Scintillation Counter에 의한 중성자와 γ 선의 식별

DOI: 10.3938/PhiT.20.049

정문규·이창희

Scintillation Counter에 의한 중성자와 γ 선의 식별[1]

原子力研究所 物理學研究室 鄭 汝 奎

§ 1. 머리말

Scintillator에 입사되는 하전입자의 종류에 따라 scintillation pulse의 모양이 달라진다는 것이 Wright^[2]에 의하여 처음으로 발견되었는데 그는 anthracene crystal($1\frac{1}{2}$ dia $\times$ $1\frac{1}{2}$)에 α 입자와 전자를 각각 입사시켰을 때 생기는 scintillation pulse의 모양이 다른 것이라는 것을 입증하였던 것이다. 其後 이러한 現象은 anthracene에서 뿐만 아니라 stilbene, quaterphenyl, CsI(Tl), ZnS(Ag), plastic scintillator, 液體 scintillator 등 有機 또는 無機 scintillator 가운데 여러 種類에서 發見되었다. 그런데 이와 같은 入射粒子的 種類에 따르는 scintillation pulse의 모양의 差異는 바로 그 理由로 pulse의 모양을 가지고서 入射粒子的 種類를 가릴 수 있는 가능성을 이야기하고 있으므로 그後 이性質을 이용하여 Brooks^[3,4]와 Owen^[5,6]이 各其 다른 方法으로 scintillation counter로서 入射粒子的 種類를 가려내는에 成功하였다. 그後 여러 사람이^[7-10] 이 方法들을 發展시켜 入射粒子的 種類를 識別함과 同時에 어떤 경우에는 그 energy spectrum과도 같이 測定할 수 있도록 改良하였다. 核分光學에서의 이와 같은 方法의 有用성은 매우 크며 특히 強한 γ 線 background下에서의 low intensity neutron의 檢出과 같은 場에서는 最善의 方法이라 아니할 수 없다.

여기서 報告된 實驗結果는 原子爐를 利用한

여러가지 中性子物理研究를 위한 測定器의 開發을 目的으로 하는 一聯의 計劃된 實驗 가운데 實驗中의 하나이며, γ 線과 速中性子가 섞여 入射할 경우 中性子만을 計測하기 위하여 scintillation pulse의 모양의 入射粒子的 種類에 따르는 差異를 利用한 Brooks와 Owen의 二가지 方法中 Brooks의 方法에 立脚하여 實驗한 것이며 scintillator로써는 anthracene을 使用하였다.

§ 2. 原理概要

지금 時刻 $t=0$ 에서 單個의 荷電粒子가 scintillator에 入射되었을 때 생기는 scintillation pulse가 $t=0$ 에서 step rise를 한다고 假定한다면 光電子倍增管에서의 電流 pulse의 時間에 對한 變化는 여러가지 減衰定數 T_i 를 成分으로 하는 指數函數의 重疊型인

$$I(t, E) = \sum_i N_i(E) e^{-t/T_i} \quad (1)$$

으로 近似的으로 表示되거나 더욱 取捨하기

容易 主 指數函數의 和로

$$I(t, E) = \alpha(E) \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) + \beta(E) \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \quad (2)$$

가 같이 表示된다. 具體的인 값을 들자면 MeV 程度의 γ -線과 中性子가 入射되었을 때 stilbene에 있어서는 $T_1 \approx 6.2$ nanosec, $T_2 \approx 370$ nanosec이며 anthracene의 경우에는 $T_1 \approx 33$ nanosec, $T_2 \approx 370$ nanosec가 된다. 또한 intensity ratio β/α 의 값은 電子照射에 (γ -線이 入射하지만 scintillator를 直接 勵起시키는 것은 γ -線으로 인한 Compton electron

새물리 창간 50돌을 진심으로 축하합니다.

1962년 6월 “새물리” 제2권 1호에 게재된 「Scintillation Counter에 의한 中性子와 γ 線의 識別[1]」에 관한 일화와 소감을 적어본다.

— 시대적 배경

2차 대전에서 원자폭탄이 실현된 이후 ‘핵’에 대한 관심이 급증하였고, 핵구조, 즉 핵의 에너지 준위와 내부구조를 알아내려면 분광학적 지식이 필요해졌으나 당시는 GM 계수기, 핵감광유제(nuclear emulsion) 등 ‘계수(counting)’만이 가능하였다.

이후 NaI(Tl) 섬광검출기가 알려졌으나 감마(γ)선에만 쓸 수 있었고, 효율은 좋았지만 분해능이 나빴고, 이에 따라 중성자도 측정할 수 있으면서 분해능이 좋은 새로운 섬광검출기를 개발하고, 이를 이용한 연구 가능성을 탐색하는 것이 당시의 관심사였다.

이 논문은 중성자와 감마선이 동시에 존재하는 선원에서 이들을 서로 구분하고, 이를 통해 중성자를 측정, 또는 식별(discrimination)하고자 하는 노력이었다.

— 당시 중성자 검출 섬광체 상황

1956년 G. T. Wright에 의해 섬광체에 입사되는 하전입자의 종류에 따라 발생하는 펄스의 감쇄 모양이 다르다는 것이 최초 발견된 이래 1958년에는 R. B. Owen, 1959년에는 F. D. Brooks가 각기 다른 방법으로 섬광체로부터 발생하는 펄스로부터 입사 입자의 종류를 가려내는데 성공하였다.

— 우리 상황

1959년 원자력연구소를 출범시켜 원자력에 대한 기초연구를 수행하였다. 1959년 7월에는 국내 최초의 연구용 원자로인 “트리가 마크 II” 기공식을 하여 연구용 원자로를 이용한 기초물리실험을 준비하고 있는 상황이었다. 하지만 전후 복구

저자약력

정문규 박사는 서울대 문리대 물리학과를 졸업하고(1954), 고등학교 교사, 물리학과 강사(1953-1958), 원자력공학생으로 영국 맨체스터대학교 유학(1958), 원자력연구소(1959-1995), 일본원자력연구소 파견(1964-65), Ge(Li) 검출기 개발 착수(1965), 원전사업본부장(1983), 연구위원(1990)으로 재직하였다.

이창희 책임연구원은 1984년 서울대학교에서 물리학 석사학위를 취득하고, 1985년 한국원자력연구소에 입소하여 중성자물리실에서 근무하며 1992년까지 TRIGA-Mark III 연구소에서 중성자화절연구를 시작으로 1993년부터는 하나로에서 중성자 산란장치 개발 및 그 이용연구를 수행하고 있다. 특히 2003-2010까지 냉중성자연구시설 구축연구를 수행하였다. (leech@kaeri.re.kr)

정문규 박사 1930-

1950-1954	서울대학교 문리과대학 물리학과
1959	영국 맨체스터 대학 이학석사 (원자력장학생)
1969	서울대학교 이학박사
1959-1973	원자력연구원 물리학연구실 연구관
1973-1980	원자력연구소 중성자물리연구실 실장
1980-1983	에너지연구소 신형원자로부 부장
1983-1984	에너지연구소 안전연구부 부장
1984-2001	에너지연구소 원자력안전센터 안전검사부 부장
1987-1991	원자력연구소 원전사업단 본부장
1991-2001	원자력연구소 원전사업센터 연구위원

시점이라 인력이나 장비가 터무니없이 부족한 상황이었다.

당시에 대학에서는 거의 본격적인 연구를 하기 어려운 상황이었고, 연구소에서도 교과서와 논문, 보고서 등의 문헌을 보고 소재, 회로를 공부하고, 청계천 상가에서 미군 부대에서 나온 진공관 등 전자 부품들을 뒤져서 하나씩 만들어가며 실험을 진행하던 시절이었으나 정문규 박사는 1958년 원자력장학생으로 섬광검출기 분야의 당시 대가인 영국 Manchester 대학에 파견되어 J. B. Barks를 지도교수로 공부하였다.

- 논문에서 시도한 γ 선과 중성자 분리방법

섬광체와 결합된 광전자 증배관(photomultiplier)의 anode 신호와 dynode(anode 앞에 있는 전극)의 신호를 적절히 처리하여 γ 선인 경우에 신호가 상쇄되어 나타나지 않고, 중성자 신호가 들어왔을 때 신호를 발생시키는 회로를 구현하였다. 이때 가장 핵심적인 것은 중성자 또는 γ (실체는 γ 와 섬광체가 반응하여 발생한 photo electron 또는 Compton scattering에 의해 발생한 electron)가 섬광체와 반응하여 빛을 발생시킬 때 빛이 방출되는 시간을 구분하는 방법이다.

- 실험장치와 방법

섬광체와 RCA 5819 광전자 증배관을 각기 구한 후 물리적으로 결합하여 검출기를 자체 제작하였고, 논문의 핵심 부품인 pulse shape discrimination(PSD) 회로도 구성하였다. PSD 회로를 구성할 때 γ 와 중성자 신호 구분을 위해 오실로스코프로 정교하게 조정하면서 가장 최적인 값을 찾았다. Po-Be 중성자 선원을 사용하였을 때 중성자와 γ 를 구분하는 것을 확인하였고 이때 Po-Be으로부터 발생하는 강도가 세고 높은 에너지인 γ (4.5 MeV)은 97% 정도는 제거할 수 있었으나, 3% 정도는 검출되었다. 이는 PSD 회로의 수동소자(저항)를 보다 정교하게 조정할 수 있다면, 즉 당시 소자나 부품들이 가능했다면 100% 가까이 제거할 수 있을 것으로 예상하

였다. 즉, 높은 감마선 환경에서 중성자를 정확하게 측정할 수 있다는 결론이었다.

후기

열악한 국내 정치상황, 전기는 물론 전자, 계측장비의 부족, 정보 빈곤에도 불구하고 관련 논문연구를 바탕으로 하여 중성자와 γ 선을 구분하는 검출기를 제작하고 그 특성을 조사하는 것만으로도 그 당시 여건을 고려해 보면 대단한 일이라고 볼 수 있다. 또한 오실로스코프에 나타난 화면을 구형 흑백 카메라로 찍어 논문을 작성하였다는 것도 사진촬영 기술수준을 가늠해 볼 수 있는 척도라고 볼 수 있다.

당시 논문에 이어서 연구 활동으로는 여러 섬광체와 이를 이용한 핵분광학 연구를 진행하였고, 일본원자력연구소에 파견근무를 계기로 곧 이어 Ge(Li) 검출기 개발에 착수하였다. 지금은 고순도 Ge 단결정을 성장시킬 수 있지만 당시는 기술이 미흡하여 Li를 확산시켜 결정성장시 혼입되는 미량 Boron을 중화시켜야 했다. Ge 단결정을 구입하여 이를 절단하고, 탄소분말을 이용하여 유리판에서 lapping & polishing한 후 TCE(trichloroethylene) 용매로 세척한 후, Li를 Ge 단결정 내로 확산시켜 고분해능 감마선 검출기를 제작하는 일을 오랫동안 하게 되었다. 장기간 반복되는 검출기 개발 작업은, 수많은 시행착오를 거쳐 Li 확산을 정밀하게 조절하는 기술을 터득하여 분해능 2~4% 수준의 우수한 검출기를 만들었지만 TCE 용매 때문에 고생한 기억이 있다.

이러한 기초기반 기술을 계속 발전시켰다면 지금은 우수한 원천 기술을 확보할 수 있었다는 생각도 들지만, 70년대 중반 당시의 국가적인 요구에 의해 연구소가 기초연구 위주에서 발전용 원자로 개발이라는 공학적 사업 위주로 중점이 옮겨 가면서 자원과 인력 부족으로 균형적인 발전이 이루어지지 못하고, 기초연구의 맥락이 약화되고 끊어져 아쉬운 마음이 많이 남는다.

저자도 80년대 들어서 연구소에 구성된 원전사업본부의 최초 본부장을 맡아 원자력 발전소 자체 설계능력 확보, 핵연료 국산화 등에 매진하였다. 공적으로나 사적으로나 모두에게 격심했던 그 당시의 상황을 되돌아본다면 1950년 서울대학교 물리학과에 25명이 입학하여 4년 뒤인 1954년 단 2명이 제 때 졸업할 때 한 명이었고, 고등학교 교사 생활을 잠시 하다가 원자력연구소 창립멤버로 이후 국내외에서 수많은 업적을 낸 경쟁했던 여러 선배들과 같이 동고동락하며 일한 그 당시의 한편으로는 '신선놀음'이었다는 생각도 든다. 후학들에게는 '열심히 공부하고, 열심히 인생을 즐기라'는 말을 80이 넘은 선배로서 하고 싶다.