

会議のトピックス(III)

基礎科学の強国、イタリアでの核データ測定スクール

Joint ICTP-IAEA School on “Nuclear Data Measurements for Science and Applications”

九州大学大学院工学府エネルギー量子工学専攻
量子線物理計測研究室

李 恩智

ejlee@kune2a.nucl.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

2015年10月、イタリアのトリエステにある国際理論物理センター（The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics, ICTP）で ICTP と国際原子力機関（IAEA）が共同主催する科学技術や応用に向けた核データ測定に関する集中講義形式の核データスクールが開かれた。ICTP はイタリア政府と二つの国連機構であるユネスコと国際原子力機関（IAEA）の3者協議によって1964年、イタリア北東部のアドリア海沿岸のトリエステ市から北に10kmほど離れたところに設立された理論物理、数学研究所であり、この研究所の主な目的は、開発途上国の理論物理と数学の研究を支援して奨励することである。開発途上国を支援するという意味で、この研究所の名前にはパキスタン出身のノーベル物理学賞受賞者であるアブドゥス・サラームの名前がついている。

特に、このスクールは、欧州原子核研究機構（CERN）の n_TOF 研究グループとスペインの Seville 大学の後援で開催された。このスクールの開催目的は、核データ測定に関する



図1. 開催機関のロゴ（左）及び 港湾都市トリエステに位置した ICTP の寮（右）

る基礎的な研究と多様な応用に対する最新の情報をより分かりやすく簡潔に伝えることである。したがって、欧州原子核研究機構（CERN）とベルギー標準物質計測研究所（IRMM）、米国ロスアラモス国立研究所（LANL）など各国で核データの測定や理論の研究者として活躍している専門家の研究理論や現況を紹介する形式で進行された。受講生はおもに欧州連合域内からとアジアの各国から来た学生たちと研究者であり、現在、多様な核データ分野に関係した人たちであった。全部で 23 名の講師らと 37 名の受講生で 60 名が参加した。

スクールの講義スケジュールは 2 週間と余裕をもって作られ、講義以外にも coffee break の時間を通じて、自由な討論ができるように考慮された日程だった。

2. スクールの講義や実習内容



図 2. スクールの講義時間

このスクールは 2 週間行われ、約 40 コマの講義・実習が用意された。講義の資料は開設されたホームページ¹⁾にアップロードされている。

核データは原子核に関する実験的および理論的なデータの総称である。つまり、それぞれの核種に対する様々な原子核反応に関するデータをいう。初心者向けに講義は実験結果の評価及び理論の証明以前に考慮しなければならない先行要素を重点的に扱った。中性子をはじめとする様々な粒子ビームの使用、適切な装置の準備、実験データ獲得そして解析に関連した実験的なテクニックなどである。講義と合わせて準備された実習時間があり、参加者たちが直接データを処理して解釈する時間も設けられた。

核データ測定は原子力分野以外にも微量元素分析や宇宙物理でも広く使われるだけに、低エネルギーから高エネルギーまでの領域に属する多様な研究に関する講義があった。ここではその中でも毎講義で繰り返し言及される 2 つの測定法を簡単に紹介する。

1) <http://indico.ictp.it/event/a14288/>

1) 中性子の飛行時間法 (Time Of Flight, TOF)

中性子の飛行時間法は一定の距離を置いた二つの検出器で出発時間と到着時間を測定してエネルギーを決定する測定法で、質量を持つ中性子と光子のガンマ線の弁別が優れている。エネルギースペクトルの測定で最も重要なことの一つは、エネルギー分解能である。飛行時間法ではエネルギーが飛行時間によって決定されるため、エネルギー分解能が高い。時間に敏感な測定で使用される時間分解能が良いシンチレーション検出器が紹介された。興味深かった講義 2)²⁾は、CERN の n_TOF 研究グループで製作された 4π 型の TAC (Total Absorption Calorimeter) を用いた飛行時間法による実験である。この検出器体系では 40 個の BaF₂ のクリスタルシンチレータを使用しており、目標の一つはカロリメータとして入射する放射線のすべてのエネルギーを記録することである。特に、(理論的に)核が一度崩壊して、核エネルギー準位間の遷移によって同時に放出される複数のガンマ線のエネルギーを全て検出できる長所がある。

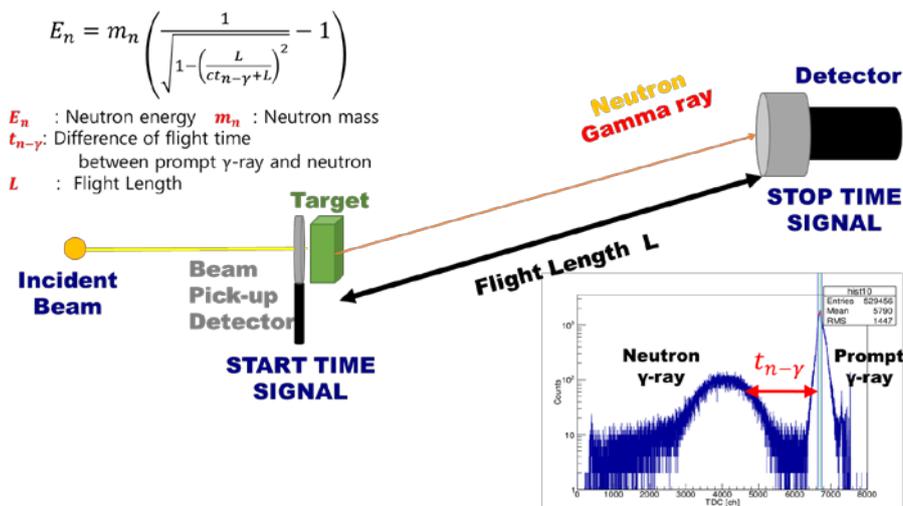


図 3. 飛行時間法 (Time Of Flight, TOF)

2) 中性子放射化分析法 (Neutron Activation Analysis & Prompt Gamma Activation Analysis)

中性子放射化分析法は、中性子によって放射化された核種から放出される特性の放射線を測定して試料内の元素および核種を定量する分析法で放射化に最も大きく貢献する反応は中性子捕獲反応である。中性子捕獲が起きると、不安定な複合核が非常に短い時間 (<10⁻¹² 秒) の間存在する。この複合核が即発ガンマ線を放出しながら励起エネルギーを放出して残留核に変わる。この即発ガンマ線を測定する手法を PGAA (Prompt Gamma Activation Analysis) という。

2) Challenging and solutions for radiative capture experiments (theory), Speaker: Carlos Guerrero Sanchez (CERN, Geneva; University de Sevilla)

残留核は放射性の核種の場合も、安定した核の場合もある。放射性の核種の場合、ある半減期で崩壊し放射線を放出するが、これを遅発ガンマ線という。NAA (Neutron Activation Analysis) はこの遅発ガンマ線を測定する。即発ガンマ線と遅発ガンマ線はガンマ線という面では同じだが、ガンマ線を放出する複合核または残留核の半減期とガンマ線のエネルギーを利用して弁別できる。このような特性を利用し、様々な物理実験が可能である。

3) データ処理プログラムの実習

データ処理プログラムの実習では、講師らが普段研究で使用しているプログラムを参加者たちが直接実行してみる機会を与えた。IAEA の中性子反応計算プログラムである DROSG-2000 と CERN のデータ処理プログラムである ROOT、IRMM のデータ分析プログラムである AGS そしてハンガリー基礎科学研究所のマルチチャンネル用のガンマ線分析プログラムである HypermetPC の使い方を簡単に実習した。私は、核反応断面積を集めたライブラリのうち実験から得られた EXPOR と評価された ENDF のデータを用いてグラフを描いて核反応断面積を図示してみた。講義で聞いた内容を実際の実習することで、データがどんな形で存在してどのような手法で処理して解釈するかについて実感することができた。

日本からは二人の講師が講義を行った。高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の佐波先生が荷電粒子の二重微分断面積測定と Bragg curve counter について、日本原子力研究開発機構 (JAEA) の静間氏が光核反応の測定について講義をされた。

3. 学術発表会 (Poster の発表)

週 1 回ずつ、受講者らも、現在進めている自分の研究を紹介できるように Poster の発表会が設けられた。

受講者たちに頑張ってもらうために、優秀ポスターの発表者には賞金が授与されることとなった。

ポスターを審査する講師らは、発表者の研究に対する理解度を評価するため、発表者らと深い討論をし、発表者が気がつかなかった部分に対するブレイクアウトが行われた。受講者にとってはポスター発表会は各国で行われている様々な研究の現況を知る貴重な時間となった。

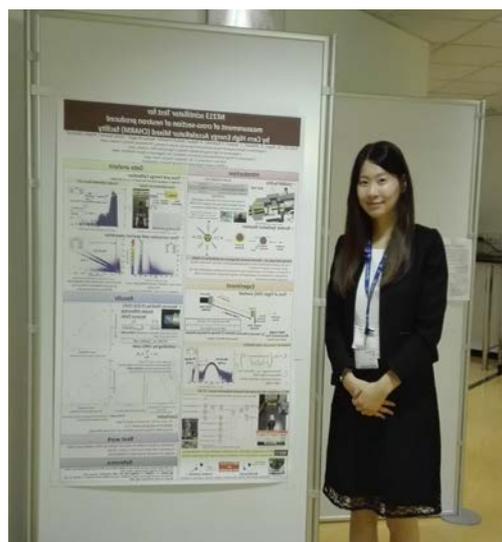


図4. Posterの発表

4. イタリアでの思い出

1) 食事

普段もイタリア料理が好きな方なので、不便なしで食事をした。スクールの期間、主に ICTP の食堂で食事をし、主にトマトソースで味付けされた食べ物が提供された。記憶に残る食事はバンケットや講師との食事だ。参加者たちを歓迎するという意味で開かれたバンケットは、参加者に円滑なコミュニケーションの場を作ってくれた。そして講師らとの食事は参加した学生としてなかなか持つことができない機会だった。2回の食事とも、今の時間をもっと大切にして、熱心に学びに増進しなければならないと感じた時間だった。



図5. バンケットの食べ物（左）、講師らとの食事（右）

2) 旅行

初めて欧州を訪問した受講者と、講義がない週末にローマとフィレンツェに行った。イタリアで私の短い週末旅行は、フィレンツェのドゥオーモ聖堂の「天地創造」から始めて、バチカンのシスティーナ聖堂の「最後の審判」で終了した。入場券をすべてインターネットで予約をして行ったので、それぞれの施設に待たずに入ることによって時間を短縮することができた。「ローマは一日にして成らず」という諺のように、ローマは巨大、大きかった。バスと地下鉄を乗って移動しながらコロッセオとバチカンのシスティーナ礼拝堂などを訪問した。フィレンツェは思ったより小さな都市だから、街を見渡せる丘のミケランジェロ広場にあるダビデ像からゆっくり歩きながら観光した。映画「冷静と情熱のあいだ」の背景であるフィレンツェは芸術の都と言われるほど美しく、愛らしい都市だった。



図 6. 左から順にコロセウム、バチカン聖堂、フィレンツェの情景、ドゥオーモ聖堂

5. おわりに

核データスクールの閉会式の時 IAEA の Ridikas 氏が言った言葉が胸に残ります。「核データ研究グループは世界で、きわめて小さな社会を構成している。したがって、一緒に実験をして、一緒に研究を共有する機会が多いため、瞬間瞬間の機会を大事にしなければならない。」この言葉のように今回の核データスクールはこの分野の現在と未来の最高の専門家たちと会って交流できる良い機会となりました。核データスクールに参加できるように紹介して下さった日本の高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の佐波先生と私を推薦して下さった九州大学の石橋先生、執行先生に感謝いたします。



図 7. ICTP の講師らと参加者らの団体写真