

## 大亞灣實驗發現新的微中子振盪模式

大亞灣微中子振盪實驗團隊於三月八日發布新聞，宣佈首次發現微中子新的一種振盪模式：量測微中子於運行過程中轉換為另類微中子的概率。此項研究結果將開啟通往物理新知的大門，未來可能解釋宇宙中物質與反物質不對稱的奧秘。

微中子是不帶電的粒子，在宇宙大爆炸之後就流竄於宇宙間，而且新的微中子不停的在恆星或其它的核反應中產生。它們自由地運行於宇宙間，全然不受電磁力的影響，僅有弱作用力及萬有引力有機會與其發生作用。大多數時間能不受阻礙地穿透物質，包含人體、建築物或者地球。捕捉微中子對科學家來說是一項艱鉅的挑戰，這激發了大亞灣實驗團隊的好奇心，並且著手設計與推動實驗。

微中子振盪是什麼呢？目前已知的微中子有三種類型—電子類、緲子類和濤子類，微中子在傳播過程中可不斷地由一類轉化成另外兩類，稱為微中子振盪現象。微中子振盪可由六個物理參數來描述，其中部份參數已經由太陽微中子、大氣微中子，或經由反應爐和加速器實驗量測出其值，然而尚有混合角  $\theta_{13}$  與 CP 相位角  $\delta_{CP}$  兩參數待精確量測。

為測量反應機率極低的反微中子，大亞灣實驗團隊於中國廣東核電廠附近的山中架設六組龐大微中子偵測器，用以觀測由核反應每秒所產生出數以千萬計的微中子。並於二〇一一年十二月二十四日至二〇一二年二月十七日此段期間，成功擷取到萬顆電子類反微中子。經由科學家的數據分析，首次發布精確測量到解釋微中子振盪的重要參數「混合角  $\theta_{13}$ 」。藉由比較三處實驗站(圖 1)所擷取到的反微中子數目差異(圖 2)，大亞灣實驗團隊觀測到約有百分之六的反微中子在運行期間消失，並精確計算出微中子混合角  $\theta_{13}$  的值，其結果可表示為  $\sin^2 2\theta_{13} = 0.092 \pm 0.017$ ，因此在五個標準差之下可以排除  $\theta_{13}$  為零的可能性。此實驗結果不管是反微中子消失的機率或是混合角  $\theta_{13}$  都比科學家先前所預期的大。大亞灣實驗團隊並指出未來微中子實驗可望進一步測量出正、反微中子之間的振盪行為差異，此實驗結果將有助於解釋宇宙中物質與反物質不對稱的問題。

大亞灣實驗探測器設置於中國廣東省深圳市大亞灣核電廠區內，距離香港五十五公里遠。廠區內的三座核電廠是世界上發電功率最高的核電廠群之一，核反應所提供的豐富反微中子數量，再加上其周邊的地形優勢，大亞灣堪稱世界上絕佳的微中子實驗地點。因此大亞灣實驗團隊計畫設置八個反微中子探測器於三個不同實驗站，分別是大亞灣近點、嶺澳近點與遠點(圖 1、3)。各實驗站皆設置於鄰近核電廠的山中，藉天然的山岩來降低宇宙射線的干擾，並提高實驗量測的精準度。兩個近點實驗站設置於離核電廠反應爐五百公尺內距離，用以量測反應爐的反微中子產量；遠點設置於距離反應爐約兩公里處，用以擷取經過振盪後的反微中子數量。再經由比較近點與遠點的反微中子數量差異， $\theta_{13}$  值可以被精準地計算出。此獨特的實驗設計是希望藉由近端探測器所擷取到的反微中子數量估算遠端探測器應當觀測到的反微中子數量。倘若遠端探測器所擷取到的反微中子數量比推估的數值少，這意味著有部分反微中子從反應爐至遠端探測器約兩公里的運行距離間消失。這種近端、遠端相對的測量方法有效地排除來自核電廠反微中子產率的實驗誤差，這也是大亞灣實驗能夠精確測量到混合角  $\theta_{13}$  的關鍵所在。如今已有六組探測器安置完成，大亞灣實驗團隊預計於今年夏天安裝最後兩組微中子探測器，屆時將擷取到更多的反微中子，並能夠有更精確的實驗結果。

大亞灣實驗由中國、美國、台灣、香港、俄羅斯與捷克的三十七所院校，共二百多位研究人員參與合作。台灣團隊由國立台灣大學、國立交通大學與國立聯合大學組成，主要負責內層微中子偵測器製作(圖 4)、數據擷取系統開發以及數據分析。

大亞灣實驗亞洲團隊由共同發言人兼中國科學院高能所所長王貽芳帶領，美方團隊由柏克萊實驗室的 Kam-Biu Luk (兼共同發言人)、William Edwards，以及布魯克海文國家實驗室的 Steve Kettell 帶領。台灣團隊則由國立台灣大學熊怡教授、國立交通大學林貴林教授與國立聯合大學王正祥教授帶領。

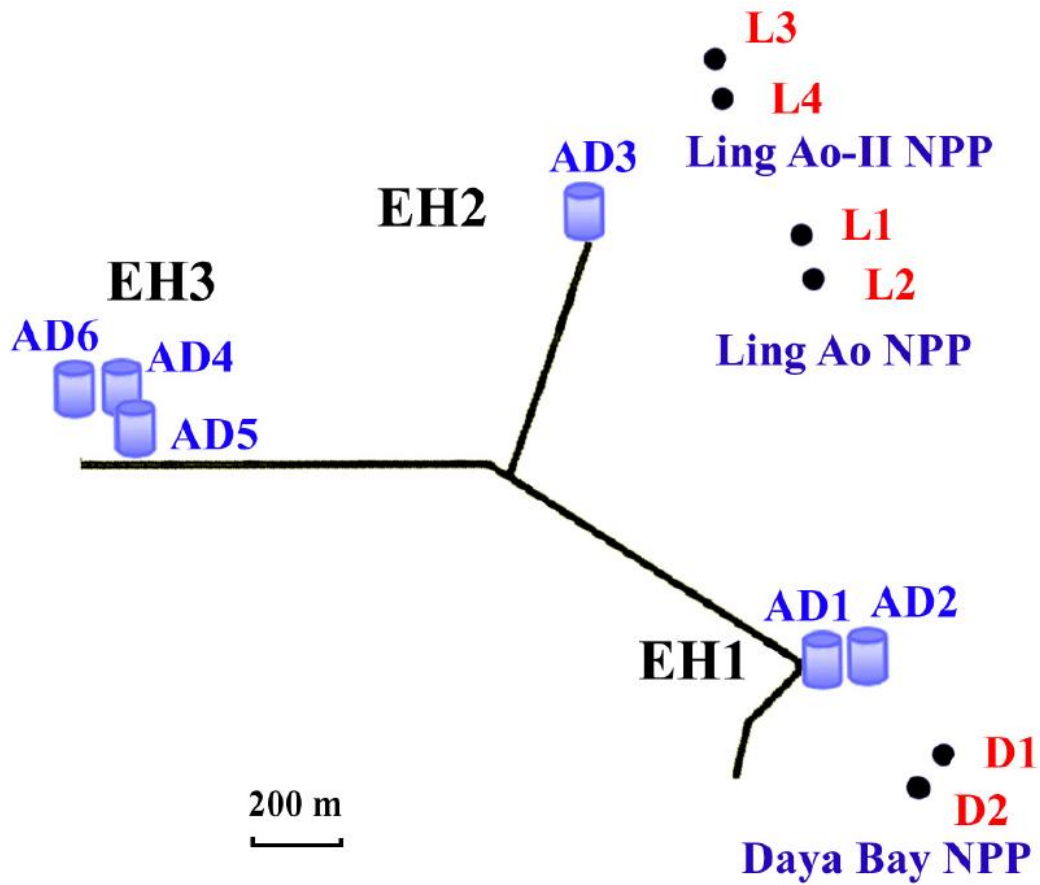


圖 1 大亞灣實驗站位置圖。黑點部分為核反應爐，6 個微中子探測器(AD1~AD6)分別安裝於 E H 1, EH2, 及 E H3 三個實驗站。

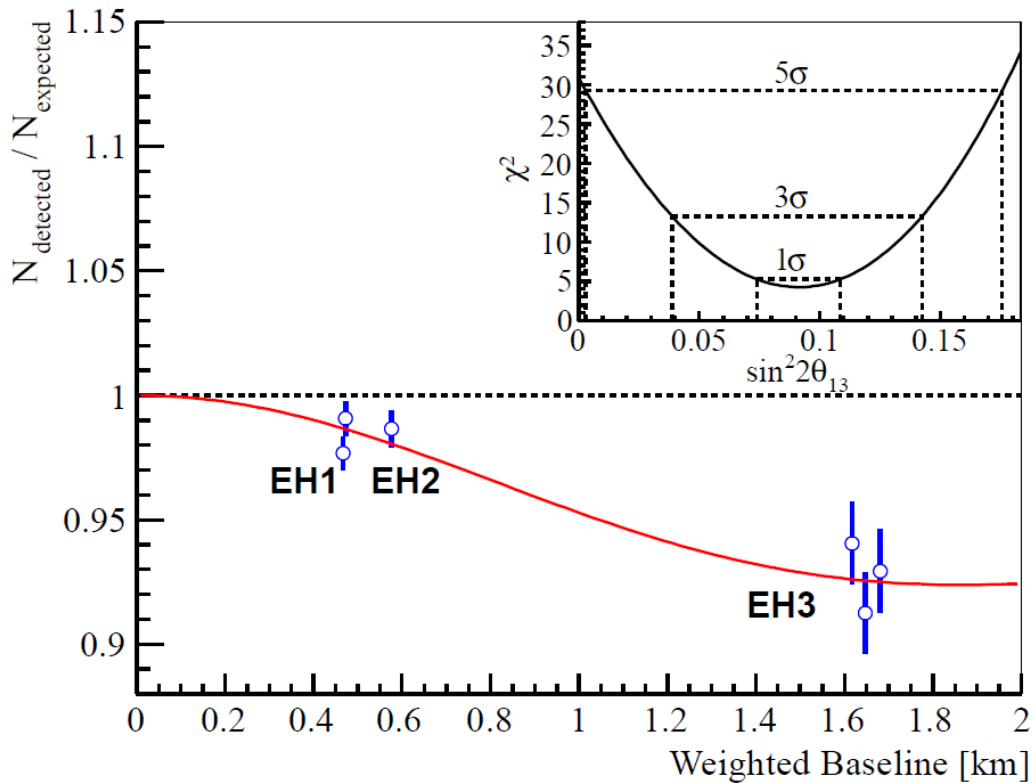


圖 2 橫軸表示微中子探測器與反應爐的平均距離，縱軸表示探測器實際量測到的微中子數目除以假設無微中子振盪時之預期數目。

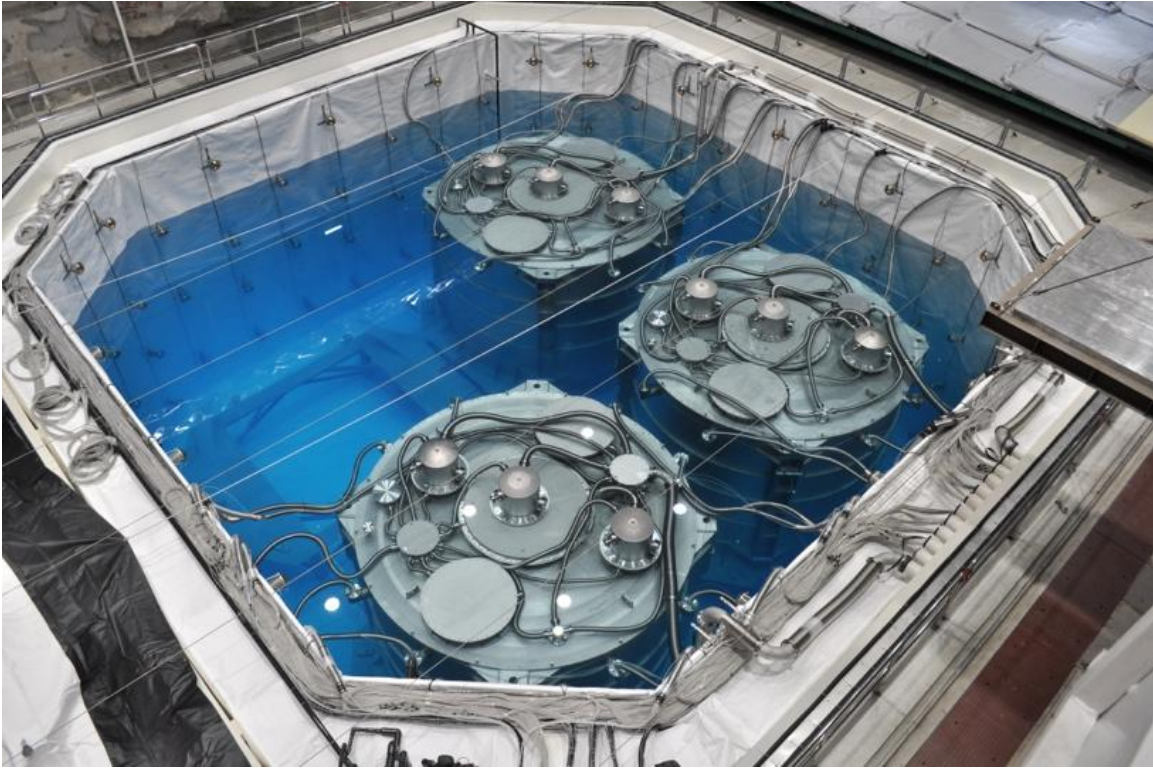


圖 3 照片為遠點實驗站擺放在水池中的三個微中子探測器。水池探測器周圍佈滿光電倍增管，主要功能是用來偵測宇宙射線，以降低背景干擾。

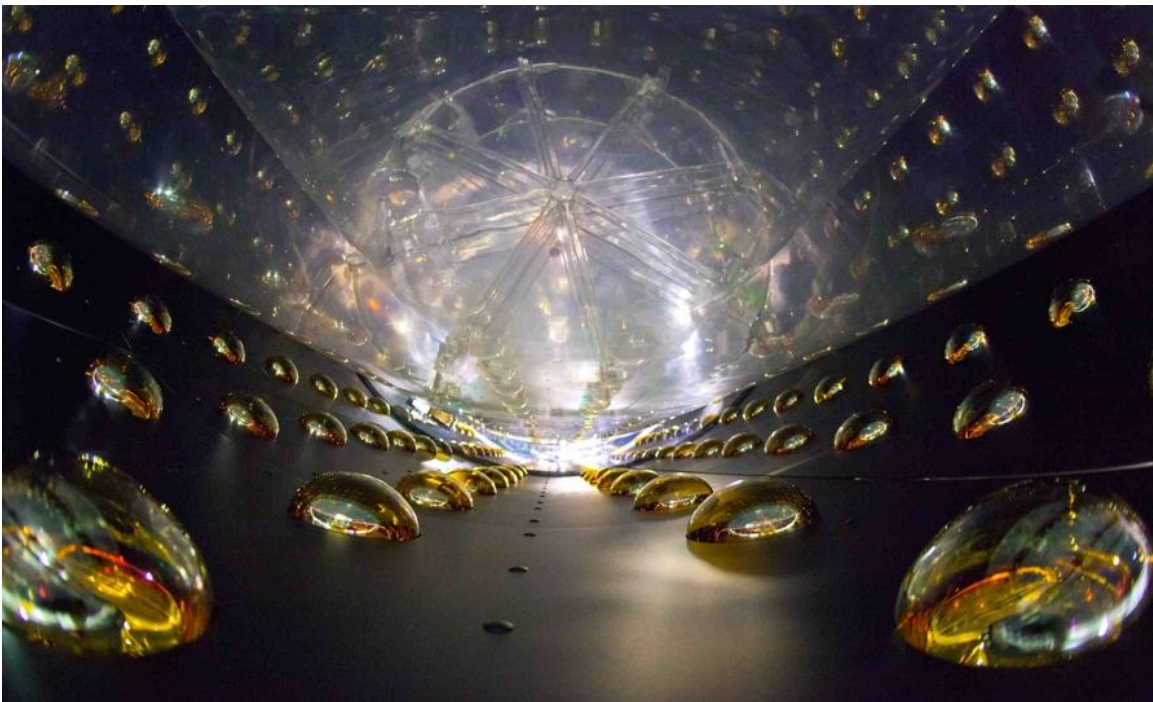


圖 4 照片為微中子探測器內部結構，探測器周圍佈滿光電倍增管，內部裝有四米與三米的壓克力桶。其中台灣團隊負責製作最內部捕捉微中子的中心三米壓克力桶。