 強度의 時間的인 變化가 系統的으로 研究되어 X線「펄서(pulsar)」의 研究가 完成되어 가고 있다. 強한 X線을 한동안(數箇月) 強力히 냈다가 곧 자취도 없이 사라지는 X線新星의 存在도 알려진 것이다. 美國의 MIT 그룹, NRL 그룹과 日本·蘇聯·印度의 宇宙線 物理學者들의 努力을 높이 사야할 分野이다. X線星의 大部分은 우리 太陽系가 屬하는 銀河系(Milky Way)內에 있으며 그나마도 銀河 中心部에 集中돼 있다.

X線天文學의 觀測은 特히 中性子星(neutron stars)나 검은 구멍(black holes)이라는 壓縮된 狀態의 天體의 存在와 連關이 있다고 본다. 「펄서」와 X線星과도 깊은 聯關이 있는 것으로 推理된다. 中性子星은 最近 詳細히 論議된 바와

같이 直徑이 10 km 정도의 高密度(10^{15} gm/cc)의 中性子の 流體를 말한다. ⁽⁴⁾ 超新星(supernova)의 爆發 等으로 星體가 收縮崩壞할 때에, 中性子星이 생기는데 이 中性子星은 元來의 星體가 가지고 있던 角運動의 一部를 保存해서 高速度로 回轉하고 있다고 생각된다. 또 收縮할 때에 元來의 星體의 磁場도 凍結해서 $10^{12} \sim 10^{14}$ 가우스나되는 極히 強한 磁場을 가지고 있다고 생각된다. 이 強한 磁場 때문에, 中性子星은 그 周圍에 「플라즈마」를 固定시킨채 高速으로 回轉한다고 본다. 즉 이 中性子星의 磁氣圈 「플라즈마」의 切線方向의 速度가 光速 C에 가까워진다. Gold는 이와 같은 半徑(velocity-of-light-circle)에서 粒子의 加速이 일어 난다고 생각했다. 이 半徑은 계성운의 경우 $10^8 \sim 10^9$ cm가 된다. 너무 單純한 「모델」같이 들릴테지만, 이런 式으로 高速으로 回轉하고 있고 또 強한 磁場을 가지고 있는 天體의 둘레에서, 粒子의 加速이 일어 나서, 角運動의 에너지는 極히 能率 좋게 荷電粒子나 「플라즈마」에 준다고 생각한 것에 矛盾은 없게 보인다. 이렇게 해서 宇宙線이 加速되어 나오고 또 加速된 電子가 電磁波를 낸다고 보는 것이다.

宇宙線研究의 둘째 分野는 高에너지의 1次成分을 粒子源으로 보고 이들이 大氣中에서나 計測器 内部에서 일으키는 原子核反應을 研究하는 것이다. 이 方面의 研究現況에 對한 解説은 筆者가 1968년에 「새물리」誌에 실린 것을 보면 도움이 될 것이다⁽⁴⁾. 宇宙線研究는 1930年代 以來 항상 이러한 方面의 研究에서 粒子物理學의 先導者의인 걸잡이를 해왔던 것이다.

超高에너지 ($10 \geq E_p \geq 10^8$ GeV; E_p 는 一次宇宙線의 에너지)의 核子の 에너지스펙트럼은

$$N(E_p) dE_p = \frac{No}{E_p^2} \frac{dE_p}{E_p} \quad (\text{m}^2 \text{ sec. Sr})^{-1} \quad (2)$$

$$\sigma = 1.67 \pm 0.03 \text{ No} = 22, 400$$

이라고 實驗的으로 알려졌다. ⁽⁴⁾ 式(2)은 높은 에너지를 가지는 宇宙線일수록 그 入射頻度가 현저히 작아진다는 것을 말하고 있다. 지금 人工粒子加速器에 依해서 加速된 陽性子線이 最高로 $\sim 10^{11}$ eV (= ~ 100 GeV) 以上이 됐으니,

(3) 早川幸男(Satio Haya kawa) 科學, 36, 634(1966); 39, 454(1969).

(4) 金鍾五 새물리 8, 21(1968)

1次宇宙線을 利用한 超高에너지의 核反應研究은 더욱 높은 에너지領域으로 前進해 나가야 할 運命에 處해있다. 宇宙線이란 粒子線源은 入射頻度가 적고, 方向을 마음대로 돌릴 수도 없고, 粒子의 純度도 좋지 못하며, 또 그 1次宇宙線의 에너지도 알지 못한다는 不利한 條件이 있기 때문이다. 그래서 宇宙線의 研究方法 自體가 더욱 巧妙한 裝置와 方法을 利用해야만 研究의 生命維持가 可能하니 研究의 規模와 研究費의 單位研究當의 所要額數도 커지는 것이다. 그러나 Dyson 같은 有名한 物理學者도 멀지 않은 將來에는 人工粒子加速器의 能量을 伸張하려면 投資金額의 限度가 올테이니 宇宙線을 利用한 超高 에너지의 原子核反應에 關한 研究은 오랜 將來까지 繼續될 것이라 내다 보고 있다.⁽⁵⁾

그러나 그동안 $\sim 10^{11}$ eV $\sim 10^{13}$ eV 領域의 宇宙線을 觀測했던, 안개함과 總吸收칼로리메터를 使用하였던 實驗技術⁽⁴⁾은 粒子의 入射頻度の 測定·總反應斷面積의 測定 등에서 많은 貢獻을 해왔으나 그 時代의 終末이, 美國 國立粒子加速器研究所(National Accelerator Laboratory)의 500 GeV 加速器와 CERN(歐洲原子核物理共同研究센터)의 ISR(Intersecting Storage Rings)의 完成으로, 오게 된 것 같았다. 아직도 人工衛星「프로톤」I—IV 號까지 보내서 실험한 것도 이 方法을 利用한 것이었다.

또 原子核乾板몽치와 乾板函을 利用한 實驗이 꾸준히 遂行되어 왔다.⁽⁴⁾ 특히 乾板函實驗은 飛行機에 싣거나 高山에 裝置해서, 高에너지의 감마線群을 「카스케드 샤워(cascade showers)를 利用해서 檢出해 내는데, 감마線 群의 에너지와 그 個個의 감마線의 密集狀態에서 여러 規則性을 찾아 내고 있다. 日本과 蘇聯의 科學者들은 H 量子(그 質量이 約 3 GeV) 등의 發生觀測을 끈질기게 되풀이 主張하고 있다.⁽⁶⁾

이 方面의 研究의 主役은 아무래도 巨大한 空氣 샤워(Extensive air showers)의 觀測에 있다. 大氣 上空 約 數 km에서 發生한 超高에너지

의 原子核反應을 地上에서 數 또는 數十平方 km에 걸친 넓은 面積 위에 電離檢出器를 羅列해 놓고 同時觀測을 하는 것이다. 이 實驗에서는 核反應 自體의 研究도 重要하거니와, 同時에 그 에너지 스펙트럼과 入射粒子의 最高에너지를 가진 原子核反應의 크기의 上限을 찾고 또 宇宙線의 入射方向의 非均齊性의 有無 如何를 定하라는 宇宙物理學의 面도 兼하고 있다. 이 에너지의 上限에서, 宇宙線이 우리 銀河系 內에서 發生하고 貯藏되는 것인지, 또 銀河 사이를 왔다 갔다 하는지를 알 수 있다. 現在 우리가 믿고 있는 銀河系 內의 空間에서의 平均磁場이 10^{-6} (百萬分의一) 가우스 程度라면, 이런 弱한 磁場은 10^{21} eV 以上の 能量을 가진 陽性子를 그 안에 휘어서 貯藏할 수가 없게 되는 것이다. 即 이런 粒子가 많다면, 宇宙線中의 적어도 高에너지 部分은 우리 銀河系 外에서 들어 온다는 얘기가 되는 것이다. 現在 檢出됐다고 報告된 粒子의 最高에너지는 $\sim 10^{20}$ eV의 程度이다. 그 밖에 空氣샤워 核心(core)의 構造에 對한 研究며, 橫位運動量이 큰 核反應이 超高에너지의 原子核反應이 있나 없나를 알고자 하는 實驗하며 에너지 스펙트럼의 極限的인 10^{19} eV $\sim 10^{20}$ eV에서 1次成分이 陽性子인지 무거운 原子核인지 알고 싶어하는 實驗이며, 에너지 스펙트럼의 冪數가 $\sim 10^{16}$ eV 以上에서 커진다는가 하는 實驗이며 여러가지 話題가 쌓여 있다.

其他 太陽에서 太陽風의 一部로서 나오는 太陽「宇宙線」이며 太陽活動의 十一年「싸이클(cycle)」에 依한 宇宙線 強度의 變化며 一時的인 太陽表面에서 야기된 不安定한 狀態에서 地上에 미치는 宇宙線強度의 變化며 地磁氣에 依한 宇宙線粒子의 入射強度에 關한 變化며, 仔細히 알아 갈수록 宇宙線 現象에 對한 疑問點은 더 많아지고 있는 實情이다.

3. 1971年度 宇宙線 國際會議에서 報告된 主要成果

8月 16日 月曜日 午前 9時에 타스마니아 州知事의 開會宣言으로 國際會議은 始作되었으며, 이번 會議議長 J. G. Wilson 教授의 얘기도 한 걸 재미있어 代表들을 웃기게 했었다. 그 날은

(5) F. J. Dyson, *Physics Today*, 23, 23(1970).

(6) 藤本陽 (Yoichi Fujimoto). 柴田徹(Toru Shibata), 科學 40, 58(1970)

(7) M. Holder *et al.*, *Physics Letters*, 35B, 355(1971)

太陽의 磁場에 關한 R. G. Giovanelli 博士의 招請講演과, G. Cocconi 教授의 “CERN의 ISR의 처음 一箇月間에 걸친 作動結果”라는 特別講演이 있는 뒤에 午後는 全代表들이 各自 自由時間을 가지며 Conference papers도 읽었다.

8月 17日부터 始作되었던 本格的인 國際會議는 다음 일곱 部類의 話題로 細分해서 進行되었다. 卽

(i) 起源과 銀河의인 現象 이 部類에는 高에너지의 陽性子 및 原子核, 電子, X線의 研究가 包含했으며, 電波天文學이며 다른 天文學의인 話題도 여기에 所屬되었다.

(ii) 太陽粒子和 光子 또한 太陽에서 附隨해서 나오는 電波 및 磁場效果(太陽風도 包含)의 現象도 包含되었다.

(iii) 太陽의 宇宙線의 進路 調節作用과 地磁氣效果

(iv) 巨大한 空氣샤워

(v) 高에너지 核反應 主로 10^{11} eV 以上の 核反應과 「쿼크(quark)」 檢出實驗이 包含되었다.

(vi) 「뮤」中間子 및 中性微子

(vii) 實驗法

이다. 總論文 400편은 (i) OG—120 (ii) SOL—40 (iii) MOD—100 (iv) EAS—40 (v) HE—20 (vi) MV—30 (vii) TECH—30으로 分布되어 있었다. 筆者의 訓練上 關聯이 많은 專攻順으로 적어보면 (v), (i), (iv), (ii)의 順位로 되며, 發表會가 同時에 세 곳에서 進行되기 때문에 (iii), (vi)과 (vii) 등의 部類에는 들어가 發表를 들을 수가 없었다. rapporteur papers만 이 方面 것을 들었다. 따라서 筆者의 具體的인 國際會議報告에도 위에서 말한 筆者의 專攻順으로 強調가 있을 테니 參酌하시고 讀者는 읽어주시기 바란다.

§3-1. 宇宙線을 利用한 高에너지 原子核 反應 研究

겔만(Gellmann)이 提唱한 「쿼크」라는 粒子는 質量이 核子보다 훨씬 크고, 또 電子가 가지고 있는 電荷(-e)라면, $\frac{e}{3}$ 나 $\frac{2e}{3}$ 의 電荷를 가진 基本粒子이다. 이 3種의 基本粒子의 結合으로 지금까지 알려진 500餘種의 “素粒子”(element

ary particles)가 形成될 수 있다는 것이다. 그러나 이번 國際會議에서는 이 粒子의 存在가 否定的인 面으로 歸結되는 것 같았다. 1969年度에 헝가리의 首都 부다페스트에서 열린 第11次 宇宙線 國際會議에서 호주 시드니大學校의 막카스카(Mc Cusker)教授는 巨大한 空氣샤워의 核心에서 5개나 되는 「쿼크」粒子의 候補를 發見했다고 報告해서 世上을 놀라게 했었다. 그러나 그 후 2年동안 시드니大學校구름에서 마저도 하나도 새로운 「쿼크」候補를 發見하지 못했었다.

코코니教授의 ISR(Intersecting Storage Rings) 完成과 또 그 裝置를 利用한 實驗報告가 놀라운 것이었다. 近刊의 Physics Letters 誌에도 그 結果가 報告되었지만, ⁽⁷⁾ 이제 人工으로도 10^{12} eV 以上되는 에너지의 原子核反應과 對等한 核反應 實驗을 CERN 30 GeV 陽性子 人工加速器로도 할 수 있게 된 것이다. 30 GeV 까지 加速한 陽性子를 磁場을 걸어 두 개의 圓周上에 貯藏하여 두고 두 圓周의 一部가 接친 部分에서 30 GeV 陽性子가 와서 서로 衝突하게 하는 것이다. 普通의 高에너지 核反應實驗에서는, 實驗室系에서 高에너지(에너지: E_p)의 陽性子가 靜止하고 있는 核子を 때려서 原子核反應을 일으키게 된다. 이와 같은 在來의 實驗과 比較할 때 ISR의 30 GeV 實驗은 $E_p \approx 2 \times 10^{12}$ eV의 에너지를 가진 入射粒子에 該當하는 것이다. 核反應 總斷面積이 豫想했던 대로 나왔으며 各 二次粒子의 scaling 法則이 잘 맞아 든다고 發表하였다.

第2章에서도 썼지만 流行처럼 여러 研究구름이 使用하던 電離量計와 안개함을 겹쳐서 한 實驗은 이제, 加速器의 陽性子의 에너지가 높아져서 그것과 競爭을 못하게 된 것이 分明했었다. 또 한 신타(Sitte)教授는 그러한 裝置의 에너지의 測定結果는 오차가 커서 ($\pm 100\%$)가 된다는 것을 指摘했었다. 이런 裝置로 先驅者의인 일을 많이 해왔던 소련의 「도부르틴(Debrotin)」教授는 “내손으로 내가 直接 안개함과 電離量計를 때려 부셔 버렸다.”고 그의 rapporteur paper를 얘기하는 중에 實吐했었다. 美國의 L. W. Jones 교수에 依해서 多重發生時에 생기는 2次粒子數 n 가

$$n \propto \log E_p \quad (3)$$

가 된다는 것을指摘해서 이제까지 統計理論이나 熱力學的 理論에서 말한

$$n \alpha (E_p)^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

의 法則이 차차 否定돼가는 것 같은 印象을 받았다. Multiperipheral theory의 時代가 올 것인가 생각했었다.

原子核乾板몽치나 寫眞乾板函의 研究에서는 主로 H 量子(質量 ~ 3 GeV)와 SH 量子(質量 ~ 20 GeV)가 發生하는 多重發生의 例가 많다고 日本 그룹과 蘇聯 그룹이 強調했었다. 마침 그 理論과 對照的인 「알레프」學說을 提唱한 東京大學의 小柴(Koshiba)教授가 이번 會議에는 參席하지 않아서 진지한 討論을 못본 셈이었다. 筆者의 論文(α)는 아직 國際會議에서 별 論議의 對象이 아니되었으나 一旦 整理된 形態로 美國物理學會誌 Physical Review誌에 실리겠다. 東京大學의 圓羽(K. Niu)教授의 새 粒子에 關한 研究報告는 우리나라 몇 日刊紙에도 報導됐으나 一件 가지고는 아직 斷言하기가 힘든 일이라 하겠다.

에너지 E_p 가 $10^{13} \sim 10^{14}$ eV 以上の 原子核反應 實驗에서 새로운 낱말 “gammaization”이라는 것을 들었다. 高에너지 原子核反應에서는 감마線의 放出이 低에너지 때보다 잦다는 얘기를 말한다. 그러나 操心해야 할 것은 지금 우리가 高에너지의 原子核反應을 測定하기 위해서 使用하는 計測器나 檢出器에는 감마線의 檢出이 「카스케드 샤워」를 일으키기 때문에 더 쉽게 된다. (元來 감마線의 大部分은 多重發生時 2次 粒子 中에서 π^0 가 崩壞해서 생기게 된다.) 만일 이 “감마化 現象”이 多重發生時에 혼한 일이라면, 超高에너지의 核反應에서는 감마線으로 곧 붕괴해버리는 무거운 粒子가 자주 發生한다는 것을 假定해야 되는 것이다.

§3-2. 巨대한 空氣샤워實驗

東京大學의 스가(Suga)教授는 東京에 設置한 2平方 km에 늘여 놓은 공기샤워 計測器를 使用하여 一件의 4×10^{21} eV 되는 原子核反應을 檢出했다고 報告했었다. 日本은 적어도 다섯 개의 그룹이 공기샤워 실험을 하고 있었으며 특히 橫位運動量이 큰 二次 粒子를 發生시킨 核反應을

찾았다는 報告가 있었다. 印度나 그 外의 그룹에서도 이와 같은 一部分의 實驗結果의 報告가 끊어지지 않고 있다. 소련은 8平方 km의 넓이를 가지고 있는 공기샤워 計測器群을 가진 야쿠츠크(Yakutsk)와 「Tien Shan 山 頂에 있는 공기샤워 計測器群을 써서 10^{18} eV 에 이르는 에너지 스펙트럼을 測定한 結果를 報告했었다. 獨逸의 Kiel 大學 그룹은 공기샤워 실험을 하고, 또 몬테칼로(Monte Carlo) 계산을 해서 核反應을 近似시켜서 比較한 結果, 超高에너지의 一次宇宙線에도 陽性子만이 아니고 무거운 原子核이 存在한다고 主張했었다. 佛蘭西의 Maze 教授 그룹은 한술 더 떠서 높은 에너지를 가지는 一次宇宙線 일수록 무거운 原子核이 더 많은 比率로 들어있다는 實驗結果를 얻었다고 報告했다. 공기샤워 실험의 報告는 英國에서 제일 많이 나왔었는데 H. R. Allan 教授는 공기샤워에서 나오는 電波를 研究한 結果를 報告했었다. 空氣샤워의 에너지나 構造를 電波의 測定에서 相當히 알아 내는데 成功했던 것 같았다. 그는 電波의 測定만으로 공기샤워의 計測器群을 代置할 수 있을 것 같지 않지만 入射하는 一次成分의 電荷 Z를 알 수 있을 것이라고 말했었다. 특히 10^{17} eV의 에너지를 가진 宇宙線에는 Z의 값이 큰 宇宙線 原子核의 比率가 크다고 報告했었다. 그러나 아직도 이 方法은 發展하는 途上이라는 印象을 받았다.

美國의 Grindley 教授는 계성운의 方向에서 오는 超高에너지의 감마線 檢출을 공기샤워 실험에서 試圖했으며 캐나다의 Prescott 教授 그룹은 一次成分의 에너지가 10^{16} eV 以上에서는 식 (2)에서 冪數 γ 가 더 커진다고 主張했다.

호주의 공기샤워 실험은 시드니大學校의 막카스카教授 그룹이 40~60平方 km나 되는 넓은 領域에 計測器群을 늘여 노론 하고 있다. 筆者도 視察했지만 이 世界最大의 野心的인 「프로젝트」를 보았을 때 感銘 받은 바 많았다.

막카스카 교수에 依한다면 에너지의 領域; $10^{16} < E_p < 10^{19}$ eV 에서는

$$\gamma = -2.24 \pm 0.05 \quad (5)$$

로 된다고 한다. (冪數法則의 表現은 式(2)를 參照)

§3-3. 1次宇宙線의 元素 및 同位元素 存在比

이번 宇宙線 國際會議에서 同位元素 Be^{10} 의 存在比 決定의 實驗 結果를 들었다. 十年前 筆者가 시카고大學校의 大學院에 在學時부터 있던 「아이디어」다.

Be^{10} 이라는 同位元素는 半減期가 約 2.5×10^6 年인 베타붕괴를 하는 原子核이다. 이 原子核이 宇宙線의 始源地에서 同位元素와 같이 생겼다고 하자. 만일 이 始源地에서 地球까지 오는 時間이 半減期보다 아주 길었다면 地球 近處의 1次宇宙線엔 Be^{10} 은 벌써 없었을 것이다. 十年前에 筆者가 計算하기에는 原子核乾板의 實驗方法을 가지고는 Be^{10} 을 確認하려면 어려웠다는 結論이었다. 그러나 이제는 測定이 돼서 宇宙線의 年齡이 $< 2 \times 10^7$ 年이라고 나왔다. 佛蘭西의 J. R. Meyer는 Mn^{54} (半減期: 1.5×10^6 年)이란 同位元素를 같은 目的으로 實驗에 쓸 수 있다고 하여 注目を 끌었다. 實驗에 의한다면 存在比 (Mn^{54}/Fe)가 0.12로 測定結果 나와서 Mn^{54} 는 宇宙線 안에서 거이 崩壞하지 않고 남아 있는 셈이 된다고 풀이 되었다.

同位元素 $H^1, H^2, H^3, He^3, He^4$ 存在比의 測定中에 가장 精密한 것은, 美國 Simpson 教授가 數年에 걸쳐 人工衛星에 計測器를 실어서, 行한 實驗의 結果였다. 특히 太陽에서 오는 “宇宙線” 粒子의 成分比를 解明해 주며 또 實驗데이터에서 $A=4\frac{1}{2}$ (gm/cm^2)과는 宇宙線의 지나온 두께가 나온다.

또 元素의 存在比에서, 이웃한 Z 의 偶奇數를 가진 原子核의 存在가 뚜렷하게 Z 가 偶數인 原子核이 더 많다는 結論이 나왔다. 奇數의 Z 를 가진 原子核은 大部分이 무거운 原子核의 부스러진 조각이라고 생각해서 A_1 를 電子計算機를 써서 算出해 내는 것을 보았다.

$L(Li+Be+B)/M(C+N+O)$ 의 存在比 測定에서는 역시 가장 直接的인 A_1 를 준다. 地球 大氣圈 밖에서의 값으로 美國의 Shapiro는

$$L/M=0.25 \sim 0.23 \quad (6)$$

으로 測定値를 주었다. 이 값에서 式 (2)의 結

果가 나온다.

이번 國際會議에서는 反原子核의 存在比 測定의 報告가 있었다. 특히 \bar{He}/He 의 測定値는 $< 10^{-3}$ 이라는 結果를 報告했었다. 反世界에서 오는 宇宙線의 可能性은 아직도 없는 것으로 나타난다.

「마일라」등의 方法으로 $90 \leq Z \leq 96$ 領域의 放射能原子核의 檢出이 可能해졌다. 이 P. B. Price 그룹의 研究에서 宇宙線의 年齡이 $10^6 \sim 10^7$ 年이라고 測定됐었다. 磁氣홀극자(magnetic monopole)의 存在에 對한 實驗은 아직도 否定的인 結果만 주었다. $Z=114$ 인 原子核을 宇宙線 안에서 찾으려는 努力이 계속되고 있다. 지금 世界에서는 두 개의 報告된 候補가 있다.

이번 興味있던 개기는 「사베이어」三號에 關한 얘기였다. 「아폴로」12號가 月表面에 갔을 때 「사베이어」三號를 가지고 地球에 돌아왔었다. 31個月 月表面에 放置된 이 軟着陸한 無人工衛星에는 窓에 우리가 있었다. 이 窓유리를 調査해서 그 흠 자국에서 $Z \geq 82$ 인 原子核의 存在比를 測定한 것을 들었다.

§3-4. X線 및 감마線 天文學

이 方面의 研究에서는 벌써 많이 알게 됐고 이번 國際會議에서는 안 일을 더 精密度를 더해서 報告했거나 up-to-date 하게 데이터를 가져온 것 뿐이었다. 이번 會議中에 1~100 KeV 領域의 X線의 스펙트럼 強度가 자주 修正돼서 여러 그룹의 測定値 사이의 間隙이 줄고 또 그 差가 流入量(flux)의 値가 낮은 쪽으로 내려 가는 것을 볼 수 있었다. 그러나 W. H. G. Lewin의 X線天文學의 rapporteur paper의 發表時에는 매우 感銘깊게 들었다. “더 많은 人工衛星을 X線天文學研究 쪽에 돌려 달라”고 絶叫비슷한 呼訴를 들을 때 自然科學者의 最高의 熱情을 理解할 수 있는 것 같았다.

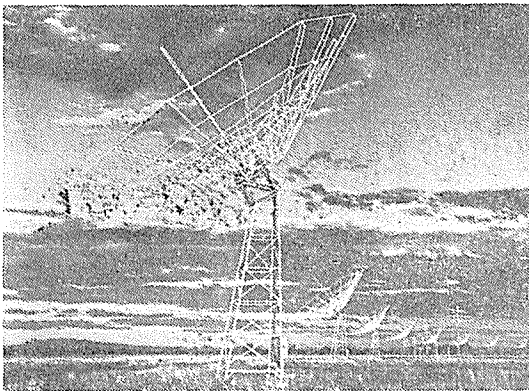
감마線의 흩어진 背後強度(diffuse back ground)는

1 MeV 以上	5×10^{-2}	감마/cm ² sec rad MeV	}	(7)
10	$< 4 \times 10^{-3}$	“		
100	$< 3 \times 10^{-5}$	“		

이라는 결과였다. 또 다섯 개의 점감마線源을 氣球을 띄워서 또 소련 「코스모스」 251과 254號에 실은 計測器의 測定 結果 나왔다. 데이터를 보일때 감마線源도 「펄서(pulsor)」의인 점이 보인 것 같았으나 모두 한결 같이 “아직 強度가 充分치 못해서 펄서라고 하기는 힘들다”고 들 發表하는데에 科學者다운 慎重性을 볼 수 있었다. 감마線 天文學은 이제부터 本格的으로 研究되는 學問이구나 하는 印象을 받았다.

§3-5. 太陽電波에 關한 새 研究

호주의 J. P. Wild 博士가 30分間의 招請講演에서 “太陽의 코로나에서의 高에너지 現象에 對한 太陽電波望遠鏡으로의 觀察”이라는 題目으로 얘기했다. 그가 20分동안 「A New Look at the Sun」이라는 表題의 天然色 映畫를 보여 주어서 代表들의 칭찬을 많이 받았다.



시드니 北北西方向 560 km의 Narrabri 라는 都市 (人口 6千) 근처의 칼구라(Culgoora)의 太陽電波望遠鏡(radiobelio graph)을 使用하여 얻어진 太陽活動에 對한 새 데이터와 그 裝置에 對한 說明을 워서 만든 映畫였다. 말하자면 直徑이 3 km나 되는 電波望遠鏡에 對한 얘기인 것이다. 그런 큰 望遠鏡의 받침臺는 만들 수가 없는 까닭에 96개의, 1306 m의 直徑을 가진 작은 望遠鏡을 3 km 圓周上에 늘어 놓은 것이다. 筆者도 위에서 말한 막카스카 교수의 공기샤워 계측기군의 구경과 결터 이 電波望遠鏡을 求景하러 Narrabri 까지 일부러 가서 求景했었다. 호주의 自然科學 특히 宇宙科學에 對한 熱誠을 볼

수 있는 大規模의 野心的인 「프로젝트」들이었다.

太陽電波에 關한 研究에서 太陽의 局所的인 不安定(instabilities)의 瞬間的인 發生·生長 및 消滅하는 過程의 觀察를 電波로 行해져서 그 現象을 分類하고 解明했었다. 光速에 가까운 電子가 強한 磁力線 上에서 나선운동을 하는 동안 내는 싱크로트론 輻射며, 太陽에서 秒速 1,000 마일로 噴出되는 「플라즈마」가 2時間 동안에 175 萬마일이나 旅行해 가는 것을 계속 관찰했다. 이 後者의 경우 地球上에서도 太陽의 不安定이 있는 뒤 2日後에 電波暴風(radio storm)이며 北極光이며 하는 現象을 일으키게 되는 것이다. 太陽風이며 太陽 “宇宙線”의 發生機構를 直接 레이다로 알려주는 壯한 科學的인 事業이었다. 太陽에서 나오는 粒子들은 대개 그 原子核들이 에너지가 200 MeV 以下の 것이고 그 構成도 亦是 水素에서 우라늄까지의 모든 元素에 對한 原子核이 대개 宇宙의 元素의 平均存在比와 비슷하게 들어가 있는 것을 人工衛星을 통한 많은 觀察로 알게된 것이다. 太陽의 黑點間에 存在하는 磁場의 狀態며, 水素爆彈 몇 百萬個를 터뜨린 程度의 에너지가 關聯해 있다는 太陽爆發(solar flare)의 時間的 空間的 規模와 影響을 알 수 있는 것이었다.

§3-6. 其他

筆者의 能力不足과 또 一人이 韓國에서 參加했던 탓으로 重要한 發展에 對한 意義있는 解明을 빠뜨렸는지도 모른다.

특히 시카고大學校의 E. N. Parker 교수의 “宇宙線의 起源·銀河空間에서의 動力學的 考察”이라는 招請講演은 磁味있었고, 地球의 磁場, 太陽의 磁場과 銀河系 內의 磁場의 由來를 理論的으로 解明하려고 試圖했었다. 특히 磁場과 宇宙線의 密接한 相互作用을 통한 銀河系의 力學的關係를 뉴턴力學的인 考察단에서 試圖함을 보여 주었다.

90° 에 가까운 天頂角으로 地上 表面에 거의 平行하게 들어 오는 高에너지의 「뮤」중간자의 에너지 스펙트럼이나 地下 깊이에서 行한 「뮤」중

간자의 에너지 스펙트럼의 觀測을 통해서 美國의 Keuffel 교수 등의 集團은 「뮤」중간자로 붕괴하는 “X”라는 粒子가 있어야 한다는 主張이 이 國際會議에서 完全히 判가름이 난 것같이 보이지 않았다. 이 未知의 粒子는 存在하지 않다고 主張하는 편이 소리가 確信에 차 있는 것 같았다.

美國의 F. Reines 교수를 中心으로 한 研究集團이 世界에서 제일 靑다는 아프리카 金鑛에서 行한 中性微子 檢出實驗도 發表했는데 筆者는 發表場에 들어가 보지 못했다.

4. 結 言

잘 系統이 서 있지 않은대로 이 國際會議에

나가서 熱心히 들은대로 報告하려고 努力하였다. 또 日進月步하는 宇宙科學의 모습을 一部나마 보여 주려고 努力하였다. 宇宙線이란, 밤하늘의 별빛이 地上에 崙고루 흘러 들어 오고 있는 것처럼, 美國에도 日本에도 韓國에까지도 入射해 오고 있어서 우리 나라에서도 宇宙線 研究는 할 수 있는 것이다. 많은 鞭達과 後援을 빕고자 한다.

끝으로 第12次 宇宙線 國際會議에 提出한 우리 集團의 研究는 科學技術處와 契約(계약번호: MOST-R-70-114-AE) 遂行한 事業이며 會議參席을 위한 旅費 또한 後援을 받았으니 이 자리를 빌어 深甚한 感謝를 올린다,