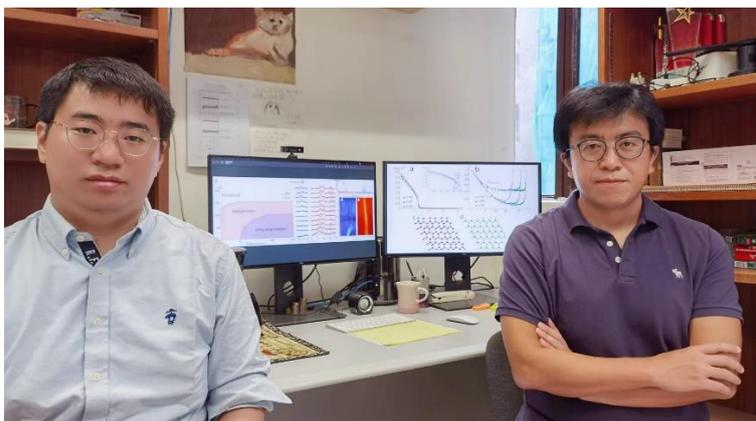


新聞稿

即時發放

港大夥國際物理學家 首次捕捉二維磁性材料中的殘餘相變

2024年9月5日



圖一、大規模的蒙特卡羅模擬發現了維度交叉過程中殘餘相變。
左起：港大物理學系周成康博士和孟子楊教授。

近日，一個由香港大學（港大）、美國德州理工大學和密西根大學物理學家所組成的團隊，在研究範德瓦爾斯（Van der Waals）磁性材料方面取得了重要發現。這類材料具有獨特的電子和磁學特性，因此在多種應用中備受關注。

鎳磷三硫化物（NiPS₃）是範德瓦爾斯材料的一種，這種材料因其在儲能方面的潛在應用而受到關注。我們的團隊首次從實驗觀察到此材料由三維長程有序狀態轉變為二維平面圖案殘留有序狀態，展示材料變薄時如何改變其磁性能，揭示了該材料的應用潛力。這項研究意義重大，有助於我們理解如何在極小的尺度上控制材料的磁性能，有望推動科技發展，如開發更高效的電子設備、高密度的數據儲存和更節能的創新計算設備等。他們的發現剛於學術期刊《自然物理學》（*Nature Physics*）中發表，並獲專欄「新聞與觀點」點題報導，突顯了其對該領域的影響。

聚焦分層材料

1965年諾貝爾物理學獎得主理查·費曼（Richard Phillips Feynman）曾在其著名演講《底下還大有可為（[Plenty of Room at the Bottom](#)）》中提出了這個引人入勝的問題：「假若有了恰當層數的分層結構材料，我們可以做些甚麼呢？」這番話在當時並未有引起很大的關注，直至九十年代時卻被重新檢視——此問題背後原是涉及納米技術的基礎。

近年來，範德瓦爾斯材料（如NiPS₃）的出現，為探索費曼當年的問題提供了嶄新的研究角度及契機。這類材料由易於堆疊或分離的層組成，使研究人員能夠在不同厚度下研究其性質。為了回答費曼的問題，研究團隊將注意力集中在NiPS₃上，並發現當這種材料在厚度減少到數層時，其磁性行為會隨着變薄而產生獨特變化，使其成為理想的研究材料。

在凝聚態物理學中，研究材料的關鍵方法是瞭解它們如何隨着性質（如溫度或厚度）的變化而轉變成不同的相或狀態。這些轉變涉及材料內部的對稱性的變化，此一概念被稱為「對稱性破缺」。在NiPS₃的研究中，研究人員發現了一種特殊的對稱性破缺，導致出現了一種「殘餘有序狀態」，這意

味着在破缺過程中仍保留了部分對稱性。正如「殘餘」一詞指的是在生物進化過程中保留某些特徵一樣，這裏的「殘餘」有序狀態也可以被視為在對稱性破缺過程中，部分的對稱性得到保留的結果。當主要的磁性有序狀態解體為更簡單的對稱性時，就會發生這種現象。以NiPS₃為例，這種狀態是一種二維的殘餘有序狀態，稱為「Z3 Potts-向列相」，會隨着材料變薄而出現。儘管理論上有許多殘餘相的例子，但經實驗驗證這種現象仍具挑戰性。然而，是次對NiPS₃的研究顯示，可以通過維度交叉來觀察這種現象。

當理論與計算遇上實驗

為了觀察殘餘有序的形成，研究團隊對NiPS₃進行深入研究，利用氮-空位（nitrogen-vacancy）自旋弛豫和光學拉曼散射技術，分析主要有序狀態的熔化過程，以及隨厚度變化而出現的殘餘有序相（見圖二）。此外，為了深入理解NiPS₃中維度交叉的實驗結果，團隊還進行了大規模的蒙特卡羅模擬，展示雙層NiPS₃的不同相（見圖三）。這項研究首次詳細追蹤了隨着維度變化的兩種不同對稱性，並揭示了從主要有序狀態轉變到殘餘有序的過程。同時，是次大規模的蒙特卡羅模擬也發現了在這個維度交叉過程中的殘餘相變。

這些觀測不僅加深了我們對二維和三維物理學差異的理解，還使我們向答費曼在65年前所提出的問題邁進一步。展望未來，對分層材料（如多層石墨烯和NiPS₃）的研究將為開發各種平面電子器件帶來巨大潛力。這些材料可能具備高性能、低功耗和靈活透明等理想特性，為創建超密集、低功耗、柔性的二維邏輯和存儲電路提供了可能性。隨着這些進展，我們正在逐步實現費曼所描繪的低維分層材料和器件的構想。

關於研究團隊

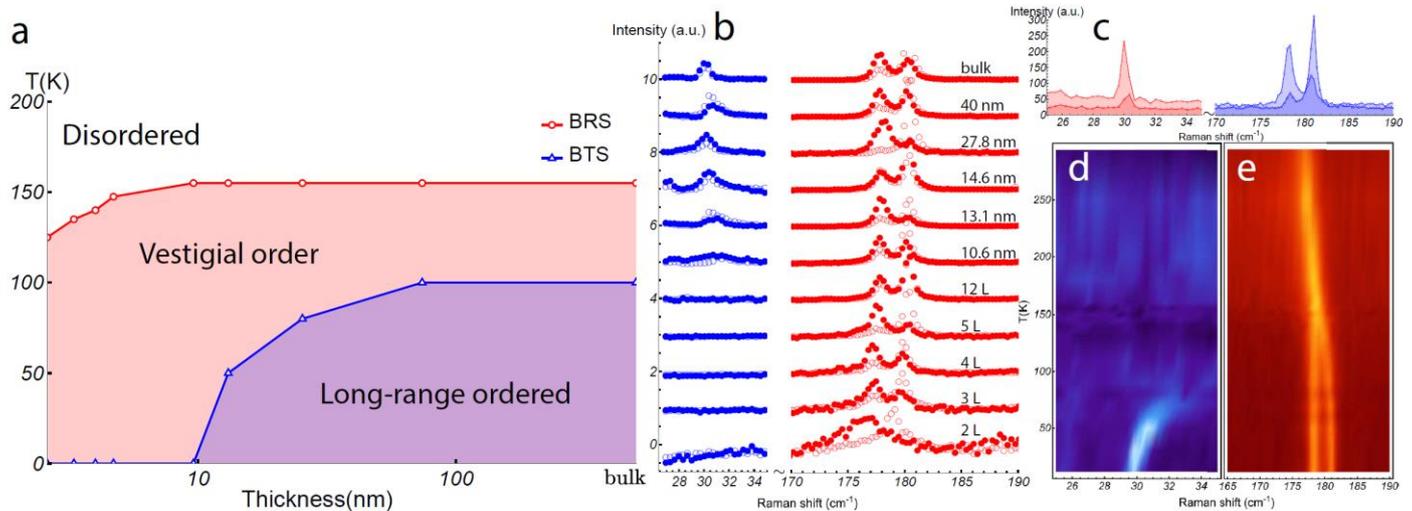
研究團隊由物理學家組成，包括香港大學物理學系的周成康博士和孟子揚教授，以及他們的合作夥伴、來自德州理工大學電子及電腦工程系的何睿教授，以及密西根大學物理系的趙劉燕教授、孫錯教授和孫澤亮博士。

第一作者之一的周誠康博士是港大物理學系的博士後研究員，他主要負責本論文的理論工作。他的導師、孟子揚教授也是該論文的作者之一。研究得到了香港研究資助局的合作研究基金和ANR/RGC聯合研究計畫的支持，凸顯了港府在量子材料研究方面的前瞻性視角和支援。本研究中進行的理論計算是在港大資訊技術服務部的高性能計算平台、物理學系的超級電腦「黑體」，以及[北京並行科技有限公司](#)的平台上進行。研究同時獲得美國國家科學基金會、戈登和貝蒂·摩爾基金會獎及海軍研究辦公室的資助。

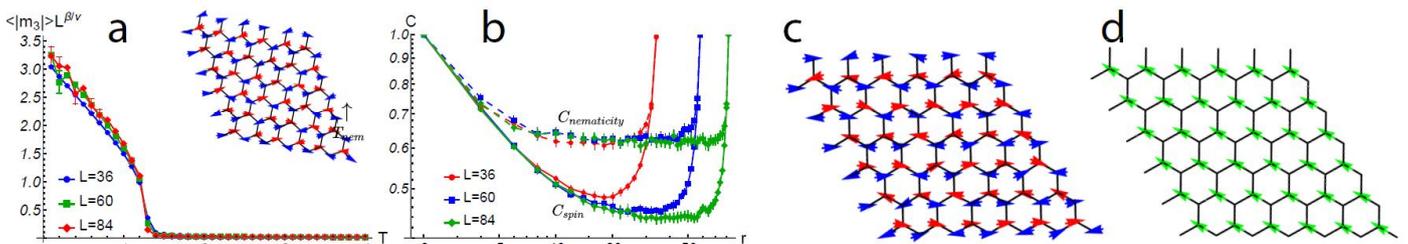
有關研究論文：

Dimensionality crossover to 2D vestigial nematicity from 3D zigzag antiferromagnetism in an XY-type honeycomb van der Waals magnet', Zeliang Sun, Gaihua Ye, Chengkang Zhou, Mengqi Huang, Nan Huang, Xilong Xu, Qiuyang Li, Guoxin Zheng, Zhipeng Ye, Cynthia Nnokwe, Lu Li, Hui Deng, Li Yang, David Mandrus, Zi Yang Meng, Kai Sun, Chunhui Du, Rui He, Liuyan Zhao. Nature Physics, 2024

<https://www.nature.com/articles/s41567-024-02618-6>



圖二、光學拉曼準彈性散射特徵的厚度依賴性。a. NiPS_3 的厚度與溫度相圖。b. 在 $T=10\text{ K}$ 下，不同層數的拉曼光譜。c. 在 10 K 下使用 $\lambda=633\text{ nm}$ 測量的線性分層拉曼光譜（僅顯示部分）。藍色區域 (d) 和紅色區域 (e) 分別代表 P_{BTS} 模式和 P_{BRS} 模式。（圖片擷取自相關論文）



圖三、2L NiPS_3 中磁態的蒙地卡羅計算。a. Potts-向列序參量 ($\langle |m_3| \rangle$) 隨溫度的變化。插圖放大了向列相轉變溫度 T_N 附近的情況。b. 在溫度 $T = 1.25|J_1| < T_N$, 2L 時，Potts-向列性 ($C_{\text{nematicity}}$) 和自旋 (C_{spin}) 的隨距離的相關性。c. T_N , 2L 下模擬自旋構型的快照。d. 在 c 中自旋狀態的類比向列指示符圖像，顯示向列性的均勻性。（圖片擷取自相關論文）

傳媒如有查詢，請聯絡港大理學院助理經理（傳訊）杜之樺女士（電話：3917 4948；電郵：caseyto@hku.hk）/助理傳訊總監陳詩迪女士（電話：3917 5286；電子郵件：cindycst@hku.hk）。

圖片下載及說明文字：<https://www.scifac.hku.hk/press>