

實驗室專訪

一個大學生學習物理，應該抱持怎樣的態度？
物理到底應該是多寫習題？還是多思考一點？

另外就是STM (掃描穿隧顯微鏡)，它
可以看材料表面的高低起伏、幾何狀態，還可以

本實驗室所研究的項目，著重於生物醫學影像方面的研究，除了影像分析

Quantum Physics是把你引入這個殿堂，很多東西都是背景。就好像大二的力學電磁學，你從高中就



NANO MAGNETISM LAB
DEPARTMENT OF PHYS, NATIONAL TAIWAN UNIVERSITY
Email: mtlin@phys.ntu.edu.tw

林敏聰教授

採訪/林昆翰、張翰 整理/楊淵堡、劉恩臨

實驗室研究方向

1. 表面磁學 (surface magnetism)

我在 1997 年自德國馬克斯普郎克研究所回台大物理系服務，回國初期做超薄膜的研究，研究薄膜的成長機制、生長模式與磁性的交互作用。薄膜也拿去做同步輻射，光電子散射實驗。因為用到很多表面科學的研究技術，所以叫 surface magnetism 。

2. 自旋(磁)電子學 (Spintronics)

過了兩三年，我開始做一些以前我在國外沒有做過的東西，像自旋電子學，研究跟自旋有關係的電子傳輸性質，這在最近相當熱門。一開始是做穿隧磁電阻效應 (TMR, Tunneling Megnetoresistance)，在應用上相當重要。從此我的實驗室就改名為奈米磁學研究室。

3. 奈米粒子 (nano particle)

另外我們還有做磁性奈米粒子。我們用磊晶技術 (MBE) 把磁性薄膜長在單晶的絕緣體上；我們在鎳鋁合金上面曝氧，形成單晶的氧化鋁。氧化鋁跟底下的基底有 strain ，形成很細很細的溝槽，只有幾個奈米大小。再長金屬上去，他就乖乖的長在那個軌道上，一顆

一顆的，好像一串珍珠。我們也去研究它的磁性行為。這就是我們最近做的。

4. 同步輻射、STM

除了這個以外，我們正在進行同步輻射的實驗。前面說的三個研究領域，可能都有用到同步輻射、表面的光電子掃描顯微鏡、低能量電子能譜等技術，這些細節可以上我們實驗室網站去看。

另外就是 STM (掃描穿隧顯微鏡)，它可以看材料表面的高低起伏、幾何狀態，還可以看表面的電子結構。我們也同時發展有自旋解析的掃描穿隧顯微鏡 (SP-STM)，已有初步的結果，希望不久以後，可以解析原子的尺度。

我們建了幾個表面磁學的 chamber ，也跟同步輻射中心合作，我們在同步輻射中心有相當多的 activity 。做同步輻射很有挑戰性，必須在一定的時間內完成。普通實驗做不順可以下班休息，明天再來；可是同步輻射只給你四五天的時間，遇到問題時就得想盡辦法，不能做一下發現錯了，明天再補做。它對體力、耐力、腦力、應變能力是相當大的挑戰。

磁性系統

磁性系統有什麼有趣的地方？

磁鐵是既熟悉又陌生的材料，幾千年前人類就拿來用了，可是不清楚真正的機制。我們原先只是片面的瞭解磁性，以為原子裡的電流就是磁鐵的磁性來源。用這個原理可以做電磁鐵，可是卻不能解釋磁鐵的磁性，因為這個量實在太小了。磁鐵的磁其實來自內在的磁矩——「自旋」。

那為什麼有些材料裡面一樣有自旋，但沒有鐵磁性？為什麼有些就有？還有些材料有反鐵磁性，內部磁矩一正一反的反平行排列，這又是為什麼？這些現象都不容易解釋。

當然還有其他東西，就像磁性的方向，還有磁性和傳導的關係。像磁電阻效應，電阻跟內部磁性的組態(平行或反平行)有關係。這很有意思，因為我們可以用磁性來控制電性，或是藉由量電阻來測得外面感應的磁場。

在 1988 年，發現了 GMR (giant magnetoresistance) 的效應，是法國的 Fert 和德國的 Gruenberg 他們同時發現。這種效應出現在有三層結構的材料上，中間一層非磁性金屬，上下兩層磁性金屬；把電流通過去時，電阻會不尋常地改變。剛做出來大概有 5,6% 的改變，現在大概可以有 15%！這個很有用，因為原來的效應很小，現在變顯著，就可以應用了。1997 年 IBM 就把這個效應應用在硬碟的磁頭(硬碟讀取資料的關鍵部件)，這就是很重要的技術進步。

漫談物理人

1988 到 1997 不到 10 年，可是在光華商場就可以買到一個從基礎實驗室走出去的東西。我一直很反對台灣把理、工學院分得那麼清楚。現在工學院學的的東西，可能兩三年後就不管用了，因為現在產業技術的週期越來越短，不能只學現在市場的東西，要學 R&D (research and development)。大學不應該只是一個職業訓練所！

博士班學生要能獨立解決問題。物理學家本來就是要去 touch 不會的東西，如果只有學過的才會，就沒有物理學家，只有工程師了！物理學家要 explore，看到很多不能理解、或是別人沒想過的東西，你應該高興並想辦法解決才對！當然不是漫無目的的摸索，要具體的去解決，才是成功的物理學家。

教普物時我想傳遞給同仁和學生一個觀念：考 60 分的學生，物理程度不見得就一定比 90 分的差，他的其他物理能力可能不錯，只是沒有被考出來。打個比方，有的人會唱歌、有的人會拉小提琴，可是我們每次都考小提琴，因為唱歌很難考。回到物理，像做儀器，焊接、design、在混亂之中想出好的 idea，這種東西平常比較難考。要進到實驗室，真的去解決問題的時候，這些能力才會真正表現出來。物理能力很多元，未來的路也很廣。未來沒有繼續走純物理也不要覺得可惜，那是老舊的概念，物理本來就是可以攻佔各個領域而有所發揮！

對學生的期待

再談一下我期待的訓練。科學要在一個地方生根發展，博士班的訓練很重要。不過在國內讀，先天上外語環境較差。在國內的博士班學生有很好的研究成果後，要想辦法打進國外的科學社群(不只是發表文章而已)，去參與討論，認識人家。我通常會通過國際合作讓博士班的學生出國一陣子，參加國際會議做 presentation、給 talk，把懂的東西整理出來，表達出去。一方面打開視野，另一方面，經由比較後，發現你在國內也做的很好，建立自信。

表達要有邏輯，有結構；要清楚而簡單。不能把很多方程式或實驗結果直接放著。讓觀眾自己去看，這不叫表達，叫發參考資料。國外有些國際會議的 talk 只給你十分鐘；在這麼短的時間內，你得清楚表達你的東西，又要令人印象深刻。

其實這種訓練是很重要的。台灣的國小、國高中都沒有這樣的訓練，也是我們大學部學生缺乏的。其實可以在實驗室裡面，每個禮拜定期會面補強。比如說你報告一篇 paper，把它講得很清楚，抓出 key point。同樣一篇 paper，不同的人來報告感覺就不一樣；這個人報告沒什麼，另外一個人報告就覺得這東西真偉大，data 也一樣。有些人覺得自己報告沒什麼，那就不用報告了，不要浪費大家的時間！如果你對自己的東西沒有興奮感，那如何把你工作的精采興奮傳達給觀眾呢？

你不能說你要拿諾貝爾獎的時候才興奮，你沒有從小的地方開始興奮要如何往前呢？其實很多東西有些人老是說，啊這個也沒什麼，覺得這個題目不夠偉大不做(台大的學生常常有這種「壯志」)。但他不知道科學是從很小的東西開始累積。一開始就很認真把它做好，然後慢慢表達出來。很多東西訓練的就是這種基本的態度。這在台灣有滿大的進步空間。

採訪者簡介

林昆翰、張翰
台大物理系四年級

整理者簡介

楊淵堡、劉恩臨
台大物理系二年級

註：背景為漫畫「X man」的角色「萬磁王」

奈米、光電、生醫與超導電子學之基礎 與應用研究—楊鴻昌教授

文/楊鴻昌

本人於 1983 年獲得美國 Iowa State University 物理博士學位，專精 Josephson 元件物理。獲得博士學位後即返國服務，1985 年受聘於物理系，從事凝態實驗與物理教學工作，建立低溫物理、超導元件與生物磁學實驗室。1987 年，釷銅氧高溫超導體被發現後，隨即組成研究團隊，專研前瞻生醫用途的高溫超導釷銅氧薄膜[1]、超晶格薄膜[2]、約瑟芬元件物理[3]、高溫超導量子干涉元件 (Superconducting Quantum Interference Device, SQUID) 物理[4]等研究，進而建立以 SQUID 為感測器的磁性檢測系統，應用到非破壞性檢測 [5]、生醫系統如心磁圖[6]、磁性標記抗體檢測之奈米磁性粒子[7]、磁性檢測技術[8-10]與磁共振造影術[11]等醫學應用至今。

1996 年，研究團隊更著手研發奈米磁性流體材料的研發[12]，發現磁流體薄膜在磁場下形成獨特的週期性磁束鏈狀排列[13]、可調的折射率[14]等特性。藉此特性我們開創可調性光開關[15]、光調制器[16]、光柵[17]等光電元件。前面的可調性奈米磁性材料及光電元件等，更是全世界首次發明，已得到美國、台灣、中國、歐盟等地的專利。

近年來我們更結合研發之 SQUID 元件與奈米磁性流體，將其應用到醫學工程上；SQUID 心磁圖、磁性生醫免疫、低磁場 SQUID 磁共振與磁共振造影術等。本人主持教育部大學追求學術卓越研究計畫之子計畫(II): “多通道低磁場 SQUID 代磁共振造影”(2002 年 4 月 1 日至 2006 年 3 月 31 日)及國科會的後卓越子計畫(II): “SQUID 代磁共振造影及生物磁學影像技術”之研究(2006 年 4 月 1 日至 2010 年 3 月 31 日)，除創新高磁場敏感度 SQUID 設計外，我們更研發出 SQUID 心磁儀，在台大醫院內建立心磁影像實驗室，與台大醫院的醫師合作進行高血脂兔子心磁圖動物實驗。

高溫超導 SQUID 元件之研發，我們利用雷射蒸鍍與磁控濺鍍成長釷銅氧薄膜，研發高品質階梯式基板[18]，創新 SQUID 陣列之設計來提升 SQUID 特性，成功研發低雜訊雙晶體 SQUID 磁量計[19]，在 1 kHz 之磁通雜訊約為 30 fT/Hz^{1/2}，在 1 Hz 之雜訊約 80 fT/Hz^{1/2} 超越先前世界雜訊水準。在 SQUID 磁性生醫的研究我們成功地研發出 SQUID 心磁圖生醫系統[20]，並將它應用於心臟心理學等生物醫學之研究。在低磁場磁共振造影研究，實驗室利用預極化磁化量來創新低磁場

(8.9 μ T) SQUID 核磁共振與造影術。另亦建立雷射光灌注超極化 ^3He 稀有氣體與 SQUID 偵測器等技術來增強低磁場磁共振造影術。

在磁性免疫檢測之創新部分，我們結合 SQUID 磁性測量與奈米粒子磁性，創新磁性方法的抗體標記技術。透過奈米生醫的國家型學術卓越創新研究計畫(2004/8-2007/7)，結合不同學術背景之教授及醫師；研究內容包括磁性標記奈米粒子的合成、磁性抗體檢測系統的開發、以及生醫應用等研究。目前，我們已標記許多特定抗體/抗原，並發展出以 SQUID 為基礎且具特色的磁性標記方法。磁性標記免疫檢測研究我們發展飽和磁化率[9]，磁鬆弛 [8] 與混頻交流磁導率之量測以定量檢測抗體含量之系統與檢測特性[10]。

奈米磁性粒子薄膜之光電應用研究中首次發現垂直磁場下磁性流體規則性二維六角形排列，使可見光通過該週期性排列時產生干涉及繞射現象，我們將此現象定義為“磁色效應”[21-23]。由於該磁色效應的創新，獲選登於 1998 年 5 月的美國應用光學雜誌(Applied Optics)的封面。研究群發現磁性流體折射率受磁場強度、溫度、濃度、薄膜厚度等變因而改變。由於這些結果都是首度被發現，已獲美國專利，已發表於知名國際學術雜誌上。

總之，我們以化學與工程技術合成可應用於生醫、光電之奈米磁性粒子。創新 SQUID 元件與磁性檢測技術等技術，並將其應用磁性抗體標記及臨床心磁圖生醫等方面。期盼關鍵之磁性奈米材料、SQUID 元件及生醫檢測技術可創造出生醫產業與知識經濟。

由創建至今，實驗室已經歷二十多個寒暑，培養出不少優秀的大學部、碩士班與博士班學生，其中當然亦經歷了不為人知的辛酸。本文扼要描述二十多年來研究歷程與創新成果，並提供些許參考資料，讓有興趣之同學做為學習的參考。願與本系上同學共勉，期望各位同學都有一個美好的未來。

參考資料:

- [1] H.C. Yang, H.H. Sung, L. Lee, H.E. Horng and T.R. Yang, "In-Situ Growth and Flux Pinning in Ag Doped Y-Ba-Cu-O Thin Films", Phys. Rev. B43, 8634 (1991).
- [2] L.M. Wang, H.C. Yang, and H.E. Horng, "Mixed- S_{t} — a te Hall Effects in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y/\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Superlattices, Phys. Rev. Lett. 78, 527-530 (1997).
- [3] L.C. Ku, H.M. Cho, J.H. Lu, S.Y. Wang, W.B. Jian, H.C. Yang and H.E. Horng, "Characteristics of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ Step-edge Josephson Junctions on MgO Substrate", Physica C 229, 320-324 (1994).
- [4] S.Y. Yang, C.H. Chen, H.E. Horng, W.L. Lee, and H.C. Yang, "Characteristics of YBCO SQUIDs with Step-edge and Bi-epitaxial Grainboundaries", IEEE Trans. Appl. Supercon. 9, 3121-3124 (1999).
- [5] J.T. Jeng, S.Y. Yang, H.E. Horng, and H.C. Yang, "Detection of Deep Flaw by Using the SQUID-based Nondestructive Evaluation System", IEEE Trans Appl. Supercon., 11, 1295-1298, (2001).
- [6] Herng-Er Horng, Shou-Yen Hung, Jen-Tzong Jeng, Shu-Hsien Liao, S.-C. Hsu, Ji-Chuu Hwang, and Hong-Chang Yang, "Biomagnetic Measurements with HTS SQUID Magnetometers in Moderate Shielded Environments", IEEE Trans. Appl. Supercond. 13, 381-384 (2003).
- [7] Wanquan Jiang, H.C. Yang, S.Y. Yang, H.E. Horng, J.C. Hung, Y.C. Chen, Chin-Yih Hong, "Preparation and properties of superparamagnetic nanoparticles with

- narrow size distribution and biocompatible", *J. Magn. Magn. Mater.* 283, 210 (2004).
- [8] H.C. Yang, S.Y. Yang, S.H. Liao, G.L. Fang, W.H. Huang, C.H. Liu, H.E. Horng, and Chin-Yih Hong, "Magnetic Relaxation Measurement in Magnetically Labeled Immunoassay Using High-Tc SQUID System", *J. Appl. Phys.* 99, 124701 (2006).
- [9] H.E. Horng, S.Y. Yang, Chin-Yih Hong, C.M. Liu, P.S. Tsai, H.C. Yang, and C.C. Wu, "Biofunctionalized magnetic nanoparticles for high-sensitivity immunomagnetic detection of human C-reactive protein", *Appl. Phys. Lett.* 88, 252506 (2006).
- [10] C.-Y. Hong, C.C. Wu, Y.C. Chiu, S.Y. Yang, H.E. Horng, and H.C. Yang*, "Magnetic Susceptibility Reduction Method for Magnetically Labeled Immunoassay", *Appl. Phys. Lett.* 99, 212512 (2006).
- [11] Hong-Chang Yang*, Shu-Hsien Liao, Heng-Er Horng*, Shing-Ling Kuo, Hsin-Hsien Chen, and S. Y. Yang, "Enhancement of High-Tc SQUID-detected NMR signals with pre-polarization of magnetization in microtesla magnetic field", *Appl. Phys. Lett.* 88, 102505 (2006).
- [12] J. Jang, Y.D. Yao, I. Klik, H.E. Horng and H.C. Yang, "Low Temperature Magnetization of a Ferrofluid of Magnetic Coated with Polystyrene", *Phys. State. Solidi.* 153, K9 (1996).
- [13] Chin-Yih Hong, I.J. Jang, H.E. Horng, C.J. Hsu, Y.D. Yao and H.C. Yang, "Ordered Structures in Fe₃O₄ Kerosene-base Ferrofluids", *J. Appl. Phys.* 81, 4275-4277 (1997).
- [14] S.Y. Yang, Y.F. Chen, H.E. Horng, Chin-Yih Hong, W.S. Tse, and H.C. Yang, "Magnetically-modulated refractive index of magnetic fluid films", *Appl. Phys. Lett.* 81, 4931 (2002).
- [15] H.E. Horng, C.S. Chen, K.L. Fang, S.Y. Yang, and J.J. Chieh, Chin-Yih, H.C. Yang, "Tunable Optical Switch Using magnetic fluid", *Appl. Phys. Lett.*, 85, 5592 (2004).
- [16] H.E. Horng, J.J. Chieh, Y.H. Chao, and S.Y. Yang, Chin-Yih Hong, H.C. Yang, "Designing optical fiber modulators by using Magnetic fluids", *Optics Lett.*, 30, 543 (2005).
- [17] H.E. Horng, C.Y. Hong, S.L. Lee, C.H. Ho, S.Y. Yang and H.C. Yang, "Magnetochromatics resulted from optical gratings of magnetic fluid films subjected to perpendicular magnetic fields", *J. Appl. Phys.* 88, 5904 (2000).
- [18] C.H. Wu, M.J. Chen, J.C. Chen, K.L. Chen, H.C. Yang*, M.S. Hsu, L.S. Lai, Y.S. Tsai, H.E. Horng, J.H. Chen, J.T. Jeng, "High quality step-edge substrates for high-Tc devices", *Rev. Sci. Instrum.* 77, 033901 (2006).
- [19] C. H. Wu, U.C. Sou, J. C. Chen, K. L. Chen and H. C. Yang*, M. H. Hsu and T. S. Lai, J. T. Jeng, Y. S. Tsai and H. E. Horng, "Influence of bicrystal microstructural defects on high-transition-temperature direct-current superconducting quantum interference device", *Appl. Phys. Lett.* 88, 102504 (2006).
- [20] Hong-Chang Yang*, Tsung-Yeh Wu, Heng-Er Horng, Chau-Chung Wu, S.Y. Yang, Shu-Hsien Liao, Chiu-Hsien Wu, J.T. Jeng, J.C. Chen, Kuen-Lin Chen, and M.J. Chen, "Scanning High-Tc SQUID Imaging System for Magnetocardiography", *Supercon. Sci. Technol.* 19, S297 (2006).
- [21] H.E. Horng, Chin-Yih Hong, Wai Bong Yeung, and H.C. Yang,, "Magnetic Chromatic Effects in Magnetic Fluid Films" *Appl. Optics*, 37, 2676 (1998).
- [22] H.E. Horng, C.Y. Hong, S.L. Lee, C.H. Ho, S.Y. Yang and H.C. Yang, "Magnetochromatics resulted from optical gratings of magnetic fluid films subjected to perpendicular magnetic fields", *J. Appl. Phys.* 88, 5904 (2000).
- [23] Heng-Er Horng, S.Y. Yang, S.L. Lee, Chin-Yih Hong, and H.C. Yang, "Magnetochromatics of the magnetic film under a dynamic magnetic field", *Appl. Phys. Lett.* 79, 350 (2001).



National Taiwan University
High Energy Physics Group

侯維恕教授

訪問／吳映嫻、謝東吳、游至安 節錄整理／游至安



侯維恕教授的研究領域是高能物理中的粒子理論，並且建立了和國外合作的高能實驗團隊。今年在大學部開設量子物理，在教到核物理及粒子物理時，老師講得津津有味、樂在其中。現在讓我們更進一步，來了解侯老師的研究團隊吧。

請老師簡介你的研究領域，還有研究團隊在全球之中的定位？

我其實是做理論的，1993 年底，因為種種原因，開始推動在台大的高能實驗，這是一個比較奇特的際遇，如果不是回到台灣，大概也不可能。

我 20 年前開始做粒子物理，主要做 B 物理、CP 破壞以及所謂偉大物理，CP 破壞只是偉大物理的一部分。主要偏向現象學，我很少建立模型啦，大概是拿已知的模型來解釋實驗的結果或是這個現象可能是怎麼樣的效應。90 年代初期在太平洋兩岸，日本跟加州那邊都要建 B 介子工廠因緣際會、因著邀約、因著種種，開始推動台大的高能實驗。轉眼之間就十多年了，系館五樓這半邊差不多都是高能實驗，算是小有成果。

至於定位，我拿比較量化跟直接的指標來講。上個世紀，我們台大是唯一在 BELLE 這個大團隊裡，自己掌控一個小偵測系統的大學。從兩千年左右，BELLE 實驗和加州的 BABAR 競爭，大家開始出 paper，五六年下來，台大的團隊的 paper 數差不多一直維持在百分之二十；量非常醒目，質更是如此，我們並不是在鑽牛角尖，大部分都是重點題目。

參與 BELLE 的單位將近有五十個，單一的大學在這樣的團隊能夠貢獻到這樣的地步非常少見；這是過去五六年以來最核心的國際高能實驗，而且是跟美歐在競爭。我們台大算是選對了邊，因為這個團隊目前有全世界亮度最高的裝置。我們也是前五六名的領導者，在 BELLE 裡一直維持很好的高層參與，我想這些都是指標。

從理論跨到實驗，從零開始，很多的問題可能要自己想辦法處理，比方說架儀器，應該遇到過不少困難吧？

回到 1995 年，我們當初其實是茫然一片，財力物力都沒有，是從 -1 開始—因為我是做理論的，所以還要再少一(笑)。進去之後不知道該做什麼，那個時候領悟到，如果沒有一個硬體的工作，實在是占劣，沒辦法在裡面立足。所以就是去找人談啊、想啊等等。當初是這樣提出了一個小偵測系統，那個想法本身是一個戰略，能提出來我當然是很高興啦。現在那個小偵測器還在運轉。

大概在 2002 年，我主動把一些主導權交出來，也都過去啦。可是我覺得即使到現在，我覺得我們做的很多的題目差不多都是我佈的線，即使到現在，我覺得我們做的題目差不多都是我佈的線，我不是要誇口，確實是這樣的。我最大的好處是清楚明白這些物理理論，知道往哪個方向比較好。

因為我是做理論出身的，所以在 BELLE 裡面，多半時間我都很心虛，羊披狼皮入狼群，好害怕喔(笑)。我不是以理論家的身分參加 BELLE，大家常常誤會這點；我其實是支援人力，替 BELLE 打出一片天的人力。這點我以前喜歡用 General Motors 當例子，像這種大公司的總裁、CEO 會開車就不錯了，他不會設計車，他要做的是抓方向、做指揮。如果你以為這只是吃閒飯那就錯了，那個位置如果弄得不當，公司會有很大的虧損。我顯然沒有做的太差啦。

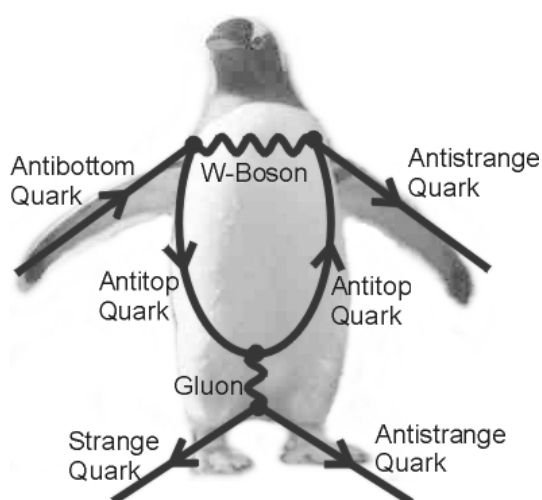
未來出路

可以請老師說一下大部分的學生後來去了哪裡，現在在做什麼嗎？

趙元跟陳凱風都在 BELLE 裡做了許多貢獻，他們決定要服國防役，而且都決定要回我們這組。比他們再高一屆畢業的王景祺，也要留下來，我們去年還有另外一位德國博士生畢業。

我今晚要出國，會經過費米實驗室，要去見幾位以前跟我組裡相關的學生，有一位女生是 1997 年畢業，大四的時候在我們組裡待過，後來出國，去年拿了博士，她現在在做費米實驗室的 CDF 實驗。要接我飛機的一位學長，是我們組裡第二位畢業的博士生，他是以前國防役的身分派駐到費米實驗室。那邊還有一位 UC San Diego 的學生，在 BELLE 裡出過一篇 paper，他是在我們這念碩士，出國是因為遭「兵變」，心裡過不去。還有兩三位和我們組裡有關的學生我應該也會見到，有一位在最早的時代跟我做過，送去 Stanford 了，大概兩三年前已經拿到博士了，現在在我們的對手 BABAR 那裡做。我們今年還有一位碩士當完兵回來的以及今年碩士畢業的兩位去 MIT，喔！當完兵回來的那位同學也遭了(兵變)。

當然，你是要 MIT 還是 made in Taiwan 就自己決定了，總之，我們是念物理系，不管去做什麼就是希望挖掘出一點道理來，這你們應該都同意，否則去台積電賺點錢更好(大笑)。



泡菜理論及滾雪球效應

請老師談談做實驗與做理論的異同。

做實驗不需要那麼優秀，做理論就不能小時不了了，**實驗需要動手，不一定需要什麼高明的智慧**，誰都需要跑程式。（所以需要努力？）也不只是努力，像凱風寫程式不會出錯，能夠快狠準地做出來。他不見得是課堂上最 top 的學生。課堂上最 top 的學生分爲兩種，一種是絕頂聰明，三兩下就是全班最高了，另一種就是會考試會唸書，那樣跟做研究不直接相關，實驗更是如此。**我說做實驗就像泡菜，剛放進去就拿出來，沒味道。放進去不理他，一天三天五天，看你要做成怎樣的泡菜，味道就出來了。**它比較不像是一路鑽下去的，靠毛細現象一點一點的滲進去，從量變到質變。可是像做粒子理論，基礎要求很高，蠻少成績不好的人能夠很優秀，雖然並不是不可能。**學習，特別是演繹式的學習，有滾雪球效應，在某個階段沒有弄清楚，盲點會擴大。**

跟理論比，做高能實驗相對有一個好處，每個禮拜報告、視訊會議，報告進度如何。做到一定的成果就升級到更大型的會議。人家問你、你看別人報告，這些交流都是國際性的。這就是我剛剛講的泡菜，有香料、有鹽。

Quantum Physics——

進入物理的殿堂

教授在教學方面的感想？

其實我一直想教量物，我大學時代印象最深的課本就是 **Eisberg**。這本書有點龐雜，不過從這門課才開始看到一點研究的世界，從未知到知。古典力學、電磁學是不錯，但好像只是把已經知道的東西再講詳細點，而且滿古的（笑），量物可是將二十世紀的科學進展一一展現在你眼前呢！另外你們可以去做個調查，過去幾十年來，有哪些老師教量物這門課講到過粒子物理和核物理（笑）。

教授能再談談 **Eisberg** 這本書嗎？

這本書確實很痛苦，它這麼厚，字這麼多，英文又難，我瞭解。廣博性是我選這本書的原因。**唸 Quantum Physics 是把你引入物理的殿堂，很多東西都是背景。**不像大二的力學電磁學，你從高中就開始準備了。

記得我第一堂課講的嗎？很多人喜歡 **Griffiths**，薄薄的很好念，可是這是假的。他不教 **Quantum Physics**，也不教 **Quantum Mechanics**。有點像 **QM**，可是又不是 **QM**。他會壞了你吃正餐的胃口；真正教 **QM** 的時

候，因為有點熟悉，你就不那麼注意。這種既非 QP 又非 QM，我堅決不要，因為這太容易了，教起來輕鬆，念起來也輕鬆，可是既不知道很多重要的現象，當 QM 教到的時候還會覺得我好像大致都知道了，這是在騙自己。

其他沒什麼特別的見解，如果有的話是這樣：你們要接納，大學老師是沒有教學文憑的，不需要教育學分。所以我不要求自己能教的多好，像我的板書之爛（笑）可能還得修個板書課，不過說不定腦筋會變鈍（笑）。大學老師對學生的影響第一是用書，第二是保持活性，讓學生能感受到。你們應該可以區別，哪些老師裡面可能只剩爐灰了，哪些裡面還有火在燒。

對學生的期望

（沈默）.....年輕只有一次。（眾笑）所謂年輕，大概是 25 歲之前，閒蕩荒廢一兩年沒有關係，超過的話就要付出代價。念理論物理更加如此。現在台灣大家比較鬆散，大四更是營養，這樣可是浪費青春，別說老師沒有警告你。如果想進入物理殿堂，那是刻不容緩，不能讓自己清閒。就像賽跑選手，不操練、不升級，他想去奧運嗎？別傻了。對於做理論的學生，更是如此。像是疊金字塔，基礎每一層都要穩固，以前的東西差不多都要會，然後拔尖。實驗也差不多，就是泡菜。不過實驗家有一個好處，不一定要馬上都學懂，可以先去摸。比如說寫程式，把一個問題切割成一塊塊可處理的。每一塊處理好了，再關聯起來。切割了以後，一小塊裡面的操作，就不需要天縱

英明了，而且需要合作。如果是做實驗，不要避重就輕，要去泡。如果不泡，還想要有大的成果，就違反「泡菜理論」（笑）。**理論比較需要沖濃度，實驗可能要儘早去泡，多泡。**將來在你們自己手裡，要體會到這一點，做理論的話要開竅（笑）。開竅就很困難了，不開竅像是眼睛長了白內障，什麼都看不清楚。（吳：還要增加文化修養）**文化修養是需要的。第一，專家不是訓練有素的狗。第二，不只是精神寄託，而且可能是想像力的來源。**如果越來越鑽，越來越短淺，結果什麼都看不見了，大發現會這樣來嗎？專注是必要的，可是如果目光如豆，就看不見重大發現。量子力學告訴我們，要容許 fluctuation，就是要有更多管道，也就是我們說的文化修養，比較有眼界，知道頭要抬高一點。

採訪者簡介

謝東吳、游至安
台大物理系四年級

吳映嫻
台大大氣系四年級

插圖說明：Feynman diagram(費曼圖)是理論物理學家 Richard Feynman 發明的，表示基本粒子相互作用的圖解法，有一類因為形狀像企鵝，又稱 penguin diagram(企鵝圖)。

關志鴻教授

採訪/賴彥佑、黃彥婷、陳至傑 整理/游本立



關志鴻老師 1985 年在德州大學拿到博士，於 1989 年回台。先在中央待了八年，後至台大任教至今。他目前於台大物理系開授天文物理專題討論、古典力學。

老師主持的實驗室——實驗方面

實驗方面有 5~6 年前與中研院天文所合作的 AMiBA 計畫。2000 年成立的目的，是要建立全球最佳的干涉望遠鏡，觀測宇宙微波背景輻射中的二階異向性。我們在 Hawaii 蓋微波望遠鏡，蓋到一半，錢就花光了，原本預期要 19 個天線座，結果只做 7 個，觀測靈敏度

只有預期的 $1/10^1$ 。2005 年我跟國科會提出申請，希望把望遠鏡的敏感度提升十倍。方法是將頻寬從 13GHz 提升到 35GHz，天線從 7 座加到 13 座。這樣大概就是十倍。從窄頻變成寬頻，整個系統都要改，但只要加六座天線，大約只會花費原經費的 $1/10$ 。年底國科會核給經費，我們要在一年之內(2006 年底)完成。

只有十分之一？

我們希望能降低經費，譬如說買 IC 自己包裝。已經包裝好的成品比較貴，例如一個放大器值 US\$1500，而一個 chip 只值 US\$30-50。包裝就交給中科院，價格不高，只需人事費。不過有些東西中科院沒辦法做，例如特別頻寬的濾波器，也買不到，必須自己設計。有些是電機系教授和學生幫我們設計，有些是我們的學生設計，再交給中科院製作。這樣總價格約 3000 到 3500 萬，大概是之前 AMiBA 的 $1/10$ 。

¹ 干涉望遠鏡的靈敏度正比於天線數的平方。靈敏度要看 correlation 的數目，第一個天線和第二個天線、第一和第三、第二和第三……correlation pair 大概 n 平方個， $19^2/7^2$ 約為 7 倍；剩下的 factor 是頻寬，頻寬越寬訊息越多，頻寬是原本的 70%，於是 $0.7/7$ ，就是 $1/10$ 。

還有其他要自己做的東西嗎？

另一個要自己動手的是數位相關器 (digital correlator)，給干涉儀做 correlation。correlation 是把 A 天線和 B 天線的電場相乘再相加，即 $\sum A_i B_i$ ，i 是時間序列。我們先數位化再做這些動作，好處是比較準確。其中牽涉到兩個技術上的挑戰：

一、如何將類比訊號數位化：

要做 analog to digital converter (ADC)，而且需要很高的 sampling rate，要 20GHz，手機才 2GHz，目前世界上沒有這麼快的 ADC。兩年前我和電機系教授談，就有位年輕的助理教授跳進去，目前已設計完成，由台積電負責製作。

二、快速富立葉轉換及快速相乘：

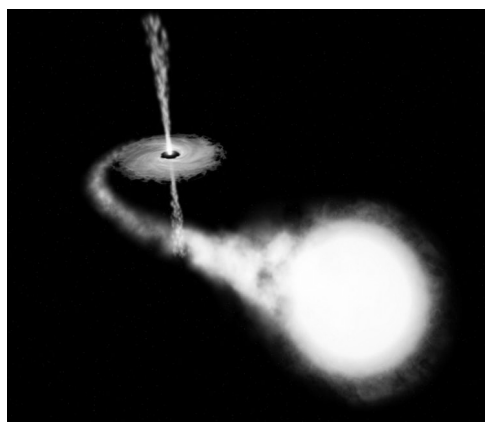
要在高速下將 sample 做 A 乘 B 的動作。為了降低頻寬，我們先把 A, B 訊號做富立葉轉換，再把 Fourier component 相乘。除了快速相乘，富立葉轉換也要非常快速，這部份是一個博士班學長在做。

做出來後，這將是全世界最寬頻的 (10Ghz)，五倍於五年後 ALMA (南美智利的無線電望遠鏡計畫) 的數位相關器。

理論方面

理論部份則是用電腦模擬觀測會看到的東西，比如我有學生做重力透鏡：利用光從暗物質旁邊通過會彎曲，算出暗物質的質量。還

有一個觀測黑洞的計畫，模擬黑洞相撞。一般來說，星球之間的作用力也要考慮，所以這計算量很大；設整個系統有 10^6 個星球，每一個星球都受到其它星球的作用力，一個星球算 (N-1) 次，有 N 個星球，總共 N(N-1) 次，一步就要計算 10^{12} 次。目前只有東京大學的某個 group 能算，他們做了特別的超級電腦。我有個國科會的計畫，造了一個特別的電腦做這方面的計算。不過我們是用顯示卡，不是 CPU；顯示卡計算功能強大。一些遊戲主機，如 PS2、PS3、X-BOX，都有一個特別的 IC，與顯示卡的 IC 類似，專門做計算，比 Pentium4 高十倍以上。不自己設計電腦會很難算，除非有人給你超大的超級電腦，氣象局可能有，學術界很難。



An artist's impression of a black hole with a closely orbiting companion star that exceeds its Roche limit. In-falling matter forms an accretion disk, with some of the matter being ejected in highly energetic polar jets. ----From Wikipedia

這個 group 大概就是做這兩方面，都跟實驗有關。雖然第二部份是理論，但還是要建自己的儀器。你們看實驗室很亂，很多東西都拆了。幾年前我們做一台 64CPU 的超級電腦，用光纖連結幾十部個人電腦來計算。

研究領域

我們這個研究領域是宇宙學，看宇宙大爆炸殘留的 3K 背景輻射。在過去幾年到未來五到十年應該會蠻紅的。做這些的都是加州理工、柏克萊、普林斯頓、劍橋、芝加哥這些特別有名的學校，大多是英美的學校；連東京大學都沒有。我們大概在六年前有經費跳進去，只是行程拖得比較久。我希望在今年年底能達到頂級的水準。可是一年後可能會輸給芝加哥大學和普林斯頓大學，他們的儀器比我們今年年底做出來的敏感十倍，2008 就要上線。因此我們只能風光一年。希望設備一年以後能再提升十倍的敏感度。目前想多做一些數位相關器賣給別人，籌措經費。之後國科會教育部應該會繼續支持，只是一下子需要很多經費。

宇宙學(cosmology)、天文物理(astrophysics)及天文學(astronomy)有什麼不一樣？

最早的天文學是測量角度或星球距離多遠，大概是為了航海定位這類的實際問題。後來天文學演變成瞭解星球的性質，為什麼這顆星比較紅，那顆星比較藍，而有些星會閃。這是 stellar astronomy。有了無線電望遠鏡後，可以看得更多，就有人問這些星球、星系是怎

麼長出來的？這就算是宇宙學的範疇，探討宇宙及其結構的來源。

Astrophysics 是指天文學中與物理有關的領域。其實過去大部分的天文現象都和物理有關，天文學和天文物理大致相同。但近年來，研究領域變廣了。如果是尋找星雲或星系裡面的分子雲中是否有 DNA、酒精、鑽石...，跟化學比較有關，就屬於 astrochemistry 及 astrobiology。在天文上你可以研究不同的領域，不同專長的人都可以跳進來，現在分界也越來越模糊了。



AMiBA 陣列望遠鏡-- 闕志鴻老師提供

其他大學的天文計畫有哪些？

台大這邊是以 AMiBA 衍生出來的課題為主，大部分在做宇宙學；中研院天文所有一個 submillimeter array。他們研究分子雲，也研究星核怎麼形成，因為星核也是從分子雲中產生。也有人在看分子雲中有哪些分子，是否可以出現某些有機物或無機物，他們走化學及傳

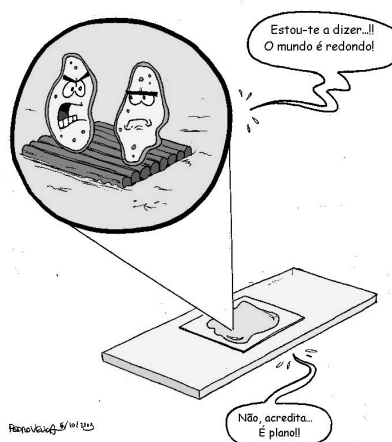
統天文學。中央大學在鹿林山上有一米的望遠鏡，在夏威夷也有一個光學望遠鏡的計畫；他們專攻可見光波段，而台大、中研院則是較高頻的微波波段。清大也一直有進展，他們比較好的是日震學，觀測太陽表面的震動，去推論太陽內部的形狀及結構。這方面的研究已經開始成熟，他們也在尋找其他領域，如 X-ray 天文學；成大從事人造衛星方面的研究，也還在發展中。另外中央大學有太空科學所及太空遙測中心，研究地球附近的電離層、磁層。由太空船到上面去測量各位置的電磁場，太陽風的速度等等。所以他們就會比較注重電漿物理，電磁波或是計算這些帶電粒子的問題。

人生縱橫談

老師最想最想研究的題目是？

我現在跟年輕時不同，想研究可以解決，又具競爭力的問題。年輕時沒經驗，選的問題不見得重要。你可能覺得很有意思，花很多時間去解，可是世界上沒幾個人認為重要。

以我這個階段來回答，我覺得應該做會有具體結果，並且也是應該要做的題目。像 AMiBA 花那麼多錢，我也是當初推動的人，如果讓它在那邊只像玩具一樣，對不起納稅人嘛！花三四億，什麼東西都做不出來，這樣行嗎？既然已經花了那麼多錢做基底，我們只要再花一點錢就可以蓋起樓，並且很有可能得到好的成果。所以，我覺得 AMiBA 是最佳的選擇。如果是二十年前，我就不見得會這樣回答了。



Amiba ?

當初跳進天文這個領域的動機？

我覺得天文和其他領域不同，有很多問題可以研究，而且都很有趣。如果做高能，能選的題目可能不多。只有幾個題目大家都覺得重要，上千個人在做。以半導體來說，假如量子霍爾效應被人做出來，可能很多人就失業了。並且做半導體的人，不太容易跳到超導體，反之亦是。天文就不是這樣，現象很多。做天文的人很少一生都做同一個題目；好的天文學家可能一段時間做黑洞，十年時間做星系，然後又去做別的。

不過天文會這樣，有根本的原因。像超新星爆發，不是每天發生；從過去的爆發現象做出理論，必須等下一次現象發生，可能要十年後，才能應證你的預測。例如黑洞，現在高解析度的無線電波可以看到相當裡面的結構，可還是有極限，在下一代的望遠鏡誕生以前，就只能到這裡。天文很少十年就有完整的答案。

進老師的實驗室需要具備什麼能力？

學生進實驗室時可能還對電腦不太熟。我會先給簡單的題目，讓學生知道寫程式是怎麼一回事。至於物理知識，很多人剛進來的時候，電磁波只聽過馬克斯威方程。都是之後跟同學討論、看論文，慢慢進步。我覺得不太需要特別準備什麼，至少物理系的學生不太需要，把必修課好好讀好就行。

走天文物理有什麼課可以修？

台大的天文物理所就有天文物理的課。把已知的物理知識中，和天文及輻射有關的部分擷取出來，整合成一門課。大學部的學生則可以修普通天文學。(認識星空是開給女生...喔不，開給文學院的課嘛)這門課會給你們一些概念，天文裡面有什麼現象，別人怎麼解決問題。

老師有教課吧，對學生有什麼樣的期許呢？

我希望學生可以問問題，跟我有更多的互動。所以我上一上都會停下來問：有沒有問題？就是等你們表現。同學上課可以更積極參與。

老師有沒有想對物理系學生說的話？

對大學部和對研究所的學生都一樣，尤其是大三大四，應該多聽系裡的演講。演講分兩種： colloquium 和 seminar。seminar 講給專業的人聽，不是那個領域的人，很難進入狀況； colloquium 不是這樣，一般我們要求講者要能講給沒有背景的學生聽。我建議在排課表

的時候，把星期二下午空下來，聽聽不同領域的人在做什麼。演講和上課不一樣，上課有課本，不需要很專注，稍微想一下，回家看看書就可以。聽演講必須很專心，一個鐘頭就會結束。聽這些演講，培養一個鐘頭就知道講什麼、重點是什麼，能很快夠吸收並且提出問題。我沒有說要多修課，只有要多聽演講(笑)

JOKE



你真正在尋找的
是真實的自己

是宇宙的意志
引導你到這裡來的

採訪者簡介

賴彥佑、黃彥婷、陳至傑

台大物理系三、四年級

整理者簡介

游本立

台大物理系四年級

統計物理 , 非線性動力學, 生物數學—— 龐寧寧教授

文/龐寧寧

我的主要研究領域是統計物理與非線性動力學，過去所做的研究多半是與非平衡統計物理或隨機過程的應用，例如粗糙介面成長的統計性質、生物演化的自我組織臨界現象、變動系統的基本研究、建構無序系統的演算法以及在無序介質中的最佳化相關問題。現在正嘗試往生物物理的方向發展，包括在變動環境中，單細胞生物基因表現型與族群成長的分析，及與 **Statistic resonance** 的相關性。此外，我們計畫與中研院原分所、生醫所及應用科學研究中心的研究同仁合作，研究 **charge transfer-ion channels** 以及 **cell death** 等問題。

我之所以決定改變研究方向是考慮到統計物理經過一百年的發展，其基本架構已經成熟，而生物細胞的環境是應用統計物理的最佳系統。近年來細胞與分子生物實驗儀器與技術不斷精進，但目前對細胞生物學的理论瞭解，仍停留在定性分析的階段，的確需要許多物理學家與數學家的投入，從事理論方面的研究。畢竟物理發展的過程就是不斷地往新的方向、未開發的領域拓展，這個過程雖然要克服許多的阻礙，並且與許多不同背景的研究人員溝通，但是成果通常更有 **impact**，By the

way，這可能就是中年危機產生的中年轉業現象。哈！哈！哈！

做為理論物理學家，最大的好處就是沒有實驗室；沒有家累，背個書包，四海雲遊，隨處可做研究。很合乎我本身 **Bohemian style** 的性格。我們 **group meeting** 的地方就是在 **Renaissance Café**，過去畢業的學生幾乎都繼續往物理研究的方向發展。我本身不喜歡給學生太大的壓力，畢竟研究生涯是一輩子的路，一時的強大壓力可能造成日後更大的反彈，事實上，我仍在摸索如何做一個好的 **advisor**。

想要從事這方面研究的學生，我建議要具備基本程式語言的能力，生物細胞與分子的通識基礎，統計物理與非線性動力學的導論程度，機率與隨機過程的基礎，還有最重要的 **determination** 與 **hope**。跨領域的工作不容易，常常會有挫折感與低潮，懂得放鬆心靈是非常重要的功課。我覺得小說「飄」的女主角郝思嘉是一個好典範，不管今天多糟，明天就是希望。物理系的學生都很聰明，但是聰明的人通常自覺太強，給自己太大壓力，如果懂得調適身心，相信人生會更寬闊。

非線性光學實驗室—石明豐教授

文/石明豐

來到物理系已經邁入第九年了，這是第一次在“時空”寫東西，給系上的同學介紹自己的研究——非線性光學。

先來說個小故事。1834年，一位蘇格蘭科學家 Russell 在一條窄而淺的運河旁騎馬，看到了以下景象：一艘小船突然停下，原本在船艏前方被推動的水，因為慣性繼續向前，奇特的是，在這單一“突起水”的前方和後方，水面非常平靜，不起任何波動。他好奇地跟隨這“突起水”走了好幾哩，其形狀、大小仍不見任何改變。Russell 於是在筆記本記下了這個奇怪的水波。50年後，兩位荷蘭科學家 Korteweg 和 de Vries 發現，要觀察上述“孤立升起”的水波，升起的水波振幅必須很大，如果不够大，就只能引起一般的水波，而且傳播不久後就會消散。他們了解到，大振幅和小振幅的水波行為不同，也可以說水——這個傳播水波的介質——對水波振幅的反應是非線性的。

現在回到主題——非線性光學。大學學電磁學的教科書總是假設，傳播電磁波的介質是線性的；意即不管振幅大小，只要是同頻率的電磁波，其折射率(介電係數和介磁係數的函數)總是不會改變；這樣的微分方程式比較容易解。然而介電係數代表的是電場(E)和極化強度(P)之間的關係；如同彈簧的虎克定律，當外力大到某一個程度就不再成立；當電場強

度大到某一個程度時，極化強度和電場就不再呈正比。介電係數在電場振幅較大時，必然和電場振幅較小時的值不同，這表示傳播電磁波的介質對電磁波振幅的反應是非線性的。換句話說，折射率是電磁波振幅的函數。在光學上也可以說，折射率不是定值而是光強度的函數。但如此一來，要解電磁波或光波在介質中的行為，就複雜多了。而且在不同材料中，折射率和電場的關係也不盡相同，所以我們無法找到一個電磁波或光波在非線性材料中的通解，在很多的情況下，也找不到解析解。

有許物理現象是由於折射率受到光強影響產生，如相位共軛光。當兩道同調的光入射到非線性材料時，因為干涉而產生週期性的亮暗條紋，在材料中產生週期性的折射率變化，這變化造成使材料變得如同光柵一般；當有另一道光入射，就會產生繞射。這道繞射光，其相位會和入射光在空間中的相位互為共軛複數，故我們稱其為相位共軛光。

其他的非線性光學研究，非常廣泛，因為我主要的研究方向是非線性介質中，光傳播的行為，所以我會在這方面作較多的介紹。如前所述，要詳細了解光波在非線性材料中的傳播並不容易，目前已有許多專門方法解決這樣的問題。但這裡我們只從原理上，定性地來看這樣的現象。讀者只須知道兩個原則：(一)波的

傳播垂直於波前；(二)光波前進的速度反比於折射率；就可以討論光波在非線性介質中傳播的行爲。

這方面的研究起始於 1960 年代中期，最早的研究是 Chiao 建議：光束應該可以完全避免繞射，在介質中形成光孤子(soliton)。光束在自由空間傳播時，因為其波的特性，會自然的繞射，若由海更斯原理來解釋，我們可以知道，這道光束的波前一定是中間部分凸出，而光束的能量由中間向旁邊擴散。若要這道光束不產生繞射，光的波前必須作適當處理。因此“光孤子”現象能夠成立的前提是，光傳播介質對光強的反應必須是非線性，且光越強的地方折射率越大(稱為自聚焦材料)。折射率較大的部分光波前進的速度較慢，光波的波前因而改變，如果光強分佈“適當”，波前可以形成一平面，根據海更斯原理，波的傳播是垂直於波前，如此這光孤子的光束在傳播時，就可完全的消除繞射。但是當光強分佈和光束大小不適當時，這光束就會繞射或自聚焦，而空間光孤子的形成就是依靠自聚焦和繞射的完全平衡，這種光孤子又稱為亮孤子。

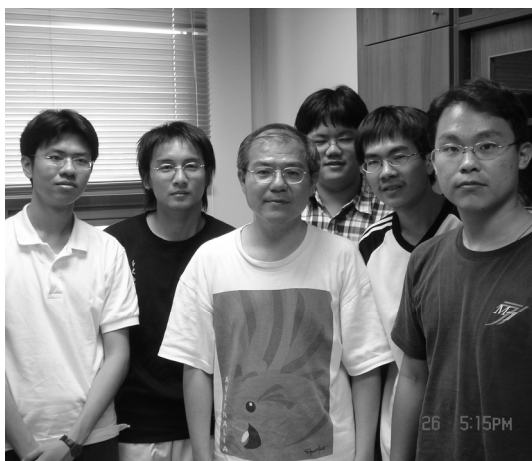
另一個和空間光孤子類似的光傳播行爲是光調變不穩定性，它所須要的條件和亮孤子相同，就是介質必須是自聚焦類型。不同的是，光孤子在入射到非線性光學材料之前，我們必須將其光束大小依光的強度作調整，使自聚焦和繞射之間可以完全平衡，而光調變不穩定性則不須要。光調變不穩定性可以從平面波開始。以下我們來看看，光調變不穩定性如何生成：假設有一同調的平面光入射到非線性自

聚焦材料，因任何的光都會帶有雜訊(這雜訊可能來自光源的自發輻射，光在空間行進時受到空氣中微粒的影響而造成，或者是光在介質中傳播時，受到介質中缺陷的影響)，光在進入自聚焦材料時，有的地方就會比較亮，有的地方會比較暗，雖然這差別非常非常的小，仍然會造成亮的地方折射率稍微大一點點，暗的地方折射率小一點點。而光在前進時，會靠近折射率高的地方(就像波導，光纖內的全反射一樣)，如此下去，亮的地方更亮，折射率又更大，吸引更多的光。所以即使一開始光強度只有很小的不同，在傳播一段距離後，光強的分佈就會有很不一樣，形成圖案，這樣的現象就稱為調變不穩定性。

我們非線性光學實驗室的同學們，在過去幾年的努力下，對這個領域有了一些貢獻。發表了不少關於光孤子和調變不穩定性的研究，也得到一些肯定。例如美國光學學會(OSA)每年會挑選一年來，光學領域最重要的論文，我們的論文"Coherence Controlled Soliton Interaction"就獲選為 Optics in 2005 的其中一篇。這個研究中，我們研究孤子之間的交互作用。補充一下，光孤子交互作用的機制已相當清楚——若孤子之間的相對相位同相，便會互相吸引；若差 π ，便會相互排斥。在這篇研究中，我們發現，同調性也強烈影響光孤子之間的交互作用，當光由同調轉變為部分同調時，孤子之間的交互作用會由相吸變為相斥，或由相斥變為相吸；由此提供了一種新的法門，控制光孤子。這裏細節複雜，就不詳述了。如果同學對光學有興趣，不妨到光學實驗室看看，說不定也會像我一樣走，走上光學研究的路。

陳義裕教授

採訪/勵秉鈞、林志豪、黃鼎中、賴彥佑、田凱仁 整理/蔡秉諭、田凱仁



陳義裕教授專長是非線性物理。1991 年在加州理工學院得到博士學位，1992 年在台大任教至今。閒暇翻譯科普文章，目前在編寫教育部版本的國中物理教科書。現開授量子物理。

研究領域

我的領域是渾沌理論和非線性力學。任何東西最低階的近似都是線性，只要稍微把問題弄得複雜一點，非線性的東西就會進來了。所以幾乎各行各業、各式各樣的問題都可以稱為非線性。當我們跟別人說做的是非線性系統的時候，聽起來就像是狂妄地想通吃任何的問題了。實際上，我們通常只會挑一些比較簡單的系統來處理。

那處理的問題通常偏向哪些方向呢？

真的是有點雜，我對各種不同問題都蠻有興趣的。我今年畢業的這位學生是做高速公路交通模型：後車想走快一點，可是前車擋在那邊，前車做加速減速的時候，後車就會受到影響。這就有點像是牛頓的運動系統，一個粒子會影響另一個粒子，只是這個問題比牛頓系統更複雜，因為粒子的交互作用並不對稱。如果考慮簡單的系統，例如把它變成一條迴圈，上面有一百輛車，一台跟著一台走來走去，在不同條件下，系統會產生一些有趣的現象。

而我自己對線性問題也很有興趣，像最近在做聲學的問題，如摩酒杯發出的聲音跟裡面的液體有什麼樣的關係？這本身是個線性問題，可以從變分的原理推出現象。而非線性的部分，以前也有做過流體波干涉的問題。

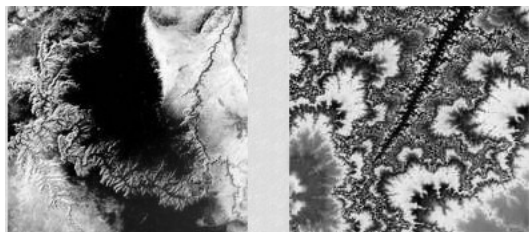
那還有延伸到其它的領域嗎？

哦，像生物學系統也有啊，你可能在天下文化的《混沌》這本書裡面看過那個雞心的實驗。雞心細胞受刺激的時候，裡面會有一些週期性的現象出現。如果給不同刺激，就有可能會出現亂七八糟的訊號；你可以把渾沌用在生物學的現象上面。

工程上就很多了，譬如說美國海軍可能去研究飛彈的穩定，飛彈射出去以後有很多非線性的現象會發生，可能會變成渾沌，那有沒有什麼辦法可以去「控制它」呢？控制渾沌系統也是一門大學問。有人專門做渾沌的控制，有時你希望系統有渾沌，渾沌也有好處，不要以為渾沌一定是壞的。

入這門需要哪些預備知識？

我通常都跟學生說不用擔心，什麼都不需要，入門之後再開始看論文、發掘問題。讀的時候發現「我這個不懂」或「懂得不夠」，再慢慢補強就可以了。有些人會覺得我們這一行比較沒有學問，因為不需要預備知識——你不需要先把微分幾何學、物理數學、相對論、場論通通學完——才能學特殊領域的學問。但是物理系的基礎學科還是要學紮實。最怕就是同學連最基本的東西都學不好，那是很頭痛的。



老師的 Group

學生的出路？還有現在都在哪裡？

我認為學生的出路不是最需要擔心的，以我們的碩士班來說，不管你在哪個團隊，做什麼題目，其實都有個基本訓練，而外面要求的就是基本訓練。我有個學生做渾沌理論，後

來就到台積電、南亞找工作！他在那邊當然不是做渾沌理論。也有同學對寫程式很有興趣，所以出去後是在相關公司撰寫電腦程式。不過，最近有位同學從事這些工作多年後發現還是物理最好玩，又想回來念物理博士。所以，出路不是最需要擔心的問題。因為系上老師把關嚴，我們物理研究所名聲都還不錯，同學平均程度也不錯，大家出去至少沒有漏氣，對以後的學弟學妹有加分的效果。倘若有一批出去不行的話，接下來就會很麻煩了。

博士班就不一定了，當你選擇念博士時，路就變得很窄，選擇的領域就有很大關係。

碩士班唸完之後出國會不會比較困難？那大學畢業後出國與讀完碩士再出國有沒有差？

其實不會，在我看來，系上碩士班申請國外學校的情況都還滿好的，而且也不一定要走碩士的那條路。國外學校在選學生時，應該跟系上一樣，知道學生興趣會轉變，所以會看你過去的表現和未來的潛力。

在過去，畢業後直接出去的同學，通常是女孩子或那些成績比較好的同學，但這幾屆一些優秀的同學也是留下來。在我當年唸書的時候，大家畢業後能出去就出去了；現在這樣對系上來說是好事啦！

老師跟學生的互動模式大概是怎樣？

因為在做教育部的國中物理教科書，佔掉許多時間，這三年來一直把團隊縮小，今年剛好送走最後一批學生；等這個任務結束，和學

生才可能有更多互動。以前團隊大的時候，每個禮拜會有 group meeting，同學選一篇讀過的論文或想個主題，上台報告和大家討論；個人研究的部分是每個人找時間來跟我討論，group meeting 不是討論個人研究的東西，所以每個人過一段時間就會強迫自己去念論文。

我覺得我對學生不嚴啦！因為我風格就是如此，不會特別去盯；以前唸書的時候，老闆也是不管我的！有的時候很長一段時間沒見面，每個禮拜就去爬山了。不過我的第一個老闆逼得很緊，每個禮拜會寫一張單子，指點我要做什麼，好像寫作業一樣。我想每個老師指導學生的風格不太一樣，但都有很有趣的地方，問題就在學生如何依照自己的個性選擇老師、跟老師配合。

教學與學習

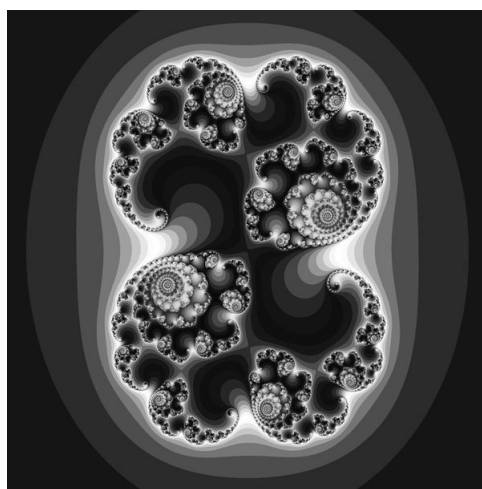
老師教的量子物理跟近物有點重複，老師希望藉由這門課帶給我們什麼？

按照系上原先課程規劃，二年級近代物理是希望將相對論及量子論，一直到薛丁格方程式作詳細的介紹。量子物理則是從薛丁格方程式出發，一步一步走下來。但是每個老師的教學想法不同，分配課程的方式也不同，才會讓有些同學覺得這兩個課程有點重複。

在教量子物理這門課時，跟侯教授討論過，我們的看法相當一致，換成 Eisberg 的課本是因為 Griffith 的書看起來比較像「量子力學」，而量子力學都在講架構，以及機械式的計算，需要較高的數學程度。

我們認為量子物理不該是這樣，科學發展有很多歷史及相關實驗。如果直接切入量子力學，即使裡面的運算你都知道，但你還是沒有那些物理現象的概念，那些經典實驗也就都搞不懂，許多物理詮釋就得不到了。

其實 Griffith 對我來講更容易教，只要把量子力學那套化簡就好。所以我們採取的是比較吃力的教法：寧可浪費你的時間，讓你看很多字的課本，多看些文句，即使你覺得似懂非懂，但是印象會比較深。等你升大四或是研究所再修量子力學回頭對照時，就會比較懂了。



一個大學生學習物理，應該抱持怎樣的態度？學物理到底應該是多寫習題？還是多思考一點物理問題？這兩方面似乎沒有辦法同時兼顧。

我相信因為每個人的長處跟短處，情況會不同。有些同學如果不給他足夠的訓練，就無法應付任何問題。你們任何一門課不管老師是誰，大概每個禮拜都在寫習題吧！那是美式的訓練，尤其是物理系，通常比較辛苦。

課程方面，從前在量子物理之前系上也有開「近代物理導論」，用比較簡單的書從頭到尾什麼都講，公式也沒怎麼推導，知道了很多現象，但都不是很瞭解。到了量子物理，其實也不知道在學什麼……因為用的書就像 **Eisberg**，所以當年量子物理一整年學完之後，我知道自己什麼都不懂。

另一個就是熱物理學，那時是一年，我覺得熱學是很難的東西，偏微分偏來偏去……

〔採訪者眾聲同意〕。所以熱學我也知道我什麼都不懂。力學則是一年慢慢教，我覺得還好。電磁學也覺得還學得通。

我後來在研究所才慢慢了解量子物理、電動力學的內容，很多的物理想法是在研究所自己慢慢悟出來的。如果你在量子物理這門課有學到什麼有用的想法，可能都是那時想出來，而多半不是老師當年教的；因為當時學的實在太痛苦，幾乎樣樣都不是很懂，而且經過這麼多年也都忘光光了。

老師用過的數學方法，很多跟我們學的不太一樣，請問老師是怎麼學的？

很多東西都是自修弄出來的。我去過數學系修課，但純粹是興趣；譬如說黃武雄教授的幾何學，講解得很清楚，即使這些東西可能沒什麼應用價值，但無所謂，我喜歡他上課的風格。數學方面很多東西我都自己學，我想我學的東西，應該都比一般物理系的數學內容還深一點點吧。我不會滿足於系上應用數學的內容；另外一方面就是多想，這可能都有幫助。

老師的期許

我在系上教書 12 年，雖然在改考卷的時候永遠會喃喃抱怨著「程度怎麼這麼差」，但嚴格說，同學平均程度還不錯。以後你們不一定要做物理，但我們的學生在各領域表現都滿好的。雖然你們現在為了及格而煩惱，但跟很多年輕人比起來，你們算優秀很多，事業方面最重要的就是盡心盡力把事情做好。

如果有機會出國，不要只學學問而已，要多看看社會文化，這是很好的經驗。我運氣很好，在國外住宿舍，四人一間，都是跟外國人一起住。我有個很好的美國室友，像兄弟一樣很多話都能談，這是很難得的。

在國外還見識到什麼是謙虛——我在國外跟過的兩個教授都很厲害，也很聰明，但是他們都很謙虛。另外就是開放的心胸，我原本以為自己心胸已經很開放了，跟國外朋友接觸後，才知道不夠。同學之間的情誼，可能是一輩子的，相處要真誠以待，如果談不來的就算了，談的來的話要好好把握。我跟中學、大學甚至國外的同學到現在都一直保持聯絡。

採訪者簡介

勵秉鈞、林志豪、黃鼎中、賴彥佑、田凱仁
台大物理系三、四年級

整理者簡介

蔡秉諭、田凱仁
台大物理系三、四年級

顯微生物物理實驗室—董成淵教授

文/郭千睿

台大的顯微生物物理實驗室係由董成淵博士於西元2000年創立，實驗室目前亦是國家型基因體計畫中的影像核心設施，研究包括了腫瘤學中的活體研究、肝臟病理學、神經生物學、皮膚醫學以及眼科學等。生命科學的研究，不論工具或是方法，都已不若以往可以獨立於物理或是化學之外，跨領域合作是不得不然的趨勢。本文將會對生物物理的領域稍作介紹，並簡單介紹台大顯微生物物理實驗室的研究近況及未來願景。

關於生物物理

先講一個笑話。有一個牧場主人想要增加牧場裡乳牛的產乳量，於是他找了一位物理學家來幫忙，只見物理學家在黑板上畫了一個圓，並說：「首先，假設你的乳牛是一個球...」。

雖然只是個笑話，不過多少也反映出部分生物物理的研究方向，即利用物理學家常用的研究方法——由簡入繁地建立起模型。舉例來說，當代分子生物研究的主角——去氧核糖核酸(DNA)——是由華生(Watson)與克立克(Francis Crick)利用當時在物理界仍是尖端技術的X光晶體繞射法，觀察可能的對稱性，配合一些化學性質及成分的分析，一步步解出它的雙股螺旋結構，其中克立克即是劍橋大學的物理學家。另外，在利用X光晶體繞射法建立DNA模型的過程中作出卓越貢獻的羅莎琳·法蘭克林女士(Rosalind Franklin)亦是學習物理及化學出身的科學家。目前的生物物理界中，有許多研究即利用與傳統物理研究中相似

的理論模型建構，研究生物分子結構、蛋白質褶疊、生物遷移、甚至生物演化等諸多領域。

除此之外，還有許多的生物物理學家，利用物理學的原理，建立研究生命科學的新方法或是儀器。好比說目前醫學診斷上的必備工具，X光，它的發現者正是第一屆諾貝爾物理獎得主倫琴；此外，像是磁共振造影、相位差顯微術、DIC顯微術、光鐳子、全反射式顯微術也都是物理學家的傑作。因此，物理學家不只帶來是不同的思維方式，有時還如磨刀石般，將研究用的利器愈磨愈利，再進一步抽絲剝繭的，找出藏在現象背後的種種線索與機制。

顯微生物物理實驗室

顯微生物物理實驗室儀器設備共有：兩套正立式多光子倍頻顯微系統、一套倒立式多光子倍頻顯微系統、掃描式雷射共焦顯微系統及一套電磁鐳子操作系統。另外，為了做活體實驗，也設立了一間小動物房，以方便飼養實驗老鼠。

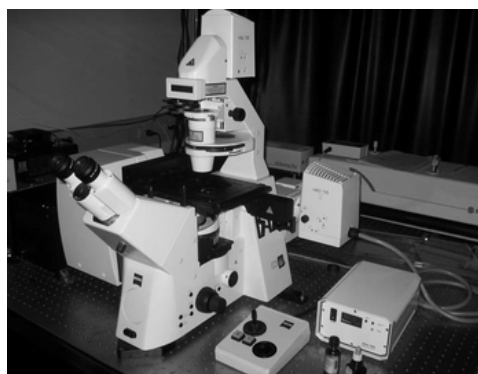
我們主要的研究方向，是利用非線性光學中的多光子顯微術，研究生物組織型態學、病理學、動態的疾病形成機制、組織工程、生物分子變性機制等。多光子顯微術應用於生醫研究上可追溯到 1990 年 Webb 等人利用非線性光學效應發展出的雙光子螢光顯微鏡

(two-photon fluorescence microscopy)。這種顯微鏡用近紅外光脈衝雷射激發樣品，樣品比較不容易有散射及吸收現象。又由於非線性光學的效應，得以在不對生物組織造成巨大破壞的情況下，取得高解析度或是三維的影像。故此技術具有高穿透力、低侵入性、點狀激發以及三維重建構的能力等優點，使我們得以進行傳統生物學中難以完成的實驗。譬如：動態地觀察惡性腫瘤的形成，本來必須大量的犧牲實驗動物，以取得不同時期腫瘤的組織切片，但現在可以利用多光子顯微術，在不犧牲動物的情況下，連續取得腫瘤在不同時期成長的情況。利用多光子顯微術，我們還可以定量分析皮膚老化程度、不破壞組織地取得透光率高於 90% 的角膜影像、動態地觀察肝臟代謝的情形、分析膠原蛋白近似相變化的變性過程...。

本實驗室也有關於生物力學的研究。我們使用一套自製的電磁鑷子系統，搭配顯微系統來研究小自分子、大至組織的生物力學。電磁鑷子是藉由控制電磁鐵上的線圈電流，產生不同的磁場與磁場梯度，推動樣品中的磁性粒子，間接施力於生物系統。電磁鑷子的作用力大小約從 pN 至 nN。而經過設計的多磁鐵系統也能產生力矩，以研究生物系統對扭力的反應。我們以此設備研究單 DNA 對力的反應及生物細胞的力學。

總結

透過跨領域的合作，物理學家們可在生命科學界發揮所長，不會因為缺乏生物知識，產生難以跨越的鴻溝。生物物理的範疇小至生物分子結構，大至生物群體，在這短短的一篇文章中難以全面詳述。希望透過實驗室研究簡介，能讓有志從事生命科學的學子對目前生物物理的研究，有進一步的認識，並了解目前系上的顯微生物物理實驗室的研究近況與願景。



圖：多光子倍頻顯微系統

撰文者簡介

郭千睿

董成淵副教授的研究助理