科學探索之路

吳大猷

本文係作者於82年10月29日對台北市建國高中師生演講錄要。其主題爲現代青少年之心意。其內容不僅切中時弊尤多箴言。以答問方式表達，深獲聽衆悅服。本文甚適於教師及學生閱讀，謹以特載刊出。編輯室

各位老師、各位同學，很高興能跟大家談談。記得幾年前我曾經來過建中演講，當時的講題是：「物理學相對論」。後來把稿子印出來，不知道有多少同學收到講稿？這個講稿整理的很有條理。

今天我先講，然後留下一些時間讓同學們發問，我再一一回答。這樣比我選定的主題更能切中大家的心意與興趣，也對大家比較有助益。

今天我的主題是：「科學探索之路」。講科學探索並不是從國家觀點來談發展科學政策。而是從個人觀點去探索；怎樣去學習？如何研究？話雖是老生常談，卻跟諸位高中階段正朝向未來科學或人文社會方面進軍的同學們有所助益。學科學；從個人觀點上來看，在態度上、方法上，應具備的首要條件，不外是一對科學發生內在的興趣，這種興趣是志願的而不是迫於勉強的。因爲強迫而非本身興趣的學習；即是經過層層教育，其結果必不會理想。人對某項學科發生興趣並不完全是天生的，興趣的產生必須是對某一學科有一些基本知識，“知識和興趣”互爲因果關係相輔相成。沒有興趣，自然不會對該項知識有內在追求探索的強烈驅動力。又一個人有天資，就會更容易對他所接觸或追求的知識產生成就感。拿音樂來說，這個人起頭有些天資，聽到某種音階或樂器，就會有敏銳的反應，因此引起他的興趣，他若再繼續下功夫，對音樂便可有點入門，不管樂器或唱歌，總要自己感覺到有點行，有一點入門，才能產生更高的興趣。換句話說：興趣和他的求知進步互爲因果。所以一個人要盡量想法子追求更多基本的基礎的知識。使他在某方面有點特長，然後才能發生更高興趣去再進一步求知。建立在知識上以發生興趣，這一點很重要。因爲求知而產生自信，進而發生興趣，更因爲興趣而繼續深入追求及下功夫練習，所以最後一步選擇從事科學或醫學或其他學科做學術研究時，其原動力絕不是爲名、爲地位、爲其他的社會現實功利的想法，純粹是出自於內心求知、求了解、求眞理，絕對不是外在因素的影響，這是一個最高的理想的境界。一個人如果爲了謀生，爲求一個職業，而走科學研究之路，必然不會達到很高成就或境界。從歷史上看那些在科學界或學術界有很高成就的學者們，沒有一個是以名利爲出發點的，他們的成

就完全是建立在本身的強烈興趣及契而不捨的求知慾之上。

一個人在求學階段中，最初求得的知識應該用來培養對學術探討的興趣，然後再進一步獲取進入研究階段的一些基礎知識，尤其是從中學到大學這個十幾到二十幾歲的十幾年當中，是最重要的關鍵時間，他完全是爲從事學術研究打根柢的入門階段，若不好好的把握住，任其浪費掉這個良好的時光的話，以後要從頭追尋這個環境的機會，可以說根本是不可能的事。以上所說是告訴大家在求學階段要知道用功，而用功只是一個籠統的話，將來你如果預備投身於學術研究時，在求學階段中除了按步就班上課學習及應付階段性的考試作業以外，應該要有一個很重要的認識，那就是求學的態度。求學並不單是將各種知識灌進腦中就可以了事，而是要學習將各種吸收到的知識作爲培養判別或分辨能力的基礎的一種態度。念書時雖然所學習到的都是一些很經典很基礎的科學，但是你仍然要隨時保持著很嚴格的批判性的態度來學習、來了解，在英文上叫做 CRITICAL。了解的眞正意義是對學問作無止境的深入的探討。譬如學習物理時，在國中、高中、大學三階段中都一再的重複的學習牛頓力學三定律及萬有引力定律，這些定律都非常基本，只要三言兩語就可以把它說完，但對它的了解在各階段中卻各有不同，可說一次比一次更深入些。在牛頓力學建立兩百多年後，又有愛因斯坦的相對論出現，因此我們可以說牛頓力學三定律及萬有引力定律；這些非常基本的物理到今天爲止，並沒有誰能完全眞正的、徹底的了解。所以我以爲讀書求取知識，就如同我們每天攝取食物應先加以消化分解一樣，有消化分解我們才能夠利用食物中的養分，並把它變化成爲身體各部份組織、器官成長活動所需的要素。也就是讀書不能不求甚解，只把知識加以死記，而不能了解變化爲自己的知識加以活用，是毫無益處可言的。這與一個人吃遍了山珍海味等天下美食；卻不能加以消化吸收，最後只是把它排泄掉製造環境污染而已。所以英文上所說的這個 CRITICAL 的精神，是要我們爲人處世及求學時；不要盲從，不要人云亦云的一種態度。所以從小在求學階段中就要有建立這種 CRITICAL 的訓練，並把它當做是一種習慣。這一種精神的建立是人一生中最重要的一件事。所以應及早培養，太晚了是建立不起來的。我以上所說的並不是說用功不重要，人固然有天份的不同，有些人天份高，只要花很少的力氣就可輕易獲得很多的知識。有些人則要加倍努力才可以得到。無論你是屬於那一類的人，想要在學術上有所成就，其基本上還是要用功求知，他是沒有其他辦法可以取代的。

一個人養成了辨別能力之態度及習慣後，就要從事創作性的工作。這種創作性在科學上來說，應要講求實際，不能憑空幻想無的放矢。到現在爲止我仍然接到許多許多來

自臺灣或大陸上人士所提出的問題。他們多半對基礎科學的了解，尤其在他們成長的過程中，往往欠缺上面我所提到的那種創作態度。所以完全不了解根本問題所在及如何解決，因此提出了一些毫無根據的想法；就以爲可以把牛頓、愛因斯坦的學說加以推翻。創作學術上的成長及進步並不是突然間冒出來的。它們都是建立在過去你所累積的知識之上，而且知道問題所在，才能加以創作。若沒有這一個基礎，而想要跳一步創作，絕對是枉費精力而毫無成果可言。綜合起來說，我以爲一個人在求學階段，尤其像在座諸位的高中階段，應該把自己的基礎盡量往深、往廣的方向去紮根。所謂深，就是了解，廣就是接觸面積廣。這樣子，你將來的機會才會越好越大。如果在開始的時候不深，就是對知識沒有眞正的了解或接觸不廣，只在很狹窄的範圍內知道某些東西，其他的則毫無基礎。一個人離開中學、大學之後，很難再有機會重新建立過去所沒有基礎的知識。在這一個求學的階段，可說是人一生中精力最旺盛的時期。在這十幾年若能充分的利用機會，把自己的基礎弄得越廣、越深、越好，那麼在大學高年級及研究所階段，才能開始入門於某些專門的領域中，去深入從事研究工作，才能在老師的指導之下去發掘問題之所在。要能有這樣的努力，仍然離不開用功兩個字。人的天資先天上就有差異，所以每一個人應自己衡量自己對某些問題的天賦；而採用不同的用功方法才是。例如：在量子力學上有重大貢獻的薛丁格先生，他從學校念書時代開始，讀書的方法便是，不看書而自己想。自己想辦法去建立那些若干年前別人建立了的物理定律。他的這種方法只有天資很高的人才能辦得到，並不是人人都有這個能力。而我個人在大學之後的讀書方法是：把一本書寫得不太清楚的地方仔細的閱讀，並做筆記加以補充。這雖然是比較笨的方法，但確是一個很好的訓練。一般人若也是這樣花一點時間與力量在上面去做的話，相信也會得到很多好處的。

一個人若有心從事科學工作的話，我以爲有三個因素應加以考慮：(1)靠天份；(2)靠天份加上年輕時有機會與環境受到良好的基礎訓練；(3)靠良好的基礎訓練去發揮天資及自己努力的能力。以上三個因素就構成一個人有沒有成就的重要條件。一個人天資很高固然是很值得慶幸，但是天份不是很高，不屬於天才範疇的人也沒關係，就拿音樂來說，大家都熟知音樂天才莫札特，他的音樂天賦是與生俱來的，在音樂史上尚找不出第二個人來。但最好的音樂並非都由莫札特所寫出來的，莫札特以外仍然出現了一些傑出的大音樂家，寫出了一些不朽的音樂傑作。所以除了天才之外，尚有透過良好的訓練與努力的途徑可以達到成功的目的。在做學問上也是一樣，一個人對某些學問發生來自內在的濃厚興趣，而不是外來的那些爲名爲利的社會誘因而唸書，只要在這種正確態度的引導

下，再加以努力便會有所成就。

問題一：我們都知道，現行高中科學教育的最高指導者是吳大猷博士，是否可以請您對現行科學教育所用的教材及現行高中學生對科學學習的狀況提出一些感想及評論。

答：我對臺灣的科學教育一向很關心，大約在十多年前我從來沒有在臺灣教過書，當然也沒有教過中學。那時候有人告訴我，臺灣的中學生所用的科學課本，如數學、物理、化學、生物等，都是從美國的課本直接翻譯過來的，而且其中有很多不妥當的地方。要談這些課，先從美國當時的科學教育及時代背景談起。首先，談談我個人的學習歷程：我在當時的中國讀的是私立南開大學。這是一個很小的大學，全校大約只有三百個學生，學生人數雖然很少，但水準很高。因爲這所學校經費很充裕，所以學校能夠聘到一些知名的學者來當教授。因此，當我畢業到美國去的時候，就發現：美國大學生所學習的數學程度連我們的中學生都不如。譬如我們在高中時學過三角及高等數學，而美國則在大學時才開始學習，至於學微積分那就更不必說了，其水準比之當時的中國差很多，這完全是教育制度的問題。到了一九五七年十一月，蘇聯首先發射了載狗上太空的人造衛星—史波坦尼克號。全世界爲之震驚，也震醒了美國人。他們才發現了自己的科學教育，從中學階段起根本上就有很嚴重的問題。在匆忙中大約只用了兩年的時間就編出了一套教科書，以改進他們的科學教育，但在短時間內且由少數人來執行，當然就有很多不妥當的地方。而在臺灣也很快的就將這些教材全部翻譯過來，且照單全收。當我回到國內時，這一套教材已經使用了十多年。那時，我經別人告知這一種情況，於是立刻向教育部建議重新編寫中學科學教育的教材，若有困難，最起碼也要把翻譯教材中不妥當之處先加以修正。教育部接受了我這一個建議，立刻在教育部之下，設立了一個叫做科學教育指導委員會的機構。這一個機構的全部委員都是由對科學教育有經驗的大學校長及專家學者所兼任。另外在委員會下成立了一個執行機構，那就是國立臺灣師範大學的科學教育中心，而我就擔任了那個委員會的主任委員。當時，第一個工作目標是先把國中、高中的課程標準從新修訂，有了課程標準之後再進行教材的編寫。而當時參與編寫教材的人員，包含了大學教授、中學老師等共約一百多人。當時把數學教材分成爲理工科及文法商科兩部份，是一種創舉。在編寫教科書的同時，也進行了教師用的數學指引的編寫。這是一個很大的工程，

但是因爲在很多人分工合作之下進行，所以能編寫的非常仔細而順利，考慮也都很週全。

教科書編寫完成後，還選擇了好幾個學校進行試教，將試教後學生及老師所發現的問題及缺點加以改進，又再進行下一年度的試教，如此進行了三年的試驗，我們才放心把它推廣到全國普遍採用。而在普遍採用期間，我們仍然不斷接受一些建設性的建議，所以仍然不斷在進步中。而近幾年來我們的工作已進行的差不多了，可以說我們花了很大的心力於我國科學教育的改革工作上。最近教育部又有了新的計畫，從事於另一個科學教育的更新工作，所以我們的工作也就暫告一個段落。雖然過去我們對於這些工作投注了很多心力，但是我仍然不能對這些結果表示完全的滿意。

目前的科學課程一在高一時有基礎數學、基礎理化、基礎生物、基礎地球科學。高二、高三時有理科數學、文法商數學、物理、化學、生物等的分別。在編寫這些課程時，編者們不見得大家的意見會完全一致。有些人認爲應編簡單些，有些則認爲應更深入一些，因此就發生了一些問題，譬如內容深度超出高中學生接受的能力，及學習時相關基礎知識不能銜接或智力成熟發展不能配合等，以物理爲例，我本人也參加編寫部份教材，除我以外尚有七、八個人參與，理念上當然不可能完全一致。但是我們卻有一個共同的理想，就是藉著高中科學教材的修改，可以把科學教育的水準提高起來。當然我們也不是毫無阻礙與限制，其中最大的是大學入學考試制度的問題，在教學上、學生的學習上都是爲了應付聯考拿取高分爲目標。從一些有子女在讀高中的朋友口中知道，高中老師往往拿一些很難的題目給學生練習，並且經常反覆考試來訓練學生，使學生有用記憶力快速答題的能力；反而對那些科學上所必須具備的基本知識的透徹了解加以忽略了。這種教育方式，其他科目我沒直接接觸，知道也較少，對物理我就知道一點。

下面我舉一個事實可看出這種教育所形成的嚴重性。最近這七年來香港有一位劉先生他捐了一筆獎學金，提供給每年大學聯考中數學、物理、化學表現優異者，或高中資優保送進入大學的學生。這些學生若願意接受這筆獎學金，必須接受進一步的甄試。這些人當然都是一時之選，天資都相當高，每年申請的人數總是大約有二十多位。甄試的方式有筆試及口試兩部份，筆試的題目都是由我以及六、七位其他大學的教授共同命題，題數有十多題，考試時間約三個小

時，可以讓他們仔細慢慢的思考尋求解答，筆試後由六位教授依序輪番對他們進行口試。口試的問題並非普通課本內的問答，而是稍有變化，可以有大空間發揮的問題，以診斷這些最優秀的學生，在高中受教階段所受到的訓練成果如何。筆試有一定的標準，所以他們比較容易達到標準。但在口試時，我們就發現了一些特點，每當我們提出一個問題時，大部分的同學都是努力在回憶記憶中是否見過這個題目，而努力的在想如何回答這個問題，並不是利用自己所學習過的基本知識來處理這個問題。所以處理事情完全憑記憶力，而沒有用自己的知識來處理未見過問題的習慣。爲了看出這種問題的影響，大約在三、四年前，我向教育部建議，對設有物理系的十四所大學院校四年級應屆畢業學生進行一項測驗，這個建議獲得各校系主任一致支持，於是在四月份時舉行考試，當年全部物理系學生共計九百多人，採自願參加方式，考試題目也是由十多所學校教授們依大學物理系授課範圍隨意願提供，並沒有指定命題人，題數也沒有指定。收到這些題目之後，我請了六、七位教授就這些題目過濾出大家公認大學中應該學過的作爲試題。當時考試時間爲三個小時，參加人數約四百五十多人，應該有足夠的代表性。然而最後成績卻使我們感到非常驚訝，全部的平均成績22分，而超過50分的只有6人，其中最高分的一人爲60分，這個成績完全顯示出了我們自中學到大學的物理教育問題，更可能看出我們的科學教育出現了一些病態。因此有人建議，是否在數學、化學、生物，甚至社會科學也來做一些類似的測驗，以明瞭我們的教育病態的嚴重性，但很令我失望的是這個建議遭到了一些大學系主任的反對，教育部也沒有進一步的反應，我感到很難過。所以目前的教育實際上受到了大學聯考制度的影響，已造成了極大的偏差，甚至上了大學還受到影響；所以這種教育問題，應全盤的就細的地方再來加以檢討，而不是只改革一些表面即可解決的。

問題二：(1) 今天國內是否有相當的學術環境來提供專業的科學家做長期的研究？

(2) 在今天社會風氣及環境限制影響之下，大部分的人才都一窩蜂的擠向醫科及電機等技術及應用層面上，造成國家人才的偏極及浪費。在這方面您的看法如何？

答：今天一些研究機構的人員或在大學任教的一些教授們，如果要繼續從事學術研究工作的話，環境上並不太壞，比起二十年前好得太多了。他們若要從事專門的研究，只要向國科會提出申請，大部分都會得到國科會的支持及補助，這些

補助金額可從每年幾十萬到幾百萬都有。這些受到補助的件數大約佔總件數的70％，已經不算少，因此在這方面政府的的確確做了一些努力，但是仍然沒有大的成果。這個問題說起來有些複雜，事實上目前在臺灣所欠缺的是極高層次的科學領導人員，所以很多研究部門與世界頂尖的來比較當然還有相當大的差距，但是比起二十年前，我們的科學人員數量上已有非常大的進步。當然從環境上來說，最高層的我們沒辦法與美國、日本等第一流者相比，但是我們在大學及一些研究機構的設備方面卻都相當不錯，有些特殊的甚而比國外的還好。一般的來說，我們還有一段差距尚待繼續努力，這些問題很複雜，你的問題尚不夠具體，所以我也不能做很妥切的回答。

問題三：請問在目前的體制之下，中研院有否可能成立一所大學？

答：中央研究院本身是一個研究機構，不是教學機構，所以依照組織法它不能招收研究生，不能給博士學位，所以不能成立一所大學。但在十多年前我到了中央研究院後，實施了中央研究院與大學的合作計畫，就是讓中央研究院的人員與大學共用，而可以到大學去指導研究生，而這些研究生也就可以到中央研究院來從事研究工作，並且在研究院人員指導下寫論文取得學位。這是一個互利的事，因爲如此一來中央研究院得到了一些年輕的助理人員，而這些人員也可以利用這些設備完成研究的論文，回到學校去取得博士學位。

問題四：(1) 在您由學生生涯到資深科學界的心路歷程上，您所遭遇到最大的困難爲何？又您所秉持的信念又如何？

(2) 輿論上常說理科的學生應有相當程度的文學修養，所以請問您對於人文與科學的相關性有何看法？

答：(1) 民國十八年我從大學畢業，畢業後在學校任教兩年後出國，出國回來後在北京大學任教授三年，接著是抗戰，所以隨整個學校搬到昆明，在此成立了西南聯合大學；八年抗戰後，國防部的前身，軍政部部長陳誠先生及次長俞大維先生，鑑於當時廣島原子彈爆炸的威力，而感覺到科學對國防的重要性，於是經由別人推薦把我請到重慶去，政府希望設立一個國防科學的機構，而我這個人從來不喜歡說假話，所以就實話實說告訴他們說，我們根本毫無根柢可言，要成立國防科學根本是不可能的事。我從來不做騙人的事，要做就要從頭做起，也就是從培植人才著手，所以最可能的作法就是挑選一些優秀青年到國外去學習、去研究，然後再回來從事我們的國防

科學，但是這種作法緩不濟急。所以他們感覺到很失望，然而實際上當時也只能這樣。所以我就帶了幾個大學畢業的助教到美國去，兩年後本應回國時，恰好碰到政府撤退到臺灣，當時局勢不明朗，於是就只好等待穩定後再作打算。就這樣一等，在國外住了下來。

直到民國五十一年，先總統蔣公鑑於當時財政已經較好，擬在科學上作大量的投資，所以他要我回國從事科學發展的推動工作。當時因爲家庭關係不能長期回來住在國內，所以只能利用每年冬天回來一個月、夏天回來四個月的時間從事工作的推展。我第一個開展的工作是成立一個國家科學發展委員會，這個委員會對於一般性的政策作了許多建議。這個時候我已經是六十歲的人了，在六十歲以前我都是從事學校的教學或研究工作，所以這個工作是我第一個從事的行政工作，一直到民國六十七年我從美國退休以後，我才完全搬回國內，將全部時間投入國科會的工作。我投入這個工作並不是做官。大家都曉得，我這個人一向對作官是沒有興趣的，回國定居的頭幾年還在清華大學、臺灣大學及交通大學三所學校上課，上課一直都是我的最愛，所以一直到上學期我還在臺灣大學有每週二小時的課；換句話說，我一直沒有離開過學術界的工作。在臺灣我所從事的工作，以前最先是國家科學發展委員會的工作，民國六十二年離開國科會，其次是民國七十二年接中央研究院的工作到現在。

我一生中所遭遇到的困難都是一些基本性的限制問題，至於信念方面，我以爲對的、合理的事情我就會去做，我做事不大會有龐大的計劃，而且都是根據我學來的基本看法爲出發點。所以在國科會時提出與國家科學發展有關的一些基本政策，可分爲幾大類：一類是與國防科技有關的，由國防部本身負責。跟工業科技有關的，由經濟部的系統就是工業技術研究院負責。其他有關農業的由省政府負責。國科會則負責學府性的科學，它包含了基礎科學、應用科學、人文科學及社會科學等，所以今天國科會的工作都是在那時候所訂下來的。在民國五十七年的時候，國科會的經費大約只有四億，而現在則有幾十億之多。雖然其中會有幣值貶值的因素，但仍然比當時大得相當多了。所以國科會能作出許多重要的貢獻。記得我初到臺灣時發現在物理上擁有博士學位的教授只有兩位，數學方面也差不多，而現在則有好幾百人，所以臺灣在這三十年中有很大的改變、有很大的進步。

在這些工作期間談不上遇到了些什麼大的困難，但不能說沒有困難，所遇到的困難都是一些整個社會國家無法預先知道的事情比較多。

(2) 從我個人的觀點上來說，我以爲從事科學工作者，若對人文方面完全沒有根柢的時候，那麼這個人的生活豈不變成爲一個機器人一樣的，會很單調的，所以一個人對文學或藝術方面有相當的修養時，他的生活就會變得相當的豐富了；反過來說，一個從事行政部門工作的人，如果沒有近代科學技術上的素養的話，就會影響到一些國家政策及措施。所以在十多年前我從事修訂高中課程的工作時，我就有一個理想，就是在高中一年級時設立基礎科學，這是一個創舉，這個基礎科學包含基礎數學、基礎理化、基礎生物及基礎地球科學等四科，這個基礎科學是每一個高中生都應該學習的共同科目，對於將來從事人文方向的同學，這些科目就是他們唯一的科學素養基礎。可惜由於升學主義的作祟，由於大學聯考不考這些科目，所以實施起來並不十分成功。有些學校並沒有正常的來排這些課程的教學。最近教育部又進行修訂新的課程標準，這個新的課程標準中仍然延續了這一個理想，在高一階段仍訂有基礎科學的必修課程。在這些課程的訂定中有人主張通才教育，認爲讀理工的學生應該讀一些人文社會的課程，其實通才教育並不是只修讀一些課程就可以達成的，我以爲通才教育應該是從小開始就讓每一個人養成求知不可太偏的一種態度。要如何讓理工科的人眞正對文學、藝術、宗教等有興趣才是一個根本的作法，而不是在表面上要他們去修幾個學分就算是一種通才教育，這實在太膚淺了些。

國立臺灣師範大學科教中心，每年都舉辦各中學校所推薦的資優生研習班，資優生接受短期集訓後再測驗，成績好的可獲保送進入大學的資格。現在則把資優生分組利用假期接受輔導，其中生物分爲動物組及植物組各到中央研究院的動物研究所及植物研究所，化學組、物理組在清華大學，數學在臺灣大學，我認爲這種訓練的方式是很值得肯定的一種作法。