

第八場 『你所不知道的力學』(2007 年04月22 日)

國立高雄應用科技大學機械工程系 周志勳 紀錄整理

主持人 高雄醫學大學牙醫學系主任 李惠娥：

我們的演講者劉佩玲所長，高應大的李旺龍教授及郭教授，還有我們所有的聽眾們，大家好。今天非常榮幸可以來這擔任主持人，事實上我也是要來聆聽我們劉所長的演講，只是剛好受高應大的李教授的邀請，讓我有機會來對劉所長做一下介紹。我們都知道力學在我們日



常生活中就常碰到，好比我們身體裡頭流動的血液是一個力學的動作，我們講話喉部發出地聲音，還有我們開牛奶罐的罐子用到的槓桿都是力學，很多的地方都利用到了力學，所以跟我們的生活是很息息相關的。我們今天所邀請到的劉所長是台大土木工程系畢業，拿到碩士之後到美國柏克萊大學拿到博士學位，她所專精的是有關土木工程方面的研究，土木工程當然是跟力學是很相關的，怎麼樣去把結構作好？當然應用更多力學的東西，她今天來這演講，不管是從最深的地方講到最淺的，或者是由最淺的講到最深的，都是希望能夠深入淺出地告訴我們，力學在日常生活中一些應用。劉所長無論是在她的著作方面有很多論文的發表，也得過國科會傑出研究獎…等多個獎項。接下來我們就把時間交給我們劉所長，讓她來帶給大家豐盛的禮拜天。

演講者 國立台灣大學應用力學研究所 劉佩玲所長

謝謝李主任、李教授、郭教授還有各位聽眾、各位同學，大家好。在這個禮拜天，尤其是在期中考週前的禮拜天，還有一些同學過來聆聽，我是覺得蠻高興的。在去年李旺龍教授來邀請我，希望我來做一個科普的演講，我因為一直在推全國奈米人才培育計畫，我也覺得



科普演講應該是很重要的一個事情，就答應了。答應以後，才知道這一個演講系列名稱叫做『週日閱讀科學大師』，一聽便覺得：『這怎麼得了，我只不過是在學校裡教個書就變成大師了』。所以等等各位不要期望我會有多麼驚天動地的發明要在這裡呈現。其實我今天想講的是剛才主持人有提到的，就是到底有哪些是『你所不知道的力學』。這題目原本的動機是我在當應力所所長的時候，我們的學生常說：『所長，妳是不是要去好好做個宣傳？人家都不知道我們應用力學研究所到底都在做些什麼東西，這樣我們就不容易找到好的學生，出去以後業界也不曉得我們在做什麼，我們也不容易找到好的工作』，所以這件事情一直很困擾我，不知道到底要怎樣來回答這個問題，所以原本在接到這一個邀請的時候，我原本要講一個跟我研究有關的題目，後來我就改變主意，想要來介紹一下什麼是力學。介紹力學，我原本是想介紹力學研究所到底在做些什麼新的研究。到了演講之前的兩個禮拜，我就開始準備這場演講，原本就請我的一些同事跟學生開始幫忙蒐集一些資料，結果資料交過來以後，我想：『糟糕，這些東西要對一般大眾跟學生來講的話，大家可能會打瞌睡』。剛才李主任講，如果我們生活裡面到處都是力學，我們卻還不知道的話，還談什麼高科技的力學，於是我就把演講內容定位在讓大家先了解我們生活裡到底有哪些是力學。

我們就先來看什麼是『力學』。到底力學是什麼東西？我們從一些歷史來看過去的人研究過哪些力學，來幫助我們稍微了解一下。其實有很多學生們在中學時候就開始學力學了，所以大家都對力學有一些初步的認識。從歷史上來看，最古老的力學在西元前四世紀的時候

就開始了，是在希臘的時候就開始研究。最有名的就是亞里斯多德，他是哲學家，古代的哲學家研究的東西其實很多，其中有希臘三哲分別是『柏拉圖』、『亞里斯多德』、『蘇格拉底』，他們三位研究哲學，討論的是哪些事情呢？他們研究的內容很多，包括『東西為什麼會存在？萬物為什麼會存在？其中的道理又是什麼？』，他們希望去解釋這些現象，去探求這些東西的基本道理，但卻又不希望只是用人的經驗去論定，而是要有一些推理的過程。所以他們也為此建構了一套理論，來解釋地球上的一些現象。譬如說東西會動，如果是一般的東西，會動的話，就要有推力去推它；一個球丟出去以後，球不就在天空上飛了嗎？那什麼東西在推它？因為手推了週遭的空氣，所以空氣繼續在推那顆球，這是他(亞里斯多德)的講法，當然我們事後會知道這是不太正確的。他有一個理論，認為世界上有五個元素是以地球為中心，先有水，然後是空氣，再外面有火，再更外面則是一些乙太，乙太指的是外太空上的一些星球，整個地球是一個宇宙的中心。這五個元素是比較特別的，不需要東西去推就會動，因為這很顯然的，水自己就有水波，看不到有哪隻手在推它，所以他的理論是這樣。根據他的理論，一顆球我一推它以後，就沿著一條直線走，走到某一個地方能量耗盡以後，就掉下來，這個當然跟我們現實上所看到的，有些許出入。後來，就出現了一位『阿基米得』，阿基米得在力學上有很大的貢獻，他最有名的兩個原理，一個是剛剛李主任所提到的開牛奶罐子所用到槓桿原理，另外一個是浮力原理，他有一天在洗澡時，突然想通了一個道理，東西在水裡的浮力會等於東西在水中所佔的體積再乘上水的比重，於是他就很高興地跳出水缸，並說了一句『enrhka』(希臘語，意思是『我知道了!!!』)，而槓桿原理的名言是：『給我一個支點，我可以舉起整個地球』。後續又有一位就是托勒密，想去知道天體運行的軌道，之前亞里斯多德認為運行軌道是圓型的，但事實上不是這樣的，所以托勒密希望能做一些修正，做一個比較正確的描述。到了中古世紀，又陸陸續續有許多的科學家繼續研究這部份，他們的理論其實差不了太多。在十三世紀的時候，有一些英國的學者做了一些觀察跟實測，去證明自由落體是以等家速度在掉落的，這跟後來我們的牛頓力學講的是一致的。到了十七世紀是一個發展蠻重要的時代，像哥白尼就提出，根據我們的觀測，地球是宇宙中心的想法是不對的，太陽才是宇宙星球繞行的中心；當然他最後的結果很慘，因為他觸怒了教會而被殺死。後來克卜勒又進一步地去推導出星球運行的軌道是橢圓型的，伽利略則是更進一步的推導出，所有的力量其實是一個向量，假設有兩個不同方向的力量在推，最後物體移動的方向既不是F1的力量，也不是F2的力量，而是兩力相加出來的合力方向，另外他還提出來說，有一個球從一坡面滑落下來的話，若對面還有一

個坡面，則這顆球會爬到原來相同的高度。牛頓當然是我們覺得在力學裡面最重要的一位大師，剛才我講到的『週日閱讀科學大師』，這些人(科學家)才算是力學界的大師。牛頓發表的幾個很重要的定律，包括慣性定律，就是一物體沒受力的時候，它不會動，你一推，它若沒有阻力就不會停下來。另外就是 $F=ma$ ，力量跟質量還有加速度是呈正比，再另外一個是作用力等於反作用力。當然他也提出來重力定律，重力到底會有多大？他對力學或數學來說，他發明了微積分，這事後來非常重要的數學工具，而且把力學上的問題改用數學的方式來描述，來解答，當然也用來推導一些天體運行的力學。以近代來說，學者就五花八門了，有很多的學者像伯努利(Bernoulli)、尤拉(Euler)、拉格朗日(Lagrange)及拉普拉斯(Laplace)將力學問題更加數學化，並且探討氣體的行為，熱跟力是有關係的，即所謂的『熱力學』。再來有安培(Ampere)發明了電動力學，就是所謂的電磁學，還有麥克斯威爾(Maxwell)有 Maxwell 電磁方程式，討論氣體動力學，薛丁格(Schroedinger)跟海森堡(Heisenberg)他們發明了量子力學，其實他們可能不是唯一的，在同一時代裏面都有好幾位學者在做的，可是他們是比較代表性的人物。後面有波茲曼(Boltzmann)的統計力學，愛因斯坦(Einstern)的相對論…等。上述其實有很多在現在我們都不會把它放在一個力學的領域，後來在這時期就有點分歧，尤其是跟電磁有關的，就變成比較是物理學者在做的研究。力學的研究就比較偏重於實質的力量推了以後，東西受到力量之後會產生什麼樣的行為，像是變形，它可能會跑。所以在 18 世紀以後所做的這些東西，很多都不太是力學學者所著重的研究課題，而是做物理學者所在做的研究。過去所討論的研究，就是要討論我們周圍有些什麼樣的現象，他們所提出來的這些原理，究竟在我們生活中怎麼樣被表現出來？怎麼樣被利用？我們就來看看。

我把它分成食、衣、住、行來看。以食物來說，因為我們是在一個演講廳裡頭，如果是在一個教室，都是學生在一起，我可能就會比較偏向於在我演講之前，我會把學生分組，然後跟他們說：你們來討論看看，覺得在我們食衣住行育樂裡頭究竟有多少力學存在，有多少力學的原理或者是應用力學原理所設計出來的東西。不過因為我們現在是在演講廳，所以我就直接講。跟食物有關的有哪些力學？以蔬菜水果來說，你要先種植，我們以種在土壤裡的蔬果來說好了，其實我們在底下的地下水，通常不會到地表面，都是在地表底下，你平常如果沒有去給那些蔬果澆水，為什麼那些蔬果不會死掉？其實是因為水在這裡面有一些毛細現象，它可從地表下面被吸附上來，所以蔬果的根還可以吸的到水。現在很熱門的，像有機栽培，通常會做一個溫室，

溫室早期是用玻璃做的，現在很多是用透明塑膠布做成的，那這用到了什麼力學呢？在蔬果上面加了一個玻璃蓋或是塑膠蓋，主要目的是避免太陽光跟輻射能量直接照射在蔬果上，因為光學折射的關係，陽光一旦照進來以後，若溫室設計的好的話，光線就很難再跑出去，另外一個是棚蓋整個是密封的，上面沒有開口或是煙囪之類的口，所以熱空氣不會跑掉。若在頂棚上開一個口，就無法讓溫室發揮應有的功能。如果說各位有到過鄉下的養殖池，養殖業者會怕魚沒有空氣，會在上面裝一部水車在那打水，半甲的地通常會擺上四、五步的水車。那水車可以攪動多少水量呢？大概可以攪動十五到二十公分的水深，將氧氣帶進水中。這種作法一方面要比較多部的水車，另外一方面換水量要比較大，後來就有教授跟養殖業者合作，去研究一些機構，看要如何使換水的深度比較深，氧氣量增加，所以他們就改用抽水的方式將水抽上來，抽上來之後噴到空中裡面去，噴到空中以後會有很多的水滴，形成一道霧氣，這樣得到的氧氣就比較多，也非常省電，而且收成可以增加百分之三十，這個當然是在力學上面做了一些設計。另外，蔬果種植出來以後，拿到菜市場去販賣，你們買西瓜的時候會做什麼事？通常會將西瓜拿起來拍一拍，這個也是力學，這個其實在力學裡面的研究是屬於『非破壞檢測』。非破壞檢測的原理是我有一個東西，想要知道東西內部的狀況如何，卻又不能去破壞它，這時就可以用敲擊…等方式檢測，東西內部好壞與否，其反應跟變化會不同，如此便能得知東西的品質，西瓜就是根據裡頭的水分多寡或是裡頭的構造，依照成熟度的不同，你去拍它的時候，聽起的聲音就不同，這個當然就是一種聲學，對西瓜做了非破壞檢測之後，有經驗的人就知道哪些是好的西瓜，當然非破壞檢測不只有這樣，我們待會還會再談。東西買回家之後，就要煮，你如果是炒菜的話，這時就用到了熱傳導，不會有人弄陶瓷鍋去炒菜，因為熱傳導不好，所以我們用一種熱傳導比較好的材料，像是鐵鍋。比較厲害的大廚，還可以用鐵鍋，東西還不會掉出來，這個當然是動力學。翻動的目的地是什麼？因為我們知道肉類的熱傳導係數很不好，所以如果擺在鍋上不動，要等到肉上面熟，下面就已經焦掉了，所以要不停的翻動。熱空氣一膨脹就會往上升，火苗會往上竄，如果這樣的原理倒過來，問題就大了，你會很難去設計一個適當的鍋具，因為一鍋水你在下面加熱，熱空氣上升，冷空氣下降形成一個熱對流，鍋內溫度才會均勻，若熱的流體不會往上升的話，你永遠加熱到的只有鍋底的部份。煮餃子、湯圓的時候，我們為什麼知道浮上來就熟了？這是因為表示那裡面溫度已經達到 100 度，所以裡面有一些水份已經變成水蒸汽，使物體膨脹，比重低於水的比重，就會浮上來，這也是力學。還有，東西煮好要上桌了，上桌之後要開始食用，你們應該會注意到，除非是特別設計，不

然那些碗盤跟餐具都是圓形的，這也是力學，只要學力學的人都知道，如果東西是很尖銳的，依生活經驗可以知道，尖銳的地方很容易碰破，因為在那地方會產生應力集中，所以我們的碗盤通常都長的圓圓的；你要用筷子來吃飯，這個筷子就用到槓桿原理，要有一個支點跟施力點和夾菜的地方共三個點，才能夠把菜夾起來，你沒有辦法捏著筷子，就是只有支點是無法完成夾菜動作的。其實在使用叉子、湯匙也是一樣，你會注意到叉子都會做成彎曲狀，很少會做成直的，我猜想那是為了要降低食物滑落可能性，因為若是一支直的叉子，插到食物裡面去，你要把食物給插上來的話，那完全是靠叉子跟食物之間的摩擦力讓它不會掉落，摩擦力要很大的話，就得把表面弄得很粗糙，但是我們又不希望餐具做的很粗糙且不好洗，所以將叉子做的稍微有點弧度，就不會一下就掉了。

接下來講『衣』，我們的穿著又有些什麼樣的力學？其中從很早以前大家就會穿一些羊毛的衣服，羊毛從羊身上剪下來之後，是一截一截的，羊毛不會很長，所以要經過一個紡紗的動作，一絲一絲的羊毛之所以能夠捲成毛線，主要是靠羊毛跟羊毛之間的黏滯力，但這樣還不夠，如果只是羊毛並排起來的話，其實黏滯力很差，所以還要扭動羊毛，從摩擦力上來看，羊毛經過扭轉多圈之後，你要將羊毛拉開是很難的。這裡如果有跟我差不多年紀的聽眾，也許就有看過以前的印地安瓊斯(INDIANA JONES)演的一部電影，那個探險家每次都要拿一個鞭子要跳過一個溝的時候，就把鞭子往樹上一捲，在捲的時候，其實是讓鞭子繞過樹幹捲了幾圈，然後人就順勢盪過去。其中有位演員漢瑞生福特(Harrison Ford)，它應該也有一、兩百磅重，約八、九十公斤，就靠著這樣子就可以把整個人盪過去，表示那之中的摩擦力是非常大的，鞭子繞越多圈，摩擦力就越大，這個力學是可以算的出來的。我們為什麼冬天要穿衣服禦寒？冬天禦寒時常穿的毛衣，其實也是力學的原理，因為你希望你穿的這件衣服可以隔絕空氣，那層空氣的熱導是很差的，所以就可以把身體散發出來的熱，保持在衣物裡頭，不容易傳到外頭。除此之外，到了夏天，我們則是希望穿的衣服可以吸汗，衣物為什麼可以吸汗？因為它有毛細孔的現象可以將汗水從很細的纖維縫隙間吸上去。我們現在百分之八十以上的學生都有帶眼鏡，眼鏡能夠戴在你的臉上，也是力學，因為它有三個支點；一樣東西只用兩點去支撐，其實是不穩定的，力學上告訴我們，要用三個以上的支點去撐才會很穩，我們的眼鏡就是這樣，一個支點在鼻樑，另外兩個則是在耳朵上，所以共有三個支點。除此之外，現在也有所謂高科技的東西，像是利用記憶合金做成的鏡架，當你把眼鏡扭曲一定的程度，手一放開就會恢復到原來的模樣，記憶合金也常被用

在女性的調整型內衣上面，若被洗衣機洗歪之後再穿上去，記憶合金會受到體溫的影響，就又恢復到原來的形狀。衣服髒了怎麼辦？就拿到洗衣機去洗，而洗衣機的設計水要怎麼流動，才會使衣物不打結，而且使衣物在洗衣機裡面翻動才洗得比較乾淨。現在比較新型的洗衣機，裡頭還會打出超音波，讓衣物上的污垢受到震動而脫落。鞋子有什麼力學？我們看鞋子的鞋底常會有一些紋路，主要是增加摩擦力，所以走路的時候不會打滑，但不只是只有這樣，其實它還有很重要的功能，可以使腳底所受到的應力平均，你若赤腳走路踏到一顆石頭會非常痛，可是你若有穿一雙鞋子，這塊石頭去扎到鞋底時，同樣的應力事實上已經被鞋底的紋路給平均分攤掉了，所以你不會有被石頭扎到的刺痛感，保護你的腳底。現在運動鞋的花樣更多了，鞋底的設計就多防震的功能，愛迪達(adidas)甚至在球鞋裡頭裝了一個微電腦，可以隨時感測道路面的情況及身體狀況，藉此去調整鞋子的大小，也可以根據使用者活動的狀況來調整，當你打完球在場邊休息，此危電腦也會自動進入休眠省電。某一家製作衣服的運動公司，就根據人體各部位的排汗量多寡去設計衣服，那當然是高科技的產品。如果沒有了重力，那大家就只能去穿太空衣了，所有的服裝業都免談了，因為不管你穿什麼衣服，全部都會飄起來，所以只能穿太空衣把全身包裹住，綁得緊緊的。

再來講『住』，『住』其實是大家比較會想到跟力學有關的。以前在黃土高原上，有很多人住在窯洞，窯洞通常會挖成一個圓拱形，而不會挖成有稜有角的方形，跟我們的鋼筋水泥土做的房子不太一樣，要如何挖，這房子才能撐得住，這就牽涉到土壤的力學。愛斯基摩人所住的雪屋，這雪屋一樣也是做成圓拱的形狀。以房屋的結構來說，為什麼窯洞會跟一些東南亞地區的草屋以及我們的鋼筋水泥土做成的房屋會不一樣？這就跟材料有關係了，像愛斯基摩人屋子是用雪磚所疊起來的，東西用壓的也許還可以承受一定程度的力量，但若要去拉它，就會散掉。黃土高原上的土磚也是一樣，你要拉開一把泥土很容易，但手去擠壓，擠壓到某一程度之後就壓不下去了，所以像這樣的材料就是很耐壓，但不受拉，所以窯洞設計成一個圓拱的形狀，在力學裡面，圓拱形每一部分都受到的壓力，所以耐壓可以撐得起來，但你若要去拉它，是做不到的。所以像以前有一些石橋、拱橋也是用石頭堆疊起來的，間隙間只是用一些膠結的物質黏著住的，一拉就可以拉開，所以設計上一定會設計讓它受到壓力。愛斯基摩人的雪屋不只是只有用到這種結構力學而已，因為那地方非常的酷寒，所以怎麼樣把熱保持在屋內變得非常重要，他們通常會在雪屋路口設計一通道，這通道是往下挖的，住的區域比通道要高一點，門打開人一進來，

冷空氣就跟著進來，可是冷空氣是會往下掉的，所以留一通道在住宿區的下方，這樣冷空氣即使進來了也不會滯留在住宿區。一般我們土木結構的設計上，都是設計樑要多粗？柱子要多大？才可以把房子撐起來。現在力學的研究越來越進步，如果是在台灣的話，常常有很多的地震，所以房子構造裡面除了樑跟柱之外，若加上一根斜桿就會增加房子的抗震能力，像 101 的大樓就是類似這樣的結構。以前的房屋設計通常都是方方正正或對稱的形狀，但像是北京中央電視台大樓就設計成不對稱，往上看去房子是彎來彎去，造型非常奇特，據說是在模擬瀕臨大海的感覺，這對土木結構技師是非常大的一個挑戰，而倫敦有座大樓，有人戲稱較『小黃瓜』，這大樓有很多通風節能的設計，因為我們知道現在能源環保的議題越來越受到大家的重視，這棟大樓有著非常好的通風設計，熱的空氣會出來，冷空氣會進去，其中空氣對流的設計就是用到了流體力學，這大樓其實跟愛斯基摩人的雪屋概念是差不多的。房子除了外殼以外，裡頭還有很多的設備，像冷氣機用到什麼力學？機殼就不用說了，它要把空氣壓縮膨脹，膨脹之後就會吸熱，這是熱力學的；電風扇為什麼你站在前面有風，站在後面卻沒風？這是固體跟流力之間的互置。現在很多家具都號稱符合人體工學，它就是要看人坐下來的時候的形狀是長什麼樣子，然後在特別需要支撐的地方就做的較硬一點。整座大樓要有很重要的維生系統，像水、電及瓦斯。水方面，先不談大樓，要從自來水廠送水到家中要如何輸送？這之間其實有很多水利的設計，像水管要有一定的坡度讓水可以自動流…等，污水管就是這樣。電方面，在近代力學之前，力跟電是不分家的，而是在過去兩的世紀開始有了分家的情況。瓦斯方面，各位有沒有想過瓦斯桶為何是一個圓柱的形狀？而沒有人做成矩形的，矩形的多好做？只要把六片鋼片焊接在一起就好了，但是一定要做成圓柱形，因為這樣的形狀最安全，最不易產生破裂，比較沒有應力集中的現象。

接下來講『行』，交通工具就不談了，我們之所能夠在路上行走，靠的就是摩擦力跟重力，沒有重力就不會有摩擦力產生，一物體要壓在地上跟地面才會有所謂的摩擦力產生的可能，這是在中學時候就會談到的。另外就是作用力跟反作用力，人對地上施一往後的力量，而地就會給人一個往前的反作用力，故人就可以往前行動。如果說有工具呢？各位如果有騎腳踏車就會有一個經驗，在不摔車的前提下，只要騎的快就會比較穩，騎的慢要保持一直線前進是有點困難的，這個是力學，為什麼？因為在力學裡頭，有一個轉動的慣量，就是有一個東西在轉，如果沒有力量將其抓住，就會持續地轉動。騎腳踏車的時候，車輪也是一直在轉，所以有一轉動的慣量在作用，騎的越快轉動

慣量越大，這時若要將其偏向就變難，因為若要轉動慣量偏向，所需的力是比較大的，所以腳踏車騎快的時候是比較穩的。另外一些像汽車、高鐵、飛機…等這些的設計都需要用到結構力學，一堆鐵要做出一個汽車的形狀，必須要能夠承受車體跟人的重量才行，隨著時速越來越快，就會遇到空氣動力學上的問題，因為機體在行動的時候都會壓擠到空氣，會產生空氣的阻力，速度越快，空氣對機體的阻力就越大，所以在設計上就必須要能夠將空氣阻力降低，不能讓空器阻力將能量消耗掉。船也是一樣，最簡單的獨木舟為什麼會浮在水面上？這是阿基米得的浮力原理，但要設計什麼樣子的形狀才能讓船身穩定不會翻覆，這也是個力學。汽車跟火車要在路面上行走，必須要造橋鋪路、挖隧道這些都需要牽涉到是否會崩垮的問題，因為力學的研究就是研究東西在受到一力時，行為改變會是什麼樣子。一車子經過橋樑，會有力量壓在橋上面，就會產生震動及垮橋之類的問題。隧道也是一樣，隧道在挖好之後，通常是比較安全的，而在開挖的過程中，因為會把力量給擾動，所以在施工設計上，都會考量如何施工會比較安全。火車走的鐵軌，鐵軌彎彎曲曲的是已經損壞的，鐵軌為何會變形呢？是因為鐵軌在夏天時，受到一股酷熱而會熱漲冷縮，若是別的像筆，熱漲冷縮是不會有太大的影響。可是鐵軌不行，因為鐵軌是連續的，所以一旦熱脹以後，沒有地方讓它脹，所以就會歪曲，這在力學上有一特別的名詞叫『挫曲』。基本上，你讓鐵軌沒有地方伸長的話，它就會往旁邊推擠，就會造成嚴重的問題，所以在造鐵軌的時候，都會留點伸縮縫，使其有空間可以去做伸長縮短的動作。以汽車設計來說，其中牽涉到的力學非常多，像是剛才提到的氣體動力學，各位若有一點概念的話，就會知道東西在空氣裡面跑動的時候，會因為柏努力的定理，可以使飛機有一升力可以起飛，汽車可能也會有一些升力，這對汽車而言是不好的，這會使汽車變的不穩，所以以前設計的老爺車車身都很高，而現在的跑車的車體設計是越來越低，且流線越來越平滑，目的就是希望降低空氣阻力，使車身穩定。一輛汽車做出來以後，會放入一個風洞空間去測試，這是力學做研究的一個方式，有些則是經過理論的推算。除了空氣動力以外，汽車引擎中若要把空氣跟汽油混合均勻、燃燒較完全則會牽涉到很多材料上的問題。我們希望汽車可以很輕，可是要很堅固耐撞，這就是結構力學跟碰撞力學的問題，汽車在出廠之前，都先經過碰撞試驗，來評估車身經過碰撞以後，對駕駛人的影響。還有一個是所謂的聲學設計，像 BMW 的跑車跑起來的聲音跟一般房車是不一樣的，BMW 的聲音較低沉，一般房車則是希望安靜，所以聲音較小，後來我才了解，BMW 的聲音是設計出來，要別人聽到那樣的聲音，如果一輛跑車是完全無聲的，反倒沒人要買，這是人的一種心理上的感覺問題，所以那些飆車的人，有時候

會故意把消音器拿掉，讓聲音變得很大聲，所以 BMW 的聲音是經過特別設計的。為什麼聲學屬於力學的研究呢？是因為空氣中的粒子之間如何碰撞，產生波動，然後傳遞。當然汽車設計並不僅止於力學，還有一些美學、實用性跟造價。

我們再來談『健』的力學，各位看看二十年前的牙刷跟現在的不一樣，現在的牙刷柄有些會符合人體工學，會比較有彈性，可以彎曲，在刷牙時會順著牙齒的角度，才不會因為刷的太用力而使牙齒損傷，如果是以前完全直立且硬式的牙刷，就必須要由手去調整角度跟力道，這就是力學上的設計，當然，現在的電動牙刷的花樣更多。如果健康有點問題，要到醫院的時候，通常會量些什麼東西？會量心跳、體溫…血壓，常常會量這幾樣東西。心跳跟力學有什麼關係？在小學時候都玩過，在兩個火柴盒中間接一條線，在一定距離內，可以通過這樣一個簡單的裝置，聽到對方的聲音，聽診器其實也是類似，提供一個管子，這管子的作用是什麼？要讓聲音的音波保持在管內傳遞，不要讓能量跑到外面去，所以醫生才能聽得很清楚。現在高科技更厲害，還可以聽特定的頻段，如低頻、中頻、高頻，所以病人心跳的跳動，醫生可以聽得更清楚。溫度計當然就是熱漲冷縮，血壓計就有用到連通管的原理，在手臂上綁一帶子，然後醫生就綁帶子的地方開始加壓，使得那地方的壓力會越來越大，當壓縮到手臂裡頭的血管幾乎無法流動之後，再鬆開量測血壓。當在加壓時，必須要知道加了多少壓力，連通管兩邊的液面高度應該要一樣，可是如果一邊是接了血壓計，另外一邊就會變得比較高，之間的高度變化就可以得知病人的血壓。另外產前通常要做超音波檢查，這也是力學，它是將一些波打入身體，利用音波反射的原理，將胎兒的影像照射出來。

『樂』方面，從小孩子玩的吹泡泡，肥皂液有表面張力，所以可以形成一個薄膜，而且吹出來的泡泡是圓的，根據力學的理論來說，是因為表面張力將肥皂液的所有分子都拉在一起，而圓形是能夠拉出最接近的一個形狀。很多人去做運動，比方說打撞球，撞球是動力學，這在高中職學力學就會學到的，我怎麼樣打一顆球，然後讓那顆球去撞擊另外一顆球，另外一顆球又會往哪個方向跑，又怎樣利用推桿、拉桿使球繼續前進或是往回跑…等，其中摻雜了相當多的動力學。王建民，是一位最能夠用力學來鼓舞大家士氣的人，棒球在飛的時候，給它不同方式的旋轉，週遭的氣體就會讓球產生不同的行進路線。有人喜歡聽音樂，所有的樂器都跟力學有關，像大小提琴、打擊樂。以鼓來說，敲擊它以後，鼓會震動週遭的空氣，將音波傳到聽眾的耳朵，像音樂廳的設計，必須要設計的非常好，廳內不能有很大的迴音，所

以上述都跟力學有關係，卡拉 OK 那種一間一間的，還要設計隔音，不能讓聲音傳到隔壁房間。還有現在最熱門的 Wii，我是沒有玩過，不過大家應該在電視上都有看過，它是有個搖桿，隨著手的擺動操縱畫面中的遊戲，這是什麼力學？搖桿裡面也許裝了陀螺儀或叫作導航器，可以感測手部是用什麼樣的速度、角度在空間裡頭揮動，這種力學原理在過去已經用到很多，譬如飛彈的導航，以前沒有衛星導航 (GPS)，那他們怎麼做呢？他們其實是在飛彈裡面裝一個陀螺儀或是加速規，可以得知這顆飛彈的加速度有多大，由加速度可以推出速度，由速度可以推出現在的位置，飛彈走了多少距離，所以飛彈裡頭是有這樣一個類似的裝置在裡面的。

美國工程學院列舉出『20 世紀改變人類生活的 20 項創新』。在清單當中，有電氣化、汽車、飛機、自來水、電子、收音機與電視、農業機械化、電腦、電話、空調與冰箱、高速公路、航天器、網際網路、成像、家電、健康科技、石油與石化科技、雷射與光纖、核能科技及高效能材料，有的是比較直接，有的是間接，但幾乎沒有一項跟力學脫的了關係。像電腦，各位也許會覺得跟力學沒有太大的關係，但是其實是有的。譬如說電腦裡頭的 IC 板，IC 的製造要經過封裝將線路焊在板上，那裡頭就有很多熱力的問題，焊東西的時候會加熱，若沒處理好就會對板子產生破壞，所以會有很多力學的問題必須要解決。我以前有個在柏克萊大學的朋友，現在在鴻海工作，他說那時候要幫人做一個 CPU，因為一些力學的問題有一段時間沒有辦法解決並生產，直到他解決掉之後，那產品才能夠上市，所以你們不要認為電腦跟力學沒有關係。另外就是電腦的硬碟，裡頭有個碟盤在轉，光碟機也是，就有點像以前老舊式的唱片，必須要有一個讀寫頭去讀取，讀寫頭要讀取資料必須離碟片很近且速度要很快，距離要近卻又不能碰到碟片，而碟片在高速旋轉過程中是會震動的，你要讀寫頭能夠懸浮在碟片上面又不能碰到碟片，這是牽扯到很複雜的力學問題。

以最近而言，究竟應用力學有哪一些新的研究跟潮流？就我們看起來，比較大的有三方面，一個是『仿生』，就是向自然界來學習，為什麼鳥類跟昆蟲的飛行可以比飛機還要來的有效率，這其中有什麼奧妙在裡頭，我們是否可以仿照牠們來製作更有效率的飛行器之類的。一個就是『微小化』，我們現在所有的東西都越來越輕薄化，所以要如何讓東西做得更小且功能齊全，且不易損壞等。另外一個就是『跨領域』，就是很多東西不單單只侷限在力學，往往要跨越很多的其他的領域。以仿生來說，大家都知道『蓮花效應』是出汙泥而不染，水珠在葉片上是圓滾滾的，在電子顯微鏡上照出來的表面卻是粗糙的，另外像水黽可以水上面行走不會沉下去，為什麼呢？用顯微鏡放

大來看，會發現水黽的腳上有類似蓮花的表面結構。如果有一表面完全是平滑的，水滴上去會攤成平平的一片。如果這表面不是平滑，而是有一點凹凸不平，凹凸的高度大約是 5 到 10 微米，一微米是一毫米的千分之一，如果表面有這些微米顆粒存在，水滴就會稍微變得圓凸，蓮花上面除了有這些 5 到 10 微米的顆粒之外，上面還有一些奈米級的顆粒存在，使水滴變得更圓。清華大學的團隊就設計一同心圓的結構，讓水珠不必加任何的動力，就可以自行跑到中心使中心越來越密。而關於鳥飛魚游的道理，他們就做了一個槽，然後用兩部攝影機去拍攝魚游動的情況，拍攝出來以後就去做了一些分析，發現於有些構造是跟我們的船是不一樣的，魚鰭柔軟的，可以順著水勢變換，像血鸚鵡魚在游動的時候，後面會產生很多的小漩渦。原本大家認為只有蜂鳥才能在空中懸停，其實綠繡眼也是。他們就嘗試各種方法，想找出一個理論去解釋那些行為現象，也做了一些仿生的機構。奈米的另外一個趨勢是越來越微小化，各位應該最近都常聽到人講奈米科技，我列舉幾個較具代表性的，像是螞蟻通常是幾個毫米的大小，我們的頭髮則是 50 到 100 個微米，大約要 20 根左右才會有 1mm 的厚度，紅血球就更小，約只有 7 到 8 個微米。現在人作的一些微機構，也差不多是 10 到 100 個微米，且越做越小，但越做越小之後，問題就來了，若只有 1000 個微米那麼小的東西，要如何去作實驗？所以就有所謂像『奈米壓印』的量測技術出現，嘗試用理論去計算微米大小的東西受壓之後的變化情形，東西受壓之後，內部的原子會產生錯動。在以前，當我們在談論一東西受力以後會產生多大的變形的時候，做法很簡單，只要把東西拿來拉一拉，然後看施加多少力量產生多大的伸長量這樣子就好了，到了微米尺寸的大小時，東西內部只有幾百顆或幾千顆的原子寬度，原本的量測方法是行不通的，所以開始有了一些理論的計算，用單顆原子的行為來做計算。在 2000 年的時候，每一個立方的邊長才 0.3 微米的大小就要去計算約十億顆的原子，在那時最快的電腦都有點算不動了，他們希望到了 2010 年可以計算的數量能比當時多七千倍，這也是目前蠻大的一個困難。康乃爾大學在 1997 年做了一個奈米吉他，這個奈米吉他總共才十幾個微米，比人的頭髮長度還要細好幾倍，到了 2005 年又作出了另外一個吉他，原本的吉他只是做個樣子，而這個吉他是可彈的，但是吉他彈出來的聲頻很高，一般人是聽不到的，所以他們還把頻率降低然後撥出來給人看，要怎麼撥動上面的弦呢？他們是用雷射光去撥動的。我們剛剛提到利用聲筒將聲波的傳遞，在微米大小裡頭，有一很特殊的結構，內部挖了一些小空洞或是埋了一些不同的物質，只有在要傳遞通道上是沒有埋的，當我打一個波進去，就可以沿著欲傳遞的方向行走。表面聲波這種東西，在手機裡面用的非常多。另外無動力微流道混合器，

是用在印表機裡面，因為染料只有三個顏色，利用這裝置將顏色混合起來，這裝置底下是一個疏水層，水在上面會像蓮花表面那樣是圓滾滾的，上面則是親水層，水在上面會成平平的一片，上面這層做成螺旋流道的形狀，染料 A 流出來以後，會等到染料 B 出來，才會順著這些設計過的流道流下去。為了讓染料混合的更好，還在底層挖了一個凹槽，液體就會彎曲地流動，若沒有挖一些小凹槽，則兩個染料不會很完全地混合。講到跨領域，有一個很受重視的領域就是『生醫』，過去我們要做生醫檢測，各位應該都有體檢的經驗，你一到醫院去往往就是先被三支的針筒來抽血，原因就是過去檢測需要很大的量，可是現在很多人努力要作的，是可以利用微小的量來做檢測就好，希望又快速、又便宜甚至讓你不需要到醫院裡面去做檢測，所以就出現讓你可以隨身攜帶的微型生醫檢測系統，裡頭有一片懸臂，目前是設計成三角形的，在懸臂上會先佈上了一層抗原、抗體之類的東西。佈好以後，利用電腦發出訊號，讓系統將液體打入，懸臂偵測到東西以後就會彎曲，再用雷射光去觀察彎曲了多少，就可以知道我們要檢測的物質是否存在。那個原理我們現在叫做『奈米生物力學』，我們身體裡面，抗原跟抗體是配對的，一個抗原只會跟某一種抗體結合，當血液流過懸臂上面，血液裡頭若有抗原的話，就會跟懸臂上的抗體接合，接合配對之後懸臂就會向下彎曲，至於為什麼會向下彎，還沒有一個很好的理論來解釋，我剛剛提到跨領域，因為這東西是跟生物有關又跟力學有關，分子之間怎麼樣作用會使懸臂彎曲，我先聲明不是重量，因為懸臂有時候會往上翹，有時候是往下彎。另外，要將血液到檢測系統裡頭，其中還牽涉到很多的裝置，像是一種無閥門的微幫浦，流動的通道只有 0.5mm 的寬度，要相自來水管作一個閥門沒有那麼簡單，所以他們就在流道裡頭加了一塊擋板，由螢幕上就可以看到液體一直往同樣一邊流。除此之外，有時候在生醫裡面要作混合的動作，因為東西很小不太能夠利用一些機構裝置，所以就利用一些流體力學的設計，做一些彎彎曲曲的形狀讓其可以達成混合的目的，有時候是要分離，像在做檢驗的時候，常常是要血液跟血漿給分離，有時候會再留到裡面加上一些電極，控制細胞移動。整個來說，他們所希望做到的是一個很微型的檢驗系統。

所以我只是很快地跟各位分享一下現在應用力學裡面，所作的一些研究到底是什麼。我們講了很多生活中的例子，告訴我們力學在生活中是無所不在的，所以我覺得這是用來做科普教育的一個學科。我還記得我小孩還小的時候，常會要一起動動腦，這東西會用到什麼力學或是什麼原理，要他解釋表達出來。我們剛才也提到了應用力學的新潮流，我在這地方加上應用力學是因為在古典力學時代，有很多東

西已經分流，在 17、18 世紀那時候的理論也發展的差不多了，所以也不見得有什麼新的理論，重點是在應用。還記得我演講是分成三節，第一個我說力學是什麼，然後做了一個歷史回顧，最後我再問各位，你們今天花了一個多鐘頭坐在這裡，力學到底是什麼？不知道是否各位有了一些概念。最後這句我要引用一位名漫畫家蔡志忠先生有一次在談科普教育的時候，他腦筋非常靈活，他就問了我們一個很有趣的問題，他知道我們都是一些應力所的老師，他問說：『功課不好怎麼辦？』，答案是『應『用力』學』。我進到應力所已經有二十年了，在這段期間，我剛才提到，也許力學上的一些原理還是差不多，可是仿生、微小化、跨領域…等新潮流，它跨的領域不只是剛講的生醫領域，它其實有很多以前被歸類為物理的電磁之類的，又全部都回來了，所以在過去我的感覺就是，在我當應力所所長的期間，因為我要了解我們同事到底在做些什麼，常常要做簡報之類的工作，感覺真的就是這樣，必須要很用力的學習，我才能夠了解力學是什麼，今天我就介紹到這地方，希望能夠給各位帶來一些思考上的刺激，平常我們週遭有這麼多的東西，我們有沒有去想過其中的原理，希望對各有一些幫助，謝謝。

Q1：所長您好，您剛剛有講到非破壞性檢測，我想知道在看房子的時候，如何以非破壞性檢測來看出這房子結構是否有問題？

A：在買房子時，要怎樣用非破壞性檢測，其實我自己是做非破壞性檢測的，不過買房子我沒有用上。通常我們非破壞性檢測，第一個要作的是目測，那是最直接了當的一個檢測的方式，包括這房子是否有不正常的變形？另外就是在牆壁上面是否有一些裂縫？裂縫如果是發生在窗框附近是還好，對我們一般的房子來說，樑跟柱是主要的抵抗力量元件，所以在這些地方你看到有一些破壞的情形產生的話，就必須小心。當然還可以利用儀器來檢測，但那些都是要有專業的廠商，因為非破壞性檢測其實有點像是醫生在看病人一樣，檢測的人員對這些東西要有足夠的經驗跟知識。譬如醫生聽診，同樣拿聽診器給我們，我們也都聽了，可是沒有用，所以外面有一些檢測公司會提供服務，譬如說他用超音波來掃描，或者是在上面像我們剛剛講到選西瓜那樣，在上面做一些實驗，就可以檢查內部是否有裂縫等問題產生。在更重要的工程上，就會用 X 光，那就有點像人去照 X 光一樣，去探查內部是否有問題。所以方法很多，我剛才講了很多物理的原理，力量、電、磁、熱都可以用來做非破壞性檢測。以熱來說，一個板子假設內

部有一個裂縫看不到，這時就用一個熱源去照射，裂縫在板子裡頭其實像是有一層空氣，空氣是熱的不良導體，所以熱源照射過去時，就不易照射過去，這時候用紅外線攝影機去照溫度的分布，有一個地方溫度會特別高，那地方可能就是有問題的。不過如果是一般人的話，大概就只能用目測的方式，因為從非破壞性檢測到房屋是否安全，其實中間還需要有結構工程師幫忙做計算。

Q2：劉所長您好，我是中山大學的學生，我想請問的是，您覺得有非破壞性檢測這種東西嗎？因為從理論上來說，例如測不準原理，一般在對東西做檢測，就一定會對東西造成影響，不管你是用光學或者是電磁性檢測，都會對東西造成影響，就拿拍西瓜來說，在拍擊的過程中，就已經對西瓜造成了一些影響，這是我的問題，謝謝。

A：你說測不準原理，那個其實是到次原子的層次了。如果說加上一些電磁波也好，應力波也好，熱也好，是否會對東西本身產生了擾動？那當然是會讓它產生擾動，而我們現在想要知道的是，它的擾動過程裡，會造成什麼樣的影響。非破壞檢測固然可以做，問題很簡單，現在完好的東西你去照，它也許會互相有一些互置，可是你用一個完好的東西去照，跟用一個裡面有問題的東西去照，照出來就是不一樣，所以你其實也提到一個重點，我們在做非破壞檢測的時候，常常會希望有一個基準來做比較。譬如有一塊板子，我在做好之後照一次，然後用了一陣子再照一次，你會發覺跟原來並不太一樣。非破壞性檢測的原理就是東西照出來不一樣，它就是不一樣。

Q3：劉教授您好，先謝謝妳為了做這些 ppt 蒐集了很多的圖片，讓我們比較容易懂。既然我們都知道鐵軌為了防止它熱漲冷縮遭成破壞，所以會留縫隙，那為什麼還會照得到鐵軌已經彎曲的照片？

A：你有沒有注意到那是黑白的，是很久以前的。其實你在設計的時候，有時候沒有辦法考慮到未來會發生什麼樣子的問題，所以結構物之所以會破壞，是因為發生了一些無法預期的狀況。現在的設計有的是考慮蠻長遠的，但是會用一些方法來幫助結構不要產生挫曲的行為，就會在側面固定的更多，硬將它壓住。所以每次有一工程的破壞案例發生，就會帶出很多後續的研究出來，然後在設計的規範上，就會想辦法再去加強，讓類似情形不要再發生。像以前也有一個蠻有名的大吊橋，在設計的時候，好像都沒有問

題，後來就經過一次很強的風吹過之後，吊橋就整個垮了，原因就是吊橋本身剛好跟風形成共振，越振越大就垮掉了。所以後來在設計上，就必須考量結構跟風力之間的互置。