

# 助研超級電腦加密通信

# 推翻愛因斯坦論點 物理諾獎量子三傑

量子電腦和量子通信技術近年成為物理學界的顯學，但原來在20世紀大部分時間內，相關技術的理論基礎一直都處於兩派爭議之中，直到1980年代前後，3位科學家分別透過多項實驗，推翻愛因斯坦等一派學者在量子力學問題上的錯誤推論，才使量子信息科學得以蓬勃發展。這3位科學家分別是來自法國的阿斯佩、美國的克勞澤和奧地利的蔡林格，他們亦因為上述「開創量子信息科學」的貢獻，獲頒昨日公布的本年度諾貝爾物理學獎。



◆克勞澤 J.F. Clauser & Assoc.公司創辦人

◆阿斯佩 巴黎薩克雷大學和巴黎綜合理工大學教授

◆蔡林格 維也納大學教授

瑞典皇家科學院昨日宣布，將2022年諾貝爾物理學獎授予現年75歲的阿斯佩、79歲的克勞澤和77歲的蔡林格，以表彰他們在「糾纏光子實驗，驗證違反貝爾不等式和開創量子信息科學」方面所作出的貢獻。評審委員會表示，3人的研究為基於量子信息科學的新技術出現掃清了障礙，並形成了包括量子超級電腦、量子網絡和量子加密通信的龐大研究領域。3人將可平分1,000萬瑞典克朗（約706萬港元）獎金。

### 愛因斯坦「隱變量」爭議多年

在量子信息科學的發展過程中，其中一個關鍵理論是量子糾纏，即兩個處於「糾纏態」的粒子A和B（稱為「糾纏對」）即使相隔數光年之遙，也能夠具有互相聯繫的特性，當粒子A狀態發生某種改變（例如被人類觀測），粒子B的狀態必然會瞬間發生相應改變，且這種控制行為是以超光速方式發生。

不過長久以來，物理學家對於為何會出現這種現象都存在爭議，並因此分成兩派。以愛因斯坦為首一派斷定這種「超光速」行為是絕對不可能發生，他將量子糾纏稱為「遙距鬧鬼」（spooky action at a distance），認為測量結果必然受到某種未知的「隱變量」影響，並於1935年與其他學者據此提出「EPR悖論」；至於以丹麥著名物理學家玻爾為首的一派則反對這種解釋，認為量子力學的預測是對的。

1964年，認同愛因斯坦觀點的北愛爾蘭物理學家貝爾提出了「貝爾不等式」，指出如果「隱變量」真的存在，同時測量兩個分隔的粒子時，其結果的可能關聯性應該遵從某個嚴格的限制，那麼大量測量結果之間的關聯性將永遠不會超過某個值；不過如果測量結果顯示「貝爾不等式」不成立，就代表「隱變量」不存在。

本屆物理諾獎得主阿斯佩、克勞澤和蔡林格3人，正是憑着對「貝爾不等式」的實驗，證明愛因斯坦是錯的。

克勞澤設計了一個同時釋放兩粒糾纏光子的實驗，結果明顯違反了「貝爾不等式」，從而支持了量子力學，並意味量子力學不能被「隱變量」所取代。由於克勞澤的實驗仍存在一些漏洞，阿斯佩改良了他的做法，成功堵住一個重要的漏洞。到最後，蔡林格透過精密的工具和一系列的實驗，開始「糾纏態」的應用，他的團隊還展示了一種被稱為量子隱形傳態的現象，使得量子態在一定距離內從一個粒子移動到另一個粒子成為可能。

### 讚嘆中國「墨子號」量子實驗衛星

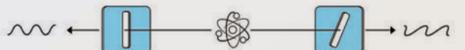
事實上，阿斯佩、克勞澤和蔡林格早在十多年前已被視為諾獎大熱門，尤其是他們在2010年已獲得被視為「諾獎風向標」的以色列沃爾夫獎。約翰霍普金斯大學自然哲學教授卡羅爾表示，3人得獎是「遲來的肯定」，「雖然3人開創的實驗技巧未必能直接轉化成應用，但他們建立了將量子糾纏作為技術資源基礎。」美國物理聯合會行政總裁莫洛尼也說，3人的研究證明了量子力學在現實世界有應用用途。

蔡林格昨日受訪時仍保持謙虛，表示沒想過能得到諾貝爾獎。他表示，量子糾纏不能夠像科幻電影一樣，把人類或個別物件傳送到一段距離以外，「但它可以將一個物件攜帶的信息，送到該物件重組的地點。」阿斯佩則借得獎機會，呼籲全球科學界應該對抗正在崛起的民族主義，「在這個世界不太友善、民族主義在多國肆虐之際，科學家致力維持這個國際性社群是非常重要的。」

克勞澤則表示，非常高興「夠長命」可以得獎，「我從1969年開始就進行這個研究了」，亦很高興看見自己最初的研究能夠像滾雪球一樣，變成規模大得多的實驗。他特別提出中國的「墨子號」量子科學實驗衛星，指出「墨子號」的實驗方式與他當年的幾乎一樣，「我的大約只有30呎長，他們的則是幾千公里的量子通信。」 ◆綜合報道

### 得主研究介紹

#### 如何證明「貝爾不等式」不成立？



克勞澤利用特殊照射鈣原子，使其可以釋出糾纏光子對。他然後在鈣原子的其中一邊設置一塊偏振濾光片，以測量光子極化。經過一系列測量後，克勞澤得以展示實驗結果違反了「貝爾不等式」。



阿斯佩改良了克勞澤的實驗，他利用新的方式去刺激原子，從而加快產生糾纏光子對的頻率，並可以在實驗期間隨時改變測量設定，確保實驗體系不會存在任何可能影響結果的信息。



蔡林格之後對「貝爾不等式」進行更多實驗，他透過將激光照在特殊晶體上創造糾纏光子對，並使用隨機數切換測量設定。他的其中一項實驗使用遙遠星系的訊號來控制過濾器，並確保訊號不會相互影響。

## 專訪城大教授區澤宇 「中國量子密碼技術領先全球」

香港文匯報訊（記者 蕭桂揚）香港城市大學與今次諾貝爾物理學獎得獎人淵源甚深，阿斯佩是城大高等研究院資深院士，而城大物理系講座教授區澤宇，與蔡林格則是老朋友。他接受香港文匯報專訪時表示，縱觀全球量子技術發展，中國已在密碼技術方面取得領先地位，並建設粵港澳大灣區量子科學中心。香港各間大學近5年來亦「招兵買馬」，聘請多位重量級學者，大有銳不可擋之勢。

區澤宇直言，歐美在量子領域仍處在領先地位，但中國政府投入大量人力物力，其技術發展速度驚人，在部分領域甚至已經超越外國。香港對於量子物理的投入則在起步階段，需要加強對基礎物理的支持。區表示，學生如果對物理以至對「工程化」量子物理有興趣的話，不妨可以考慮投身該領域，成為首批相關專家。

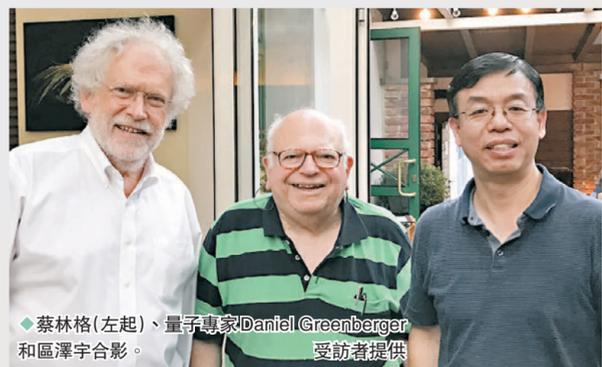
### 未來或催生「量子貨幣」

區澤宇說，量子力學雖是抽象概念，但一直與我們的日常生活有莫大關連，諸如電腦和手機等資訊設備，就是屬於科學界帶來的「第一次量子革命」。3位獲獎人的理論則奠定了「第二次量子革命」的基礎，一旦相關技術被「工程化」，屆時人類生活將再次改變。

部分量子技術和現象違反常人直覺，運作原理與一般電子設備完全不一。區澤宇直言，要將其納入應用層面，需要重新編碼等工序。不過，當新型機器以「平行式處理」取代「序列表處理」，大量數據內容可被同時分析和執行，計算能力、保密程度和靈敏度都會指數式上升，未來甚至可能催生「量子貨幣」，在數碼上比起比特幣更安全可靠。

區澤宇憶述，當年在讀博期間已認識蔡林格，當時蔡林格來到區所在的實驗室參觀，兩人曾多次交流學術。他形容蔡林格為人親切，有一次區澤宇攜同家人到奧地利旅遊時，蔡林格親自招待，並帶他們飽覽古老的奧地利學院。

諾貝爾獎獲獎研究透過實驗證明愛因斯坦的量子思想與現實有出入，不過區澤宇特別指出，科學世界充滿「驚奇」，未來量子理論再度出現大轉軸也未必不可能。



◆蔡林格(左起)、量子專家Daniel Greenberger和區澤宇合影。受訪者提供

## 培育中國量子信息領軍人物 蔡林格積極推動中奧交流

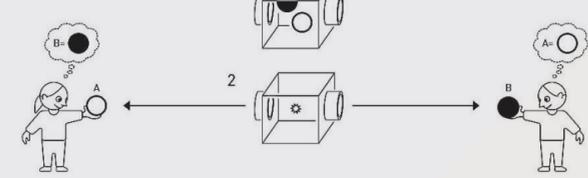
今屆物理學獎得主之一的奧地利量子物理學家蔡林格，多年來積極推動中奧國際學術交流合作，他不但是中國科學院外籍院士，更是中國量子信息科學領軍人物、中國科學院院士潘建偉的博士導師。自1983年起，蔡林格就與中國科學院及中國工程院等機構長期保持溝通和交流，並與多個單位建立密切合作關係。2016年，由潘建偉擔任首席科學家的「墨子號」量子科學實驗衛星成功發射，開展世界上首次衛星和地面之間的量子通信；蔡林格任教的維也納大學便參與運行該衛星在歐洲的接收站。

### 評委肯定中國量子研究貢獻

蔡林格領導的團隊亦參與了由中科院主導、利用「墨子號」進行的洲際量子通信實驗，在國際上首次實現北京與維也納兩地量子保密通信，成果入選美國物理學會評選的2018年度國際物理學十大進展。蔡林格曾這樣評價中國近年來在量子技術方面的研究成果，他表示：「潘建偉與他的團隊建立起來的成就令人矚目，而且得到了中國政府的大力支持。與西歐任何一個國家相比，對這些項目的運作都更加系統化。」

值得一提的是，諾貝爾物理學獎評委漢森昨日在現場解讀得獎成果時，亦展示了「墨子號」進行洲際量子通信實驗的照片。漢森表示，中國在量子衛星和量子通信研究方面走在世界前列，「中國量子通信衛星圖彰顯了物理學的國際合作，也體現了中國在這一研究領域的貢獻。」 ◆綜合報道

### 「隱變量」相關理論



### 量子力學

