

科學

吳大猷

科學教育為科技教育的基礎而基礎科學是應用科學之母。吳主任委員大猷先生領導科學發展指導委員會及科學教育指導委員會，致力於我國科學教育，尤其對基礎科學的生根，有卓越的貢獻。本期吳主任委員在短短文章中闡明科學，應用科學及技術的層次關係及不同處，相信對我國教育界同仁極有幫助，謹此介紹。

—發行人—

一、科學的要義

二、科學的門類

三、純粹科學與應用科學

四、應用科學與技術

五、科學與人文學

六、我國的科學——過去與現代

七、我國的科學技術政策

一、科學的要義

「科學」一詞的英文 science，源自拉丁文 scientia，原義係「知識」。現在科學一詞，係指經由觀察、實驗、分析、歸納、理論、演繹等過程建立的有系統、組織的知識。大量的經驗知識，如係片斷的，則並不構成「科學」，我們或想應有一個簡明的「科學」的界說。但科學的要義，不是一短句文字可表達的；最好是以一個實例來闡明它。

我們熟知的所謂基礎科學，是數學、天文學、物理學、化學、地質學、生物學。我們於下文將見，在天文、物理、化學、地質幾部門科學中，物理學可說是居於基層的地位的，而於物理學中的各部門中，如力學、電磁學、光學、熱力學等，力學是居於基層地位的。故我們將以「力學」為例，闡明「科學」的要義。

人類的知識，源於若干基本觀念的形成。有若干本能是與生命以俱來的，如數數目，感覺時間的久暫，和物體的大小，空間的距離等的度量，先形成了「時間」和「空間」的原始觀念。再

由這些觀念的運用，如對日、月、年的週而復始，對田地的丈量等，展開人類最古的科學——天文學和實用幾何學。「空間」的觀念，如位置和長度、形象，在西元幾千年前即已高度的發展，表現於埃及的金字塔等大建築。「時間」的觀念（加入了星的位置的觀念）的發展，則表現於年曆和星象學，到了西元前數世紀，漸成為天文學。

由於物體的運動的觀察和描述，人們先有了「速率」的觀念——物體的位置改變的快慢。這個觀念，祇包含了「空間」和「時間」兩個基本觀念。但描述物體運動的次一個觀念——加速率，到第十六世紀才由伽里利奧清楚的引入。「加速率」仍然祇包含「時」和「空」兩個基本觀念，但它的準確數學定義，還有待微分的發明。描述物體的運動，例如在地球上自由降落的運動，構成所謂「運動學」；這個描述，是物體的「位置」和「時間」二者間的函數關係；它仍未成為「力學」，因為它尚未涉及「力」的觀念。

「力」的觀念，可溯源於人舉起物體時需要用力「力」的感覺。在科學（物理學）上，我們需要一個比肌肉感覺為準確的觀念和定義。伽里利

奧由物體在斜坡板滑落運動的實驗觀察，歸納及演繹得下述的敘述：一個物體，除非受有外「力」，它不改變它的「運動態」，換言之，如它原係靜止（或在作等速運動），則仍將係靜止（或作同此等速運動）。這敘述雖仍未說明如何的量「力」的大小，和「力」如何的改變物體的運動態，但引入了「力」的初步定義——即：改變物體的運動態者是「力」。故這敘述，並不是空洞無內涵的；它後來成為牛頓的第一運動定律。

為進一步的描述運動和力的關係，顯然的在「時」，「空」兩個觀念之外，需要引入另一新觀念——「力」的觀念，再由力的觀念，引入另一觀念——「質量」。這兩個觀念，力和質量，不是互為獨立而係有密切關係的。由實驗，可知道：（一）施一恒力於一物體，可使物體作等加速運動，（二）施同一力於數個不同物體，它們的加速率不同，（三）這些不同物體的加速率，和各物體的重量成反比。由這些觀察和實驗，我們引入「質量」的觀念。

為描述物體在力的作用下的運動，牛頓更引入「動量」觀念：「動量」觀念：「動量」乃質量的乘積。牛頓的第二運動定律，謂一個物體在外力 F 作用下，它的動量的改變率之值，等於外力 F ；以數學式表之，這是

$$\frac{d}{dt}(mv) = F$$

由這式，我們得見：一個物理（力學）學的「定律」，是幾個物理量（物理觀念）間的一個（函數）關係。這關係包含了由觀察、實驗、度量引入的基本（原始）的和導出的觀念，和觀念（物理量）間的關係。

牛頓由實驗（兩個物體的撞碰）觀察的結果，更作了一個新假定，謂如物體甲施力 F 於物體乙，則乙必有一反應力施於甲，其值等於 F ，其方向則和 F 的相反。這個假定即是所謂牛頓第三

運動定律。

上述的三個定律，經過無數的應用考驗，乃成為「古典力學」的基礎。由上述，我們得見「力學」建立成為一部「科學」的過程：由觀察、實驗，先後引入「時」、「空」、「質量」三個基本性的觀念，由此導出速度、加速度、動量、力、動能、位能等物理量，更由實驗經驗，假定三個運動定律。力學是物理學中居最基層的地位，因為祇包含三個基本觀念：時、空和質量；其它的力學觀念（物理量），都是由這三個觀念構成的。

我們先看看由這三個定律，可以得到些甚麼結論，如我們知道作用於兩個物體的總外力等於零，則按第二定律，我們知道這兩個物體的總動量是一個常數——不隨時改變。這結論是一個極重要的定理。

又由觀察，我們發現在地面上，物體降落的運動是等加速的運動。按牛頓第二定律，則物體必受有一恒等的力。牛頓假設此力係地球對物體的引力——地心吸力。又按第三定律，則物體亦必對地球有等值的引力，這是萬有引力的一特例。（下文第二節將再述此萬有引力假定或理論。）

物理現象的另一大領域是電磁的現象。由觀察，我們須引入新的觀念，如電荷、磁極、電場、磁場、電流、介質的特性等。由實驗，先後發現四個現象和它們的定律：（一）兩靜電荷的作用力——庫倫反平方定律，（二）兩靜磁極間的作用力——庫倫反平方定律，（三）穩定電流產生磁場——安培定律，（四）變易的磁場產生感應電動勢——法拉第定律。馬克士威爾更綜合這四個定律，引入一個新的「位移電流」觀念，完成電磁場理論的一部數學形式。按這理論，電磁效應，以電磁波形式在空中傳播，波的速率，由理論計算所得，適與光的速率相等。這理論結果，旋由實驗證實。至此，前此的光學乃併為電磁學的一部。電磁學由

經驗定律的發現至理論的建立，先後由第十八世末季至十九世紀的末季，為時幾及百年。

我們在本文中不能詳述電磁學發展的過程；我們祇想著重它的建立過程，亦如前述的力學，是經過現象的觀察，適當概念的引入，實驗、歸納、理論、演繹等程序。總結上述，我們說：

(一) 科學的要義，是追求真理，不斷的開拓知識和思想的領域。科學的特性，係客觀的邏輯的方法，和永遠向前瞻的態度。

(二) 科學家從事純粹科學研究的動機，是尋求真理；他不應受「利益」、「禁忌」的干擾。上述的電磁學科學家，如發現庫倫定律的凱文第徐，庫倫，發現電流的磁場定律的厄斯特，安培，發現電磁感應的法拉第，建立電磁場理論的馬克士威爾，他們研索動機皆是求真理求知識，雖則這些發現，後來成為電動機，發電機，無線電的原理，影響了整个人類的文明！（下文第三、四節中，我們將述純粹科學（或稱基礎科學），和技術的異同處。）

二、科學的門類

由於知識的性質不同，我們有許多部門的科學。最大的分野是(一)數學和自然科學，和(二)社會科學。

自然科學的研索領域，乃自然現象，在基層的部門係天文學、物理學、化學、地質（總稱為「物理的科學」），和生物科學。數學係一基礎科學，但它所研討的對象，不是自然現象，故不屬於「自然科學」範圍。所謂純粹數學，它所討論的與現實事物都無關，有些數學哲學家（如 Whitehead 和 Russell）以為數學可歸根的視為邏輯學。但無疑問的，有許多後來成為純粹數學的部門，是來自某些物理問題所引發的。最著名的是牛頓因計算萬有引力的問題而創微積分。又如變分法，傅立葉分析，機率論等純粹數學，皆

源自實際的問題。反之，原是最純粹的數學如群論，矩陣代數、非歐氏幾何、拓撲學等，在現代物理學中，却有始末預見的重要應用。數學是本身有獨立性的科學，但它的應用，在許多其它部門科學中，有極基本的重要性。數學是思索演繹的最精確邏輯的工具。以物理學言，我們甚難想像如無數學，我們的物理是甚麼樣子。

上述的自然科學，如天文、物理、化學、地質、生物，它們發展初期的分野是很清楚的。天文學的觀察和分析對象是行星和恒星的位置、運動；化學的，是物質的化合變化；生物學的，是動物植物的形態、結構的分類等。但在它們的發展中，每一部門的觀念、知識、研索方法和定律，往往的為別的部門所吸收，致各部門科學間的壁野界限，不再如初期的分明，且由之而誕生了許多新的「科際科學」部門。我們將略述天文學、物理學、化學、生物學、地質學各部門間的新發展為例。

以太陽系統言。由古代希臘時起，至羅馬帝國之後，到了西元的第十六世紀，西方的哲學家、科學家和教會都堅信地球為宇宙的中心。近代天文學，可謂始於哥白尼（波蘭人，1473-1543年）。他由行星運動的描述，創日球為中心的觀點，於一五一三年，以小冊論文方式發表之，教會視為邪說，致他革命性學說的名著，他自己於一五四三年卒前臥塌上始看到。

太陽系統學說的次一重大進展，乃克卜勒氏（Kepler，1571-1630，德國人）由Tycho Brahe的行星觀察記錄的分析，於一六〇九、一六一九年先後獲得並公布行星運動的三個定律，強力的支持哥白尼的「日球中心」的學說。這三個定律，是「經驗定律」，但其將行星的軌道和運行的知識歸納成簡單的定律，是一極重要的成就，是科學進展的一重要步驟，是牛頓的萬有引力理論的依據。

牛頓（1642-1727）很早（可能自一六六六年始）即開始思索關於萬有引力的問題；他領悟一個重要的關鍵，即是行星的繞日，月球的繞地球，和蘋果的落地，都是源自同一的「引力」作用。按這萬有引力（反平方）定律，藉著他創建的微積分，和他的第二運動定律，一舉而解了行星繞日運動的問題，簡易的導出克卜勒的三個經驗定律。這萬有引力理論，立刻的成為天文學中天體力學的基石。

天文學中的其它部門，是研探星球的結構，星球的化學成分，星球表面的物理狀態如大氣溫度、密度等問題。研探星球表面的唯一途徑，是藉星光譜的分析。在本世紀的第十、十一年代中，由於物理學中原子光譜的進展，和印度物理學家沙赫（M.N. Saha）對星球大氣的熱力學第二定律的應用，使跨於天文和物理學二者間的一部「科際科學」天文物理，迅速發展。又由於第二次歐戰中電磁微波科技的進展，天文物理於戰後又創闢一新領域，所謂「無線電天文學」。第五十、六十年代中更有 *quasars*, *pulsars* 星的發現。近年來由於太空船科技的進展，人們對太陽系中各行星的知識漸有增加。由於理論的研討，物理學家正從事於「宇宙的源起」的問題求瞭解。

化學的源起，可溯源於煉金術。化學科學，是研探物質的化合。由元素的發現，引致原子分子的觀念。由化學反應的研究，「熱化學」因而建立，成為物理學中的熱力學的一部門。由碳原子的化合物的研究，發展一範圍極廣大的有機化學部門。近數十年來，更由此進而發展與生命有關的生物化學及分子生物學。至此化學與生物學乃有共同的領域。在另一方面，由於本世紀第卅年代量子力學的發展，化學的若干基本問題如分子結構、化學反應等，構成「量子化學」的部門。

生物學由初期的動、植物的形態分類學經細胞研究，而進入分子的階層。目前生物學的新

領域，有生物化學、分子生物學、遺傳工程，和與生理學有關的生物物理、生物工程等。由於近年實驗技術的進展，「生物學」已由古典的領域，進入研探生物基本結構——基因，由DNA的重新組合，產生新的生物。這些發展不僅在純粹科學上為基本性的問題，且在實際應用問題上，亦有無限的前途。

地質學研究地球，地殼的結構及變易（由岩石、礦物的成分和分布、古生物化石的分布、山脈海洋的結構等，研究地球的發展史）。和地質學同與「地球」有關的科學，有氣象學、海洋（物理、化學、地質等）學、地震學、地磁學等。

上文略述數學、天文學、物理學、化學、地質學、生物學和由這些科學的領域間的現象和問題所發展建立的「科際科學」，如天文物理、地球物理、生物化學、生物物理、物理化學、化學物理等。由於各種現象研究的領域不斷擴展，各部門科學間已沒有清楚的界限，各科學的命名，祇表示它研索的主要對象，但研究時所用的基本原理方法知識，可能都「屬」於另一部門科學的。舉例言之。如研究分子的結構，這是化學家興趣的領域；但研究的方法，實驗上如光譜分析、X線或電子繞射等，基本理論上為量子力學，都是「屬」於物理學領域。又如以X線研究晶體的結構，原是物理學家創立的理論和方法，但研究蛋白質等極大的分子晶體，則係生物化學家的興趣領域。又如天文學家所發現及研究的現象——星球、星雲、太空、*quasars*, *pulsars*，赫普氏定律——，所需的基本原理定律知識，如原子結構、核能產生、萬有引力、核子物態……，皆屬於物理學的範圍的。

總括上述的數學、天文、物理、化學、地質、生物各科學及許多的科際科學，我們可統稱之為「純粹科學」。這處「純粹」二字的意義，是指在這些科學發展過程中，科學家的動機大都是純

粹的求知求真理，不滲雜有求利益的意念。最顯著易明的例子是數學（數論、幾何、群論等）和天文學。第一節曾述力學和電磁學的重要發展，皆源自科學家的求知的動機；電磁學的應用（電氣工業）雖影響了人類的文明，但皆祇是科學追尋真理的副產物。這裏便引到「科學」和「技術」的分別的問題。

三、純粹科學與應用科學

上節舉了許多科學部門；上節末段著重「純粹科學」的特徵是它的發展的原動力是求知求真理。科學而冠以純粹二字，乃係與「應用科學」相對而言的。

「應用科學」和「純粹科學」的不同處，一是研究者的動機是求解答或多或少有實用性的具體問題，一是研究的方法大都從已知的科學原理知識為出發點。由於動機的不同，故研究者的視野、方向亦不同。但在研究過程中所需要的客觀、邏輯、思考、實驗等態度方法，則和純粹科學沒有基本上的不同處。下文將舉例申述純粹和應用科學二者間的關係。

(一) 厄斯特發現穩定電流產生磁場，安培建立安培定律，這些研究是純粹科學。應用這現象和定律，發展電馬達的研究，是應用科學。

(二) 法拉第發現電磁感應現象及定律，是純粹科學的研究。應用這現象和定律以發展電動機，則是應用科學。

由電馬達和電動機的原始模型，發展成各型式性能的馬達及電機，則屬於「技術」（Technology）。

(三) 馬克斯威爾建立電磁場理論和赫爾茲產生電磁波的實驗，是純粹科學，馬康尼由此發展無線電通訊，則係應用科學。雷達則係產生及接收無線電磁波技術的高度發展成果。

(四) X射線及放射性的發現和其性質的研究

，是純粹科學；以X射線作透視及以放射性元素的伽嗎線作醫學治療，和以放射性元素的衰變來定年代，則係應用科學。

(五) 愛因斯坦一九一七年為黑體輻射能的光譜分布問題，創誘導躍遷機率的觀念，至五十年代中葉Townes氏。基此觀念，產生雷射作用，數年後隨之有雷射的發現。這些都是純粹物理學研究。此後雷射經技術發展，廣面的應用於科學研究及工業上，則是應用物理了。

(六) 由於原子核的研究，一九三九年物理學家化學家發現鈾原子核由中子撞碰引致分裂，放出能量。這是純粹物理的研究。由此發現，設計「原子堆」，作鈾原子核分裂連鎖反應的探討，由之製成核子彈，這是應用科學及技術。設計控制鈾二三五核分裂連鎖反應的速率，建造原子核反應爐產生電能，則是工程技術的研究。

(七) 研究晶體的特性，發現半導體，是純粹物理研究，由半導體在電路上的應用，積體電路的發展，新型電子計算機的不斷改進，則是應用科學和技術的研究。這些發展引致電子工業的革命性進展；科學、技術、工程各方面的研究發展的新領域的開拓，深遠的影響人類的文明。

物理學之外的其它科學，亦有許多由純粹科學引致應用的發展的例子。以數學言，我們想起熟知的例子。(一)群論是由極簡單而抽象的幾個觀念定義開始，展開成為一部範圍無限而深邃的理論，且竟於許多物理部門有重要的應用。(二)非歐氏幾何之一的黎曼微分幾何，是純粹數學。在其創立後六、七十年，竟於愛因斯坦的廣義相對論中的「萬有引力」理論，居基本性的地位。(三)矩陣代數，其乘法不遵守 $AB=BA$ 的交換法則，故在第十九世紀英國數學家Cayley創立它時，是純粹數學中的「最純粹」的了。但在現代的量子力學及若干科學中，矩陣代數已成為日常應用的工具了。

以生物學言，我們都學過孟德爾的遺傳定律。孟德爾的豌豆雜交實驗觀察和結果分析歸納，是純粹科學研究的一個極佳典型。這個定律，成為改良經濟植物品種的試驗基礎。

上舉的例子外，我們還可舉出其他許多例子，是由純粹為求知求真理的研索結果，後來引致極重大的，且往往是初不能料到的應用。我們甚至可以說：在人類文明歷史中，許多重大革新性、突破性的進展，都是源自純為求知求真理而不是求實利的探索。

四、 應用科學與技術

應用科學和純粹科學的不同處，是前者係有或多或少的實用性具體性目標，按已有的基本原理知識從事研究，而後者則是研究者為求知求真理的自由探索。前者是謀解答先有的問題，後者是探索未知的新領域。由於這基本的分別，我們便可以瞭解基本突破性創新性的發現，所以多出自「純粹」科學之故了。

但這樣的分析，並不是偏重純粹科學，輕視應用科學之意。反之，應用科學和技術的研究，是將純粹科學的發現、原理、知識，發展及應用於改善社會民生上，貢獻是極大的。我們祇是想清楚的申述「純粹」和「應用」科學及技術三者的關係；如以樹的根比純粹科學，以樹的葉比應用科學和技術，花或果實比科技的產品，似是很恰當的比擬。葉由空中吸收二氧化碳，藉太陽的光，以光合的作用，製成生長的原料。但樹沒有根提供水和礦質元素，是無法生長的。應用科學家用他們的智慧（陽光）和知識（二氧化碳）及技術（光合作用），產生成品（花、果）；但如無基本科學知識（根所提供的水和礦物元素），則是無從望其有成長的。

我們將以幾個例，申述應用科學和技術的性質和重要性。

(一) 飛機重於空氣而能飛行，基本原理是流體力學中的頗簡單的基礎理論。但由本世紀初年的飛機，發展到目前的各型飛機，則經過不斷的研究，如增加它的速率、載重量、穩定安全性等。為每一種目標的機型的要求因素，必須作下列許多方面研究考慮：機翼截面的設計，關係升力及阻力；引擎（螺旋槳及噴射機）的設計和製造；物質材料的性質的研究和製造；整個機的流體動力性質；各種控制儀器的設計等等。這些和其它許多因素的每一項都包含理論的設計和試驗，這些研究是「應用科學」和「技術」。

(二) 核能發電的基本原理，是(1)鈾 235 核子經緩中子的撞擊而分裂，分裂時一部分的質量轉變為能，(2)一個鈾 235 核分裂時產生中子，此中子使另一核分裂，如是發生連鎖反應，(3)以緩和劑控制此反應速率（俾其不爆炸如核子彈），使分裂能以熱能形式產生電。但由這個簡單的原理，設計一個安全發電廠，則須作許多工程、技術的研究，如：鈾金屬燃料棒的製造，鈾棒與緩和劑的安置；緩和劑的控制；熱交換的設計與建造；冷卻器的設計與建造；冷卻水的流運及排洩；操作控制的設計……；核能廠址的地震記錄等。每一項均須有科學、工程、技術的知識，作設計及建造的依據。廿餘年來，這些技術的成功，大有助於許多國家的能源問題。

上述乃指用鈾 235 核略加濃的燃料的反應器而言。如用自然鈾金屬作燃料棒，則須用重水（二氘化氧），故須另加有重水的生產設備。

(三) 另一核能產生的方法，其原理乃係使二氦核子融合成氦核而放出能量。此方法的優點，乃無需稀少的鈾而有海洋中極大量的氘為燃料，且反應不產生有強烈放射性的「渣滓」。融合作用的基本原理，是使氦核在高溫（約攝氏一億度）及適夠的密度下進行融合反應。困難是使氘達到所需的高溫和密度，同時可使融合繼續自給的

維持進行而不使氙散至四壁而將整個反應器被高熱融掉，卅年來，美、蘇俄、英、日各國皆以大力從事研究「核子融合」的企圖。這是一項包含理論、技術、工程各方面許多問題的企圖，如獲成功，則可解決了地球上的能源問題，無疑的必大影響了整个人類的文明。

應用科學和技術的重要，我們可以舉出更多無數的例子，如(1)具有各種特殊特性的物質材料的創製，以應各種不同的用途，(2)各種新的精微儀器的研製，可創闢新的科技研究領域，例如由於積體電路的發展，高速電子計算機的性能，可從事於前此所不能處理的工作，(3)由於電子技術的發展，許多新的儀器，創立了許多新的醫學檢查及治療方法和技術，例如放射性同位素作腦部剖層掃描等，(4)以雷射經光纖維束用於音訊傳遞，等。(5)應用科學和技術在工業、農業、國防上的基本重要性，是不需贅述的。

應用科學與技術的重要，不僅是其實用成果直接的改善人類生命的物質方面（如衣、食、住、行）和精神方面（如音樂的欣賞）；它們由「反饋」作用，亦往往增強，支持純粹科學的發展。(1)許多近代的純粹科學研究，皆有賴於技術發展的成果。又如前段第(2)項所指，高速電子計算機已為若干理論研究的必需工具，純粹科學的探索如高能（或基本粒子）物理、太空行星、行星探測等，如無現代的技術工程的發展，則都無法進行的。(2)許多純粹科學，皆是由應用性的問題所引發的。我們最熟知的是化學可溯源於古代的鍊金企圖，例如熱力學中的第二定律和熵的觀念，是古典物理學中的最描象部分之一，但熵觀念的由來，是熱力機的效率問題，這是第十九世紀初葉歐洲工業革命中的一個實用性問題。又如本文第二節首段曾提及的若干後來成為純粹數學的微積分、微分、偏微分方程式、變分、機率論、傅立葉分析等，它們都是起源於實際（應用性

）的問題。(3)應用科技與技術的發展和純粹科學的另一關係，或可以視為間接而係極重要的。一個國家如想有一些科學家從事長期性的自由性的純粹科學研究，必須有適當的環境，人力的支持。這些支持是有賴社會的富裕，而社會的富裕，則來自基於應用科學和技術的工、農、商業的發展。上段第(1)項所指的純粹科學，如高能物理、太空探索，目前祇有幾個國家有人力財力可以從事這類的工作。

總結上數節，純粹科學、應用科學和技術，在研究的動機、目的上有異，但有共同的方法；它們間有密切的、相輔相成的關係，這由前文所述的近代現代它們發展歷史的幾個例，得見如此，將來亦是如此的。

五、科學與人文學

人類文明，概括的可分為物質的和精神的兩方面。在上古時期，由於食、衣、住、行的現實問題的逼促，物質文明的發展，很自然的先起開步。最古的文化如美索不達米亞、蘇馬、埃及等，有的未遺留下許多痕跡，但埃及的金字塔和紙草卷papyrus scroll，西紀前一千七百年所書的算術記錄，顯示在五千年前，埃及已有高度的實用幾何、算術和建築、運輸的技術。我國則在黃帝時即有蠶絲；黑陶彩陶顯示遠在銅器時代前即有高度的技術。自春秋以降，我國歷代在實用性的方面，有無數的技術發明，與同一時期中的其他民族較，我國實享有高度的物質文明。

至於「科學」（按本文第一節的意義），我國在西元前十二世紀的「商高」，即證明了數百年後希臘的Pythagorus的畢氏定理。在「墨子」中，有關於凹凸平鏡透鏡影像的幾何光學和秤的力矩敘述。在後漢（西元一三二年）時，張衡製地震儀以測地震。此後我國有許多對天文、植物、草本藥性等觀察和記載，為「科學」發展

的初步。

西方的「科學」，在上述的埃及古代算術外，當算是始於西紀前五百年的希臘。該時的哲學家、數學家、天文學家，往往集於一身。希臘可說是西方文明的發源地。歐克里綜合前此的知識，建立幾何學系統，影響歐洲的幾何學，為時一千數百年。亞里士多德的科學哲學（包括邏輯的形式），影響了歐洲的科學，亦一千數百年。希臘的科學，經羅馬帝國的興起而沒落；一直到歐洲的「文化復興」後，數學的研究才復蘇，到第十七世紀數學家如費馬、萊尼茲，科學家如伽里利奧、克卜勒、牛頓先後輩出，開闢了數學分析和數論，奠立了力學的基礎。第十九世紀為科學的蓬勃猛進時代。數學的分析、幾何、代學、化學、物理的電磁學、熱力學、統計力學、生物學，皆迅速進展。到了本世紀，先是由於量子論及相對論的創立，繼之有量子力學的發展，使物理學從基本觀念起作了一改進，化學天文學亦隨之而有大進展。由於這些基礎科學的展開，許多「科際科學」相繼發展猛進（見本文第二節）。

時至本世紀的中葉，「科學」的範圍，由微小的「次原子」境域至距離以千萬光年計的宇宙，由生物的基因至無機的晶體，由絕對溫度為百萬分之一度的低溫至千萬度的電離體（電漿），電子計算機以每億分之一秒作一運作的計算速度，加以科學的深奧觀念和術語，使科學成為極少的專家的私有園地，一般受過教育者亦祇可望而「敬而遠之」。

人類文明的另一面，是所謂人文學。這是指哲學、藝術（如繪畫、雕塑、音樂、舞蹈、戲劇）、文學、歷史、倫理等。上文曾謂古代希臘的科學家和哲學家往往集於一身的。近代由於科學的高度專門化，各部門的科學間，已有「隔行如隔山」的情形，科學與人文學，則更有如兩個世界了。約在三十年前，英國的史諾氏（C. P.

Snow，原習物理學，後成名作家）於一名著中，指出科學和人文學現代成為深隔鴻溝的兩個文明；科學家和人文學者缺乏共同的知識、語言、觀點及相互瞭解的志趣。一個國家社會的人，劃分為這樣互不相通的兩類，對國家社會的和諧，個人生命的享受，都有嚴重可憂的影響的。國際間和一個國家內的問題，複雜萬端。負政府的行政、立法之責者，不能再如歷史上的完全沒有科學觀念知識者任之。社會須對科學和科學家有較深的瞭解。科學家亦須明瞭其對社會的關係和責任，對社會盡傳播科學知識之責。無疑的，人類已到了一個時期，務須有一個人文與科學合一的文明；科學界和非科學界之間，務須溝通思想觀點。這項溝通的任務，無疑的是須由教育擔負。

教育的目的，應不祇限於知識的傳授，而是訓練學生思考，啟發培養他們求知的興趣習慣。我國的大學教育，歷年皆有規定，習理科者必選習文科課程若干學分，習文科者選習理科課程亦然。這個規定的原意，是使習人文學的學生獲得些基本的科學知識，瞭解科學發展的背景，科學的方法，哲學；使習科學的學生，瞭解人類思想、哲學、歷史發展、文學、藝術的欣賞等。欲使這個互選其他學院課程的辦法不流為形式而有意義，則這些課程必須特作組織，授課者必須勝任。我們的大學中，從未注意及此二要求。近年來我們的中學和大學，偏重專門教育的趨勢，愈來愈烈。選習其他學院課程一舉，漸成「應付」，和溝通兩個文明的初意無大關聯了。

上段所述的情形，不僅在我國，在美國亦約略相同。科學和人文學的分野，是人類文明的嚴重問題。這個情形的改善，首須社會人士對這個問題有深切的認識，在觀念上作若干大改變，更須有識的教育家及行政者，研擬有效的措施。至若目前的使學生選習一二另一學院的現有課程，則祇形式點綴，無甚意義的。

六、我國的科學——過去與現代

關於我國歷代的科學發展，最詳盡、有系統的敘述分析，當舉英人李約瑟（Joseph Needham）的巨著「中國的科學與文明」（Science and Civilization in China）（該書有七卷，分爲九冊。首五卷已有中文譯本，由商務印書館出版）該著評論我國歷代的科學思想、數學、天文、地學、物理學及技術工程，化學及技術發現發明，生物學及技術，社會的背景等。著者爲生物化學家，於我國抗日戰爭期中，代表英國的 British Council駐重慶，自駕一小型貨車遍訪我戰時後方多處，與我國學者交往。戰後返英，得二三位我國學者之助，從事上述鉅著之作。

李氏著中列舉我國許多技術的發明（如磁針、水車、風箱、造紙、印刷、火藥、「冲天炮」、……等），有些早於西歐數世紀的。李氏對我國文明科技，無疑是喜愛同情的。有些國人多引李氏的書，爲我國古代的科學高於西歐的明證，以爲我國的科學落後西歐，祇是近三百年的事。這個觀點，一部分是源於爲國家民族「爭光」的心理，主要的是源於未將「科學」，「技術」的要義區分。（如本文第三、四節所申述。）

我國民族，確有無數的「發明」（如上舉的例），且有貢獻於人類文明的重大發明（如造紙、印刷等）；亦有許多觀察，記錄（如星宿、日月蝕、季節、草本、植物等。）在科學方面，有早在西元前一千年的「商高」定理（早於數百年後希臘的畢氏定理）；「墨子」書中有凸凹鏡影像的觀察敘述，有秤的力矩的敘述（見上文第五節首二段。）我們對磁石磁針的性質（甚至如傾斜角）有許多觀察的敘述；在代數上有頗高的成果。我們可以舉出更多的發現、觀察和敘述。

由李氏的書，我們可獲得一總結論，即是我國的發明，多係技術性、實用性的；我們有敏銳

的觀察，有解答問題的智力。但我們似弱於抽象的思索和假設、邏輯的、分析的、演繹的研索。

按上文第一節首段，這些正是「純粹科學」的要義。我們有許多機械性的發明，而從來未曾接近到抽象的廣義的力學原理的思索；我們有甚完善的「幾何光學」的敘述，而從未曾有「光波」的觀念，故亦未曾有波動光學；我們有商高定理和若干實用問題的幾何，而無公設式的邏輯演繹的純粹幾何學；我們有磁石磁針的觀察及應用，而從未曾接近到磁力作用定律的測定。我們有個別性的「技術」和「發明」，但我們未曾發展它們成爲「科學」——基礎性，一般性的思想觀念系統。

我們有許多重大發明而未有科學，主要原因是我國文明受儒家思想的影響。儒家的中心思想，是倫理，是人與人，人與社會的關係，是和這有關係的個人的修養。我們的「哲學」，一般言之，是偏重「實用」的，故我們民族本身沒有其他民族的濃烈宗教觀念，亦弱於西方的哲學思想系統。

第一因素，可能是我們從未發展了科學術語——符號——的運用。西方數學的進展，由符號，方程式的引入而突然猛進。符號係邏輯思索的極基本工具。我國的文言敘述，使科學研究結果的傳達，極力困難。一個數學家研究所得，往往埋沒於著述中。這和我國典籍中有個別的科學結果而少前後人繼續性的發展的原因。

自明代建立以科舉取士的制度，明清兩代的科學，更受壓抑。到了清末，我國和西方接觸經一串的敗績後，以爲我們祇是機械不如人，乃購戰艦，建兵工廠、鋼鐵廠、造船廠，並作「中學爲體，西學爲用」之說。我國接受了西方物質文明的表面，但不知機械兵器之下，還有「科學」的基礎。

及至民國，國人漸有習科學者，知西方物質

文明，乃建在科學基礎之上的。乃於我國學校中引入基本科學課程，如數學、物理、化學、生物等，開始啓蒙學習的時期。到了民國十年年代，我國在外習科學的返國漸多，地質學的丁文江、翁文灝、李四光；數學的姜立夫、熊慶棟、孫唐；物理學的胡剛復、饒毓泰、葉企孫、吳有訓；生物學的秉志、胡先驕；氣象學的竺可楨；化學的吳憲、侯德榜、邱宗岳；土木工程茅以昇；語言學的趙元任；考古學的李濟等；這祇是筆者所知的或記憶所及的。這些位可稱爲我國新科學的第一代；他們於倡導科學，培育第二代的科學人員的貢獻至大。

國民政府成立後，大局漸定。民國十七年設立中央研究院，在三所大學中，科學研究亦開始萌芽。地質學，包括古生物學，尤其著有成績。不幸的，抗日戰爭於民國廿六年展開，政府及大部學術人員輾轉內遷後方。科學人員在既無設備，又時在空襲警報及物價日漲情形下，研究工作，乃不絕如縷了。

在民國二十、三十的兩個變亂頻仍年代中，我國仍培育了些青年學生，爲我國留外的第二代第三代的科學人員，其最著者如數學的陳省、華羅庚；物理學的楊振寧、李政道、林家翹、吳健雄；化學的李卓皓、王瑞駟等。

民國卅四年抗日勝利，政府及人民，未遑喘息，共黨亂起，政府遷臺。民國四十年代，在人力財力均缺的情形下，高等教育已難維持合理的水準，科學發展，更遑論矣。民國四十八年，由於胡適之先生及作者的倡議，政府成立國家長期發展科學委員會，然限於財力人力。五十六年先總統 蔣公決發展科學，於國家安全會議下設科學發展指導委員會，於行政院下設立國家科學委員會，分別從事政策及執行工作，十五年來，從事科學教育科學研究設備環境的建立，人才的延聚培植；經費年約四億元，近數年略增。目前多

數的大學及研究機構，教學研究設備的水準，遠勝於抗戰前在大陸時；受有高層訓練的各部門科學的研教人數，亦遠超過在大陸時；我們的科學研究，有些開始達到國際水平，且間有漸露頭角的。我們可以說是已有了科學發展的起步所需的基礎。

回顧我們由改善大學教學設備環境，延聚教師，從事研究工作，訓練學生，培植高一層的研教人員，爲時廿年，始達到目前的開始進展階段。發展科學，研究及培育領導，皆需人才，而培育人才，則正如常語「百年樹人」，不若購置設備的即日可致也。

七、我國的科學技術政策

我們無需申述科學技術在工業、農業、國防上的基本重要性。以工業言，在國際上的強烈競爭下，沒有高度科技爲基礎的工業，是甚難生存的，故問題是如何的增強我們某些科技。

我們熟聞「技術引進」，「技術轉移」等術語。這是指以某種代價方式，購買他國的製造生產技術。這不僅是科技落後的國家宜採的途徑，即科技及工業高度發展的國家如美國及日本，仍有互作「技術引進」的情形。我們近年來的電子工業，即是藉技術引進建立的。但如我們祇作技術引進，則我們將永在人後，不能與人競爭的，故在工業中，必須作「研究」與「發展」。所謂「研究」，乃求新產品，產品性能的改進，新技術的研究；所謂「發展」，乃將上述研究的結果，作小型實施生產的試驗。「研究與發展」包括應用科學，技術，工程，生產成本等各項研究分析過程，故須有這些方面的專才，不是沒有良好科技訓練的一般技工所能勝任的。我們發展工業的初步，自須引進技術，但爲求工業能繼續生存，則必須繼之以「研究與發展」；如謀「工業升級」，則「研究與發展」，更是絕對必需的。從事

「研究與發展」的基本要素，是應用科學及技術的人才。

「培育科技人才」一詞，也是我們熟聞的。這幾個簡單的字，涵義却不簡單。「科技」是「科學」和「技術」的簡稱；如說國家的政策是「發展科技」，則意應指上文第三節的純粹科學，和第四節的應用科學和技術；如說的是發展某些工業的科技，則意是指該工業所需的應用科學和技術。次言「人才」二字的意義。每部門的純粹科學人才，應用科學人才，技術人才自然皆各有等級。例如一個優秀的應用科學家，是有良好的基礎科學訓練，有分析解答新的具體的問題的能力的人。以電子工業為例。它的「研究與發展」，是需要在半導體物理有瞭解的應用電子學家，或熟諳電子技術的固態物理學家，他們都應有量子力學的基礎，才能瞭解固態物理，半導體的原理。有這些的知識，才能希望在電子工業的「研究與發展」上有所創建。這是「人才」二字所應指的意義。我們在清楚的明白了「科」、「技」、「人才」的意義後，便容易明白「培育」二字的意義了。仍以電子工業的「研究與發展」所需的人才為例。顯然的我們需要大學畢業或研究生的訓練作起點。無論他是電機系，電子工程系或物理系畢業的，都應對固態物理，量子力學（自然的先有電磁學，近代物理等基礎知識）有適當的知識。有這些基礎的訓練，再經研究工作的經驗，始成一個成熟的電子專家。

上述對「人才」、「科技」、「培育」的解釋，似建立過高過嚴的水準。但這正是一個工業成敗的關鍵所在。日本的電子工業、汽車工業，發展遠後於美國，而近者不祇可與美國抗衡，且超越之。我們切勿誤以為日本的產品以價廉取勝；日本的電子產品及汽車，是以「質」致勝的。「價」可以削減，「質」則是應用科學和技術的成果，不能倖致的。

上文申述應用科學和技術對工業（間接的對國家的經濟，國防）的基本重要性。發展科技和培育科技人才的重要，是無疑義的。

我們再回到「科技」一詞中「科」所包含的純粹科學部分。在第四節中我們申述技術，應用科學和純粹科學的分別和三者間的密切關係：如勉強以樹比擬，則技術略如花果；應用科學略如枝葉，純粹科學則略如根；忽視基礎的純粹科學而祇謀應用科技的重大進展，亦猶任使根枯腐而望花實繁茂的不可能也。故即從實用的觀點而發展科技，亦不能偏廢純粹科學。這個道理甚明，是無容爭辯的。從人類求知求真理的觀點，純粹科學自然不能荒棄。由本文，顯見「究應發展純粹科學抑應用科技」一類的爭論，是由於未明二者的關係的偏見。有意義的問題，毋寧是：在某一個國家在某一個社會經濟情形下，於二者發展的致力宜作何比例。以我國目前情形言，給予這比例一個數字，應是經許多因素的分析瞭解後而作的一個主觀性的政策性的決定，沒有絕對的答案的。

至若發展純粹科學，則有較一般性的途徑，純粹科學的探索，需要自由的環境，如大學和學府性的研究所等。最重要的是「人」——忠誠於求知求真理的，博知的，深思的，有想像力的學者和青年，和由這些「人」所造成的學術研究氣氛。科學研究，自然需要設備及經費。但我們往往致大力於有形的物質環境設備，以為樓館、儀器、圖書、人員及經費，即構成「科學」，未知「人」及研究工作，「量」之外，尚有「質」的級別。

我國科學近年來確有顯著的進步，如各大學的教學及研究設備，教師教學水準，研究人員及工作的量和質，皆不是廿年前的情形可比擬的。但有若干情形，年來有日加嚴重的趨勢，茲略舉一些問題，它們的來由和改善的提議如下。

一、由於社會經濟繁榮，急利風尚，影響所

及，使青年(一)多偏向應用科學，(二)低減學術上的求知，求瞭解的志趣。

二、由於我們的大學研究所的研究水準，教育部對高級學位的規制，社會的傳統觀念許多因素，使我國的大學畢業生多出國及外留。這是我國高級科學（包括純粹及應用科學）研究工作及人才培植進步緩慢的基本原因。

三、政府雖屢申「發展科技，培育人才」的政策原則，但似對我國的高級（純粹及應用）科學研究及人才的實況和問題，未有深切的認識，和改善這些情形的基本性具體性的措施。

四、改善上述的一些情形的首步，是明確的

認識問題之所在。例如「培育人才」我們首須對我們目前的「人才」的量和質，有清晰的評估，次須訓練和培育某水準人才的確切方案，更須有執行的機構和人事，這是最淺顯的道理，但亦正是我們往往忽視的。發展我國科技，培育人才，目前的首著，是由「政策原則」階段，邁入上述的步驟。

總結本節，發展我國的應用科技，乃為我國圖生存所必須遵循的政策。於純粹科學的致力，可佔極小比重，但不可偏廢，一個沒有純粹科學的國家，它的科技人才的訓練，亦將依賴外國，它將永是落後的。□

科教信箱答問

活性炭的作用

裕 堂

在活性炭顆粒的內部，有無數蜂巢似的小洞。由於有如此衆多的小室，故僅用手抓一把活性炭，其所含的表面積大約等於10個足球場大。

此多孔的結構使活性炭顆粒具有從液體或蒸汽中吸住雜質的能力，它可用在水、香菸、汽車的過濾器中。活性炭也可用於粗糖的脫色及廢水氣味的去除。它能輕易地抓住約和它本身等重的有機污染物，故歐洲各國多年來用於淨化取自污染水源的飲用水。美國現在也用它來純化地面水、地下水和工廠廢水。

活性炭吸附能力的原理很簡單。當氣體或液體流經活性炭過濾器時，每一顆粒內部的網狀小孔吸住大部分的有機物質。當它的吸附量已達飽和後，可將它加熱活化，把雜質從小孔中趕走，留下沒阻塞的小孔，再用來純化流過的物質。

活性炭在工業上可用多種既豐富又便宜的材料來製造，例如煙煤、木材、褐煤和椰子殼等。多孔的結構是由於在加熱烘烤原料的過程中，較易揮發的分子從內部逸出，留下空洞所產生的。這和烘麵包的情形相類似。