

2023年 5月 第35期

系況速遞

- 2022-23年度共有43位本科生及1位博士研究生獲得本系頒贈獎學金，包括楊振寧獎學金、物理獎、入學獎學金、陳耀華教授及夫人獎學金、羅蔭權教授物理獎、陸錦標本科生研究獎及學習進步獎。
- 今年夏季將會舉辦一連串學術與科研活動，包括：
 - 暑期本科生研究實習計劃：今年將提供約25個名額。整個實習期共10週，實習期結束前所有實習生會以海報的形式來報告自己的研究結果並參加海報競賽。
 - 裘槎暑期課程「量子糾纏和拓撲序」(6月5日至9日)：在課程中，世界頂級專家將系統地介紹量子糾纏和拓撲序所構建的奇妙量子世界，並且會介紹刻畫拓撲序的數學工具「張量範疇學」。這個課程將會讓我們重新認識和思考量子與經典、拓撲與幾何這些物理學難題。
[網址：<https://www.phy.cuhk.edu.hk/events/croucher-course-quantum2023/>]
 - 物理夏令營(7月11日至14日)：歡迎有意申請於明年秋季入讀哲學博士及哲學碩士課程的本科生參加；活動包括講座、參觀實驗室、海報展覽等，讓申請人對本系的研究院課程有更深入的了解之餘，亦能夠體驗中大的校園生活。

獎項與殊榮

➔ 路新慧教授

的研究項目「基礎研究指導用於柔性光電器件的低維鈣鈦礦可擴展生長」，於香港研究資助局最近推出的「2022/23年度新進學者協作研究補助金」資助中獲撥款逾四百一十萬港元。路教授的項目透過跨學科協作，採用了最先進的結構表徵研究、計算模擬、界面工程和設備工程去破解低維鈣鈦礦可擴展生長的關鍵機制。在廣泛領域而言，研究成果將為高質量多晶有機和無機薄膜生長的機械性能提供新的闡述，以進一步促進柔性光電設備於智能建築和溫室等的實際應用。

➔ 劉仁保教授

獲選2022年新基石研究員(騰訊公司設立)。全國共有58名傑出科學家獲選，劉教授是三名獲選香港科學家之一。他亦獲英國物理學會出版社頒發2022年「中國高被引文章獎」。

➔ HANNUKSELA Otto教授及黎冠峰教授

榮獲英國物理學會出版社頒發2022年「中國高被引文章獎」。

➔ 李泉教授

榮獲裘槎基金會頒發「裘槎優秀科研者獎2023」。

李泉教授(左)及頒獎嘉賓香港科學院創院院士麥德華教授。



➔ 吳瑞權教授

榮獲2021年度理學院「青年學者研究成就獎」。

吳瑞權教授(中)與頒獎嘉賓理學院院長宋春山教授(右)及物理系系主任王建方教授合照。

➔ 練立明博士 榮獲2022年度理學院「學院模範教學獎」。

➔ 梁凱迪博士和路新慧教授 榮獲2022年度「物理系教學獎」。

➔ 陳冲博士 榮獲第53屆量子電子學物理冬季研討會「最佳海報獎」。陳博士是劉仁保教授團隊的副研究員。



➔ 周靖人博士 (2022年博士畢業生)

榮獲 2021年度理學院「研究生學術成果獎」。周博士的指導導師是顧正澄教授。

周靖人博士(中)與頒獎嘉賓理學院院長宋春山教授(右)及物理系系主任王建方教授合照。

活動回顧

物理學科普活動

本系在本學期舉辦了兩場物理學公開講座給中學老師和同學。

嚴人斌教授在3月11日以《The Daily Drama on the Sun and How It Impacts Our Life》為題向同學們和老師介紹太陽的物理現象和它對地球的影響。講座後，同學們亦在嚴教授和朱明中教授指導下觀察太陽。

朱駿宜教授在4月28日以《Computer, Randomness, Importance Sampling, and Insights Generation: a brief introduction from Monte Carlo approach to machine learning in computational physics》為題向同學們和老師深入淺出地講解電腦的歷史及它在物理學上的應用。朱教授亦介紹了他的團隊如何將機器學習應用在物理研究上。



嚴人斌教授 (右二)
教導同學們運用太陽
投影儀觀察太陽。



朱駿宜教授

本系亦於4月7日聯同香港科學館舉辦了一場名為《物理遊樂場》的科學示範表演。當天的表演嘉賓湯兆昇博士利用如液氮、放電管、模擬閃電、熒光、氣壓裝置、電磁效應、光學、紅外線和紫外線輻射作一系列物理科學示範，為現場觀眾帶來耳目一新的視覺和聽覺體驗。

人事動態

1位新老師在本學期加入本系，在這裡讓他向大家作自我介紹。

王奇思教授/中大物理系助理教授

我本科和博士均就讀於復旦大學物理學系，分別於2012年和2018年畢業。隨後在瑞士蘇黎世大學物理系進行博士後研究工作，於今年三月加入中大物理系。我的研究領域是凝聚態物理，方向主要是強關聯電子體系的X射綫和中子散射研究。目前我們課題組關注的問題包括高溫超導電性，量子磁性等一系列量子材料中的新奇物性。我們的實驗工作大多在世界各地的同步輻射和中子源展開，因此有機會和很多不同背景的同事合作。非常歡迎感興趣的同學加入我們課題組或者與我交流討論。工作之餘我熱衷於各項運動，包括健身、打籃球和徒步，也很喜歡看電影。

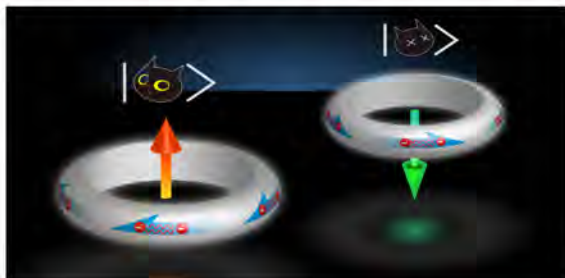


半整數的量子磁通

通常認為量子現象只會在微觀尺度下才會被觀測到。然而有些物態可以呈現出宏觀的量子現象。超導現象就是一種宏觀的量子態。超導態最為人熟知的特性是零電阻現象和完全抗磁性。其來源于微觀電子兩兩配對而相干凝聚，使得整個體系可以由一個宏觀波函數來描述，並在宏觀尺度上維持相位相干性。這樣的特性使得超導材料在量子器件中有很多重要的應用，因為可以利用超導態在比微觀粒子大很多的尺度上構建和調控量子態。比如說，如果把超導材料做成一個環，無論這個環的尺寸有多大，環中的總磁通(可以理解為垂直通過的磁場乘以面積)都是量子化的。這個最小的量子化磁通單位成為磁通量子。一個超導環內的磁通只能取值磁通量子的整數倍。

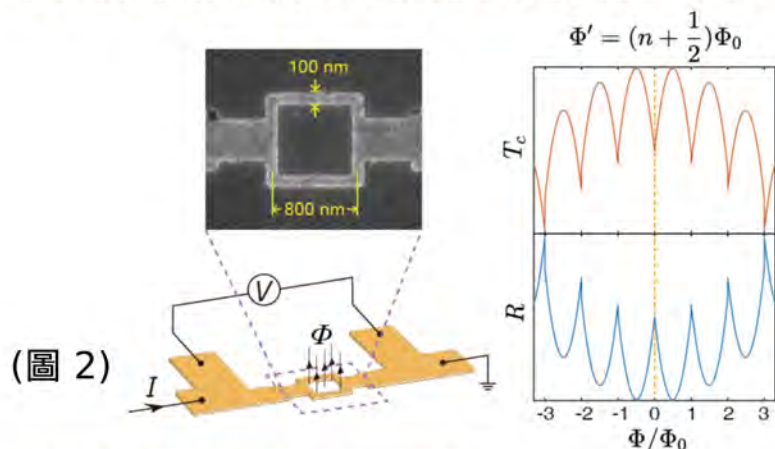
然而世事無絕對。我們的實驗研究表明，在由一種非常規超導體 $\beta\text{-Bi}_2\text{Pd}$ 的多晶環中可以實現半整數的磁通量子化。須知量子化通常意味著物理量除了整數倍的量子數值之外不可以有其他取值，因此半整數量子化條件的出現是極不尋常的。在我們的實驗中，這種半整數量子化的出現意味著超導電子的配對機制出現了本質性的變化。在已知的超導材料中，超導電子對(又稱庫伯對)都會形成自旋單態的量子態；兩個電子的自旋反平行排列。而在 $\beta\text{-Bi}_2\text{Pd}$ 中，超導配對變成了自旋三重態，允許兩個配對電子的自旋平行排列。這種新的配對態使得超導波函數在經過特定晶界的時候產生了額外的 π 相位。這個額外相位使得配對電子在繞環一周後的總相位變化從 2π 變成了 π 。於是磁通量子從整數變成了半整數。

(圖 1)



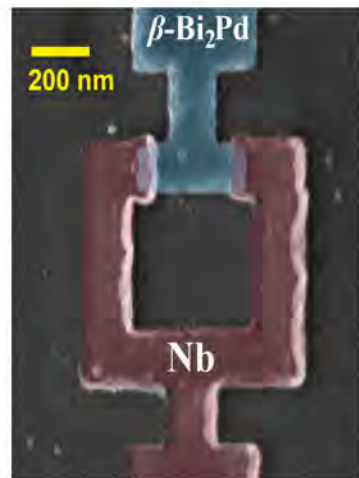
半整數的量子磁通有非常奇妙的基態。如果將一個半整數量子磁通的超導環在零場下冷卻直至其進入超導態(圖 1)，這個超導環甫一進入超導狀態時就會變成「薛定諤的貓」的狀態。此時，該超導環的狀態是兩個同時存在的量子態的疊加：一個量子態中超導電流在環中順時針流動；而另一個量子態中的超導電流逆時針流動。直覺上，一個導體環中的電流不可能同時向相反的兩個方向流動。然而在這樣一個宏觀的量子器件中，這兩個狀態卻同時存在。直至我們真的去探測它的狀態時，這個疊加態才會塌縮成一個基態：50%的機率順時針流動，50%的機率逆時針流動。這實質上構成了一個量子比特。

在實驗工作中，由於磁通量子的數值非常小，為了得到可靠的實驗結果，我們必須應用最先進的微納加工手段，把超導材料加工成最小綫寬在百納米尺度的納米環器件(圖 2)。我們還在探索用不同配對機制的超導材料製作複合超導環(圖 3)，以進一步探索罕見的自旋三重態的配對機制。三重態配對與拓撲超導有密切的聯繫，可能用來實現有「天使粒子」之稱的馬約拉納准粒子，並用來發展拓撲量子計算。對這種新奇的超導配對機制的實驗驗證正是邁向這個方向的關鍵一步。



(圖 2)

(圖 3)



拓撲物態及其數學結構

對物質的相(或稱物相、物態)的研究是凝聚態物理學的核心課題。對於不同的物相，相信大家會有一些來自生活經驗的直覺。舉一個常見的例子，水有固、液、氣三相。以水的液相為例：在一定的溫度和壓強範圍內，大量的水分子的整體表現出諸如均勻、無定形、可流動等一系列性質，符合我們對於液體的印象。這些性質在不太大的溫度壓強改變之下會保持穩定。不僅如此，其他的一些擾動，例如向水中添加雜質，施加電磁場等，也不會輕易使水從液相轉變為其他相。因而我們可以說，存在一些「相的性質」，除非外界條件劇烈改變引發了相變，否則相的性質不會發生改變。

然而，想要精準定量地描述相的性質，並非一件容易的事情。很長一段時間裡，人們認為相的性質可以歸結到系統的對稱性。這種觀點被稱為「朗道範式」。仍以水為例，精確地講，液態水和氣態水屬於同一個相，具有空間平移不變的對稱性。而固態水實際上有十多個不同的相。不同的固相中，水分子排列成不同的空間晶格結構。空間平移對稱性發生了自發破缺：只有沿著晶格結構做特定長度的平移，才能使系統保持不變。然而，隨著技術的進步，人們漸漸接觸到一些更加新奇的物質狀態，包括一些低溫、強磁場極端條件下的量子物態。特別在分數量子霍爾效應中，人們發現在對稱性沒有變化的情況下，仍發生了相變，亦即對稱性不足以區分這些新的量子物態。

對物相的分類和刻畫，對相的性質的研究，背後的思想很類似「拓撲」這個數學學科。拓撲學重點研究的是幾何圖形或空間在連續改變形狀後還能保持不變的一些性質，稱為拓撲性質。連續形變類似於對物理系統進行的未引發相變的擾動，而拓撲性質則呼應相的性質。的確，在近幾十年凝聚態物理的發展中，拓撲學發揮了重要的作用。相的性質以各種各樣的角度與拓撲產生聯繫，如電子能帶的拓撲結構，基態簡併度對空間拓撲的依賴(圖 1)等等。這些與拓撲性質有關的物態被統稱為拓撲物態，主要的例子有內稟拓撲序，對稱保護拓撲態(包括拓撲絕緣體)，分形子態等等。

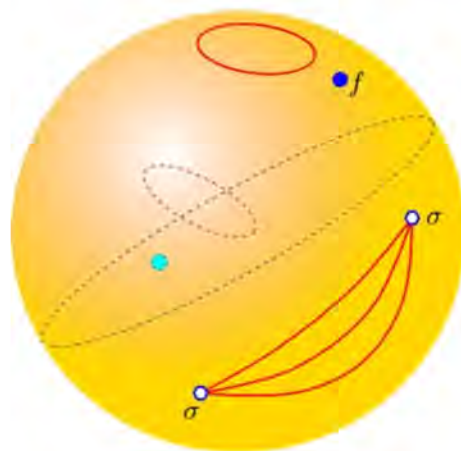
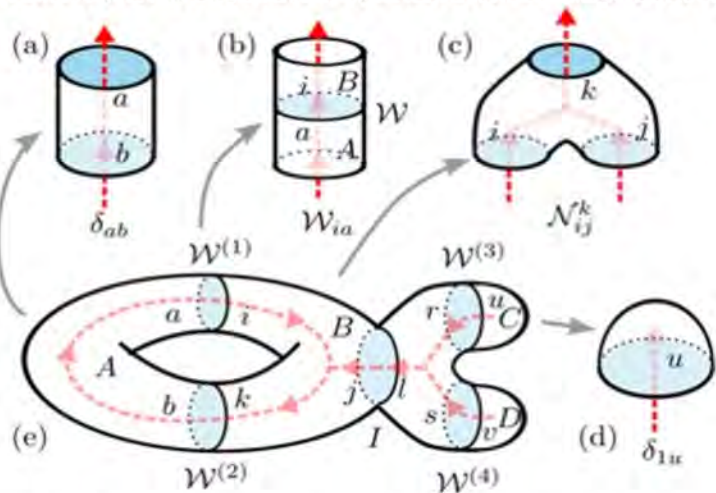


圖 1: 利用切割計算一般流形上的基態簡併度 圖 2: 高維拓撲序中的高維拓撲激發

對拓撲性質的定量刻畫，又進一步需要代數工具的加入，即利用代數結構去描述拓撲空間或物相的不變數。目前，對於低維材料中物相的理解已經漸成體系。我們知道二維內稟拓撲序可以由模張量範疇(modular tensor category)理論來刻畫，而對稱保護拓撲態可以由群上同調理論刻畫。物相的性質出人意料地展現出極為豐富的數學結構。

當前，我們著力研究三維以及更高維空間中的拓撲物態及其數學結構。由於高維空間中可以存在高維的拓撲缺陷和拓撲激發(圖 2)，而不僅限於點狀的任意子，描述相的性質的數學語言也不得不同樣升維，需要高階範疇論(higher category theory)。相關物理理論和數學理論的研究方興未艾，有大量尚未解決的問題，歡迎感興趣的同學加入我們!

利用超冷原子平台進行量子模擬

英特爾創始人之一提出了著名的摩爾定律：每18個月芯片的算力提高一倍。電子計算機的運算能力自50年以來近乎指數增長。如今手機的算力已經遠遠超出NASA登月時所有計算機的算力之和。2023年，台積電最先進的制程為3nm。然而隨著CPU的制程的逐年減小，計算機的發展受到了物理限制：當計算芯片的尺寸足夠小之後就會發生量子隧穿導致結果不確定。如今，摩爾定律已經被很多人認為已經被打破。為了突破算力限制，科學家開始思考下一代計算機：量子計算機。量子計算機也即為使用量子比特來代替比特的通用型計算機。

然而，量子計算機實現的難度相當大。許多實驗平台如今都存在不同的限制。量子比特的數量也遠遠小於經典計算機中的比特。那是否存在一個平台，在特定的條件下擁有比經典計算機更快的速度，或者說無法被經典計算機模擬？這樣的平台有很多，超冷原子實驗平台就是其中一個。超冷原子實驗平台之於量子計算機就好像模擬電路之於數字電路。超冷原子實驗平台因為低溫的緣故，原子表現出量子的行為，故其行為無法被經典物理描述或者經典計算機簡單地模擬。處於量子態的原子可以被激光、磁場等精確的調控。比如，兩束對射的激光可以製造一個光晶格，從而模擬固體裏的晶格結構。許許多多的在固體物理中極難求解的模型可以通過利用超冷原子量子模擬的方法得到解決。甚至科學家可以構造現實時空中難以存在的系統，並進一步研究他們。比如，楊振寧先生提出的存在於五維空間的楊單極子，黑洞，蟲洞等等都可以在冷原子平台被模擬研究。

我們的課題組(理論)一方面研究超冷原子的量子統計效應，相互作用效應等等，充分認識平台的特點和優劣勢。比如，理想氣體的狀態方程是 $PV=nRT$ ，當進入量子領域之後他將如何被修正？在量子世界裏，原子分為玻色子和費米子兩種。在高溫的宏觀世界裏，儘管我們幾乎觀察不到他們的差別，兩者的量子修正却截然相反。

我們另一方面研究如何利用超冷原子來模擬新奇的物理模型。比如，原子因為內部電子核自旋的不同，存在許許多多的內態，利用激光，我們可以把他們耦合起來，還可以模擬磁場。最後，我們得到了一個具有奇異拓撲性質的量子霍爾圓柱。經典霍爾效應的元器件已經處處可見：筆記本的合蓋待機功能、汽車油門、車速儀、里程表等等，進入量子領域後的一系列霍爾效應正被科學家深入研究。

如果你對量子世界是如何運作的和我們能用冷原子的量子平台做點什麼感興趣的話歡迎加入我們！

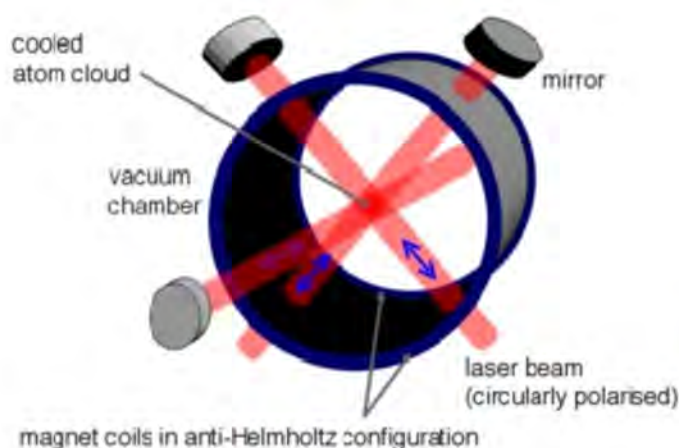


圖 1: 原子被束縛在磁光勢阱中
(圖片來源: 維基百科)

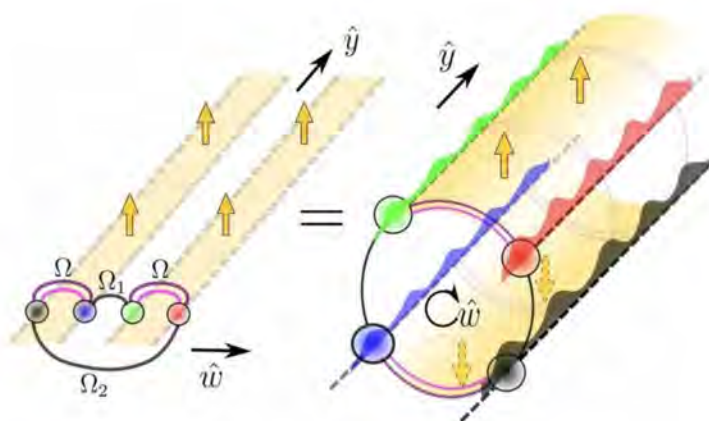


圖 2: 冷原子可以用來模擬霍爾圓柱