

核分裂 發見 50周年

오늘날에는 「核分裂」이라고 하면 에너지의 生産 또는 核武器의 製造를 연상한다. 그러나 50年 前에는 核分裂은 그때까지 豫想하지 못하였던 새로운 현상으로서 全世界 物理學者들을 흥분시켰다. 本稿는 덴마크 코펜하겐大學 Niels Bohr研究所의 Stefan Rozental氏가 核分裂 發見 50周年을 맞아 지난 시절을 회상한 内容이다.

Niels Bohr 研究所는 國際科學社會에서의 Bohr의 명성과 海外 科學者들과의 폭넓은 교류로 인해서 여러 나라의 수많은 科學者들이 이 研究所에 와서 長期間 혹은 短期間 동안 研究活動에 참여하였던 國際協力の 中心地였다. 그 당시에는 客員研究員의 數가 상당히 많았는데, 그들중 일부는 독일의 나치政府를 피해서 온 사람들이었다.

이 연구소의 公式名稱은 理論物理研究所이었지만, 초창기 이래로 이론연구와 실험연구가 共存하였다. 따라서 理論學者와 實驗學者가 서로 만나 협력하여 연구함으로써 매우 有益하였다. 더욱이 새롭고 놀라운 결과를 포착하는 Bohr의 안목과 直觀은 이 연구소의 研究進展에 매우 중요한 역할을 하였다.

核分裂過程을 可視化하기 위하여 Bohr는 原子核과 物방울의 類似性을 들었다. 物방울에서는 분자들이 표면장력이라는 引力으로 합쳐져 있고, 분자들은 서로 움직이며 충돌하고 에너지를 교환하는데 平均운동에너지는 액체의 온도로 측정된다. 物방울에 餘分の 에너지가 공급되면 분자는 더욱 빨리 움직이고 표면은 진

동하기 시작하며 物방울은 두가지 방법으로 餘分の 에너지를 放出한다. 그 첫번째 방법은 熱輻射이고, 또 다른 방법은 증발인데 분자가 物방울 表面 근처에서 다른 분자와 無作爲的으로 충돌하여 표면장력을 이길 수 있는 에너지를 얻어 物방울에서 부터 脱出하게 된다.

原子核을 구성하는 核子는 核力에 의해 서로 결합되어 있고, 그들은 서로 운동하고 충돌하며 에너지를 교환하는데 平均運動에너지는 原子核의 온도로 정의된다. 원자핵이 高速中性자와 충돌하면 原子核의 온도가 올라가서 그 표면을 진동시키게 된다. 원자핵을 냉각시키는 방법은 방사선(γ 선)을 방출하거나 중성자가 다른 핵자와 충돌하여 표면장력을 이길 만큼 충분한 에너지를 얻어 탈출하는 것이다.

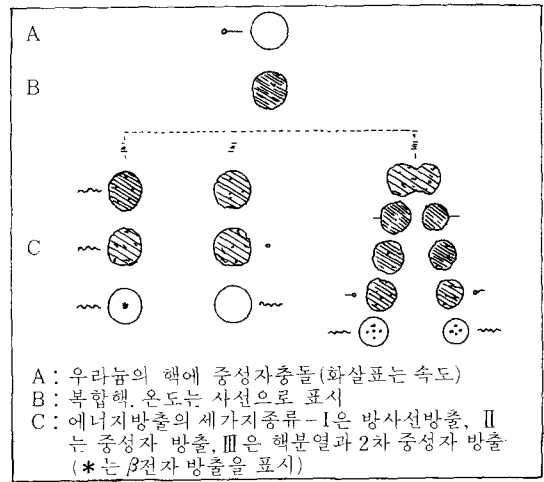
물론 이러한 단순모델로 原子核의 행동을 충분히 설명하지는 못하였으나, 이 모델은 상상을 일으키기에는 충분하여 엄청난 量의 새로운 실험결과를 생산해 내었으며 새로운 실험을 提示하기도 하였다.

中性子の 發見은 核變換을 연구하는데 새로운 계기를 마련하였다. 관심이 집중된 課題는

元素週期律表의 原子番號 92 이상의 새로운 元素를 만들 수 있는가였으며, 이러한 研究가 進行된 處 中의 하나가 독일의 베르린이었다. 이곳에서는 Otto Hahn, Fritz Strassmann 그리고 오스트리아인인 Lise Meitner가 우라늄에 中性子를 照射시켜 만든 元素의 特性을 研究하였다. 그러나 이 研究가 進行되는 中에 Lise Meitner는 德國을 떠나 스웨덴으로 가서 여러 해를 머물렀는데, 그녀의 조카이며 물리학자인 O.R. Frisch는 이미 1933년에 德國을 떠나 1934년부터 코펜하겐에 있는 이 연구소에서 근무하고 있었다.

1938년 크리스마스에 Frisch가 스웨덴에 있는 Lise를 방문하였을 때 그녀는 Otto Hahn이 보낸 온 편지를 보여주었는데, 그 편지 내용은 그들이 수행한 연구결과를 설명할 방법이 없다는 것이었다. 즉, 원소주기율표의 한 가운데 있는 바륨이 생겨났다는 것이었다. Lise Meitner와의 討議後, 물방울모델개념에 대해서 잘 알고 있는 Frisch는 갑자기 새로운 아이디어가 떠올랐다. 즉, Otto Hahn의 실험결과는 지금까지 고려되지 않았던 물방울과 핵물질의 차이인 원자핵의 電荷로 說明될 수 있다는 것이었다. “高温”의 원자핵이 가질 수 있는 여러가지 진동형태중에는 原子核이 잡아당겨진 형태도 있을 수가 있는데, 만약 이런 현상이 벌어지면 陽電荷 사이의 反撥力이 작용하여 핵을 두조각낼 수 있으며, 이때 원소주기율표의 中間에 있는 元素가 생겨날 수 있다는 것이었다.

Frisch가 코펜하겐으로 급히 돌아왔을 때 Bohr는 미국을 방문할 준비를 하고 있었다. Bohr는 Frisch의 說明이 옳다고 판단하고, 이를 곧바로 발표하여 그의 발표우선순위를 확보하도록 지시하였다. 그러나 “Nature”지의 편집자에게 보내는 글(Letter to the Editor)에 Frisch와 Meitner가 서명하여 發送하는데는 적지 않은 시간이 걸렸다. 이처럼 지연된 이유는 G. Placzek(체코슬로바키아 피난민으로 연구소에서 근무



(그림 1) 물방울 모델

하고 있었다)의 提案에 따라 그의 實驗結果를 뒷받침하기 위해 핵분열과정에서 放出되는 에너지를 測定하고자 했기 때문이다. 바로 이 편지에서 “核分裂”이라는 말이 처음 쓰였는데, 이는 G. de Hevesy(헝가리인으로 독일에서 부터 피난온 研究員이었음)가 生物學으로 부터 인용하여 核分裂이라는 말을 사용하도록 권고한 것이었다.

미국으로 가는 船上에서 Bohr는 벨기에출신 동료인 Leon Rosenfeld와 이 問題에 대해 더욱 定量的인 討議를 하였다. 그러나 그가 미국에 도착했을 때 속도가 느린 中性子の 核分裂斷面積에 대한 미국측 연구결과는 이러한 설명을 뒤엎을 만 하였다. 다행히도 이 效果는 235와 238 두 同位元素간의 性質 차이 때문임을 강조함으로써 Bohr는 Frisch의 설명을 방어할 수 있었다. 少量의 분리된 동위원소를 이용한 미국측 실험에 의해 이러한 差異가 확인된 것은 그 다음해 이었는데 Bohr는 Frisch의 설명이 올바름을 굳게 믿고 있었다. 수 개월후 파리에 있던 Joliot는 核分裂에는 2次中性子が 放出된다는 사실을 報告하였다.

미국 프린스턴에서 Bohr는 J.A.Wheeler와 함께 核分裂理論에 관해 저술한 바 있는데, 이

글은 Bohr가 덴마크로 돌아온 뒤 完成되어 1939년 9월 1일자 "The Physical Review"지에 게재되었는데 바로 이 달이 제2차 세계대전이 발발한 날이었다.

1940년 4월 로마의 E. Amaldi는 새로운 發見을 Bohr에게 알려왔다. 중성자에 의한 우라늄 핵분열단면적은 0.7~10MeV의 중성자에너지領域에서는 實質적으로 일정한데, 이는 이론에 의한 豫測과 잘 일치되고 있다. 그러나 중성자에너지를 10MeV 이상으로 증가시키면 이론모델과 잘 맞지 않았다. 이에 대한 답이 바로 주어졌다. 그림1을 참조하면 간단히 설명이 된다. A 단계에 있는 중성자는 매우 빨라서 B 단계의 複合核은 매우 뜨겁게 된다. 한개의 중성자(C II)를 방출한 이후에도 核의 온도가 매우 높아서 또다른 핵분열이 가능하다. 이러한 連續變換의 확률로부터 유도한 우라늄과 토륨의 核分裂收率は Amaldi의 실험에서 測定된 결과에 따른 것이다.

전쟁으로 인한 어려움 및 독일군의 덴마크 점령 등에도 불구하고 연구소의 실험은 制限된 규모이지만 계속되었는데, 그중에는 핵분열현상과 관련된 두가지 연구가 있었다.

N.O. Lassen과 J.C. Jacobsen은 우라늄과 토륨에 重陽子를 충돌시키는 실험을 거듭하였는데, 그 결과는 이론적 豫測値와 많이 어긋나는 것이었다. Bohr가 지적한 바와 같이 이러한 不一致는 核이 매우 많은 電荷를 갖고 있기 때문이었다. 重陽子는 가벼운 核種 주위의 쿨롱場을 쉽게 뚫고 들어갈 수 있는데 반해 무거운 核種의 경우에는 뚫고 들어갈 수 있는 充分한 에너지를 갖지 못하였다. 그러나 重陽子를 구성하고 있는 核子들을 각각 분리시킨다고 가정하면, 陽子는 표적핵의 反撥力에 의해 되튀어나오게 되고 中性子 만이 우라늄이나 토륨핵에 흡수된다. 계산결과는 실험결과와 일치하였다.

이러한 실험들에 의해서 핵분열과정을 좀 더 자세히 이해할 수 있게 되었으며, 高速으로 움

직이는 무거운 元素를 사용하게 됨으로써 새로운 연구분야를 개척하게 되었다.

J.K. Boggild는 구름상자를 고안해 내었다. 필요한 순간에 상자를 가동시키는 자동장치가 아직 개발되지 않았기 때문에 수천번에 걸친 무작위적 실험을 거쳐 軌跡을 보여주는 사진을 여러 장 얻을 수 있었다.

핵분열생성물의 軌跡은 양자나 α 粒子的 直線 軌跡과는 그 형상이 달랐다. 이들 軌跡은 다소간 구부러져 있었고 작은 가지가 갈라져 있었다. Bohr는 이러한 현상은 高電荷의 핵분열생성물이 가진 빠른 속도 때문이라고 分析하였다. 이 軌跡의 첫부분은 핵분열생성물이 가진 매우 빠른 속도 때문에 생성물 외곽의 느슨한 軌道 電子를 잃게 되어 有效電荷를 증가시키게 되고, 여기서 電子들이 停止效果를 가져오게 된다. 粒子的 속도가 느려지고, 전자가 포획됨에 따라서 핵분열생성물의 유효전하가 감소되며 가스核과의 충돌이 증가하게 됨에 따라서 이 軌적이 갖는 휘어짐은 가벼운 가스에서 보다 무거운 가스에서 더욱 크다. 우라늄 薄膜을 상자 가운데에 두면 서로 다른 飛程의 핵분열생성물 軌跡을 볼 수 있다. 이 모델에 근거한 飛程과 에너지의 상관관계를 유도하였는데 이는 실험결과와 잘 일치하였다.

이 실험과 관련된 10편의 論文이 1940년과 1941년에 "The Physical Review"에 보내졌으며, 마지막 논문이 12월 1일호에 게재되었는데 이는 미국이 전쟁에 참가하기 수일 전이었다. 미국과의 상호연락이 불가능하게 되어 最終細部報告書는 덴마크에서 發刊되었다.

Bohr는 開放世界를 主唱

Nagasaki에 원자폭탄이 떨어지고(1945년 8월 9일) 이틀 후 영국에 있던 Bohr는 "The Times"지에 「문명에의 도전」이라는 제목의 글을 기고하였다. Bohr가 출판용 원고를 집필할

때 얼마나 심혈을 기울이는가를 잘 알고 있는 우리가 보기에는 이 글은 사전에 準備되었으며 充分한 검토의 産物인 것이 분명하다.

1943년 10월 덴마크를 탈출하여 영국에 도착한 Bohr는 핵폭탄에 대한 연구가 매우 進展되어 있음을 알게 되었으며, 그는 앞으로 있을 가공할 무기경쟁의 결과와 이를 피할 수 있는 방법을 생각하기 시작했다. 이 새로운 무기는 엄청난 파괴력을 갖고 있기 때문에 그 존재 자체만으로도 국가간의 미래관계를 완전히 새로 정립하여야 할 것으로 보였다.

지금까지는 自國國境내에서는 안심하고 살 수 있었으나, 이제 새로운 시대가 열리게 됨에 따라 국가안보는 全地球次元에서 모든 정보가 공개교환될 때에만 가능하게 되었다. Bohr는

우리 文明이 생존할 수 있는 유일한 방안으로서 開放世界를 主唱하였다.

Bohr는 핵폭탄이 完成되기 전에 美國이 소련과 이러한 開放精神에 따른 새로운 未來秩序를 協商하여야 한다고 생각하고 루즈벨트, 처칠 등을 포함한 政治人들과 접촉했으나 無爲로 끝났다. 戰後에도 그는 이를 위하여 계속 노력했으나 큰 호응을 얻지 못하자 1950년에 國際聯合會에 보내는 공개서한을 出版했는데 여기에는 그의 提案과 그 背景이 수록되어 있다.

이 공개서한은 그후 각국어로 번역되어 최근까지 발행되고 있다.

核分裂이 發見된지 50년이 지난 오늘에 와서 이 공개서한에 담겨진 의견을 다시 한번 음미해 보는 것도 의의있는 일이라 할 것이다.

海·外·화·제

溫室效果抑制에 관한 法案 제출

이산화탄소의 방출을 억제함으로써 「온실효과」의 진행을 방지함과 함께 자연보호를 촉진하고 대체에너지의 개발 추진을 내용으로 한 두가지 법안이 7월말 미국 상원에 연이어 제출되었다. 하나는 7월27일에 R·스태포드의원(공화당, 바몬트선출)이 제안한 「1988년 지구환경보호법」이다. 동 법안의 골자는 프론가스를 2000년까지 제거할 것, 이산화탄소의 방출을 2010년까지 35% 저하시킬 것, 오염없는 발전원을 확립할 것 등으로 구성되어 있다.

이 중 원자력은 19명의 위원으로 구성된 舍美委員會를 설치하여 국내 원자로의 안전성과 원자력발전에 대한 대중의 반대·대중의 우려

를 완화시키기 위한 방법, 고유의 안전하고 수동적인 제어기술의 개발전망에 대해 1994년 1월 30일까지 의회에 보고할 것을 요구했다. 동 위원회의 최종적인 목표는 미국에서 원자력발전이 2100년까지 전력수요의 적어도 50%를 공급할 수 있을지 결론을 내리는데 있다고 한다. 그리고 동 법안에서는 이 위원회의 활동에 대해 1989회계년도에서 1995회계년도까지 5천만 달러를 지원한다고 했다.

한편, 7월 28일에 제안된 T·워즈의원(민주당, 콜로라도 선출)의 「1988년 국가에너지정책법」은 이산화탄소의 방출을 2000년까지 현재의 수준에서 20% 감소시킬 것을 요구하고 있으며, 수동적으로 안전하고 모듈형으로서 코스트효율이 높은 차세대 원자로의 연구, 개발, 실증에 1990년 회계년도에 1억달러, 1991, 1992 양회계년도에 각각 2억달러를 계상하고 있다. 또 2000년까지 송전을 개시할 것을 목표로 이 일부자금으로 상업규모의 신행 원자로를 건설할 것도 요구했다.