

京都弦學^[1]之會記

世紀之初，仲夏七月。四方學者，遠渡扶桑，會同兩京俊彥，聚於舊都，談弦入微，論天修道。江口^[2]逢迎，大栗^[3]引路。衛騰^[4]說法，魯士^[5]頌弦。史公^[6]宏道，威化^[7]獻工，問宇稱超凡，費玻二子何時可對^[8]。究矩陣模式^[9]，宏觀場論^[10]何時可用。費海^[11]翻騰，眾士尤爭新意。質子衰變^[12]，時空豈能無定。士才五百^[13]，敢揭太初之謎，弦僅十七^[14]，卻奏和樂之章。喜真理之漸明，啓大道於未央。遂頌其事如左。

美哉山川，壯哉民智。蔥蔥竹林，蒼蒼松樹。渺渺白雲，巍巍古寺。浪濤如湧，列嶼似鏈^[15]。日升東海之端，僧參禪宗之義。供眾神於長廟兮記天竺之故事，奉大佛於奈良兮傳盛唐之遺意^[16]。金閣輝煌，銀閣雅致。彰帝國之朱華^[17]，賞風月之無邊。清水寺上，般若經台。望月樓頭，歌筵舞榭。登高塔以望遠兮臨深池之倒照。展砂石之古樸兮醉圓林之禪意。溪水潺流，微雨紛飛。暮鼓晨鐘，猶是千古流風，夙興夜寐，尚在大和魂中。豈無玄想，冥思高山之顛。豈乏知音，切磋小湖之邊。核力介傳，湯川^[18]所鍾。量化重整，朝永^[19]所工。高木^[20]西訪，掇數學之明珠。小平^[21]東渡，宏幾何之大觀。籲嗟乎壯哉，日出之國。維新未遠，已固眾學之基。二戰倉皇，尚求造物之淵。惜乎共和雖在，王道稍微。縱九天光華，難釋友鄰苦衷^[22]。算佛法慈悲，猶待眾生普渡。水深兮魚悅，林茂兮鳥鳴。豈聖哲之所宗，無以敦友邦^[23]。抑科學之所加，非以睦斯民^[24]。奚不宏忠厚以爲教，覓無怨以爲基^[25]。喜莫喜兮歡樂共，樂莫樂兮真理通。祝友誼之永固兮盼來者之可追，實吾心之所善兮無日夜其忘之。

夫宇宙之多容，自遠古而恒變，光陰之長流，結天地其未分。何太初之渺渺，須臾而生萬象^[26]。抑原爆之洪洪，餘波^[27]猶振天際。大哉美哉，引力之場。無遠而弗屆，積小而定天。長空漫漫，星河燦燦，聚塵埃兮生輝，重自身兮湮滅^[28]。何曲率之盈盈，觀流光而睹乙象^[29]。黑物^[30]冥冥，灌大空其猶未識。浩浩乎，大塊猶漲^[31]，頻動譜紅^[32]。赫赫乎，星河互沖，雲卷天崩。星旋何急，波引何柔^[33]。白熱爲心，銀漢肆其擴張。黑洞爲疆，時空豈其未傷^[34]。渺兮困兮，宇宙之數^[35]，結構之謎。遠兮茫兮，諸天之道，眾物之途。人世杳杳，天道悠悠。星河億兆，生機唯地可尋。物象萬千，理念舍人難釋^[36]。惟光之恒速，未關乎觀者^[37]。質之換能，溯源於相對^[38]。既得乎等價之義，相對之則。何可卻曲率爲力，幾何爲基^[39]。小則測光子之途，大則觀拓撲之變^[40]。窮數理之所能，猶惑大千泰否。苟真相之可知，雖九死其何可悔。

地極有磁，雲陰生電。性分甯疾，宛若參商。何生何屬，何連何結。光子爲爲媒^[41]，方程爲姻^[42]。電何生輝，法則有源。磁獨有偶，單極難求^[43]。力場有勢，規範是依。宇稱爲圓，拓朴載荷^[44]。善引力之不如，萬物方其有蹤^[45]。苟光陰之能虛^[46]，磁電孰其可分^[47]。既基礎之已知，豈任用之難期。電流機轉，磁浮車飛。聲傳萬里，減卻相思無數。線結千山，盡見燈火如聚。何百載科研，澤民若是^[48]。悵人間寒熱，扶持猶待。

奇哉妙哉，量子之學。融波兮成粒，見波兮知機^[49]。山嶽未成其障^[50]，鬼神豈准其測^[51]。何相對之量化，知電子能反，微子自旋^[52]。唯電子躍跳，使週期可解^[53]，分子成結。物律富於疇昔，新意解得舊謎。道有陰陽，力分強弱。弱力玻傳，衰變能識左右^[54]。強力膠堅，色動猶有璨味^[55]。何天下之至微，囿於至細，三份始克成粒^[56]，三家適可成象^[57]。嗟微子之多元，歎宇稱之能規。範群不換，萬象始知純美^[58]。質量其何，眾土猶覓真意^[59]。場論早成規矩，實驗若合符節。豈三力之齊一，實造物之有常。何量化之難求，抑引力之未卜^[60]。唯至小能窺大，因至美而知真。道湛湛其深妙，遂千古之所宗^[61]。

使微子爲弦，振動如音^[62]。行蹤翻成曲面，量化始知共形^[63]。費玻同列^[64]，積分竟其可馴^[65]，真空微擾，引子自然而生^[66]。十維時空，弦學始其不迷^[67]。四力齊驅，幾何示其大觀^[68]。微空捲曲，拓撲爲質。何理論之多元，對偶系而爲一^[69]。實真空之眾繁^[70]，基礎未知唯象。造物宏圖，未可窺於一旦。籌學妙處，庶幾傳諸永世^[71]。路曼曼其修遠，吾將上下而求索。

嗟夫，弦會已矣，哲人歸去。西國科研，未融中土。東亞心學，猶在儒佛。多人事兮眾心負荷，小物理兮萬象無常。未究本源，奚以知物性而通造化。未知物性，何以制萬象以澤斯民。曷不寄心基礎之學，置身自然之中。苟真美之可知，孰天人之難合^[72]。

信京都之瓊美兮，吾實愛乎故鄉。山嶽峨峨，大漠茫茫。長河莽莽，東海蒼蒼。何國土之芬芳兮歎山河之壯麗。吾先君之所居兮祖苗裔之所息。居異域而懷鄉兮身一載而九還^[73]。登高樓以遠望兮國中興以向榮。祈天之純命兮廣我百姓視聽。禱地之所給兮足我民族立命。盼土之志潔兮孰德言之可蕪，惟心無際涯兮實東西之可融^[74]。享我國魂兮，真美是獻。

丘成桐

二零零四年三月二十九日

注釋：

- [1] 弦學，指起於 1987 年的超弦理論。
- [2] 江口，日本理論物理學家 Eguchi.
- [3] 日裔理論物理學家 H. Ooguri.
- [4] 美國理論物理學家，費爾茲獎獲得者 E. Witten。
- [5] 美國理論物理學家，2004 年諾貝爾獎獲得者 D. Gross。
- [6] 美國超弦理論學家，A. Strominger。
- [7] 伊朗裔美國超弦理論學家 C. Vafa。
- [8] 費玻二子指費米子 (Fermion) 和玻色子 (Boson)，前者服從 Fermi 統計，數學上用反對易的費米數來描寫，後者服從 Bose 統計，用普通數描寫之。當二者對稱地出現理論中時，場論或弦論可出現超對稱。
- [9] 矩陣模型.
- [10] 弦論的低能有效理論是非微擾場論。
- [11] 費海，指費米子海，是 1929 年 DIRAC 引入的相對論性量子真空觀念。
- [12] 質子衰變實驗，是檢驗強—電—弱大統一理論的實驗。理論預言原子壽命在 10^{32} 年以下，而實驗卻發現在 10^{32} 以上，此事至今為懸案。
- [13] 約五百人參加日本京都弦論會議.
- [14] 會議安排日本音樂家演奏 17 弦線之日本歌.
- [15] 京都風景優美，令人神往。
- [16] 在唐代佛學由中國傳到日本，在日本留下許多寺廟，佛像。
- [17] 京都是日本的故都。
- [18] 湯川秀樹，日本理論物理學家，約於 1935 年提出由介子傳播核力的理論，於 1954 年獲諾貝爾物理學獎。
- [19] 朝永振一郎，日本理論物理學家，約 1947 年首創量子電動力學的重整化理論，1969 年獲諾貝爾物理學獎。
- [20] 日本數學家高木貞治早年在德國留學，回日本後發展希爾伯特的類域論，成為代數數論的重要一章。
- [21] 小平邦彥是日本數學家。二戰後到普林斯頓訪問，對大範圍幾何，特別是複幾何有突破性的貢獻，於 1954 年獲得菲爾茲獎。
- [22] 日本二戰期間對鄰國造成的痛苦，尚未得到諒解。
- [23] 中日兩國文化背景相似，認同這個背景易和睦相處。
- [24] 發展科學有利於社會的和諧。
- [25] 中國傳統文化中忠厚，寬容（恕）是非常基本的觀念。
- [26] 宇宙始於 147 億年前的大爆炸。
- [27] 微波背景輻射。

- [28] 星體質量凝聚到一定程度演變成黑洞。
- [29] 引力透鏡效應。
- [30] 指彌漫和充斥在宇宙中的暗物質。
- [31] 宇宙在膨脹，近幾年的觀測建議宇宙在加速膨脹。
- [32] 宇宙學紅移或哈勃紅移，由於宇宙膨脹而導致的紅移。
- [33] “星旋”指星系的旋轉，“波引”指引力波。
- [34] 黑洞是時空視界，含時空奇點。
- [35] 宇宙常數是很小的正數（存在暗能量）是目前困擾科學家的基本難題。
- [36] 宇宙中星系繁多，只有在地球上發現生命。而宇宙學的理論都是人類創造的。
- [37] 光速不變原理，狹義相對論的基本原理之一。
- [38] 相對論預言了質能關係： $E=mc^2$
- [39] 愛因斯坦用幾何奠定了廣義相對論的基礎。等效原理是廣義相對論的基本原理之一。基本方程由局域不變性等要求導出，力用曲率表示，其優美和深刻令人驚歎。
- [40] 確定光的軌跡和時空的大範圍性質等都要用幾何。
- [41] 光子是傳播電磁相互作用的基本粒子，是以圓群為規範群的規範場。
- [42] 麥克斯韋方程將電，磁統一，是描述電磁相互作用的基本方程。
- [43] 到目前為止，磁單極子仍然只是理論預言。
- [44] 拓撲上的非平凡空間可給出物理上的荷。
- [45] 引力在和電弱尺度相比很小的尺度下才起作用，這樣物質才可以動。
- [46] 指場論中的 Wick 轉動，把時間虛化，帶來許多方便。
- 【47】** 若在物理上時間真是虛的，電磁就不可分辨了。
- [48] 電磁學給人類帶來許多應用，改變了我們的生活。
- [49] 量子力學中波函數可以解釋為幾率。
- 【50】** 量子隧道效應，經典解若非最低能量態在量子系統都是不穩定的。
- 【51】** 測不准原理。在小尺度下，座標和動量無法同時被確定。
- [52] 相對論量子力學預言了粒子自旋和反粒子的存在。
- 【53】** 化學中的週期表可以用電子躍遷解釋。
- [54] 弱相互作用通過交換中間玻色子傳遞，此時左右對稱性破缺。
- [55] 量子色動力學是描述強相互作用的基本理論，通過繆子傳遞相互作用。誇克帶色、味兩種量子數。
- [56] 指量子色動力學 SU(3)規範對稱性。
- [57] 粒子物理標準模型包含三代誇克和三代輕子。
- [58] 楊-Mills 的規範不變性是基本粒子標準模型的基礎。

- [59] 基本粒子的質量計算有很大的人爲性，希望能從更深的理論導出。
- [60] 在前面三種物質場中，引力是作為背景場出現的，未考慮其量子化。引力的量子化對於研究極小尺度（普朗克尺度）是至關重要的。
- [61] 電、弱、強相互作用統一在以規範場為基礎的標準模型下，堪稱人類認識自然的典範。
- [62] 在弦論中粒子由弦的振動模式描述。
- [63] 弦在時空中的運動軌跡畫出一兩維曲面，其上的理論只和曲面的形狀有關，與大小無關，這即所謂兩維共形場論。
- [64] 在弦論中引入超對稱，玻色子與費米子處於對稱地位，此謂超弦理論。
- [65] 困擾物理學家的量子場論中的無窮大問題因點粒子用弦代替而解決。
- [66] 引力自然出現在弦理論的自洽性條件中。
- [67] 超弦理論在十維時空才是自洽的。
- [68] 弦理論的最初動機是強相互作用的模型，後人們意識到它是統一四種相互作用的合適理論。
- [69] 1995-1996 年人們發現了弦的非微擾態，由此得到五種微擾弦理論是相互等價的，此謂對偶。
- 【70】弦理論中出現繁多的真空態，這對應用弦理論到具體的物理模型中帶來很大的困難。
- [71] 丘先生發現的 Calabi-Yau 空間，初為數學中的一美妙結果，後在弦理論的內稟空間的主要模型。弦論，作為引力的量子理論，和數學密不可分。
- [72] 不重視基礎研究，民心將魯鈍，社會將腐化，不利於國家的發展。
- 【73】丘先生每年都回國講學許多次，為發展中國的學術事業竭盡全力。
- [74] 融合東西文化，不應帶有任何偏見，宜以寬廣胸懷去蕪存精。

（閔沐霖，胡森，王小軍注釋，2004 年 11 月於合肥。）