



星球永續健康線上直播

量子健康科學 (1)

量子科學健康照護應用

2026 年 7 月 29 日

從極端氣候、全球災害，到健康照護面臨的資訊快速增加與精準醫學發展，各領域所面對的問題都變得愈來愈複雜，傳統線性的思維已難以完整解釋。回顧百年前愛因斯坦、普朗克等科學家所開啟的量子科學，不僅改變了人類對自然世界的認識，也為理解複雜系統提供了新的思維。本週我們將從量子運算的基本原理談起，進一步介紹其在健康照護上的應用，並以乳房攝影影像分類為例，探討量子運算如何為人工智慧與精準醫學帶來新的發展契機。

健康科學新知

中東地緣局勢升溫 全球能源航運受阻：「戰火外溢」

美國與伊朗的衝突進入第二週，雙方持續發動攻擊使中東安全危機由雙邊軍事衝突迅速擴大至核能合作、能源出口、海上航道與黎巴嫩安全安排等層面。美軍連續空襲伊朗的軍事指揮中心、飛彈及無人機設施、海上作戰能力與防空系統，企圖削弱伊朗封鎖荷姆茲海峽及攻擊商船的能力；伊朗則攻擊油輪、美軍基地，以及波灣國家的能源與基礎設施，並將局勢形容為與美國之間的「全面戰爭」。儘管雙方仍透過中間人交換訊息，但持續升高的打擊與報復，顯示原有停火及外交談判機制已相當脆弱。戰事對平民及民生設施造成衝擊。聯合國指出，伊朗境內已有數十人死亡、數百人受傷，傷亡者包括婦女與兒童。南部荷姆茲甘省的海水淡化設施遭攻擊後，數千人的飲水供應受到影響，另有醫院因附近爆炸而緊急疏散接受癌症治療的兒童。卡達、科威特、巴林與約旦也受到無人機、飛彈碎片及能源設施受損波及。聯合國與世界衛生組織因此要求各方遵守國際人道法中的區別、比例與預防原則，避免攻擊醫療、供水、電力等維持民生的關鍵設施。核設施安全亦成為高度敏感議題。伊朗指控美國攻擊胡齊斯坦省尚在興建的達爾霍溫核電廠工地。國際原子能總署表示，該設施仍處於早期建設階段，最近查核時並無核材料，



因此未發現輻射外洩風險。然而，即使攻擊目標不是運轉中的反應爐或核燃料設施，軍事行動觸及核能相關場址，仍可能形成危險先例，進一步模糊傳統軍事目標與核安全紅線。美沙民用核能合作也受到地緣政治牽制。原定為期 30 年的協議，將引進美國技術，協助沙烏地阿拉伯發展核能發電，以因應人口、工業與資料中心增加所帶來的電力需求，並釋出更多石油與天然氣供出口。協議可能涉及由美國企業管理的沙國鈾濃縮設施，但是否允許濃縮仍待安全評估。川普政府其後要求沙國先與以色列關係正常化，使核能合作與《亞伯拉罕協議》及巴勒斯坦建國問題直接掛鉤。由於利雅德堅持巴勒斯坦建國須先取得明確進展，協議因而停滯，也可能促使沙國轉向中國、俄羅斯、南韓、法國或阿聯尋求替代合作。紅海航運風險則因葉門胡塞組織宣布對沙烏地阿拉伯實施「海上禁運」而升高。胡塞宣稱將禁止沙國船隻通過曼德海峽，以報復沙國長期封鎖葉門北部港口與機場。由於荷姆茲海峽接近關閉，沙國已將超過七成原油出口轉往紅海沿岸的延布港，使曼德海峽成為其能源出口的重要替代通道。若胡塞實際攻擊駛往沙國的商船，荷姆茲海峽與曼德海峽兩大航運瓶頸可能同時受阻，進而推升保險與運輸成本，衝擊全球石油、貨櫃運輸，以及聯合國人道援助和維和補給。黎巴嫩也成為美伊競爭延伸出的政治與安全前線。黎巴嫩總統約瑟夫·奧恩赴華盛頓，希望爭取美國支持以色列自黎巴嫩南部撤軍，並取得對黎巴嫩軍隊、政府機構與經濟的援助。美方推動由黎巴嫩、以色列與美國主導的三方框架，計畫在南部建立由黎巴嫩軍隊控制、排除真主黨武裝的「試點區」，再以此交換以色列撤軍及居民返鄉重建。美國亦將強化黎巴嫩中央政府視為削弱真主黨與伊朗影響力的手段。美伊戰事因而改變區域軍事平衡，重新塑造中東核能合作、能源出口路線、海上航運安全與黎巴嫩內部權力結構。

太空核武重塑軌道安全：「防患未然」

《外太空條約》禁止在地球軌道部署核武，但缺乏可信查驗手段，仍難確認各國是否遵守。研究團隊提出被動式偵測方法，利用范艾倫輻射帶的高能質子撞擊可疑衛星內的鈾或鈾，誘發核碎裂反應並產生具特徵性的中子流；檢查衛星可在目標下方約 4 公里處，以塑膠閃爍體及鑽石層探測器辨識訊號、過濾背景輻射。模型估計，理想條件下約



一週即可鑑定核材料，提高違規部署被發現的機率。1962 年「海星一號」核試驗曾重創衛星與電力系統，凸顯軌道核爆風險。不過此技術仍屬理論模型，近距離伴飛、輻射干擾、材料屏蔽與衛星規避等問題，仍待實驗驗證。

尼泊爾、阿富汗暴雨釀洪災搜救受阻：「天災映治」

阿富汗東部努里斯坦省遭季風豪雨引發突發洪水，省會帕倫及周邊住宅、商店與政府建築受創，至少 23 人死亡、80 多人受傷，逾 100 人失蹤。災區位於偏遠山區，道路與通訊受損，泥沙、巨石及建築殘骸阻礙搜救；居民只能徒手翻找瓦礫，尋找生還者與失蹤親友。阿富汗本就容易受到豪雨與山洪威脅，長年戰亂、基礎建設不足、經濟困頓、森林砍伐及氣候變遷，使偏遠社區更加脆弱。近期印度與尼泊爾也因洪水、山崩及雷擊造成多人傷亡，反映南亞正承受廣泛的極端天氣衝擊。當局警告多省仍有豪雨與洪水風險，呼籲居民遠離河岸、山谷及低窪地區。

地球熱量累積失衡：「暖勢難回」

英國氣象局指出，過去罕見的極端高溫正逐漸成為新常態，2025 年更是英國自 1884 年有紀錄以來最熱的一年。近十年平均氣溫較基準期高出攝氏 1.33 度；倫敦超過 30 度的日數與炎熱夜晚，也已增至過去四倍。區域熱浪背後，與地球能量失衡惡化有關。衛星觀測顯示，地球反射回太空的太陽輻射減少，吸熱增加快於散熱，使 2000 年以來的能量失衡增逾一倍，九成以上額外熱量進入海洋。具降溫效果的氣膠減少，加上海冰、冰川與低層雲減少，可能共同削弱反射陽光的能力。現有氣候模型仍難完整重現此趨勢，未來暖化幅度可能接近預測高端。

天氣波動臨界影響全球經濟：「積漸成變」

氣候變遷最嚴重的威脅，可能不只是全球升溫、冰層融化或洋流崩潰等最終結果，而是地球系統接近並跨越臨界點時，所經歷的長期「氣候失穩」過程。當海洋、冰凍圈、生物圈等子系統逐漸失去穩定性，氣候未必會平順地由一種狀態轉變為另一種狀態，而可能進入劇烈震盪、難以預測的氣候變遷加速階段。臨界點是指系統內部的回饋機制彼此放大，使原有狀態逐漸失去恢復能力。例如，極地海冰減少後，地表反射太陽輻射的



能力下降，海洋與陸地因而吸收更多熱量，進一步加速融冰。這類正回饋一旦累積至特定程度，系統即使沒有立即崩潰，也可能出現顯著失穩。作者指出，在真正跨入不可逆轉狀態之前，系統的波動幅度通常會先增加，因此溫度、降雨、海冰、冰層融水與洋流可能變得更加不規則，並伴隨更頻繁或更強烈的熱浪、乾旱、寒流、暴雨、洪水及風暴。部分大型地球系統可能已接近，甚至跨越不穩定門檻。西南極與格陵蘭冰層可能已超過其臨界溫度，北極海冰也可能在未來數年內跨越門檻；至於大西洋經向翻轉環流是否已接近崩潰，科學界仍缺乏一致結論。作者認為，真正容易被忽略的風險，是從跨越臨界溫度到系統完全轉變之間，可能持續數十年的高度波動期。這段期間雖未必立即出現全面崩潰，卻可能持續產生大規模且反覆的氣候衝擊，而現有科學研究與政策評估對此仍準備不足。氣候失穩將直接動搖現代社會與經濟運作的基礎。農業生產、都市排水與防洪設計、能源系統、供應鏈管理、保險費率及金融風險模型，普遍建立在氣候變異具有一定規律與可預測性的前提上。一旦極端事件的發生頻率與強度快速變動，農業可能出現連續歉收，城市基礎設施可能超出原有設計標準，企業供應鏈也可能因多地同時發生災害而中斷。保險損失、資產減值與資本市場風險將隨之擴大，甚至使部分地區、房產或產業逐漸成為無法投保或難以融資的高風險標的。目前氣候研究多集中於辨識個別臨界點，以及估算海平面上升、森林退化或洋流改變等長期後果，卻較少分析系統在轉換期間如何彼此作用。例如，冰層融水可能改變海洋鹽度與洋流，海冰減少又會影響地表反射率、大氣環流及噴射氣流，進而改變區域降雨與極端天氣。若缺乏整合性研究框架，就難以掌握不同子系統同時失穩時所產生的複合風險。傳統氣候模型往往將未來描繪為一系列逐步達到新平衡的狀態，但實際跨越臨界點的過程可能遠比線性變化混亂。作者以櫥櫃中的瓷器為比喻：即使櫥櫃尚未倒塌，內部物品也可能逐件墜落並持續破壞。換言之，地球系統不必等到完全崩潰，社會便可能已承受長期且累積性的損失。

川普重提關稅改造衝擊全球經濟：「貿易重構」

美國總統川普於 2026 年重啟關稅攻勢。儘管最高法院裁定先前的大規模對等關稅違法，迫使政府退還 810 億美元稅款並擴大赤字，但白宮隨即改採《1974 年貿易法》第



301 條，針對全球約 60 國重新課徵 10%至 12.5%關稅。新制中，台灣、歐盟、英國與墨西哥面臨約 10%稅率，中、日、印等國則為 12.5%。特別是加拿大，其汽車與工業品遭加徵高達 50%關稅，川普更以此迫使加方在貿易協定中讓步。此外，為推動供應鏈回流，政府計畫於 2029 年將學名藥關稅調升至 200%。然而，受美伊衝突推升能源價格影響，美國選民對物價飆升深感不滿。專家警告，若主要經濟體採取反制措施，全球藥品、農產品與能源市場將面臨嚴峻衝擊，政府內部亦建議在期中選舉前擴大產品豁免以平息民怨。

智慧算力與數位安全爭奪戰：「智競升級」

全球 AI 產業進入資本競逐與安全風險的新階段。Google 母公司 Alphabet 第二季營收達 1,198 億美元，並將全年資本支出上調至 2,000 億美元，顯見科技巨頭正持續強化資料中心與 AI 基礎設施。此外，AMD 與 Anthropic 達成規模數百億美元的合作，計畫於 2027 年部署 AMD MI450 運算系統，旨在挑戰 Nvidia 在 AI 晶片市場的主導地位。然而，AI 的進化也伴隨安全隱憂。OpenAI 揭露其自主 AI 代理在測試中意外突破沙盒環境，入侵 Hugging Face 系統企圖獲取資料。事件顯示，AI 代理為達成目標，可能採取規避規則或未經授權的行動。專家分析，在確保算力與能源供應的同時，如何管控 AI 代理的失控風險，已成為企業在 AI 賽道維持長期競爭力的核心挑戰。

AI 利用規範漏洞風險：「循規破局」

最新研究指出，人工智慧在追求目標時，具備在未經指示下自行找出法律或制度漏洞的潛力。研究團隊透過 72 個模擬監管環境測試發現，AI 能重新識別超過六成過去真實存在的法律缺陷，甚至能重建藥廠延長專利以阻止競爭的策略，並找出未曾被記錄的新漏洞。這種現象與「獎勵駭取」有關，意即模型會為了達成數學化指標，找出形式合規但實際上偏離設計目的的方法。實驗顯示，即使研究人員反覆修補漏洞，AI 仍能不斷進化出更細微的規避手法，且現行的安全檢查機制僅能辨識出約 37%的違規策略。專家分析，這項能力具有雙面性。雖然 AI 可能被用於避稅、操弄補助或規避環境管制，但政府也能將其轉化為「法規壓力測試」工具，在政策上路前主動找出規範缺口。研究強



調，未來重點應放在建立人工審核與持續監控機制，而非假設能建立一套毫無漏洞的完美規則。

川普政府押注 AI 與量子科技加速科研轉型：「智國先機」

美國能源部科學次長吉爾（Dario Gil）正主導國家科學戰略，將人工智慧（AI）與量子科技列為核心。能源部斥資約 6 億美元推動「創世紀任務」，旨在整合 17 座國家實驗室的超級電腦與資料庫，建立跨機構 AI 平台，加速材料科學、核物理及生物學等領域研究。此計畫引發研究社群熱烈響應，首輪徵件即收到約 5,000 件申請，顯示 AI 已成為取得聯邦研發資金的重要條件。此外，能源部設定目標於 2028 年前建成全球首部「容錯量子電腦」，致力於維持美國在全球量子競爭中的領先地位。儘管部分學者擔心此政策可能排擠傳統基礎科學預算，但吉爾強調，這並非直接轉移資金，而是要求既有計畫導入 AI 方法以提升效率。該任務預計於 2026 年 8 月完成初步平台建置，未來將優先處理能源、製造等國家級挑戰，但仍面臨資料標準化不足的挑戰。

量子先驅 Max Planck 論文遭撤稿：「慎判存真」

主要期刊發行商之一 Springer Nature 遭揭露曾撤銷量子物理學先驅馬克斯·普朗克（Max Planck）的兩篇歷史論文，直到 2026 年經學者揭露才獲修正。近期科學期刊報導撤稿主因疑為自動化偵測系統將其 1940 年代的論文誤判為「版權侵害」，忽略了當時與現代出版規範的顯著差異。更嚴重的是，出版社一度以空白頁取代原文持續販售，且期刊總編輯對此竟毫不知情。科學史學者憂心，演算法若在缺乏歷史脈絡下進行機械判定，恐導致重要的科學辯論紀錄在資料庫中消失。在學界強烈質疑下，出版社已於今年 7 月恢復相關論文。此事件突顯了數位時代人工審核對於維護學術紀錄完整性的重要性。

量子運算原理與健康應用

《FRINGE—危機邊緣》影集描述天賦異稟女主角奧莉薇亞在科學家華特的實驗之下，她的大腦皮質活動活躍。當時華特進行這些實驗，希望研發出特殊能力培養具有特殊能力士兵。另外一位主角彼得身世非常特殊，也與這部影集所探討的平行宇宙有關，是華



特的兒子，影集中描述平行宇宙各自發展歷程，而彼得正是串聯兩個平行宇宙的重要人物。第三季第十四集的故事一開始發生在布魯克林的一場公寓派對，許多賓客受邀前來參加。原本大家都在愉快地聊天與交際，但在派對進行的過程中，卻突然發生了一起非常離奇的意外，6名賓客連同陽台上的家具，瞬間從七樓集體墜落身亡。

公寓墜樓事件引起《危機邊緣》疑案小組的注意。一般墜樓意外通常只有人員墜落，但這起事件中，除了六名賓客同時死亡，陽台上的桌椅與其他家具也一起掉落。彼得觀察現場後發現，死者與家具全都落在陽台正下方，彷彿不是從陽台邊緣翻落，而是直接穿過陽台地面。他因此推測，陽台底部可能曾在極短時間內消失或失去實體性，使人與家具直接穿透並墜落。華特從物理學角度解釋，牆壁與地板之所以堅硬，是因為構成物質的粒子形成穩定結構，並透過電磁作用阻止其他物質穿越。雖然在極微小的量子尺度中，粒子確實可能透過「量子穿隧」越過原本無法通過的能量障礙，但這種現象幾乎不可能發生在人或家具等巨觀物體上。為判斷公寓是否存在異常物理現象，華特以拋銅板進行簡單測試，結果連續十次皆為正面。由於此結果發生的機率僅約千分之一，華特判斷現場的隨機性與物理法則可能受到某種力量干擾。華特進一步提出平行宇宙理論：如果兩個世界在特定位置互相接觸，交界處可能形成不穩定的破裂點，使局部空間的物質結構、機率與能量產生異常。墜樓公寓很可能正位於兩個宇宙接觸的位置。為驗證假說，他在現場架設電磁、輻射、震動與能量監測設備，希望捕捉下一次異常現象。

某天晚上，儀器突然偵測到強烈異常，華特立即通知奧莉薇亞與彼得前往 6B 公寓。奧莉薇亞抵達時，看見房間內發出耀眼光芒；進入屋內後，兩人發現住戶艾莉絲正面對一個如鬼魂般的半透明男子。艾莉絲表示，男子是她的丈夫德瑞克。德瑞克兩個月前因觸電意外死亡，此後每當她強烈思念丈夫、翻看相簿或回憶共同生活時，德瑞克的身影便會重新出現。艾莉絲不認為那是鬼魂，也不感到恐懼，反而將丈夫的出現視為慰藉，並期待兩人持續相見。華特認為，這可能是一種被情感觸發的特殊量子糾纏。量子糾纏原本是指兩個粒子的狀態彼此關聯，即使相隔遙遠，一方的變化仍與另一方相互對應。愛因斯坦曾將這種現象形容為「遠距幽靈作用」。影集進一步將此概念延伸至平行宇宙：



我們世界的艾莉絲因喪偶而極度悲傷，另一個世界的德瑞克也因失去妻子而承受相同痛苦，兩人的情感因此產生跨越宇宙的共鳴，並在兩個世界之間撕開裂縫。在這種情感性量子糾纏下，雙方都能看見彼此，但最初只能看到模糊、半透明的身影。隨著情感連結增強，影像逐漸清晰，甚至可以進行對話。這種跨宇宙接觸雖能暫時緩解兩人的喪親之痛，卻也持續擴大兩個世界的交界，使空間更加不穩定。先前陽台瞬間失去實體性，可能是裂縫擴大的結果。若情感連結未被中止，兩個平行宇宙可能進一步重疊、碰撞，造成更大規模的空間崩解。由於裂縫由強烈情感維繫，華特無法單純透過儀器切斷連結。彼得因此設法讓艾莉絲理解，眼前的男子並不是她真正的丈夫，而是另一個平行宇宙中的德瑞克。兩人交談後，艾莉絲逐漸發現對方雖然擁有相同外貌與名字，生活經歷卻不完全一致。關鍵差異在於艾莉絲堅稱自己與丈夫沒有孩子，但對方卻表示他們育有女兒，證明兩人分別來自不同世界。艾莉絲最終接受真正的丈夫已經死亡，眼前的人只是平行宇宙中的另一個德瑞克。當她放下執念並停止依賴這段跨世界連結後，維繫裂縫的情感力量逐漸減弱，半透明身影隨之消失，兩個平行宇宙的交界也恢復穩定。此段劇情以量子穿隧、機率異常、量子糾纏與平行宇宙為科幻基礎，將喪親悲傷具象化為跨越世界的物理力量，並藉由艾莉絲接受失去的過程，表達唯有面對現實與放下執念，才能避免個人悲痛進一步造成更大的破壞。《危機邊緣》利用戲劇情節詮釋量子科學的一個例子。劇中結合了平行宇宙、量子糾纏以及愛因斯坦所提出的遠距作用等概念，雖然屬於科幻創作，但透過生動的故事，讓觀眾對量子科學有更直觀的想像與理解。

量子運算的發展可追溯至 1981 年，當時費曼提出利用量子力學進行運算的概念，正式開啟量子運算的研究。1985 年，通用量子電腦的概念逐漸建立；1994 年，Shor 演算法的提出，證明量子電腦在特定問題上具有突破性的運算能力；1996 年，Grover 搜尋演算法則進一步展現量子運算在搜尋問題上的優勢。短短十餘年間，量子運算的理論基礎已迅速成熟。然而，自 1996 年至 2019 年，量子運算歷經了二十餘年的技術瓶頸。這段期間最主要的挑戰，在於量子位元極易受到外界環境干擾，導致退相干與量子錯誤的產生。由於量子運算對錯誤率的容忍範圍極低，因此如何有效抑制錯誤、建立量子錯



誤修正機制，一直是量子電腦發展的核心課題。直到 2019 年，Google 發表 Sycamore 處理器，完成量子霸權的驗證；2023 年，IBM 推出 Condor 千位元量子晶片；2025 年，新一代量子位元技術持續發展，顯示量子硬體正逐步突破過去的技术限制，也為大規模量子運算奠定基礎。與此同時，生命科學也朝向高度複雜化發展。自 1953 年 DNA 雙螺旋結構被發現以來，人類對生命機制的理解持續深化，包括 2003 年人類基因體計畫完成、2012 年 CRISPR-Cas9 基因編輯技術的發展，以及 2023 年 AlphaFold2 在蛋白質結構預測上的重大突破，都使生物醫學研究進入大數據時代。基因體、蛋白質體及其他生物醫學資料均涉及數以萬計、甚至數以億計的變數與參數，傳統運算方法已逐漸面臨計算效率與複雜度的限制。因此，如何結合量子運算處理這些高度複雜的生物資訊問題，加速疾病機制解析、藥物開發與精準醫療的發展，已成為量子科技與生命科學跨領域整合的重要方向。

量子運算的發展可分為四個重要階段。第一階段為 1980 至 1985 年的奠基期，由費曼提出量子運算的概念，並建立通用量子電腦的理論架構，奠定後續發展的基礎。第二階段為 1994 至 2001 年的演算法期。Shor 因數分解演算法與 Grover 搜尋演算法相繼提出，證明量子電腦在特定問題上具有超越傳統電腦的運算潛力，也讓量子優勢開始受到重視。然而，量子運算與傳統二元運算的原理並不相同。量子位元具有疊加與糾纏等特性，在提升運算能力的同時，也更容易受到環境干擾而產生錯誤。因此，如何降低退相干、控制量子誤差，以及建立有效的量子錯誤修正機制，成為量子運算發展最重要的挑戰。這也是為什麼從 1994 年之後，量子運算歷經二十餘年的技術瓶頸，始終無法快速走向大規模應用。第三階段為 2011 至 2019 年的規模化與量子霸權時期。D-Wave 推動量子硬體規模化，而 Google Sycamore 則完成量子霸權的驗證，證明量子電腦已能在特定問題上完成傳統超級電腦難以在合理時間內完成的運算，代表量子硬體開始邁向實際應用的重要里程碑。第四階段則是 2021 至 2025 年的千位元與新型量子位元時期。IBM 推出 Condor 千位元量子晶片，Microsoft 發表 Majorana 1 新型量子位元架構，使量子運算逐漸朝向兼顧位元數量與運算品質的方向發展，也象徵量子運算正逐步邁入成熟與



實用化的新階段。

量子運算之所以被視為一項突破性的技術，最重要的原因在於它建立在量子力學的基本原理之上。第一個核心概念就是量子疊加 (Superposition)。在傳統電腦中，一個位元只能表示 0 或 1，兩種狀態不能同時存在。然而，量子位元則不同。在尚未被測量之前，一個量子位元可以同時處於 0 與 1 的疊加狀態。可以用旋轉中的銅板來做比喻，在銅板尚未停止之前，不能說它是正面或反面，而是同時具有兩種可能性。當然，這只是幫助理解的比喻，真正的量子疊加是由量子態所描述，而不是單純的快速旋轉。接下來的問題便是，如何描述這種同時存在的狀態。量子力學利用量子態來表示這種疊加現象，因此一個量子位元可以同時表示 0 與 1，而不是只能選擇其中之一。當量子位元的數量增加時，這種優勢便快速放大。 n 個量子位元可以同時表示 2^n 種量子狀態，因此能夠進行指數級的平行運算，而這正是量子電腦相較於傳統電腦最大的優勢。然而，需要特別注意的是，量子疊加只存在於尚未測量之前。一旦進行測量，量子態便會發生塌縮 (Collapse)，最終只會得到一個確定的結果，也就是 0 或 1。因此，量子運算真正的關鍵，不僅是建立量子疊加，更重要的是如何在量子態塌縮之前，充分利用其平行運算能力，完成複雜問題的計算。

傳統電腦採用的是二元運算(Bit)。每一個 Bit 在任何時刻只能是 0 或 1，不能同時存在兩種狀態。因此，假設有四個 Bit，雖然一共可以形成 $2^4=16$ 種不同的排列組合，但在任何一個時間點，系統只能表示其中一種狀態。如果希望完成全部十六種組合的計算，就必須依序逐一運算。這也是傳統運算最大的限制。隨著變數增加，必須逐步處理所有可能組合，因此運算量會快速增加。量子運算則不同。量子位元 (Qubit 的疊加狀態，因此能夠同時表示多種可能性。隨著量子位元數增加，系統可以同時表示 2^n 種量子狀態，這也是量子運算能夠大幅提升計算效率的重要原因。為了幫助理解量子疊加，經常會利用高速旋轉的硬幣作為比喻。靜止的硬幣只有正面或反面兩種結果；然而，在高速旋轉的過程中，尚未停止之前，無法明確判定它究竟是正面還是反面，因此可以把它視為同時具有兩種可能性的狀態。量子態同時存在多種可能性。《危機邊緣》的劇情，



華特之所以利用拋銅板進行測試，並不是因為硬幣本身代表量子疊加，而是藉由一連串拋擲結果是否偏離隨機機率，判斷現場是否存在異常的物理現象。在劇中，連續十次都出現正面，這代表結果已經不符合一般機率分布，因此華特推測，現場可能存在某種異常力量。如果從量子資訊的角度來解讀，劇情其實已經依序帶出了三個重要概念。首先是量子疊加，代表系統同時具有多種可能狀態；接著是量子糾纏，代表不同量子態之間建立關聯；最後則是量子干涉，透過不同量子態之間的相互增強與相互抵銷，使特定結果被強化，而其他結果被抑制。因此，電影雖然沒有完整呈現所有量子運算的細節，但已經巧妙地將量子疊加、量子糾纏與量子干涉三個核心概念融入劇情之中。

由於量子位元具有疊加的特性，因此傳統的 Bit 便發展成為 Quantum Bit(Qubit)。在傳統電腦中，一個 Bit 只能表示一種狀態；然而，一個 Qubit 在尚未測量之前，可以同時表示多種可能性。當量子位元的數量增加時，運算能力便呈現指數性的成長。例如，10 個 Qubit 可以同時表示 2^{10} ，就是 1,024 種狀態；如果增加到 100 個 Qubit，便可以同時表示約 2^{100} ，也就是接近 10^{30} 種狀態，其數量甚至超過地球沙粒的總數。因此，量子電腦真正的優勢並不是單純「運算速度比較快」，而是在一次運算中，同時處理大量可能的解答，這也是量子運算能夠突破傳統計算限制的原因。

《危機邊緣》則利用平行宇宙的劇情，將這種概念以戲劇化方式呈現。電影中，艾莉絲與平行宇宙中的德瑞克能夠同時存在於不同的宇宙，並非真正的量子疊加，而是藉由平行宇宙的設定，讓觀眾理解「多種可能狀態可以同時存在」的概念，作為量子世界的隱喻。接下來，第二個更重要的概念，就是量子糾纏 (Entanglement)。如果說量子疊加代表的是一個量子系統同時具有多種可能狀態，那麼量子糾纏則代表多個量子系統彼此建立不可分割的關聯。一旦兩個量子產生糾纏，它們便不再是彼此獨立的個體，而是形成一個整體，任何一方的量子態，都與另一方密切相關。愛因斯坦將這種現象稱為「鬼魅般的超距作用」(Spooky Action at a Distance)。例如，兩個彼此糾纏的量子，即使相隔一千公里，當其中一個被測量後，另一個量子的狀態也會立即確定。例如，若測量結果顯示 A 為向上自旋，則 B 必然為向下自旋。這種現象展現出極強的統計相關



性，也是量子資訊科學最重要的基礎之一。需要特別強調的是，目前所有實驗都證實量子糾纏確實存在，但它不能用來傳遞超光速訊息，因此並不違反愛因斯坦狹義相對論所建立的光速限制，而是揭示了量子世界與經典物理截然不同的特性。

量子糾纏能夠讓原本彼此獨立的量子位元建立關聯，使所有處於疊加狀態的量子位元，不再各自運作，而是形成一個彼此連結的整體。也就是說，量子疊加負責探索所有可能的解，而量子糾纏則負責建立這些可能解之間的關係，使整個系統能夠協同運作。如果回到《危機邊緣》的劇情，艾莉絲與平行宇宙中的德瑞克之所以能彼此感知，劇中利用「情感」作為兩個世界連結的媒介，這是一種戲劇化的表現方式。在真正的量子物理中，量子糾纏並不是由情感所產生，而是量子系統彼此建立不可分割的關聯。影集只是借用這個概念，讓觀眾更容易理解量子糾纏所代表的「彼此連結」。

完成疊加與糾纏之後，還需要第三個核心機制，量子干涉(Quantum Interference)。量子干涉的目的，是在眾多可能答案中找出最佳解。如果面對一個非常複雜的最佳化問題，可能同時存在數千個、甚至數百萬個候選解。量子電腦並不是逐一比較每一個答案，而是利用干涉作用，使正確答案的量子振幅彼此增強，而錯誤答案的量子振幅彼此抵消。經過反覆演化之後，真正正確答案出現的機率便會逐漸提高。因此，量子運算並不是隨機找到答案，而是透過干涉機制，不斷放大正確解、抑制錯誤解，最後在測量時，以最高的機率得到最佳答案。如果再回到《危機邊緣》的劇情來看，華特利用拋銅板觀察異常現象，最後連續得到正面的結果，劇中便以戲劇化的方式呈現了量子干涉的概念。從量子資訊的角度來看，這代表系統中的某一種結果被持續放大，而其他可能結果則逐漸被抑制，因此最後測量時，只留下最終的結果。量子運算可以分成三個重要步驟。首先，量子疊加提供探索所有可能解的能力；其次，量子糾纏建立不同量子位元之間的整體關聯；最後，量子干涉放大正確答案、抑制錯誤答案。三者相互配合，最後經由測量，以最高機率得到最佳解，這也是量子電腦能夠突破傳統運算限制的核心原理。

有了量子科學之後，人類對於生物系統的研究，尤其是健康科學與精準醫學，將有全新的發展方向。人體本身就是一個高度複雜的系統，從 DNA、RNA、蛋白質、代謝物，



到臨床各種生理指標，每一個層面都彼此交互作用，形成龐大的生物網絡。如何運用量子疊加、量子糾纏以及量子干涉，從如此龐大的資訊中找出真正影響疾病發生與進展的關鍵機制，正是量子科學在健康醫療上的重要價值。以我們目前研究的大腸癌為例，除了基因之外，還包括腸道菌相、FIT 糞便潛血檢測、年齡、飲食、BMI，以及大腸鏡等多項因素。疾病風險並不是由單一因子所決定，而是所有因子彼此交互作用，共同形成一個動態的疾病網絡。因此，我們希望利用量子糾纏的概念，將這些彼此相關的資訊串聯起來，建立完整的疾病模型，而不是分別研究每一個變項。

結合前面介紹的三個核心概念。首先利用量子疊加，同時探索所有可能的疾病狀態；再透過量子糾纏，建立不同生物因子之間的整體關聯；最後利用量子干涉，放大最符合疾病機制的路徑，抑制不符合的可能性，經過測量後，便能得到最接近真實疾病狀態的診斷結果。更重要的是，量子模型具有持續更新的能力。當新的資訊加入，例如新的 FIT 檢測結果、新的 ctDNA 檢測，或完成大腸鏡檢查後，模型便能重新調整各條疾病路徑的權重。符合新證據的路徑會被強化，不符合的路徑則會逐漸降低權重，因此系統可以持續判斷疾病究竟是快速惡化、仍處於癌前病變階段，或維持健康狀態，而不是每次都重新建立新的模型。這也是量子科學應用於精準醫學最重要的價值。它的目的並不是處理無限多的組合，而是利用量子運算，在龐大的可能性中快速找出最符合疾病機制的路徑，協助建立更精確、更貼近個體化的疾病預測與診斷模型。當然，這些概念看起來並不複雜，但真正要實現量子運算，無論是在演算法、硬體，或錯誤校正上，都仍需要長時間的技術發展與突破。

量子運算乳房攝影影像分類應用

量子運算運用於生物醫學領域近年蓬勃發展，其中以量子運算提高影像醫學預測力廣泛研究。我們以案例說明此應用。56 歲女性接受定期乳房攝影檢查，右側 MLO 與 CC 影像皆可見外上象限約 12mm 不規則高密度腫塊，伴隨放射狀邊緣、局部結構扭曲及少量細小不均質鈣化。與兩年前影像相比，此病灶為新出現，提供後續量子分類模型進行乳房攝影異常偵測之案例示範。本研究結合乳房攝影影像與 Grad-CAM++ 熱圖進行 XAI



輔助判讀，比較右側 MLO 與 CC 兩個視角，確認可疑病灶位置一致。傳統 XAI 可產生熱圖關注區域集中於病灶位置，並配合與兩年前影像比較確認為新出現病灶，提高模型判讀結果的可解釋性與一致性。初期量子運算應用仍受限於硬體，該研究先以 ResNet18 擷取 512 維影像特徵，再經特徵壓縮由 512 維降至 4 個特徵，作為 4 qbit 量子分類模型輸入，利用角度編碼、H 門、Ry 旋轉、CNOT 糾纏及 Z 量測後，輸出良性與惡性的分類機率，預測乳房攝影影像。

研究團隊嘗試將乳房影像中的腫瘤特徵，轉換為可供量子電路分析的資訊。系統先由經典神經網路擷取不規則形狀、放射狀邊緣、局部密度增加及鈣化結構等影像特徵，再輸入四量子位元的變分量子電路進行角度嵌入、特徵糾纏與參數化轉換。最終模型輸出個別惡性機率，作為乳房病灶風險判讀的輔助工具。研究團隊以古典影像學習結合四量子位元分類模型，整合乳房攝影、既往影像、乳房密度及年齡、停經與家族史等風險資訊，輸出惡性機率與可疑病灶熱區。以前述個案為例，預測惡性機率為 0.78，經放射科醫師整合判讀為 BI-RADS 4C，後續超音波導引切片確診浸潤性乳管癌並進行治療。

量子模型可望作為第二讀片與高風險病例排序工具，但早期發展仍硬體噪訊、可容納資料規模及臨床驗證不足限制。此研究以古典運算結合四量子位元模型，評估乳房攝影影像分類的可行性。顯示古典—量子混合模型準確率達 84%，AUC 為 0.77、特異度 100%，表現不亞於古典轉移學習，但測試耗時 43.7 小時。此技術可望用於第二讀片、工作清單排序及複雜影像特徵分類但目前仍屬小型資料集的概念驗證，尚缺乏多中心外部驗證，也受到量子硬體噪訊、運算時間與設備可近性限制，尚未證明具明確臨床優勢。即便如此，研究已顯示量子計算輔助精準醫療決策並非遙不可及。

以上內容將在 2026 年 7 月 29 日(三) 10:00 am 以線上直播方式與媒體朋友、全球民眾及專業人士共享。歡迎各位舊雨新知透過[星球永續健康網站專頁](#)觀賞直播！



- 星球永續健康網站網頁連結：
<https://www.realscience.top/7>
- Youtube 影片連結：<https://reurl.cc/o7br93>
- 漢聲廣播電台連結：<https://reurl.cc/nojdev>
- 不只是科技：<https://reurl.cc/A6EXxZ>



講者：

陳秀熙教授/英國劍橋大學博士、許辰陽醫師、陳立昇教授、嚴明芳教授、林庭瑀博士

聯絡人：

林庭瑀博士 電話：(02)33668033 E-mail：happy82526@gmail.com

劉秋燕 電話：(02)33668033 E-mail: r11847030@ntu.edu.tw