



## 第貳章 理論基礎與文獻探討

本章分爲六節，第一節以科學哲學中概念研究派典作爲科學哲學基礎及意涵；第二節爲概念學習，主要以認知心理學不同面向探討概念學習；第三節爲心智模式，探討不同文獻對心智模式的看法；第四節爲萬有引力的科學發展史簡介；第五節爲重力的相關文獻探討；第六節爲學生的先備知識。

### 第一節 科學哲學及其意涵

#### 一、 概念研究之派典

##### （一）波柏（**Karl R. Popper, 1902-1994**）的「否證論」

波柏的哲學叫做否證論或否證主義，又叫做批判理性主義，與當時盛行對科學判準的邏輯實證主義或邏輯經驗主義的可證實標準針鋒相對。波柏認爲具有可否證性的學說才是科學，可否證性意指否證的可能性，不是指事實上已經被否證了的。一個理論愈是容易被否證，可否證性愈大，科學性就愈大。波柏主張：科學不是真理，科學是永遠不能達到真理；科學、科學理論都不過是假設、是臆測，它們是不能被證實的；即使科學能達到真理，我們也不知道（舒煒光，民 89）。波柏認爲：科學發展的歷史是一連串的假設與臆測，當科學家先針對特定問題提出假設和臆測，再依據事實對假設進行檢驗，並在檢驗的過程中不斷的淘汰或修改原有的假設和臆測。真正的科學必須是不斷的接受否證，也就是說不能被否證的理論，便不是科學的理論（黃光國，民 90）。沒有一個理論可以說是永恆的真理，愛因斯坦的廣義相對論

預測遠處的星光經過太陽的附近，因受到太陽重力場的引力作用，光會產生偏折現象，在一九一九年的天文觀測中獲得證實，但僅此反例，牛頓定律立即接受挑戰。波柏認為愛因斯坦的相對論經過一次檢驗就把牛頓理論推翻了，因此認為具有否證性的學說才是科學（舒煒光，民 89）。

爲了維持科學的客觀性，必須要有批判，波柏強調批判是使知識成長最好的工具。依據波柏的觀點，科學的進步與發展，其動力是否證。爲解決一個問題，提出嘗試性的新理論，新理論在接受批評、否證之後，排除了理論中的錯誤與瑕疵，然後理論接受批判而修改，其後再出現另外一個新的問題，如此不斷的創新理論，解決新問題，只有堅持否證原則，我們才能以經驗觀察作爲檢驗理論的標準。因此，在科學活動中必須不斷的思考、不斷的批判、不斷的否證。（洪振方，民 83；舒煒光，民 89；黃光國，民 90）。

波柏的思想，對本研究探討學生對科學現象解釋的心智模式有重要的意涵：首先，波柏認為科學、科學理論都不過是假設、是臆測，真正的科學必須是不斷的接受否證。由上述可知：由於科學理論的產生過程是一種假設、是臆測及不斷創新的過程。在科學教育中，學生的科學學習亦始於自我建構的假設、臆測及創思，故學生具有其先存概念、迷思概念、或是另有概念等。在學習當中透過不斷的否證後，再創新及重新建構新的概念，以求解決新的問題，然後再反覆地去實驗與觀察，去除錯誤的概念。如此不斷的驗證，方可得到一個經得起考驗的科學概念。

## （二）孔恩（Thomas S.Kuhn,1922-1996）的「典範論」

典範概念是孔恩哲學的核心概念，典範是由理論體系、研究方法和哲學觀點所構成（黃光國，民 90）。在《科學革命的結構》一書中（程樹德、傅大爲、王道還、錢永祥譯（Thomas S.Kuhn 著），1994），孔恩認為不同的科學社群，有不同的典範。科學社群通常會信仰一個典範，接受同樣的教育，擁有共同的語言，運用同樣的方法，探索相同的目標（黃光國，民 90）。換言之，一種典範就是一種世界，屬於不同科學社群的成員，就是生活在不同

的世界當中，受著不同的典範支配。因典範不僅是科學家觀察自然的根據，它也是科學研究的依據，是一個成熟的科學社群在某一段時間內所接納的研究方法、問題的領域及標準答案的源頭活水（舒煒光，民 89）。例如，對自由落體原因的分析，對不同的典範有不同的解釋，在亞里士多德看來，一塊石頭落下是因石頭有一種本性，自然趨向宇宙的中心，而那時認為地球就是宇宙的中心。按照牛頓的典範，重力就成了石頭落下的原因。

在典範的規範下，發展出來的科學稱之為常態科學（normal science），從科學史的觀點出發，孔恩將科學傳統的生命過程分為常態科學、危機與科學革命三部份。當科學家察覺到有異常現象的存在時，則會在出現異常現象的領域中，做進一步的探究，直到典範理論經過調整後，銷融了原先認為是異常的現象為止，這些異常現象謂之異例。當科學家無法用調整典範來加以解決，而且隨著出現異例表現增多，使科學家覺得他們的典範已經受到根本的威脅，這時科學的危機就已經到來了（舒煒光，民 89；黃光國，民 90）。各種危機均使得典範逐漸變得模糊不清，接著就是常態研究的規則漸趨鬆弛，當異例累積到無法銷融時，最後發生革命現象。科學革命是一個新典範取代舊典範的過程。典範的變革不僅會引起理論體系的變革也會引起科學家在方法論和認識論方面的變革（黃光國，民 90）。

孔恩認為科學的進步是基於科學的革命，淘汰典範，採用新典範的事件就是科學革命。由一個典範轉移至另一個典範，且不同的典範之間存在著不可共量性（Incommensurable）。而新典範的興起意謂著科學家如何進行科學研究和如何去看世界等等一些根本原則發生了改變。而新典範的產生絕非是一個累積性的過程，也就是說，不是一個把舊典範修改或引申即可完成的過程。反之，它是一個在新基礎上重新創建研究領域的過程。當典範移轉完成後，該學科的視野、方法及目標皆已改變了。因一種典範是一個科學社群的成員所共有的，也正由於他們掌握了共有的典範，才組成了這個科學社群。故科學社群的集體信念，是影響科學知識進步的重要因素（舒煒光，民 89）。

孔恩的思想，對本研究探討學生對科學現象解釋的心智模式有二點重要

的意涵：首先，在兒童接受正規科學教育的教室中，班級的成員將可視為類似於孔恩思想中的科學社群的理念，因學生在學習的過程中，共同經驗科學活動，同學之間的互動可以幫助學生獲得新的知識及重建知識。其次，孔恩指出異例在科學革命中知識重建的重要性，及異例所造成的科學認知的威脅性，故異例是科學理論變遷的先決條件。在兒童概念認知的發展中，當兒童自我建構的先存概念，不能解釋及解決科學現象時，勢必對自我的先存概念產生懷疑，直至崩潰後，再重新建構新的概念。

### （三）拉卡托斯（Imre Lakatos, 1902-1974）的「研究綱領」

拉卡托斯是波柏的學生，為批判理性主義者，批判孔恩的「典範論」，也不同意波柏的「否證論」及與科學劃界標準，於是提出了一種主張科學理論具有內在整體性結構，以「理論系列」的概念取代「理論」，拉卡托斯稱這些理論系列為「研究綱領」（research programme）。

拉卡托斯認為科學的理論不是孤立存在的，而是一系列的理論，強調許多相關的理論要結合在一起，成了有結構的整體，稱為「研究綱領」，它是由四個部分所組成：硬核（hard core）、保護帶（protective belt）、反面啟示法（negative heuristic）、正面啟示法（positive heuristic）。並認為每一個後續的理論是來自於前一理論的增加一些輔助修改而產生的（舒煒光，民 89；黃光國，民 90）。例如拉卡托斯認為牛頓理論是一個研究綱領，而研究綱領的硬核部分就是牛頓的運動三定律和萬有引力定律。它是不可被證實的，在時間和空間上是有普遍性不允許例外的，如果它們被反駁或否定了，那麼整個牛頓的力學理論系統就會崩塌。

當硬核受到攻擊時，就必須提出一些「輔助假設」，在硬核周圍形成一個保護帶，將經驗的反駁引向自身，由「輔助假設」承擔錯誤的消極性誘導，或是由科學家開展出一系列的模型以模擬實在，將注意力集中建立在這些模型上面，而不理睬實際存在的反例上面的積極型誘導（黃光國，民 90）。所以一個研究綱領硬核不變的情況之下，對於否定的事實、否定的證據，研究

綱領可以透過內部的調整來維護自身。

在科學進步的標準中，拉卡托斯認為：一個研究綱領，即使在進化時期，也常常有一個或更多個對手與之競爭（黃光國，民 90）。因此，進步的研究綱領就是在理論系列中的經驗內容及所預見新的事實增多了，所以科學發展就是新的、進步的研究綱領代替了舊有的、退化的研究綱領。但是退化的研究綱領有朝一日可能新生而轉化為進步的研究綱領（劉嘉茹，民 88；舒煒光，民 89）。例如，日心說是一個研究綱領，在很早以前就有了，亞理士多德、托勒密的地心說則是另外一個研究綱領，當時地心說是擊敗了日心說的，而由日心說進步到地心說這就是科學進步。但是在十六世紀的哥白尼、伽利略時代，日心說是作為進步的研究綱領出現的，因為日心說又代替了地心說。也就是說，在古代日心說曾經是被淘汰過退化的研究綱領，但是退化的研究綱領可能新生而又轉化為進步的研究綱領。在同一領域同一時期中，有許多研究綱領是可以共存的，科學家們可以客觀的比較相競爭研究綱領之間相對的進步程度，這與孔恩所主張的典範之間的不共量性是有所不同的（舒煒光，民 89）。

拉卡托斯的思想，對本研究探討學生對科學現象解釋的心智模式有三點重要的意涵：首先，拉卡托斯的研究綱領提供了學生在科學概念學習過程中的認知發展，符應了皮亞傑的認知發展理論，即兒童認知的發展透過同化的功能將使其基模擴大，進而調適而能適應生活中的經驗。其次，兒童在科學概念的發展過程中，教室的科學概念及自我建構的科學概念常彼此共存著，類似於拉卡托斯的研究綱領中，在同一領域同一時期中，有許多研究綱領是具有共存性的，故兒童的科學概念中，對於同一個科學主題會有不同的解釋甚且是互相矛盾。第三，學生在學習時可能不會即時接受新的概念，也有可能經由學習或自我建構的方式將原來的另有概念轉化為正確的概念，就如同前述退化的研究綱領有朝一日可能又將轉化為進步的研究綱領。

#### （四）勞登（L.Laudan,1941-）的「研究傳統」理論

勞登從歷史演化論的觀點，討論科學假設在科學發展中的重要作用，以及科學活動和認識論傳統之間的複雜關係，並批判波柏、孔恩和拉卡托斯的科學哲學觀，而提出了「研究傳統」的理念。

在《進步與問題》（陳衛平譯，1997）一書中，勞登表示研究傳統是歷史的產物。它是一種已經通過檢驗並且具有普遍性的一組學說或假說，所涉及的不只是單一理論，而是理論的整個系譜，這一系列理論稱之為「研究傳統」，每一個研究傳統都包含了許多特定理論，這些特定理論有些是同時出現的，有些則是先後出現。研究傳統的功能是建立一般的本體論和方法論及發展出自己的形上學，以約束在一個既有的領域中所能發展的理論類型，有別於其它的研究傳統。所以一個研究傳統可為特定理論的發展提出一套指標和研究方法，例如，一研究傳統的本體論認為力不能在有距離的情況下發生作用，那麼任何依賴於非接觸作用的特定理論都是不被接受的，所以笛卡兒派學者認同推力和拉力的本體論，對於牛頓派的天體機械論則認為是多餘的了（陳衛平譯，1997；黃光國，民90）。

勞登指出在任何領域裡，前後相繼兩個理論，後一個理論比前一個理論更能有效的解決更多的經驗性問題及使異例和概念性問題範圍限制到最小的程度，當後一個理論取代了前一個理論，這就是科學的進步。因此，將未解決的問題視為能刺激科學的成長與進步。凡是自然界中能令我們感到怪異的任何事物，或是需要解釋的事物，都構成所謂經驗性問題。例如，我們看到一個重物體規律的掉落地上時，我們若去追究為什麼會規律的掉下，這就是經驗性的問題。但是對某些事物的「解決」的衡量標準，卻是與時俱進。例如說，亞里斯多德派的物理學家對於為何物體向下掉落，以及物體下落時為何會產生加速度都曾提出解釋，在往後的兩千年中，一直被視為當然。然而，到了伽利略、笛卡兒、惠更斯及牛頓出現，卻認為亞里斯多德並未解釋落體的「等加速性」。由此例可以了解，由於時間的演進，原先認為適當的解決，如今已不能為人所採信了。

而概念性的問題是指稱「經由某些理論所展現的問題」例如，法拉第早期電的互動模型，乃是不含超距作用而設計的，而且是設想了「連續性」的粒子。然而，Robert 批評說：法拉第自己的模型也需要短距離範圍的超距作用，況且粒子是不連續的；這些批評使得法拉第不得不重新思考他對力的觀點，終於因此產生了法拉第的場理論，這理論果然避免了概念性的問題。（陳衛平譯，1997）

所以評價一個研究傳統理論的適當性，乃是指它們解決多少重要的經驗性問題，以及消除了多少重要性的異例及概念性的問題。這種理論的可接受性與它相關的研究傳統之可接受性而定。而一個研究傳統的可接受性是依據它最近理論的解決問題之效力而定。科學家面對研究傳統和其構成理論是否接受、拒絕或探究的認知態度，與其真偽無關，只與其解決問題的效力有關。最後，一個研究傳統或理論的評價在於將它與其競爭者比較時，才能顯示出其有效力或進步性（陳衛平譯，1997；黃光國，民 90）。

勞登的思想，對本研究探討學生對科學現象解釋的心智模式有兩點重要的意涵：首先，勞登認為一個理論的適當性，乃是指它們解決多少重要的經驗性問題，以及消除了多少重要性的異例及概念性的問題。以及科學家面對研究傳統和其構成理論是否接受、拒絕或探究的認知態度，與其真偽無關，只與其解決問題的效力有關。由上述可知：學生在科學學習的認知上，所存的直覺初始概念主導了對外界自然現象的解釋，這些存在學生認知中的理論架構，不論其真偽的在日常生活經驗中不斷的被用來解釋現象，同時也產生了異例及概念上的矛盾，直到新的概念形成。其次，當新的概念形成時，相對於原有的想法，它可以解釋更多的經驗性問題，而以進步而有效力及更具適當性的理論架構存於學生的認知中，此時學生接受這新的概念，但這並不涉及真偽的判斷。畢竟今日科學的觀點，可能被明日的科學所否證了。

## 第二節 概念學習

科學教育的目標不僅是讓學生學習到科學知識及拓展經驗而已，更重要的是要讓學生學習如何思考和解決問題，進而培養創造力及適應環境的能力。因此在科學學習上，思考是重要的一環，而思考是人類最複雜的行為方式，也是最高級的心理活動（鍾聖校，民 79）。思考是一種認知的過程，具有使用符號來表示物體或事件的特性，當一個符號代表一組具有共同特性的事物時，我們就說它指示一個「概念」。日常生活上所使用的語詞，無一不是概念的名稱，例如：「椅子」、「綠色」、「圓形」、「高興」、「學習」等等都是「概念」，我們使用概念來整理及分類環境中的事物及經驗。

### 一、概念的定義

Arnone（1971；引自歐陽鍾仁，民 77）指出概念是一組觀念（ideas）或符號（symbols）集合而成的，是反應個體以達評價程度的各種態度（attitudes）和成見（prejudices），也是一種心理意象（mental image），特別是指結合同一類事物的各種象徵，使其成為一種意念（notion）的概括觀念。鄭麗玉（民 82）表示概念是包括重要屬性（attributes）或特徵（features）的同類事物之總稱。鍾聖校（民 79）則說把個人的經驗加以歸類整理，而透過歸類整理建立起來的範疇或類目，就稱為概念。它是一種意念（idea），不同人有許多不同想法的東西，其概括的整體性是建立在較小的特殊事物和說明上，而對一連串特質或事件的摘要式表達。

Burton 等人（Burton, Kimball and Wing, 1960；引自鍾聖校，民 79）認為概念是一個被界定的意念，是一個人對任何事物、人或歷程所瞭解意義的總量，能在人際間使用的邏輯的建構（a logical construct），是一個字或其他象徵符號可代表一些物品或情境的共同性質，而它所被設定的意義，我們能安心的相信並使用它。



Pella (1966) 認為「概念被稱為是科學過程的產品，是繼續研究科學的根據，以及有時被認為是技術人員運用的知識。就科學方面而言，根據一些教育工作者認為，獲得概念是理科教學所希望的結果。概念不只是科學的經緯組織，而且是學生應付科學發展的一種方法。」例如，「力」是一種概念，Pella (1966) 說「力是一種推或拉，這種推或拉是改變物體運動狀態的原因。」並認為概念具有以下特徵：

- 1、 它是一種表徵的符號。
- 2、 它是一種人類所做的決定。
- 3、 它是根據人類觀察自然現象的經驗所做的結果。
- 4、 它是從人類經驗中抽取出來的精華。
- 5、 它是包括超過個人經驗範疇的概括性論點。
- 6、 有關事實是包括有意義及合理的部分。
- 7、 描述人類的創見及思想。
- 8、 描述一個意見，具有各種不同的複雜程度。
- 9、 在預測結果或解釋資料是非常有用處的。

Pella (1966) 認為在科學上的概念經過分析後，有下列的特性：

概念是具有個人或群體的想法，是代表一種符號。

- 1、 概念是任何特殊的事物、現象，或從簡單到複雜的一個存在連續的方法。
- 2、 概念是超過一個事物、現象、或事實的經驗累積的結果，一種概括性的結論。
- 3、 概念包含了很多的經驗，是一種抽象思考的結果。
- 4、 概念是可以把對每一個個別的事實和假設事實相互連結在一起的。
- 5、 概念並不是永遠根據實際的遭遇所形成的。
- 6、 概念不是在自然界或現實中所固有的。
- 7、 概念不是實體的複本或影本。

- 8、 概念既不是真也不是錯，只有適當與不適當的問題。
- 10、 概念和下列五個有相互關係：人類、事物、其他的概念、概念系統、和方法等。
- 11、 概念可以預測結果和解釋資料。
- 12、 在任何範圍的個別概念的形成，是可由一系列的感覺經驗逐步建立的。
- 13、 在任何範圍的個別概念的形成，可由在文化形態形成的當時來決定，當文化改變時，所給予概念的意義與價值也會隨之改變。
- 14、 概念本質是隨著形成的步驟而決定。
- 15、 在新知識內，概念和概念基模的結果若不適當，就必需做不斷的更新。

## 二、概念的四個面向

我們在描述一個概念時，涉及了四個面向：事例、原型、定義與名稱（饒見維，民 83）。底下就這四個面向分述之：

### （一）事例（instances）

每一個人的概念是以個人所經歷到的各種事例為基礎，當某些事例彼此之間有某些共同的屬性或某種關聯時，它們就開始集結在一起，形成一個概念。每一個人心中都有無數的概念，而每一個概念皆由許多的事例來形成其意義的範疇或意義的內涵（饒見維，民 83）。例如，學生心中對於「力的種類」這個概念，含攝了許多有關物體受到力作用的各種現象，如騎自行車時，欲使自行車速度變慢，必須增加自行車與地面的摩擦，故有摩擦力的存在；小皮球被手壓扁了，看到小皮球變形了，因而瞭解小皮球有受到手的捏或壓的力作用；物體掉落到地面上，是因受到地球引力的作用；兩個磁鐵會互相吸引，是因具有磁力的作用等等。故在日常生活所經歷的事例中，能舉一反三的運用在其他類似屬性的事例，進而逐漸擴大其概念使用的範圍。

## （二）原型（prototype）

在某一概念意義的範疇內有一個很強的核心，這核心稱為是這概念的原型，這原型乃是這概念的典型例證。每一個概念的意義範疇是從這「原型」開始，其重要性會逐漸的往外減弱。而人們經由學習的歷程，對於一個概念都會賦予一個刻板的意義，這個刻板的意義就形成了一個概念的核心意義（饒見維，民 83）。例如，在「力的作用」中，學生最先接觸到力的概念，是物體需要接觸才會發生力的作用，正如 Pella（1966）所說的「力是一種推或拉，這種推或拉是改變物體運動狀態的原因」。而物體需要接觸才會發生推或拉的現象，因此接觸才會產生力，這是學生最先形成的力的概念。故在非接觸的事例中，學生往往會因先存力概念的刻板意義而產生了另有概念。在人類大多數的思考歷程中，概念的原型往往會左右了我們的思考活動。

## （三）定義

定義是概念的概括性說明。有些概念的意義範疇可以用說明來勾勒出一般概念的特徵或通性，此種說明即是此概念的「定義」。定義有以下幾點特性（饒見維，民 83）：

1、絕大多數的概念只能給予「概念性的定義」，也就是以文字界定文字，以概念界定概念的定義型式，而無法給予操作型定義。

2、定義可以用來補充說明事例所無法凸顯的特徵。蓋因個人對於某一個概念經由別人定義式的說明之後，發現到事例中的通則、通性或共同的特徵，再經過個人的歸納，必可得此一概念的意義。因此，定義可以用來補充說明事例所無法凸顯的特徵。

3、定義是概念的外在表徵，而不是概念的內在表徵。例如，當一個學生在學習歷程中，在他的認知結構裡，「力」的概念的內在表徵是以概念的方式存在，而不是以定義的方式存在，往往他們擁有大量有關力的相關概念，但是他們說不出來，這不代表他們沒有這方面的概念，只是無法說出這

些概念的定義。因此我們可以從這個現象來推測：一個人心中真正記住的不是概念的定義，而是意義範疇中的事例。

4、一個概念可以有許多不同的定義。由於一個定義往往只是對一個概念的意義範疇所表達的某一個觀點而已。但是對於不同的時間、地點、對象、領域、名稱等等的方式，將使得所要表述的概念定義有所不同，但是其概念的內在表徵是不變的，而其外在的表徵卻可以不一樣。例如，萬有引力的概念在國小、國中學習階段僅偏重於地球上物體的落地現象，部分概念加深至物體與物體之間，高中學習階段則加深加廣至天體運動。不論是地球上或是天體間，因不同的學習對象，使其概念定義之外在表徵不同，其萬有引力概念的內在表徵則是不變的。

#### （四）名稱

一個概念的名稱只是用來代表該概念，而不是概念的本身。例如，萬有引力概念，在國小學習階段，所使用的名詞重點是地心引力；在國中學習階段，是地球引力、重力；到了高中學習階段則為萬有引力。不論是地球引力、地心引力、重力或是萬有引力，其概念意義範疇的內在表徵是相同的，但是因學習階段的的不同，故所學習的概念名稱不同，且在不同的情境時，亦會選擇最適宜的名稱，這部份將在第五節介紹。

### 三、基模與概念學習

心理學家解釋概念的產生是說：我們在不同的刺激中萃取共同的特徵，再以過去萃取來的特徵，建立這些刺激的代碼，由此產生概念（黃秀瑄、林瑞欽譯，民 80）。

#### （一）基模（schema）

皮亞傑的認知發展理論認為個體認知結構的基本單位是基模，人類的知識是以基模為基底而儲存著。個人的思想與行為受到原有的認知結構所控制，

而此認知結構的模式是自己的行為和認知活動，加以組織以適應環境所產生的，而適應和組織交互作用產生了可類化的現象，因此基模是適應環境所學習到的經驗或能力，就是在不同的情境中以組織化的型式儲存的知識，可以表徵我們的經驗知識，人們可以藉由其理解、推理、與解題。認知發展的發生不僅僅是新基模的建構，也藉由現存基模的分化和統合，以較早、較原始的基模為基礎，而統合在內發展成更高層次的基模，故無論是多麼抽象或複雜的認知結構都會承現出感覺動作期的痕跡（李素卿譯，民 88；鄭昭明，1983；黃慧真譯，民 83）。基模是隨著學習而改變的，因此基模的改變正代表了學習的結果（張春興、林清山，民 78）。基模具有下列幾項特徵：

- 1、 基模是有變項的。也就是說任何概念的基模均有一個固定不變的部分與一個可變的部分。例如「重力」的概念基模有一個固定的部分如「重力是吸引力」以及可變的部分如「重力的大小和兩物體的質量及距離有關，質量乘積愈大產生的重力就愈大，距離愈大產生的重力就愈小」，如此，「吸引力」是固定的，而「距離」與「質量」是變化的。
- 2、 一個基模可附屬於另一個基模，而成為後者的一部份。例如，「力」的基模包括接觸力與非接觸力。「接觸力」又可分為摩擦力、彈力和表面張力等基模。「非接觸力」則可分為重力、靜電力和磁力等基模。
- 3、 基模可以表示任何層次的知識。它不僅可代表一個思想、文化的知識，又可代表一個字或一個句子的意義。
- 4、 基模代表知識，不是代表定義。即基模是對外在世界的語意記憶及事件記憶的經驗，而不是對這些經驗給予語文式的定義。

基模是一個「主動辨識的設計」其功能是在評價外來的刺激資料是否吻合。也就是說當個體接收外來的刺激時，基模會對外來的刺激資料做比對，然後由最適合的基模對外來的刺激做最後的詮釋。

## (二) 概念學習

一般概念學習可分為三個步驟：1.概念同化 2.概念的包攝過程 3.概念的統整調和（全中平，民 82）。底下就這三個步驟分述之：

### 1、概念同化（concept assimilation）

當任何新訊息與個體的認知架構中已存在相關的概念相連接時，此時在認知架構中已存在相關的概念中同化了新訊息，二者在概念同化的過程中通常會加以被修飾（modified），這過程稱為概念同化。但是在同化的過程裡有時也會因曲解意義的訊息，而產生了迷思概念。例如，當提出高掛在天空的月球，為何不會掉落到地球上時，這新的訊息，學生鮮少會主動的思考，故一旦必須思考這問題時，學生即在自己已有的認知架構中尋找相關的概念，試圖同化它，並修飾之，以完成所需要的解釋。

### 2、包攝過程（Process of Subsumption）

當新訊息中含有一個或數個概念，這些概念同時要被修飾過，一旦這新訊息緊密連繫在認知架構中已存相關的概念上時，我們說這種聯繫的過程稱為包攝過程。例如，月球為何不會掉落到地球上的事例，學生所連接的概念中包含有力的平衡、吸引力的大小、距離的遠近及軌道的存在等概念，這些概念必須同時要修飾，以利原訊息能緊密的聯繫在已存的相關概念上。

### 3、統整調合（Integrative Reconciliation）

當新訊息中所含的概念，若能連接進一步的訊息到原有認知架構中已存相關的概念上，則這些概念則被漸進分化（Progressive Differentiation），如果這些概念間的意義被澄清，則概念之間就被統整調合（Integrative Reconciliation）了。

## 四、概念的推理

在日常生活中我們常在做推理，也常在做決策。而推理的目的是在各種事件中，找出一個規律性，做某種程度的預測，減少它的不確定性（鄭麗玉，民 82）。它可分為演繹及歸納兩種，在本研究中初探國中三年級學生對非接觸力的分析中，學生對概念的推理就演繹推理及歸納推理，分述如下：

### （一）演繹推理

演繹推理若是根據形式規則推論，結論較為確定。

例如：

凡是在地球上受到地球引力的物體都具有重量。

在真空中的小明受到地球引力。

所以在真空中的小明具有重量。

以上例子是根據形式規則推論，結論是正確的。

然而，根據邏輯規則推理，結論有效（valid）卻不一定為真（true），因為前提本身可能有偽（false），

例如：

所有物體都會掉落到地面上。

月球是物體。

所以月球會掉落到地面上。

「月球會掉落地面上」的結論是根據邏輯規則推理而來，所以有效，但是這結論不真，與事實不符，主要原因乃是「所有物體都會掉落地面上」的前提是偽的關係。所以邏輯規則推理不能確保我們的結論一定是真。

若是根據條件式推理，則先備知識和經驗可以幫助學生減少不確定性。條件式推理的形式如表 2-2-1。

表 2-2-1 條件式推理

| 形 式                              | 名 稱          |
|----------------------------------|--------------|
| 若 P 則 $Q \Rightarrow$ 若 P 因此 Q   | 正引法（有效結論）    |
| 若 P 則 $Q \Rightarrow$ 若非 Q 因此非 P | 反引法（有效結論）    |
| 若 P 則 $Q \Rightarrow$ 若非 P 因此非 Q | 否認前置事件（無效結論） |
| 若 P 則 $Q \Rightarrow$ 若 Q 因此 P   | 確定結論（無效結論）   |

（修改自鄭麗玉，民 82，P119）

例如：

假如物體會掉落在地球表面，物體受到地球引力的影響。

- a、物體會掉落在地球表面，因此物體受到地球引力的影響。
- b、物體不受到地球引力的影響，因此物體不掉落在地球表面。
- c、物體不掉落在地球表面，因此物體不受到地球引力的影響。
- d、物體受到地球引力的影響，物體會掉落在地球表面。

其中 a. 與 b. 是有效結論，若學生在地球引力的先備知識及經驗充分，則在地球引力概念的推理中，將增加確定性。

## （二）歸納推理

歸納推理是根據經驗所做的可能性判斷（鄭麗玉，民 82）。由於歸納推理無規則可循，只是一種可能性的判斷，全憑個人的經驗，因此歸納的結論永遠無法完全正確，明天的經驗也許又推翻了今天的看法。

綜上所述，概念是一種認知過程（Cognitive Process）的形式或階層，在認知階層中，是以思想的本質、觀點以及物體間的關係為其特徵，使個體能做比較、概括、抽象及理解的活動，並以語言為其主要表達的工具。其在概念推理中，若為演繹推理根據形式規則推論，結論是正確的，根據邏輯規則推理不能確保我們的結論一定是真；若是根據條件式推理，則先備知識和經驗可以幫助學生減少不確定性。而歸納的結論永遠無法完全正確，明天的經驗也許又推翻了今天的看法。



### 第三節 心智模式

學生在建構自己的科學知識，通常可分兩大類即學生平日在一起談話的生活世界的科學知識及學生在學校的課堂上所學習到的科學知識

(Solomon, 1993)。而其個別差異是來自於個體的能力與經驗的不同，因而會形成不同的模式。個體通常會表示可以直接覺知這世界，但是事實上這種經驗是依賴著個體對這世界所產生的模式 (Johnson-Laird, 1983)。

Solomon (1993) 指出生活世界裡的科學知識，是個體在團體中相互交換資訊，以達到多元性的瞭解及一致性。實際的生活用語，並沒有明確的定義，它是在團體之間協商後所得到的意義。而各種語言的含意則是互相依賴的，它必須考慮文化的背景、實際的生活及感情的前後關係等，它不使用邏輯的思考，縱使有不同的意見也會互相容忍。又指出課堂上所學習到的科學知識是透過辯論得到的，它可以使得不同的意見趨於一致或是更形成尖銳性。為了精確的用法，概念性的用語會有明確的定義。而概念的意義是一種具有代表性、抽象性的表徵，概念和理論的宣稱是具有緊密的思考網絡。科學知識不是在社會團體中形成的，這些方法平常很少使用，只是在教師間的同儕團體間使用。

綜上所述，我們了解學生在建構自己的科學知識時，日常生活的經驗及在教室所學的科學知識皆影響著個體建構知識的模式。

#### 一、心智模式的意涵

在一些科學中，例如資訊儲存與傳送的認知科學、語言處理和溝通的科學、知識的獲得及運用的科學等，其中在近年來，有一項結構與這些科學之間產生密切的關聯，那就是重視人們對外在事物的認知方式，是對外在事物結構及處理的內在的表徵，即存在心中的內在模式或稱之為心智模式。

心智模式的概念最早是由 Kenneth Craik(1943;引自 Johnson-Laird,1983)所提出的，從 Craik 以來，對心智模式的詮釋，引起了文化及行為科學的理論的探討及實徵研究。而思考是一切事物的內在表徵的處理方式。主張人類會主動轉譯外在的事物成為內在的模式，並藉由這種符號表徵的操弄來進行推理。他並認為人類根據過去的經驗，藉由他們的思想建構出對外在實體的工作模式以企圖來瞭解世界。既然這些模式是不完全的，所以這些模式比那些他們表現的實體更為簡單（Johnson-Laird,1983）。

Rickheit & Sichelschmidt (1999) 認為心智模式是在自然或人為認知的體系中，對外在事物的一種動態符號的表徵。不論是在問題上或在方法上的知識，使得人們在心智模式之下可以做預測及推理。以人為操控的研究而言，心智模式頗像一項詮釋原則，因此，對外在系統的推理可以被詮釋為對內在基模的一項操作處理。

Norman (1983) 提出在討論心智模式時，認為我們必須注意四項不同事物：(1) 指標系統也就是外在的客觀實體；(2) 指標系統的概念模式，即所謂外在的客觀實體的概念模式，例如，被認定的真理或是定理、定律；(3) 個體對指標系統的心智模式，而心智模式是自然進化的模式，個體藉著和目標系統的交互作用，做有系統陳述。這些模式在認知結構上是不需要符合正確的科學概念。為了要達到預期的目標，將藉著和系統的交互作用，會繼續修正其個體的心智模式。故心智模式會依不同的個體背景、相似系統的過去的經驗，和人類的消息處理系統的結構而有所限制，故其心智模式是不準確的、不一致的、且持續的修改。(4) 科學家的心智模式的概念化，外界存在的概念模式經由科學家、設計師、教師、工程師等人所創造出來，透過普適化的語言規則、符號轉換而來的。因此這概念模式具有準確性、一致性和完整性。其心智模式概念圖如圖 2-3-1 所示

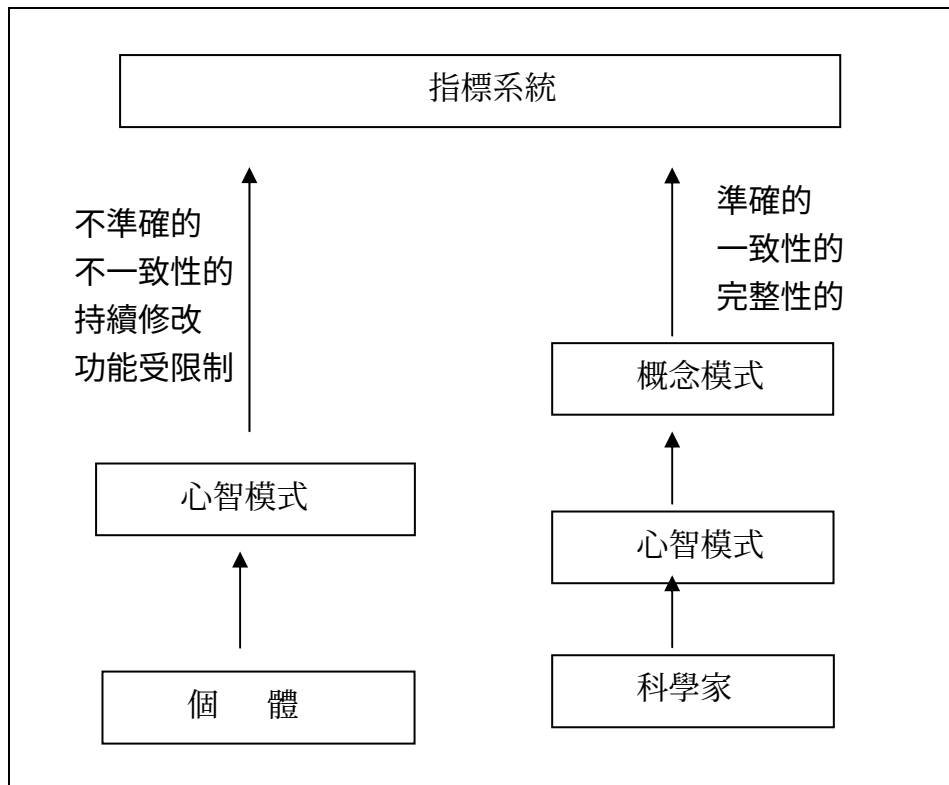


圖 2-3-1 Norman 的心智模式

Johnson-Laird (1983) 則提出心智模式是內在心智架構的表現，由個體感受到外在環境的過程，而由知覺中提取訊息，加以內化（internalization）並賦予意義而組成知識。再透過個體的表徵系統，配合當時的情境轉化成適合情境的具體符號、語言來傳達欲表達的訊息。並認為心智模式可扮演推論和預測物體，事件的狀態，事件的結果的一致性的角色並能瞭解現象、決定並控制行動的進行。最重要的是產生對新現象的經驗，利用語言而不需直接利用感官的經驗來得到世界的覺知。而心智模式即是當個體對語言的瞭解之最終產物，是一種抽象的概念。其心智模式概念圖如圖 2-3-2 所示

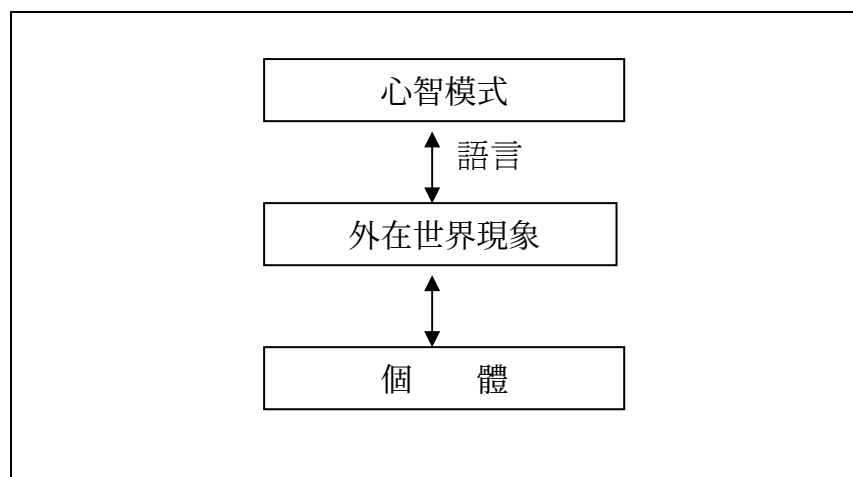


圖 2-3-2 Johnson-Laird 心智模式

Vosniadou & Brewer (1992) 則是認為心智模式的產生是爲了回答並解決問題，進行行動處理狀況所產生的一種動態結構，而該結構源自並受限於概念的如此關係，是故認知心裡學與科教學者便經常使用研究心智模式的方式來探討抽象的概念內容。Vosniadou (1994) 在探討兒童自然現象的研究報告中指出兒童在解釋自然現象時有下列數種模式：(1) 初始模式 (initial model)，這是由較小且較基礎的經驗信念所組成，以日常生活經驗的觀察爲主，而且不受成人科學模式影響。(2) 綜合性模式 (synthetic model)，基於觀察的經驗中，依文化背景及科學的解釋，所做的調和表徵。(3) 科學模式 (scientific model)，這是與科學觀點一致，但是不意味著兒童具有科學模式時，現象模式就會消失，他可以察覺兩種同時存在，依狀況而調和使用。

Vosniadou (1994) 認為本體論和認識論的預設對基本相似的經驗信念提供了解釋的架構。兒童並未知覺到預設和信念的假想狀態限制了他解釋新資訊的方式，故這些預設不斷在日常經驗中被確定，以致於兒童對自己所擁有概念很難改變。由於本研究利用深度晤談方式捕捉學生詮釋重力概念的心智模式，對於產生心智模式的成因，例如，本體論和認識論的預設和信念，則不在本研究討論的範圍，故擬不加以探討。其心智模式如圖 2-3-3 所示。

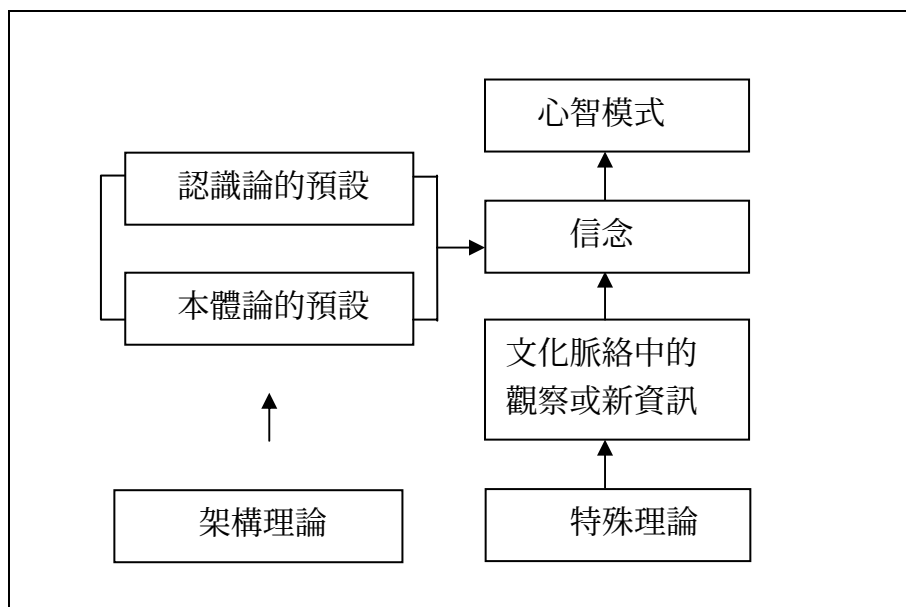


圖 2-3-3 Vosniadou 與 Brewer 心智模式

## 二、心智模式的功能與特性

Rickheit & Sichelschmidt (1999) 依心智模式的功能性而言，認為心智模式可以被視為一種可允許個體進行許多認知過程的符號結構，其功能性如下：

- 1、 可以對一個系統產生何種目的，做詳加的描述。
- 2、 可以對一個系統的結構內容，做詳加的描述。。
- 3、 可以提供一個系統處於何種狀態的解釋。
- 4、 可以提供一個系統具備何種功能的解釋。

Norman (1983) 在觀察不同的個體在不同的工作項目時，認為其心智模式所具有的一些特性，歸納如下：

- 1、 心智模式是不完整的。
- 2、 個體對心智模式的操控能力極為有限。
- 3、 心智模式是不穩定的：個體對於自己使用中的完整體系極容易遺忘其細節。尤其是經過一段時間沒有去使用某些細節（或整個體

系)時,就更容易遺忘了。

- 4、 心智模式沒有明顯的界線,所以類似的建構及操作極容易混淆。
- 5、 心智模式是不科學的:個體都習慣採取“迷信”的行為模式,即使明明知道無此必要,只因爲如此得以耗費較少的體力且節省心力。
- 6、 心智模式是“能省則省”的:個體通常寧願做額外的體力操作,而不願做心智計劃,即使該計劃可以免去體力的操作;個體寧願出賣額外的體力而得以少傷腦筋於心智的繁雜上。

Johnson-Laird (1983) 則認爲心智模式具有以下特質:

- 1、 心智模式及解釋心智模式的系統都是可計算的。
- 2、 心智模式在大小上是有限的,不能直接表徵一項無限的範圍。
- 3、 心智模式是建構於一特殊組織裡的表徵,用來代表事件的狀況。
- 4、 單一的事件用單一的心智模式來表徵,即使描述的並不完全或不確定。
- 5、 心智模式可以直接表徵不確定性,其應用是可計算及可追蹤的,也就是說不會有任何表徵變得太複雜。
- 6、 任何一項敘述都可以應用到所有的語詞,只要是另一項敘述也用得到。例如,「高」可以用來敘述人及樹木,但是智慧只能用來敘述人卻不可敘述行動。
- 7、 所有概念的原型都是內在的。
- 8、 有一組有限的概念原型可以導引出另一組相對應的語意範圍 (semantic field),而且有另一組概念或“語意操作組 (semantic operators)”可以在每一個語意的範圍內利用其原型作爲基礎,建立起更爲複雜的概念。例如,看、瞥、窺、察看、注視、凝視等是視覺的語言符號的表徵即語意範圍,所以“引起”(人)看或凝視(物)則爲操作組。
- 9、 不論心智模式表徵的事件是經由感官或思想得來的,心智模式的結構和事件的情況結構是相同的。

- 10、 假若某一組的心智模式是由其他組群所形成的，該組群的每一組成分子必須原本就是具有獨立特質的。
- 11、 在特定條件下的知識表徵中：
- ①心智模式不包含變數，它是使用象徵物（token）來對一組實體進行表徵，而該象徵物的性質亦代表了該實體性質。
  - ②心智模式可由符合易察覺到實體的表徵物所組成。即它是要由感官覺知的。
  - ③心智模式的結構對應於所表徵情境的結構。而模式可以被否定、暗示或類似等補充之。

### 三、心智模式與概念

心智模式是一項假設的結構，可以用來解釋及預測一項系統的行為，因為它可以用符號將系統裡相關的部分及相互的關係表徵出來。而這符號主要是由聲音及視覺的知覺所組成的，Johnson-Laird（1983）的心智模式理論與概念的相互關係在解釋：當處理語言文字時，將一切視覺、聽覺都考慮進去。其關係如圖 2-3-4 所示。

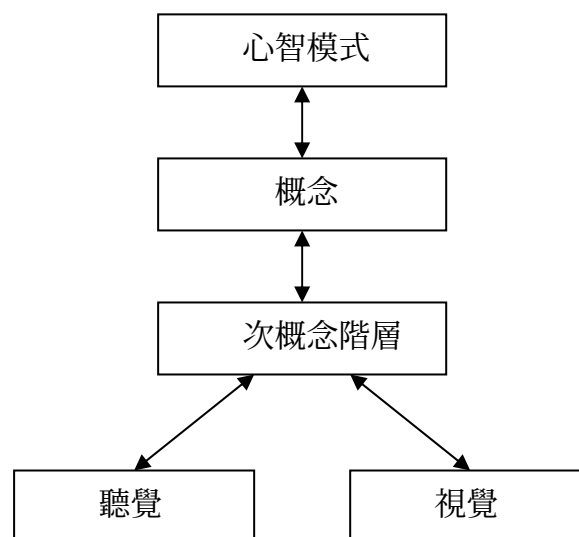


圖 2-3-4 Johnson-Laird 心智模式與概念的關係圖

（摘自 Kessler, Duwe & Strohner，1999）

有關兒童對於科學概念學習，Driver, Guesne & Tiberghien (1985；引自全中平，民 81) 提出兒童的概念的產生是自我的，也就是說兒童是以自己的方式來解釋所看到的現象，而且可能是不一致的，因為兒童對於任一自然現象可能有不同的概念，同時這些概念與科學概念不同。而兒童的概念很穩固，即使發現自己的概念與實際現象不符，但仍堅持自己擁有的概念。並認為兒童對於可觀察到的問題特性，會以自我的概念來做推理。對於實體現象的觀察，會侷限於顯著特徵的部分做思考。當解釋現象時，兒童的推理會趨向一種線性因果順序 (linear causal sequence)。而兒童擁有許多隱含的概念，這些概念與科學家的概念不同而且數量眾多；並且經常回憶不同的想法來解釋觀察到的現象。

依 Vosniadou (1994) 的解釋認為兒童並未察覺到預設和信念的假想狀態限制了他們解釋新資訊的方式，又學生所使用的解釋，缺乏專家所具有的系統性和一致性。故兒童是以自己的方式來解釋所看到的現象，而且可能是不一致的。

Kessler et al. (1999) 提出概念與心智模式間具有一次概念動態單元 (subconceptual dynamics unit)，此一動態單元能夠擷取聲音和視覺以進行處理，而形成新的概念，認為概念是具有穩定性，心智模式則是類似軌道，依情境的不同而產生不同的心智模式。其關係如圖 2-3-5 所示。

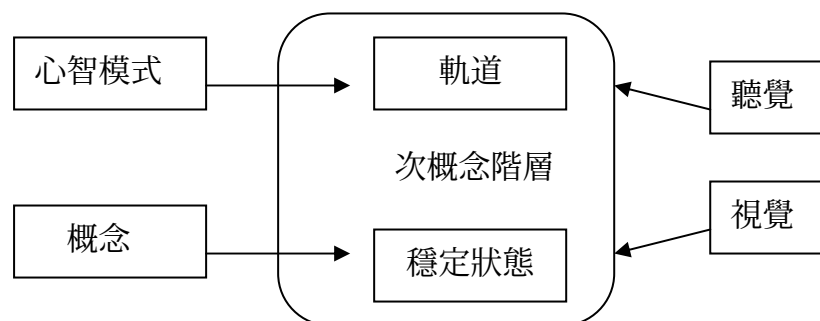


圖 2-3-5 Kessler et al. (1999) 心智模式與概念的關係圖



## 第四節 萬有引力的科學發展史簡介

「簡單就是美」，這是所有物理定律的共同特徵。縱使他們的實際作用很複雜，形式卻都是簡單的，大自然形形色色的景象，遵守著一些律動和模式。萬有引力定律曾經被稱為「人類心智所能達成的最偉大的推論」（林多樑譯，民 74），而大自然的運行能服從這麼簡潔而優美的定律。十七世紀科學家們於科學研究的方法與精神，奠基了萬有引力定律的提出，這是人類心靈所及最遠的通則。

萬有引力定律說明，每一個物體都吸引著其他每一個物體，而兩個物體間引力大小，正比於它們的質量，當物體的質量愈大，它們之間的引力就越大。這個引力會隨著這兩物體質心連線距離的平方而遞減，當兩物體距離越遠時，它們之間的引力就越小。我們可以用數學符號來表示成：

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$m_1$  是其中一個物體的質量， $m_2$  是另一個物體的質量， $r$  是兩者質心之間的距離， $G$  是萬有引力常數。

萬有引力定律另一種說法就是：物體受力以後，物體會以加速度，即運動速度的變化，來回應加諸於它的作用力，物體每秒鐘其速度因力而產生的改變與其質量成反比，也就是說物體的質量愈小，則其速度的改變就愈大。

底下先就有關天體運動的科學發展史做一簡介，接著再以當代較有成就的科學家及出現時期的先後，回顧萬有引力定律發現的科學史：

# 一、天體運動的科學發展簡史

## （一）圓形與圓球的體系

1、西元前四世紀，希臘哲學家尤都拉斯在尋找、解釋行星環形軌道的公式。他靠著圓球且不同軸的組合行星模型來估算天體運行，而地球就是這個模型的中心位置。雖然他能簡單的預測行星的位置，但卻無法說明行星的亮度為何會有週期性的變化。

2、西元二世紀中葉，希臘天文學家托勒密（Ptolemy, 140AD）利用類似的法則嘗試解決行星的亮度的運動模型。基本上依然是根據圓形軌道的原則，每個行星又能夠沿著自己的軌道做另一個小的圓形軌道運動，如此一來每個行星的相對距離得以有微小的變化，解決了尤都拉斯的困擾。但對於行星間的距離及光度的變化依然漏洞百出，而且對於地球與行星間的距離仍未提及。

## （二）地心說？日心說？

1、托勒密總結了古希臘的科學成就，提出了「地心說」，即宇宙是以地球為中心的概念。認為宇宙間任何星體繞地球運行的軌道皆為完美的圓形。其中太陽、地球、水星及金星的運動之中心都是在一直線上。其示意圖如 2-4-1 圖表示。

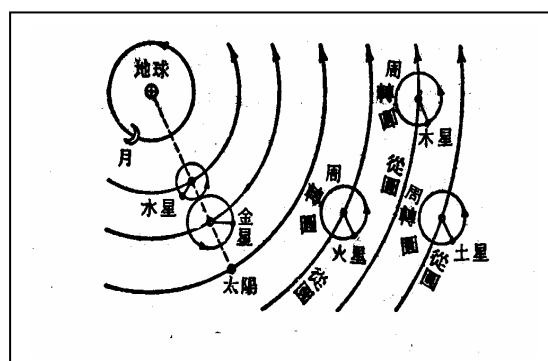


圖 2-4-1 托勒密的宇宙系示意圖  
(摘自王石安，民 71)

2、波蘭天文學家哥白尼（N. Copernicus, 1473 ~ 1543）對托勒密的「地心說」提出懷疑，從而產生了「日心說」的假設。主張將太陽視為宇宙的中心，而其他行星則以完美的圓形軌道依不同距離繞太陽運行。如 2-4-2 圖表示。

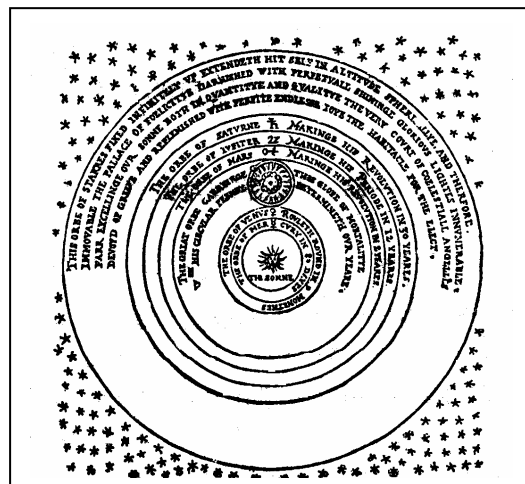


圖 2-4-2 1576 年所繪的哥白尼宇宙  
(摘自王石安, 民 71)

3、哥白尼之後，科學家爭辯著：地球是否與行星一起繞行太陽，或是地球根本就位在宇宙的中心--等等的論點。丹麥的貴族，天文觀測的先趨者第谷（Tycho Brahe, 1546 ~ 1601）主張「半日心半地心的混合體系」，他對行星的運動做了詳細的觀察，認為眾星繞著太陽運行，太陽又帶著眾星繞著地球運轉；此時第谷認為只要非常小心紀錄行星在天空中出現的確切位置，即可知道地球是否為宇宙的中心，但是未能成功。

4、德國天文數學家刻卜勒（Johann Kepler, 1571 ~ 1630）主張哥白尼體系的；當時為第谷的助理，且仔細研究且試著分析第谷觀測所收集的資料，認為行星沿著圓形的軌道繞日運行，但太陽並不在這些圓形的正中間。同時發現哥白尼運動說中無法說明火星軌道的運動。因此認為圓形軌道並不是正確的答案，而必須是橢圓形的軌道才能與數據資料符合。

刻卜勒根據他畢生的研究，於 1609 年提出了日後所稱的第一、二定律。又於 1619 年對於各行星間發表了第三定律，簡單的說就是：①行星繞日的軌道是橢圓形的，而太陽位於橢圓焦點之一。②行星與太陽的連線，同時間內向徑掃過的面積相同 ③週期的平方與軌道大小的立方成比例。刻卜勒的這三條定律，把行星的繞日運動做了完全的描述。為後來的牛頓力學和萬有引力提供了極有用的基礎。

5、義大利的實驗物理學家伽利略（Galileo Galilei, 1564 ~ 1642），哥白尼學說的擁護者，他認為憑空想像出來的科學是不進步的，他認為科學應該立足於實驗上。伽利略於 1610 年經由望遠鏡發現了木星的四顆主要衛星是為哥白尼體系的一個強而有力的證據。又觀測到金星與水星的相位（盈虧）更支持了日心說的理論。他從望遠鏡的觀測結果提供更多更精確的觀測資料來驗證刻卜勒的運動定律。

## 二、「萬有引力定律」發現的科學簡史

以下就「萬有引力定律」發現的科學史參考錢相、林多樑譯（David Park 著，民 68），王石安（民 71），林多樑譯（Richard Feynman 著，民 74），姚珩（民 87），洪振方（民 89），蔡坤憲譯（Paul G.Hewitt 著，2001）等著書及文獻，歸納整理如後：

### （一）哥白尼（N. Copernicus, 1473 ~ 1543）

15 世紀至 16 世紀的哥白尼指出，天際中各星球的排列及運動是按照它們的速度及軌道大小的一種數學上和諧關係所決定的，並且是自然的。然而以後的刻卜勒（1571 ~ 1630）卻說哥白尼認為宇宙的星體是分別嵌鑲在一個套著一個的透明圓殼上旋轉著。如此，嵌鑲在透明圓殼上的星體就按照一定的軌道旋轉了。

## （二）第谷（**Tycho Brahe**, 1546 ~ 1601）

1577 年，第谷和一些學者追蹤觀察一顆彗星時，發現它竟跑出了太陽系，也就是說它穿過了所謂的透明圓殼之說，第谷指出天空中並沒有什麼透明圓殼，這種說法實際上只是人們用來解釋天文現象中天體運行的一種設想而已。

## （三）吉伯特（**William Gilbert**, 1540-1603）

1600 年英國物理學家吉伯特發表新說法，指出維持太陽系秩序的是磁性，地球這個大磁石，對四周物體所作用的磁力可以一直透過太陽系，形成宇宙的外皮。他堅持所有太陽系中星球的運行，皆由本身的磁性而相互影響著，根本沒有什麼外來控制它們運行的原動力。他說，自然界中不論什麼東西，凡是會自然運行的，都是由它自己的力量及別種物體的影響所推動。他又在實驗中證明磁石質量越大，對鐵件吸力也越大，而鐵件也能吸引磁石。同時，實驗也證明兩物體間的磁力隨其距離而改變。吉伯特磁性原理成為現代的萬有引力觀念的雛形。

## （四）刻卜勒（**Johann Kepler**, 1571 ~ 1630）

刻卜勒繼續倡導吉伯特的磁性理論，他認為使星體運行的是「一種動力或平衡力」，太陽主宰著宇宙，它擁有一種特殊的磁性，行星是被太陽所放出的磁力推動而環繞軌道運行的，而且還能使軌道成橢圓形。刻卜勒認為一個在運動中的物體，必須有一個穩定且連續不斷的推動力，才能繼續運動下去，而行星是以不穩定的速度繞橢圓形軌道而行。

## （五）伽利略（**Galileo Galilei**, 1564 ~ 1642）

伽利略則指出「自然運動都是均勻且成正圓形的」，因此，他認為行星運動是自然的，也是自己產生的，故以均勻的速度繞圓形軌道而行。他假說很可能是上帝把許多行星從極高的地方丟下來，紛紛掉向太陽，速度逐漸增

加，到目前速度忽然轉向圓形軌道，就永無止境的運行下去。

伽利略觀察小球如何在斜面上滾下的實驗，他注意到小球沿著斜面運動時，若斜面往下傾斜，小球的速度會增加，如斜面往上傾斜，小球的速度會減小，在有坡度的斜面上運動時，無論坡度如何，小球將會滾到原來的高度。伽利略進一步提出：如果小球從一斜面滾到一個既不向上，也不向下傾斜的斜面上運動時，則物體應該不加速也不減速，所以在水平面上運動的物體，必做等速度運動。伽利略因此提出：靜者恆靜，動者恆動的觀念。下面是伽利略在《兩門新科學的對話中》的敘述（引自姚珩，民 87）：

若某物體沿水平面上運動，而運動中又沒有遇到任何阻止，那麼，...該物體將做均勻等速運動，而如果平面在空間延伸至無限遠的話，這一運動將永遠延續下去。

伽利略由觀察、實驗和推論得到這個結論，這就是日後所描述的慣性原理（principle of inertia）。

## （六）笛卡兒（René Descartes, 1596-1650）

法國數學家笛卡兒同意伽利略所說的行星是以均勻的速度繞圓形軌道而行，他否定了刻卜勒所說的行星運行的橢圓形軌道。但他也批評伽利略學說，認為空間皆充滿了物體，沒有一樣東西能真正的自由地掉下來。石頭能從空中掉下來，是由於地球四周物體所形成漩渦吸力所致。同理，行星的圓形軌道，是由於太陽四周物體所形成的漩渦吸力所致，這種吸力能使得它們原先由於慣性運動產生的直線運動轉變成圓形軌道。笛卡兒的說法在當時引起極大的影響。

## （七）玻雷利（Alphonse Borelli, 1608-1678）

刻卜勒的理論直至 1666 年才被義大利數學教授玻雷利所重視，他認為行星的橢圓形軌道是兩個相反力量平衡的結果，一個是太陽對行星產生的吸

引力，另一個是使行星飛離太陽的離心力。他認為物體的自然運動是成直線前進的，所以太陽必須以它的吸引力使得行星在軌道內運行。但玻雷利未能找出這吸引力有多大，故只停留在假說階段。

### （八）虎克（**Robert Hooke**, 1635-1703）

虎克同意吉伯特的觀點，認為萬有引力與磁力非常相似，既然兩物體間的磁力可以隨其距離而改變，虎克認為萬有引力一定也可以得到同樣的證明。為證明這假說，虎克在 1662 年及 1666 年在深井或礦坑中及在高山頂上測量物體的重量，然後再將不同地點所測得的重量加以比較，結果就如同他所說的：毫無頭緒。1664 年虎克談到當時所出現的一顆彗星軌道時，指出彗星接近太陽時軌道會彎曲，這是受到太陽重力吸引的緣故。當時虎克正潛心研究圓擺運動，想由其中找出使物體發生圓週運動的向心力之關係；但是未能成功。1677 年，虎克成為英國皇家學會秘書長，為了重力問題，與牛頓發生衝突，這次的衝突卻對牛頓力學的確立幫了不少忙。虎克主張：1. 所有的天體都有向著其中心的引力。2. 做著等速直線的物體，只要沒有外力的干預，會在直線上繼續運動。3. 距離越近，引力會越強。

### （九）牛頓（**Sir Isaac Newton**, 1642-1727）

英國物理學家牛頓以他所創立的數學原理，來解釋自然界的現象。

伽利略的斜面實驗結果提出後，牛頓進一步問到：假若物體原本不沿直線運動，則結果又是怎麼樣呢？牛頓自己回答說，要使速度作任何改變，一定要有力。故假若行星繞日運動沒有受到力作用，則不受外力就可使行星離開軌道而沿著切線直線前進而無止境。但是行星並不會沿著切線直進，它的軌道是向著太陽彎曲的，所以必須要有外力，顯然這個力是向著太陽的。

1679 年虎克大膽提出：行星指向太陽的向心力是和彼此間的距離平方成反比。1685 年牛頓確認了行星受到太陽的重力場的影響以橢圓形軌道運行，而行星繞著太陽運動時，力必須向著太陽，又從不同行星繞著太陽運動週

期，及它們與太陽間的距離關係，而推出了力的大小與彼此間的距離平方成反比，並且證明體積龐大的球體和所有質量集中於幾何中心的大圓球一樣，能產生一個相同的重力場。更進一步證明：地球的吸引力能使月球產生一個繞著地球運行所需的向心力；太陽的重力場使得行星繞著太陽運行；彗星是近似拋物線軌道經過太陽運行的。

牛頓證明了行星指向太陽的向心力是和彼此之間的距離平方成反比，又是如何讓它普遍化：宇宙中任何兩物體都是互相吸引？

牛頓實際計算了月球因受地球的吸引力，每秒鐘月球被拉下的距離與在地表上的物體自由下落，每秒鐘落下的距離，兩者掉落的距離恰與物體與地球的距離平方成反比。由此結果推知月球逐漸下降至地表時，其向心加速度等於在地球上的物體自由落下的重力加速度，也就是說，使月球運轉的向心力，與在地球上的物體自由落下的重力是屬於同一個來源。1685 年牛頓發表的《原理》一書中說到（引自姚珩，民 87）：

若有能真實且充分地解釋自然界裡，事物外在的現象原因，則我們勿需再採納更多的原因；...因此對相同的自然界的結果，我們必需儘可能地歸之於相同原因。

因此，使月球維持在軌道上的向心力，與我們通常所謂的地球引力，事實上是相同的力。

在伽利略和刻卜勒等人所奠定的基礎上，才 23 歲牛頓提出了偉大的萬有引力定律，證明了太陽吸引地球（及其他行星），地球吸引月球，成熟後的蘋果會掉落到地面上，這些都是具有相同的引力。法國科學家拉普拉斯於 1796 年在所發表的「宇宙體系論」中，首次提到『萬有引力原理』一詞，即是牛頓所發表的《原理》一書中所述（引自姚珩，民 87）：

物質的每一個粒子以與其距離平方成反比的力，吸引任一其他物質的每一個粒子。



### 三、萬有引力概念圖

綜上所述，有關天體運動及萬有引力概念參閱圖 2-4-3。

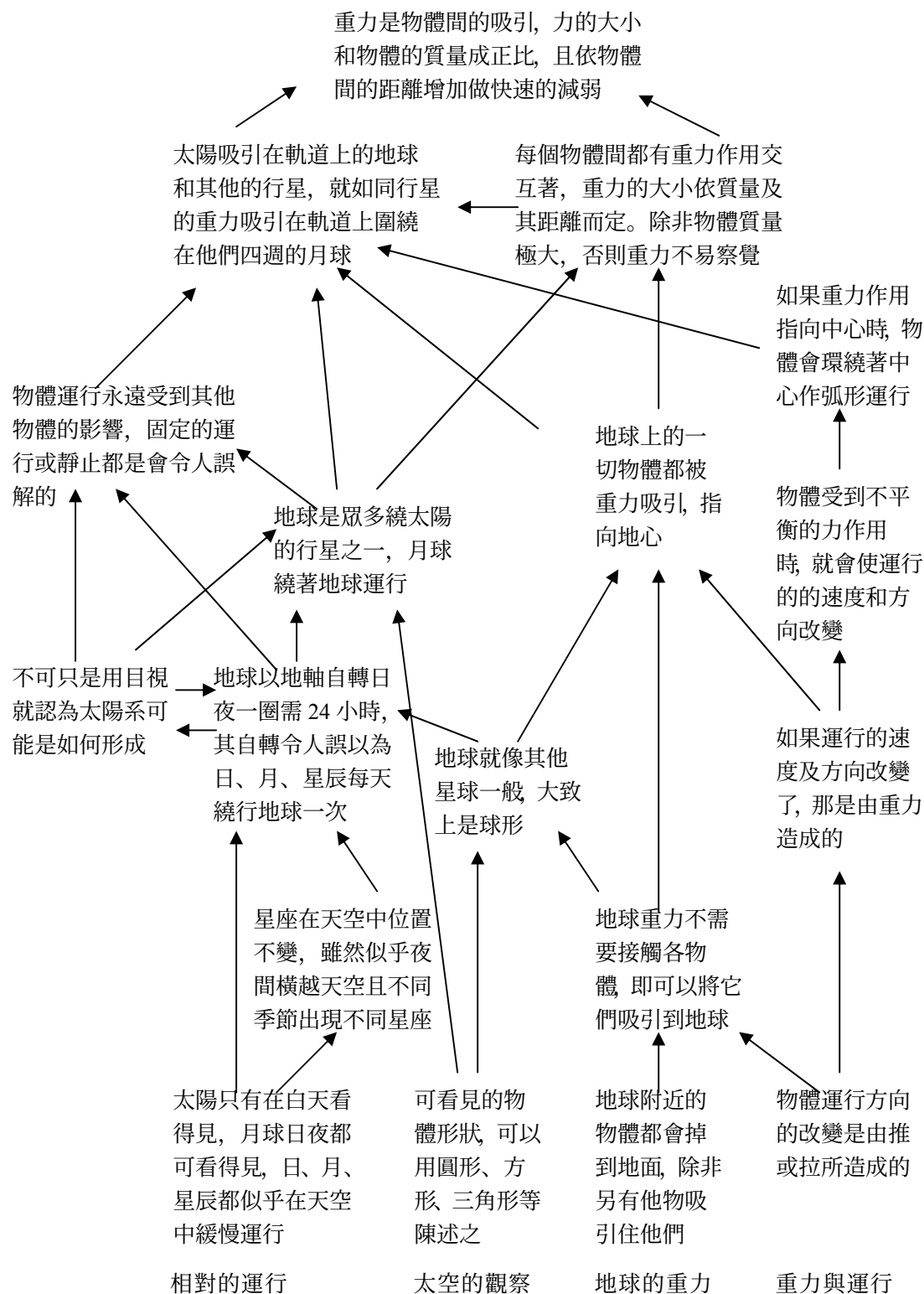


圖 2-4-3 萬有引力概念圖：摘自 AAAS：Project 2061:Atlas of Science Literacy)

研究者以多年教學經驗，預測學生對於重力相關概念可能產生概念命題的聯結，以及配合本研究欲探討國三學生對於重力概念的了解及詮釋相關現象的心智模式之研究，繪製以下有關萬有引力概念圖，因此圖 2-4-4 虛線表示及涵蓋概念圖以外的概念，研究者擬不加以探討。

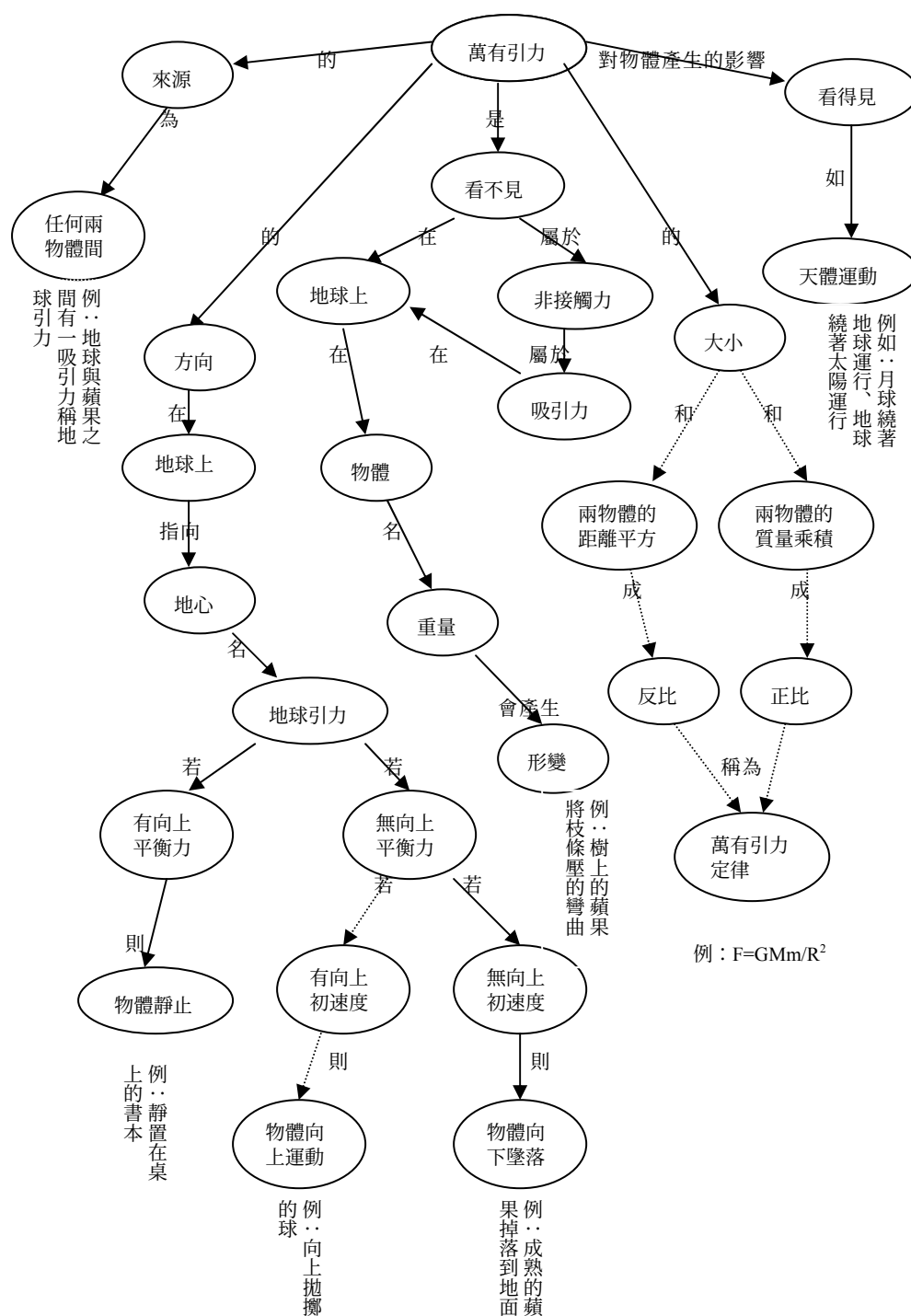


圖 2-4-4 本研究之萬有引力概念圖

## 第五節 重力相關研究

「地球引力」，「地心引力」，「重力」及「萬有引力」等四個名詞在中文裡雖然其名稱不同，但是其概念意義範疇的內在表徵是相同的，誠如在第貳章第二節概念學習中所介紹的，因學習階段的不同，故所學習的概念名稱不同，而且在不同的情境時，亦會選擇最常用的名稱，例如，「物體會向下掉落，是受到了『地心引力』的作用」，「既然月球受有來自地球『重力』的吸引，它為什麼不會直接撞上地球呢？」，「...大量塵埃從彗星本體脫落，這些塵埃受到『地球引力』而墜入大氣層...」，「地球繞著太陽運行是因『萬有引力』作用...」等。

本研究中的「重力」特指地球或月球對物體的吸引力。物體在地球上所受的吸引力，在國中課本上習用地球引力（英文或可稱為 *attractive force of the Earth*）的名稱。物體在月球上所受的吸引力，可以月球引力（*attractive force of the Moon*）稱之。其實，任何兩物體間都有這一引力，學術界稱之為萬有引力（*universal gravitation*）。

底下，將介紹國內外有關重力的相關概念的研究報告。在國外研究報告中，最早研究兒童地球引力相關概念的是 Nassbaum & Novak（1976）發表的文獻，作者以結構式臨床晤談方式，研究紐約 26 名二年級兒童對地球引力概念階層的分佈。發現二年級兒童在地球引力概念階層（參閱圖 2-5-1）的分佈中，缺乏地球引力的概念；Nassbaum（1979）又以更廣泛的年齡層，研究以色列都市與鄉村四至八年級共計 24 名兒童有關地球引力的概念發展，結果在這些兒童身上仍可發現地球引力概念性的分佈，從自我中心觀念到更具概念性觀念會隨著年齡的增加而轉變。其中超過 50% 的四年級學生沒有地球引力的概念，五、六年級從沒有地球引力概念到存有地球引力概念的階層都有人數的分佈，七、八年級則超過一半的人數有地球引力的概念。

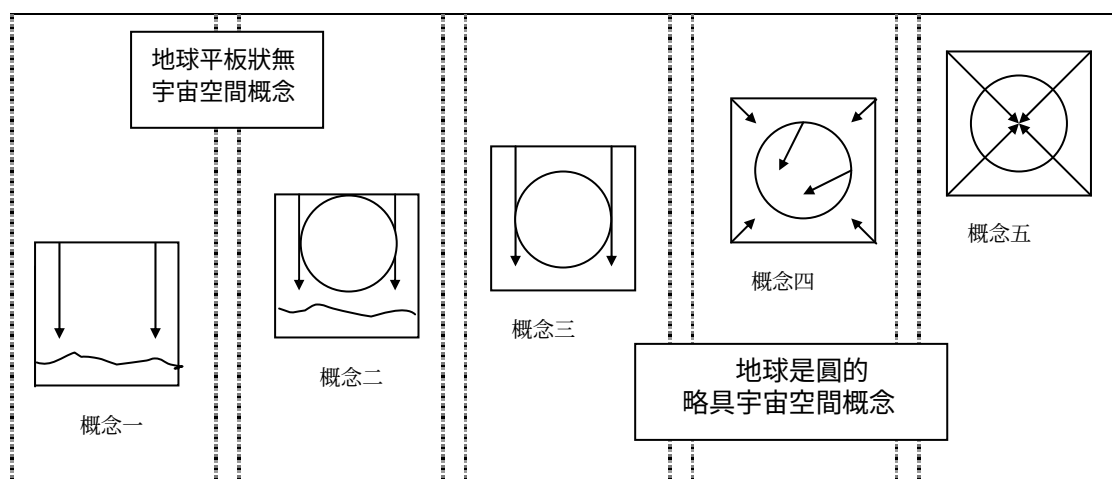


圖 2-5-1 紐約二年級兒童對地球引力概念階層的分佈圖（箭頭的方向，即兒童認為地球引力的方向）（引自 Nussbaum & Novak , 1976）

Mali & Howe (1979) 研究尼泊爾共 254 名八歲、十歲、十二歲等三個年齡層的學生，研究發現尼泊爾十二歲的學生類似於美國國小二年級學生，缺乏及不了解地球引力概念。Stead & Osborne (1980) 研究紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生對地球引力的另有概念，結果發現學生認為地球引力是一種支持力、拉力及推力，無法區別重量及地球引力的關係，並認為自由落體是自然現象與地球引力無關，且有部分學生認為地球引力可使鳥類飛翔是屬於向上的力，亦有學生認為在水中地球引力是不存在的，地球引力在大氣層頂端是最強的，地球引力是來自於空氣的一種吸引力，有些學生則認為月球是沒有吸引力的，地球引力的來源是與地球的旋轉有關。

Watts & Zylbersztajn (1981) 針對倫敦十四歲 125 名學生研究重力的相關概念，結果發現 80% 的學生認為月球沒有力存在，因為沒有大氣或地球引力的緣故。Gunstone & White (1981) 研究澳洲 Monash 大學 468 名物理系一年級學生，在有關重力概念的八個不同情境的事例中，做觀察與預測。研究結果發現（1）學生認為重物比輕物下落得快，（2）學生知道很多物理學知識，但是無法與每天的世界產生相關聯的連結。例如在高度與重力場強度的關係，摩擦力與空氣阻力常會判斷錯誤，（3）學生會用數學式來解釋並預測現象，雖然有物理學知識做為支持但是常在特定的情境中觀察不完全，（4）缺乏解釋預測的能力。直覺的反應常勝於理性的評估，（5）當問到他們看到什麼的時候，常會用數學式來表示而不做實際的觀察。

Watts (1982) 以事例晤談倫敦中等學校的一年級至六年級的學生。研究發現學生持有地球引力的另有概念如：地球引力需靠介質的傳遞、沒有空氣的地方就沒有地球引力、地球引力會隨著高度而增加、地球引力是固定不變的、當物體下落時，地球引力開始作用直到物體靜止為止、地球引力是一個很大的力、地球引力的作用對象是有選擇性的，及地球引力不是重量等。該研究並發現即使成績優異的兒童對地球引力亦可能存有另有概念。

Nussbaum & Dagan (1983) 研究以色列 114 名國小二年級學生，研究結果發現國小二年級學生經過錄音帶家教課程後 (Audio-tutorial lessons ; AT)，約有 50% 達到概念改變。而且二年級學生經過錄音帶家教課程的教學後，可達到未正式學習過地球引力課程的四年級學生程度。故二年級學生可以進行有如天體地球的抽象概念的學習。Pulos & Sneider (1983) 晤談美國舊金山三至八年級 159 名兒童有關地球形狀和地球引力的相關概念。並指出「實體-文化」概念的觀點，認為兒童對地球形狀和地球引力的概念是「兒童對現實世界中事物的自我想法」及「由成人處所得到的訊息」兩者所產生的概念同化及調和。該文作者的論點有如 Vosniadou (1994) 所指出的兒童在解釋現象時，是以日常生活經驗的觀察為主，而且不受成人科學模式影響所表徵出的現象模式，及當兒童察覺成人與自己對同一現象的解釋產生矛盾時，會利用同化的現象來解決問題，但由於在同化的過程當中並未彼此連結好，因此往往會產生迷思或另有概念的同化模式等的意義相同。該文獻研究發現三、四、五年級的兒童有 75% 相信空間有「絕對向下」的方向，而 25% 相信「向下」是指物體落向「地球的表面」的另有概念。

Piburn (1988) 以事例晤談及紙筆測驗的方式，研究大學非理工科系的學生對於重力的迷思概念，結果發現學生認為重力與溫度有關、行星所受到的引力與太陽的距離有關、重力是由於摩擦力的熱所產生的、地球產生重力場的原因是由於地球旋轉、重力與磁力產生了混淆、重力是使指南針偏向北極的物質、大氣的臭氧層與重力有關聯、行星繞著太陽運行，所以太陽是影響重力有無的重要因素、沒有生命的星球就沒有引力等迷思概念。

Treagust & Smith (1989) 晤談西澳十年級 24 名學生及利用二階段式診斷測驗 113 名十年級學生，有關重力及行星運行的相關概念。發現十年級學生持有迷思概念如：行星的地球引力大小與太陽的距離有關、太陽的重力不但影響著四周行星的軌道而且也影響著行星的重力、行星旋轉快慢或未旋轉會影響著它的引力，即旋轉很慢的行星，引力較小、行星的旋轉快慢與太陽的相關位置有關、行星的密度影響著它旋轉的快慢、行星的表面溫度影響著它的引力等。

Graham & Berry (1992) 研究英國 202 名六年級學生對於重力的直覺想法。研究結果發現 40% 的人數認為物體在不同的星球上，質量不同的物體，在相同高度下會同時落地。10% 的人數認為質量不同的物體，在地球上會同時落地，在月球上則質量大的物體會先落地。16% 的人數認為質量不同物體，在地球上，質量大的物體會先落地，但在月球上則會同時落地。21% 的人數認為質量不同物體，不論在地球上或是在月球上質量大的物體都會先落地。8% 的人數則認為月球沒有引力，物體在月球上會飄浮著。

Bar, Zinn, Goldmuntz & Sneider (1994) 研究以色列 400 名四至十三歲兒童，研究發現：五至七歲兒童對物體會落下最通常的想法是因為未受支撐 (hold) 的緣故，太陽和月亮不會落下是因為它們黏在天空上。七至九歲兒童認為因為物體很重才會落下，雲很輕而且不重，所以不會落下來。九至十三歲兒童認為物體落下是因為地球引力的關係，但大多數兒童相信空氣為地球引力所必要的條件。

Bar, Sneider & Martimbeau (1997) 研究美國加利福尼亞州 48 名六年級學生。研究發現：前測時，學生的想法與以色列同年齡孩子相似，三分之二學生認為地球引力需要空氣才有作用。教學後，後測發現：仍有五分之一的學生認為地球引力需要空氣才有作用。將近三分之一的學生回答不知道地球引力是否需要空氣才有作用或其他答案。Sneider & Ohady (1998) 研究 539 名四年級至八年級學生。研究發現：前測時，高年級的學生所具有的迷思概念較少。在後測上，四、五年級的學生概念改變較其他年級學生好。經過指

導後，四、五年級的學生聰明程度相當於七、八年級的學生。

Palmer (2001) 研究 56 名六年級學生和 56 名十年級學生，有關在生活事例中，運動中的物體或是靜止不動的物體上是否有地球引力的作用。研究結果發現 11% 的六年級學生和 29% 的十年級學生具有一致性的科學概念，即地球引力是使物體落下的原因。89% 的六年級學生和 71% 的十年級學生存有地球引力的概念是不一致的。其中持有的另有概念有如地球引力作用使得落體向下掉落、向上垂直運動的物體不受到地球引力作用、地球引力作用使得靜止的物體向下運動、地球引力並不作用在靜止的物體上、地球引力作用使得向上垂直運動的物體向上運動、地球引力作用使得向下垂直運動的物體向下運動、及地球引力並不作用在落體上等。

國內有關地球引力相關研究報告如全中平（民 81）研究國小 261 名五年級學生，在研究力的概念中發現約三分之一學生以「推拉的力量」代表力的概念。17% 學生認為力是一種「平衡、靜止的力量」。15% 學生認為磁力、萬有引力才是力。姜滿、謝秀月（民 83）晤談我國一至五年級共 20 名兒童。發現學生具有地球引力的另有概念如物體是絕對向下掉落，最後落入太空、地球引力使物體自然向地面掉落、有重量物體往下掉，沒重量者往上飛、圓形物體才會掉下來，其餘形狀不會掉下來、地磁或大氣層會使物體向地面掉落、地球引力會將物體吸向地球球心等的另有概念。陳玉玲（民 89）研究我國國小 156 名六年級學生，研究顯示具備高空間能力的學生有 47.4% 屬於初步科學概念及完整科學概念。低空間能力的學生有 3.9% 屬於初步科學概念及完整科學概念。吳慧娟（民 90）研究我國國小 57 名二年級兒童及 53 名五年級兒童。研究發現二年級具有正確地球引力概念階層者為 9%。五年級具有正確地球引力概念階層者為 19%。

綜合以上所蒐集到的中外研究報告，可以將學生對於地球引力所持有的迷思概念或是另有概念歸納整理如下表 2-5-1：

表 2-5-1 中西文獻對地球引力所持有的迷思概念或是另有概念一覽表

| 迷思概念或另有概念               | 作 者                                                                                                                                                              | 研究樣本                                                                                                              |
|-------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. 月球沒有引力               | 1. Stead & Osbone (1980)<br>2. Watts & Zylbersztajn (1981)                                                                                                       | 1. 紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生<br>2. 倫敦十四歲 125 名學生                                                                         |
| 2. 沒有空氣的地方，就沒有地心引力      | 1. Stead & Osbone (1980)<br>2. Watts & Zylbersztajn (1981)<br>3. Watts (1982)<br>4. Bar, Zinn, Goldmuntz & Sneider (1994)<br>5. Bar, Sneider & Martimbeau (1997) | 1. 紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生<br>2. 倫敦十四歲 125 名學生<br>3. 倫敦中等學校的一年級至六年級的學生<br>4. 以色列 400 名四至十三歲兒童<br>5. 美國加利福尼亞州 48 名六年級學生 |
| 3. 地球引力需要靠介質傳遞          | Watts (1982)                                                                                                                                                     | 倫敦中等學校的一年級至六年級的學生                                                                                                 |
| 4. 地球引力的大小是固定的或隨高度增加而增加 | 1. Stead & Osbone (1980)<br>2. Watts (1982)                                                                                                                      | 1. 紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生<br>2. 倫敦中等學校的一至六年級的學生                                                                       |
| 5. 靜止的物體，不受地球引力作用       | 1. Watts (1982)<br>2. Palmer (2001)                                                                                                                              | 1. 倫敦中等學校的一至六年級的學生<br>2. 56 名六年級學生和 56 名十年級學生                                                                     |
| 6. 重量與地球引力無關            | 1. Stead & Osbone (1980)<br>2. Watts (1982)<br>3. Bar, Zinn, Goldmuntz & Sneider (1994)<br>4. 姜滿、謝秀月 (民 83)                                                      | 1. 紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生<br>2. 倫敦中等學校的一至六年級的學生<br>3. 以色列 400 名四至十三歲兒童<br>4. 晤談我國一至五年級共 20 名兒童。                       |
| 7 地球引力的來源與旋轉有關          | 1. Stead & Osbone (1980)<br>2. Piburn (1988)<br>3. Treagust & Smith (1989)                                                                                       | 1. 紐西蘭一年級至七年級共 42 名學生<br>2. 大學非理工科系的學生<br>3. 晤談西澳十年級 24 名學生及利用二階段式診斷測驗 113 名十年級學生                                 |



## 第六節 學生的先備知識

國三學生因未正式學習地球引力概念的課程，故在詮釋地球引力概念時，是以國小階段所學習的科學課程中的知識，及國中前二年所學習的理化課程中有關力學概念的知識為基礎。再加上由多元的管道獲得資訊，例如，科學課外書籍、多媒體、網路系統、同儕互動的交互作用等而形成認知的概念。

本節將介紹學生在國小學習階段及國中前二年所學習的理化課程中有關力學概念的知識，藉以了解第肆章分析學生對力初始概念的先備知識。

### 一、國小學習階段

國小自然課程的相關單元中，所討論的力的主題有關內容如下：

表 2-6-1 國小自然課程的相關單元中，所討論的力的主題有關內容

| 名 稱    | 國小自然相關單元                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 力是什麼？  | <ul style="list-style-type: none"><li>◆第九冊第五章－力與運動<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 怎麼知道受了力？</li><li>(2) 物體受力後會產生形狀或運動速度的改變。</li><li>(3) 力的來源（磁力、風力、地心引力、水力）</li></ul></li></ul>                                                                                                                                                                 |
| 如何測量力？ | <ul style="list-style-type: none"><li>◆第六冊第八單元－測量力的大小<ul style="list-style-type: none"><li>(1) 我們怎麼知道受了力？我們怎麼知道所受的力有多大？（彈簧）</li><li>(2) 拿一彈簧和橡皮筋分別掛不同個數的硬幣，測量彈簧的長度並紀錄其結果。</li><li>(3) 彈簧能測量力的大小，還有什麼辦法可以用來比較力的大小呢？</li></ul></li><li>◆第九冊第五單元－力與運動<ul style="list-style-type: none"><li>怎樣表示用力的情形：經由討論方式，共同制定符號以表示力的大小、力的方向、物體的運動方向。</li></ul></li></ul> |

|      |                                                                                                              |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 兩力平衡 | 國小自然未加介紹                                                                                                     |
| 浮力   | 國小自然未加介紹                                                                                                     |
| 摩擦力  | 國小自然未加介紹                                                                                                     |
| 壓力   | ◆第三冊第一單元－噴水遊戲<br>(1) 討論水由高處往低處流的現象<br>(2) 噴水遊戲<br>①討論如何玩噴水遊戲<br>②找出使水柱噴得高的方法<br>③討論噴水裝置在日常生活的應用<br>④自製噴水器的方法 |

國小自然課程的相關單元中，所討論的力與運動主題有關內容如下：

表 2-6-2 國小自然課程的相關單元中，所討論的力與運動主題有關內容

| 冊數  | 目次                       | 單元內容                                                                                                                                                                                     |
|-----|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第二冊 | 第六單元 認識方向                | <ul style="list-style-type: none"> <li>•上下、左右、前後的觀念。</li> <li>•原點（參考點各方向的起點）的概念。</li> </ul>                                                                                              |
| 第四冊 | 第五單元 大家來尋寶               | <ul style="list-style-type: none"> <li>•四方位：東、南、西、北。</li> <li>•以直角座標表示平面位置以步數（不為零的正整數）為測量單位，以垂直的兩方位，表示座標軸（或位移方向）的分量。</li> </ul>                                                          |
| 第五冊 | 第五單元 月球在哪裡<br>第七單元 指出位置來 | <ul style="list-style-type: none"> <li>•八方位：東、西、南、北、東南、東北、西南、西北。</li> <li>•月球在天空的位置（方位）與高度（以拳頭高表示）。</li> <li>•月球在天空的運動軌跡。</li> <li>•平面方格紙上各焦點的整數座標（以間隔為單位）、學生座位表、地圖上各城市的位置座標。</li> </ul> |

|      |                         |                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 第六冊  | 第一單元 測量力的大小<br>第四單元 快和慢 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●彈簧伸長量與拉力的關係。</li> <li>●彈簧伸長量與懸掛物重量的關係。</li> <li>●以彈簧伸長量表示力的大小。</li> <li>●以橡皮筋測量力的大小。</li> <li>●比較車與人的運動快慢。</li> <li>●所走距離相同，時間花得較少者較快。</li> <li>●所花時間相同，距離走得較遠者較快。</li> <li>●以單擺擺動次數的多寡比較快慢。</li> </ul>                            |
| 第九冊  | 第一單元 怎樣運動<br>第八單元 力與運動  | <ul style="list-style-type: none"> <li>●四肢如何施力。</li> <li>●人體怎樣運動。</li> <li>●畫圖表示力的大小與方向。</li> <li>●兩力形成靜止平衡的條件。</li> <li>●畫圖表示力的大小和方向。</li> <li>●以力圖表示小車受力的情形。</li> <li>●受力不為零時，物體的速度會改變。</li> <li>●磁鐵能施磁力使鐵釘移動。</li> <li>●物體都受有重力，會向下運動。</li> <li>●接觸力與超距力的分別。</li> </ul> |
| 第十冊  | 第四單元 慣性與質量              | <ul style="list-style-type: none"> <li>●在相同施力下比較慣性的大小。</li> <li>●利用彈簧片（附盛物盒）的振動測量物體與砝碼的關係。</li> <li>●慣性完全由質量決定，可由質量表示。</li> <li>●測量物體的慣性質量。</li> </ul>                                                                                                                     |
| 第十一冊 | 第八單元 地球的運動              | <ul style="list-style-type: none"> <li>●地球的形狀。</li> <li>●晝夜的成因。</li> <li>●地球的自轉。</li> <li>●地球的公轉。</li> </ul>                                                                                                                                                               |

## 二、國中前二年學習階段

國中第一冊理化課程中有關力的內容如下：

表 2-6-3 國中第一冊理化課程中有關力的內容

| 年級<br>(冊數)   | 目次                                     | 單元內容                                                                                                                                                                                                                    |
|--------------|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 二年級<br>(第一冊) | 6-1 力是什麼                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>●力能改變物體的形狀或運動狀態。</li> <li>●地球對物體的引力就是物體的重量。</li> <li>●力的常用的單位有 gw、kgw。</li> <li>●力可以用有向線段表示。</li> </ul>                                                                          |
| 二年級<br>(第一冊) | 6-2 如何測量力<br>實驗 6-1 力的測量<br>6-3 兩力平衡   | <ul style="list-style-type: none"> <li>●彈簧長度與施力的大小有一定的對應關係。</li> <li>●平衡的兩力作用於靜止的物體時，物體仍保持靜止。</li> <li>●達成平衡的兩力，必須大小相等、方向相反、且沿同一直線作用。</li> </ul>                                                                        |
| 二年級<br>(第一冊) | 6-4 浮力<br>實驗 6-2 浮力                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>●指定性討論浮力，不涉及計算。</li> <li>●物體在液體中受到浮力，故重量減輕。</li> <li>●浮力與物體沒入液體中的體積成比例。</li> <li>●浮力與物體密度成比例。</li> <li>●物體在空氣中也受到浮力。</li> <li>●介紹應用浮力的實例。</li> </ul>                             |
| 二年級<br>(第一冊) | 6-6 壓力<br>活動 6-2 水壓力<br>活動 6-3 小小馬德堡半球 | <ul style="list-style-type: none"> <li>●壓力的定義公式為 <math>P = F/A</math>。</li> <li>●物體在水中受有來自水的壓力。</li> <li>●水中的壓力隨著深度增加而變大。</li> <li>●液壓只做定性討論，不涉及計算。</li> <li>●介紹大氣壓力。</li> <li>●介紹常用的大氣壓力單位：cm-Hg, hPa, atm。</li> </ul> |