

# 台灣高能團隊 B 物理與 CP 破壞研究晉升國際

台灣大學物理系 侯維恕

我國參加日本「B 介子工廠」Belle 實驗已八年[1]，終極目標當然是 B 物理與 CP 破壞研究。近三年來，隨著數據大量湧現，台灣團隊在物理方面已卓然有成，謹在此簡介。

90 年七月，我們分享了 B 介子系統 CP（電荷宇稱）不守恆[2]的重大發現。這是 Belle 實驗十多國，五十多個單位，300 餘人多年努力的成果，也是 B 工廠國際競爭（對手是史丹福所主導之 BaBar 實驗，有 9 國 600 餘人）的主目標。然而，我們期望能有「自己的」物理成果。

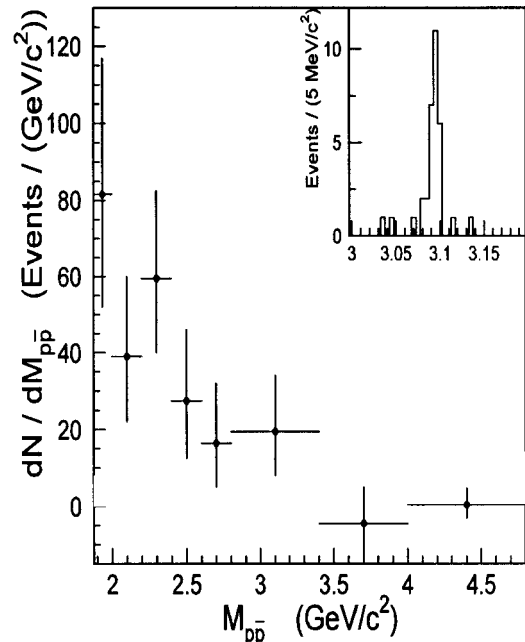
## 一、 $B \rightarrow p\bar{p}K$ 之發現與國際競賽

去年底我們發現了全新稀有衰變類別  $B \rightarrow p\bar{p}K$  [3]，大約有百萬分之四的機會，而  $pp$  對近乎「共振」，與三體衰變的預期大相逕庭（如圖一）。這一類稀有 B 介子衰變有可能提供探索 CP 不守恆的新「縫隙」。

$B \rightarrow p\bar{p}K$  衰變的發現過程十分精彩。筆者以 Belle「稀有衰變」物理子群召集人身份自 2001 年初開始發起推動重子終態之搜尋。台大王名儒教授自 2001 年 4 月起投入，在暑假便已有徵兆，八月底異軍突起，而於九月份之 Belle 分析全會中報告了  $B \rightarrow p\bar{p}K$  的發現。

然而，夏威夷大學在數天後也宣稱看到  $B \rightarrow p\bar{p}K$ ，開啓了 Belle（少見）的「組內」競爭。值得一提的是，夏威夷團隊在 Belle 實驗中是有份量的。他們有三位發言人之一的 Steve Olsen 教授，與兩位「分析統籌人」之一的 Tom Browder 教授。分析統籌者是物理子群召集人的「上級」。夏大的工作，正是 Browder 教授的研究生所作的。

我們立刻增強人力，調配已先行查驗過重子衰變的博士後黃宣誠，並經驗豐富的碩士生陳凱風投入。良性競爭的好處，是能讓研究做的更仔細、徹底。因此，到 11 月中 Belle 就藉國際會議公佈了這項發現，並成立論文審查小



圖一  $B \rightarrow p\bar{p}K$  衰變之  $pp$  質譜，與典型三體衰變之對比

組。Belle 的最後決定是：採用台大的分析結果，由王名儒投遞[3]至最重要的「物理評論通訊」（PRL），並任論文聯絡人。

我們不僅與 Hawaii 團隊較勁，略勝一籌，也勝過了 Belle 的主要競爭對手，由史丹福大學所主導，美歐等國為主幹的 BaBar 團隊。他們到如今在此都還是交白卷的。

## 二、 $B^0 \rightarrow D^0 \pi^0$ 之發現與我國高等教育

我們在 2001 年的另一發現，是  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^0$  等稀有衰變管道[4]，雖是預期中的，但發生率竟都比理論家事前預期的大了數倍。這或許表示 B 介子在衰變後有所謂「再散射」的現象。若然，則很可能在其他 B 介子衰變引發大的「直接 CP 不守恆」效應，而這正是吾人在 Belle 的物理分析主目標（筆者與中研院鄭海揚教授、李湘楠教授，台大何小剛教授等同時推動相關的理論探討，與實驗組相輔相成）。

$B^0 \rightarrow D^0 \pi^0$  等「顏色打壓」衰變的發現，是一個高等教育培養「自發性」研究的例子。此類 B 介子衰變時，相關夸克與反夸克之（色動力學）「顏色」不匹配，無法形成必須的「無色」強子終態，因而衰變率被打壓了。這原不是我們探討稀有衰變的方向，它的發現過程乃是這樣。

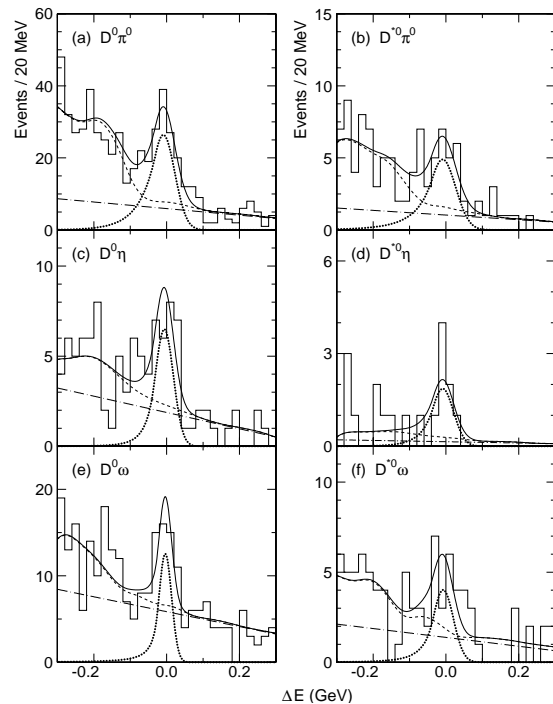
筆者在 1999 至 2000 年時給博士生呂榮祥的分析方向是  $B \rightarrow \omega \pi$ ，在 2000 年因數據量不夠，他並未看到。然而，在前述黃宣誠博士的協助下，呂同學（兩人當時皆常駐日本）鏗而不捨的檢驗相關衰變管道。這原本乃是在「磨刀」，但沒想到 2001 年初「色壓」管道  $B^0 \rightarrow D^0 \omega$  卻蹦了出來。台大張寶棣教授在研究另外的模式時，亦獨立發現了名古屋大學博士生松本君所注意到的  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^0$ 。有了這三方面的交互印證，Belle 稀有分析子群立刻提昇此論題至最優先。而我們強勢運作，於四月份調派黃宣誠與陳凱風成立「戰鬥群」，各分擔兩個衰變管道，到七月份即已底定，共發現了四道，並另兩道的徵兆(如圖二)。為此，Belle 指派呂榮祥赴當年度在匈牙利布達佩斯舉行之最大型高能大會中報告此成果。Cornell 在該會中也有結果，但僅作了兩個管道，而 Stanford 主導的 BaBar 呢，則直到今年夏天才有結果。

黃宣誠是台大高能組 (1998) 畢業的首位博士，呂榮祥及陳凱風則分別於今夏拿到博、碩士。能由台大藉國際合作研究培養出的學生及博士後，自己開發並獨立完成「發現」級的論文，是我國高等教育的提昇與「國際化」。

### 三、來時路與最新成果

前述兩項發現，其發生過程令我們自己都感到驚訝。但羅馬不是一天造成的。建立台灣 Belle 物理分析團隊之首功當推台大張寶棣教授。

1999 年 3 月，KEKB 加速器運轉在即，數據在望，各分析組如箭在弦。當時筆者與「直接 CP 破壞/稀有衰變」子群共同召集人中尾博士協商，替台灣爭取到了  $K^- \pi^0$ ， $K^0 \pi^0$  及  $\eta' K$  等管道。實際工作，則由張教授（當時尚未在台大上任）開始推動。幸運的是，我們有優秀的學生參與：陳凱風與徐士傑，到了 2000 年

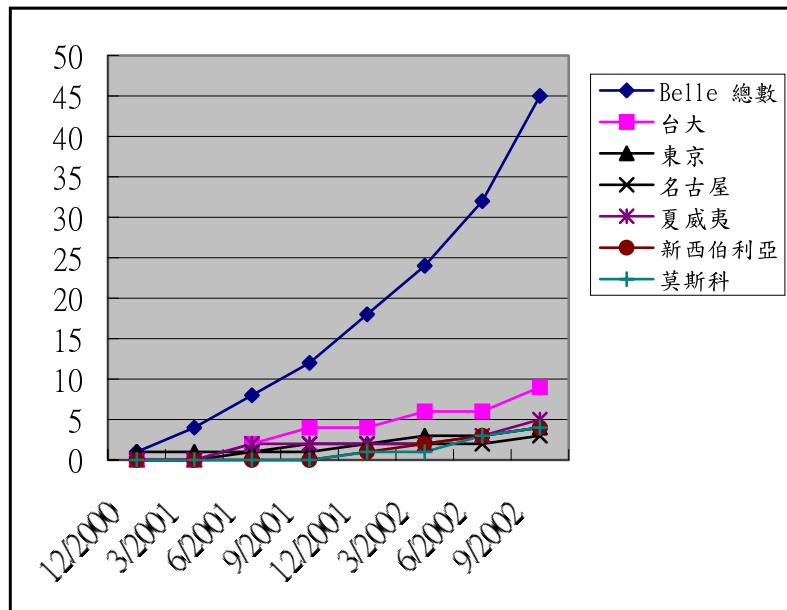


圖二  $B^0 \rightarrow D^0 \pi^0$  等之訊號

的大阪高能大會，便有初步的成果。而張教授亦被 Belle 選為七位報告者之一，這或許是我國高能實驗首次代表主流實驗在最大型國際會議中報告。這些先鋒工作共出了 3 篇論文，兩篇我們貢獻 50%， $\eta' K$  則為純「台灣製」。

我們最近新出的論文有

- ※  $p\bar{p}$  等上限[5]：改進 CLEO 結果十倍，由王名儒完成。
  - ※  $\rho\pi$  [6]：張寶棣指導趙元完成。BaBar 尚未出此結果。
  - ※  $\omega K/\omega\pi$  [7]：首次發現，由呂榮祥完成，結果與 BaBar 及 CLEO 相異，並挑戰理論。
  - ※  $\eta' K$  之 CP 破壞[8]：陳凱風（混合 CP 破壞）與葉平教授（直接 CP 破壞），在知名訪問教授熊怡博士之協力下完成。這是全世界第一篇觀測「企鵝圖」衰變之 CP 破壞論文，可檢驗超越「標準模型」之物理。
- 我們另有多篇論文已在國際會議中公布，接近完成：
- ※  $\eta K^*$ ， $\eta' K$  等：聯合工商王正祥教授及葉平主導，多名學生(含德籍 Jan Schuemann) 參與的完整長篇論文。
  - ※  $\eta' K_S$ ， $\phi K_S$  及  $KKK$  之混合 CP 破壞：今夏公佈之最新結果，陳凱風負責  $\eta' K_S$ ，並檢



圖三 Belle 論文累計與貢獻較顯著之單位 (KEK 未列)。

驗了  $\phi K_S$ 。

- ※  $A\rho\pi$ : 王名儒指導大學生李彥頡又一力作，目前尚無理論解釋。因  $A$  衰變自動提供自旋，將是檢驗  $T$  不守恆 (亦即時間反轉不對稱性) 之最佳路徑。
- ※  $K^-\pi^+\pi^0$ : 張寶棣指導趙元又一嘔心瀝血之作。

#### 四、躍昇國際之量化指標

台灣 Belle 團隊之物理活力，由上可知。目前 Belle 已發表之 40 餘篇論文中，不含上述最後 4 篇，台灣竟佔 20% (如圖三)。這是十分驚人的，因為台灣團隊僅數個單位，不到 20 人，而 Belle 有 50 多個單位，300 餘人！

台灣團隊的地位，亦突顯在代表 Belle 於最重要國際會議中口頭報告之高比例：

- ※ 2000 年大阪大會，7 有其 1。
  - ※ 2001 年布達佩斯大會，11 有其 3！
  - ※ 2002 年阿姆斯特丹大會，13 有其 2。
- 在最重要冬季大會也是一樣，其他會議報告更是多起。台灣 Belle 團隊在國際高能物理界，已然打出名聲。

#### 五、後記

Belle 數據湧現才不到三年，我們便已晉升國際舞台。未來三、五年仍是 B 工廠的黃金時

代，深入研究各類 CP (與 T) 破壞效應，台灣團隊將更進一步大顯身手。

筆者已辭去 Belle 分析子群召集人，推薦張寶棣教授 (自 9 月份起) 接任，筆者仍任 Executive Board 及 Speakers Committee 委員，王名儒任 Institution Board 委員。台灣團隊在 Belle 實驗地位穩固且受到重視，團隊成員在國內升等、獲獎等方面亦相當有進展。若在找工作及兵役等問題上能有所突破就更好了。

#### 參考文獻

- [1] 侯維恕，科學發展月刊 **28**, 694 (2000).
- [2] K. Abe *et al.* (Belle Collab.), Phys. Rev. Lett. **87**, 091802 (2001).
- [3] K. Abe *et al.* (Belle Collab.), Phys. Rev. Lett. **88**, 181803 (2002).
- [4] K. Abe *et al.* (Belle Collab.), Phys. Rev. Lett. **88**, 052002 (2002).
- [5] K. Abe *et al.* (Belle Collab.), Phys. Rev. **D65**, 091103 (2002).
- [6] A. Gordon, Y. Chao *et al.* (Belle Collab.), Phys. Lett. **B 542**, 183 (2002).
- [7] R.S. Lu *et al.* (Belle Collab.), to appear in Phys. Rev. Lett.
- [8] K.F. Chen, K. Hara *et al.* (Belle Collab.), to appear in Phys. Lett. **B**.