

從粒子物理實驗 談探索陰陽電子之可能方式

賴景鴻(大然)

天人親和院提供

摘 要

本文簡略地介紹粒子偵測器的基本設計、現行矽偵測器的發展。結合新的石墨烯技術，概念性提出可能之混合矽和石墨烯之設計，並利用此可變能隙之特性、探索陰陽概念或排除其為目前已知物理量。延續去年論文提及之粒子物理的理論動機，筆者以線性的方式前進、簡略地討論其實驗方式。粒子加速器產生高能粒子是實驗第一步，接著信號被安裝於其環上之粒子偵測器蒐集。偵測器系統包含數個子偵測器，其中矽偵測器的設計與發展為本文主要部分之一。新的石墨烯材料被視為半導體的明日之星，本文另一主要部分、即概念性提出可能之矽與石墨烯混合設計。利用其可變能隙之特性，期可測試不同的能量頻譜波段，藉以探索陰陽能量之概念、或排除其為目前已知物理量。而排除可能性是粒子物理研究方式之一，隨著數據增加檢驗新舊理論，此窮舉概念也可用於未來陰陽電子相關之實驗。

關鍵詞：粒子物理實驗、矽偵測器、石墨烯、陰陽能量

從粒子物理實驗談探索陰陽電子之可能方式

賴景鴻(大然)

壹、前言

去年介紹建構目前粒子物理的理論，也就是標準粒子模型（The Standard Model），可以解釋從早期的氣泡室（Bubble Chamber）以來累積的實驗數據。基於兼容量子力學與相對論之量子場論，標準模型成功的描述強力、弱力及電磁力。同時根據實驗發現（組成物質的）第一代夸克（上下夸克 u & d Quark）及輕子（Lepton），成功的以理論預測加以實驗量測到第二、三代夸克、輕子及反物質，是標準模型的一大勝利。

然而模型中給予物質質量的關鍵粒子—希格斯（Higgs）一直未被找到，同時微中子震盪（Neutrino Oscillation）實驗證明了微中子具有質量，與標準模型的預測不吻合。現今的粒子加速器（Particle Accelerator），設計皆旨在測試標準模型的極限，找不到 Higgs 更意味著、基本粒子理論將需要也會有大躍進。

陰陽的概念在中華文化，尤其是道家哲學中佔有重要地位，天帝教教義新境界也系統地提出陰陽的理論。筆者基於標準模型，類比了其中夸克組合質子、中子，及教義中的陰陽扭合變電。陰陽電子和粒子物理密切相關，目前雖然還無法在標準模型中找到其位置，但是上述理論發展指日可待。今年筆者將從實驗的角度，介紹如何偵測粒子、高能物理如何推進工程技術，最後試想如何能夠探測或排除陰陽電子、炁氣類比之物理量。

貳、粒子加速器

粒子物理的研究方式，是用加速器把電子或質子加到接近光速（根據狹義相對論沒辦法到達光速），以得到很高的能量（動量），此能量能藉由基本力的作用產生其他粒子（如夸克及其他夸克複合成之介子 Meson）。因為研究基本粒子所以稱粒子物理，因為需要很高的能量所以又稱高能物理。

目前最大也最知名的粒子加速器便是位於瑞士，由歐洲核子研究組織（CERN）營運的大強子對撞器（Large Hadron Collider, LHC）。國內知名的國家同步輻射中心（National Synchrotron Radiation Research Center, NSRRC）也是粒子加速器，只是研究目的不同、能量也有差距。前者加速質子、設計目標為七兆電子伏特（Electron Volt,

eV)，後者加速電子、目前運轉在十五億電子伏特（計畫升級到三十億），兩者相差兩千倍、當然質子與電子之質量比也接近兩千，所以兩者速度相當。

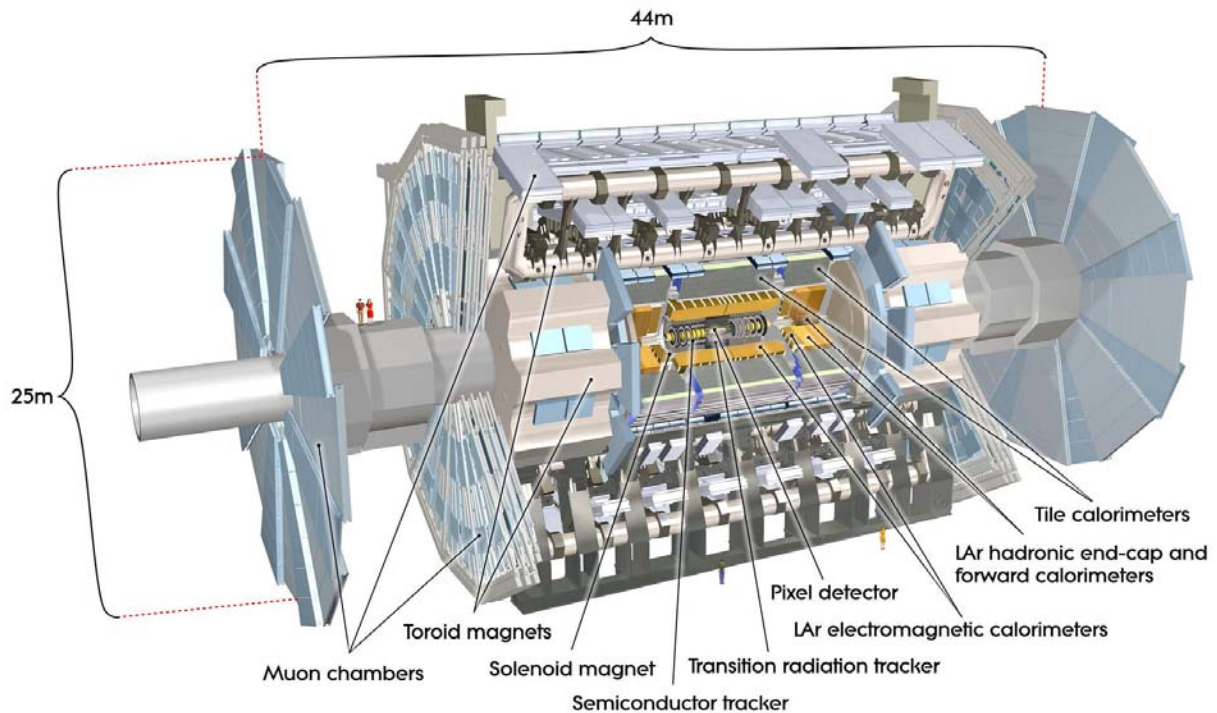
對撞簡單說就是把兩團很大的物質撞碎，碎片不是隨機產生、而是根據量子場論不同物理反應（Channel）有著不同機率，許多有趣（如產生Higgs、t 夸克及許多超對稱理論預測的粒子）的反應、產生截面（Cross Section）很低，所以必須要很高照度（Luminosity）的質子束以增加碰撞機率。大強子對撞器的加速環上有八個碰撞點、目前在四個點進行實驗。粒子偵測器能捕捉碎片的身影，超導環場偵測器（ATLAS）與緊湊渺子線圈（CMS）是五個偵測器中兩個大型通用型的粒子偵測器¹。粒子偵測器的基本原理結構相似，筆者研究ATLAS之B-Layer升級，所以主要介紹其設計。

叁、粒子偵測器

碎片大多是不穩定的、不到幾微秒就衰變成其他的物質，所以偵測器最基本必須分辨這些末端產物並且量測能量。這些產物包括電子、光子還有強子（主要為質子、中子以及 π 介子Pion），電子透過軔致輻射²（Bremsstrahlung）、光子透過產生正反電子對（Pair Production）減速並在偵測器上留下軌跡。不同的特性必須以不同的方式量測，所以任何一粒子偵測器都是巨大、由各種子偵測器組合而成之偵測器系統。

¹ 中文翻譯取自維基百科 <http://zh.wikipedia.org/wiki/大型強子對撞器>

² 中文翻譯取自維基百科 <http://zh.wikipedia.org/zh-tw/軔致輻射>



圖一：ATLAS偵測器結構示意圖（圖片版權屬於CERN <http://www.atlas.ch/>）

以ATLAS為例，從內而外分別是Inner tracker、Calorimeter和Muon Chamber³：

Muon Chamber顧名思義專門偵測渺子（Muon），輕子中、渺子是電子（Electron）的第二代。在產生輕子的反應中，有極大的機率產生渺子，因為其質量為電子兩百倍、只會留下少許能量（事實上來自宇宙的渺子射線也不斷地穿越地球），藉由外加磁場彎曲其軌跡並測量其動量。渺子重要性來自反應總動量必須守恆，而微中子不留軌跡、被稱為消失的動量（Missing $P_{\text{Transverse}}$ ）。

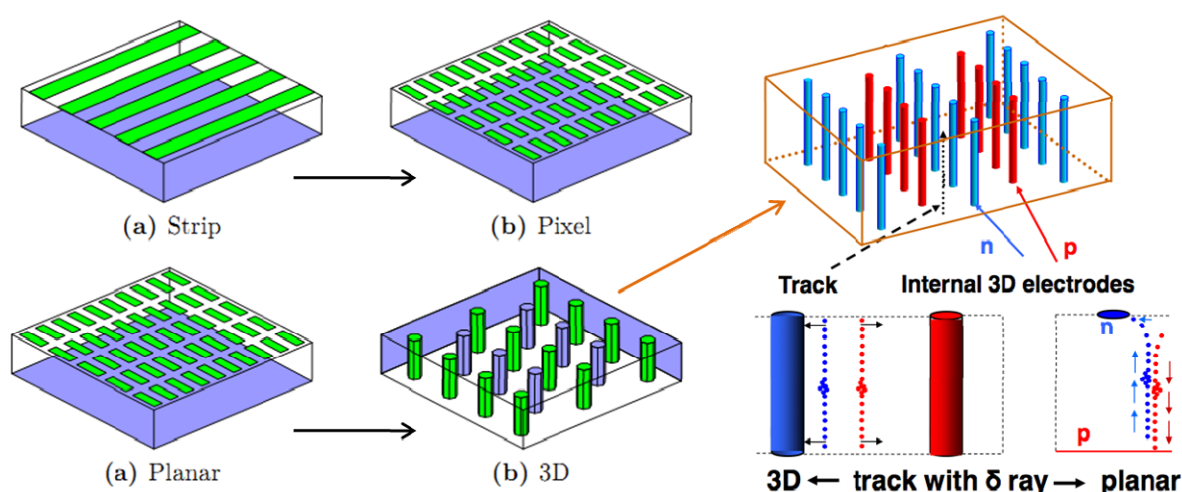
Calorimeter 可以分為兩個部分，Electromagnetic 和 Hadronic Calorimeter（ECal& HCal）分別用來測量輕子和強子的總能量。換句話說，當碎片通過 Inner Tracker 後，所有的輕子必須被 ECal 擋下、所有的強子必須被 HCal 擋下，這個部分能量資訊比位置重要。為了擋下這些高速粒子，Calorimeter 大多是厚重的材料、例如鉛板，並利用原子激發態再回復之放光，經光電倍增管（Photomultiplier）放大後得到能量。

Inner Tracker 在內層、最靠近碰撞點（Interaction Point），這個範疇位置資訊比能量重要，因為強大的磁場會讓不同電荷質量比、不同動量之粒子有不同程度的彎曲，配

³ 無法找到中文翻譯，後文其他沒有統一翻譯的名詞，也將以原文呈現。

合 Calorimeter 可以判斷是電子、光子或強子。同時高精密的軌跡可以回推，迅速衰變的粒子（如 b 夸克）衰變之位置。像素偵測器（Pixel Detector）是 LHC 在工程上的突破之一，十年的時間、設計到生產，它可以提供微米數量級之解析度。最大的超導磁鐵跟超導線圈是另一個突破、它們分別聚焦質子束及提供高達 2~4 Tesla 的磁場。

像素偵測器可類比數位相機之概念—從電荷耦合元件（Charge-coupled Device, CCD）到現今的互補式金屬氧化物半導體（Complementary Metal-Oxide-Semiconductor, CMOS）—由無數鏡頭組成二維陣列、對粒子軌跡照相。拜半導體產業的蓬勃發展，像素偵測器才得以實現，早期的 Strip Detector 因為當時技術、良率等限制，只有一維條狀像素，再以數學方式、間接提供二維位置，精密度有限。新技術、高良率才能造就 ATLAS 近一千八百個「鏡頭」、每個模組上四萬六千多個像素的高門檻，



圖二：矽偵測器世代發展（左）及 3D 科技（右）示意圖（圖片版權分別屬於 [1] [2]）

肆、矽偵測器

在矽偵測器問世之前，Inner Tracker 使用其他的科技來提供所需的位置資訊，例如使用氣體填充及高電壓游離之 Wire Chamber，Wire 可類比 Strip、為一維像素，間接方式提供二維資訊。同時因為質子束的短脈衝時間（Bunch Crossing Time）和高照度，需要非常快的讀取速度（25 奈秒），高速的矽晶片便成了唯一選擇。矽偵測器的輕薄減少體積與材料，為擁擠的偵測器系統增加彈性、新的封裝技術（Flip Chip& Bump Bonding）使得偵測器與讀取晶片緊密整合，成熟的製成技術也提高了良率。

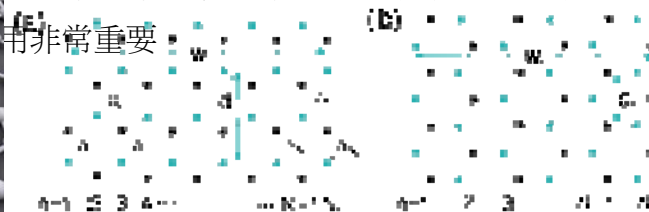
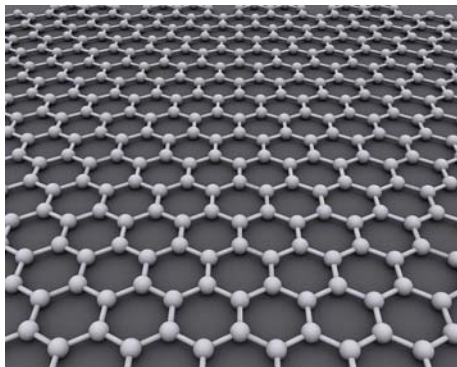
讀者也許會問，既然矽偵測器這麼好，何不通通使用矽偵測器？一是經濟考量：雖然半導體技術成熟，物理上使用的不是商業化產品，量身打造、造價不菲，必須在預算與效果中取得平衡。尤其在歐美國庫拮据的這幾年，LHC 和其他大型物理、天文及核能計劃都受到嚴峻考驗及大眾關注！另一是物理限制，矽偵測器無法量測總能量，因為數百微米的矽不足以擋下高能粒子，總能量是建構粒子質量的關鍵。

為了更進一步增加三維解析度（Spatial Resolution）、及升級像素偵測器，ATLAS 分成兩部分進行：在緊貼著碰撞點及 Beam Pipe 的空隙增加一層偵測器，此區域暴露在最高粒子輻射的環境，增加偵測器壽命便是工程上的挑戰，3D 科技和 Diamond 科技（後文詳述）是目前 Planar 科技的後繼者（Hybrid Planar- 3D Insertable B-Layer 將決定於 2012 年放入 ATLAS），3D 科技利用新穎之電極設計、縮短訊號重建時間，但仍是矽的範疇。

伍、碳元素？

半導體首先使用的材料是 IV A 族第三週期的鍺（Germanium），二戰期間被製成二極體（Diode）、接著矽鍺合金出現，到現在第二週期的矽（挾 25.7%豐沛地殼含量之優勢）被廣泛使用。二〇一〇年、Intel 和 AMD 之消費性電腦晶片正式進入 32 奈米等級，因為接近量子極限，人們必須在材料推進，第一週期的碳就理所當然成為克服製程瓶頸的希望。碳是生命有機物的基本組成之一，從三十年前的富勒烯（Fullerene、巴基球）、二十年前的奈米碳管（Carbon Nanotube），到近十年的鑽石及石墨烯（Graphene），碳的許多同素異形體一直是熱門研究課題。

除了高抗輻射的特性，不需要冷卻系統使得鑽石成為粒子偵測器之明日之星。這裡的鑽石不是天然生成，而是化學氣相沉積（Chemical Vapor Deposition, CVD [3]）之結晶。除了最高的導熱率（Thermal Conductivity, $= 900 \sim 2320 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ [4]），鑽石還擁有高電阻率（Resistivity, $= 2150 \sim 1700 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ [5]）可提高元件速度、大能減少熱雜訊。目前CVD Diamond的製造已經商業化，相對於天然鑽石之使用非常重要。



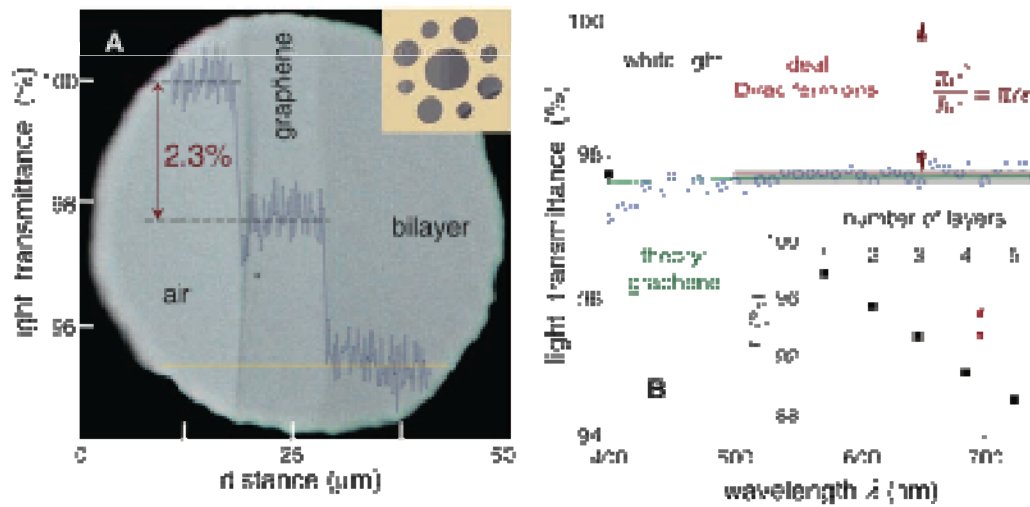
圖三：石墨烯（左）之蜂巢結構及兩種 Graphene Nanoribbons（Arm-Chair& Zig-Zag）示意圖（圖片版權分別屬於 [7] [8]）

早在一九六二年就被德國化學家 Hanns-Peter Boehm 預測存在，石墨烯、單層的石墨，二〇〇四年才被英國曼徹斯特大學（University of Manchester）物理學家 Andre Geim 和 Konstantin Novoselov 等人從石墨中分離出來，並獲得二〇一〇年諾貝爾物理獎。因為其純粹二維碳平面結構，石墨烯有許多特殊性質，吸引學界及業界紛紛投資研究其潛在發展。例如三星（Samsung）即利用其高導電、透明、堅固卻有彈性的特性，發展可彎曲之觸控面板 [6]。當然以矽產業今天的規模、幾十年累積的技術及生產鏈，十幾年內仍是最重要的半導體材料。

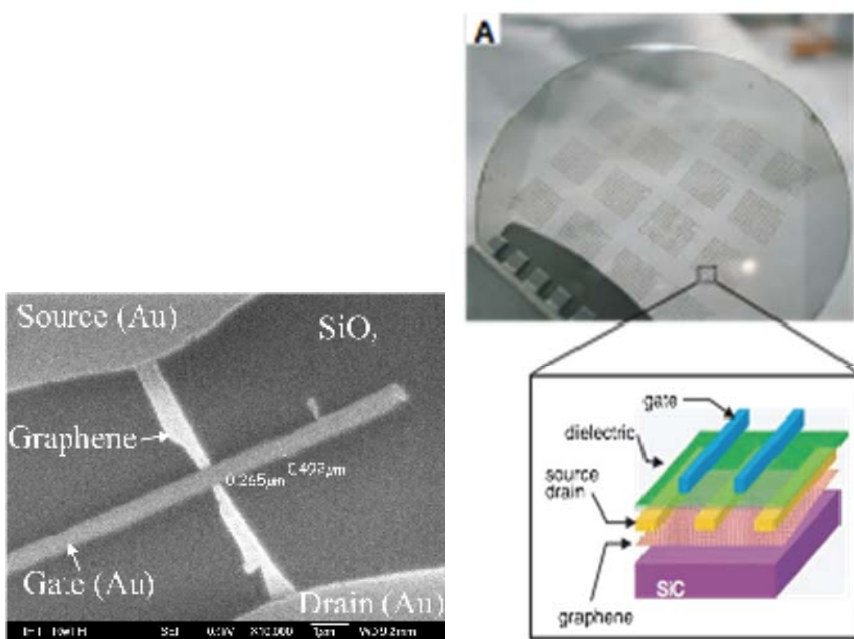
陸、石墨烯

石墨烯許多優良特性來自其二維結構，但此原子平面也限制其可塑性，如同矽鍺合金的應用、石墨烯目前的應用仍須基於矽。石墨烯的光學性質相當特殊，肉眼看是透明，對於白光吸收率為 $\pi \cdot \alpha \approx 2.3\%$ ，其中 α 是精細結構常數（Fine-Structure Constant, $= 1/137$ ） [9]。這樣的吸收率不足以做太陽能電池（Solar Cell），但是高效率（Efficiency）低複合率（Recombination Rate）卻可用作偵測器（後文詳述）。

石墨烯電子在室溫之平均自由徑（Mean Free Path）可達微米，這意味著可做出具有彈道傳輸（Ballistic Transport）、通道長度（Channel Length）卻只需微米的電晶體，將有低耗電、低雜訊之優點。另外其室溫電子遷移率可達 $15000 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{V}^{-1}$ 以上 [7]，調變後也在數百之數量級 [11]，如同鑽石、將有高速之優勢。人們希望整合這些特性成為電子元件，但由於石墨烯沒有能隙，無法直接做成電晶體（需要 0 與 1、開與關做計算，沒有能隙等於無法關閉）。



圖四：石墨烯穿透率實驗（圖片版權屬於 [9]）



圖五：石墨烯上閘極電晶體（左）及石墨烯上閘極電晶體（右）（圖片及版權分別屬於 [11] [12]）

研究發現垂直平面之外電場可產生能隙：○六年美國喬治亞理工大學（Georgia Tech）Walter de Heer 做出側閘極（Side-Gate）電晶體 [10]，○七年德國阿亨工業大學（RWTH Aachen）Max Lemme 做出上閘極（Top-Gate）電晶體 [11]。最新的進程在 IBM，由 Phaedon Avouris 領導之團隊於一〇年做出高達 100GHz 之石墨烯電晶體 [12]，並於一一年做出第一個石墨烯積體電路 [13]，可注意的是、此元件速度是同尺寸矽積體電路的兩倍。

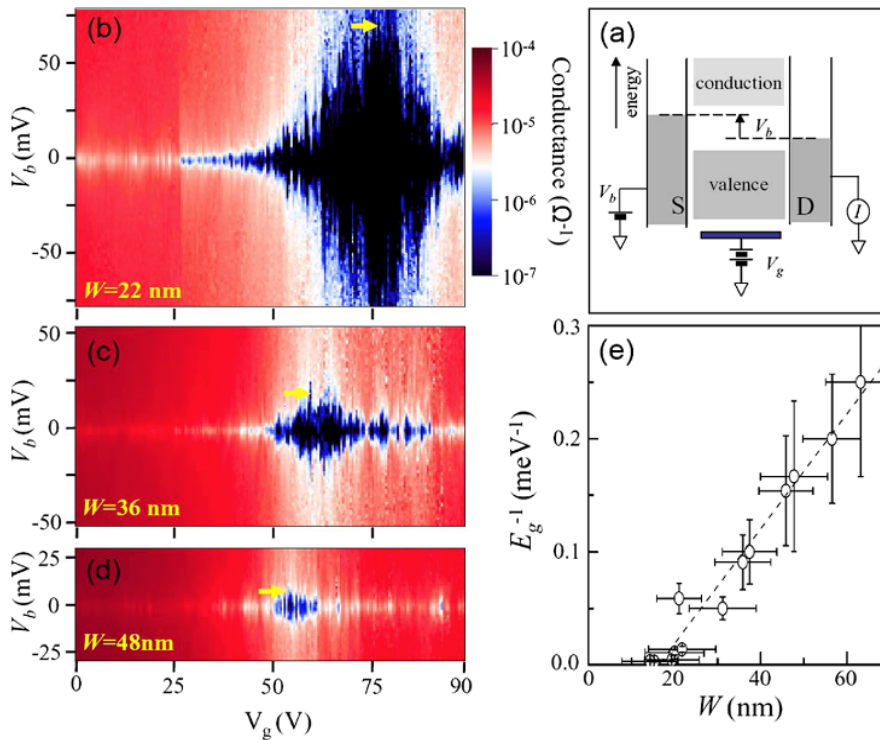
研究也發現石墨烯的大小影響能隙，Graphene Nonoribbons 是條狀石墨烯，其寬度和邊緣（Arm-Chair& Zig-Zag）影響其電性。○六年加州柏克萊大學 Young-Woo Son 等人對其做了理論計算 [8]，○六年美國哥倫比亞大學 Melinda Han 等人對其做了實驗測量 [13]；而可預見的會有更多石墨烯相關之重要結果在這幾年出爐。

柒、偵測精微能量

去年以邏輯推演的方式，建議需要一個新的物理量來描述或分辨陰陽，劉正炁教授稱這已物理量為「神妙精微」的能量 [16]，如何偵測此能量一直是筆者思考的方向。宗教上時常稱光、炁氣等、是個場的概念，陳建德院士及李嗣涔教授也都想測量這個場。教義新境界指出陰陽為高低不同之能量（原子動能是微觀概念但目前無法測量），物理巨觀能量中，最常見的是電磁場或光（物理上相同）及溫度，而溫度也以紅外光（人體體溫 0.0267eV）方式表現。所以實驗上可從電磁場開始：

林緒致同奮用超導量子干涉儀（Superconducting QUantum Interference Device, SQUID）測量鋅、銅線圈產生的磁場，並無發現不同 [18]。這個實驗可延伸為量測半導體電子、電洞移動所產生的磁場，但仍是物質的範疇、結果可能相同。最可能出現量值或相位不同的、便是測量正反電子環繞所產生的磁場，由於反電子（Positron）只要撞上電子就湮滅（Annihilation）成光，反電子源也不易取得，還必須時間解決實驗問題。

物質發出之電磁場無法分辨不同，目光自然轉移到人體發出之電磁場。去除波長 400~700 奈米之可見光波段（因為肉眼無法看到陰陽之不同），再去除 400 奈米以下之高能紫外光波段（因為大於 3.11eV 的放射線會讓生活很不同），實驗可專注再 700 奈米以上至 1000 微米之低能（1.77eV ~ 1.24meV）紅外光波段。



圖五：閘極電壓調變之 Graphene Nanoribbons 示意圖（右上）、能隙與電壓之關係（左）及 能隙與寬度之關係（右下）（圖片版權屬於 [13]）

矽的能隙約 1.12eV ，因為非直接能隙、需要近 3.6eV 才能產生電子電洞對。加速器中的粒子能量動輒百萬 eV ，可以輕易的在矽偵測器留下訊號。可見光可被矽偵測到（數位相機），紫外光更可被矽光電二極體（Photodiode）或光電倍增管（Photomultiplier）測量（主要應用在天文測量）。紅外光要用 III/ V 族之砷化鎵（Gallium Arsenide, GaAs）等直接能隙材料、配合量子井等特殊結構偵測。常見應用有軍事上的夜視鏡、機場中的紅外線攝影機等，但量子井紅外線偵測器（Quantum Well Infrared Photodetector, QWIP）的缺點是只對設計之波段有著高響應。

行文至此、紅外線偵測器的設計呼之欲出。前文石墨烯的許多特性，尤其是可調變之能隙，自然就成為可行的選擇。單一元件可以矽基板為底、上方放置石墨烯或 Graphene Nanoribbons，使用上下閘極施以外電場調變能隙；也可藉由氟化（Fluorinate）改變石墨烯鍵結 sp^2 為 sp^3 產生能隙。未來如果 CVD 石墨烯技術成熟，使用矽讀出晶片為底之二維石墨烯偵測器也是可能的。因為直接改變能隙，此元件可寬頻（Broadband）操作、是目前少見的優勢；當然更多工程問題、如良率及訊雜比尚待解決。

捌、實驗設計

劉正炁教授領導之團隊，幾年前做了一系列默運組炁的實驗：利用光學式三角測脈原理量測右尺脈的變化 [7]、利用紅外線熱像儀及心率變異（Heart rate variability, HRV）監測儀來量測 7~14 微米的遠紅外線（臉部溫度）和心率變異度的變化 [16]。分析發現默運祖炁會造成臉部溫度的有明顯之上升或下降，並可與交感及副交感神經活性找到關連。此結果與其他氣功研究吻合，完整文獻回顧可在 [16] 中找到。

另外天人親和院也在多年前，針對黃敏原同奮、做了分辨天人親和態的實驗：利用腦電波儀（Electroencephalogram, EEG），分析發現天人親和態相對靜坐態時的 Delta 波增加 [19]（Delta 波是緩慢的腦波，常在深度睡眠時出現）。

這些實驗以間接方式證明「炁氣」和人體交互作用後、產生生理上的改變。基於上述實驗方式，但改以直接方式測量陰陽不同之炁氣場。教義提到善念為陽質射線、反之惡念為陰質，所以可在無光或弱光（減少雜訊）環境持誦經典，對照無其他行為之紅外線波段訊號。教義也提到不同生命體的陽電子含量不同，所以可比對同體溫的不同生物之紅外線頻譜與人的異同。紅外光波段許多區間會被水或氫氧分子吸收，需要謹慎控制實驗變因。除了紅外光波段、微波波段（使用天線測量）也是值得嘗試的。

玖、結 論

本文提出可能之石墨烯紅外線偵測器設計，以其在紅外光波段、對人或生物體測量頻譜。實驗概念類似高能實驗概念：在判斷粒子標準模型正確與否前，必須先找出或排除 Higgs 的存在。即使上述實驗結果可能相同，在引入新的物理量描述陰陽、炁氣之前，仍必須先排除其是已知物理量的可能性；與其模糊的語言，實驗不失為一嚴謹之態度。

石墨烯是當前最熱門的物理領域，跨領域之合作也與日俱增——化學及材料工程，配合物理特性研究，應用在資訊及醫學工程上。而 LHC 在工程上獲得巨大的成功後，物理上的結果更是眾所矚目的焦點（總預算達七十五億歐元 [20]）。累積一年半大量數據後，Higgs 更多質量區間將被排除，計畫明年完成驗證。

如果 Higgs 不存在，現存更高維度的物理模型——如超對稱理論（Supersymmetry）及弦論（String Theory）——將可能成為主流並被驗證；未來也可能有其他統一場論出現，因為超對稱預測的粒子一直沒被發現。直觀可想像陰陽藏在更高維度之中，如果炁氣真實存在，那物理的發展勢必走向這個道路，物理與宗教結合將更密不可分。筆者將繼續基於科學發展，思考陰陽概念與物理兼容之可能理論。

參考文獻

1. M. Mathes, "Development and Characterization of Diamond and 3D-Silicon Pixel Detectors with ATLAS-Pixel Readout Electronics". 2008, PhD Thesis, Universität Bonn.
2. C. Da Via, et al., "Speed: 3D sensors, current amplifiers". 2008, Seminar Talk.
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_vapor_deposition_of_diamond
4. <http://en.wikipedia.org/wiki/Diamond>
5. A. Oh, "Particle Detection with CVD Diamond". 2004, Seminar Talk.
6. <http://www.technologyreview.com/computing/25633/?a=f>
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Graphene>
8. Y. W. Son, et al., "Energy Gaps in Graphene Nanoribbons". Phys. Rev. Lett. 2006, 97, 216803.
9. R. R. Nair, et al., "Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene". Science. 2008, 320 (5881): 1308.
10. <http://gtresearchnews.gatech.edu/newsrelease/graphene.htm>
11. M. C. Lemme, et al., "A graphene field-effect device". IEEE Electron Device Letters. 2007, 28 (4): 282.
12. Y. M. Lin, et al., "100-GHz Transistors from Wafer-Scale Epitaxial Graphene". Science. 2010, 327 (5966): 662.
13. M. Y. Han, et al., "Energy Band-Gap Engineering of Graphene Nanoribbons". Phys. Rev. Lett. 2007, 98, 206805.
14. <http://spectrum.ieee.org/semiconductors/devices/first-graphene-integrated-circuit>
15. 劉通敏, 等, 「靜坐默運祖炁自然運化引起之右尺脈變化的探討」2007, 天人親和院文獻.
16. 劉通敏, 等, 「靜坐默運祖炁導致自律神經變化的探討」2008, 第六屆天帝教天人實學研討會.
17. 劉通敏, 「『天人親和』電力放射的科學觀」2008, 第六屆天帝教天人實學研討會.
18. 林緒致, 「陰陽電磁場研究」2008, 第六屆天帝教天人實學研討會.
19. J. Y. Lin, et al., "Case Report: Relatively High EEG Delta Power during Quiet Sitting and Communicating with Nature". 2007, (Unpublished).
20. http://en.wikipedia.org/wiki/Large_Hadron_Collider

