

# 我對中、小學科學教育的看法

李遠哲  
中央研究院

簡校長、各位教育界的前輩、各位朋友：

我今天到這裡參加這個有關科學教育和師資培育的研習會，很高興。時間過得真快，我記得我參加教改會是我回國的那一年 1994 年，兩年之後，我們把教改會的諮詢報告書給行政院院長，那個時候是 96 年的年底，很快的 96 年就又過去了。我記得我還跟簡校長在一起從事教育改革工作的時候，我們對於課程的修改、修訂認為是很重要的事。尤其是我們看到中、小學很多學生負擔太重，沒有他們自己的時間跟空間好好發展，所以我們一直也說我們的課程要改。應該教學生比較重要的、能夠舉一反三的事，或者是其他的，如果能引起他們興趣的話，他們會好好學才對的。但是這四年之內，我又太忙，也沒有注意到底課程的修改進行到怎麼樣，直到最近的這一個月，有幾位參與九年一貫課程修改的同仁們來和我討論一些問題的時候，我才看到這幾年來九年一貫制的課程，大家倒是花了很多的心血，做得還蠻不錯的，還相當完整的做了這麼一套工作，我先在這裡對從事課程改革的同仁們表示很深的敬意。不過，每樣事情都這樣，我們一路走來靜靜的想一想，還是覺得有一些能夠改善的地方。所以，我今天想對科學教育表示我個人的一些看法。雖然我是一個科學家，而不是在第一線從事中、小學科學教育的人，我的看法也不一定是完全正確的。不過，我想進一步的討論這些題目可能是值得的，也許值得讓各位參考，

我們每次看到人家討論科學教育的時候，常會看到有兩個相當不同的極端的看法。可能各位也注意到，在這過去的兩三年之內，美國加州的課程修改的時候，尤其是在自然科學教育的方面，是有很大的爭執的。一群人覺得小學、中學生應該從現象的描述來了解現象，然後從現象裡面把握一些科學的原理。把握一些科學的原理，他們覺得是次要的，很多事情，現象的了解是很重要的。不過，另外有一群人，包括我的好朋友剛過世不久的 Glenn Seaborg，也就是發現元素的第 106 現在我們稱為 Seaborgium 的這位教授，他確實是從事科學教育很久的一位，他就非常反對這種做法，他覺得科學教育主要的是讓學生了解一些科學的原理，你掌握了原理之後，很多的現象就自然而然地就會了解到。所以，他是比較注重原理的了解，而不是現象的描述，所以，起點是不一樣的。當然，他這麼想，與他是一個從事科學研究的人是有關係的，也多少受到了加州大學對學生培養的一些理念的影響。我到加州大學當研究生，覺得很有趣的是，在研究院裡面沒有什麼叫必修。那裡認為兩個

基礎的學科「量子力學」— 掌握微小粒子的這門學科，和「統計力學」— 把微小的粒子和宏觀現象凝聚起來的這兩門你懂得的話，其他的你自己都可以學。所以，後來我當教授之後，第一門課我教的是「化學動力學」。我在大學當研究生的時候我就沒有上過化學動力學，這都是後來自己研究的心得。所以加州大學相信兩樣事，一個就是對科學的教育者來講，讓學生們探求、研究，可能是最有效的教育的方法，那麼，第二個是相信只要幾個基礎學科弄懂了，其他的都是自己不管在什麼時候都能夠涉獵的。當然，這兩種不同的意見，到底是從現象的描述了解原理呢？或者是注重原理的了解，我想，這還是要看不同的領域、不同的項目而有比較彈性的做法才對的。

昨天，我看了目前九年一貫課程綱要的時候，我確實是有一些意見，譬如說，十個不同能力的培養，我想這個至少可以把它簡化為八樣。把這十個好好地分析的話，例如一個人的能力的培養、人與人的關係等，如果好好整理這些項目的話，可能八樣也就夠了，這不是那麼重要的。但是，我看到了「自然與科技」這個項目的時候，我是有點遺憾的，遺憾的是因為在我們社會上對字的使用常常是不那麼明確。在目前的社會上，政府的很多科技預算、科技政策，我們講的「科技」這兩個字是「科學」與「技術」兩樣事情在裡面。在歐洲、美國他們不用「科技」這兩個字，應該是把 science 和 technology 這兩個字分開的。但是，當我們講高科技的時候，高科技產業，那麼，我們這裡講的科技就變成 technology，而我們講的「高科技」，其實「科」的部分很少的，「技」是很重要的，所以英文講 high tech, technology 我們把它翻譯成高科技，所以科技兩個字表面上看起來好像很好用，什麼都是科技，反正跟科學、技術有關的都叫科技。我覺得，我們在課程修改的時候，對這些字的使用可能要更明確比較好的。所以我覺得「自然與科技」不那麼適當，也許是「自然與技術」較好，「科技」這兩個字大家確實要好好想一想，當然我們如果說「自然與技術」，那麼「自然」是不是涵蓋我們所要學的所有科學都在裡面嗎？也不是啊！想想看，很多我們使用的材料如 blue dialyzer 等，自然界是沒有的，是我們在物質的世界裡面把握了很多物質運動的 grids 而製造出來的新材料，所以學生學得很多，不一定是自然的，而是很不自然的東西，雖然是不自然的東西，但都是很科學的，所以「自然與科技」這幾個字，我倒是覺得大家也許可以討論的。

不過，我昨天看課程的內容之後，覺得琳瑯滿目，好像什麼都有，從主題 110、120 開始包羅萬象，那時，我馬上的一個反應就是，這樣做下來真的能減輕學生的負擔嗎？九年一貫學下來，是真的能減少學生的學習和負擔嗎？譬如說，我們在氣象裡面談到雲雨酸霧這些東西，二年級、三年級、四年級一直都要學這些東西，真的要學這麼久嗎？所以，我

還是存著一個疑問，就是我們九年級的科技的課程裡面，到底我們要注重什麼呢？

今天我們生活在這個世界上，如果我們談到很多我們祖先想到的一些宇宙的起源、生命的起源這些奧妙的東西，可能九年級的學生都還不需要深入的去探求，但是我們生活在這個地球上，影響我們生活、生命的太陽很重要，課程裡面也有太陽，太陽和地球和月亮相對的運動，太陽無私的給我們能量，但是我說我們到底到九年級要懂多少的時候，我就不免想到我們常常談到臭氧層的破壞、溫室效應等這些在課程裡面都有，但是這些東西到九年級的時候，到底學生了解多少？這了解是和一樣事情有密切關係的，也就是說一個東西的溫度和熱量和輻射。如果我們看到太陽溫度很高，它射向地球的光裡面，有波長的分布，如果溫度和輻射的關係不了解的話，我們講溫室效應，學生是不會了解的。當然，我們談到太陽的光，從紫外光到可視光線到紅外光，溫度那麼高的時候，它光線的分布到底怎麼樣？輻射和溫度的關係到底怎麼樣？這個九年級以前的學生能夠了解嗎？我想是可以了解的。例如，早上起來煮飯的時候，電熱爐通電之後開始慢慢的紅起來，慢慢紅起來的時候大概是到了溫度攝氏 700 度的時候，就可看到黑色的電熱爐慢慢發紅，到了晚上看燈，鎢絲大概是 2500 度左右，我們課程裡面講了不少溫度和熱，但是如果我們不掌握溫度和輻射的關係，或者是波長的分布的話，以後談到溫室效應、臭氧層的破壞，學生們可能只是一知半解的。我們可能不必教學生太陽的能量是核聚變來的，不是燃燒來的，但是，對於波長的分布，短波長含有的能量很高，可以分解分子，長波長不會分解分子，但是會被吸收之後變成熱，這一部份有關太陽的知識很重要，尤其是溫度和輻射的關係，因為它也是牽涉到光合作用，以及植物能在地球上生長的原因。所以我覺得九年一貫制的課程裡面對太陽這個所有萬物賴以為生的東西，可能要稍微再進一步的描述才對的。另外，可以看到課程裡面，譬如說，水的相變、態變，從固體、液體、到氣體的變化。我們人類在地球上生存，溫度和水的三相的存在是有很密切的關係的，小學生很小就碰到冰塊、或者是水、水蒸氣，這裡面還是一樣的，就是相變和溫度的關係，若不談到能量的關係，還是覺得有缺失的。所以九年級學生到底要懂多少，我們如果花很多的時間談太陽，我看到課程裡面有很多是談到和月亮的關係，但是若談太陽的能量的放出，輻射、溫度的關係，然後我們就能夠花更多的時間談到溫度、相變和能量的關係，這關係我想小學生是能夠掌握的，我曾經也對很小的學生談到燒開水的很多事，他們也都能夠了解。為什麼水燒到 100 度，一直加熱溫度不上升，而是液體變成氣體，這相變過程裡面能量的關係，他們還是可以了解的。為什麼談太陽和相變呢？因為，我們日常生活裡面，你看到家裡用的冰箱，小孩子也常常問為什麼一插電冰箱就冷呢？媽媽也可以跟他們解釋冰箱的原理呀！為什麼相變產生

的熱量放到外面，裡面就冷了？這些其實都是相變和能量、溫度的關係，懂了這個關係就可以掌握很多日常生活有關的事。看到媽媽在炸春捲，為什麼油燒到 200°C，春捲炸出來這麼脆？因為水蒸氣沒有了。或者是我們後來談到的四季的變化、颱風的形成、海水變成蒸氣之後那麼多的能量組成的雲霧等。都是相變和能量的關係，如果沒有把握好的話，以後氣候的變化也不能講清楚的。所以，我常常覺得科學教育裡面，最不好是教他們現象，只讓他們一知半解。我上一次確實也抓住國中的科學的課本和大學的化學課本，看看臭氧層的破壞、臭氧層的描寫，書裡面寫的是不能夠讓學生了解到底是怎麼回事，為什麼？因為太陽光波長的分布沒有寫啊！沒有說波長在 2000 埃以下的能夠把氧分解，到了 3000 埃的時候氧會吸收。因為沒有波長的關係，這些化學的原理不可能知道的，然後書裡面就說臭氧層可以吸收紫外光，但是臭氧層怎麼形成的，這些，學生都不會了解的，國中的課本也是，高中的課本也是這樣的。美國的化學課本，老師講得很清楚，它確實把波長的分布都寫了，而且在溫室效應裡面，地球的溫度所放射出來的波長的分布、和二氧化碳、水的吸收的波段都寫得很清楚。我看了這本課本，寫得很不錯的，是什麼時候誰寫的呢？是三位作者，從 1927 年開始使用到現在還在使用，已是第六版了，而且和這本課本相關的資料有些是 video，有些是課外的補助教材……等等，一大堆東西，課程的發展可能要經過相當長的時間嘗試、再嘗試、再修訂，而且，這本書裡面的序裡面也說如果時間有限，這幾個章節可以不要花時間教，也不要花時間唸，為什麼呢？因為，這幾個章節裡面不會學到任何新的理論、新的原理，可以了解一些現象，但是不會學到很多新的東西。所以，我倒是希望我們的課程現在有的大綱裡面還是可以緊縮。從根本的原理談到很多東西是大家能夠了解的。

我再舉幾個值得進一步探討的地方，我剛才談到我們的用字，像科技這兩個字的使用，我們應該要進一步商榷。但是，有一個也非常不好是，課本裡面我們談到「溫度與熱」，「熱」這個字，我們說今天很冷，為什麼冷呢？是溫度低才叫作冷，溫度高叫作熱，但是這東西有多少熱量或熱能有多少，這個我們中國的語言裡面還是很含混的。所以，很多很多的描寫，就沒有把「熱」和「熱量」或者是「熱能」分清楚，在說熱是可以傳播的時候，你講的是熱量可以傳播或者是能量可以傳出去的呢？今天天氣很熱，這個熱字，你如果是用高溫叫做熱的話，那就是很奇怪的。因為溫度是量化的，不是物質定性的東西，不能說溫度可以輸出去，輸出去的應該是能量，所以，我覺得這裡有很多是很含混的。溫度有差別的時候，熱量會傳播，熱這個字含有太多的概念，如溫度和熱量或者是熱能都用一個熱字來使用，而又在不同的地方使用不同的字詞是非常不好的。

另外，我也在各個學校裡面參觀的時候，看到的是我們中小學對測量的訓練還不是很好的，我們做科學研究工作的人，常常要掌握量和量的關係，而且，很重要的就是要量到沒有人能夠量到的東西，科學才會進步下去。但是，測量的精確度、測量的方法應該是從小就要訓練的，所以學生用溫度計，或者是量一個東西的長度，或者是量電壓、量電流。每個學生應該都有一個觀念，他量出來的東西是多麼精確或者是多麼不準確，但是動手、動眼睛這個測量應該是很重要的。課程裡面也談到小學一年級、二年級要量溫度，但是要看學生實驗應該學會那些東西，到底要經過怎麼樣的培養才能作出很多測量的工作，怎麼樣才能做得精確，而且測量的時候要有方法，不但要做得對，而且技術要熟練。

我覺得目前這個課程裡面還要進一步再作的是把很多項目融合在一起，剛才我講到這個相變 *phase transformation* 一個固體到液體到氣體的變化。我們如果學會能量的傳遞、能量的轉變、或者是相變的話，那麼我們從一年級到九年級談到一些天氣的變化，雲霧這些東西，就很容易了解了。我也不覺得天氣的變化要從一年級到九年級每個年級都要教，老是說著雲、霧的事情。我們也談「晝夜與四季」，晝夜與四季，我們在前面地科方面教的課程裡面看到一些地球與月亮相對運動的關係，其實和氣象是相關的。所以，我想有很多項目我們還是從地科的觀點看，從物理、化學的觀點看，還是分得很細，我們要怎麼樣把它們融合在一起？所以我看到「天氣變化」、「晝夜與四季」。另外「地球和太空」這裡面有一個章節談到地球、月亮、太陽幾個位置的關係，就想要怎麼樣把它們融合在一起，而不是說我們把主題 211 叫做「天氣變化」、主題 212 叫做「晝夜與四季」，一年級到九年級都有這些項目在裡面，那麼學生的負擔是不是會很重，而且重複很多，如果我們相信這些東西都要教，但是以什麼為主軸來教？教了這些東西之後，那些就可以讓大家自己學？我想，如果好好地再想的話，課程可能會減少很多。

另外，主題 214「溫度與熱」，我想應該是「溫度與熱量」，這是能的形態與轉變，我們談到溫度和能量、能量的形態與轉變就是主題 214 和 217，這是不同的年級裡面學不同的階段的東西，而不是說溫度與熱是從一年級到九年級都有，能的形態與轉變也是從一年級到九年級都有，怎麼樣把這些東西結合在一起，只要教幾個重要的東西，讓學生能學一反三。在化學的部分，我也看到很多有趣的現象，譬如說，我們教「化學反應」，化學反應另外又有一個章節叫做「氧化與還原」，通常在大學裡教化學反應和氧化與還原的時候，「氧化與還原」這個章節是教電化學，電化學的「電極的反應」「氧化與還原」都用電化學這個 title 來教，所以我也仔細的看了課程裡面是有一點點有關電化學的部分，其他的部分是和化學反應有關係的，所以我也不了解就是我們如果用傳統的氧化與還原這個項目，

像是以前美國課程的電化學，若在現階段不教的話，那麼像氧化與還原是不是還應該把它和電化學合在一起？因為氧化只是反應的一小部份而已，你如果懂得反應的話，氧化與還原都應該了解的，如果一年級到九年級都教化學反應的話，那麼其中的一個階段可以教氧化與還原。另外，我看到像主題 222「電磁」、217「能的形成與轉變」這裡面沒有談到電能，就是電流、電壓能夠產生的能量。雖然我們電風扇、電動馬達用的很多，但是電和能的關係，好像把電磁分開之後討論到電磁的現象而沒有能量的關係，所以很奇怪的是談到熱的時候，好像熱和溫度沒有談到能量，後來我看了之後，熱能只有一部份，但是能量的轉變又是一個章節，電磁有個章節，這裡面沒有能量居中貫穿，這些轉變沒有放在一起。另外，我也看到整個一年級到九年級的課程，我不曉得我們對年輕的小孩子要不要讓他們有些物質觀，以前希臘人對於萬物是怎麼樣構成的有不同的說法，而我們的祖先，也有一套金、木、水、火、土的五元說，到現在大家都知道我們世界上的東西都是原子、分子、元素，也就是構成萬物最基本的單元，這些觀念是不是很小就要讓他們有？以前傳統的教學從十七、十八世紀留下來的，都不這麼教，到最後才講到原子、分子結構，我在中學的時候，學化學還有定比定理、對比定律，但是你如果知道元素、原子，原子的結合變成分子，化學反應是分子的重新組合，那麼定比定理、對比定律就非常容易了解了。

我昨天看課程的綱要後，覺得我們做了第一步的工作，把應該有的都放在裡面，這是很好的，但是我們不能這樣子就給書店編教材，因為我們主題的項目太多，而這樣的主題排下來，排課本就不是那麼容易把它們放在一起。可能要真正的很細心地再看主題裡面那個是比較重要的，那個是可以容進去的，那個是可以不教的，這些都還要探討。課程的綱要可能要刪減掉三分之一，剩下三分之二大概是足夠的。這努力，我想是在課程修改下一步要做到的事。科學的學習每個人都是不一樣的，我們都知道，學生的學習是最重要的，不管老師在黑板前面講得多清楚，你也聽得很清楚，但這不是你的東西，要經過你的思考，你的消化，才能變成你的東西。當然，我們老師能夠做的是要幫學生學習，要克服他們的障礙，有時候看到小孩子算雞兔問題，討論有幾隻雞和幾隻兔子在一起，裡面有幾個頭？有幾隻腳？現在問如果籠子裡都是雞的話，有幾個頭有幾隻腳？很多小學生就說，你剛才說是雞和兔關在一起的，為什麼你說假設全部是雞，這是不對的。也就是說，假設、虛擬的東西有些人不會。有些人會問如果全部是雞的話，那為什麼你不全部用兔子來算呢？每個人都不一樣，大家想法都不一樣。

我在這裡有一樣事情，真的要提出來和大家好好談的是，最近由於我們資訊科技的進步，電腦的使用和網際網路正在轉變整個世界，真的是轉變整個世界，而且步伐走得很快，

在我們的教育面會影響很深遠。我們今天有課程的標準規範我們要教要學的東西，我的經驗是，我在這裡講，有些人聽，有些人腦筋裡胡思亂想，想別的東西，我就有一個毛病，有時候老師上課，我就不太相信他講的，我就開始想自己的東西，後來他講什麼我也不知道了。但是，由於科技的進步，現在很多人學習的東西，可以經過電腦或者是網路，單單一門課就有不同的單元，譬如說熱和溫度和能量的關係，它可以有一個單元，這個單元不好的話他就不要學，它可以找一個單元比較適合自己的背景和學習的方式來學。不久的將來，我們就可看到，不但是一班裡的每個人可以有不同學習的步伐，不同的學習方式，而且學習的時候會有些困難或障礙，抽象力不夠，或者是整個的力量不夠，在學習過程裡面都會展現在你回答問題的技巧上面，老師可以看出你的問題在那裡，可以好好的來幫助你。所以我今天在這裡呼籲的是我們在課程的修改也罷，以後的科學教育，可能不要忘記科技帶來的變化對我們的教育是會有深遠的影響的。那一個國家真的跟上這一波的產業革命，好好的利用資訊科技從事教育改革的話，那就會佔很大的便宜，走在人家的前面。這是我提醒大家，真的要看看科學技術帶來的這些進步，對教育的影響將非常深遠的。我們在教改會的時候，雖然注意到這一點，但是我們沒有深入的去探討。這幾個月來，我真的深深感受到這可能是對我們教育的改革很重要的一環，就是經過電腦和網際網路的學習，而客觀條件也正在成熟，前一陣子宏碁電腦有一個 *one to eighty* 網站，我說一歲學習到八十歲，那麼八十歲以上就不學了嗎？他把平均年齡估計的太低了一點。那裡有 7000 個課程，從品酒到各式各樣的事物，所以，如果有人想學什麼，上網就可以學很多東西，不高興或課程不好就再挑別的，有些教得好的將來就會有很多人來瀏覽，變成非常 *popular*，不好的馬上會被淘汰，有人做評鑑的工作。教育是服務業，我想這個對教學品質的提昇會有很大的幫助。另外一點我還要強調的就是，到了二十世紀最後的這幾年，我們應該要認識到英文是很重要的國際語言，不管我們高不高興，這是一個事實，所以，你如果現在到歐洲看看，像德國小孩、法國小孩都用英文，教學很早就開始教英文，像法國這麼強烈的喜歡自己語言的國家，也是很早就開始教英文，我們教改會曾經努力過國小要教英文，結果是把它推前到小學五年級，九年一貫制教學的綱要裡面也是國小五年級才開始教英文，我想我們要利用網路或者是從世界各地取得很多資源資料，要跟全世界的人一起掌握人類將來的命運的話，英文是非常重要的，所以我也希望英文的教學是從一年級開始。我拉拉雜雜的講了一大堆，請各位指教，謝謝各位！