

台灣微中子實驗 尖端科技儀器 探索微中子奧秘



在基本粒子的世界中，除了大家耳熟能詳的質子、中子（皆由夸克組成）及電子外，還存在一些一般人較不了解的粒子，包括幾乎不會和其他基本粒子產生交互作用的「微中子」。微中子會伴隨著原子核的β衰變而產生，而核能發電的過程中會有非常多的原子核發生β衰變，中央研究院物理所研究員王子敬博士利用此一特性，在核二廠內設置實驗室來偵測微中子。目前已獲得兩項重要研究成果，而現在使用的美商國家儀器（National Instruments, NI）PXI（PCI eXtensions for Instrumentation）量測平台，將使未來的研究如虎添翼。



中央研究院物理所研究員
王子敬博士

探索微中子與電子的作用特性

台灣微中子實驗（TEXONO）是由國科會與中央研究院補助、中研院物理所主導之國際合作研究計畫，也是第一個在台灣本土執行的粒子物理實驗。除國內的單位（中研院、核二廠、核能所、台大、清大）外，團隊的合作成員還包括來自中國（中科院高能所、原子能院、清大、南開大、四川大）、土耳其與印度的學者。王子敬表示，每個核電廠釋出的微中子，平均要穿透厚度250光年的水，才會和某個水分子產生交互作用；當微中子和原子產生交互作用，會將能量傳至原子中的電子，使之離開原來位置而射出，因此可以藉著測量電子的變化，回推微中子造成的交互作用。

微中子和電子產生交互作用的方式，可能是藉著交換光子（電磁力載子）來改變電子速度（微中子的速度也同時改變了），也可能藉著交換弱作用力載子 W^+ 、 W^- 、 Z^0 來造成改變。王子敬指出，根據粒子物理的標準模型，微中子只會和其他基本粒子產生弱作用力，不會和電子產生電磁力而交換光子；但在標準模型以外的理論，這是有可能發生的，並且已計算出核電廠微中子和電子交換光子使電子射出時，射出電子的能量為10keV等級。

於是研究團隊在距離北海岸「國聖」核二廠爐心28公尺的地方設置實驗室，偵測核電機組運轉和停機大修期間，探測器電子事例數量的差異，結果偵測不到符合上述理論的電子數量有何變化。前人實驗的結果，指出微中子和電子交換光子

的機率，只能小於電子與電子交換光子機率的 2×10^{-10} 倍。國聖實驗則把機率的上限，再降低為只有 7×10^{-11} 倍，稍後的其他實驗，也與這靈敏度相約。

研究團隊的另一項實驗，是驗證微中子與電子的弱作用力。由於這種交互作用所造成的電子能量為1MeV等級，和交換光子射出約10keV的電子能量等級不同，因此也必須採用不同的偵測方式，前一種是測量電子射出時造成鍺半導體探測器的電壓變化，而這種則是測量射出電子撞擊碘化鉍晶體所發出的光量。

王子敬指出，除核能發電外，加速器也可產生微中子，但能量卻比核電廠微中子高出一千多倍；過去已有其他實驗證實加速器產生的高能微中子確實如同標準模型所預測，會和電子產生弱作用。國聖實驗則首度證實，較低能量的核電廠微中子同樣會和電子產生弱作用，且機率符合標準模型的預測。

新一代高能物理偵測利器： NI LabVIEW + PXI

研究團隊現在的重點方向，是偵測微中子和原子核的交互作用，這種交互作用在粒子物理及天文物理都很重要；但因原子核很重，可偵測的能量等級也只有100eV，因此必須研發更靈敏的鍺半導體來偵測，同時搭配速度更快的取數儀器。團隊目前正在安裝的PXI數據取擷系統，是由美商國家儀器（National Instruments, NI）所開發，搭配NI LabVIEW圖形化軟體所完成的平台，提昇了實驗功能，也是偵測這種交互作用的重要工具。

在100eV的極低能區中，有非常多的背景訊號出現，可能隱沒了微中子的事例。透過數據擷取系統，實驗將取得的類比訊號轉換為數位

訊號，再送進電腦儲傳，然後作離線數據分析處理，目標是把微中子事例從眾多的背景中挑選出來。但受限於系統擷取及傳輸訊號的速度有限，實驗無法取下所有訊號，這會減低了微中子偵測的效率。國聖實驗目前使用的取數系統，傳輸訊號的速度為每秒40Mbyte，而正在安裝的PXI系統，速度為132Mbyte，更新一代的技術甚至可達1Gbyte。擷取速度的增加，可提高儀器的靈敏度，讓實驗取得更多的微中子數據。

NI未來將在PXI系統中發展線上即時分析訊號的能力，就是即時把背景事例篩除，這樣可再提高實驗靈敏度。王子敬解釋，例如原本取得的100個訊號中，只有1個是目標訊號，其他都為背景雜訊，現在透過即時分析，可將其中90個雜訊篩除，如此一來，變成可以取1,000個訊號，透過PXI自動篩除900個雜訊後，實際儲傳100個事例，然後作後續處理，這樣目標信號已增加為10個了。

這套PXI系統，除儀器本身的功能先進外，王子敬對NI的服務也讚譽有加。他指出，PXI和他之前使用的系統原本不相容，但他希望新舊儀器能同時使用，NI立刻對此進行研發，開發出符合需求的相容系統；另外NI的LabVIEW軟體主要使用圖像界面，貼近人性，研究團隊以直覺性的操作介面，在短時間內，得以快速上手，完成系統相容的需求。王子敬深信，未來藉由NI PXI 將可以協助複雜的微中子實驗達到更精密的研究結果。



↓ 中央研究院物理所研究團隊使用NI LabVIEW 和 PXI 所建構出的平台，不僅擷取速度快，更可提高儀器的靈敏度，因此得以取得較多的訊號，增加微中子事例的偵測效率。