



姓名：張敬民

學歷：

Ph.D at the University of Wisconsin-Madison
(1988-1992)

現職及經歷：

國立清華大學物理系副教授 (2003/8 至今)

國家科學理論中心科學家 (2000/9-2003/7)

University of California at Davis, Postgraduate
Researcher (1997/9-2000/8)

University of Texas at Austin, postdoctoral Fellow
(1994/9-1997/8)

Northwestern University, Research Associate
(1992/9-1994/8)



著作名稱：

1. BLACK HOLE PRODUCTION AND LARGE EXTRA DIMENSIONS, published in Physical Review Letters 88: 221602 (June 2002).
2. BLACK HOLE, STRING BALL, AND P-BRANE PRODUCTION AT HADRONIC SUPERCOLLIDERS, published in Physical Review D66:036007 (August 2002).

中文簡介：

一、導 論

粒子物理的標準模型，可以考慮是最成功的一個標準模型。經過三十多年的實驗考證，標準模型已被驗證到 10^{-3} 。無論如何，作為一個理論學家，我們相信標準模型不會是最終的理論，原因如下：(一)標準模型有很多的參數，特別是費米子的重量，這跟味道問題有關。又為什麼只有三個家庭：(二)標準

模型沒有把所有作用力合在一起：(三)Gauge Hierarchy 問題。在粒子物理中有兩個 scales，弱電 scale 及 Planck scale，它們之間相差 16-17 order of magnitude，這樣會導致 Higgs Boson 重量超大的修正，如此需要非常小的抵消，才可以有大概 100 GeV 的 Higgs boson 重量。

大家都有一個信念，那就是新的物理會在 1 TeV 左右時被發現，未來的 LHC 實驗，將會實現我們的夢想。

除了以上的考量，在其他領域上也告訴我們，標準模型其實是不足夠的。最轟動的莫過於微中子，現在有了重量和相互震盪。從大氣與太陽微中子的實驗中，已證實微中子會相互變換(即震盪)，微中子本身亦有重量。另外，從很多天文及宇宙觀測中，幾乎可以肯定黑暗物質的存在，但我們對它的認識很少，不但不知道它是什麼粒子所組成，更談不上它可能在標準模型以內。在最近這幾年當中，藉著超新星的測距，宇宙微波輻射的量測，我們發現在宇宙中，存在著另一個更神秘的物質，是我們不能了解的，稱為“黑暗能量”，在標準模型以內，我們是無法解釋這個物質，標準模型也無法給予一個合理的解釋，為何宇宙重子比反重子多了許多。

以上各種原因，應該可以令人相信，在標準模型以外是存在著新物理。但是，這是什麼樣子的物理呢？現在還無人可以回答這個問題。不過，可以從一些基本的問題中，去尋求答案。

Gauge hierarchy 問題引發了多個多維空間的模型。為何

我們相信在多維空間？弦論和數學都告訴我們，空間是多維的，超弦論要存在於 10 或 11 維的空間。為何我們看不到這些在三維以外的空間呢？一個很簡單的原因，就是它們實在太少，我們的肉眼，以致於一切現有的儀器，都無法把它們分別出來。在圖一中，“Physics”是放在一個額外的座標上，但這個座標所描述的空間非常的小，因此在一段較遠的距離上觀察，都無法看到這個額外的空間。

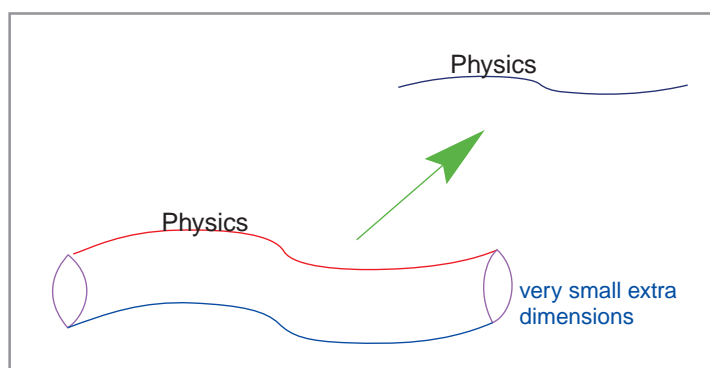
這篇文章會討論一個多維空間模型，及其引發的量子引力現象。

二、ADD 模型

Arkani, Dimopoulos 和 Dvali 提出，如果只有引力存在於多維空間，這些多維空間可以非常大，可以大到 1mm。這樣的牛頓萬有引力，在 1mm 以下會有更改，但目前的引力實驗還未達到這個準確值。我們所看到的 Planck Scale M_{Pl} 變成一個可變的參數：

$$M_{pl}^2 \approx M_D^{n+2} R^n$$

在當中 M_D 才是這個模型中基本的



圖一：說明為何看不到多維空間。

Planck Scale，R是多維空間的大小。如果R真的是很大， M_D 就可以相當的小，可能會只有到 TeV，這樣就沒有 Gauge hierarchy 的問題了。在這模型裡，一般粒子都困在一片3-brane上，而只有引力子才可走到多維的空間。整個組合在圖二。

ADD模型的特點就是透過引力子。在高能實驗中，普通粒子可以碰撞產生引力子，而引力子可以有兩種可能性：(i)帶著能量及動量，走出多維空間，這樣在實驗中，產生了“失去能量”的作用，(ii)引力子可以返回3-brane上，跟標準模型的碰撞amplitude，產生干擾，尤其在高能領域中，產生特別效應，如果可以準確的量度，便可以找到干擾效應。

ADD模型也有一個非常特別的性質，就是基本 Planck scale 可以只有 TeV。這樣在一些高能實驗中，如CERH LHC，可以大大超過 M_D ，而這樣可以產生一些量子引力的效應，如產生黑洞，弦球 (string balls)，及 P-brane。在圖三中我們做了一個簡單的描述，在低能時，粒子的碰撞可以用粒子來代表，但當能量提高到接近，或者是超過 M_D ，這時要用弦來代表碰撞的過程。

再當能量提到更高，弦變的相當活躍，加上高度的纏繞，成為弦球。再進一步弦球就會轉變成一個黑洞。所以當能量超越 M_D 時，以上的效應都可能發生。

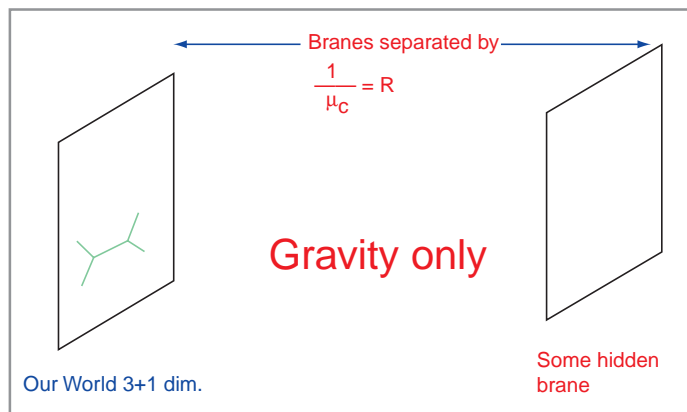
在此，我短述黑洞與弦球的產生。黑洞的參數有：重量，角動量及帶電荷。在此只考慮沒有角動

量及電荷的黑洞。黑洞的 entropy 要大過於 25，才算是一個黑洞，這個建議也有助於定下切面方程式的準確度。在粒子碰撞中，產生黑洞的切面是：

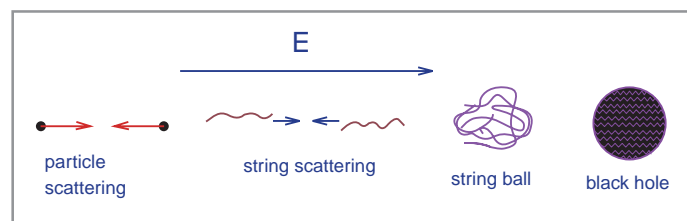
$$\sigma = \pi R_{BH}^2$$

這是依賴半經典的理論。假定兩個近來碰撞的粒子，它們帶有 $(S)^{1/2}$ 的能量，如果它們能把所有的能量都轉換成為黑洞，它們之間的距離不應大過於黑洞的半徑，這樣就可以引致上面的切面方程。

講述完黑洞的產生，繼而要處理的是黑洞的衰變。簡單的想，黑洞可能衰變放出引力子，然後引力子跑到多維空間，這樣實驗便不能看到黑洞。但 Emparan，Horowitz 和 Myers 持不同的觀點，他們認為因為黑洞的半徑比多維空間的 R 小很多，黑洞就好像



圖二：ADD 模型的整合。



圖三：超越 Planck scale。

一個S-wave發射點，而不能容易的在多維空間裡，產生高角動量的 states，所以絕大部分會衰變，放出標準模型粒子。根據粒子的自由度而產生的重子：輕子的比例是5：1，再加上黑洞的衰變是恆溫(isothermal)，一個幾TeV的黑洞可以衰變放出30-50個粒子，所以每個粒子都帶著幾百GeV，因此，黑洞的event就好像是一個形狀是圓球體的火球，這樣的event是非常清晰，背景非常的低，在實驗中可以算黑洞的產生數目，來斷定 M_D 的大小，及多維空間的數目。

另外，我又約略的提到弦球：弦球是一條極為活躍且纏繞在一起的弦。弦球跟黑洞有著密切的關係，透過一個轉換點，弦球會轉變成黑洞，黑洞也會轉變為弦球，在轉變點上，弦球和黑洞的特性是一致的，這就是Correspondence Principle。在Correspondence 能量之下，只有弦球，弦球的產生切面，比黑洞大的更多，因為它的threshold只有 M_s ， M_s 比 M_D 低，所以在LHC，產生弦球比黑洞來得容易的多。在圖四，表示黑

洞，弦球及P-brane的產生切面。P-brane是黑洞的普遍化解，黑洞是P-brane在 $P=0$ 的特別解，在這邊不再多描述P-brane了。

這些黑洞或弦球都可在宇宙射線中產生，因為宇宙射線的粒子能量比LHC更高，只不過在全世界的幾個天文宇宙實驗中，比較少量的可以看到黑洞或弦球的效應。

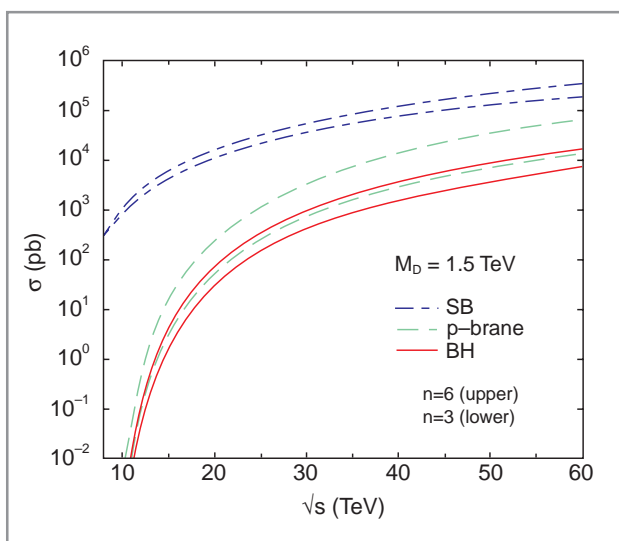
三、總結

這篇文章簡略地描述了一個多維空間模型及其引發的量子引力現象，我們密切期待LHC的建成，來發現各種的新物理。

評審簡評：

微黑洞會藉 Hawking 黑洞輻射「蒸發」，這個天方夜譚式的理論，因著「大額外維度」(LED) 而有可能在對撞機檢驗。額外維度的傳統尺度在 10^{19} GeV，但LED的尺度有可能離 10^{3-4} GeV不遠，而可被正在日內瓦建造中的LHC對撞機來檢驗：微黑洞、微黑洞蒸發、大額外維度有可能一併在LHC被發現！

張敬民教授指出微黑洞若在產生時與標準粒子反彈，將會是比「靜止微黑洞產生」更好的Signature，提供了實驗家確証發現的方法，並可刺激後續理論發展。他的單一作者PRL論文，在兩年內已被引用超過50次，相當受重視，而後續的PRD論文更仔細且把探討範圍加以擴展，也已被引用近40次。若台灣參與的LHC實驗果真發現微黑洞與大額外維度，張教授的工作將留名青史。



圖四：黑洞、弦球、p-brane 的產生切面。