

台灣微中子實驗

美國物理學家Cowan 和 Reines在1956年發現微中子時，稱之為「人類所設想到最細小的物質」。我們至今對這充斥在宇宙間的基本粒子，仍未透徹瞭解。微中子基本特性的研究，包括質量、不同種類微中子間的混合和與物質的交互作用等，仍是基礎科學的前沿課題，為「兵家必爭之地」，其結果對粒子物理、天文物理及宇宙學等領域的發展，深具影響。

微中子只能與其他物質有極微弱的交互作用。例如核能發電廠可以產生大量的微中子，它們平均需要透穿250光年的水（一光年約為地球跟太陽距離的六十三萬倍），才會產生一次作用。因此微中子物理就是研究「隱形人」的領域。偵測微中子因而是項艱鉅的挑戰，需要龐大體積的探測器和拓展技術前沿的實驗。微中子物理在過去五年，有重大的突破，主要原因是有數個實驗，成功地偵察到從太陽、宇宙射線、加速器及核能發電廠來的微中子，並發現它們在穿越空間時會「變臉」——即是說從一種微中子轉變成另一種微中子，我們稱這現象為「微中子振盪」（neutrino oscillation）。粒子物理本來牢不可破的「標準模型」（Standard Model），也因此而需要修訂。

特別值得一提的是日本科學家在神岡地下實驗室的一系列重要實驗，獨領風騷，建造了令人驚羨讚嘆的大型探測器，帶動著這課題的發展。除了使先驅領導者小柴昌俊教授獲得2002年諾貝爾物理獎外，更大大提昇了日本本土研究社群的士氣自信與國際聲譽。「神岡實驗」在科學發展史上，留下了不滅的足



TEXONO合作團隊徽號。



TEXONO合作團隊部份成員。



Researchers make headway in neutrino study

By Myra Lu

After six years of painstaking work, researchers on the TEXONO project, or Taiwan Experiment on Neutrinos, have published the first results of what is admittedly a small experiment compared to what is being done at international laboratories. Nevertheless, the significance of the contribution for all the Chinese and Taiwanese scientists involved is no less evident.

Neutrinos are one of the more than 20 fundamental particles that make up the universe. Scientists around the world have conducted numerous experiments to learn more about this particle, which remains one of the least understood. Neutrinos are produced in the Earth's atmosphere, the sun, particle accelerators and nuclear power reactors.

Physicists believe that neutrino studies will help shed light on questions about the particle's mass and what roles they play in particle physics and cosmology.



The Kuo-Sheng Nuclear Power Station, which produces electricity used by millions of households in northern Taiwan, also houses the research facilities of the TEXONO project.

significant amount of neutrinos. This makes a reactor an ideal place for neutrino studies. This was quoted in the U.S.-based Science magazine as saying that even though

Wong said. The results of international collaborations such as the Super-Kamiokande in Japan and Sudbury Neutrino Observatory in Canada gave the Taiwan project what Wong described as a "positive impact."

This is because these earlier experiments have confirmed that the neutrino does have mass and that neutrino oscillation does take place. The latter refers to a phenomenon where neutrinos change from one type to another while traveling great distances. Such oscillation would not occur if neutrinos were entirely without mass, which scientists used to believe to be the case.

"These experiments use much larger instruments to explore different aspects of the neutrino properties from those pursued by the TEXONO experiment. However, given their findings, we know there is a grander picture behind and which direction to go," Wong added.

In the West, a country's technological development has often been

台灣紀事報的專文報導，並展示台灣電力公司國聖核能發電廠外觀。

跡，使日本在人類文明貢獻的殿堂上站穩了位置。

台灣在粒子物理實驗的研究，始自1980年代末期，到了1990年代中期，已參加了美國費米國家實驗室（Fermilab）及布魯克海汶國家實驗室（Brookhaven）、歐洲粒子物理研究中心（CERN）、日本高能物理國家實驗室（KEK）、美國太空梭及國際太空站等著名實驗室的研究計畫，負責探測器、電子儀器、光電設備、電腦系統的製作和物理模擬、數據分析等項目，在技術與組織能力上，備受國際同儕的肯定。本院物理所的研究團隊，在把這物理學的重點領域植根台灣的過程中，扮演了決定性「龍頭」的角色。1996年任教美國馬利蘭大學的張仲濤教授與物理所李世昌博士，在這樣的基礎下啟動了微中子計畫的構想。第一期的目標為首次於台灣本土，在本地研究人員主導下，設計、建造、執行及完成一個粒子物理的實驗。這計畫很快獲得中國大陸中國科學院高能物理研究所及原子能科學研究院的參與，筆者於1997年初加入本院，與高能所的李金教授，共同推動這計畫。本院及國家科學委員會，提供了主要的研究經費，團隊取名為TEXONO，即「台灣微中子實驗」（Taiwan Experiment On Neutrino）之意。這是兩岸首次在大型學術研究上的合作，加上台灣大學、清華大學、核能研究所與台電核二廠等單位在專業技術及人力上的鼎力支持，至今團隊可算稍具規模，是支擁有三十餘科技人員的研究隊伍，曾在著名期刊發表論文，且在不少國際會議中作報告，引得同儕的注意，增加了他們對台灣學術環境的瞭解，也提高了他們來台訪問、建立聯絡的動機。

團隊的研究項目，主軸位於台灣電力公司國聖核能二廠內，距離爐心28公尺之處，建立實驗室，以研究微中子物理。國外的研究，提出了微中子振盪有力的證據，這代表微中子具有質量，延伸出來可推測微中子將有其他不尋常的特性和與物質的交互作用。核能發電的原理在於核子分裂，過程中除了釋放能量外，也製造大量的微中子。因此，核反應爐是個很強

的微中子源，是作科學實驗的理想場地，微中子研究，可以說是核能發電的「廢物利用」。國聖核二廠微中子實驗室，採模組化的設計概念，可放置不同探測器，研究不同的物理現象，設備包括重量達五十噸的屏蔽體，以防止宇宙射線及周圍環境輻射所造成的背景干擾。此外，還有精密的高純鍺及閃爍晶體探測器，加上性能先進的電子儀器與電腦軟體，用來顯視、監控、取錄及分析探測器的訊號。

「國聖實驗」規畫籌建數年，歷經九二一地震的延誤，於2001年中開始運作取數，於2002年底完成第一個物理結果，即微中子與光子的可能相互作用的研究。在實驗上這特性會以「微中子磁矩」(neutrino magnetic moments)及「微中子輻射衰變」(neutrino radiative decays)顯現出來，若這特性存在，微中子可以被看成有內部結構，或者帶有極微量的電荷。團隊觀察微中子跟電子碰撞後電子的能量分佈，並比較它們在核電廠開機與關機時的分別。我們在比前人低一百倍的能量區域作測量，並能把背景噪聲壓低至其他深入地下千多公尺的地下實驗室之水平，大大提高了測量的靈敏度，實驗結果是沒有發現任何微中子磁矩和輻射衰變的證據。

國聖實驗對這兩個微中子的重要參數測量出來的上限，已達世界水平，比前人的測量為佳。這成果於2003年4月在Physical Review Letters發表，並為美國American Institute of Physics引用為當週重要物理發展的新聞之一，舉足輕重的「科學雜誌」(Science Magazine)，也以專文為團隊作專題報導。

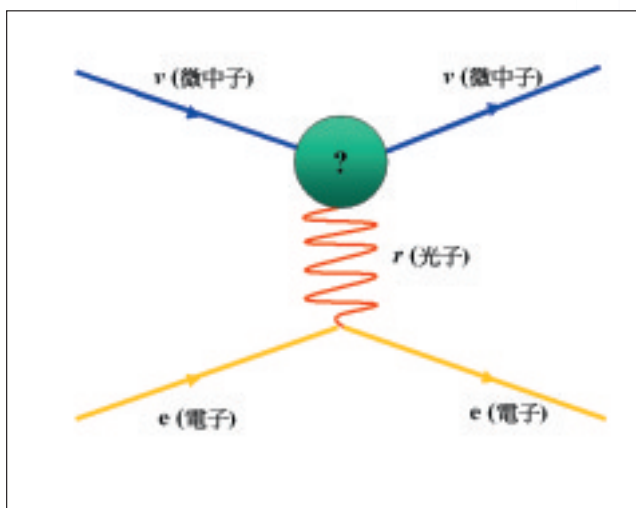
除了微中子磁矩和輻射衰變的研究外，團隊會繼續利用國聖實驗室的裝置，研究其他微中子與物質交互作用的課題，包括微中子與電子交互作用截面的測量、嘗試首次觀察微中子與原子核的同調散射(coherent scattering)。此外，數項研發項目，包括探測器性能的改良、太陽微中子及暗物質測量方法的探討、以加速器質譜儀作放射性同位素的測量、精準電子儀器的製造等，亦在同時執行。一支來自歐、美、日的研究隊伍，也正與團隊探討以國聖核二廠為中心，進行長基線微中子振盪實驗的可行性。



國聖微中子實驗室。

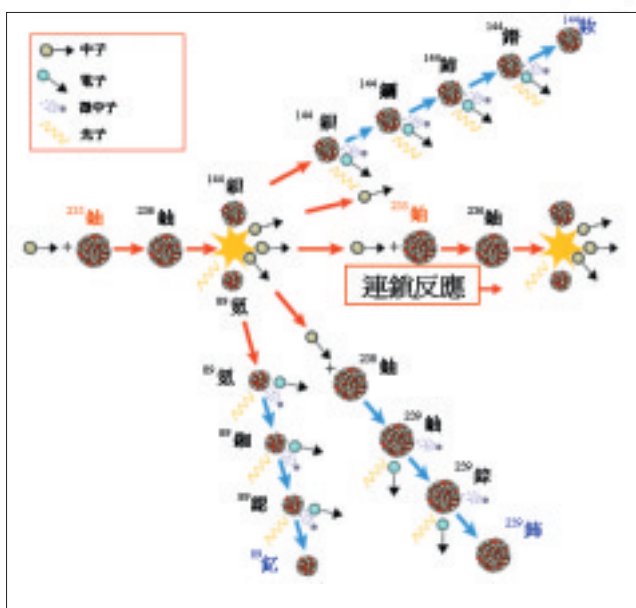


實驗室外觀，可見屏蔽體及控制室。



核能發電原理與釋放微中子示意圖。

除了分別爭取研究資源、分擔研究工作及分享論文成果外，已有三名大陸學生來台參加研究工作並取得博士學位，團隊中也有本地研究人員，前往中國大陸大學任教的例子。在這過程裡，團隊建立了執行整合型實驗計畫的架構格局和與工業界的伙伴關係。這除了是推動其他



微中子與光子和電子交互作用示意圖。

研究項目的重要基礎外，也提供了與國際同儕連絡的據點。例如南韓的物理學家，正積極設置一地下實驗室，進行其本國第一個粒子物理實驗，目標為找尋暗物質。他們採納的探測器技術，跟國聖實驗極為相近，因此彼此自然地建立了密切聯絡，共享研發資料。此外，憑著國聖實驗中製造先進的電子系統的經驗，團隊目前支援本院物理所另一支研究隊伍，參加在日本同步輻射研究中心（SPring8）的實驗，承擔電子取數儀器的設計和製作。團隊耕耘數載，啟動了多元化的研究計畫、培植了全方位的實驗能力、建立了具國際視野的聯繫網絡。

破前人未解之謎、創前人未造之物、攀前人未登之峰、開前人未關之途，這就是研究工作的精神，也是研究工作者的挑戰和喜悅。台灣微中子實驗土生土長，成功的走了「從零開始」、「從無到有」重要的第一步。展望前境，在同仁不斷努力下，我們可望更上層樓，爭取更理想的成績。

（物理研究所 王子敬）