## Phi Tau Phi Scholastic Fraternity Mid-Autumn Festival

漫談科研

吴耀祖

加州理工學院 (1200 E. California Blvd, Pasadena, CA, U.S.A. (626)395-4230. B.S. 1946, 上海交通大學; M.S. 1948, Iowa State College; Ph.D. 1952, California Institute of Technology;

教研興趣: 流體力學, 流體物理, 航空工程, 水波, 非線性以及頻散性波動, 非線性臨界創新發展現象之理論與應用, 應用物理, 應用數學與數學, 數學物理, 生物物理力學, 地質物理力學.

歷來嘉獎: 美國 顧庚海穆協會會士(1964--); 美國物理學會會士(1970--); 澳洲大學與工業科研同盟會士(1976); 日本振興科學協會會士(1981); 美國工程院院士(1982--); 中央研究院院士(1984--); 中國科學院力學所研究員(1988--); 美國物理學會 1993 流體力學獎(每年一位,須對流體力學基礎有最重大貢獻者); 中國科學院外籍院士(2002--); 土木工程學會授予 2004 馮卡門獎章, 機械工程學會授予 2004 終身成就獎.

耀在加州理工與博士碩士生以及訪問教授合作多年,引以為慰為傲,,堪舉數項為例,以蓋一般,

A. 螺旋細菌運行謎難—這謎難在生物界百年未曾破解.螺旋菌在水中轉動,前行如飛劍,速度通常可達每秒三五十身長,霍亂菌則可彆近一百身長.(游泳冠軍一個身長左右,劍魚可越十身長). 然而其中謎難之原委,乃由于螺旋菌右轉或左轉,體受水粘阻力必給出一項阻力矩,咸認為不可能為零,故遵循牛頓三定律,旋菌常速泳動為不可能,是為謎也.剛巧研究生章梓雄有興破解此謎.商権之餘,只得假設外表細菌膜,沿體中心曲線向體轉方向反向旋轉.勤奮作業結果,因膜轉無標志可覓,然以體轉速度為參數,則由我們研究組內顯微鏡觀察分析之結果,與菌泳速極為符合.于是章梓雄(1971)論文投稿給皇家學會萊特黑爾爵士(Sir James Lighthill)與動物學泰斗葛瑞爵士(Sir James Gray),復音立即接受,且立即刊印發表[1]. 二十餘年后,先進生物學家發現鞭毛細菌體內,確有更微細的鞭毛,在體內揮動,一如原文所述.因此堪稱原文是有實驗作為證確的.更述實地說,乃是原文假設,誠然基于深雋廣泛的物理概念.牛頓定律是基礎.不得不如此.

B. 孤立水波臨界內之周期生波謎難---這問題開始于約翰魯蘇在蘇格蘭小運河上用雙馬急速拖拉一 艘小客船,見到雙馬忽站停,但船首之水急烈晃蕩而形成一條橫貫運河,前后約三十呎長,一呎半高,以衡速約 每小時八英里向前傳播.這即是孤立波之發現.但這個獨一無二的生波機理之奧妙與謎難,則要等一個半世 季,才見分曉.當時哈爾濱船舶理工學院吳德銘教授來任訪問教授.商談之下,認為所生之波,向前離船,所帶 去之動量,必給船反動量,也即增高船阻,而使雙馬拖不動船而停.這里主要機理在高度非線性與頻散性交匯 之極,他處鮮有.遵循此理,從頭創新,寫出全面所有的偏微分方程式,由計算數學大師吳德銘進行計算.因這 是臨界現象中心之極端,水槽前后的邊界條件,必須令波能之傳播,與大自然相符.不久有日吳德銘走來,滿面 笑容,說你所預測的水上外力臨界生波,已見到有一個一個新波,自行衡貫水槽,離開以臨界常速拖行的拱板, 向前發射.而且有一定的周期性.全研究組看到這計算圖片,熱烈鼓掌.接著吳師將一片略拱的公尺鋼片,兩端 摺成垂直向上,横貫于兩呎寬的水槽,系諸拖板,以臨界附近速度(重力加速與水深乘積之平方根)拖行, 立即 見到水槽內數吋深的靜水在板前周期性地向前發射新的孤立波,忍不住大為雀躍.此文[2]發布后,不久即看 到各項科研期刊文章,陸續發表在海洋內波,空氣層內波,等離子體波,超導體波,甚至非線性聲波,都發現有 同樣類似現象出現,也都引參此文.這又是一項先有水波科研,宣布創新發現,而形成普及于其他科學領域 作先鋒,,諸如孤立波,波之群速等. 科研進展,有時必然,也有偶然. 假若當時能有四匹馬拖拉該船,足以勝任 由于行船發波所增給船的較高阻力,因而可以繼續保持原來的臨界拖拉速度,則極有可能當時即被約翰 魯蘇看到在以臨界長速前行之船前有周期生波,離船后形成一系列孤立波的新形象, 而無需百年后被發現.

C. 復變函數謎難破解完成— 復變函數理論,由 1872 庫希定理與庫希積分公式,建立了堅強無比的基礎,樹立了這座精美的函數分析大廈,圓滿迄今.此后 140 年來,只缺一項歷久的大空缺,尚待補全. 這空缺見于公式,述及復變數 z=x+iy 之函數 f(z),在單位圓上取值為 f(t),由于 z 在圓上時 z 寫成 t 以示區別. z 若在圓內(或圓外),公式給出積分值為 f(z) (或為零).不過如果 z 真正在圓上時,則庫希未述及,文獻上也無可覓得.耀立意破解此謎[3].首先取代庫希之假定,謂函數 f(z)在圓上為連續,在圓內為正則(可解析而無奇異點).於是吳提出獨一無二的假定,謂函數 f(z)在圓上與圓之內外鄰域能有任意次連續微分.在此假定下,函數 f(z)之公式是給 f(t) 除以(t-z)沿圓為封閉周線對 t 積分.當 z 從圓內(或圓外)趨近圓上某點,則某點鄰域之周線,只須向外(或向內)彎曲成微細的小半圓,使 z 點達到圓上某點,而未曾穿過彎曲后之周線,故積分不變值.然后再令小半圓半徑趨于零為極限.同時函數也達到在某點之極限值,由此獲得完全準確之廣義公式,堪拱廣泛應用.其首次應用,看到有四類區域,其幾何圖形,恰切適合廣義公式之推展.此四類幾何是(i), z 平面之上半葉,(ii), z 平面之下半葉,(iii),單位圓內,(iv),單位圓外.則廣義公式用于這些區域邊界上即給出廣義黑爾博特變換的正反兩公式,而且完全有證明,因為廣義公式是分析解.更因為原來的黑爾博特變換的公式,至為難覓其證明,于此提供作為另一貢獻. 這項科研之中心涵義,在于決斷地假定函數 f(z)在圓內外鄰域能有任意次連續微分,唯吾獨有.然后分析證明,發現這函數 f(z) 在整個 z-平面上,除去其所有內在本質的奇點之外,無處不是正則函數,即是有任意次連續微分. 這是在建立理論上,稱為全體一致符合(compatibility),堪稱完美.

馮卡門大師有日對學門科研有所感想. 謂航空數學分析所見函數的非線性,僅有激波,它之航行,一掃即渺.怎堪比諸水波,水波既有非線性,更有頻散性,使得其非線性隨波頻增減而連續地變換,而且從微細的漪漣連續增長變到孤立波,波速有一個明顯的回轉.細波越細傳播越快,長波則反然. 如果深入水波數學工作,必定能使思緒靈活,概念創新,得益非凡.于是馮師每暑假舉行水波工作組,勤奮推展.然而對耀說,卻是確定了他今后科研工作的中心.

- [1]: 1971~~(with Chwang, A. T.) Proc. Royal Soc. London B, 178, 327--346.
- [2]: 1982~~(with Wu, D. M.) Proc. of 14th Symp. Naval Hydrodynamics, ONR 103--125.
- [3]: Acta Mech. Sin. (2011) 27(2):135–151, DOI 10.1007/s10409-011-0446-8

Th.Y.Wu (September 14, 2013)