

第貳章 文獻探討

在本章中將以研究問題為中心，討論相關的文獻內容以期說明本研究在理論、設計上的依據。主要包含四個小節，分別是知識分散論、diSessa 的理論、力與運動迷思概念以及以研究及教學為基礎的研究(Research And Instruction-Based/Oriented Work, Rainbow)與預測、觀察、解釋及比較(predict, observe, explain, compare, POEC)。

第一節 知識分散論

目前對孩童對世界的想法可以分成兩端 (diSessa, 2004)，一端是認為孩童具有一個似理論、融慣性的知識結構，可以用來解釋、預測遭遇到的問題 (McCloskey, 1983、Vosniadou, 1993)，例如衝力理論 (impetus theory) (McCloskey, 1983)，他認為孩童利用這樣的理論來詮釋物體的運動，例如水平拋射的物體、做圓週運動的物體等等。而持同樣論點的代表還有 Vosniadou(1993, 2002)，他以架構理論來詮釋孩童對於世界的想法，例如孩童對於地球具有一個心智模式以供其操弄想像來回答晤談的問題或是心中具有一個對於力的詮釋方式，並且更進一步的說明專家的架構理論和生手的架構理論之不同點。例如在外在表徵、表達方式、後設認知能力上有所不同。而另一端便是認為孩童對世界的想法是分散的，不具融慣性的 (diSessa, 1993、Clark, 2006、Ranney, 1994、O'Malley & Draper, 1992)。diSessa 認為知識結構是由許多小小的單元所構成，這些單元都是個體抽象化自身的經驗而所得到的，所以會和情境相關，也因為這些單元和經驗時的情境有關，所以才會說他們並不具備融慣性，受情境影響。而 Clark (2006) 針對學生學習熱學的想法進行長時間的研究，經過多次晤談後，提出下列四項結論：1. 學生經常會出現相互矛盾的想法，這些想法各自獨立，不像是根據理論來回答。雖然在某些特定情境下學生會有一致的回答，但因這些情境都太狹隘因此不能說這些想法是似理論的。2. 那些矛盾的解釋大多都和學校知識互相衝突，而這些解釋都來自於學生

的經驗知識，可是這些經驗知識是碎裂而非理論，也因此產生下面兩個結果。3.學生很難連結經驗知識與學校的知識。4.學生費時去擴張學校知識的解釋範圍，因此會提出一些特別的解釋以使他們的經驗知識能夠成立。而 O'Malley & Draper (1992) 也從人機介面的角度探討知識結構，他認為使用者在使用電腦介面時，心中並不存在一個模擬電腦界面的模型，與電腦介面相關的知識都是不融貫、分散的，使用者會利用語意和空間記憶來儲存這一方面的知識，因此他們認為所謂的心智模式應該是由一些不同表徵編碼的記憶所組成。而 Ranney (1994) 測試不同情境下概念使用的情況，結果發現即使所需要使用的概念是相同，但是還是有超過 60% 的人會使用不同的概念來解決問題。

這兩種看法間的爭辯仍未停歇，研究者採用知識分散論的觀點來進行研究主要是受到自己學習歷程以及 diSessa 的影響。

第二節 diSessa 的理論

在前面一節當中已經介紹幾位贊同學生知識為分散的研究者其論點，接下來這一節當中便要談論 diSessa 對於學童知識的論述。本節主要是要說明 diSessa 對於**片段知識**的觀點。因此彙整他文章中的論點，並且探討他對於學童科學知識想法的演變。首先是對於學童知識結構的理論，包含構成心智結構的單元以及其發展。

理論描述

diSessa(1993)認為學生的想法可以用理論或者是一個完整的模式來描述，因為學生對於世界的想法都是片段的而且尚未經過連結和組織，也沒有系統，因此不能夠稱的上理論。他偏向於認為學生是用一堆比較粗糙的想法來詮釋這個世界。而這些想法來自於學生的各種經驗，由學生本身利用詞語來詮釋這些經驗所獲得的想法，因此他認為這些想法是學生知識的基礎單元。這些基礎單元會有增加、修改、刪減，而這些動作代表著知識的改變，而所謂學習物理便是從另一個角度來整理和看待這些過往的經驗，透過理論來連結這些基礎想法，並且和真實現象建立連結。在學習的初期，當需要解決所遭遇的問題時，首先提取的內容便是這些知識單元，由於當初這些知識單元皆在特定情境下才會產生，因此那些被提取的知識單元勢必會和問題情境相關，直到知識結構逐漸完整，知識單元之間產生連結甚至產生下一層的知識後，才有可能利用這些新的單元來解決問題。

現象原詞

最基礎的知識單元稱為『現象原詞』(phenomenological primitive)，簡稱為 P-prim。他們具有下列的性質 (diSessa, 2002)：

- 小而單一：p-prim 是知識結構的基礎，他們所能解釋的範圍很小。
- 眾多：p-prim 的數量是非常多的，而他們的集合有時會稍稍具有某些程度的系統性，但是彼此間甚少有所連結因此不會像是一個理論。

- 透過認知功能運作
- 對自然狀態的感覺：p-prim 具有判定資訊是否合理的功能，例如我們看到一個東西被推，並不因為它移動而感到驚訝，相反地，我們早就根據 p-prim 而預測它會朝著受力方向而移動，僅在情況不如我們所預期時，才會令人驚訝。
- 最原始的解釋：無法解釋這些 p-prim 背後的原因。
- 流動的：當 p-prim 在某些情境下被誘發時，有時因為受試者注意力轉移而很快被另一個 p-prim 置換掉，所以其出現的狀態可能會是稍縱即逝的。
- 由抽象化而產生。
- 難以言喻的：p-prim 並不是字彙，也不是用語言編碼的，所以有時受試者會很難描述他們的想法。
- 藉由重新組織發展：在學習的過程當中，p-prim 並不會因為學到新的科學概念就消失，而是在科學概念當中找到他們新的位置，他們可能因此成為科學理論內得一個特例，但此時 p-prim 就不再是不可解釋的，因為可以利用科學的理論來解釋這些 p-prim 存在的原因。
- 情境依賴的：特定的情境會誘發特定的 p-prim，換句話說，也許不同的情境下可以使用同樣的科學概念，但是因為受到 p-prim 的影響，因此在這些不同的情境下使用不同的解釋或預測方式。

接著我們來看一些 P-prim 的範例，一個向上丟擲的球，其速度會逐漸變慢；在地上滾動的球，同樣也會逐漸變慢，由這現象所得到的經驗，便很可能產生一種速度正在『消逝中』（dying away）（diSessa, 1993）的想法而這個 p-prim 便僅會在這個情況下才會出現。另外則如移動中的物體，便會認為此物體是因為受到一個與他移動方向相同的力所做用，因此才會移動，此後在類似的場合之中，只要見到有物體正在移動，便覺得有一個和物體移動方向相同的力正作用於他之上，而這個想法便稱為『力為推動者』（force as mover）（diSessa, 1988, 1993）。另一個常被使用的 P-prim 稱為『歐姆現象原詞』（ohm's prim），主要是將某些過程中

的角色區分成動力 (effort) 阻礙 (resistance) 和結果 (result) 三種，如下頁圖 2-2-1。其中動力便是用來達到某些結果，但是在進行的過程中會遭遇某些阻礙，所以容易覺得若是所提



圖 2-2-1 歐姆現象原詞 diSessa(1983)

供的動力越大越多 (正向) 時，會產生越大越多 (正向) 的結果。但相對的，若是同樣的動力，但是遇到較大較多的阻礙時，產生的結果也就會比較小。例如要推動一個重物，提供推力的人便是動力，而重物的重量即是阻礙，速度則為結果，推力越強速度會越快，但是重量越大則速度會變慢 (diSessa, 1988, 1993)。這些 p-prim 一共分成兩類 (diSessa, 1993)，包含了『力與運動』與『限制現象』 (constraint phenomena)，每個類別下面包含數個 P-prim 如表 2-2-1 所示，而更詳細內容則在附錄一中。

表 2-2-1 P-prim 的分類

力與運動	歐姆現象原詞 (ohm's p-prim) 力為推動者 (force as mover) 力為偏向者 (force as deflector) 連續力 (continuous force) 力為旋轉者 (force as a spinner) 干擾 (interference) 消逝 (dying away) 更努力做功 (working harder) 熱機 (warming up) 真空推動 (vacuums impel)
限制現象	彈起 (bouncing) 支撐 (supporting) 引導 (guiding) 夾住 (clamping) 剛性 (rigidity) 彈性 (springiness) 平衡 (equilibrium) 廣義彈性 (generalized springiness) 動態平衡 (dynamic balance) 勝過 (overcoming) 抽象平衡 (abstract balance) 抵銷 (canceling) 平衡性 (equilibration) 彈回 (recoil) 下落 (released object falls) 搖晃 (wobbling) 大則音調低 (bigger means lower pitch) 剛硬則速度快 (stiffer means faster)

現象原詞的發展

關於 p-prim 的發展已有稍稍提到，現在就更深入的來談這件事情。diSessa (1993) 認為知識的發展其實牽涉的是知識權重的改變。最一開始用來描述世界的知識是利用 p-prim，它是由經驗所產生的，故此時它的權重最大，遇到需要解決的問題情境時，便從類似的情境提取相關的 p-prim 來解決，但因為它的單位小、解釋的範圍有限，因此不同的情境之下需要不同的 p-prim 來解決問題，隨著經驗增加 p-prim 的數量也會增加，相似的 p-prim 彼此會逐漸聚集然後編碼，爾後遭遇類似的情境便直接將提取一群的 p-prim 來解釋，而這已經接近專家解釋特定現象的狀態，牛頓定律便可視為是所有這些單元複雜且系統性的集合，p-prim 僅是這個系統中的某些特例。換句話說，p-prim 並不只存在生手的想法中，他同樣也存在於專家的想法當中，對專家來說 p-prim 是解決問題的捷徑，例如『力為推動者』這個 p-prim。專家知道僅有物體由靜止開始移動，才可將物體移動的方向視為受力的方向，因此這種情境一旦出現時，專家可以馬上運用這個『力為推動者』來解決問題，但是和生手不同之處在於專家因為熟悉科學理論而比生手更清楚何種情況下可以運用 p-prim，亦即科學理論的使用權重比 p-prim 的權重要來的高。p-prim 的運作規律 (systemacity) 可以分成兩種類型：靜態傾向 (static predisposition) 與具象原詞 (figural primitives) (diSessa, 1993)。指的是在描述或是解釋一些動態事件時，會傾向利用靜態現象來陳述或者是利用可見的 (視覺化或是空間性) 的方式來說明。

如何發現新的現象原詞？

要發現新的 p-prim 是有一些難度的 (diSessa, 1993)，第一由於 p-prim 是很小的知識單元，解釋的範圍也比較小，因此僅會在某些情境下出現，所以在解決問題的過程中很難被注意到。第二則是因為 p-prim 不容易和詞語連結，所以不容易察覺受試者的使用時機。第三是使用 p-prim 時的詞彙可能是比較不熟悉的，僅有受試者本身才瞭解詞彙意涵的真意，所以要描述一個 p-prim 時必須要將情境、推理過程、以及語言的內容說明清楚。第四則是因為 p-prim 的去留與個人經驗有相當大的關係，所以要辨別哪些 p-prim 會繼續存留是困難的。由於要發現

p-prim 有上述的四項困難存在，因此 diSessa (1993) 也提供數項關於找到他們的方法：

- 顯而易見原則 (Principle of obviousness): 人們會利用 p-prim 去解釋一些日常生活的物理現象。所以 p-prim 可以為這些常見的現象建立一個抽象的層次，而這是迷思概念的研究者缺乏思考的方向，他們沒有去分析正確的物理直覺。這個原則常常會和不變性原則一起作用。因為瞭解受試者對於一般現象的想法，便可以據此去瞭解非一般現象的想法。
- 難以探測原則 (Principle of impenetrability): 相對於解釋，p-prim 比較粗糙、簡單和基本。當人們對某個現象提出一些敘述並且因此而滿足時，這表示敘述之中會有 p-prim 出現。但是我們也必須瞭解，有時會出現複雜的解釋，例如使用 mental model。而這些解釋或許包藏著許多的 p-prim。因此在 p-prim 只是相較之下比較基本的時候時，這個原則便有極限。也就是說利用其他可信的回圈可能也可以找到不同的 p-prim 或者是其組合等等。
- 多樣化原則 (Principle of diversity): p-prim 是很多的。因此必須要保持著可疑的精神才能找到，但是在我們找到那些需要被解釋的事件之中，我們可能會因為這個懷疑的想法而將正確的 p-prim 刪去。
- 覆蓋原則 (Principle of coverage): 我們經常經歷到的事情通常會包含著 p-prim，所以我們探查 p-prim 的範圍比需比學校教授的概念範圍來的大才能看到更多 p-prim。當學生是用正常的想法來分析的時候，迷思概念的研究就沒有去探究這種正常想法背後的含意。而且這個原則也和那些僅涵蓋學校教授概念的研究大相逕庭。這是一個很重要的原則，可能常常可以找到新的 p-prim。
- 強字彙原則 (Principle of strong vocabulary): 我們可以從一些較常被使用的字彙當中去尋找 p-prim 的存在。
- 無疑源起原則 (Principle of unproblematic genesis): p-prim 可能是從一些很常看到的現象當中產生出來的，而他也和字彙的使用有關係。而且這個原則和功能性原則相關。但是必須要小心 p-prim 可能從某一個情境當中產生，但是遷移到另外的情境當中。

- 個體原則 (Principle of the body): 這是字彙原則和連續原則的特例。 p-prim 可能是個人內在證據的抽象化，特別是在早期的認知發展過程當中容易出現。而下面兩個原則可以適切的幫助我們去確認 p-prim。
- 功能性原則 (Principle of functionality): 這個原則是從一個假設出發而得。我們推測人們透過對於力學的感覺、直覺因果關係進行推理，以處理實體世界的問題。那些被科學知識否定的 p-prim 其實常常可以有效地去解釋外在的情境。這個原則對於 principle of ready availability 和 principle of strong vocabulary 有所助益。
- 有效原則 (Principle of ready availability): 我們必須要瞭解 p-prim 是如何被應用解釋真實情境當中，而他被運用的方式大多是使用字彙，但仍然需要承擔特殊字詞 (term) 在特別的情況之中的分析。而不同 p-prim 在使用順序上不同時，也是可以找到的。
- 連續原則 (Principle of continuity): p-prim 也有可能從先前的知識當中生成，因此由受試者先備的知識可以找到新的 p-prim。
- 動態原則 (Principle of dynamic): 一般來說在晤談時，受試者第一次給予的答案都是可以馬上運用詞彙說明的，特別是那些想法他們早已熟悉或者是根深蒂固時。具有較高優先地位的 p-prim 通常會被引出，然後和獨特情境產生交互作用。
- 不變原則 (Principle of invariance): p-prim 會被應用到許多相同的情境之下，只要他是可以被使用的。因此當我們預期會有某些 p-prim 要出現之時可是卻沒有出現，或許可以將當前情境稍微更改一下，便可以成為引出 p-prim 的情境，就可以找到他了。或者是換個方向思考，若一直都沒有找到 p-prim 時，我們可以回顧一下他一開始出現的情況，在回頭看看當前的情況或許就可以找到一些蛛絲馬跡。什麼時候會有更明顯的證據呢？就是當創造出一個新的類似情境但是 p-prim 卻不能夠解釋時，受試者露出驚訝的感覺後。
- 多項證據原則 (Principle of diverse evidence): 不同的問題可能可以得到相同的 p-prim，這個原則有點類似不變原則，但是更為廣泛。
- 再描述原則 (Principle of redescription): 透過再次描述可以將一些互相衝突的描述內

容整合成較具有融慣性的結果，而這個方式必須要和其他的原則互相配合。

- 搜尋原則 (Principle of scavenging data): 也可以使用別人的資料來進行分析得到 p-prim，例如皮亞節的資料、或者是一些迷思概念的資料皆可以使用，只要這些資料尚未進入到理論的層次之前皆可以使用。
- 不一致原則 (Principle of discrepancy): 當他說出了一個不符合科學理論的想法時，那就是我們找到 p-prim 的機會。
- 符合內容原則 (Principle of content over form): p-prim 是一種根據內容進行分析而得到的結果，因此不可以從一些非內容或者用類比的方式來陳現它。

由上述的文獻內容可以得到幾個結論，首先是 p-prim 的發現並不容易，同時他會隨著情境的不同而有所變化，所以必須先根據已知的 p-prim 設計教學以及評量的情境，觀察是否真的在不同的情境下 p-prim 的運作方式及內容會有所不同。第二則是必須理解及接納學生無法解釋的情形，因為在他們提出某些想法的背後很可能真的已經沒有其他解釋的理由，但是要做到這一點也必須要在晤談和教學的方式有所調整，在他們說不來時可以請學生用手繪圖或者動手操作，直到真的確定他們是否真的無話可說且沒有辦法進行任何解釋。第三則是針對學生在學習過程當中知識權重的改變情況，觀察是否科學理論（教授的科學概念）被使用的情形有逐漸提高，超過 p-prim 的情況，同時觀察 p-prim 是如何變成科學理論的一個特例。第四從不同的情境當中去搜尋類似的 p-prim。第五則針對相同的 p-prim 設計不同的教學情境或者評量情境，看看學生在使用 p-prim 上的差異。

對本研究啟示

diSessa 的理論對於本研究的啟示主要有下列幾點：

1. 對學生進行晤談的過程當中，需要盡量詢問其想法，但若是學生已無法再更進一步的解釋其想法時，研究者也必須要接受這樣的回答，不再強求有合理的解釋，因為學生在這種情況下很可能已經是使用最簡單的思考單元來回答，無法再更進一步的給出適當的解

釋。

2. 對於同樣的概念必須要使用多重問題來詢問學生的想法，因為由 p-prim 的理論來看，學生在不同的問題當中會使用不同的 p-prim，故要瞭解學生對某一概念的想法需要準備許多問題來詢問。
3. 有許多的 p-prim 是無法用言語說出來的，因此要評量學生的想法需要使用多種不同的表徵，例如請學生計算、畫圖、說明、撰寫、實際操作等等。

第三節 力與運動的迷思概念

在上一節已針對 diSessa 的理論進行探討，瞭解了 p-prim 的特質、其發展方式以及發現 p-prim 的原則。由表 2-2-1 以及附錄中也知道學生在力與運動的這個領域當中具有許多的 p-prim，照理說應該就能夠針對這些 p-prim 的內容來設計關於力與運動的課程，但是 diSessa (2002) 提到 p-prim 的數量是眾多、零碎的、情境依賴的，故一定還有 p-prim 是 diSessa 尚未發現的，因此若僅依據這些現有 p-prim 來設計教學內容，深恐有所疏漏，而無法觀察到比較完整的學習路徑，所以研究者便想利用關於力與運動的迷思概念來設計教學內容，畢竟在這方面的研究已經有相當豐碩的成果。因此本節主要是整理學生在力與運動上的迷思概念，並且闡述迷思概念和 p-prim 之間的關係。

力與運動迷思概念的研究具有相當多的結果，由於運動與力的內容其實可以說是糾葛纏結，因此要區分這些研究的內容會有些困難，因此主要先從他們研究的內容是否與牛頓定律相關進行區別，再區分其他類型的研究，因此主要大致可以分成六種類型：牛頓第一運動定律、牛頓第二運動定律、牛頓第三運動定律、運動學與向量、力的本質。牛頓三大定律的部分則探討相關迷思概念，但是在第二定律部分則從許多不同的情境來探測學生的想法，包括自由落體、拋體運動及圓週運動這些情境。而運動學與向量主要是探討學生在使用向量上以及對於速度、加速度的迷思概念。在力的本質上主要可以分成力的一般性質和特殊的力（浮力、重力、摩擦力）的相關研究。

牛頓第一運動定律

牛頓第一運動定律稱為慣性定律，是指每個物體都保持其靜止或等速直線運動的狀態，除非有外力作用於它迫使它改變那個狀態。在慣性這個概念上，學生可能會有以下幾種類型的迷思概念：認為物體不受力時便會呈為靜止狀態（Halloun & Hestenes, 1985、Enderstein & Spargo, 1996、Watts, 1981、董正玲、郭重吉，民 81）；物體會持續其原來運動的方式，直到

他運動的『力』耗盡（董正玲、郭重吉，民 81）；等速運動的車子當中，當球下落時會落在車子的後面（Eckstein & Shemesh, 1989）；當物體不受外力而維持等速運動時，會用『慣性作用力』（與生俱來的力）來解釋慣性所造成的影響（郭重吉、楊其安，民 78）；靜止物體僅受重力或不受力（Thijs, 1992）；等速運動的物體是因為有力量持續作用在他身上（Clement, 1982）；物體的慣性力會因為受阻力或重力影響而逐漸減弱（Thijs, 1992）。

我們可以將上述的迷思概念大略區分成幾項：1.利用力來解釋物體運動的慣性或是反過來推論。2.認為物體靜止狀態下不會受到力的影響。

牛頓第二定律

牛頓第二定律指的是物體運動的變化正比於外力，而變化的方向和外力作用的方向相同。而且這部分的迷思概念如下：力與運動速度快慢成正比（Gunstone & watt, 1985、Driver, 1985、Halloun & Hestenes, 1985）；有加速度表示受力越來越大（Hestense, D., Wells, M., & Swackhamer, G. 1992、Thijs, 1992）；比較大的力會決定物體運動的方式（Hestense et al., 1992）；最後作用的力會決定物體運動的方式（Hestense et al., 1992）；運動方向便是受力的方向（Palmer et al., 1996）；衝量理論（McCloskey, 1983）。除前述的一般情形外，在不同情境下也得到不同的迷思概念，主要有三種類型的情境，自由落體、拋體運動、圓週運動。在自由落體當中，學生會持有：重物的加速度比輕物來的大（Trembath, 1984）；自由落體所受的力與其速度成正比（McDermott, 1984）。在拋體運動當中，學生會覺得在最高點處不受力（Galili & Bar, 1992）；一旦失去水平速度時，物體便會直直下落（McDermott, 1984）。而圓週運動的情況則是有下列想法：圓週運動時有繞圓圈的慣性力（Hestense et al., 1992）。

牛頓第三定律

牛頓第三定律主要說明的是每一種作用都有一個相等的反作用，或者兩個物體之間的相互作用總是相等的，而且方向相反。在這個概念上，學生的迷思概念類型如下：兩物互推時，力量通常不相等，而且取決於物體運動的狀態（Clement, 1982）；靜止的物體並不會因為受力

而產生反作用力 (Sjoberg & Lie, 1981、 Drive, 1985); 主動施力者對被施力者提供較大的力氣 (Halloun & Hestenes, 1985); 不清楚哪些力之間屬於作用力與反作用力, 例如認為造成物體落下的重力其反作用力為空氣阻力 (Terry & Jones, 1986)。

運動學與向量

在這個部分牽涉到比較多數學與圖形的內容, 例如不會使用向量做速度的加成 (Hestense et al., 1992); 做向量加成時僅考慮到數量方面, 而沒有考慮到方向的加成 (Aguirre & Erickson, 1984)。而在運動學的部分上則是有下列迷思概念: 位置和速度無法區分 (Hestense, 1992); 無法釐清加速度和速度的不同 (Hestense, 1992); 以時間的先後判斷運動得快慢 (全中平, 民 90); 利用相對位置來區分速率, 而不考慮時間因素 (Driver, 1985); 平均速度和瞬時速度混淆 (Halloun & Hestenes, 1985); 無法區別位移、速度、加速度、力之間的關係 (Halloun & Hestenes, 1985); 以路線來看速度快慢, 例如走直線的會比走曲線的來的快 (董正玲、郭重吉, 民 81)。

力的性質

在這個部分主要分成兩大類來討論, 一類是力的一般性質, 另一類則是各種不同的力 (重力、摩擦力)。在力的一般性質當中, 有學生會覺得力來自於物體本身, 而非當成一種交互作用 (Brown, 1989)。而在重力方面的研究結果則有: 重力需要介質傳遞, 所以在真空中的物體沒有重力 (Halloun & Hestenes, 1985); 重力是大氣壓力所造成, 所以沒有空氣就沒有重力 (Gilber & Watt, 1983); 重力是一種磁力 (董正玲、郭重吉, 民 81); 重力隨著高度增加而增加 (Giber & Watt, 1983、 Driver, 1985); 離地面越近的物體其重量量越大 (Gunstone & White, 1981)。浮力的話則有學生透過物體的外觀、形狀來判定此物體是否會下沉 (Hewson, 1986); 利用物體的重量來判斷是否會下沉 (Bar, 1994)。摩擦力的迷思概念則有認為摩擦力僅存在於固體和固體之間, 而認為固體液體、固體氣體之間都沒有摩擦力 (Halloun & Hestenes, 1985); 物體移動的距離長時, 其摩擦力比較大 (全中平, 民 90); 物體受推拉力時, 摩擦力可以增

加物體運動的速度（全中平，民 90）；有運動傾向但尚未運動的物體（即靜止物體）不受摩擦力（全中平，民 90）。

以上則是力與運動相關的迷思概念，接著要討論的部分為迷思概念和 p-prim。在上一節的討論當中就提到，p-prim 是最小的知識單元，因此他可以是迷思概念，也可以用來解釋一些迷思概念，換句話說，我們可以利用 p-prim 來解構迷思概念。例如衝量理論(impetus theory)（McCloskey, 1983）這個理論的內容主要是學生認為運動的物體內部擁有某種程度的衝量（impetus），這個衝量的來源是外來的，而物體之所以能夠運動便是因為內部擁有這個衝量的緣故，隨著時間的改變，衝量會慢慢消失，因此物體運動也會變慢然後停止。例如在拋體運動當中，將一個物體垂直上拋，我們會看到他的速度一開始比較快，然後逐漸變慢，一直到最高處時停止，然後開始下降，再次落到地面，若是由衝量理論來解釋便是一開始手給予物體一個向上的衝量，隨著物體逐漸上升衝量會逐漸減少，當衝量為零的時候，物體便會停止運動然後下落。但是我們同樣可以利用 p-prim 來詮釋這個現象（diSessa, 2002）。在詮釋之前先介紹四個用來解釋的 p-prim 內容，分別是『力為推動者』、『動態平衡』、『勝過』、『消逝』。力為推動者和消逝這兩個 p-prim 已經在上一節當中有說明，在此便僅說明勝過和動態平衡兩個 p-prim。勝過指的是兩個相反的動力彼此之間較勁的情形，當 A 動力勝過 B 動力時，便會使整體的情況顯現出 A 動力造成的後果，例如兩個人互推，A 所施的力氣比 B 來的大時，便會使 B 後退。另一個則是動態平衡，指的是兩個相反的動力彼此之間的作用相互抵銷，例如兩個互推的人若是的力氣相同的話便不會有前進後退的情形發生。在 diSessa（2002）提到一名受試者 J，在詮釋這個情形時，一開始他僅用重力來說明物體在這個過程的受力情形，這是正確的，但是當問及物體在最高點的受力情形時，他開始出現不同的說法。他認為在最高處時，物體原本向上的力（因為物體正在向上運動，所以受有一個向上運動的力，而這便是力為推動者。這個力的想法原本是不存在的，但是當問及更深入的情境時，為了回答問題，便出現這個 p-prim）逐漸削弱（消逝中），同時這個向上的力和重力開始相互對抗當兩個力一樣大的時候，物體便停在最高處（動態平衡），接著重力克服（p-prim）向上的力，所以物體開

始下落。前面所提到的一些迷思概念本身就是 p-prim，例如等速度運動的物體是因為有力量持續作用在他身上，這個迷思概念便是一個 p-prim(力為推動者)。由以上探討可以瞭解，p-prim 是一個比迷思概念要來的小或是相同的知識單元，因此可以利用 p-prim 來將學生的迷思概念解構成更小的單元，以觀察他們的學習路徑，瞭解其學習困難的地方。

對本研究的啟示

由上述的五類迷思概念的研究，研究者便著手重新挑選、設計每一類迷思概念的研究工具，從中找到適合本國國中階段學生學習以及使用的內容，然後再根據挑選內容改寫成本研究的研究工具還有教學內容。

第四節 教學方法

在這個小節當中，主要介紹研究者開發教學內容時所參考的理論和方法，包含以研究和教學為基礎的研究 RAINBOW (Research And Instruction-Based/Oriented Work) 以及預測-觀察-解釋(POE)三項內容。

以研究和教學為基礎的研究 RAINBOW (Research And Instruction-Based/Oriented Work)

Chiu(2008)認為在概念改變的研究有六個向度可以考量，分別是發展面向(developmental approach)、本體面向 (ontological approach)、認識論面向 (epistemological approach)、情意面向 (affective approach)、演化面向 (evolutionary approach) 以及教學面向 (instructional approach)，最後則是可以將前述六個面向整合起來，成一個整體 (approach of integration)。

發展面向以 Toulmin (1972,引自 Chiu(2008)) 所持的知識發展想法為主，認為概念的發展是漸進的而非革命式的，某些概念會因為不適用而被淘汰，但某些會留存，然後逐漸形成學習者的知識。本體面向則是從 Chi (1992) 的理論而來，由於 Chi 認為概念改變是指某一個概念從本體樹的某一個位置跑到另一個位置去，當這種位置的改變是發生在同樣類別的樹之下時，概念改變是容易的，但是需要跨越本體的改變則會比較困難。而認識論面向則是從 PSHG 的概念改變理論而來，認為當學生遭遇到認知衝突時，便會感受到自己知識的不足，當接觸到更完整、更融貫、更具解釋力的知識時，便有可能發生概念改變。在這個面向當中同時還提到 Vosniadou 的理論，他認為孩童利用一套具有系統性的想法來詮釋他們所觀察到的事物，這套系統性的想法稱為心智模式。而情意面向則是從另一個角度來探討學生學習科學時需要注意到的事項，諸如自我效能、學校情境等等。而演化面向則是將演化論的理論用來解釋學生學習的過程當中，不同概念間存廢的情形。而教學面向則是引入教-學序列(Meheut,

2004) 這個以過去研究結果為基礎來設計課程的內容。

為了要達到這六個面向，在教學的設計上有四個階段，第一個階段主要是綜合目前對於孩童學習科學的研究結果，包含了學習者的特質、學習者的心智模型、目標概念的分析以及教學方式。第二階段則是根據第一階段的結果設計教學模組，第三階段則是發展診斷性評量，

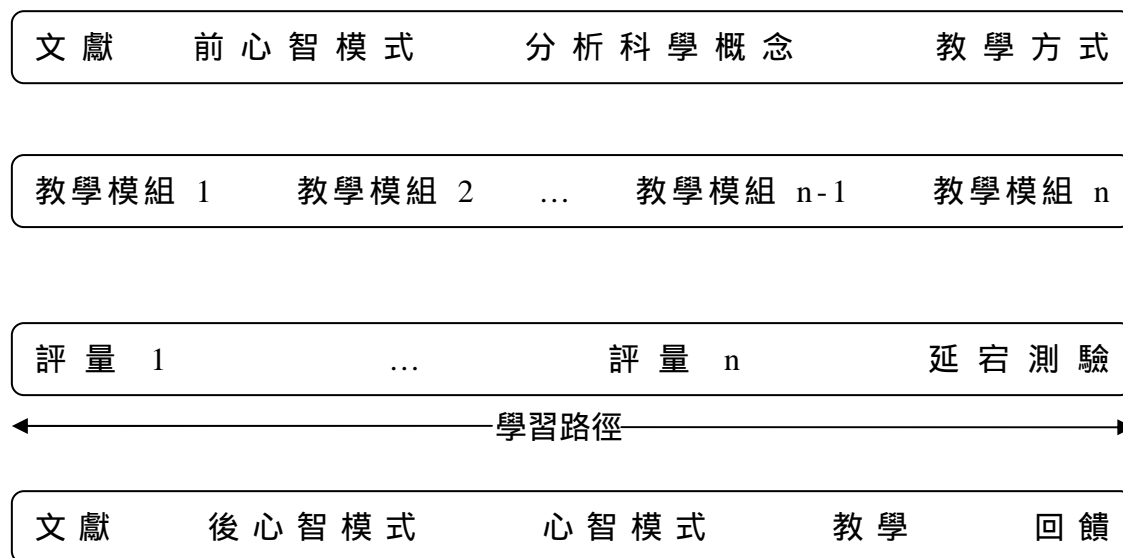


圖 2-4-1 概念改變研究發展圖(Chiu, 2008)

用來瞭解學生在學習前、中、後其概念發展的狀況。最後一個階段則是將學生的學習成果和文獻當中的發現進行比較。整體發展如圖 2-4-1 所示

因此上述各階段模型，研究者一開始先搜尋文獻，瞭解近幾年對學生在力學的迷思概念內容（詳見第三節），並且整理 diSessa 所提出的 p-prim（詳見第二節），試圖以 p-prim 去解構所得到的迷思概念。除了迷思概念外，研究者也蒐集力學的相關教學方式，以 POEC 的方式來設計教學內容。而在上述最後一個階段當中，強調將評量結果做為回饋，以設計下一個教學課程，研究者調整這個作法。方法如下，將目標科學概念分成幾個階段進行教學，從過去的文獻當中可得知學生的迷思概念類型，因此根據學生的迷思概念類型來設計各個階段的

教學內容。例如在慣性這個概念上，學生可能有兩類的迷思概念，所以在設計課程時，先以克服這兩類的迷思概念來設計教學腳本，端看學生的先備知識為何來挑選適當的腳本。因此在教學的過程當中每一個學生所接受的教學內容可能不同，端看學生在上一個概念學習的困難來調整，當然每一個階段的教學亦有評量，若是學生在學習後的想法異於文獻當中的內容，則可機動調整下一階段的教學內容。

預測-觀察-解釋(Predict, observe, Explain)

由於研究者打算透過 diSessa 的 p-prim 去瞭解學生在學習牛頓力學的過程當中，其力學知識變動的情形，因此必須想辦法在教學的過程中更廣泛更詳盡地獲知學生想法，故在教學的方式上採用 POE 的方式，透過學生解釋其想法以及比較真實現象與自己預測上的差異處，描繪學生力學知識轉變的歷程。以下擬針對 POE 的源起、內涵、程序、限制以及注意事項等並將分段討論之。

POE 的前身是 DOE (demonstration-observation-explanation)，是 1980 年由 Champagne, Klofer & Anderson 所提出的研究工具，主要利用此工具來瞭解學生在力學上的素樸概念，主要是給予學生一項作業或一個情境，要求學生觀察這個情境然後回答跟這個情境相關的一系列問題。之後於 1988 時，Gunstone 和 Mithchell 提出 POE 這個教學策略，和 DOE 相比時更加強調學生進行主動預測這個部分，這是因為和『描述』這個動作相比時，『預測』更吸引學生，而且學生在預測的過程當中也必須從既有知識當中提取相關資訊，根據這些知識來推理事件後續的發展，可以讓我們更瞭解學生的知識狀態，而學生在進行預測後也會更加詳盡的觀察事件後續發展，可以使學生對於事件的發生更有印象受到更多的衝突。

POE (prediction-observation-explanation) 主要是要求學生進行預測、觀察以及解釋，透過這三項活動的表現便可得知學生理解的情形。一開始先要求他們預測事件可能發生的狀況，同時他們必須說明自己預測的理由或根據，而後再引發事件以觀察事件實際上的演變情

形，最後則是要求他們解決預測和觀察之間的衝突(White & Gunstone, 1992) 而 Chiu(2008) 則提出 POEC，她認為在 POE 進行之後，更重要的是學生能夠感受、觀察到自己預測的內容和實際發生的現象有什麼不同，在觀察到有所不同後，學生才可能發生認知衝突，故她強調『比較』(comparison) 的重要性，學生必須能夠在預測內容以及實際結果之間的各種情形進行『比較』這個動作。當學生在預測結果和實際結果各項條件進行一一比較時，必定有相同與不相同處，相同處可能表示學生已經具備某種科學概念(但根據 p-prim 的理論，則有可能是因為某些 p-prim 所導致)，而不相同處則是學生概念有誤之處，協助學生處理此處的衝突將可幫助學生學習。同樣的物理概念當我們使用 POE 和不使用 POE 時，對於學生的影響完全不同，例如當我們問學生『為何一本書和一張白紙，當我們將白紙疊在書上從高處讓他們一起落下時，他們會一起到達地面？』上述的問法直接將一個事件從頭到尾完整的描述，然後詢問學生事件結果發生的原因，此時學生只需在自己的既有知識內尋找可用的知識，然後完成一個解釋。但是若是改變問法成『請你預測，當我們將一張白紙疊在一本書上，於高處讓他們同時落下，白紙下落的速度和書本下落的速度相比會如何？』在這個作業當中，學生被要求進行預測，因此他們必須要應用自己的知識去推論答案，而這個答案便會完整的反應他對於物體下落這個概念的想法。便是因為有預測這個階段，因此學生便必須要自己決定運用何種知識以及何種推理方式，而在 Gunstone & White (1992) 研究發現學生會依照日常經驗和信念，來支持自己的預測，因此利用這個方法可以很明顯的發現學生在學習前所持有的想法，有利於研究者瞭解學生的 p-prim。

在進行 POE 作業的時候有幾個重要的步驟，因此研究者根據 Gunstone & White (1992) 的文章整理出下列進行順序：

1. 選擇適當情境：必須要選擇適當的作業情境，讓學生能夠根據自己的知識去進行預測，若學生毫無概念僅能進行猜測，這樣所獲得的資訊對於教學者沒有幫助，對於學生來說更是毫無意義。除此之外，作業情境的結果必須明確不含糊，如此才不會讓學生有過多的解釋空間，反而不易形成認知衝突。

2. 提供預測情境：先設置好實驗器材或者是動畫影片後，要確定學生完全明白他們要進行的預測內容為何，若是他們尚不明白可以再次詢問作業內容。
3. 提供預測結果及根據：當學生瞭解要進行的作業內容後，請他們寫下、畫出或是說出他們預測的結果，同時將他們預測的根據、推理方式表達出來，而在瞭解他們推理內容或者是過程時，在本研究當中主要是研究者會詢問受試者相關問題，以協助他們表達。
4. 展示結果：在學生寫下或說明完自己的預測內容後，開始展示實驗結果，在展示過程當中務必要確定學生有觀察到相關現象。
5. 記錄結果：在結果展示完畢後，請學生針對自己在結果所觀察到的現象詳細記錄下來，以便後續教學的進行。
6. 比較實驗結果和預測結果的異同：比較預測和實驗結果之間相同以及不相同之處。
7. 提出解釋：根據上面的比較，找出不相同處，並且提出解釋或者說明原因，這個步驟是很困難的，有時學生可能堅持自己的理解時而忽略實驗結果，或者是認為實驗結果不精確，在這個時候教師應該介入，盡量鼓勵學生去思考可能的方向。另外若是學生預測的結果和實驗相符，但是其推理過程或是根據有誤，教師必須再針對這一項內容設計教材，使學生能夠學習到正確的知識。

除了上述的進行順序，在實施 POE 教學過程當中尚須注意一些小細節：

1. 提供一個讓他們能夠安心回答的環境，使學生能夠盡情根據自己的知識進行預測。
2. 若是學生非常投入 POE 這項作業，但是他們總無法成功預測結果，可能會使他們對這項教學方式產生負面態度，可能會想：『越不可能出現的狀況就是可能會出現的情況』，以此態度來預測時，便無法清楚得知其知識內容
3. 上述情形的另一項負面結果是，學生可能會覺得這是老師使用的把戲。為了避免這兩項影響，作業內容必須能夠讓學生發現自己越來越能夠根據知識去進行推測。

對本研究的啟示

在這一節當中，由 RAINBOW 的概念開始，先搜尋與本單元相關的迷思概念，並且針對這些概念畫出概念圖，然後根據不同單元設計不同的教學方法以及小實驗。這些小實驗的實施過程主要就是依循著預測、觀察、解釋、比較這四個動作進行。

小結

在本章當中回顧了 RAINBOW 所提供的研究方法，據此研究者根據當中的四個階段來進行教學設計，由於研究者對於孩童概念狀態的角度不同，因此在第一個階段中研究者以瞭解學生的迷思概念以及所持有的 p-prim 來取代瞭解學生先前的心智模式。而在第四階段的部分亦有所修改，因為若是每一階段的課程必須根據學生在上一階段的想法來進行設計，那會耗費較多時間，因此研究者同時為縮短課程設計的時程，每一個階段的教學內容都主要根據文獻當中的迷思概念來設計，根據學生的想法來挑選教學方式。

研究者每一個教學的方式主要都採取 POEC，嘗試讓學生自行建構知識，這當中和 POE 不同的在於強調比較這個動作，讓學生更能清楚看到自己的預測和實際發生上的差異，使其能更深刻的感受到認知衝突。