



中華民國力學學會第157期會訊

- 一、【專題報導】馬劍清終身特聘教授口述歷史訪談
國立臺灣大學機械工程學系 黃育熙 教授
- 二、【力學推廣活動系列報導】科普營活動：蛋白質的力學之美
國立臺灣大學應用力學研究所 周佳靚 副教授
國立臺灣大學土木工程學系 張書璋 教授
國立成功大學機械工程學系 張怡玲 教授
中原大學土木工程學系 黃仲偉 教授
- 三、攜手舉辦跨國學術論壇：韓國延世大學機械系參訪臺大機械系
國立臺灣大學機械工程學系 莊嘉揚 特聘教授
- 四、國際太空站零重力實驗提案比賽榮獲台灣區冠軍 & 日本複選榮獲
最具潛力提案
國立臺灣大學機械工程學系 蔣雅郁 副教授
國立臺灣大學機械工程學系 吳詠翔 博士生

【近期訊息】

- ★力學學會獎項申請：2025會士遴選、虞兆中力學獎章、孫方鐸教授力學獎章、博士學位論文獎、服務獎、年輕力學學者獎：
2025年8月31日截止
- ★2025中華民國力學學會年會暨第49屆全國力學會議/
第4屆國際力學會議將於11月21-22日在國立聯合大學舉辦

馬劍清終身特聘教授口述歷史訪談

黃育熙教授 國立臺灣大學機械工程學系

2024年7月，我們痛失了學術界的典範：國立臺灣大學機械工程學系的馬劍清終身特聘教授，所幸2023年力學學會推廣活動補助了「力學大師訪談計畫」，針對敝人恩師馬教授的學思歷程以及對未來的發展與想像進行了影音記錄；另在恩師的大力推動與補助下，2024年底本人與博物館學專長的內人凱蘭，也是在機械系服務20餘年任馬教授秘書通力策展規劃下，成功使臺大機械系的起家厝——舊機械館華麗轉身，成為臺大機械系經營的「臺灣大學工學博物館」順利開展，得以使恩師醉心的力學與機械領域有個面對大眾社會推廣的實地，也讓馬教授的身影典範流芳千古。

本文摘要馬教授2024年1月受訪的紀錄，讓無法完整收看影音內容的學術同儕以及有志學習學術典範的大眾，有機會透過文章的記載瞭解力學大師的發展歷程與核心理念。採訪進行時同與另一位力學大師吳文方教授共計超過3小時的訪談紀錄，馬教授的部分剪輯成約50餘分鐘並公開於網路平台 (<https://www.facebook.com/share/v/563HCqFTgVWgPiz9/>)，致力於推廣力學與研究領域，吳教授的訪談影音與摘要也相當精采，留待下次報導分享。

馬教授先提及自己的出生年月日與蔡英文總統相同，並與管中閔校長在建中是同校同學，當初建中的25至26個班級中，僅有3-4間文組班級，5班左右的醫農，顯見當年工業發展的需求與人才投報工業興國的背景。馬老師出國就讀研究所的印象，第一次搭飛機就到人身地不熟的地方，還要轉火車才到要就讀的布朗大學所在的城市，一切都要自主，不僅在生活上，課業的部分除了自己得相當用功之外，資格考還用壓力非常大的口試進行考核，除了主修的固體力學，還有材料科學與應用數學兩項副科，所以不僅課要修得好，研究也要好，更要回答得好！回顧到後來服務于臺大機械的資格考變革，從原先考10門科目，包含7門大學基礎課程，到後來改為3門（彈性力學、波動力學、塑性力學，筆者註：本人當初也是考此三科，的確壓力比現今制度來得大），直到如今彈性力學未更改之外，其他兩門都改為較基礎且符合時代需求的振動學與有限元素法，減輕了師生們的壓力。

馬教授也分享了布朗大學的課程讓他印象最深的是教應用數學的老煙槍教授，刁著煙教彈性力學，而且當初修課許多留學生都面臨到沒有講義或教科書，直接在黑板上書寫教授們目前的研究內容，很容易聽不懂就非常需要靠自己找資料。所以後來馬教授自己也教彈性力學，可應用許多輔助教材與教具，跟當時有許多不同。而影響馬教授最深遠的人物，提出三位知名人物，第一位為老師出國前獲得三所大學獎學金，請教葉超雄教授得知各校特色，葉教授建議馬教授前往布朗大學深造，使得由原本想走土木領域改為固體力學而走向機械領域，影響了日後的個人發展。第二位是馬教授在國外的指導教授，年紀僅比馬教授大十多歲，當年甫40餘歲、又高又帥的德裔教授L. B. Freund，馬教授指出當年研究的趨勢主要在破壞力學、複合材料、數值計算，而Freund教授專長在動力破壞且神乎其技的不用程式，用一隻筆、一張紙就可以解題！第三位則是在馬老師任教後發展實驗技術給予指導的紐約大學姜復本教授，不吝指導實驗方法給予理論出身的馬教授。

就機械系現今的發展，馬老師也提出建言給予未來學子。祂認為機械比當紅的電機更具跨領域的優勢，因為電機領域多半沒有接觸機械的研究興趣，反而力學背景是機械最大的優勢，尤其若已具備力學知識可輕易結合電機、光電、資工，特別在需要理論與實驗相互驗證的科學研究上。馬教授就以親身長年發展的電子斑點干涉術、光纖光柵感測器、數位影像相關法為例，證明祂基於力學基礎跨領域的學術成就。研究上馬教授表示最有成就感的領域是基於波動力學，進行繞射、反射與折射的研究成果，但若有更多的研究時間，馬教授也希望可以再多做到散射與邊界元素法，那就更心滿意足了！祂認為學術上最大的挑戰並且致力於克服之處，是從數學理論走向實驗需要極為精準的比較結果的正確性，從指導學生們需由資料結構中精進量測系統，用簡單的設備就可以處理動態、全場、跨尺度且跨領域的工程問題。因此馬教授於上述提及的三項主要開發的實驗技術，在祂的學術生涯後期與工研院及金屬中心多有推廣，任教於大學的畢業博士也帶著這些技術，不論畢業學生的成就或者學術落實的技術開支散葉，也是馬教授學術生涯感到相當歡愉的成果。



馬劍清終身特聘教授口述歷史訪談

黃育熙教授 國立臺灣大學機械工程學系

學生與教學方式在大學場域的轉變，由馬教授39年的教學生涯（民國74年至114年）觀察到，早期學生人數少但數理能力好，可以進行相當深入的數學理論研究主題，現在學生的能力與興趣相較於過去有很大的差異，但馬教授的指導方式都給予學生一個表現的空間與平臺，讓學生寫完論文學成後，能由一張白紙到繳出像樣的成績。而老師的教學於後期主要教研究所課程，如線性彈性力學與波動力學等，屬於學理較深入的課程內容。教學心態上由早期戒慎惶恐到後來駕輕就熟，教學方法也由板書改為幻燈投影片，一直到買不到投影片與投影機了，也開始使用PPT了，見證了時代的變革。而面對快速變對時代，馬教授給予學生關鍵態度主要建議以下幾點方針來因應：

1. 自主學習
2. 自動自發
3. 團隊合作
4. 抓重點的核心問題解決能力
5. 循序漸進

以上幾點都紮實作到，前後的問題就可以解決，至少知道哪些問題已經處理過，可以再排除還沒處理的問題，就可以形成良性循環。這也呼應到馬教授生涯當中最懷念的時光：動手做實驗！老師親自體驗了從零開始、從無到有，並且建立與博士班與碩士班一起精進與學習，共同與學生處理分析資料，根據互相的經驗交流更快速容易的處理解決問題，才能順利發展理論相互配合的實驗技術。

對於大學教授們的生涯發展，溫暖敦厚的馬教授給予年輕人許多鼓勵與建言，祂認為現在老師們的薪資普遍偏低，尤其若是在臺北有家庭、有小孩的狀況更是辛苦，新任教授又面對升等與爭取經費的壓力，希望大家「盡力而為、均衡發展」，必須思考未來有30年時光，所以不論學術、健康、家庭，都要達到生活的平衡才能走的長遠。馬教授也點出近期臺大機械的女性教師比例在全國工程領域數一數二，顯示近期工程科學領域的環境對於女性發展頗為友善，臺大機械也出了全國第一位女性的機械系主任，女性學生逐年提升，每年大約至少10%以上的女性進入臺大機械就讀，女性教師加入對女性學生發展與人才投入必然具有幫助。

祂也強調，女性教師的加入對於整個系的發展是健康且可提供多元的想法，女性較具有強的協調能力且各自具有獨特的專長，整個系都會更加均衡，一定要給予支持，祂也期盼看到女性教師能在臺大機械甚至整個工程領域可以快樂發展！

對於將近服務40年的臺大機械，馬教授從早期至現今的觀察，就算祂進入臺大時（民國74年）已有五組的架構，但當初每組僅有4-5位老師，全系共30多位，一直到後來國家延攬人才增加到50多位。雖然教學課程對於各組別負擔已具餘裕，但對個人的研究方向來說，馬教授認為現今已進入跨領域的整合的時代，為因應時代的發展每位老師也許可跨2至3組專長進行研究。馬教授認為臺大機械的卓越之處，在於因應巨大的社會變遷已有很大幅度的課程調整，學生具有很大的選擇性可發展自己想要的學習方向，臺大的學院多且領域廣，對學生發展具有豐富的未來性。馬教授對老師們觀察對組織發展的綜合建言，認為要進行卓越的研究先面臨到的會是經費問題，而主要研究經費來源的國科會要有新穎的研究主題才能獲得支持，建議新進老師要由個人專長延伸至周邊研究進行結合，較能穩扎穩打的擴大領域進行先進研究。另一方面，祂覺得臺大機械老師可多考慮組成團隊爭取經費，例如臺大的校方的核心研究群計畫就是建立團隊研究主題很好的例子，尤其現在的研究方向都要做得更快、更好、更精密，但對研究經費卻給予不甚充足的狀況下，對新進人員的確是相當大的考驗。

馬教授談到臺大機械的平和環境與文化，特別提及本系的氣氛一直非常良好，其他學校都有感覺，舉例過去本系的製造組呂秀雄教授非常提攜後進，也都曾組團隊爭取經費，退休時也提早清空實驗室，是值得效仿的典範。系上也都很尊重各組的聘任需求，大家共同支持所以都得以聘任到優秀的老師，系上對於年輕老師的升等都很鼓勵與幫忙。祂特別強調臺大機械沒有山頭、沒有大老，年輕老師不需選邊與競爭，就不會有摩擦，系上具有多給年輕老師經費資源的共識，臺大的院與校也是這樣的政策，可以感受到馬教授談到終身服務的臺大，相當光榮。



【專題報導】

馬劍清終身特聘教授口述歷史訪談

而對於馬教授大力推動被北市文化局指定為歷史建物的臺大機械舊館轉型為工學博物館最終提出了許多期許，祂提及舊機館的特殊經歷且位於校中心的精華地帶，整修後保留原貌又煥然一新，祂形容像是一顆明珠，認為作為博物館相當具有特色應該可相當吸引人。臺大機械系由2023年暑假開始要將歷史建物博物館化，慢慢規劃經費建置人力，當下已開始往好的方向發展，未來希望大家給予大力支持。近期（2024年初）博物館開始宣傳策劃已受各方關注頗受矚目，尤其系友過往在這個地點發生的人事物所產生的回憶，讓他們對於工學博物館的發展充滿期待，現在這個館舍與組織的規劃、展示與經費都慢慢上軌道，之後應會扮演重要角色，直至工博館做出名聲將會成為臺大的一個重要的招牌場所，這個嶄新的創舉未來應會引起臺大甚至全國的注意。

案編後記：恩師馬劍清教授在國際的崇高學術地位毋須多言，從訪談內容中，大眾應也可感受到馬教授於學術團體與機構組織扮演著溫柔且堅定的力量。關於馬教授學術頂尖時期的訪談，另可參考國立臺灣大學機械系電子報第11卷第2期(2018年6月30日)的「<焦點人物>馬劍清老師 溫和堅定始終如一」一文，具有馬教授求學至臺大服務的歷程記載。而在恩師人生最終的時光前，工博館於祂的支持下提供經費與行政資源，得以於2024年11月14日開館展開第一場特展頗受好評，恩師雖無法親眼見證該館的蓬勃與廣受矚目，也的確如祂的預言與期許：成為了大眾關注的對象，截至開館半年不到已有萬餘人次的參訪，並成為各級學校團體、系友與校內外社團機構、國際外賓、業界單位密集登記導覽的重點機構，成為了馬教授口中的招牌場所。

黃育熙教授 國立臺灣大學機械工程學系



馬劍清教授常用於公開領域的個人照(左)
機械系搬遷前系辦外照片(右)



2023年12月26日與馬教授一同溫馨歡慶老師的同期摯友趙振綱教授(右二)，即將共度最後數年的退休時光，右一為徐慶琪教授



馬劍清教授訪問影片談及工學博物館發展擷圖

科普營活動：蛋白質的力學之美

周佳靚 副教授 國立臺灣大學應用力學研究所
張書瑋 教授 國立臺灣大學土木工程學系
張怡玲 教授 國立成功大學機械工程學系
黃仲偉 教授 中原大學土木工程學系

本學會為了推廣力學的普及，延續去年的花蓮女中 2023 科普營活動，2024年亦於 7 月由臺灣大學應用力學研究所、臺灣大學土木工程學系、中原大學土木工程學系、成功大學機械工程學系、中華民國力學學會、台灣生物力學學會、三聯科技教育基金會共同主辦，以及高雄市立中山高中林香吟校長、教務處郭崑皇主任與美術江育賢老師的協助之下，由周佳靚老師、張書瑋老師及黃仲偉老師規劃了本次為期兩天半的科普營隊，讓參與的中山高中同學們透過體驗各種結合虛實模擬及遊戲的活動，在輕鬆愉快的氛圍當中，由主講老師深入淺出地帶領同學們從零開始一點一點建立力學與空間概念應用於微觀生物材料，並啟發同學們對生物材料蛋白質力學性質的初步認識。

三天的活動過程裡，台大應力所的周佳靚老師先以生活中的例子向同學們介紹蛋白質，再從巨觀講到微觀，解釋蛋白質的組成和結構，以及不同蛋白質的結構如何造就了它們獨特的功能，藉此引領同學們進入微觀力學的世界，探索生命與力學的奧秘。有了一些蛋白質結構序列的概念之後，開始當天的第一個課程活動：蛋白質桌遊。這套由張書瑋老師、周佳靚老師團隊以及創創文化科技公司共同開發的教育桌遊，旨在透過遊戲競爭的方式讓玩家熟悉胺基酸序列的建構，以及序列對結構力學穩定和蛋白質特性的影響。遊戲過程很需要動腦筋思考怎樣的胺基酸排列能夠達到最穩定的力學結構，讓不少同學傷透腦筋，但逐漸熟悉上手之後也大呼過癮。燒腦的桌遊結束之後登場的活動是虛擬實境 (Virtual Reality, VR)，我們利用匹茲堡大學開發的一款蛋白質虛擬實境教材 ProteinVR，可以讓使用者透過虛擬實境的頭戴裝置在 VR 環境中觀察任何蛋白質結構。而戴上頭戴裝置之後，剛剛在課程和桌遊中認識的蛋白質結構，如 COVID-19 病毒的棘蛋白，就可以在同學們的眼前以 3D 立體的方式呈現，可以透過走動或使用手中的控制器，從不同的角度觀察這個蛋白質模型的立體結構。下午的活動以台大土木系張書瑋老師介紹的蛋白質計算模擬揭開序幕。活動中老師介紹了電腦模擬與計算力學的概念，以及科學研究如何利用電腦模擬去瞭解蛋白質分子行為。同學們在電腦教室中使用 NAMD (Nanoscale Molecular Dynamics) 及亞佛加厥 (Avogadro，一款可以建立及編輯分子模型的自由軟體)，跟著老師的示範一同操作，一步步建立上午在蛋白質桌遊中自己創造的胺基酸序列，讓同學們不僅透過桌遊認識抽象的知識概念，還能實際看到胺基酸序列長什麼模樣。活動中老師也介紹了蛋白質分子的力學拉伸模擬，讓同學們感受到微觀世界中分子結構在受到力學刺激時的變化。



周佳靚老師替活動開場並介紹蛋白質



課程活動前中山高中校長致贈紀念品



助教說明蛋白質桌遊規則



同學們透過頭戴裝置進行蛋白質的VR體驗

第二天的活動由中山高中的江育賢老師帶領大家暫時拋開邏輯思考，進入藝術創作的世界。同學們已經在先前的各項活動中認識到蛋白質分子的一些形象、特性、結構、力學以及蛋白質與人生活的連結，在這個美術創作的活動中，老師引導同學們發揮想像力及創意，以小組為單位進行團體創作，把心中對蛋白質的感受透過故事版進行腦力激盪，創作出一個關於蛋白質的故事，並各自完成圖畫接力說故事。首先展示了各種創作的概念及發想，江老師幫同學們回顧前一天介紹的不同蛋白質型態及功能，以及展示其他蛋白質主題的美術創作，並在最後加入故事三要素：角色、劇情、場景，引導同學們說出屬於自己的蛋白質故事。每組的同學們都充分用時間完成了作品，把這兩天接觸到的、學習到的、對蛋白質的想法改編成故事畫下來。在有限的創作時間內，同學們都充分發揮豐富的創造力完成作品。午休過後，由成大機械系張怡玲老師帶領同學們進行 Arduino 程式實作，讓同學們透過動手組裝 Arduino 板、LED 發光二極體、電阻、蜂鳴器及麵包板等電子元件，以及自己編寫程式來控制元件的運作，可以讓 LED 產生紅綠燈的效果，並讓蜂鳴器演奏出編寫的旋律。由於此課程需要運用電路連接的知識以及程式編寫的能力，對於部分不熟悉的同學而言顯得有些難度。儘管如此，在老師及助教的協助之下仍能夠一一完成目標，最後同學們也都在寫歌玩得不亦樂乎。



助教協助指導同學操作模擬軟體



助教進行軟體操作演示



美術江育賢老師引導同學進行蛋白質故事創作



同學們為團體創作進行小組討論

第三天一早進行了空拍機的飛行體驗。中原大學土木系黃仲偉老師向同學們介紹了無人飛行器的發展演進、應用及重要性，隨後讓同學們分組實際體驗操作迷你空拍機。所使用的空拍機只要與手機連線即可透過手機進行操控，並且可以直接從手機畫面看到空拍機的拍攝畫面，使用上簡單直觀、容易上手，但需要一些練習適應。在老師和助教的協助下，同學們在中山高中操場輪流練習操控空拍機，執行起飛、飛行、巡航、翻滾、降落等操作，上手比較快的同學也嘗試使用空拍機拍照錄影的功能實際拍攝一段飛行影片。

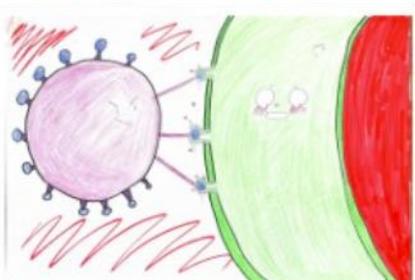
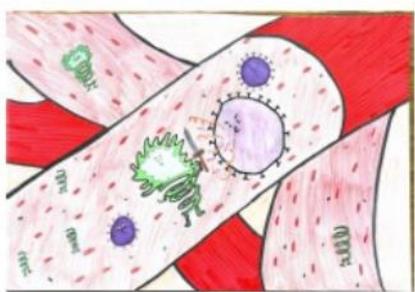
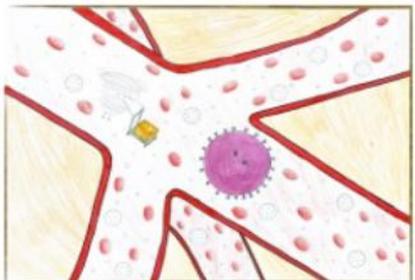
活動尾聲進行了美術創作的頒獎活動以及活動問卷填寫。同學們給予了相當肯定的回饋以及寶貴的建議。我們也持續累積經驗，期許未來若有機會再次舉辦類似的營隊活動能帶給同學們更多收穫。



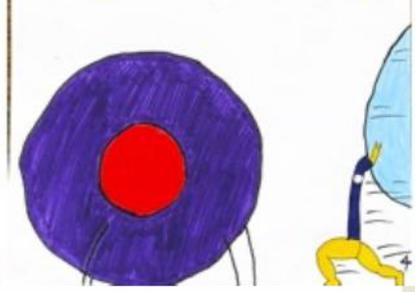
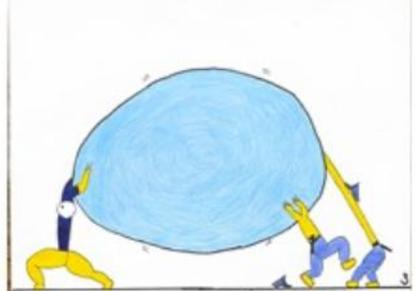
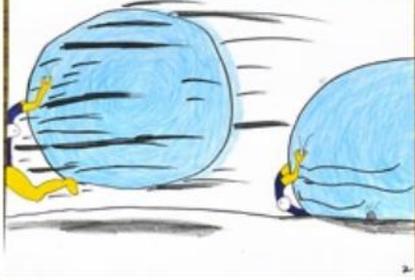
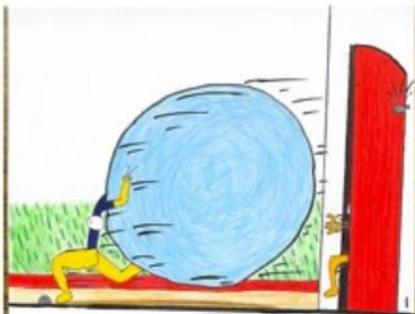
黃仲偉老師介紹無人機種類及功能



同學們使用手機 app 在操場體驗空拍機飛行



團體創作優勝(謝豫璿、羅曼妮、蔡宜紋、宋芷瑩)



團體創作優勝(曾品翰、莊宇哲)



團體創作優勝(莊勝荃、胡旭愷、呂佳翰、傅科蒲、蘇宏洋)

攜手舉辦跨國學術論壇： 韓國延世大學機械系 參訪臺大機械系

莊嘉揚 特聘教授 國立臺灣大學機械工程學系



中華民國113年1月16日，韓國延世大學（Yonsei University）機械系主任 Woochul Kim 教授率領10位教授來訪臺大機械系，於全新落成的系館舉辦雙邊學術論壇，促進學術交流並為未來深化合作奠定基礎。此次來訪教授人數占延世機械系全系三分之一，充分展現對交流的重視與期待。

延世大學創立於1885年，是韓國歷史最悠久、最具聲望的大學之一，在2025年《QS亞洲大學排名》中連續兩年位居韓國第一、亞洲第九。Woochul Kim 教授表示，臺大機械系享有極高國際學術聲譽，研究領域高度契合，特別趁部分教授參加高雄IEEE MEMS研討會之際，組團進行此次深度訪問。

論壇由工學院江茂雄院長致詞揭幕，江院長強調國際合作對推動創新研究的重要性，期待雙方能建立長遠夥伴關係。兩校教授輪流簡報研究特色與成果，並就技術挑戰與未來發展展開熱烈討論。

莊嘉揚主任也分享，來訪教授中有三位，包括現任主任 Woochul Kim 及前任主任 Jongbaeg Kim，都是他在柏克萊攻讀博士期間的老友，能重逢並共同推動合作別具意義。活動最後，雙方師長共進晚宴，在輕鬆愉快的氛圍中進一步交流，為本次跨國合作論壇畫下圓滿句點。



圖一：國立台灣大學工學院江茂雄院長與韓國延世大學機械系主任 Woochul Kim 教授互贈禮物



圖二：本次雙邊學術論壇於機械館繡山廳舉行



圖三：臺大機械系系主任莊嘉揚教授與延世大學機械系主任 Woochul Kim



圖四：雙邊論壇圓滿結束合影



國際太空站零重力實驗提案比賽 榮獲台灣區冠軍 & 日本複選榮獲 最具潛力提案榮獲冠軍

蔣雅郁 副教授 國立臺灣大學機械工程學系
吳詠翔 博士生 國立臺灣大學機械工程學系



前言

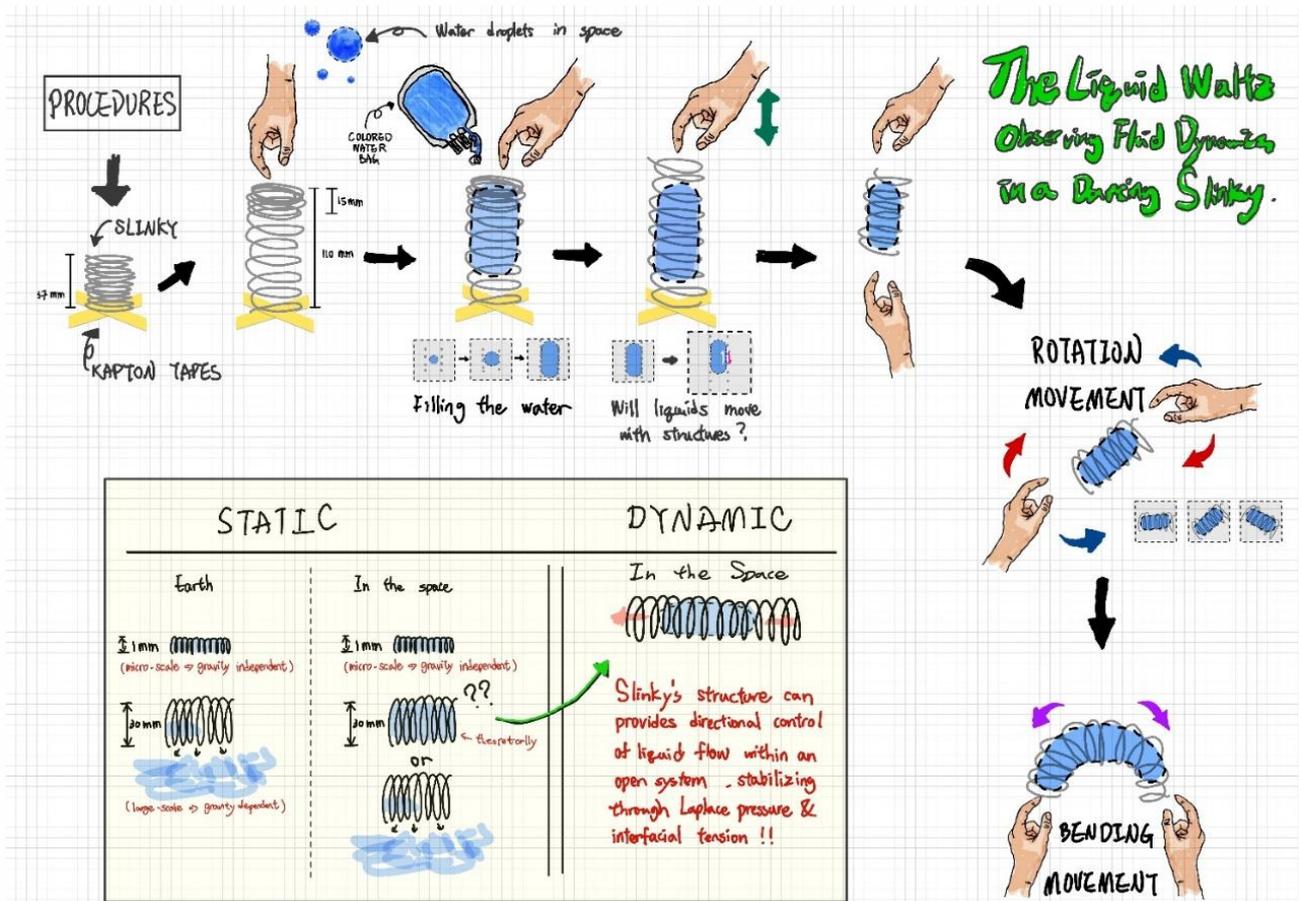
在探索宇宙的進程中，微重力環境對於相關的科學研究來說，是個難以在地球上模擬的獨特條件，而國際太空站 (ISS) 作為一個能提供這種環境的太空實驗平台，吸引了全球研究人員針對物理、化學、生物與工程領域進行實驗。然而，對於台灣學術界來說，要想在 ISS 上進行實驗，依舊是件看似遙不可及的事；Asian Try Zero-G 競賽正是在這樣的情況下，提供了青少年世代可以參與太空科學與工程設計的機會，使學生能夠有機會以實驗驗證創意構想。

Asian Try Zero-G

Asian Try Zero-G (ATZG) 是由日本宇宙航空研究開發機構 (JAXA) 主辦，並透過亞太區域太空組織論壇 (APRSAF) 協同推動的國際學生競賽。該活動自 2011 年起舉辦，每年邀請亞太地區各會員國學生，設計可於國際太空站上實行的零重力實驗，藉此鼓勵年輕世代以實作方式學習微重力環境下的基礎科學與工程現象。參賽成員需向各國窗口提交一份英文實驗提案書，詳細說明實驗動機、預期科學原理、裝置設計與操作流程，並於初賽中公開口頭報告。

贏得初賽前三名的隊伍，其提案將由各國彙整、集中送至 JAXA，並由日本籍太空人與審查委員會從中選出適合執行的實驗。屆時，雀屏中選的團隊須充分與 JAXA 溝通，並在該年底親自前往筑波的太空中心，與太空人連線，實際在 ISS 上執行提出的構想。隨著太空熱 (Space Fever)，近年參與國家除了日本外，台灣、新加坡、泰國、澳洲、阿拉伯聯合大公國、孟加拉、馬來西亞等，今年度總計有 500 個提案，參與團隊人數高達 1176 人，競爭十分激烈。2025 年度台灣區初選由國立成功大學承辦，總共有 108 組隊伍報名，其中有 63 組入選初賽進行現場簡報。最終是由國立臺灣大學與國立中興大學機械工程學系學生組成的團隊「Slinky Ninja」以其提出的實驗構想《The Liquid Waltz: Observing Fluid Dynamics in a Dancing Slinky》獲得台灣地區的第一名，後續參與 JAXA 複選後，獲選為在 ISS 上執行的實驗計畫之一，為該年度台灣代表隊伍中唯一獲此肯定者，該實驗將於 2025 年下半年至 2026 年初期間在 ISS 上實行。

TOC figure



妙妙圈 v.s. 流體控制

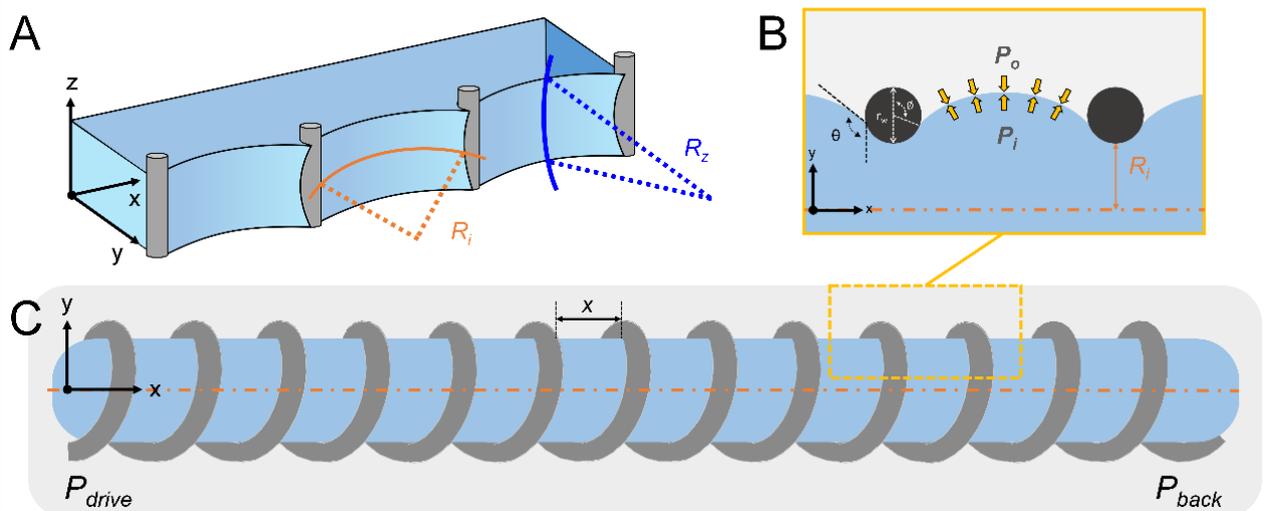
《The Liquid Waltz : Observing Fluid Dynamics in a Dancing Slinky》這個主題又是在探討甚麼現象呢？請大家閉上眼睛想像一下，在我們所生活的地球上，液體難以保持懸浮，並在「無邊界」狀態下往特定方向流動。而在微重力環境下，液體總算可以懸浮了，但你仍然很難「拿著」水來移動液體。因為液體在微重力環境下，要維持最低的自由能而呈現球形，且自由漂浮在環境中，很多太空人示範過將袋裝果汁擠出變成一團懸浮果汁球，增加食用的趣味；也有太空人示範如何在ISS中洗臉與洗頭髮，每每當他們伸出手「抓取」水時，大水球就變成小水球，在皮膚上面滾動，跟地球上我們熟悉的液體流動大相逕庭。因此，如何有效地控制和引導這些球形液體是一項有趣的挑戰。Slinky Ninja提出的實驗概念是從一種彈簧玩具 - 妙妙圈 (Slinky) 發想 (也因此取為團隊名稱)：假設液體在微重力環境下主要只受表面張力的影響，懸浮的液體與氣體之間的界面會產生一個內外壓力差，稱為拉普拉斯壓力 (Laplace pressure, 圖三A)。而作為第三相，固體的Slinky (即螺旋線圈結構)，與液體接觸之處會發生針扎效應 (Pinning effect, 圖三B)，液體、氣體、固體相互作用達到平衡；若將水注入Slinky的螺旋線圈結構中，即便線圈與線圈之間有間隙存在，液體與氣體的界面將在線圈結構內徑向形成幾何約束，防止界面因壓力波動或流速變化而移動，讓液體能夠在Slinky內保持穩定。



圖一：在微重力環境下的液體液滴(來源：https://www.youtube.com/watch?v=bKk_7NIKY3Y)



圖二：妙妙圈(Slinky) 示意圖



圖三：(A) 拉普拉斯壓力示意圖；(B) Slinky 結構與液體界面間作用力示意圖

團隊參考了先前的研究，以拉普拉斯壓力模型作為理論基礎做進一步推導，線圈內液體和外部空氣之間的壓力差可以由式 (1) 推算出 [1]：

$$\Delta P_{Laplace} = P_i - P_o = \frac{\gamma \cdot \sin(\theta - \varphi)}{\left(\frac{x}{2}\right) - r_w \sin \varphi} + \frac{\gamma}{R_i} \quad (1)$$

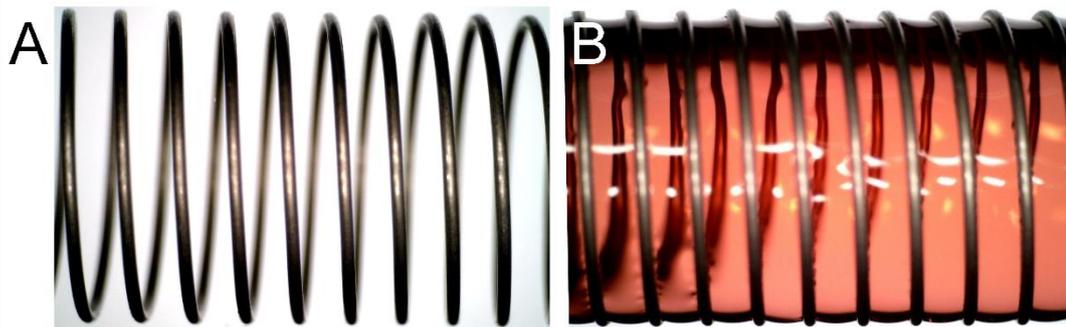
其中 γ 為液體對空氣的表面張力； R_i 為內部液體的曲率半徑，約等於 Slinky 線圈內徑； θ 為接觸角； φ 為 Y 軸與液體接觸面的夾角，其取決於接觸界面與 Slinky 結構接觸的位置； x 為 Slinky 每圈之間間隙； r_w 為 Slinky 的線徑（參自圖二）。而當要探討液體在 Slinky 內進行流動的狀況時，還必須考慮因流體黏滯效應而造成的壓力損失 (Pressure Drop，圖三C)。Slinky 中液體的壓力損失可以由式 (2) 推算 [2]：

$$P_{water} = P_{drive} - P_{back} = \frac{1}{2} f \rho \left[\frac{Q}{\pi R_i^2} \right]^2 \frac{L}{2 R_i} \quad (2)$$

其中 f 為 Darcy friction factor ($f = 64/Re$)； ρ 為液體的密度； Q 為液體的流率； L 為液體接觸 Slinky 的徑向總長度。透過式 (1) 和式 (2) 可以推出液體在 Slinky 內部維持穩定界面的條件：

$$\Delta P_{Laplace} > P_{water} \quad (3)$$

簡單來說，Slinky Ninja 團隊猜想，只要妙圈的流阻夠小（流動緩慢、L 短等情況），在 Slinky 內流動液體的液-氣拉普拉斯壓力永遠大於壓力損失，本來是一顆一顆的水球狀液體，就可如同在密閉管中流動的水隨著 Slinky 的引導流動（轉彎也可以喔）。當流速增加或有外部擾動增時，那就透過縮小間隙 (x)，增加拉普拉斯壓力，改變液體與空氣之間界面壓力的平衡，防止液體因慣性而逸出。由此可知，界面張力在本系統中扮演至關重要的角色，維持液體的穩定性並引導其沿 Slinky 運動。團隊預期看到的現象是：當太空人握住 Slinky 的兩端並進行拉伸、旋轉或彎曲等動作時，液體會神奇地被限制在 Slinky 內，其運動路徑由螺旋線圈結構精確控制。



圖四：Slinky 在地表環境下的實驗圖：(a) 無液體通入；(b) 有液體通入

表一：操作流程圖與其對應之時間點

No	Procedure	Time* (minutes)
1	Fix the bottom of the Slinky to the table using Kapton tape.	1
2	Stretch the Slinky to approximately 11 cm (making it easier to observe through the gaps) and hold the top 1.5 cm of the Slinky.	0.5
3	Fill the Slinky with colored water using a water bag.	3
4	Pull the Slinky upward and release the held top portion (grasping a few coils).	0.5
5	Move the Slinky up and down to observe the behavior of the water inside.	0.5
6	Remove tap (Kapton), hold bottom of Slinky and rotate it slowly	2
7	Shorten the Slinky's length and bend it into a arch (resembling the letter "n").	1
8	Gently shake both ends of the Slinky up and down.	0.5
Total		9

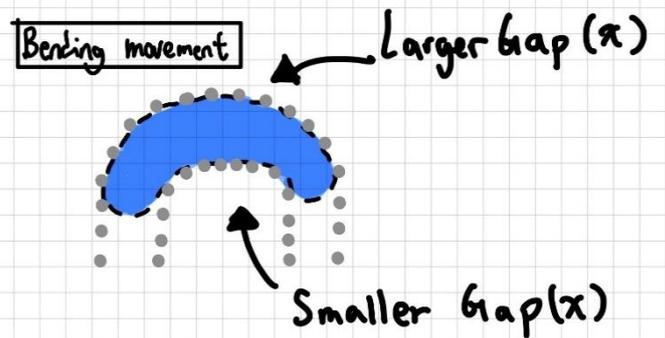


在本實驗室過去的研究結果表示，在螺旋線圈半徑小於5 mm的系統中，液體都能夠按上述理論，有效地將水溶液限制於結構中。在沒有重力影響的太空環境下，我們是否可以使用半徑超過50 mm，如同妙妙圈Slinky的螺旋結構來同樣限制液體？當我們彎折Slinky時，內外兩側的線圈間距 x 也不相同，限制流體的能力會不會有差別呢？因此，我們向太空人提案的九分鐘實驗流程為表一。

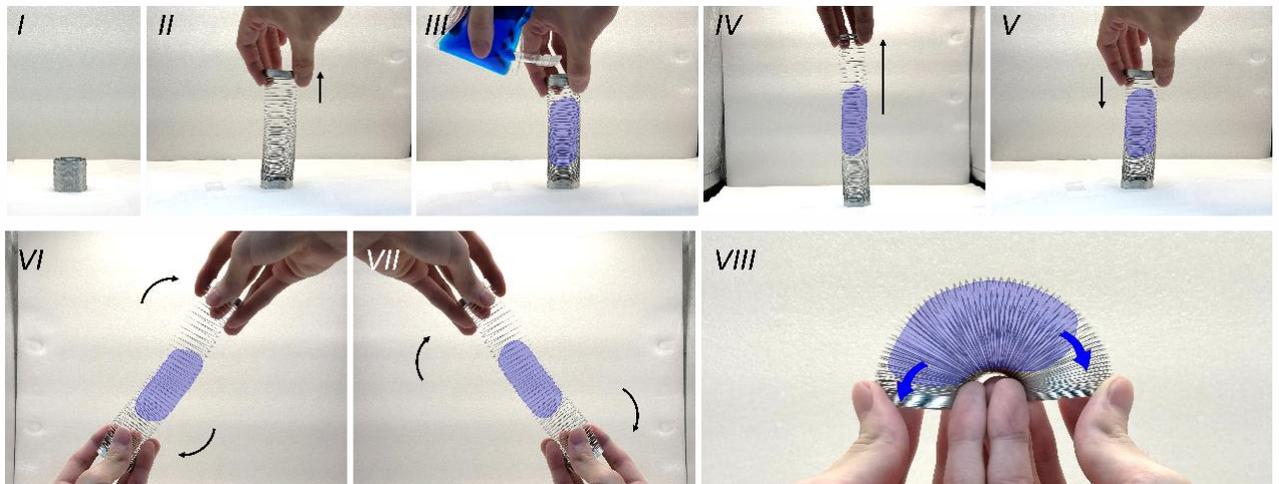
首先，使用 Kapton 膠帶將 Slinky 的底部固定在桌面上（約 1 分鐘），接著把 Slinky 拉伸到約 11 公分長，留下頂端約 1.5 公分處以便太空人手持（約 0.5 分鐘）。之後，以水袋注入有顏色的水溶液（方便觀察），將整條 Slinky 填滿（約 3 分鐘）。填水完畢後，向上提起並放開先前抓住的幾圈彈簧（約 0.5 分鐘），再上下移動 Slinky，觀察內部水柱是否隨著線圈的移動頻率而跟著產生如簡諧運動的流動變化（約 0.5 分鐘）。接下來，拆下固定 Slinky 底部的 Kapton 膠帶，改以手握底端，將整個 Slinky 從桌面上拿起，並緩慢旋轉含水柱的 Slinky（約 2 分鐘），觀察水柱是否隨之移動；最後，縮短 Slinky 長度並將其彎成拱形，呈現類似英文字母「n」的形狀（約 1 分鐘），創造出外側與內側線圈間距的差異，藉此觀察限制流體的極限。最後，左右手分別輕輕上下晃動 Slinky 的兩端（約 0.5 分鐘），創造出左右兩端不同高度差；這讓我們得以縱波的形式沿其長度傳遞能量 [3]，此時內部的水柱會隨著左端線圈間距逐漸壓縮而移動，還是維持在原地？

屆時，雀屏中選的團隊須充分與 JAXA 溝通，並在該年底親自前往筑波的太空中心，與太空人連線，實際在 ISS 上執行提出的構想。隨著太空熱(Space Fever)，近年參與國家除了日本外，台灣、新加坡、泰國、澳洲、阿拉伯聯合大公國、孟加拉、馬來西亞等，今年度總計有 500 個提案，參與團隊人數高達 1176 人，競爭十分激烈。2025 年度台灣區初選由國立成功大學承辦，總共有 108 組隊伍報名，其中有 63 組入選初賽進行現場簡報。最終是由國立臺灣大學與國立中興大學機械工程學系學生組成的團隊「Slinky Ninja」以其提出的實驗構想《The Liquid Waltz: Observing Fluid Dynamics in a Dancing Slinky》獲得台灣地區的第一名，後續參與 JAXA 複選後，獲選為在 ISS 上執行的實驗計畫之一，為該年度台灣代表隊伍中唯一獲此肯定者，該實驗將於 2025 年下半年至 2026 年初期間在 ISS 上實行。

Will the liquid escape from more stretched with lower ΔP_c ?



圖五：提案中的手繪概念說明圖



結語

在本年度的 ATZG 競賽中，臺灣在全部參與的 10 個國家與地區中，提案數與參與人數分別排名第 3 和第 4，僅次於泰國、菲律賓與馬來西亞，屬於接近前段班的位子；這顯示出臺灣青少年對於太空競賽的積極參與，同時也可以看到亞洲各國對太空領域發展的重視程度越來越高。為了提升台灣在太空領域的競爭力，勢必需要政府單位和國家太空中心 (TASA) 的努力，透過比賽協辦、宣導活動、講座培訓等方式，提供學習資源給年輕世代，又或是提高太空相關活動的預算和制定相關政策來吸引更多的科技人才投入。

而此次由學生團隊提出的「液體華爾滋」不僅展現出微重力下幾何結構與流體行為互動的基礎物理，其也具有延伸應用的可能。未來在微重力條件下進行的液體傳輸與分配控制，將會是太空任務中的關鍵技術之一。例如在太空中的封閉製程系統中，如何精準控制液體位置與形狀，是進行晶片精密塗佈、奈米尺度清洗、藥劑反應與混合的過程中不可或缺的核心能力。若能進一步整合本實驗所探討的幾何限制設計與流體操控技術，將可能把此技術推展至半導體製程或太空製藥系統上，更甚至是在外星殖民所需的能源回收、水資源處理、廢液管理等環節中，微重力液體控制技術將有機會發揮巨大的作用。

預期在不遠的將來，隨著太空產業鏈逐步擴展，將有更多類似的創新提案由學生方面提出，並可能連接國際發展，推動我國於新興太空科技領域中的領先布局和持續參與。

參考文獻

- [1] Z.-X. Yu, X.-L. Wang, Y.-L. Chang, C.-Y. Lin, Y.-C. Chang, and Y.-Y. Chiang, "A core-annular liquid-liquid microextractor for continuous processing," *Chemical Engineering Journal*, vol. 405, p. 126677, 2021.
- [2] Y.-C. Chen, B.-C. Hsueh, G.-Y. Lu, Y.-H. Chien, and Y.-Y. Chiang, "Continuous high viscosity biphasic liquid separation," *Separation and Purification Technology*, vol. 343, p. 127111, 2024.
- [3] R. Cross and M. Wheatland, "Modeling a falling slinky," *American journal of physics*, vol. 80, no. 12, pp. 1051-1060, 2012.



圖六：Slinky Ninja 團隊

誌謝

本期刊物由出版委員會主委編輯邀稿與潤飾文字，誠摯感謝國立臺灣大學機械工程學系莊嘉揚特聘教授、黃育熙教授、蔣雅郁副教授、吳詠翔博士生、國立臺灣大學土木工程學系張書瑋教授、國立臺灣大學應用力學研究所周佳靚副教授、國立成功大學機械工程學系張怡玲教授、中原大學土木工程學系黃仲偉教授允諾撰稿，及學會秘書處彙編與排版。



秘書處地址：300新竹市東區光復路二段101號
國立清華大學動力機械工程學系
網 址：<http://www.stam.org.tw>
電 話：(03)5715131 #33785
E - m a i l：society.stam@gmail.com