

# 阿卡尼 - 哈密德的願景

巨型加速器與新自然律

作者：渥秋華 Natalie Wolchover 譯者：周樹靜

**作者簡介：**渥秋華是 *Quanta* 的物理科學類專職撰稿人。她是塔夫斯大學物理學學士，曾於柏克萊大學攻讀研究所，並為多本雜誌撰稿。

要

讓尼瑪·阿卡尼-哈密德 (Nima Arkani-Hamed) 持續談論宇宙的話題不是一件難事，他可以談上幾分鐘甚至數小時，把你傳送到人類理解力的邊緣，然後他會帶你跨越邊界，超越愛因斯坦，超越時空和量子力學以及所有對 20 世紀物理學的腐朽比喻，進入一個能解釋萬物既壯麗又新穎的願景，一切是那麼簡潔、那麼通透。然後他會提醒你，在 2015 年，這些都還是臆想，但是他確信某天這個願景將會成真。

阿卡尼-哈密德在過去 20 年產生的想法如滾滾洪流，其威力為他贏得 2012 年首度頒發、獎金高達 300 萬美元的基礎物理獎 (Fundamental Physics Prize)，獲獎理由是基於他「解決粒子物理傑出問題的原創性理路，包括大尺度額外維度 (large extra dimension) 的倡議、希格斯玻色子 (Higgs boson) 的嶄新理論、超對稱的奇特實現、暗物質 (dark matter) 的理論、規範場論散射振幅之新數學結構的探索等等。」

阿卡尼-哈密德今年 43 歲，是普林斯頓高等研究院的正教授，被許多人認為是當今檯面上最卓

越的理論物理學家之一。同事說他具有將無比複雜的問題簡化的慧眼，同時又兼備絕佳的數學能力、創造力、直覺，以及極為廣博的物理知識。史丹福大學的理論粒子物理學家狄莫波羅思 (Savas Dimopoulos) 說：「尼瑪在智能空間每個角落的表現都亮眼懾人。」

儘管許多頂尖物理學家不諳於表演的才能，阿卡尼-哈密德卻表現的像個「救世主」、「吹笛人」或「舞台總監 (impresario)」。在動作與披肩黑髮的掩護下，他把數字計算、思想實驗、歷史典故編織成長篇故事，充滿自信的描繪即將到來的篇章。他的聽眾從研究生到諾貝爾得主都有，據馬里蘭大學理論物理學家桑德崙 (Raman Sundrum) 的說法，「尼瑪不斷創造商品，他的說服力頗有催眠的效果，讓許多人願意跟從他的領導。」

阿卡尼-哈密德的使命就是理解宇宙，說來簡單卻讓他廢寢忘食，全心投入。今年夏天，他在普林斯頓受訪時說：「我不覺得有任何時間可以浪費。」這份執念讓他展開好幾個方向的研究，不過近年來，除了整個領域之外，一個關於宇宙的問題



*Quanta* 是西蒙斯基金會 (Simons Foundation) 出版但編輯獨立之網路科普雜誌 (<https://www.quantamagazine.org/>)，希望能提高數學、物理與生命科學前沿研究進展的公眾能見度。本文出自：<https://www.quantamagazine.org/20150922-nima-arkani-hamed-collider-physics/>

本刊感謝 *Quanta* 同意翻譯轉載，翻譯之文責由本刊自負。



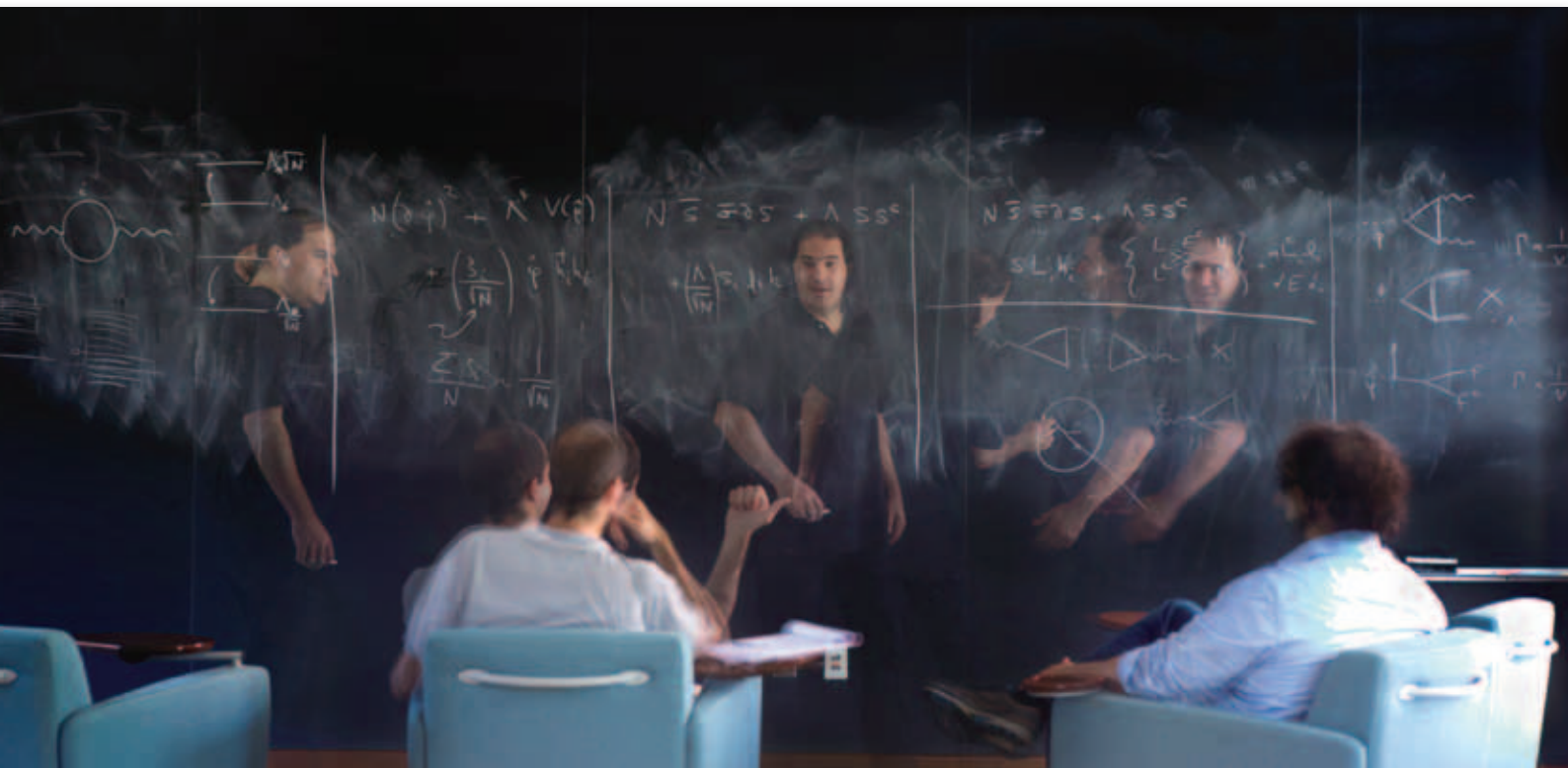
■ 尼瑪·阿卡尼-哈米德。(Quanta 提供·Béatrice de Géa 攝影)

逐漸盤據他的心神（見本刊第 5 期〈大自然，不自然？〉）。粒子物理學家想要知道，我們宇宙是否循序而生（inevitable）、可預測，或者依他們的說法是「自然」的，整體鎖定成一個可認識的模式；抑或，這個宇宙極端不自然，是無數可能排列中的某一個，其存在不過是緣於漠然的機率，只因為這個宇宙的特殊條件容許生命的誕生才能觀測到它，別無其他理由。自然的宇宙原則是可理解的。但是如果宇宙不自然，只是靠參數微調才擁有生命，是上天輪盤賭博的幸運彩頭，那麼合情合理的推測就是必須存在「多重宇宙」，超越我們之外還有各式各樣的大量宇宙，其中許多因為賭運不佳而沒有生命。這樣的多重宇宙觀，讓我們的宇宙不可能光靠它本身的組成就能全然理解。

根據目前所知，物理學家解碼已知的基本粒子，依靠的是一組已有 40 年歷史的「標準模型」方程，

但是標準模型缺乏合理的模式，似乎需要驚人的微調才能產生生命。阿卡尼-哈米德和其他粒子物理學家在自然性的信念引導之下，花了幾十年設計了各種聰明的方法，想要將標準模型放入一個更大、更自然的模型之中。但隨著時間流逝，再一次，更強大的粒子對撞機也無法證明他們的設想，找不到期待中的新粒子與新現象，反而更進一步將事況推向荒冷而極端的觀點，亦即自然性已死。

以阿卡尼-哈米德為首的許多物理學家仍然想要尋求更確定的答案。如今，基於對自然性問題的追索讓他與中國相遇了。兩年前，他同意出任北京高能物理前沿研究中心（Center for Future High Energy Physics, CFHEP）的首任中心主任，之後他陸續訪問中國 18 次，推動建造一個尺度空前的大機器，一個周長 60 英里的環形粒子對撞機，全長大約是歐洲大型強子對撞機（LHC）的四倍大。



■ 阿卡尼 - 哈米德與他的合作者 Raffaele Tito D'Agno (左方坐者) 和 David Pinner。攝於普林斯頓高等研究院。(Quanta 提供, Béatrice de Géa 攝影)

這個在 30 年內估計將花費 100 億美金成本建造、暱稱「巨型對撞機」(Great Collider) 的機器將繼承 LHC 成為物理世界的新中心。根據阿卡尼 - 哈米德以及同意他的人，這個能量高達 100 兆電子伏特 (100TeV) 的對撞機將讓次原子粒子產生空前的對撞，足以找到 LHC 無法產生的新粒子或者將它們從此摒除；足以守護或捨棄自然性原理，驅策物理學家在迥然不同的兩幅圖像中擇一：可知解的宇宙，或者不可知解的多重宇宙。

中國的對撞機計畫獲得許多知名學者的支持與投入，除了阿卡尼 - 哈米德之外，還包括王貽芳、諾貝爾得主格羅斯 (David Gross)、費爾茲獎得主丘成桐，以及在幕後工作的許多實驗學者與工程師。但是這個計畫仍有爭議，許多專家對這個機器能達成的效果意見不一，他們也懷疑中國是否已經準備好成為粒子物理學的領導國，質疑中國目前規模很小的粒子物理團隊，就算在歐洲與美國幾千個

物理學家的協助下，是否可能在 20 年內快速成長到足以執行這個巨大又複雜的計畫。支持這項計畫的粒子物理學家韓濤表達了他的中國同仁的關切：「我們會不會跳太遠，摔太重？」

做決定的時刻就要到了。中國政府將在年底提出下一個五年規畫，結果將顯示他們是否打算投資對撞機計畫的研究發展。

「這個 100TeV 的中國對撞機計畫很出色；很具挑戰性；風險也很大。這也正是我認為如果沒有尼瑪，這種事根本無法獲得那麼多臂助的原因。」曾經到北京協助推動這項計畫的桑德崙說：「他必須做大量的說服工作，讓這件事從全然的幻想，變成會失敗的幻想，再變成可以放手一搏的計畫。」

### 停停走走

對阿卡尼 - 哈米德而言，中國對撞機計畫像是推開一扇門：「你每多想一回，就覺得完美無比。」



他坐在研究室的沙發上，邊喝著可口可樂 zero 邊說：「對物理學來說這很棒；對中國來說一樣棒。他們一直在尋求讓中國成為世界第一的機會。在一個人的一生中很少有事情，是你基於理想的考量而別人基於權謀的考量，結果卻是同一件事。一旦這種事出現了，我們就應該去做，我們就應該做！」

六月的陽光照在粉影斑駁的黑板與高貴的古董桌面上，阿卡尼 - 哈密德的座椅上方的相框中是一隻雄豹，攝影師是他的伴侶，一位生物學家，兩年前他和她一起到南非進行一趟狩獵之旅。今天阿卡尼 - 哈密德的身上穿了一件普通的運動黑色 T 恤、工作短褲和涼鞋，手臂上滿是抓痕，說是他的寵物虎斑貓的強烈愛意。訪問期間，有時他跳到黑板前，清掉一區，用粉筆寫出一段新數學論證，接著又迅速起身輕擁一位從走廊禮貌性望進房間的訪問學者。午餐時間，阿卡尼 - 哈密德身邊都是學生，他在餐巾上潦草寫下理論，辯護某個論點，解釋另一個，一邊繼續壓榨著可口可樂 zero。（他攝取咖啡因的高峰期是好幾年前，一天能喝掉 15、16 杯濃咖啡。）

阿卡尼 - 哈密德對於他的時間非常慷慨，即使連在門外徘徊、他半開玩笑稱之為「跟蹤狂」的年輕人也一樣。阿卡尼 - 哈密德號稱從來沒有拒絕過任何一位想跟他一起工作的研究生，他的團隊裡有很多人已經在頂尖研究型大學任教，成為他們這一代的領導人。在哈佛大學受教於阿卡尼 - 哈密德的張（Clifford Cheung，音譯）如今任職於帕沙迪納的加州理工學院，他說「當尼瑪的學生，就好像波特（Usain Bolt）當你的徑賽教練一樣。」<sup>①</sup> 麻省理工學院的塔勒（Jesse Thaler）則描述說，他幾乎每天都待在阿卡尼 - 哈密德熙熙攘攘的哈佛研究室，既有充滿笑聲的瞎扯閒談，也有「神經緊繃、咖啡因上身的學術公審」塔勒還補充說：「如果檢視我到目前為止的物理職涯高點，許多都是我（自覺與否）試著跟隨尼瑪的榜樣——以無拘無束的熱情追

索自我的想法，禮貌的無視唱反調的人，解決正前方的阻礙，然後喝上一杯濃咖啡。」

阿卡尼 - 哈密德的職涯始終充滿破壞性的力量。他的成名作出現於 1990 年代中期，當時他是加州大學柏克萊分校的研究生，發現早他 20 年出道的頂尖學者狄莫波羅思的一篇預印稿中有錯，於是他的指導教授建議狄莫波羅思是否中止在歐洲的休假，回來和阿卡尼 - 哈密德一起討論，當時後者正要到史丹福大學的 SLAC 國家加速器實驗室任博士後。狄莫波羅思說：「這還真不像話，我幹嘛讓一個博士後決定我的未來。」不過他終究回來了，而且從此和阿卡尼 - 哈密德成為知己與合作者。狄莫波羅思說：「我們在一起有一段頗為多產的美好時光，他是我此生最要好的朋友之一。」他們最大的合作成果，是運用假設性的多餘空間維度協助彌補標準模型的缺陷，其中這些空間維度是卷曲在我們日常三維空間的每一點上。

儘管阿卡尼 - 哈密德一個接一個的發展出新鮮的研究領域，他對現實世界的分心事務卻很抗拒，譬如停車規則。做為柏克萊的年輕教授，阿卡尼 - 哈密德堅持把車停放在他研究大樓旁幾乎全空的停車格，而非指定給他、位在遠處的停車場。這導致他和停車管理員一場傳奇性的戰爭，後者甚至把他的照片擺到「通緝」海報上，這也驅使阿卡尼 - 哈密德從柏克萊轉到哈佛去。在那裡他的停車問題稍微緩解（雖然他的車固定被拖到附近的停車場），事業也飛黃騰達。一位哈佛物理學家富蘭克林（Melissa Franklin）說：「他讓整個地方活了過來。」當阿卡尼 - 哈密德在 2008 年轉到高等研究院，去尋求「純粹的目標」並解放教書的責任後，他的停車爭議終於獲得解決，但是富蘭克林說：「我們可是一把鼻涕一把淚。」

<sup>①</sup> 譯註：Usain Bolt 是牙買加跑名將，男子 100 公尺、200 公尺以及 400 公尺接力賽的世界紀錄保持人與奧運金牌。



■ 阿卡尼 - 哈米德和 Pinner (左) 和 D'Agnolo。 (Quanta 提供, Béatrice de Géa 攝影)

謐靜的高等研究院雖然是偉大思想家愛因斯坦與哥德爾 (Kurt Gödel) 的終老所在，卻沒有減緩阿卡尼 - 哈米德的野心，如今，除了持續泉湧而出的新點子之外，阿卡尼 - 哈米德為了追求他夢想的對撞機，日夜充斥著航班和會議的行程。六月訪問那天稍晚的時間，阿卡尼 - 哈米德先把腦汁快被榨乾的記者送到火車站後，就要開車到紐華客機場趕搭一班快起飛的夜航班機到香港，在香港的學術會議演講完後，又要搭機到北京去見他的中國同事，指導對撞機計畫的研究。「我睡覺就像獅子吃東西」阿卡尼 - 哈米德為我解釋：「多半只吃一點，間而會有美味的大餐。」

## 奔向群星

阿卡尼 - 哈米德的母親阿勒斯蒂 (Hamideh Alasti) 相信她的兒子念念於理解世界的心志，也曾救了他自己的命。阿卡尼 - 哈米德出生於休士頓，

他的父親雅法 (Jafar Arkani-Hamed) 為阿波羅計畫工作，分析月球的物理性質 (阿卡尼 - 哈米德的母親和妹妹 Sanaz “Sunny” Jensen 也都是物理學家)。這個家庭當時來回於伊朗和美國的學術圈，小尼瑪嗜讀像里歐昆 (Arkady Leokum) 所寫的《告訴我為什麼》(Tell Me Why) 這類書籍，並且喜歡動手做科學探索，像是捕捉飼養青蛙、蛇、蠓蠖，研究牠們

的行為。阿勒斯蒂說：「他根本不在意物質生活，當你希望他穿上一件比較好的衣服時，他就是不要。」父親雅法補充說：「在德黑蘭時，我幾乎每個週末都帶尼瑪去健行。他脾氣很執拗，我記得有次走了 11 個小時，當時他才四歲，我問他要不要坐到我肩頭，被他拒絕了。」

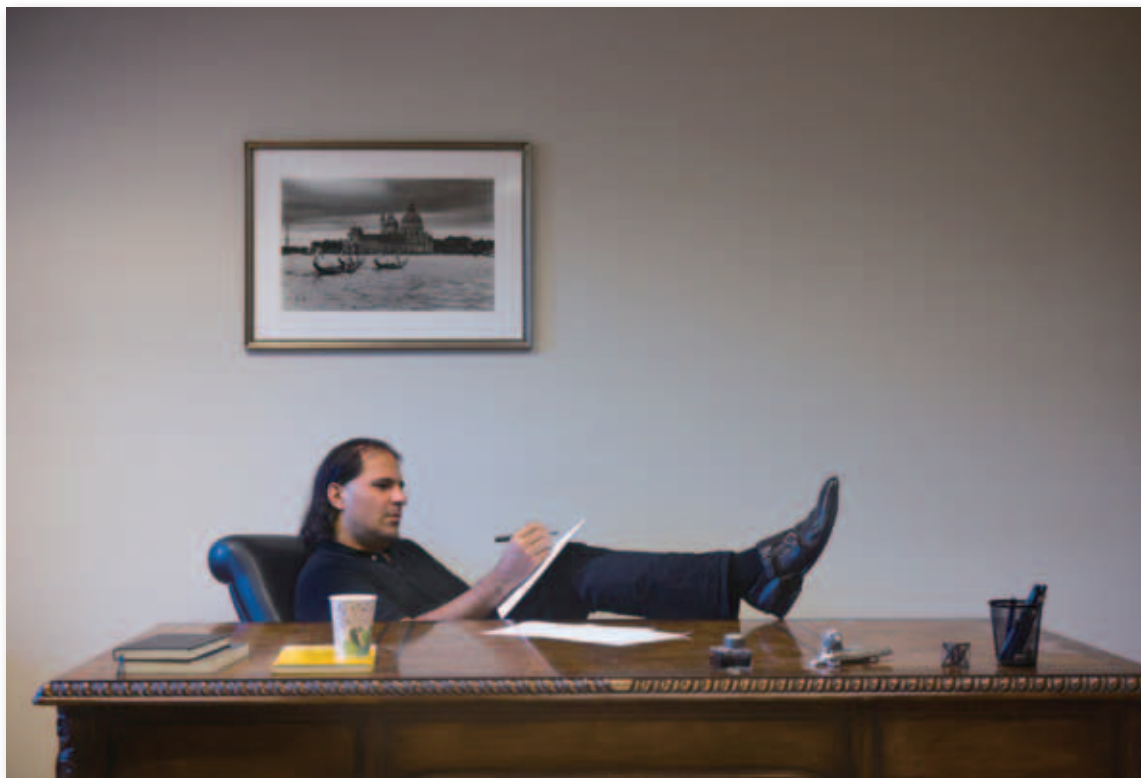
1979 年，伊朗巴勒維國王的政權被推翻，他們全家再次從美國回到家鄉，響應表現自由與機會自由的承諾。尼瑪會參與父母和他們受西方教育的朋友之間的政治談論，他也記得閱讀以波斯語漫畫呈現的〈共產黨宣言〉。但是不到一年，執政的何梅尼 (Ayatollah Khomeini) 開始關閉大學，雅法當時在德黑蘭沙里夫科技大學任職，他和 14 位同事聯合寫了一封公開信反對。雅法說，署名的人全部上了黑名單，被抓到的人不是入獄就是被吊死。他馬上躲起來，最後花了五萬美金 (他終生的儲蓄) 給走私集團，用馬匹將他和家人運出伊朗。結果因

為運送環節疏失，有個接手的走私客沒有收到全額費用，竟然就把尼瑪、他的父母，以及還在襁褓期的妹妹拋棄在伊朗與土耳其之間的群山峻嶺中。

本來兩天的旅程，走了一個禮拜，10歲的尼瑪發著41度的高燒，虛弱到無法走路。雅法只好讓妻子兒女偎依在一處谷地，自己奔跑求援。三個小時後，他遇到一群游牧的庫德族人，其中一位是庫德

族反何梅尼政權的領導人，在尼瑪的記憶裡他是一位非常神氣的英雄，派送馬匹救援這個家庭。在日落的掩護下，族人引領這家人離開伊朗，瀕臨死亡的小男孩委靡的坐在母親的馬上。阿勒斯蒂說：「他的情況非常糟。」為了鼓勵他，阿勒斯蒂將尼瑪的注意力導引到橫跨天空、宛如髮帶的煜煜群星——銀河系，並且承諾只要全家安全了，就為他買一副望遠鏡。她說：「這讓他非常非常專注，足以令他繼續活下來。」一旦他們平安跨越國界，全家就飛往多倫多。

加拿大的生活美好，只有一件事稍嫌刺耳。阿卡尼-哈密德說：「當時人們想事情的胸懷和野心似乎有個上限。」他尤其很訝異，許多加拿大人對於協助NASA建造太空梭自動遙控臂一事極為自傲<sup>①</sup>，他記得太空梭發射的新聞報導裡，「到處可見自動臂的特寫，尤其是臂架上的Canada字樣，我毋寧覺得太空梭本身才是更大的事情。」在學校，阿卡



（Quanta 提供，Béatrice de Géa 攝影）

尼-哈密德排斥繁忙的作業，成績中等，例外的只有數學（反正就一直考試）和英文（因為他愛老師，也喜歡閱讀和寫作），不過他倒是在加拿大全國物理考試中拿到最高分。到了高中高年級時，就很清楚阿卡尼-哈密德將會是成功的理論物理學家。他和他的父母都記得物理老師的調侃：「你將會是下一個愛因斯坦，而我就是那位曾經給你B的老師。」

就讀多倫多大學後，家庭作業不再重要，阿卡尼-哈密德的第一次物理考試拿A，到了大四就已經幫忙教研究生量子場論。許多人被他對數學和物理感染式的熱情所吸引。阿卡尼-哈密德的朋友與同學，如今是數學家的湯馬斯（Hugh Thomas）說：「大部分人很習慣的講法是，這些科目難以下嚥因

① 譯註：全名太空梭遙控操作系統（Shuttle Remote Manipulator System），還真的稱為「加拿大臂」（Canadarm）。





（Quanta 提供，Béatrice de Géa 攝影）

此應該放棄，但他從不這樣想。其中部分原因是他真的、真的、真的、真的聰明，所以可以嘗試理解很多東西。」

### 最高的能量

阿卡尼 - 哈米德的 100TeV 對撞機計畫始於 2013 年 6 月 30 日，當時在明尼蘇達洲明尼亞波里斯舉行圓桌論壇，討論美國粒子物理學的未來。阿卡尼 - 哈米德只有五分鐘對在場的 1000 位物理學家演講，而他又是習慣口若懸河、不知所止的人，所以他很小心的事先準備了講稿。「大家都知道，我們正面對基礎物理學真正空前未有的時代。」在他述及自然性困境的議題後，他繼續說：「目前的風險遠高於過去，我們談的不再是這種或那種粒子，而是關於物理實在更深刻的結構問題……目前解決這個問題最好的方法，就是攻上最高的可能能量，建造一座 100TeV 的對撞機。」

「我坐在他旁邊，看著他逐字讀出他的手稿。」另一位與談人，來自紐約大學的克藍默（Kyle Cranmer）說他感覺那天像是「陪場的小朋友……尼瑪的演說把一股生命，吹送給那些內心深處覺得需要更大加速器才能有實質進展的人……這不是特殊事物的個案，這是著手行動的無畏呼籲，就像登月計畫，他的號召基本上讓那些不這樣想的人宛如懦夫，這樣想的人則是勇士。」

阿卡尼 - 哈米德的戰鬥呼籲震撼了聽眾，主導了後續的討論，不過並沒有獲得其他與談人的同意。其中一位說他是「做夢」，許多人則贊成把伊利諾州費米國家加速器實驗室（Fermilab）規模比較小的微中子實驗當作下一個美國的大計畫——這個計畫後來出現在下一年 5 月粒子物理社群的政策形成報告書中。阿卡尼 - 哈米德強烈反對這個計畫，他最近說：「微中子物理當然很有趣，但不足以成為這個偉大國家的旗艦計畫。」他診斷分析美國物理

學家是困於「SSC 創傷後壓力症候群」，無法走出當初超導超大型加速器（Superconducting Super Collider, SSC）被災難性中止的陰影。建立於德州的 SSC 規模是 LHC 的三倍，1993 年工事被中斷停擺。阿卡尼 - 哈密德說，放棄 SSC 不只浪費數十億公帑，攪亂年輕人的職業規劃，永久性的破壞與國外機構之間的信任關係，而且「還產生愚蠢無用的想法，影響這個領域評斷本身的價值，以及向政府與公眾呈現自己的方式。」正如桑德崙所言，在美國，一個 100 億美元的 100TeV 對撞機計畫絕對是「到院前死亡。」

阿卡尼 - 哈密德很快就聽到韓濤的事蹟，他任教於美國匹茲堡大學與北京清華大學，鼓吹在中國建立高能粒子對撞機已經十年，一直到最近都沒成功。儘管中國的科學教育有極優秀的名聲，但是在基礎科學研究上卻落後歐美甚多。幾十年以來，這個國家最優秀的粒子物理學家都移民歐美，沒有培育出本土的研究傳統。

但是情況開始改變了。首先是北京正負電子對撞機（BEPCII）成功改造完成，2008 年完成一組長達 240 公尺的儲存環。2012 年，韓濤感覺到更大的改變，因為中國在南海旁的大亞灣完成重要的微中子實驗，結果發表在該年 4 月，對於這些隱秘、極輕的粒子為何會轉換形式的「微中子振盪」（neutrino oscillations）現象提供更完整的圖像<sup>①</sup>。西方科學家認為大亞灣實驗可能是中國粒子物理有史以來最重要的貢獻。

在背後推動 BEPCII 和大亞灣計畫的人是王貽芳，這位雄心勃勃的北京物理學家，早期曾在歐洲與美國任職。2011 年或許是基於實驗的成功，他被任命為北京中科院高能物理研究所（IHEP）的所長，他很快就開始在中國推動更大型的實驗。但因為建造機器耗時傷財，王貽芳和他的同僚決定先讓理論走在前面。兩年前他們決議在 IHEP 內建立理論中心，但需要找到中心的創建主任，韓濤說我

知道誰適任。

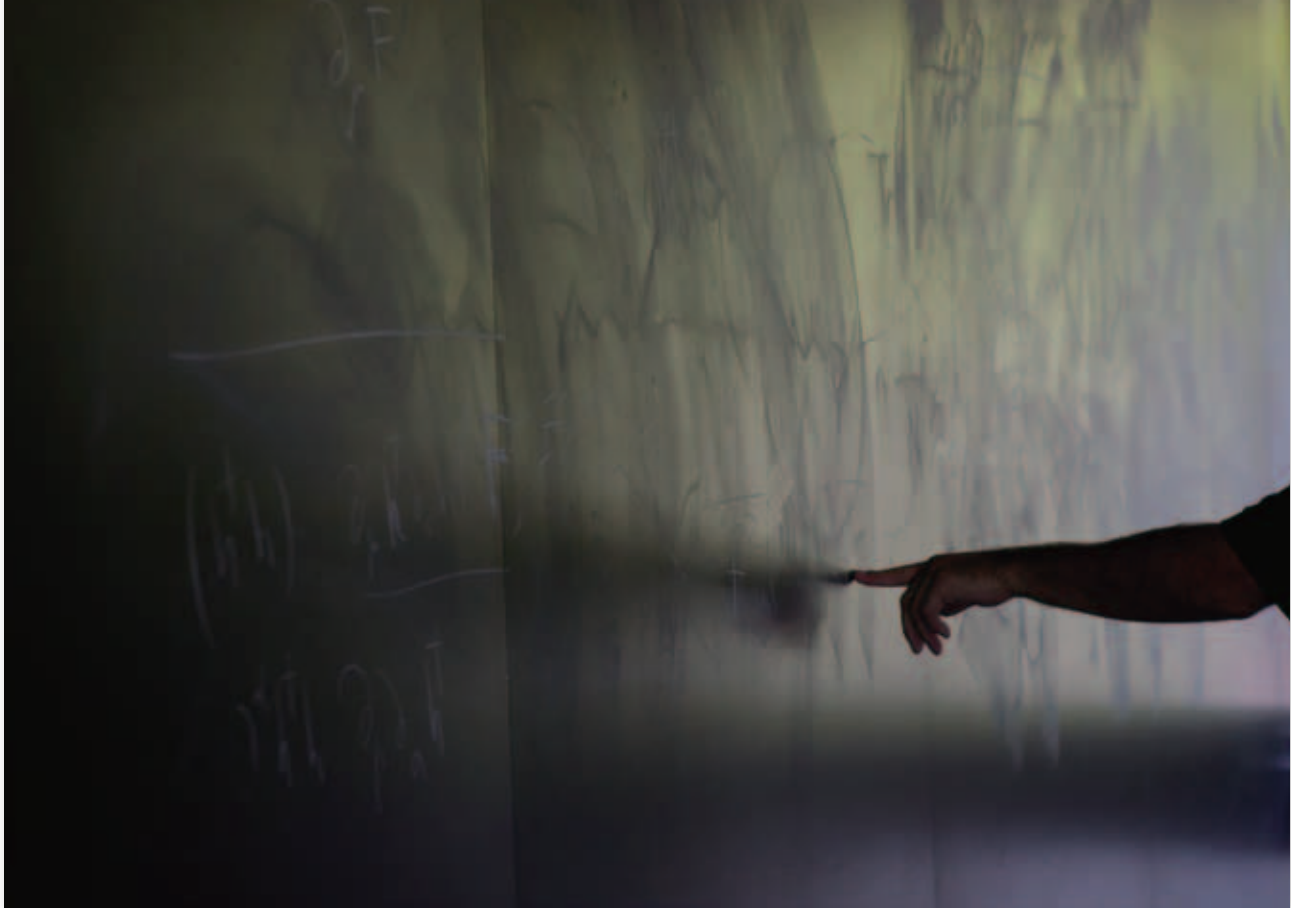
在一連串阿卡尼 - 哈密德、王貽芳和北京其他人士的會議之後，IHEP 內的高能物理前沿研究中心終於在 2013 年 12 月舉行剪綵揭牌典禮，由阿卡尼 - 哈密德任中心主任，他說：「我召集了 40 個我最熟識的對撞機物理學家。」請他們到普林斯頓安排之後到他中國研究中心的行程。在那裡，他們和中國人合作研究建立新超級對撞機的物理問題。按計畫這個機器將先成為「希格斯工廠」，在較低的能量撞擊粒子以產生希格斯玻色子，並清查新物理學の間接徵象，然後到了 2042 年，再將能量提升到 70 至 100TeV（依當時的磁科技而定）。

他們的研究繳出 50 篇研究論文，以及一份詳盡的報告，詳述實驗如何進行的細節。同時，阿卡尼 - 哈密德和任職於加州大學聖塔芭芭拉分校的格羅斯，說服其他九位世界最頂尖的物理學家，連署了一封推薦這個計畫的信函。其中之一是哈佛的數學家與弦論學家丘成桐，他在中國相當有名望，由他親自將這封信帶給中國國家副主席李源潮，根據丘成桐所言，這封滿是知名人士簽名的信吸引了李源潮的注意，在李的要求下，中國科技部長已經召開一系列會議，討論這個計畫的可行性。而丘成桐和納迪斯合著的新書《從長城到巨型對撞機》（*From the Great Wall to the Great Collider*）也將在今年 10 月上市。

當然計畫仍面臨嚴厲的挑戰。即使有了來自國際社群的大力協助，專家估計中國仍然需要在 10 年內訓練出幾千個新粒子物理學家，目前申請研究所的學生對粒子物理學的興趣已有提高的跡象，而阿卡尼 - 哈密德也一如其個性的樂觀，但是有些研究

① 譯註：微中子輕子味（flavour，有三種）在傳播時會有週期性的變化稱為微中子振盪。關於微中子的實驗已經產生幾位諾貝爾獎得主，今年剛公布的物理獎得主梶田隆章與麥克唐納（Arthur McDonald）就是因證實微中子振盪因此具有非零質量而得獎。





(Quanta 提供, Béatrice de Géa 攝影)

人員擔心增加率仍然不足。另外，用來加速質子到 100TeV 的磁鐵是由費米加速器實驗室製作的，這是美國政府單位，而且目前成本仍然是昂貴的天價。因此這個計畫需要跨國的合作，磁鐵的成本也必須在 10 年內降到一定程度，才能將計畫維持在預算內。

更麻煩的是，有些學者懷疑巨型對撞機無法提供自然性問題所需要的那一種明確的答案，而這正是阿卡尼 - 哈密德想鼓吹的。克藍默就是懷疑者之一，他以電子郵件說明：「我相當能體會現在是這個領域的關鍵時刻的想法，而自然性 / 微調性也的確是深刻的課題。但是如果說建造了 100TeV 對撞機結果什麼都沒發現，於是這就構成大自然是微調的決定性證據，這種說法我難以信服。」因為仍然有些許的可能，存在包含標準模型的自然模型，而對撞機卻可能無法偵測。（今年夏天，阿卡尼 - 哈密德和合作者就提出一套這樣的劇本，特別稱為  $N_{\text{naturalness}}$ ，可以用別的方法測試。）巴黎的粒子物理學家法寇斯基 (Adam Falkowski) 常用

部落格文章討論這個領域的發展，他辯稱如果到了 100TeV 還找不到新粒子，這將讓物理學家淪於一如現在的處境，在無線索的情況下尋求自然更完整的理論。他說：「目前沒有任何跡象顯示，這個對撞機能幫我們解決粒子物理學或宇宙學裡的任何難題。」

對撞機計畫最卓越的反對者是現年 93 歲的諾貝爾獎得主楊振寧，這位知名物理學家的研究對粒子物理學影響深遠，但他認為關心物質材料特性的凝態物理學對社會的助益更大。楊振寧的觀點雖然未見諸文章，但韓濤說這是人盡皆知，也是這項計畫的阻礙。

許多粒子物理學家期待下一代的對撞機，是因為它保障了數千個工作與這個領域的未來。而格羅斯則認為自然性是一個晦澀難明的概念，他只是為了新物理學做最後一搏。他說：「我們需要大自然提供更多提示，她必須告訴我們何去何從。」

根據韓濤的說法，在中國審議過程是不透明的，但他從旁得到的風聲令人鼓舞，而中國的粒子物理

學家也仍然持續他們的計畫。

如果中國退出，阿卡尼 - 哈密德將會把重心轉往另一個平行的（但步調慢一點的）對撞機計畫，那是 LHC 座落的歐洲 CERN 實驗室。CERN 的粒子物理學家曼加諾（Michelangelo Mangano）正參與評估這個可能性，但他建議兩者可以同時推動。「如果中國繼續推動他們的主要目標 [希格斯工廠]，一個可能的劇本寫法是 CERN 直接推向 100TeV 對撞機，然後中國藉助第一階段的經驗，直接往野心更大超越 100TeV 的目標前進。」

但是，或許根本沒有下一代的對撞機。「這個想法在某個時刻突然撞擊到我。」殷坎德拉（Joe Incandela）這麼說，他是 LHC 的粒子物理學家領導人，同時支持歐洲與中國的對撞機計畫。他說，一旦世界不再建造對撞機，建立這一切所需的合作關係與集體專業技術將在下個世代煙消雲散。「我們現有的結果將要支撐千年，或許……天啊，一切就這樣停止，只留下那些沒有解答的問題，你可以看到我們感受到的責任，尼瑪感受到這個責任，我們都覺得在這種狀況不應該結束，我們至少要往多走一步。」

### 超越時間與空間

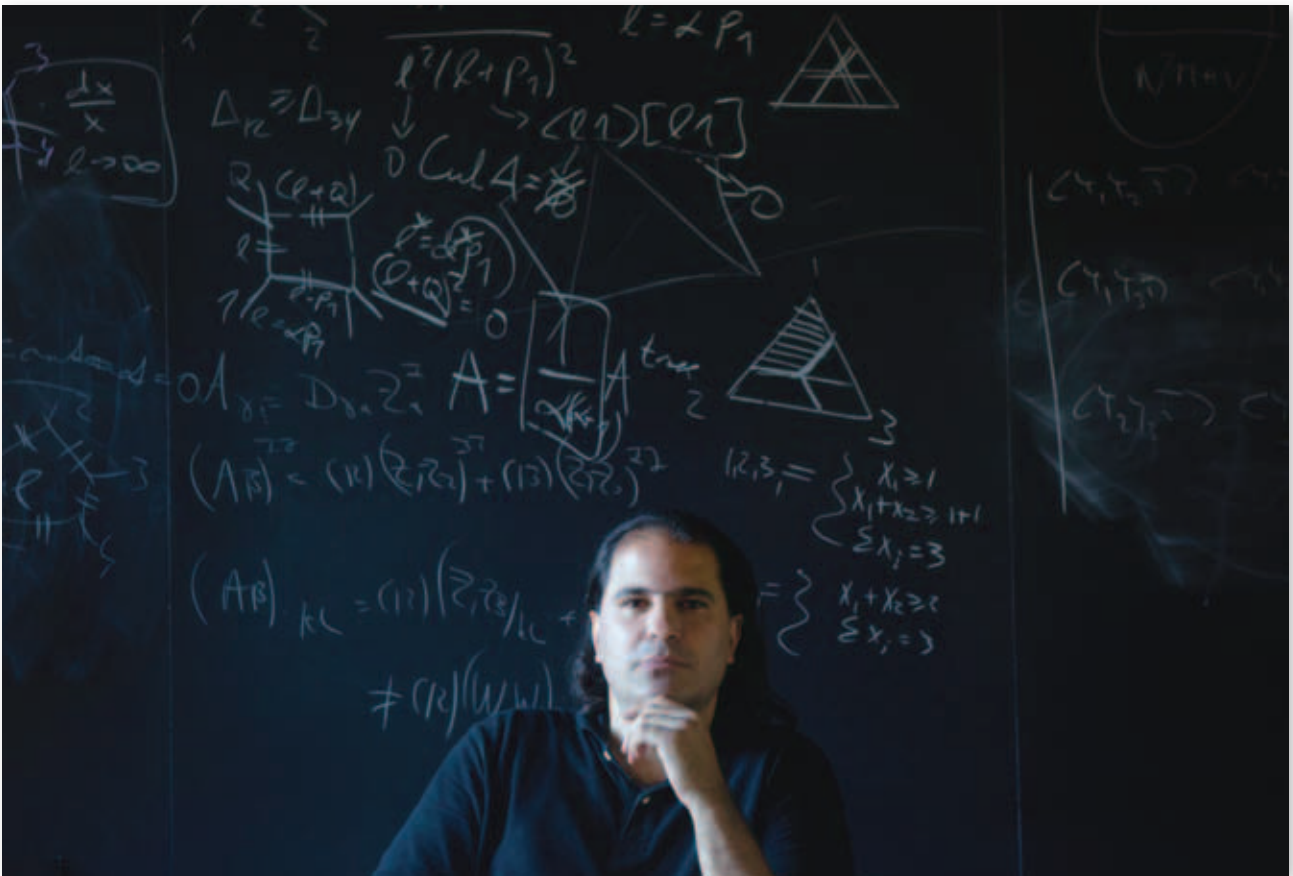
無論 100TeV 對撞機是否能實現，阿卡尼 - 哈密德留給後人的可能是完全不同，而且或許更重要的計畫。當他追索宇宙性質是否自然的問題時，同時他也試圖尋找起初是什麼導致時間和空間的出現。雖然聽起來似乎很極端，但許多物理學家現在認為，我們儼然置身其中的時空維度並非最基本的存在，而是從更深刻、更真確的實在描述裡突現出來的。2013 年，阿卡尼 - 哈密德和學生特稜卡（Jaroslav Trnka）的意外發現，提供了一道可能的線索，說明大自然背後定律的可能模樣。

他們發現一種多面幾何形體，體積隱藏了粒子碰撞結果的密碼，這些結果如果用傳統方法計算會是

很難看的數字。這項發現顯示，粒子在時空中交互作用的常見圖象，可能只是模糊了更簡潔的運作方式，也就是線、面相交的非時間性邏輯。雖然「振幅體」（amplitudehedron，阿卡尼 - 哈密德和特稜卡所取的名稱）剛開始只是描述粒子物理學的簡化版，但是學者目前已經推廣這個幾何想法，描述更實際的粒子交互作用與作用力，包括重力在內。在加州大學洛杉磯分校任職，同時也是這個研究領域領導人的本恩（Zvi Bern）說：「看起來我們可能可以走的非常遠。」

阿卡尼 - 哈密德自己的研究進展非常快，他自由的思索理論可能的走向。他相信振幅體幾何中的點線可換性，可能是粒子和弦之間神秘數學對偶性的起源，這些是弦論裡大自然的基本要素。阿卡尼 - 哈密德認為粒子交互作用只是「這個問題的嬰兒版本。」他的終極目標是要將宇宙的整個宇宙史描述成一個數學物件，舉例來說，兩顆紅星相距 20 千秒差距（kiloparsecs, kpc），一顆藍星同時距離它們 50 千秒差距的這種可能性（likelihood），隱藏著宇宙史的密碼，就像沙中埋藏的恐龍化石一樣。至於粒子的碰撞，他已經發現這些模式可以用幾何體積來表示。最終，他說從現在起算的 10 到 500 年間的任何時間點，振幅體和這些宇宙模式將會浮現，成為單一又華麗的數學結構的一部份，足以描述萬物的整體過去、現在與未來，而且是以「某種非時間性的自動方式進行。」

在最近一次與一小群博士後聚會的晚餐，阿卡尼 - 哈密德在餐巾上畫了一個五角星形，就像振幅體一樣，五角星形也是用有限條線所定義，這些線在有限點相交。阿卡尼 - 哈密德把圖形上的九個點塗黑，然後解釋說前八個點可以擺在格子點上，但不管格線設定多窄，第九個點一定只能落在格線之間，於是被迫要對應到無理數。阿卡尼 - 哈密德觀察到，數學可以證明所有的代數數都可以用有限整數個相交的點與線的圖形推演出來。根據這一點，



(Quanta 提供，Béatrice de Géa 攝影)

阿卡尼 - 哈密德在這漫長又智性的一天結束時，在大家要回家睡覺而他要趕往機場之前的時刻，給他最後的猜想：萬事萬物——無論是無理數、粒子交互作用、星球的相關性——最後都起源於自然數 1、2、3……可能的組合配置。既然這些數存在，他說，所以萬物也存在。

阿卡尼 - 哈密德認為喜歡妄想是他個人的弱點。他說：「這不是虛假的謙虛，這真的是我個人的弱點，天性如此，我也莫可奈何。當我做事時必須非常意識形態化，這點很重要。當然事後要忘掉意識形態也很重要，這樣才能繼續轉往下一件事。」思考著自然性問題，以及他追求的大自然數學理論，他接著說：「不過當然事物的進步不會這麼直接，我發現說服自己這正是真理的途徑十分重要，至少也得是真理途徑之一」 $\infty$

#### 本文出處

Quanta September 22, 2015

#### 譯者簡介

周樹靜為臺灣數學科普譯者。

#### 延伸閱讀

► Wolchover, Natalie "Is Nature Unnatural?" 中譯本為〈大自然，不自然？〉，戴守煌譯，《數理人文》5（2015）。

► Gross, David; Witten, Edward "China's Great Scientific Leap Forward", 2015/09/24, Wall Street Journal. 這是格羅斯與韋頓在習近平訪問美國時的報紙投書，呼應巨型加速器計畫。

<http://www.wsj.com/articles/chinas-great-scientific-leap-forward-1443136976>

► Wolchover, Natalie "A Jewel at the Heart of Quantum Physics" 覺得本文最後談到振幅體比較語焉不詳的讀者，可以參考作者這一篇 2013 年的 Quanta 報導。

<https://www.quantamagazine.org/20130917-a-jewel-at-the-heart-of-quantum-physics/>