

教育部補助大專校院延攬國際頂尖人才
年度績效報告

學校名稱及聘任系所：國立清華大學物理學系	學門領域：理學
學者姓名：黃一平	行政支援費學者
報告年度：110 年 (第 1 年)	

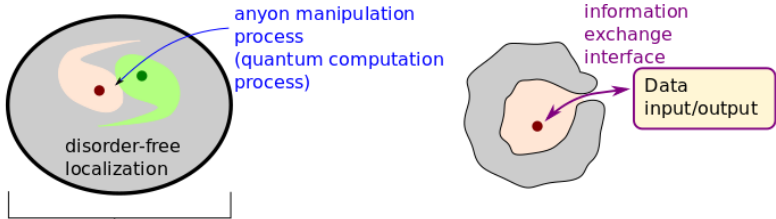
二、質化績效說明（執行成果得累計呈現，如：第2年之年度績效報告，可包含第1年及第2年之成果）

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
<p>一、學者之研究工作主要內容及全過程經過概述。</p>	<p>預期成效(預計可達到量化或質化之具體成果) 平衡系統中多體量子糾纏態</p> <p>1. 短程目標（預計二年）</p> <p>a. 藉由對稱性分析及材料知識，尋找可能實現超越常態高斯定理的機制，實現碎型子模型。</p> <p>預計具體結果：</p> <p>i. 對相關材料建立模型，並藉由數值方法及平均場理論引入量子效應於侷限條件下的相關圖像。</p> <p>ii. 發展對應的實驗手段控制系統對稱性，達成控制波函數與微擾耦合程度的目標</p> <p>iii. 預計發表於 Physics Review B</p> <p>b. 從黃博士原創的偶極八偶極模型或是其他類型的晶格規範理論，更深入研究量子效應在侷限希爾伯特空間的行為。</p> <p>預計具體結果：</p> <p>i. 由於侷限條件有效縮小希爾伯特空間維度，抽象上類似於降低維度的效應。從相關模型建立等效的低維度理論並分析。</p> <p>ii. 利用數值方法驗證維度降低的效應</p>	<p>第一年：</p> <p>發表文章：</p> <p>[1] <i>Disorder-Free Localization in an Interacting 2D Lattice Gauge Theory</i>, P. Karpov, R. Verdel, Y.-P. Huang, M. Schmitt, and M. Heyl, Phys. Rev. Lett. 126, 13040 (2021)</p> <p>投稿中文章：</p> <p>[2] <i>Non-Hermitian Many-Body Localization with Open Boundaries</i>, Kuldeep Suthar, Yi-Cheng Wang, Yi-Ping Huang, H. H. Jen, and Jhih-Shih You, submitted to Phys. Rev. B.</p> <p>[3] Strong spin-orbital coupling and robust surface states in SrIrO₃ films: Confirmation by increasing lattice disorder, Changan Wang, Ching-Hao Chang, Madhav Prasad Ghimire, Min Zeng, Ping-Chun Wu, Ulrich Kentsch, Yi-Ping Huang, Ying Hao Chu, Manfred Helm, and Shengqiang Zhou, submitted to NPG Asia Materials.</p> <p>具體工作績效成果及意義簡述：</p> <p>[1] 如同預期，該文章因其重要性發表於物理研究的旗艦期刊 Phys. Rev. Letts.。遠始動機來自於平衡系統中的多體量子糾纏結構。然而，我們的發現指出了一個非顯然的大問題，即使在不破壞平移對稱</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
	<p>iii. 持續與德國團隊合作，對二維侷限系統發展滲流等校理論。</p> <p>iv. 預計發表於 Physics Review Letters(與滲流部分相關之數值方結果正在審稿中)</p> <p>2. 中長程目標（預計四至五年）</p> <p>a. 建立侷限系統於材料中實現所需條件、以及控制方法。</p> <p>b. 建立侷限系統的維度壓縮效應與拓撲態之間的理論關係。</p> <p>c. 預計發表於 Physics Review Letters</p> <p>多體量子系統之動力學</p> <p>1. 短程目標（預計二年）</p> <p>a. 發展結合圖論分析的量子動力學模擬程式。</p> <p>預計具體結果：</p> <p>i. 利用發展之程式，於具代表性模型中探索不同建立等效理論的方式。並分析其優劣。代表性模型主要包含阻挫磁性系統、晶格規範模型、SU(N)量子系統等)</p> <p>ii. 利用具代表性模型中的已知極限，建構可能等效理論。並擴充到廣義對稱性分析，並以數值模擬驗證理論。</p>	<p>性的情況下，量子侷限系統不一定可以達到被傳統統計力學描述的平衡態。我們的主要供獻來自於將該現象拓展到相對特殊的一維系統之外。在二維系統中實現無雜質局域化現象。</p> <p>這個發現進一步成為黃博士預期成效中的三個主要方向的基石。指出侷限條件可能導致的非顯然多體量子動力學行為以及無雜質局域化行為。全世界的相關研究還在起步階段，相關機制在高維度系統或是量子計算中的應用將非常具有價值。這個新的機制導致的多體動力學行為以及在保護拓撲態的應用中，將開闢一個新的研究領域。</p> <p>[2] 藉由跨領域合作，研究合成量子物質中關於局域化現象在開放量子系統框架下的行為。目前局域化物理都是針對獨立量子系統研究。這個跨領域合作將成為未來研究無雜質局域化物理在開放量子系統的應用的踏腳石。</p> <p>[3]藉由國際的實驗理論合作，我們拓展不同電子態的傳輸行為在參雜下的影響。未來也將針對無雜質局域化物理在對應的實驗表現上的異同做研究。</p> <p>過去一年黃博士的研究著重於量子動力學行為及無雜質局域化的模型研究。未來除了將以這些發現為基礎繼續擴充相關理解外，也將加強與固態物理系統更為貼近的理论發展及數值模擬。尤其將針對類似偶極八偶極簡併態的自旋軌道模型建立普適理</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>iii. 預計發表於 Physics Review B</p> <p>b. 發展奇異時空序與對稱性關聯之理論。</p> <p>預計具體結果：</p> <p>i. 從對稱性的角度出發，了解其對稱性保護下之拓撲性質。</p> <p>ii. 與德國研究團隊保持合作，拓展可能之量子混沌現象如多體量子疤 (many-body quantum scars)</p> <p>iii. 預計發表於 Physics Review B</p> <p>2. 中長程目標 (預計四至五年)</p> <p>a. 建立廣泛可應用的流程，構造量子動力學的等效理論。</p> <p>b. 建立廣泛的架構描述湧現的奇異時空序，以及挖掘實現這類量子態的關鍵機制。</p> <p>c. 了解量子系統如何達成熱平衡。</p> <p>d. 預計發表於 Physics Review Letters</p> <p>侷限系統以及無雜質局域化行為</p> <p>1. 短程目標 (預計二年)</p> <p>a. 針對阻挫磁性晶格 (如三角晶格、籠目晶格等) 建構出巨觀簡併組態。並針對其對偶晶格形成之域結構之磁壁 (domain wall) 分析。設計數值方法分析定義於</p>	<p>論。並探索可能的新穎自旋軌道侷限系統。</p> <p>具體工作績效成果及意義細節與全程經過：</p> <p>1. 目前我們的研究主要進展在侷限系統以及無雜質局域化方面的研究。意外的相關研究和平衡系統中多體量子糾纏態中的侷限希爾伯特空間結構高度相關。我們發現發現波函數的演化，由於侷限條件，希爾伯特空間被切割成不同拓撲區間 (topological sector)。不同拓撲區間以類似滲流 (percolation) 的機制連接。而產生類似多體局域化的緩慢動力學行為。相關文章也因為其重要性，於 2021 年 4 月 1 日發表於物理旗艦期刊 Phys. Rev. Letts (P. Karpov, R. Verdel, Y.-P. Huang, M. Schmitt, and M. Heyl Phys. Rev. Lett. 126, 130401)。這個工作完成了當初提案兩個方向的短期成效，未來將繼續深化及推廣相關研究。以下，我將介紹這個工作的源由、過程以及得到的結論在大方向所代表的意義。</p> <p>我們的研究起始於一個簡單的問題：侷限系統的量子動力學行為和一般不具有侷限條件的量子多體系統的動力學行為有何本質上的差異？而物理研究上最重要的侷限系統之一是規範場理論。規範場理論的動力學行為是著名的難題，因此我們從較為簡單的一維以及二維模型出發。我們近期從動力學量子相變的角度研究出發，試著找出動力學上的普適性現象。我們發現，侷限系統的希</p>	


審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
	<p>磁壁上的緊束縛模型於系綜統計平均下的局域化與非局域化量子相變。</p> <p>預計具體結果：稀疏磁壁下系統接近一維系統，我們期待微弱的不均勻位能即可產生局域化現象。緊密磁壁下，系統接近二維系統，動能重要性提升，我們期待進入非局域化行為。這個結論是零溫下的分析。預計發表於 Physics Review B.</p> <p>b. 藉由蒙地卡羅在有限溫度下分析磁壁的系綜分布。並結合上述結論，分析量子相變進入有限溫度時的行為。</p> <p>2. 中長程目標(預計四至五年)</p> <p>a. 發展普適理論了解侷限系統產生局域化行為的條件。</p> <p>b. 研究侷限系統與阻挫系統中產生量子拓撲態與局域化物理共存的條件。</p> <p>c. 預期發表於 Physical Review Letters</p> <p>預計重大結果(長遠目標)：藉由阻挫系統實現二維無雜質局域化行為將是領域中的重大突破。阻挫系統的簡併性質提供實現量子拓撲態必須的糾纏結構。同時，這類簡併性質於局域化行為的關係慢慢的被發掘。(如黃博士近期發表的文章，是第一個展示這種可能性的模型)。全世界的相關研究還在起步階段，相關機制在高維度系統或是量子計算中的應用將非常具有價值。這個新的機制導致的多體動力學行為以及在保護拓撲態的應用中，將開闢一個新的研究領域。結合黃博士提出的三大研究主題發展的相關技術，將可以繼續深化拓展這個新的研究方向。於基礎研究和應用中發揮影響力。例如，</p>	<p>爾伯特空間和一般系統相同，可以展現出動力學量子相變。(Yi-Ping Huang, Debasish Banerjee, and Markus Heyl Phys. Rev. Lett. 122, 250401, 2019) 這個結果顯示出動力學量子相變是一個廣泛的概念，可以在晶格規範場理論中實現。然而另一方面，這個發現並沒有顯示出侷限系統的獨特性。</p> <p>在與合作者討論的過程中，我們朝向研究一個特殊的二維晶格規範場理論—U(1)量子邊模型 (U(1) quantum link model) —的動力學問題，並且針對其因為規範對稱性導致的拓撲結構在動力學上可能造成的效應研究。研究初期我提出這類模型非常有可能會出現非顯然的局域化行為。然而希爾伯特空間隨系統大小成指數型成長，因此無法用一般的數值模擬並分析。</p> <p>所以我們開始與其他合作者跨國研究，發展結合人工神經網絡概念的創新數值方法研究相關模型。在這個合作中，我提供相關的嚴格數值計算結果幫助該數值方法的發展和除錯，並參與相關數值方法結果的討論，這個方法由於把相關物理的關聯函數資訊壓縮在對應的古典的類神經網絡中，因此有效率地避免希爾伯特空間指數成長的特性，而使得我們可以克服系統大小的限制，而在這個具有挑戰性的系統中觀察到局域化行為，並刻畫相關的物理性質。</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>利用操控無雜質局域化系統做為訊息緩衝，在有限溫度下操控量子拓撲態的同時保護量子訊息、控制波函數的讀寫機制以及更進一步設計相關元件。</p>  <p>Coexistence of topological order and disorder-free localization</p>	<p>過去為了克服多體量子系統退相干，有兩種可能的模式，其一為製造多體波函數的拓撲結構，其二為利用局域化物理遮蔽系統與外界的耦合。然而局域化物理通常需要藉由無序系統(disorder)產生破壞性干涉，保護量子態。然而無序系統實際上控制不易，因此在未來可能的應用上將會有所限制。然而我們的研究改變了這個想法：可以在一個不存在無序效應的系統中，實現局域化現象。我們利用量子邊模型說明，實現這種局域化現象的手段是引入侷限條件。讓系統具有因為規範對稱性所劃分出的區塊(gauge sectors)。因此，我們可以在一個具有平移對稱性，不具無序耦合的系統中，營造出類似無序系統的物理現象，這個發現增加了我們未來保護多體量子態的基礎機制。未來一個有趣的問題是：如何結合這個發現，與拓撲量子態，應用在量子計算以及相關實現量子電腦的平台中。</p> <p>目前正在建構、訓練台灣的團隊，朝向相關問題研究。目前有一名博士班學生與碩士班學生針對無序系統中產生多體局域化(Many-body localization)行為研究。未來將在深化對於無雜質局域化現象(disorder-free localization)與多體局域化行為間異同的研究。</p> <p>2. 除當初計畫中提案的研究方向外，我也積極與社群分享所學，並且合作。目前有兩篇投稿中的文</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
		<p>章。一篇是關於開放量子系統的相關研究，另外一篇是在強自旋軌道耦合系統中的雜質效應和非顯然的量子態研究。在此簡述研究的相關過程。</p> <p>(a) 非厄米特系統的多體局域化行為： 於清華任教後，偶然參與與師範大學教授及中研院原分所研究員起始了關於非厄米特系統多體局域化行為的研究。研究方法主要是利用嚴格數值模擬研究一個一維多體局域化系統中非厄米特物理所產生的效應。在討論中我發現，社群中過去的研究方法專注在利用能譜的統計行為區分系統可能存在的相變行為。然而讓我感到好奇的是，多體局域化行為有許多不同的效應，除能譜的統計行為外，波函數也有特殊的結構。因此，我指出除了能譜統計外，對於波函數性質的分析也是重要的，並且建議進行相關計算。在與合作團隊討論及計算後，我們也拓展我們的分析到不同邊界條件對波函數性質的影響。如同我們所期待的，由於系統的非厄米特特性，我們發現邊界條件扮演決定性的角色。但是當系統進入多體局域化的量子相中，我們發現由於波函數的局域化行為壓制了系統的非厄米特特性，導致在多體局域化的量子相中，邊界條件的影響被弱化。相關文章正在審稿中。</p> <p>經由這個工作，我了解到非厄米特系統目前的研究主要建基在數學形式上的類比、或是數值研究</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
		<p>的詮釋，領域中相關物理圖像的建構相對不足。尤其針對波函數的詮釋，相對缺乏。如何刻畫其中物理詮釋將會是未來研究的重點之一。</p> <p>(b) 強自旋軌道耦合系統中的雜質效應： 於清華任教後，與成功大學教授、陽明交通大學教授及德國萊布尼茲研究所研究員合作。實驗學家在強自旋軌道耦合系統中發現因為雜質導致的非顯然傳輸行為。研究初期與第一原理計算合作，猜測可能有新奇的表面態存在。然而該系統可能對應的拓撲態所需的條件並不清楚，我建議從對稱性角度切入理解，然而我在跟合作者討論後，發現相關第一原理計算並無法一致性的支持表面態的拓撲性質，因此建議朝向以刻畫表面態在雜質效應下的物理實驗量測為主，第一原理計算為輔，描述該表面態性質。目前該文章已達階段性目標，並在審稿中。未來將對表面態相關的傳輸性質的理論模型進行討論。</p> <p>3. 在建立團隊上，我認為最重要的事情是培養一個具備獨立思考能力的多樣性團隊。因此在過去一年半中，我除了在學生個別討論中提出批判性問題刺激他們思考外，也經營每週固定的期刊討論會，廣泛討論領域近期的重要發現。為了提升團隊的外語能力，要求與會成員以英文報告，並且設計一長一短的報告模式。訓練學生對性質不同的長短報告做準備。並鼓勵他們利用機會從彼此身上學習，避</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
		<p>免成為學生報告對象是指導教授，而無法挑戰彼此想法。</p> <p>黃博士過去一年著重在多體量子系統動力學研究上的人才養成。參與學生都有相當讓人鼓舞的結果。目前一位博士生以及兩位碩士生分別從不同角度切入研究相關問題(之後詳述)。經過一年的團隊經營，學生們開始發展出良好的互動模式，敢於提問，討論分享，並作批判性思考。也開始具備閱讀期刊的能力，慢慢的脫離見樹不見林，朝向成為自主獨立的研究者目標發展中。希望經由團隊中的學習經驗，可以幫助台灣社群訓練更多水準之上的學生，厚植基礎研究的能力。</p>	
<p>二、學者未來研究主題與校務發展（包括高等教育深耕計畫）之連結及預期效益：</p> <p>（1）學者研究規劃及目標。</p> <p>（2）學者研究主</p>	<p>(1)學者研究規劃及目標</p>	<p>(1) 學者研究規劃及目標：</p> <p>將維持整體研究的規劃。有計劃的實現團隊規劃。</p> <p>人才養成：</p> <p>目前以培養國際化、跨領域的自主學習團隊為目標。因此經營每週固定的英語期刊論文討論會，並設計多樣化的跨領域主題給予團隊成員開放自主的可能性。</p> <p>於第一年籌建專注於多體動力學（Many-body dynamics）的研究團隊（一位博士生，二位碩士生及一位研究助理）。由於疫情導致博士後聘僱進度落後，已延攬一位傑出博士，將於 2022 年秋季加入團隊。以前沿研究主題（多體局籲化現象</p>	<p>附件 1</p>

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
<p>題內容及其與學校校務發展關聯性。</p> <p>(3) 具體工作績效或成果，內容請包括專題研究計畫期中進度報告。</p> <p>(4) 預期成效 (預計可達到量化或質化之具體成果) ※如有量化績作者，</p>	<p>黃博士是近年少有兼具抽象理論思考、材料背景知識以及數值發展能力的跨領域研究人才。而且已經在量子多體系統的平衡態與動力學研究，發展不同方法取得重要成果。未來黃博士規劃繼續廣泛探討並深化量子糾纏態不同面向的理解。量子糾纏態的靜態以及動態理論不只在量子物質態的基礎發展上扮演重要角色，也是實現量子電腦中重要的踏腳石。相關研究分為幾個大方向及主題簡述於下圖。</p>  <p>於下圖。</p> <p>黃博士計畫的研究範疇包含利用自旋耦合交互作用實現侷限系統中超越傳統拓撲態的多體波函數。例如具有更嚴格侷限條件的碎形子模型；藉由侷限條件改變多體希爾伯特空間結構，實現無缺陷局域化行為 (disorder-free many-body localization)；透過統計力學中重整化群、等效理論的概念，發展量子動力學的普適性圖像；使用光子物質強耦合系統實現高度非線性多體行為，探索奇異的時空序 (exotic spatial-temporal order)。踏實探索量子糾纏態不同的可能性，建立與物理系統的實際連結。</p>	<p>(many-body localization) 及開放量子系統中的拓撲量子現象 (non-Hermitian physics and quantum topological phenomena)) 訓練學生。著重於引發學生興趣及動機。</p> <p>目前博士班譚同學著重於發展新穎數值方法研究多體局域化現象。過去一年中，已從文獻閱讀中學習並重現傳統多體局域化物理所觀察到的關鍵現象。目前正在拓展新數值方法，挑戰多體局域化物理中關於相變的問題。目前方法已經顯示出具有描繪多體局域化物理的能力，然而鄰近相變點的數值模擬由於不同物理效應的競爭關係，相對困難。我們與物理系陳柏中老師有許多討論，正在嘗試發展更有效率描述多體量子糾纏模式於相變點變化情形的演算法。譚同學在一年內兼顧課程與研究，實屬難得。</p> <p>碩士班魏同學於一年半前加入團隊並專注於非厄米特系統的拓撲行為分析。我們考慮非厄米特系統下的量子拓撲態與古典拓撲缺陷的交互影響。魏同學發現，古典拓撲缺陷的孤立子具吸引非厄米特拓撲態的表面模 (skin mode)，當表面模存在時，可以利用對稱性的方式保護與孤立子結合的表面模。這個發現暗示該量子態與一般量子態有本質不同。即使在開放量子系統中，我們預期該表面模並不會與一般量子態一樣退相干。魏同學從無到有，扎實的學習重現相關物理並拓展新發現，表現可圈可點。</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
<p>請另再填寫附件 1</p>	<p>(2)學者研究主題內容及其與學校校務發展關聯性</p> <p>黃博士與物理系凝聚態理論組的教授們的研究課題有許多討論及合作空間。例如統計物理與多體系統（林秀豪教授、牟中瑜教授、王道維教授）、量子動力學與量子糾纏（陳柏中教授、張博堯教授、米格爾教授）、強自旋軌道耦合系統（徐斌睿教授）、量子模擬系統（余怡德教授、童世光教授）。黃博士也預計將跨領域探討拓展至物理系之外，例如與國家理論中心物理組與數學組、前瞻量子科技研究中心及同步輻射中心討論合作機會。</p> <p>(3)研究工作之具體做法</p> <p>黃博士除了將繼續深化侷限系統中的高糾纏態研究，也將針對侷限系統多體局域化（many-body localization, MBL）的行為研究。近幾年多體局域化研究大多著重於一維系統中的研究。然而，二維以上的量子動力學分析以及多體局域化了解依然非常缺乏。另一方面，阻挫系統中的拓撲態則是存在於二維以上系統，與多體波函數空間結構有緊密關聯。黃博士希望藉由整合這兩大領域中的資訊於一個共同架構中：侷限系統中局域化行為（localization）以及阻挫系統中拓撲態（topological order）都是針對多體波函數中利用對應的條件限制量子疊加的規則，創造出的新物理現象。於這個架構下，利用雙方的概念可能克服彼此的困難問題。</p> <p>量子動力學研究方面，黃博士將專注於拓展統計力學與量子動力學的連結。其中一個重要的目標是發展量子動力學的普適性圖像。其中一個關鍵問題就是如何引入時間演化算符的局域性條件（locality）。量子動力學的普適性圖相將有助於探索及明確定義奇異的時空序（exotic spatial-temporal order）。</p> <p>黃博士專長阻挫系統，晶格規範理論以及多體動力學這三方面</p>	<p>目前魏同學正在整理相關成果，撰寫碩士論文中。</p> <p>碩士班林同學目前研究時間晶體（time crystal）與對稱保護拓撲態（symmetry protected topological phases）之間的關係。時間晶體是一個於週期性擾動的多體局域化系統中存在的非平衡新物質態。目前物理學家對這類新物質的理解尚在起步階段。而對稱保護拓撲態則是過去十年間針對了解多體波函數的對稱性行為發展出的框架。林同學已經從文獻閱讀中重現時間晶體中的關鍵概念本徵態序（eigen state order），觀察到時間晶體的週期倍化效應（period doubling）並且因為對其在對稱性限制下的拓撲行為感到好奇。目前我們鎖定特定自旋系統作為結合這兩個跨領域效應的平台。並建構相關的數值及理論理解。</p> <p>研究助理林碩士，在過去一年加入團隊。林碩士的背景是高能場論，我們主要關注場論中的對稱性反常行為與量子拓撲態的糾纏行為的關聯。在這個跨領域的合作研究中，林碩士克服與團隊中成員的背景不同，而有良好的互動。堪屬難得。目前我們積極探索過去十年所發展出描述多體量子糾纏的群餘調(group cohomology)的數學架構，探索其與湧現規範場描述的可能關係。林碩士的未來規劃是出國深造，也在加入團隊後拿到美國 University of Minnesota 的博士班獎學金，將在今年暑假離台，期許在未來看到他在國際舞台上發光發熱。</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>並且有信心結合跨領域的理論和實驗。</p> <p>自旋耦合交互作用及超越傳統拓撲態的多體波函數實現</p> <p>利用自旋耦合交互作用實現侷限系統中超越傳統拓撲態的多體波函數方面。希望藉由引入軌道自由度以及不同晶格場的對稱性，實現具有超越規範理論中高斯定理的更嚴格侷限條件。從對稱性以及微觀物理條件出發，尋找可能的阻挫材料實現碎形子模型。找到實現碎形子模型的系統將提供研究局域化以及拓撲相的另外一個面向：利用碎形子模型高度侷限的特性，實現有限溫度中的多體波函數並維持其同調性。</p> <p>侷限條件與無缺陷局域化</p> <p>這個方向的具體研究包含解釋 $\text{Dy}_2\text{Ti}_2\text{O}_7$ 超乎預期長的鬆弛時間尺度。這個現象也在領域中存在超過十年未獲得解答。我們可以大膽地問一個問題：是否有量子機制使得這個系統具有超長的鬆弛時間尺度？這類問題不只是在量子自旋冰中重要，他更引發一個有趣且重要的問題：保護量子同調性的機制中，侷限系統或是阻挫行為扮演什麼樣的角色？</p> <p>黃博士於之前研究發現異向量子效應導致湧現能量尺度與量子能量尺度競爭。利用類似概念於三維系統中，希望藉由異向量子效應解答這個問題。這個研究課題將幫助我們了解如何穩定量子自旋冰，並且研究從阻挫磁性系統中湧現的規範場理論與實驗的連結。近一步研究規範對稱性的湧現機制，並預測相關實驗中可量測之物理量。除了阻挫磁性領域中的重要性外，這個問題也連接到統計力學中一個未解的問題：藉由侷限的希爾伯特空間以及強交互作用，是否可實現無缺陷多體局域化(disorder-free many-body localization)。</p> <p>黃博士目前與德國研究團隊利用類似的二維侷限系統，從動力</p>	<p>黃博士未來將加強培養及延攬具備強交互作用固態物理背景的研究人才。持續朝向打造一個跨領域、兼具數值開發、理論建構、及實驗連結的多面向團隊。</p> <p>教學課程數位化國際化：</p> <p>除團隊人才養成外，黃博士也致力於教學課程的數位化與國際化。在統計力學教學上利用開源社群，針對研究所核心課程建構英文教材。與傳統教材不同，專注於課程中的核心概念具體化並加強與研究實務上的連結。並刺激學生從無到有建構知識體系的可能。</p> <p>未來將繼續加強進階統計力學相關的教程數位化及國際化。以精緻化教程面對少子化衝擊下的研究所學生培養。以動機驅動永續教育為目的，降低跨領域學習的門檻。</p> <p>國際會議及暑期學校：</p> <p>於 2021 年開始，黃博士與國家理論中心各研究員主辦三場暑期學校及國際會議。除針對量子多體糾纏研究設計教學課程外，也邀請來自於美國、中國、德國、加拿大、日本、澳洲、奧地利等國際講者與會。與台灣的研究者及年輕學者分享前沿知識及經驗。</p> <p>(a) NCTS international summer school and workshop on emergent quantum many-body phenomena, July 26-30 (2021)</p>	

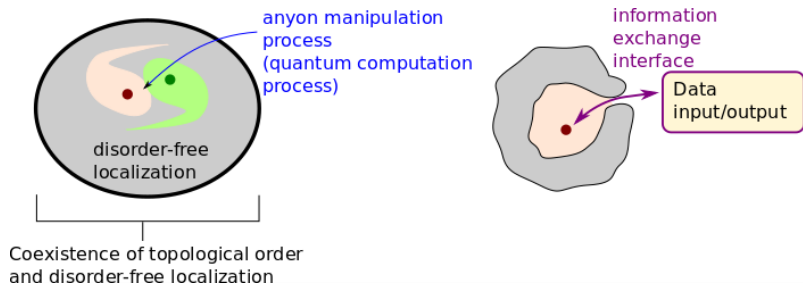
審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>學角度研究無缺陷多體局域化。發現波函數的演化，由於侷限條件，希爾伯特空間被切割成不同拓撲區間（topological sector）。不同拓撲區間以類似滲流（percolation）的機制連接。而產生類似多體局域化的緩慢動力學行為。</p> <p>除利用拓撲區間營造類似雜質的效應外，另外一個方切入點是利用阻挫系統的巨觀簡併特性，實現不同網絡結構可傳遞訊息的零能量磁壁（zero energy domain wall）。這類巨觀簡併的組態統計上等效扮演具關聯性的雜質位能（correlated disorder potential）。藉由不同網絡結構的統計效應實現局域化行為。這種想法可以自然的與拓撲量子態結合於阻挫系統的平台，做為控制或保護拓撲量子態的媒介。</p> <p>量子動力學中的等效理論</p> <p>黃博士將透過統計力學中重整化群、等效理論的概念，發展量子動力學的普適性圖像。將不同時間尺度的量子擾動在動力學過程中逐步引入，而獲得所需時間尺度下的等效模型。這個做法在古典動力學系統如流體力學中的應用相當成功，然而應用於動態量子相變上則是一個有趣創新的想法。這個做法將會以一個一致性的框架延伸動力學量子相變的概念，並可借用統計力學中固定點理論對不同類型的動態量子進行分類。利用這個框架也將有助於探索及定義奇異的時空序。</p> <p>其中一個關鍵問題，就是如何在時間演化算符中引入量子系統的局域性（locality）。黃博士將借助網絡結構最為量子多體系統的表徵，在此表徵下，實空間的局域性將轉換成網絡節點的局域性。等效理論於是轉換成描述特定網絡中機率守恆的機率流問題。黃博士將拓展這方面圖論與統計力學結合的理論，發展量子動力學的普適性圖像</p>	<p>(b) NCTS summer school on frontier topics in strongly correlated electron systems, Aug 1-3 (2022)</p> <p>(c) NCTS summer school for physics and numerical methods in correlated systems, Aug 29-31 (2022)</p> <p>鼓勵並刺激年輕研究者從不同面向學習量子多體物理的理論以及數值模擬。未來希望相關暑期學校可以成為穩定的週期性活動，並且從不同角度吸引並累積年輕學子從事基礎科學研究的動能。</p> <p>(2)學者研究主題內容及其與學校校務發展關聯性</p> <p>黃博士於過去一年中發展系上以及系外的合作連結。於物理系，目前積極與陳柏中老師合作發展分析無序系統（disorder systems）中的量子糾纏為主的進階數值方法，未來期許把相關技術應用在前瞻量子科技研究中心的相關研究主題。於量子動力學問題上，也與王道維老師合作探索以神經網絡為基礎的人工智慧演算法。</p> <p>除目前系上合作外，黃博士也與師大、中研院原分所團隊探索非厄米特系統的多體局域化行為。黃博士貢獻他對於多體局域化行為的理解，建議針對非厄米特系統的波函數進行相關的數值計算。並合作討論文章的架構及投稿相關事宜。目前文章投稿至 Phys. Rev. B 並經過第一輪審稿。</p> <p>除合成量子物質系統外，黃博士也與德國和成大團</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>奇異的時空序 - 光子物質強耦合系統</p> <p>黃博士目前與德國研究團隊研究光腔中光子與物質強耦合系統。藉由光腔中光子的非局域性，產生高度非線性多體行為。我們發現在古典光子極限（同調態近似），系統可以出現光子與物質共同演化之分歧（bifurcation）行為。我們可以利用同調光的相位資訊作為序參量，針對波函數之動力學行為分類。這個結合時間空間的物質序尚在研究的初期。黃博士將從對稱性的角度出發，了解其對稱性保護下之拓撲性質。</p> <p>(4)預期成效(預計可達到量化或質化之具體成果)</p> <p>平衡系統中多體量子糾纏態</p> <p>1. 短程目標（預計二年）</p> <p>a. 藉由對稱性分析及材料知識，尋找可能實現超越常態高斯定理的機制，實現碎型子模型。</p> <p>預計具體結果：</p> <p>i. 對相關材料建立模型，並藉由數值方法及平均場理論引入量子效應於侷限條件下的相關圖像。</p> <p>ii. 發展對應的實驗手段控制系統對稱性，達成控制波函數與微擾耦合程度的目標</p> <p>iii. 預計發表於 Physics Review B</p> <p>b. 從黃博士原創的偶極八偶極模型或是其他類型的</p>	<p>隊探索強自旋耦合固態系統中參雜導致的新奇傳輸現象。黃博士貢獻他對於量子拓撲態的理解，針對可能量測的拓撲信號分析。並合作討論文章的架構及投稿相關事宜。目前文章投稿至 NPG Asia Materials，並經過第一輪審稿。</p> <p>國際合作上，黃博士與德國 Max Planck 團隊、加州 Berkeley 分校從動力學角度研究無缺陷多體局域化。黃博士貢獻對於晶格規範場及阻挫系統的研究知識。與合作者結合建基於人工神經網絡（Artificial ）的先進數值演算法成為第一個在二維無雜質系統中實現局域化現象。發現波函數的演化，由於侷限條件，希爾伯特空間被切割成不同拓撲區間（topological sector）。不同拓撲區間以類似滲流（percolation）的機制連接。而產生類似多體局域化的緩慢動力學行為。相關文章也因為其重要性，於 2021 年 4 月 1 日發表於物理旗艦期刊 Phys. Rev. Letts。</p> <p>過去一年黃博士的跨領域研究經驗都是整合不同領域研究的珍貴經驗。未來希望可以從計畫主持人的角度，帶領學生加入類似的跨領域研究主題。提早訓練學生針對不熟悉領域，藉由自學及團隊合作的軟實力克服研究困難的能力。</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
	<p>晶格規範理論，更深入研究量子效應在侷限希爾伯特空間的行為。</p> <p>預計具體結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 由於侷限條件有效縮小希爾伯特空間維度，抽象上類似於降低維度的效應。從相關模型建立等效的低維度理論並分析。 ii. 利用數值方法驗證維度降低的效應 iii. 持續與德國團隊合作，對二維侷限系統發展滲流等校理論。 iv. 預計發表於 Physics Review Letters(與滲流部分相關之數值方結果正在審稿中) <p>2. 中長程目標（預計四至五年）</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 建立侷限系統於材料中實現所需條件、以及控制方法。 b. 建立侷限系統的維度壓縮效應與拓撲態之間的理論關係。 c. 預計發表於 Physics Review Letters <p>多體量子系統之動力學</p> <p>1. 短程目標（預計二年）</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 發展結合圖論分析的量子動力學模擬程式。 <p>預計具體結果：</p>		

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
	<ul style="list-style-type: none"> i. 利用發展之程式，於具代表性模型中探索不同建立等效理論的方式。並分析其優劣。代表性模型主要包含阻挫磁性系統、晶格規範模型、SU(N)量子系統等) ii. 利用具代表性模型中的已知極限，建構可能等效理論。並擴充到廣義對稱性分析，並以數值模擬驗證理論。 iii. 預計發表於 Physics Review B <p>b. 發展奇異時空序與對稱性關聯之理論。</p> <p>預計具體結果：</p> <ul style="list-style-type: none"> i. 從對稱性的角度出發，了解其對稱性保護下之拓撲性質。 ii. 與德國研究團隊保持合作，拓展可能之量子混沌現象如多體量子疤 (many-body quantum scars) iii. 預計發表於 Physics Review B <p>2. 中長程目標 (預計四至五年)</p> <ul style="list-style-type: none"> a. 建立廣泛可應用的流程，構造量子動力學的等效理論。 b. 建立廣泛的架構描述湧現的奇異時空序，以及挖掘實現這類量子態的關鍵機制。 		

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>c. 了解量子系統如何達成熱平衡。</p> <p>d. 預計發表於 Physics Review Letters</p> <p>侷限系統以及無雜質局域化行為</p> <p>1. 短程目標（預計二年）</p> <p>a. 針對阻挫磁性晶格（如三角晶格、籠目晶格等）建構出巨觀簡併組態。並針對其對偶晶格形成之域結構之磁壁（domain wall)分析。設計數值方法分析定義於磁壁上的緊束縛模型於系綜統計平均下的局域化與非局域化量子相變。</p> <p>預計具體結果：稀疏磁壁下系統接近一維系統，我們期待微弱的不均勻位能即可產生局域化現象。緊密磁壁下，系統接近二維系統，動能重要性提升，我們期待進入非局域化行為。這個結論是零溫下的分析。預計發表於 Physics Review B.</p> <p>b. 藉由蒙地卡羅在有限溫度下分析磁壁的系綜分布。並結合上述結論，分析量子相變進入有限溫度時的行為。</p> <p>2. 中長程目標(預計四至五年)</p> <p>a. 發展普適理論了解侷限系統產生局域化行為的條件。</p> <p>b. 研究侷限系統與阻挫系統中產生量子拓撲態與局域化物理共存的條件。</p> <p>c. 預期發表於 Physical Review Letters</p>		

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>預計重大結果(長遠目標)：藉由阻挫系統實現二維無雜質局域化行為將是領域中的重大突破。阻挫系統的簡併性質提供實現量子拓撲態必須的糾纏結構。同時，這類簡併性質於局域化行為的關係慢慢的被發掘。(如黃博士近期發表的文章，是第一個展示這種可能性的模型)。全世界的相關研究還在起步階段，相關機制在高維度系統或是量子計算中的應用將非常具有價值。這個新的機制導致多體動力學行為以及在保護拓撲態的應用中，將開闢一個新的研究領域。結合黃博士提出的三大研究主題發展的相關技術，將可以繼續深化拓展這個新的研究方向。於基礎研究和應用中發揮影響力。例如，利用操控無雜質局域化系統做為訊息緩衝，在有限溫度下操控量子拓撲態的同時保護量子訊息、控制波函數的讀寫機制以及更進一步設計相關元件。</p> 		

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
<p>三、<u>學校申請計畫原定目標暨支持成效</u>。(請敘明學校協助學者進行教學研究所提供之各項配合措施或經費，如研究設備及經費、研究助理人事費、住宿搬遷、子女教育協助事項等)</p>	<p>(一)學校整體之配套措施</p> <p>1.新聘教師學術專案補助費(start up 起始費)</p> <p>(1)補助目的：鼓勵本校新聘教師從事學術研究，協助建立必須之研究設施。</p> <p>(2)補助對象：到校任職半年內，經系所(中心)推薦之新聘教師。</p> <p>(3)補助內容：補助研究相關之經費，惟不包括申請人之薪資津貼。補助經費總額及項目：總額以不超過 150 萬元為原則，由校款及學校管理費支付。由系所(中心)、院(含清華學院)、校以對等比例共同補助。</p> <p>2.宿舍及房租津貼補助</p> <p>(1)新聘教師原則優先配住「學人宿舍」，房型為一房及兩房。此外，尚有清華會館及第二招待所可供申請。國立清華大學招待所管理要點及收費標準詳見 http://affairs.site.nthu.edu.tw/p/404-1165-44868.php。</p> <p>(2)房租津貼補助：編制內新聘專任教師符合本校房租津貼要件者每月補助 10,000 元，自到職日起至多 3 年。</p> <p>3.子女入學</p> <p>(1)國立清華大學附設實驗小學及幼兒園優先入學： 依本校附設實驗國小學新生入學辦法及幼兒園招生簡章，本校編制內專任之教職員工之子女享有清華附小與幼兒園優先入學資格。</p> <p>(2)國立科學工業園區實驗高級中學具有入學申請資格： 本校編制內專任教職員及學校約用人員之子女可申請國立科學工業園區實驗高級中學之國中部、國小部、幼兒園部新生及轉學生入學。</p> <p>(3)子女教育補助費：依「全國軍公教員工待遇支給要點」標準</p>	<p>系院校提供的 startup 起始費。</p> <p>1. 系級 ()</p> <p>2. 院級 ()</p> <p>3. 校級 ()</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
	<p>補助。http://person.site.nthu.edu.tw/p/406-1066-12001,r940.php?Lang=zh-tw</p> <p>4.福利事項</p> <p>(1)生日禮券：編制內教職員每年發給。</p> <p>(2)健康檢查補助：年滿 40 歲以上編制內教職員，兩年補助一次。</p> <p>(3)優惠團體保險：請參考人事室員工福利網站。</p> <p>(4)優惠存款：郵局、兆豐銀行、玉山銀行。</p> <p>(5)體育場館：本校教職員工優惠使用重訓室、羽球館、游泳池；參加各種舞蹈班；借用運動器材。</p> <p>5.教學資源與輔助</p> <p>(1)提供「新進教師研習營」</p> <p>(2)提供「教師研習工作坊」</p> <p>(3)設置「教師社群」</p> <p>(4)提供「教師教學精進錄影」服務</p> <p>(5)支援「個別教學發展計畫」</p> <p>(二)擬聘單位(系所/院)之配套措施(如有與企業合作提供實驗設備、共組研發團隊或挹注經費等相關配套措施，亦請特別敘明)</p> <p>理學院物理系將規劃給黃一平博士一間辦公室，以及放置數值運算設施的空間。目前物理系現有電腦室，仍可容納一定數量的電腦。若黃博士需要更大的空間，物理系在清華實驗室的機房也可容納。</p> <p>(三)學校(系所/院/校)自籌經費(相關配套措施)之項目及金額表</p> <p>學校自籌經費以本系提供給新聘教師之開辦費、福利及資源估</p>		

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢附資料
	<p>算：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 研究經費：以新聘教師開辦費預估：實驗領域上限 NTD 3,000,000/年；理論領域上限 NTD 1,500,000/年。開辦費僅提供到職第一年使用。 2. 住宿費：依本校房租津貼補助要點辦理。 3. 搬遷費：由國外返國之新聘教師，單身補助 USD 1,000/次；含家眷者補助 USD 2,000/次。皆只給第一年。 4. 子女教育補助費：如有子女者依「全國軍公教員工待遇支給要點」標準補助。 5. 空間：提供教師個人辦公室 1 間(約 10 坪)、實驗室及學生研究室(約 20 坪)。試算方式：共 30 坪。NTD 600/坪/月。 		
<p>四、<u>學者國際化</u>合作，鏈結接軌國外學術資源合作交流，與學校發展相結合；學者亦應善用其國際學術網絡資源，協助任職學校國際化，</p>		<p>國際合作上，黃博士與德國 Max Planck 團隊、加州 Berkeley 分校從動力學角度研究無缺陷多體局域化。黃博士貢獻對於晶格規範場及阻挫系統的研究知識。與合作者結合建基於人工神經網絡 (Artificial) 的先進數值演算法成為第一個在二維無雜質系統中實現局域化現象。發現波函數的演化，由於侷限條件，希爾伯特空間被切割成不同拓撲區間 (topological sector)。不同拓撲區間以類似滲流 (percolation) 的機制連接。而產生類似多體局域化的緩慢動力學行為。相關文章也因為其重要性，於 2021 年 4 月 1 日發表於物理旗艦期刊 Phys. Rev. Letts。</p>	

審查重點	預期達成目標	執行績效及目標達成情形說明	檢 附 資 料
推動國際交流合作（包括國際師生交換、跨國合作研究、雙聯學制）		<p>過去一年黃博士的跨領域研究經驗都是整合不同領域研究的珍貴經驗。未來希望可以從計畫主持人的角度，帶領學生加入類似的跨領域研究主題。提早訓練學生針對不熟悉領域，藉由自學及團隊合作的軟實力克服研究困難的能力。</p> <p>國際會議及暑期學校： 於 2021 年開始，黃博士與國家理論中心各研究員主辦三場暑期學校及國際會議。除針對量子多體糾纏研究設計教學課程外，也邀請來自於美國、中國、德國、加拿大、日本、澳洲、奧地利等國際講者與會。與台灣的研究者及年輕學者分享前沿知識及經驗。</p> <p>(a) NCTS international summer school and workshop on emergent quantum many-body phenomena, July 26-30 (2021) (b) NCTS summer school on frontier topics in strongly correlated electron systems, Aug 1-3 (2022) (c) NCTS summer school for physics and numerical methods in correlated systems, Aug 29-31 (2022)</p> <p>鼓勵並刺激年輕研究者從不同面向學習量子多體物理的理論以及數值模擬。未來希望相關暑期學校可以成為穩定的週期性活動，並且從不同角度吸引並累積年輕學子從事基礎科學研究的動能。</p>	

量化績效說明

項目		成果及具體工作績效	說明
1. 人才培育		碩博班課程 3 堂 學士班課程 0 堂 博士生 1 人 碩士生 2 人 學士生 2 人 其他_____	碩士班課程： 2021 spring 統計力學（一） 2021 fall 統計力學（二） 2022 spring 統計力學（一） 教學概念說明：統計力學為物理系基礎研究中主要理論架構之一，提供連結微觀理解與巨觀現象的框架。其中一個重要觀念—湧現現象（emergent phenomena）—是近代凝聚態物理研究的主調。然而過去教材教授方式主要集中在理解統計力學作為建構熱力學的微觀理論。為了與國際前沿研究接軌，特別在上學期課程初期，就加入簡明的跨領域範例解釋湧現現象的概念。並且撰寫英文線上教材，克服遠距教學面對的挑戰。教材利用簡單的問題刺激學生思考，並增加對基礎概念的理解。相信對於該課程永續規劃及升級有所助益。除此之外，在下學期正式介紹湧現理論背後的重整化群框架。並且為了加強學生國際化溝通能力及自主學習能力，規劃相關的前沿主題作為撰寫英文報告及口頭報告為主軸的期末專題。
2. 論文著作	國內	期刊論文____篇 專書及專書論文____本 研討會論文____篇 技術報告____篇 其他____	
	國外	期刊論文 1 篇 專書及專書論文____本 研討會論文____篇 技術報告____篇 其他____	Disorder-Free Localization in an Interacting 2D Lattice Gauge Theory, P. Karpov, R. Verdel, Y.-P. Huang , M. Schmitt, and M. Heyl, Phys. Rev. Lett. 126, 13040 (2021)

3.專題演講	9 場次	<p>2022.08.21 [Invited talk] APPC15 online Asia Pacific Physics Conference organized by Korean Physics Society.</p> <p>2022.02.25 [Invited talk] Colloquium at National Chung Hsing University</p> <p>2022.01.07 [Invited talk] NCTS Annual Taiwan Interdisciplinary Theorists Winter Retreat Workshop</p> <p>2021.12.03 [Invited talk] Seminar at the National Cheng Kong University</p> <p>2021.10.21 [Invited talk] APW-RIKEN-Tsinghua-Kavli workshop, Highlights on condensed matter physics</p> <p>2021.10.20 [Invited talk] Seminar at the Graduate Institute of Applied Physics, National Cheng Chi University</p> <p>2021.10.14 [Invited talk] Seminar at the Institute of Physics, National Yang Ming Chiao Tung University</p> <p>2021.09.29 [Invited talk] The joint theory group meeting at the Institute of Atomic and Molecular Sciences, Academia Sinica</p> <p>2021.03.02 [Invited talk] Condensed matter seminar at National Tsing Hua University (Title: In and out-of-equilibrium phenomena in constrained quantum systems.)</p>	
4.專利 (含申請中)	國內	____件	
	國外	____件	
	<input type="checkbox"/> 不適用		
5.產學合作	產學合作企業____家		
	產學合作計畫____案		
6.技術移轉	技轉授權____項		
	技術移轉授權金合計(金額)____元		
	<input type="checkbox"/> 不適用		
7.其他			