

天文物理



徐遐生老師專訪

問：您在臺大訪問期間感覺如何？

答：這次的經驗會我十分快樂。教到優秀而勤奮的學生是一種樂事，台灣的學生就正是如此。如你所知，為了使台大、清大及中央的學生能空出時間來上課，我在週六、日早上各上三小時課。除了少數人，大部分的學生都充滿興緻的來聽課。如果是在美國，恐怕沒人會來了！

問：系上一些生對天文物理很有興趣。若我們將來想這方面，應該預備修什麼課程？如果他們想出國進修，請憑建議一些研究所適合我們

答：物理系的生是最適合在天文物理領域作深入研究的人，只要你修了所有物理系大學部的課程（或許包含了天文的選修課）。不必太擔心那些天文的特別知識，這些我們在研究所都會學到。因為學天文物理包含了宇宙幾乎所有的的事，所有你學過的物理對天文物理都十分有用，因此基本的古典力學、量子力學、電動力學、光學、熱力學、統計力學、流體力學、電漿物理、凝態物理、核子物理、基本粒子物理及物理數學方法的訓練對於天文物理學家是十分有用的。一般而言美國頂尖的天文研究所有五所，以字母順序排列為 Berkeley, Caltech, Chicago, Harvard, and Princeton. 其它優秀的學校有：Arizona, Colorado, Columbia, Cornell, Hawaii, Illinois, Maryland, Massachusetts, Michigan, Minnesota, MIT, Texas, UC Santa Cruz, UCLA, Virginia, Washington, Wisconsin, Yale. 另外在特殊領域有相當評價的是 Arizona State University, Boston University, Brandeis University, Case Western University, Clemson, CUNY (City College), Florida, George Mason, Indiana, Iowa, Iowa State University, Johns Hopkins, Kentucky, Louisiana State University, Michigan State University, Missouri, Nebraska, New Mexico State University, New York University, Northwestern University, Ohio State University, Pennsylvania, Pennsylvania State University, Rensselaer Polytechnic Institute, Rice University, Rutgers, SUNY Stony Brook, UC San Diego, University of Rochester, Wyoming.

問：您認為對一個物理系學生那方面能力最應被強調？在美國，您們訓練一位物理系學生時，最重視什麼？

答：任何成功的研究和發展占劃需要五項條件：

- (a)了解問題所在（能夠提出正確的問題）
- (b)提出解決問題可行的方案
- (c)有技巧的進行實驗或解得答案
- (d)能以口頭或書面法向同儕解釋所得結果
- (e)能了解此結果與其他相關問題的關聯

一般在物理系大部的訓練著重於(b)與(c)，而台灣學生更以(c)的厲害而出名，但是有很好的解題能力只是成為優秀科學家的必要條件而非充份的。當你經驗多了之後就會了解對(a)有正確的直覺是更重要的，因為所有的事都是從(a)而來，這也就是楊振寧所說的“選擇問題的品味”，對於自然界許許多多的問題，哪一個是科學家應該要犧牲一生去尋求答案的？簡單的回答是“重要的問題”。但是那一個才是較重要的呢？這是很難加以定義的，我願意提供給你們一些規則，最重要問題的答案必須能夠對其他未解決的問題有直接或間接的影響或關連性。因此在我們選擇要解決的問題之前，應該先由(a)跳到(c)去想想你所選定的題目可能會導致的結果的影響，這種對於你整個工作所作的全盤性直覺的瀏覽，對於天文物理的學習過程是相當好的訓練。這可能是一般物理和天文物理的取大差異點，物理學家傾向思考基本過程，而天文物理學家傾向思考事物的全體，如果能夠將這兩種觀點做成功的調合，對社會將會很有價值。

問：在您系上，如何安排課程？為什麼做如此安排？

答：我們現在的課程正朝向一個雙軌的體系，一個是專業前的訓練課程（針對那些要繼續在天文作研究的學生）。這些課程是物理系的主修課為主再加上少數天文選修課。另一個是學士終結課程（針對那些畢業之後要轉行或是去高中教書，在工業界服務的學生）。他們只要修少數物理系課程，但較多的天文課程，這些有許多相同程度，而非一直深入的課程。換句話說，這些學生只要在前二年修完必修準備課程之後就可以去念許多不同領域的東西，不必一直向更高深的學科挑戰。這是一般較典型的理學院的訓練，我們將這種天文課程視為一種“自由科學教育”，就如同人文科學中的“自由人文教育”。我們認為理學院並非要將學

生都訓練成科學家。就如同許多唸歷史系的同學並不是要成為歷史學家一樣。一個由“自由科學教育”學校體系畢業的學生，應該能夠像從“自由人文教育”的畢業生一樣對社會一樣對社會福利有所貢獻。在我們學校，天文系是第一個做成這種方法的科系，因為天文是特別適合這種雙軌教育的科目，除了專業的天文學家，大部分人對天文也充滿興趣。

問：每年都有不少臺灣學生到美國念研究所，您是否能給我們建議如何進一個好的研究所？

答：美國研究所基本上看三項資料：(a)大學資料(b)推薦信和(c)GRE成績。台灣學生在此較為不利，由於這些研究所無從校核台灣的大學評定的成績及替生寫推薦信的人；通常這些寫信者不為美國科學家所熟識。因此，入學委員會非常倚賴GRE成績。要想得到美國頂尖研究所的入學許可，台灣學生必須要有完美的GRE成績（在計量，分析，及物理部分），這當然不公平（大其是GRE用的是英文），而且趨於選擇特定型態的學生。以致降低了學生群的多樣性並在觀念上認定中國學生都是同一典型。有個好法子可以克服這困難：台灣的科學家應更加參與國際性的合作，唯有如此才能使老師及其大學更為國際同儕所認識，並使美國（及其他各地）的教授知道如何去衡量這些老師和學校的學生。

問：事實上，我們系上不少學生並不瞭解天文物理。可否做個簡介這個領域

答：天文物理是門研究宇宙中物理實體及存在於這些實體之間物質與能量的學問。有兩類問題是它要問的，長久以來都一直存在於人類的思考中。其一是關於天體的歷史：什麼是其起源，結構和行、恆星、星系及宇宙本身的演變宿命？這關切到許多造成巨觀物體其複雜行為過程的綜合效應（更甚於控制個別基本現象行為的法則——正如同電子與光的交互作用）。而使得天文學家和地質，生物學家比物理和化學家要來更相近第二類問題，關心基本實體的歷史：化學元素的起源；質能和時空的起源，必須再次注意這些問題和物理、化學上的研究有性質上的差異。天文學家不問什麼是化學元素，質能或時間的本質；這是物理，化學家的問題。他們要問：這些來自哪裏，去向何方？而這些問題的解答可在天文中找到——恆星演化、宇宙論及黑洞天文物理——而非化學或物理定律。

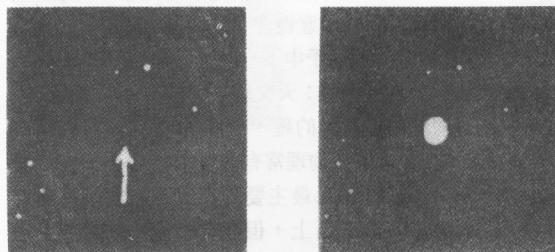
問：請說說您最近的研究計畫

答：我目前正在研究恆、行星形成的理論。當然，這是一個當人類文明開始就一直關心的問題——任何宗教性的典藉都以此為始：地球，日、月和星是如何而生的？我覺得自己十分幸運能活在這個年代，當這個問題已能夠用一種非冥想性的科學方法來研究，不管是理論上或觀測上。注意我說的是“觀測上”而非“實驗上”，這裏有著和一般物理學的差別。天文學上關心的物體總是太大，使得天文學家無法做實驗注視著它們。他們只能熱情的看著它們（亦即，“去觀測”）。這意味著天文學家在自然現象問題的定義上，比物理學家有更少的主動性——（除了在電腦上進行的數值計算“實驗”外）——我們無法控制問題的參數和邊

界條件，我們必須照大自然給的來工作，但這也意味著天文學家變得非常精於思考所有的系統如何相互影響，以及如何由貧乏的資料庫中抽取最大量的訊息。這些技巧被證明在天文學以外的大量學科中十分有用（例如，環境與全球實遷的課題）。

問：近幾年來，在天文物前線是否有新增什麼主題？

答：長達五十年，天文學家只能觀測到天體電磁波頻譜中的可見光——最長波長僅僅是最短的二倍。大約六十年前，無線電天文學開始興起；現代紅外線天文學也在三十年前產生。X射線， γ 線，紫外線及超紫外線天文學也正等著太空時代的來臨（由於這些能量的輻射無法穿透地球大氣層）。只有在過去十年，天文學家能夠接收到來自其研究天體（幾乎所有）波長的光。我們並不必太驚訝於由此帶來天文物理發現上的“黃金年代”。宇宙微中子的偵測（來自太陽和超新星爆炸）最近使得原來為測量質子衰變的物理實驗（失敗了的）成為一個成功的故事。況且，理論物理中的概念像是重力輻射（來自Einstein的廣義相對論）只能在天文的競技場中被檢驗。這之中最令人信服的資料來自最近在無線電天文學上精確的觀測雙星彼此間優雅的牽動；而非直接的偵測。



在同一區域拍攝的兩張照片，拍攝時間相隔數年之久，左照片中箭頭所指的小白點，與右照片比較，可以明顯看出亮度增加許多，是顆爆發的新星。

問：在天文物理中，最熱門的是什麼？

答：目前最熱門的恐怕是宇宙論——研究宇宙大範圍的結構和演化。而在二十世紀有最大進展的，大概是恆星的結構和演化。後者被認為差不多已完成了，所以它不再受歡迎，除了探討恆星開始和結束——恆星的誕生與死亡——仍有許多重要的問題未被決，這些題目繼續吸引著研究者。其他較吸引人的研究包括太陽系天文物理（尤其是太陽系的起源），星際間物質的物理，星系結構及動力學，活耀星系核，高能天文物理（包括宇宙射線的研究和質量緊密物體與吸積現象的物理）、微中子天文物理（太陽與超新星爆炸微中子）和廣義相對論（特別是重力透鏡和重力波現象的分析）

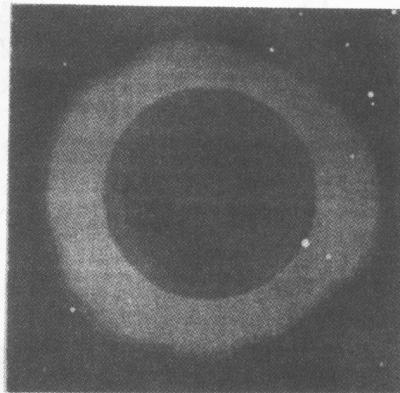
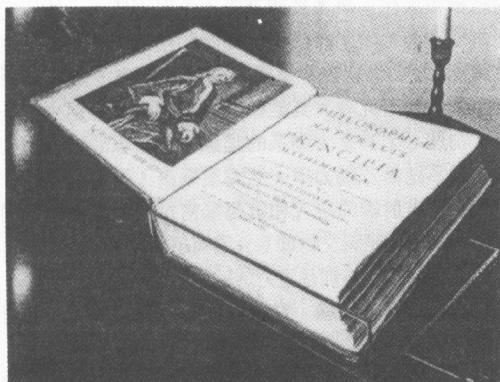
問：有些高能物理的問題，在天文物理中被解決了。可否談談這些問題？

答：我想你指的是基本粒子物理中的問題。的確，粒子物

理和宇宙論的交界——尤其是早期宇宙物理和所謂的“黑暗物質”（至少貢獻了全宇宙中90%的重力質量）的本質，在近年來吸引了物理和天文學家相當的注意。例如：就我們所知，至少量子重力理論僅能在天文上被驗證。類似的問題，像關於微中子具有靜止質量和其可以振動於不同的味（flavor）態（例如：在電子與 μ 介子態之間）的最好的證據（但仍不是有力的）來自於所謂“太陽微中子”問題的分析。此外，基本粒子所能達到最高的能量，不是在地面上的加速器，而是所謂天文物理之始的宇宙射線中。的確，歷史上來看，高能物理是因宇宙射線的研究而開始的（Dirac對反物質（正電子）存在的預言最早在宇宙射線雨中找到證據）在今日科學預算被削減的時代，基本粒子的基礎實驗也許必須重回這條路。

問：天文物理的未來發展是靠著傳統物理的進展或天文上更精確的量測？

答：兩者都是，以天文學作為一個經驗科學的最大刺激，在於當新技術開始應用於過去未發展的領域時，所帶來意料外的新發現（看看第八題的回答）。而天文物理作為一個理論領域的進展，是隨著具有新內涵的理論物理學開始用來處理天文問題，的確，現代天文物理常被認為起始於量子力學觀念最早應用於天體光譜的解釋上（如太陽、恆星和星雲）。而核子物理的加入，如同是解釋恆星結構和演化基礎問題時，最後所需的遺失的環節，凝態物理中的新概念——例如超流性和超導性——更給予中子星和脈動星行為的關鍵性的解釋。這是兩條路：天文學上的發現也大大的幫助了基礎物理的進展。的確，由Galileo至Newton再到Einstein，天文學和物理常有著緊密的結合，在物理上，我們認為Galileo最主要的貢獻是將力學建構在一個堅實的物理基石上，但在當時，Galileo之所以聞名，乃是由於他在天文上的發現及為Copernican世界觀贏得勝利。Newton對於他運動定律和宇宙重力的最偉大應用當然是對於當時最重要天文學問題的分析——Kepler定律對行星運動的解釋（這是Tycho Brahe精確天文觀測的精髓結果）。此外，若非天文學家Halley（他首先得知Newton對行星運動問題的解釋）的努力，Newton可能不會出版他的“Principia”。而在此之前，大學時代的Newton早已因兩個來自天文上誘因的發現而聞名，發現日（星）光是不同色光的組合（光譜學的開端）和發明反射式望遠鏡



在太陽的右斜下方，可以觀察到原應位於太陽後方的水星，由此可以證明經過重力的空間的彎曲。（西德慕尼黑觀測所攝影）

（為了消除因不同色光的色散，使得折射式望遠鏡和棱鏡一般造成的色差）。類似的，Maxwell在他知名的電磁學研究前也因研究土星環動力學而聞名（帶給他成為研究動力論先驅者的工具）。三項對於Einstein相對論和重力理論的古典檢驗，也都來自天文——水星近日點進動，日蝕時觀察到星光經過太陽的彎曲和白矮星上強大重力場造成光子的紅位移。甚至連狹義相對論獲得實驗上最大的激勵，是來自Michelson及Morley對於遠方星光的實驗。長久以來在熱力學和統計力學上討論最多的問題，是為何宇宙不會遭受“熱滅絕”。最近，熱物理學上最令人興奮的成就，來自Jacob Bekenstein，Stephen Hawking的研究和其他意料之外熱力學與現代黑洞理論的美妙關聯。

問：非線性物理現正時興。在天文學中，是否有重大的混沌現象？

答：從古至今，許多人認為行星運動代表可預測決定論動力學的終極例證，科學因此觀點而開端，Newton對於反平方力場的二體問題解，建立了此種古典方法的至高勝利。我們現在了解當問題增至三或更多時，重力的非線性常造成軌道預測成為不實際的長期項解。的確，現代天體力學最壯觀的成就，是展至了當以億萬年的尺度來看時，彼此相互作用的太陽系九大行星的確實軌道是無規的。以我而言，我認為在此例中發現的混沌（天文上也有其他的例子），從哲學觀點來看，是要比其他常被討論的混沌現象更為有趣（例如，從水龍頭流出水的不規則性）。而以較實際的觀點來看如果人的聲稱的這件事是正確的，它也會變得更重要：某些地球上長期的混沌氣候變遷（例如：冰河期）是被地球的自轉一軌道作用的非規則性所引發的（若非月球繞地球旋轉造成的穩定效應，這造成季節交替的地球自轉軸與軌道平面的交角，將遭受更大的混亂改變。）

問：有人認為宇宙是為了人的存在而存在。在你看法呢？

答：我認為強調宇宙是為了人類的產生而存在是沒有多大價值的。人類學家現在相信能夠了解周遭的物理宇宙並予以改造的智慧人類（現代人種），在十萬年前才

興起，而且是由於一連串生物學演化上的意外事件，這其中的一些事件，也可以輕易的朝著消滅人類祖先的方向。如此，我們可以說這宇宙做了個失敗的實驗嗎？再者，認定為靈長類的人類，可能甚至並不存在於四百萬年前。任何人能夠論證在人類出現前約一百五十億年的宇宙基本上不存在或沒有理由存在？這是一個大多數中國人承受不起不可思議的狂想！

另一方面來說，若宇宙定律和現今不同，人類的產生也許便不可能，但誰能說這宇宙中不會產生其他的高智慧生命？而那些自信的論證當宇宙定律與真實的有些許的不同，任何生命將不會存在（遑論智慧生命）的人，在我看來，是過於誇大他們計算任何由簡單定律出發，引人複雜而非預期結果的能力。在人類歷史上，無人能由我們已知的定律出發而這樣做。（有任何人能只由量子電動力學而預測DNA的存在？要估量DNA的結構距離最簡單生命形式的構成仍很遙遠），為何我們要相信有誰能由甚至我們不知的定律成就相同的偉蹟？

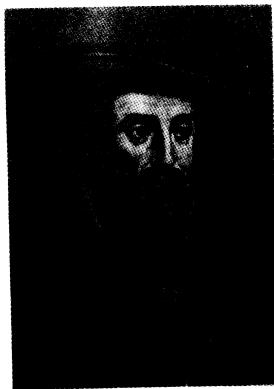
問：出於我的好奇心，我想知道對一個天文物理學家，如何看待UFO？

答：我曾經認為在銀河系中，有著相當高的其他智慧生物的發生機率。但目前，我並不如此確定。我相信Fermi，第一個提出對此觀點的強有力反駁，他問（基本上）：若他們存在，為何不在此出現？換句話說，為何他們未曾在銀河中殖民？傳統的答案的空間旅行十分困難，這在電影和電視（或卡通）的描述中真是如此。但送出機器人或其他“永生”的差使，將不會超出高等文明的能力。例如，我不能相信人類能在目前的環境和政治危機中繼續生存，而這危機是一直會存在於這顆母行星或甚至於這個太陽系中。我們的好奇心和探索動機無可避免的驅策我們（或我們有更高技術的下一代，也許以十分靈巧可自我複製的電腦或機器人的形式）拜訪其他星球。也許是單程旅行。但只要開始進行，合理的計算顯示，只須耗費數百萬年，某個種族便可殖民於這整個銀河系。如此，為何這許多比我們要古老數十億年的星球上的高等文明，尚未在銀河系中殖民？（在這樣情況下，他們早已來此）

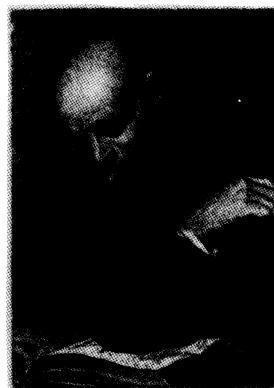
最簡單的答案，也許是在我們的銀河系中，雖然有著為數不少的數百億年古老恆星的行星，而在某個比例的這些行星上，生命的演化也非常普遍，但能夠使某些生命的分支演化成為一個足夠的工藝技術的文明，並使其永久生存，是極端不尋常的。由此觀點，若我們的文明能突破極限在下個世紀中生存，我們也許能成為第一個達到能力可在銀河系中殖民的文明。這麼說，我們註定要繼承這銀河系！這當然是一極端的憑空想像，但直到我們真和外太空文明接觸——目前尚未發生過（不能因少數UFO的報告而反駁）——認為銀河中存在有許多智慧文明的觀點，也相同是臆測。這並非是個需要更多想法的事情——我們早就有了很多——這是件需要更多資料的事情。當資料是零，任何意見都有可能。而一個天文物理學家並不見得比其他人知道更多！



哥白尼



伽利略



克卜勒



1~4 王祥宇譯
5~14 GF譯

