

國立臺灣師範大學科學教育研究所碩士班
碩士論文

指導教授：吳心楷 博士

高中學生在不同層級及不同表徵的物理解
題取向

Senior high school students' problem solving
approaches when solving problems at different levels
and with different representations

研究生：蘇毅中

中華民國 105 年 7 月

致謝

我能完成這本論文，真的要感謝好多人！首先要由衷感謝我的指導教授-吳心楷老師，在修課期間總是佩服才識淵博的心楷老師，所幸老師願意讓我加入老師的研究室，從決定題目、論文設計到撰寫論文，老師總是不厭其煩、有耐心地指導對論文研究不在行的我，平時還可以跟老師討論生活大小事，心楷老師不但是論文指導老師，也是我在研究所的生活導師。同時非常感謝黃福坤老師，從大學時期就十分欽佩黃老師在物理教學上的想法、成就，感謝黃老師願意與我討論論文的物理題目，也願意擔任口試委員提供許多良好的建議；以及台科大邱國力老師，感謝邱老師回國後當天擔任口試委員，對論文提出許多研究上的建議，使論文更完整。還有謝謝我在研究所期間，教導過我的科教所老師，於修課期間教導我如何進行研究。

衷心感謝我的朋友泰龍，願意幫我找高中的班級讓我進行正式施測，以及感謝信雄學長，願意提供班級進行施測，讓我的樣本數更多些，還有謝謝冠宏也願意提供班級讓我可進行預試。在我分析期間，總是義不容辭地提供我意見，讓我可以用更好的資料與心楷老師討論的大學長"吳百興學長"，從試題分析到結果討論，甚至口試，都有學長參與的痕跡，謝謝學長對論文撰寫提供許多意見，也感謝頌沛學長提供研究、教學上的經驗，謝謝哲宇學姊提供我分析方法的諮詢，還有瑩慈學姊、欣穎學姊在研究事務上的協助，也謝謝美雅姊隨時提醒研究所期間的相關行政作業。謝謝郁茹學姐提供我物理試題的想法，及協助編碼、評分，同時感謝柏源，在貢寮、瑞芳兩區我們教學上互相幫助，感謝你協助進行試卷的編碼與評分。感謝在研究所期間遇到的朋友、同學，一起修課、討論、打球...等生活大小事。謝謝緯宏、育廷在口試當天的幫忙。

謝謝欽賢國中教導處的夥伴，謝謝你們的體諒，並時常幫助我處理學校的事情。

在研究期間，一位讓我心存感謝又抱歉的女友-如珊，感謝的是在我撰寫論文時，有耐心地在旁陪伴我，分享研究的喜怒哀樂，並協助我送印論文的相關事務。抱歉的是，這期間無法隨時一起出去玩，讓你只能待在宅男的旁邊，卻不會有所怨言，謝謝你的付出。

最後我要感謝我的家人，謝謝爸爸、媽媽一路的栽培，感謝他們對我的所有贊助，無法三言兩語說完，總歸一句「謝謝你們」。最後的最後我要把這本論文獻給我在天上的外婆。

再次衷心感謝研究所期間所有幫助我的人。

中文摘要

本研究旨探討高中學生面對不同層級與不同表徵的物理試題其解題取向及表現。研究資料來源為自行設計的物理測驗試題和空間能力測驗。物理測驗試題為計算題，物理測驗試卷為兩種層級（高層級與低層級）與兩種表徵（文字與圖片）的試題交叉構成，共四種版本。依學生對試題的解題內容分為兩類取向：運動學取向與能量守恆取向。研究對象為大台北地區兩間學校的高二學生，共 6 個班級 150 人，試卷於班級內隨機分配，學生依空間能力測驗分為高、低空間能力兩組。

研究結果顯示，學生面對低層級的試題，傾向使用運動學取向解題，且使用運動學解題較易得到分數；而面對高層級的試題，學生傾向使用能量守恆取向解題，且以此取向較易得到分數。當學生面對不同表徵的試題，其解題取向皆以運動學取向解題為主。而不同空間能力的學生沒有特定的解題取向傾向。學生在物理解題時常見的錯誤可分為「與物理概念有關」、「與物理概念無關」兩大類，可細分為 9 項，其中「忽略系統完整受力」、「物理公式錯誤」此兩項在所有錯誤類型中佔所佔比例最高，此兩類屬於與物理概念有關的錯誤類型。

本研究顯示學生對於物體運動的相關物理試題，大多數情況顯示學生傾向使用運動學進行解題。然而學生不論使用何種解題取向，須協助學生物理系統的分析與物理量的使用。

關鍵詞：物理、解題、表徵、空間能力、迷思概念



Abstract

This study aims at investigating high school students' problem-solving approaches when they solved physics problems at different levels and with different representations. Research sources were a self-designed physics problem-solving test and spatial ability tests. The physics test included open-ended questions and was designed in four versions by two levels (high-level and low-level) and two representations (text and diagram). According to the students' answers to the questions, two problem-solving approaches were identified: kinematic and energy conservation. A total of 150 students from six physics classes of two senior high schools in the Taipei area participated in the study. The students were then divided into the high and low spatial ability groups by their scores of the spatial ability test.

The results showed that when solving the low-level questions students tended to use the kinematics approach and performed better than those who used the energy approach. On the other hand, when facing the high-level questions, students tended to take the energy approach which was more effective than the other approach. Additionally, problem representations did not affect students' problem-solving approach and for either one of the representations, a majority of students used the kinematic approach. The levels of spatial ability also did not influence students' problem-solving approaches. Finally, the common errors students made in physics problem-solving could be categorized into 9 types. Among them, two of the most frequent ones were "ignoring the forces of the system" and "using wrong physical equations" and associated with students' understandings of physics concepts.

This study suggests that Taiwanese high school students tend to take the kinematic approach when they face physics problems related to the movement of objects. However, no matter which approach is used by students, attention needs to be paid to how students analyze the forces of the system and whether they correctly use physics equations.

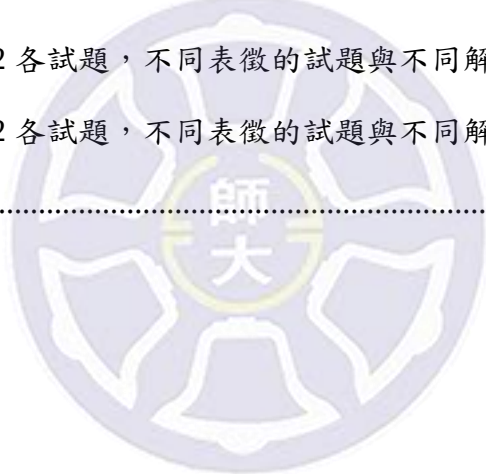
Keywords: physics, problem solving, representation, spatial ability, misconceptions



目錄

第壹章 緒論.....	1
第一節 研究背景與動機.....	1
第二節 研究目的與問題.....	3
第三節 研究重要性.....	3
第四節 名詞釋義.....	4
第貳章 文獻探討.....	5
第一節 問題的定義與問題解決.....	5
第二節 表徵與問題解決.....	10
第三節 空間能力與問題解決.....	14
第四節 物理解題錯誤的相關研究.....	17
第參章 研究方法.....	19
第一節 研究設計與流程.....	19
第二節 研究對象.....	20
第三節 物理解題測驗設計與呈現方式.....	20
第四節 資料蒐集.....	27
第五節 資料分析.....	32
第肆章 研究結果.....	35
第一節 不同層級及不同表徵的物理問題之解題分析.....	35
第二節 不同空間能力的學生之解題分析.....	49
第三節 常見的錯誤類型.....	60
第伍章 結論與討論.....	79
第一節 結論.....	79
第二節 討論.....	80
第三節 研究限制與建議.....	85

參考文獻.....	89
附錄.....	95
附錄一 空間能力之分佈情形.....	95
附錄二 物理測驗 A 題本.....	96
附錄三 物理測驗 B 題本.....	100
附錄四 物理測驗 C 題本.....	104
附錄五 物理測驗 D 題本.....	109
附錄六 學生在層級 1 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向之卡方檢定.....	116
附錄七 學生在層級 1 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向的表現之雙因子變異數分析.....	120
附錄八 學生在層級 2 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向之卡方檢定.....	125
附錄九 學生在層級 2 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向的表現之雙因子變異數分析.....	128



表次

表 2-1-1 引自 Teodorescu 等人 (2013) 所提出的問題層級與細項	7
表 2-1-2 各家學者對於問題解決的步驟	9
表 2-3-1 各家學者對空間能力的定義	14
表 3-3-1 層級 1 試題物理情境分析表	21
表 3-3-2 層級 2 試題物理情境分析表	21
表 3-3-3 試題層級與表徵之代號	22
表 3-3-4 A、B 題本之試題與其表徵代號及答題人數	23
表 3-3-5 C、D 題本之試題與其表徵及答題人數	23
表 3-4-1 物理測驗試題編碼表	28
表 3-4-2 物理測驗試題得分表	29
表 3-4-4 學生解題常見錯誤之編碼表	32
表 3-5-1 研究資料對應研究問題與其之統計方法	34
表 4-1-1 不同層級的物理試題與其解題取向使用次數之成對 t 檢定	36
表 4-1-2 不同層級的物理試題對學生的解題表現情形	36
表 4-1-3 不同層級的物理試題其解題取向平均得分之雙因子變異數分析	38
表 4-1-4 不同層級試題與不同解題取向與其解題表現之單純主要效果分析摘要	38
表 4-1-5 不同表徵試題與其解題取向使用次數之成對 t 檢定	40
表 4-1-6 層級 1 不同表徵試題其學生解題取向次數之成對 t 檢定	41
表 4-1-7 層級 1 不同表徵的題目中其解題取向的平均得分情形總表	41
表 4-1-8 層級 1 不同表徵的題目其解題取向的平均得分之雙因子變異數分析	42
表 4-1-9 層級 2 不同表徵試題其解題取向次數之成對 t 檢定	43
表 4-1-10 層級 2 不同表徵的題目其解題取向的平均得分情形總表	43
表 4-1-11 層級 2 不同表徵的題目其解題取向的平均得分之雙因子變異數分析	44
表 4-1-12 層級 1 不同表徵的各題目之解題取向的使用比例	45

表 4-1-13 層級 1 不同表徵的各題之解題取向的平均得分情形.....	46
表 4-1-14 層級 2 不同表徵的各題目之解題取向的使用比例.....	47
表 4-1-15 層級 2 不同表徵的各題之解題取向的平均得分情形.....	48
表 4-2-1 不同空間能力學生的解題取向次數之成對 t 檢定.....	49
表 4-2-2 不同空間能力學生在層級 1 試題其解題取向次數之成對 t 檢定.....	50
表 4-2-3 不同空間能力學生對層級 1 的試題其解題取向的得分情形.....	50
表 4-2-4 不同空間能力學生於層級 1 試題其解題得分之雙因子變異數分析.....	51
表 4-2-5 不同空間能力學生在層級 2 試題其解題取向次數之成對 t 檢定.....	52
表 4-2-6 不同空間能力學生對層級 2 的試題所表現之解題取向的得分情形.....	52
表 4-2-7 不同空間能力學生於層級 2 試題其解題得分之雙因子變異數分析.....	53
表 4-2-8 不同空間能力學生對層級 1 文字版的解題取向使用次數之成對 t 檢定.....	53
表 4-2-9 不同空間能力學生對層級 1 文字版試題解題平均得分情形.....	54
表 4-2-10 不同空間能力學生於層級 1 文字版試題其解題得分之雙因子變異數分析.....	54
表 4-2-11 不同空間能力學生對層級 1 圖片版的解題取向使用次數之成對 t 檢定.....	55
表 4-2-12 不同空間能力學生對層級 1 圖片版試題解題平均得分情形.....	55
表 4-2-13 不同空間能力學生於層級 1 圖片版試題的解題得分之雙因子變異數分析.....	56
表 4-2-14 不同空間能力學生對層級 2 文字版試題的解題取向使用次數之成對 t 檢定.....	56
表 4-2-15 不同空間能力學生面對層級 2 文字版試題解題平均得分情形.....	57
表 4-2-16 不同空間能力學生於層級 2 文字版試題的解題得分之雙因子變異數分析.....	57
表 4-2-17 不同空間能力學生對層級 2 圖片版試題的解題取向使用次數之成對 t 檢定.....	58
表 4-2-18 不同空間能力學生對層級 2 圖片版的試題解題平均得分情形.....	58
表 4-2-19 不同空間能力學生於層級 2 圖片版試題的解題得分之雙因子變異數分析.....	59
表 4-3-1 學生在層級 1 試題不同條件其錯誤比例.....	68
表 4-3-2 學生在層級 2 試題不同條件其錯誤比例.....	69

圖次

圖 2-2-1 表徵的範例	10
圖 2-2-2 特徵物與多重表徵間的關聯性	11
圖 3-3-1 層級 1 (a) 文字版 (b) 圖片版的運輸題	24
圖 3-3-2 層級 2 (a) 文字版 (b) 圖片版的溜滑梯試題	26
圖 3-3-3 層級 2 的題目提供兩種解題取向供學生選擇	27
圖 3-4-1 平面旋轉空間定位能力	30
圖 3-4-2 立體展平空間關係能力	31
圖 3-4-3 型版組合空間關係能力	31
圖 4-1-1 (a)以試題層級為橫軸(b)以解題取向為橫軸對解題表現之交互作用圖	39
圖 4-3-1 錯誤類型 1-1 未掌握題意之範例	60
圖 4-3-2 錯誤類型 1-2 數字計算錯誤之範例	61
圖 4-3-3 錯誤類型 2-1 忽略物體完整受力之範例	62
圖 4-3-4 錯誤類型 2-2 物理公式錯誤之範例	62
圖 4-3-5 錯誤類型 2-3 混淆物理單位之範例	63
圖 4-3-6 錯誤類型 2-4 只列出物理公式之範例	64
圖 4-3-7 錯誤類型 2-5 定義方向錯誤之範例	64
圖 4-3-8 錯誤類型 2-6 不了解答案的意義之範例	65
圖 4-3-9 錯誤類型 2-7 未完成計算過程之範例	66
圖 4-3-10 在不同層級時不同試題表徵中與物理概念無關之錯誤類型比例。	70
圖 4-3-11 在不同層級時不同空間能力學生發生與物理概念無關之錯誤類型比例	71
圖 4-3-12 在不同層級不同解題取向之學生發生與物理概念無關之錯誤類型比例	72
圖 4-3-13 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同試題表徵之錯誤類型比例。	74
圖 4-3-14 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同空間能力學生之錯誤類型比例。	76
圖 4-3-15 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同解題取向之錯誤類型比例	77

第壹章 緒論

本研究探討高中學生在不同問題類型與不同表徵的物理題目，所表現的問題解決取向，及空間能力與常見的錯誤類型。本章將分別說明研究背景與動機、研究目的與問題及名詞定義。

第一節 研究背景與動機

在科學教育領域中，關於「問題解決」主題已有許多研究，並說明解決問題的能力或技巧是學習者最需要學習的(張俊彥、翁玉華，2000；黃茂在、陳文典，2004；Chiappetta & Russell, 1982；Mayer, 1985)。且問題解決能力不但可以做為科學學習研究；為了增加學生的問題解決能力，亦可幫助教師提供新的教學方式(陳章正、江新合，2007)。具備良好的問題解決能力的學習者，不只科學成就較高，其對於科學態度亦較正面 (Chiappetta & Russell, 1982)，故對於學生的問題解決能力是教師或科學教育都值得作探討。

物理教育多在培養學生推理思維的能力，而學生的推理思維能力須由學校課程協助，藉由假設、推理、實驗、論證等方式，而物理解題成效可明顯與物理學習概念作密切的連結(陳章正、蘇明俊、江新合，2008)。在教學現場的物理課程中，教師除了講解物理概念外，主要教導學生如何解決物理問題 (Problem solving)，例如分析物體的受力情況、分析物體的運動會如何改變...等，而教師教導解決物理問題佔了教學的大多數時間。而評量的方式也大多數是讓學生解題，學生若能順利解決問題，則視為學生有良好的物理知識及學習成就。Redish (2008)於教學現場探討許多物理教育方面的研究，而大多數的主題多圍繞在物理解題，顯示在物理學習過程中，物理解題佔了十分重要的角色。然而許多研究指出學生對物理解題有許多的困難 (Fisher, 1999；Meriam & Kraige, 2003)。

在近期在物理領域方面，Teodorescu 等人 (2013) 對於物理問題進行分類，依照認知層次將物理問題大致分為六大類，雖然 Teodorescu 等人主要說明其中四大類，但也提

供後續研究者研究的空間。問題是人們在完成一件事的過程中，必然會產生的，當一個人面對問題時，或許只有一種解決問題的方法，但一群人面對同一問題時，也許會有不同的解決方式，主要在於每個人對於問題的見解並不同。同理在物理測驗中，一道物理問題，可以由不同的觀點切入，將會影響不同解決問題的策略，例如：一個物體下滑的問題，有的人選則用運動學的方式；有的人則選擇用能量的方式，運動學屬於向量的觀點；而能量則屬於純量的觀點，雖用不同策略、方式，但目的都是在合理的條件下順利解決問題。結合上述，如何在學生的認知程度下，設計出適合學生的物理測驗問題，以協助學生提升物理學習成效，或者學生在不同層級中的試題將呈現出什麼解題狀況，皆值得研究者探討。

在傳統教學上，已使用了許多表徵（representation）來表達同一種概念，但不同表徵間，涵蓋不同的訊息(Ainsworth, 2006)。學生對於待解問題的理解程度亦可能會影響學生解決問題的策略，學生對於問題的不同表徵，會有不同解題策略 (Cock, 2012)。也有許多研究指出適當的問題表徵會幫助學生解決問題。因解題能力包含許多能力，過去許多研究指出高空間能力的學生，其科學學習成就也較高(曾永祥、許瑛珩，2006；Load, 1985)，學生的空間能力將如何影響學生的解題，亦是本研究欲探討之因素。對於學生的物理解題，試題層級、試題表徵與學生的空間能力皆是本研究探討物理解題之相關因素。

研究者欲對學生的解題策略限制為解題取向，並分類學生常見的解題錯誤以提供未來教學的建議。

第二節 研究目的與問題

根據上述所言，物理試題的層級、試題的表徵、空間能力與學生的問題解決有關，故本研究的目的：學生在不同物理試題層級及不同試題表徵下，學生所表現的問題解決取向，並藉由學生的解題過程發現學生常見的解題錯誤。依據研究目的提出以下問題

1. 針對不同層級及不同表徵的物理試題，學生的問題解決取向及表現情形為何？
2. 針對不同空間能力的學生的問題解決取向及表現情形為何？
3. 學生在物理解題時常見的錯誤為何？

第三節 研究重要性

在科學學習中，學生的解題表現常常被做為評論學習成就的方式，問題解決相關的研究相當多 (Chiappetta & Russell, 1982 ; Mayer, 2010)。在現今高中物理中，解題更是許多物理教育學者討論的重點，過去研究中，有的研究探討教學法對解題的助益 (陳章正、蘇明俊、江新合，2008)，有的探討學生的解題歷程 (蔡興國、陳錦彰、張惠博，2010 ; Cock, 2012)，本研究亦欲探討學生的解題歷程。有別於過去的研究，因 Teodorescu 等人 (2013) 對於物理試題提出新的分類方式，本研究欲利用此分層級方式應用至學生的解題，探討分層級後的物理試題是否會影響學生的解題取向。

針對本研究所探討的解題取向，將試題範圍集中在物體的運動。物體的運動在高中物理課程中，屬於高中二年級的範圍，在此範圍試題中，學生可以使用運動學或者能量守恆來進行解題。本研究盼能以試題不同的特性與學生的空間能力作為影響因素，就不同條件分別探討學生的解題取向。

在科學教育領域中，迷思概念始終是個熱門的議題 (Finegold & Gorsky, 1991 ; Halloun & Hestenes, 1985 ; Sandanand & Kess, 1990)，但對於學生解題錯誤的分析較少。因此，本研究旨藉由學生的解題歷程探討物理解題，並分類學生常見的錯誤類型，以提供教學現場之物理教師教學相關建議。

第四節 名詞釋義

一、 問題層級

本研究係依據 Teodorescu 等人(2013)將物理題目分為六大層級，分別為提取、理解、分析、應用、後設認知、自我系統等六層級。而本文的物理問題選用其中兩個層級，層級 1「提取」(Retrieval)中的「執行」(Executing)與層級 2「理解」(Comprehension)中的「整合」(Integrating)。「執行」是指學生被給予一個較為簡單的解題任務，而學生直接可套用公式解題，不涉及多個步驟；「整合」的題目情境較複雜，所需的認知程度較高，且學生在解題過程中，須了解物理知識結構，以透過多步驟解題，本研究亦藉由子題來提問測驗學生的物理知識結構。

二、 表徵

表徵 (representation) 代表傳遞某種特徵物的方式(Ainsworth, 2006)，以作為人們溝通、教育的管道，可分類為內在表徵及外在表徵，本研究旨探討試題表徵，亦是外在表徵，例如：文字、圖表、動畫...等，而本研究中所使用的表徵為文字(Text)及圖片(diagram)。

三、 問題解決

問題解決 (Problem solving) 是指「人們運用既有的知識、經驗、技能，藉各種思維及行動來處理問題，使情況能變遷到預期達到的狀態，此種心智活動的歷程」(黃茂在、陳文典，2004)。本研究依據 Cock (2012)研究，選擇試題範圍為物體的運動，而將解題取向限制為兩類，分別為「運動學」與「能量守恆」此兩類。

四、 空間能力

空間能力是指能辨別二度、三度空間的物體，並將外在訊息內化，產生心智立體影像，並在心智模型中操作此立體影像，空間能力涉及面向極廣。本研究特指能辨別二維、三維空間物體方向的能力，以協助學生了解題目中有關物體運動的相關訊息。本研究使用康鳳梅等人(2006)以高工學生為對象所發展的空間能力測驗。

第貳章 文獻探討

本研究欲探討不同「層級」與不同「表徵」的物理問題對學生的解題取向的影響，及不同「空間能力」的學生於不同物理問題所表現出的解題取向，以及學生常見的錯誤。本章將分別針對問題的定義與問題解決、表徵與問題解決、空間能力與問題解決與物理解題常見錯誤此四部份作相關文獻探討。

第一節 問題的定義與問題解決

一、問題的定義

人的一生中，時常聽到「問題」(Problem)這一詞，而對於問題的定義，卻有許多不同的觀點。鄭麗玉(1993)說明當個體所想要的目標狀態與目前所處的狀態之間出現差距時，問題即產生，而問題則是兩狀態間的差距。學者陳李綱(1998)說明「問題」係指個體對於目標的存在，但不知如何達到目標的心理困境。Robertson(2001)亦說明一個問題的存在於初始狀態與目標狀態之間，而問題的特點是「個體有目標(想像狀態 imagined state)且個體無法輕易地到達此目標」。以心理學的角度，問題是一種心理狀態，由始態(目前所處的狀態)到末態(預期到達的狀態)的過程(黃茂在、陳文典，2004)。以上學者對於問題的定義傾向於個體由初始狀態到目標狀態間的差距，或存在於兩狀態間的困境。根據上述學者的觀點，因為每個人的初始狀態不同，存在的初狀態到目標的差距亦不同。因此相同目標狀態的問題對於高背景知識與低背景知識的人可能造成差距不同的困境，對於低知識背景的人是個困難問題，但對於高知識背景的人卻是簡單的問題。例如： $3x + 6 = 15$ 分別給予國小五年級的學生與國中一年級的學生，對於國中一年級的學生可能是輕而易舉，但對於國小五年級的學生則是高難度的任務。

許多學者對問題的定義不盡相同(陳李綱，1998；鄭麗玉，1993；Robertson, 2001)。首先陳李綱(1998)與Mayer(2010)皆認為問題是由問題空間(problem space)所提出的。陳李綱(1998)認為問題空間可根據訊息處理論可將問題分為三個狀態，分別是初

始狀態、目標狀態及所有可能達成目標的途徑；而 Mayer (2010)說明初始狀態的表徵、目標狀態的表徵及所有中間狀態組合出問題空間。

鄭麗玉 (1993) 與 Mayer (2010)都將問題分為兩種類型，分別是定義良好的問題 (well-defined problems) 及定義不良的問題 (ill-defined problems)。此兩類型的定義涉及問題組成要素的明確程度。鄭麗玉 (1993) 認為一個定義良好的問題須具備五項條件分別是：初始狀態、目標、物件、操作規則和限制；Mayer (2010)則認為問題是由三個狀態組成：給定的狀態 (現在狀態的描述)、目標狀態 (需求狀態的描述) 及一套操作過程 (轉移到另一狀態的規則)。例如：一道數學問題， $3x + 6 = 15$ ，找出未知數 x 。若依據 Mayer 所述，此一數學問題為定義良好的問題。因為其給定狀態是 $3x + 6 = 15$ ，目標狀態是找出未知數 x ，操作過程則是求出未知數的過程，此問題的三個狀態皆明確。反之，定義不良的問題則是三個狀態不明確。綜合以上所言，定義良好的問題必須要提供完整的訊息，而解決問題的人必須符合問題所需的初始狀態。本研究旨在探討學生的解題取向，解題取向以二分法分為運動學與能量守恆。固本研究之試題是應皆屬於定義良好的問題，使學生可以有明確的作答條件。

二、 問題的層級

中學的測驗主要是測驗學生的學習成效，學習成效會有不同的認知層次，所以測驗題應用以評量學習者的認知層次，方能檢測學習者的認知層次，題目的設計就顯得相當重要。在物理科方面，Teodorescu 等人 (2013) 依據認知層次提出新的分類方法，探討物理問題的四大層級；Level 1：提取 (Retrieval)、Level 2：理解 (Comprehension)、Level 3：分析 (Analysis)、Level 4：知識利用 (Knowledge utilization)，並提出每一層級的細項，各層級內容如表 2-1-1。

表 2-1-1 引自 Teodorescu 等人（2013）所提出的問題層級與細項

層級	內容	說明
提取 (Retrieval)	回憶與辨識 (Recalling and recognizing)	對於物理問題可辨識與產生與問題相關的基本物理知識。
	執行 (Executing)	給予學生任務，學生可套用公式回答物理問題。
理解 (Comprehension)	整合 (Integrating)	可辨別物理知識結構，與從複雜情境中找出關鍵要點。
	符號化 (Symbolizing)	建構待解決問題的一個圖像。
分析 (Analysis)	比對 (Matching)	在問題中辨別與連結相關的物理概念。
	分類 (Classifying)	可以辨別問題中物理知識的上下階級關係。
	分析錯誤 (Analyzing errors)	對物理問題做出一個合理的估計或假設。
	歸納 (Generalizing)	從既有物理知識中產生新的原理。
	指名 (Specifying)	從既有物理知識中產生新的應用。
知識利用 (Knowledge utilization)	決策 (Decision making)	從兩個以上的解題方式做抉擇。
	克服障礙 (Overcoming obstacles)	在題目提供的障礙或限制條件中達成解題目標。
	實驗 (Experimenting)	可用實驗驗證假說。
	調查 (Investigating)	使用建構良好的論證作為證據。

在本研究中使用兩層級中各一個細項，提取（Retrieval）中的執行（Executing）以及理解（Comprehension）中的整合（Integrating）。根據 Teodorescu 等人（2013）的研究，提取是屬於第一層級，也就是最初的層級，此層級的問題主要目的在於讓學生能了解物理的相關名詞或是原理。其中本文主要探討的細項為「執行」，在此細項中物理問題為給予學生較為簡單的任務，學生可套用公式以完成解題。這類問題通常讓學生只要能依照教師教導的方式，用類似的方法解題，即可完成此任務。本研究亦探討另一層級 2：理解中的細項「整合」，此細項的物理問題同時含有多個物理情境，學生必須統整這些情境，並了解物理概念的知識結構，方能正確讀題與解決，此層級試題需要較高的認知程度，困難度亦較高。此外，本研究將層級 2 試題設計為藉由一系列子題的提問方式，在學生解題前，詢問其預期的解題方式，例如：運動學、能量守恆、動量守恆...等。藉由提問的問題設計，可測驗學生的認知層次、物理知識結構、解題取向，並協助區別層級 1 試題的解題情況。

三、 問題解決的定義與過程

若問題的定義是，存在於個體的初始狀態與目標狀態之間的差距，那麼問題解決就是想辦法消除兩狀態間的差距，但此差距是無法輕易縮短的（鄭麗玉，1993）。Mayer (1985)亦說明解題是個體將初始狀態到目標狀態時的心智歷程，若過程中沒有善用資源，其解題過程將感到困難，因此問題解決是屬於高層次的認知活動。依黃茂在與陳文典（2004）說明「問題解決」是「人們運用既有的知識、經驗、技能，藉各種思維及行動來處理問題，使情況能變遷到預期達到的狀態，此種心智活動的歷程」。張俊彥及翁玉華（2000）將問題解決定義為個體運用自己的先備知識或技能，將問題提供的訊息重組，以滿足新情境的需要，發展出個體新方法，並得到答案。Mayer (2010)將問題解決分為兩個主要面向，分別是問題表徵（problem representation）及解決方案（problem solution），問題表徵包含建立問題的心智表徵及表徵的認知過程，解決方案則包含制定和執行計畫及規劃的認知過程。上述學者對於問題解決的定義不盡相同，故若要說明問題解決的步

驟亦眾說紛紜。問題解決步驟以 Mayer (2010)所提出的解決方案為主要分析問題解決的步驟面向，而整理相關學者對於問題解決的步驟，如表 2-1-2。本研究將發現問題、認識問題歸類為 Mayer 所說的問題表徵，而執行計畫、嘗試解決、推廣應用...等執行層面，則是 Mayer 所說的解決方案。

表 2-1-2 各家學者對於問題解決的步驟

年分	學者	解題步驟	
2010	Mayer	問題表徵	解決方案
1926	Wallas	準備期	醞釀期、豁朗期、驗證期
1956	Polya	了解問題	擬訂計畫、執行計畫、驗算與回顧
1977	Parnes	發現事實、 發現問題	提出想法、尋求解答、尋求接受
1987	Greenfield	界定問題、 分析問題	蒐集資料、提出解決、方案嘗試、解決檢討
1998	陳李綢	形成問題表徵	有效知識的收集、評估解決的成效
2004	黃茂在與 陳文典	發現問題、 確定問題	形成策略、執行實現、整合成果、推廣應用
2006	洪文東	問題發現	解決問題、評鑑結果

本研究旨在探討學生面對不同物理問題類型時，其解題取向與解題表現。綜合以上學者之觀點，並配合本研究之目的，本研究參考 Polya (1956)的觀點，將學生的解題步驟分為四步：了解問題、擬訂計畫、執行計畫及驗算與回顧。而本研究欲探討的解題取向歸類為解題步驟中的「擬訂計畫」，而學生的解題表現則歸類為解題步驟中的「執行計畫」。Schoenfeld (1985)認為學生在解題時遇到的困難，不是因為錯誤的解題方法，而是方法的選擇及準確的執行解題方法是否正確。可知解題過程中，方法的選擇占了重大的原因，而本研究將方法的選擇視為解題取向。

第二節 表徵與問題解決

一、 表徵的定義

表徵(representation)在相關的科學教育研究中一直扮演著舉足輕重的角色 (Danish & Enyedy, 2007)。表徵就英文的解釋是表現、呈現的意思，而在教育領域中，表徵指的是資訊呈現的方式，換句話說將某種訊息或概念，即特徵物，可用不同呈現的方式或特徵來表現、傳遞特徵物的訊息和內容。而不同呈現的方式就是不同的表徵，例如文字、圖片、動畫...等。因為表徵有許多種類和特徵，沒有固定的分類，按照不同的分類法，而有不同的類型。以圖 2-2-1 為例，說明特徵物「筆」，上方利用文字形式呈現，下方則是利用圖片形式呈現，當學習者學習「什麼是筆？」，可發現利用圖片呈現的方式較可以完整的呈現筆的外型，讓學生具體了解筆的外觀，但若只看圖片時，能讓學習者認識筆的外型，無法更認識筆的其他功能或訊息；而文字的呈現雖無法讓學生具體知道筆的外型，但可利用文字描述筆的定義，以增加筆的相關功能訊息。

文字表徵： 筆：用來書寫的工具

圖片表徵：



圖 2-2-1 表徵的範例

學習者在學習的過程中，可利用不同的表徵進行學習，但每一種表徵不能完全表達特徵物，意思是某一種表徵僅能表現特徵物的某一部分。當相同概念以不同表徵方式傳遞時，不同表徵的呈現方式，會讓人在腦海中描繪出不同的訊息。例如：小說與電影，表徵同一故事（特徵物），小說是以文字所組成的，而電影則是富含圖片與聲效，同一個故事，前者（文字）的方式會讓人有許多想像空間，而後者雖也有小說所要表達的概念，效果較為華麗，但想像空間相對前者就窄小許多。以小說與電影即是表徵的範例，小說屬於文字的表徵，電影屬於圖片與聲音的表徵。以上的例子中雖然特徵物（故事）

透過不同表徵（小說與電影）所傳達的情節內容是相同的，但由於呈現方面不同，對讀者而言會在腦中呈現出不同的面貌。但不同表徵之間也會有相互重疊的部分（左台益、蔡志仁，2001），其關係圖如圖 2-2-2 所示。

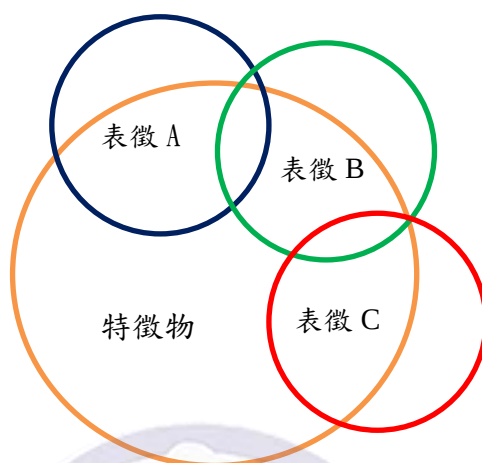


圖 2-2-2 特徵物與多重表徵間的關聯性

依照表徵的外顯程度可將表徵分為兩類，內在表徵（internal representation）與外在表徵（external representation）（Hiebert & Carpenter, 1992；Zhang, 1994）。內在表徵存在於人們心智模型中，無法直接察覺，也不易觀察，例如：想法、概念、觀念、推理；而外在表徵則較內在表徵具體，可直接察覺，例如文字、圖片，並主要作為人與人之間的溝通橋樑（Zhang, 1994）。

本研究主要探討不同外在表徵的物理試題對學生解題取向的影響。依據 Wu 與 Puntambekar (2012) 將外在表徵的內容作分為四大類，可以分類為「語言—文本」、「符號—數學」、「視覺—圖像」、「行動—操作」。在目前中等學校的物理測驗題目中，使用紙本的型式進行測驗是學生較為常見的，而文字與圖片為常見的問題表徵（Mayer, 2003），故本研究使用文字與圖片表徵呈現物理試題。除了以上兩種表徵，科學教育研究中，還有其他表徵，例如：動畫、方程式、表、模型...等許多外在表徵的形式。

過去研究指出有些學習者雖然可使用單一表徵達到有效學習，但使用多重表徵可幫助更多學生達到有效學習（Ainsworth, 1999；Ainsworth & VanLabeke, 2006；Cox & Brna, 2007）。多重表徵意指利用不同表徵形式表達、建構同一特徵物的相關訊息內容（左台

益、蔡志仁，2001)。學生若使用多重表徵學習時，可綜合不同表徵呈現出特徵物不同的訊息，加以組合出更符合特徵物的訊息，以協助更了解特徵物(左台益、蔡志仁，2001；Ainsworth, 1998)。Ainsworth (1999)認為多重表徵主要有三項功能，互補、限制、建構，此三項功能可幫助學習者學習。Mayer (2003)指出學生在學習的過程中，常以文字及圖片者兩種型式進行。而學習者並非只依賴其中一種來學習，圖片及文字的搭配使用，可促進學生更深度地學習，該研究定義的深度學習是指問題解決間的轉換，而文字與圖片搭配使用即表徵之間的轉換，此研究中也說明表徵之間的使用不可任意交換(Mayer, 2003)。同樣蔡興國、陳錦章及張惠博 (2010)說明多重表徵可彌補單一表徵的不足，也說明需同時考慮多重表徵呈現的先後順序，方可協助學生學習。

二、 表徵與問題解決的關聯

根據表徵的定義與使用方式，表徵可大致用於教學、測驗試題及解決問題，而分為教學表徵、試題表徵與解題表徵。在教學表徵方面，學生面對問題時通常不會只用單一的技巧或策略來解決問題，學生會藉由許多的方式幫助他們解決問題 (Ainsworth, 1998)。Ainsworth (1999)指出學生在學習的階段，多重表徵的使用可協助學生使用多樣化的解題策略。Reif (1995)認為物理這門學科，是需要高度智力學習的學科，很多學生皆曾在物理學習上遭遇到困難。Hestenes (1995)指出學習者學習物理，可利用多重表徵來增加學習效果較佳，因每種表徵有不同功能，可達互補之效，顯示多重表徵表徵可協助學習。Dufresne、Gerace 與 Leonard (1997)於物理問題解決研究中，建議教學者以多重表徵協助學生物理的學習及解題。在解題表徵方面，Van Heuvelen 與 Zou (2001)指出物理解題的過程需經歷四種表徵步驟，首先是文字表徵，其次為圖形表徵，進而物理表徵，最後為數學表徵。而許多研究指出當物理學習者對於「物理表徵」投入較多心力時，解題表現會有顯著成長 (Heller, Keith, & Anderson, 1992；Van Heuvelen & Zou, 2001)。而 Redish (2006)研究顯示數學表徵對物理解題的重要地位，說明文字與數學表徵對於學生的物理解題過程具有重要影響。

試題表徵方面，教育現場中教師經常以測驗卷做為檢測學習成效的工具，而測驗卷上的問題，通常以文字與圖片間的搭配來呈現 (Mayer, 2003)。在科學領域，許多文獻顯示適當的試題表徵可幫助學生解決問題 (Alibali, Phillips, & Fischer, 2009 ; Cock, 2012 ; Meltzer, 2005)。在數學教育研究方面，Alibali 等人 (2009)提出適當的問題表徵會引發學生使用正確的解題策略。

以物理領域為例，許多研究指出學生在解題時，表徵可實質幫助學生解題 (Cock, 2012 ; Kohl & Finkelstin, 2006 ; Walsh, 2007)。Kohl 和 Finkelstin (2006)利用 600 人的大型物理課程做問題解決研究，發現學生的解題策略會因為表徵（文字、示意圖、圖解、數學）呈現多樣化，且特殊的是解題策略愈多的學生，其解題表現反而較差。Meltzer (2005)也在大學普通物理課研究此四種表徵與解題的關係，發現女生對於示意圖表徵的問題，其錯誤比例較其他表徵高。Cock (2012)針對問題表徵與問題解決做了三次研究，題目描述的情境是相同的，不同表徵型式的问题會讓學生呈現不同的問題解決策略，第一次研究顯示，對於文字表徵大多數學生使用運動學解題，而學生使用運動學解圖片表徵試題，沒有學生作答正確。第二次及第三次研究顯示，學生於圖片表徵問題，使用能量守恆比例有增加的趨勢，而學生在文字表徵的題目較常傾向使用能量的方式解題；而圖片表徵的學生較容易傾向運動學的方式解題。雖然策略不同，其得分也有差異，接受文字表徵題目的學生其得分高於接受圖片表徵題目的學生。然而 Walsh (2007)研究發現 22 位學生面對物體掉落的物理問題縱使含有文字及圖片表徵表徵，只有 1 位會使用能量守恆進行解題，似乎暗示學生使用能量守恆是少見的。同樣在物體的運動範圍下，Singh (2008)指出若學生能使用能量守恆解題，其實是較聰明的選擇。綜合上述，說明學生的物理解題策略與表現與試題表徵兩者間有密切關係。本研究將解題策略限制為解題取向，且所涉及到的表徵係指試題表徵，而非教學表徵或解題表徵，欲藉由不同試題表徵，探討學生的解題取向。雖然過去研究有許多關於試題表徵與物理解題兩者間的研究，但並未進一步考量試題層級可能帶來的影響。而本研究欲了解試題的不同層級試題下，試題表徵是否也會影響試題表徵與解題取向間的關係，而解題取向在本研究中以運動學取向與能量取向為主要解題方式。

第三節 空間能力與問題解決

一、空間能力的定義

空間能力 (Spatial ability) 起源於心理學，而 Gardner (1983) 指出人類的多元智能論 (theory of multiple intelligence) 中，分別為：語文、邏輯、空間、肢體、音樂、人際、內省等七項，空間能力是人類的基本智能，亦會影響人們學習成效。然而現今許多學者將空間能力與科學學習做連結，同時顯示高空間能力的學生，其科學學習成就也較高 (曾永祥、許瑛珩，2006；Load, 1985)。以上顯示學生的空間能力對於科學學習具有重要影響。學者們對於空間能力的定義眾多紛紜，本文整理些許學者對空間能力的定義，如表 2-3-1。

綜合以上學者研究可知，雖對空間能力定義不一，但大多數學者均說明空間能力是一種辨別物體空間方位，進而以不同方式操作 (例如：旋轉、組合等) 物體的心智歷程。而本文將空間能力特指能辨別二維、三維空間物體方向的能力，用以協助學生了解題目中有關物體運動方向等相關訊息。

表 2-3-1 各家學者對空間能力的定義

學者	空間能力定義
Mcgee (1979)	將視覺刺激於腦中呈現的能力，不會受方位影響而干擾，並於腦中操作、旋轉、反轉，以理解視覺接受的刺激
Lohman (1979)	平面二維空間與立體三維空間兩者彼此移動、轉換或旋轉的過程
Gardner (1983)	在腦中描繪事物 (picturing things in the head) 並操作它的能力，例如：旋轉、摺疊等操作，並有能力辨別不同角度觀看物體
Linn 及 Petersen (1985)	一種關於空間感知、概念及推理能力，並分為空間知覺、空間視覺化、心理旋轉三種

(續下頁)

表 2-3-1(續前頁)

學者	空間能力定義
Load (1985)	人們於思考時，對所見的物體將產生心智模型，而操作此心智模型之能力為空間能力
Tartre (1990)	人們於視覺所得特徵物的表徵後，在心裡重新調整空間方位，以獲得與特徵物表徵一致的能力
Schofield 及 Kirby (1994)	一種關於空間關係的能力，能在心智模型中進行三度空間的旋轉，包含三維空間轉換為二維空間的能力
Gorgorio (1998)	於內心進行空間方位運算的能力，以解決遭遇到的空間方位問題

二、空間能力的構成因素

因學者們定義的空間能力不盡相同，學者對各自定義的空間能力其構成因素亦不相同，許多學者利用因素分析法探討空間能力的影響因素，發現空間能力可能由兩種以上因素構成 (Load, 1985；Mcgee, 1979)，關於空間能力的因素，以下介紹較為大眾廣泛引用的因素。

Mcgee (1979)將空間能力分為兩個主要因素—空間方位 (Spatial orientation ability) 與空間視覺化 (Spatial visualization)，而這種定義受到學者的支持 (左台益、梁勇能，民 90)。

(1) 空間方位：將外在刺激內化成心智圖像，並可清楚了解其相關方位，不會因改變方位而混淆

(2) 空間視覺化：在心智模型中操控、旋轉及二維與三維之間的轉換。

Load (1985)則提出空間能力有三個因素—空間方位 (Spatial orientation)、空間視覺化 (Spatial visualization) 及封閉的靈活性 (Flexibility of closure)

(1) 空間方位：察覺空間關係與圖像守恆

(2) 空間視覺化：於操作二維或三維心智圖像

(3) 封閉的靈活性：從環境中建立心智圖像並忽略額外的訊息。

Lohman (1988)亦提出影響空間能力的三種因素—空間關係 (Spatial relations)、空間方位 (Spatial orientation)、空間視覺化 (Spatial visualization)，並說明空間能力因素的測驗方式。

(1) 空間關係：平面二維與立體三維兩空間彼此的移動過程，可藉由心像旋轉 (mental rotation) 測得。

(2) 空間方位：能從不同角度觀看物體的能力，例如平面二維空間與立體三維空間兩者間的轉動，可藉由鏡像測驗測得。

(3) 空間視覺化：接收視覺刺激後，於心智模型中建立心像，並能操作此心像，以進行平面二維與立體三維兩者間的旋轉，可藉由摺紙測驗 (Paper Folding) 或方塊設計 (Block Design) 測得。

上述學者針對空間能力所提出的影響因素數量不一，但可發現空間能力因素中，有兩項重複的因素分別為：空間方位、空間視覺化。但學者們對重複的因素其定義並不相同，例如 Load 提出的空間視覺化涵蓋範圍較 Lohman 提出的空間視覺化範圍大，後續也有許多學者提出空間能力的影響因素，仍不能脫離這兩項重要因素 (康鳳梅等人，2006)。本文較贊同 McGee (1979)所提出的影響因素，空間能力的空間方位係指於腦海中形成心智圖像，空間視覺化則是於心智模型中操作此心智圖像。

三、空間能力與問題解決的關聯

Gardner (1983)說明空間能力為人們多元智力的其中一種智力，而許多研究顯示高空間能力的學生其科學學習的成就較高 (左台益、梁勇能，2001；曾永祥、許瑛珖，2006；Adeyemo, 1993；Load, 1985；Tambychik, 2010)。尤其數學教育領域做了許多空間能力與問題解決兩者間的研究 (吳文如，2004；Blatto-Vallee et al., 2007；Casey et al., 2008；Gardner, 2003；Tambychik, 2010)。其中吳文如 (2004) 說明國中生的空間能力與數學

學習成就呈現中度相關；在化學領域，Carter、LaRussa 及 Bonder (1987) 研究顯示，學生的空間能力與其化學學習成就兩者間相關係數在 0.1~0.37 之間。以上所說的學習成就皆屬測驗後的結果，而問題解決屬於高度的認知活動，故若要檢驗學生的學習成就，檢驗學生的問題解決能力是較為直接且明顯的。當許多研究者將空間能力與科學學習做連結時，自然有部分的研究聚焦於空間能力與問題解決的關聯 (Adeyemo, 1993；Boonen, 2013；Tambychik, 2010)。Casey et al. (2008) 更指出學生的空間能力在執行數字運算與推理過程扮演相當重要的角色。然而 Blatto-Vallee 等人 (2007) 同樣在數學教育研究領域，卻發現學生的空間能力沒辦法完全解釋學生的問題解決，幾乎只有 20% 的解釋量。雖然空間能力無法完整解釋問題解決的關鍵要素，但問題解決牽涉到許多能力，空間能力仍是考慮的關鍵因素。

在物理解題方面，Pallrad 及 Seeber (1984) 研究指出，可以成功解決物理問題的學生，學生的空間能力也較高。Kozhevnikov、Hegarty 與 Mayer (2002a) 說明學生對於不同的運動學的物理問題，需要不同的空間能力。Kozhevnikov、Motes 及 Hegarty (2007) 針對運動學解題研究顯示低空間能力的學生容易傾向只理解座標圖的意思，較無法轉換物理架構，且較無法成功結合運動學中的兩種向量。雖然上述說明高空間能力的學生，其解題成就較高，但無法得知學生的解題取向。在物理範圍中，運動學概念為向量導向；能量守恆概念為純量導向。本文認為 Kozhevnikov 等人似乎暗示低空間能力學生使用運動學進行解題較為困難。故本研究欲探討學生的空間能力是否會影響學生的解題取向。

第四節 物理解題錯誤的相關研究

學生在學習科學時，若受到固有不合理的想法、經驗之影響，以阻礙學習，此想法被認為迷思概念 (misconception)。在物理學習中，「力」是最基本的概念，過去有許多研究探討物理的迷思概念 (Finegold & Gorsky, 1991；Halloun & Hestenes, 1985；Sandanand & Kess, 1990)。而物理被認為一門困難的學科，大多數學生在學習物理時遭遇到較多的困難 (Reif, 1995)。然而 Halloun 與 Hestenes (1985) 指出學生在關於力學的學

習成效低落，並非是未學習基本的物理概念（例如：運動學、能量守恆），而是迷思概念深深地影響學生，顯示迷思概念在物理課程的深遠影響，亦影響著學生的解題。

對學生物理解題的困難，許多學者皆有探討相關的因素，例如：學生的迷思概念 (Halloun & Hestenes, 1985)、無法明確說明物理概念 (Lawson & McDermott, 1987)、不能將抽象的圖像表徵連結具體的事物 (van Heuvelen, 1991)、缺乏辨別物理概念的能力 (McDermott, Rosenquist, & van Zee, 1987)等許多不同因素。國內學者結合上述物理解題的困難，將物理解題步驟可區分為五類：理解題意、提取概念、選擇概念、反思、應用等五類（陳章正、江新合，2007）。大多歸於學生缺乏有系統的引導，且解題方法不正確。

以上學生對於物理解題的困難，仍沒有一定的主因。Fisher(1999)研究指出，學生對於物理解題時，需要以列式進行解題，然而因學生不了解系統的受力狀況，進而無法建立正確的方程式，形成解題困難。同樣Meriam與Kraige(2003)亦指出學生無法正確列出方程式，主因為學生對物理系統的分析不正確，並非學生沒有相關的物理知識。本研究欲藉由學生的解題過程，分類學生的解題錯誤情況。

第參章 研究方法

本研究採取的研究方法是量化研究為主，並以質性資料做輔助說明，本章將分別說明研究流程、研究對象、物理問題設計與呈現方式、資料蒐集與資料分析等五節。

第一節 研究設計與流程

本研究起因於研究者於物理學習背景下，經常進行物理解題，且在教授物理時，學生常見的物理解題之困難，故想探討關於學生物理解題之研究問題。藉由文獻探討，發現試題表徵與學生的空間能力與學生的物理學習、解題表現有顯著相關。而學者 Teodorescu 等人（2013）提出物理問題之分類方法，引發研究者將此三種因素做為本研究探討物理解題之相關因素。

本研究主要探討學生在不同層級與不同表徵的物理題目下，學生會有什麼樣的解題取向，並同時探討學生的空間能力做為解題取向因素。物理測驗試題係參考 Teodorescu 等人（2013）之研究，物理測驗試題預設為層級 1「提取」中的「執行」與層級 2「理解」中的「整合」。依試題層級之定義選擇、改寫物理試題。並將試題設計為兩種表徵，共設計出四種版本之題本 A、B、C、D。商請一位大學物理背景之專家給予意見以修改題目，建立專家效度。並以台北市某高中於 103 學年寒假後進行預試，預試學生為高中二年級學生，共 94 人。後與一位中學物理背景教師討論以完成編碼表，並建立試題之信度。空間能力測驗來源為康鳳梅教授等人（2006）針對高工學生設計之空間能力測驗，此空間能力測驗具備良好的信度與效度。

正式施測時，受試班級共六個班，首先測驗所有受試學生的空間能力，並將受試學生的空間能力分為二組，分別為高高空間能力、低空間能力組。第二，將受試學生依照班級作原班測試。將四種題本於各班級隨機發給，每班皆有四種題本的物理解題測驗，且每班之題本數皆相當，進行隨機分組，讓每種題本之受試者以進行不同組別的測驗。

研究蒐集之資料主要為物理測驗試題與空間能力測驗，依據研究問題將研究分析內容分為三項：學生物理解題取向與得分，以及學生的空間能力等資料。研究者將上述資

料依據編碼表與評分標準進行評分，進行適當的統計分析、統整，形成研究結果，進而提出可能的研究、教學建議。

第二節 研究對象

本研究分組大致分為四組，研究人數藉 Bausell 與 Li (2002)對 2×2 分組之效果量 (effect size) 估算為一組 31 人，共需約 125 人。而本研究以台北市、新北市各一間高中二年級學生 (PR 值分別為 91 和 86) 做為研究對象，台北市高中共 2 班，新北市高中共 4 班，總共樣本數為 6 班，共 210 人，並且於 103 學年度下學期第二次段考後進行測驗。分組方式是以四種題本 A、B、C、D 隨機發放，分配為四個組別做測試，每班皆有四種題本於班級內受測。但由於有班級於第八節輔導課進行施測，導致無法全班施測；且施測過程少數人因研究資料不全，導致資料遺漏、無法使用，故最後有效樣本數為 150 人。

第三節 物理解題測驗設計與呈現方式

一、問題設計

本研究進行的測驗題目有研究者設計之物理試題，以及測驗學生空間能力之測驗。其中研究者自行設計之物理試題主要依據 Teodorescu 等人 (2013) 之研究對試題層級之定義。而試題來源主要有三類，第一，蒐集相關文獻中的範例題目；第二，在高中測驗題庫中找出與文獻相似題型的問題，或是改變高中題庫的提問以符合不同的類型；第三，參考大學物理或是坊間有關物理的書籍，同以改變提問方式符合不同層級，由以上三種方式設計出兩層級的題目。本研究之物理測驗試題為計算題，測驗試題皆為開放式的作答方式，有別於引導式測驗方式，引導式係逐題引導學生作答；學生在開放式計算題使用解題的方式可較自由發揮。層級 1 與層級 2 試題涉及的物理情境並無太大的差異，如表 3-3-1、3-3-2 所示。層級 1 與層級 2 試題中涉及到的物理情境例如：施力加速、下滑、做功、摩擦力...等。然而層級 2 試題係將物理情境以較複雜的形式來描述，所需認知程

度較高，因此會有一前置問題提供給學生作答，以了解學生的物理知識結構。經研究者篩選、改問等方式，本研究之物理測驗試題中，層級 1 試題 8 大題（10 小題），層級 2 試題為 6 大題（8 小題）共十四大題（18 小題）。這 14 題當中，特別在層級 1「運輸」與「大樓」這兩題是屬於情境類似的試題，這兩題的類似在於題目情境與問法近似。同以提供位移與末速，問當位移一半時，物體速度為何？但「運輸」屬於下滑類型；「大樓」則為上拋類型。

表 3-3-1 層級 1 試題物理情境分析表

物理試題	涉及的物理情境或關鍵字
工人(2 小題)	做功、摩擦力
書(2 小題)	斜坡、施力加速
電梯	自由落體、施力加速
運輸	斜坡
球	上拋
熊	自由落體、摩擦力
箱子	施力加速、摩擦力
大樓	上拋

表 3-3-2 層級 2 試題物理情境分析表

物理試題	涉及的物理情境或關鍵字
阿特伍德機	自由落體、上拋
滑水道(兩小題)	斜坡、自由落體、摩擦力
斜坡	斜坡、摩擦力
溜滑梯(兩小題)	斜坡、外力加速、做功、自由滑落
火箭	上拋、外力加速、做功
滑雪	斜坡、外力加速、做功、自由滑落

二、 題本設計

本研究選定數道物理試題後，依據 Wu 與 Puntambekar (2012)表徵研究中，使用文字表徵與圖片表徵作為本研究之試題表徵。按照先前的題目類型，本研究選擇層級 1「提取」中的「執行」(Executing)及層級 2「理解」中的「整合」(Integrating)作為分析的主要類型，繼而在兩種類型的題目再各分為兩種表徵，分別是文字及圖片，例如：文字版的「執行」，代號設為 TE (Text & Executing)、圖片版的「整合」，代號設為 DI (Diagram & Integrating)。如表 3-3-3 所示，故每道物理測驗試題皆有兩種表徵之版本。

考量測驗試題的變化性，將同一層級中的不同表徵題目交叉使用。將 TE、DE 以及 TI、DI 兩兩交叉使用，在不同測驗卷上有不同的表徵，不會讓整張測驗卷皆為同一種表徵。並將圖片版題目置於文字版題目後，共四種版本的題目，其命名為 A、B、C、D 題本。因考量施測時間與題數分配，將 A、B 中的題目皆為層級 1「執行」類型的題目，共 8 大題；C 及 D 皆為層級 2「整合」類型的試題，共 6 大題。例如 A 題本的題目表徵與 B 題本的試題表徵為 TE 與 DE 混和。以「工人」試題為例，此題在 A 題本上為文字的版本，在 B 題本上則為圖片的版本；同理，若「電梯」試題在 A 題本為圖片版，則「電梯」試題在 B 題本為文字版。因此 A 題本有 4 大題文字版試題與 4 大題圖片版試題，B 題本亦有 4 大題文字版題目與 4 大題圖片版題目，題目分佈與答題人數如表 3-3-4。同理 C 題本及 D 題本為 TI 與 DI 混和，C 題本及 D 題本文字版題目與圖片版題目各 3 大題，題目分佈與答題人數如表 3-3-5。

表 3-3-3 試題層級與表徵之代號

題目	執行(層級 1)	整合(層級 2)
文字	TE	TI
圖片	DE	DI

表 3-3-4 A、B 題本之試題與其表徵代號及答題人數

題目	A	B
工人(2 小題)	TE	DE
書(2 小題)	TE	DE
電梯	TE	DE
運輸	TE	DE
球	DE	TE
熊	DE	TE
箱子	DE	TE
大樓	DE	TE
受測人數	43	40

表 3-3-5 C、D 題本之試題與其表徵及答題人數

題目	C	D
阿特伍德機	TI	DI
滑水道(兩小題)	TI	DI
斜坡	TI	DI
溜滑梯(兩小題)	DI	TI
火箭	DI	TI
滑雪	DI	TI
受測人數	33	34

本研究依據 Teodorescu 等人 (2013) 的定義選用層級 1「提取」中的「執行」與層級 2「理解」中的「整合」，將本研究的題目大多數設計為計算題。首先對於「執行」此物理問題，係指給予學生一個需要解決的任務，期望學生可以套用公式以完成解題。例

如：圖 3-3-1，給予學生一個單純、明瞭的任務，讓學生可以運用所學的物理知識或公式來解題。雖然設計 A、B 題本的題目皆含有兩種表徵（文字、圖片），且理論上應將文字表徵與圖片表徵完全分開。但若想使用圖片表徵來完整描述試卷中的題目訊息有些許的困難，使得圖片表徵的題目中含有些許文字表徵。例如：初始條件多以文字描述表示、問法也以文字描述來呈現。以「運輸」（引自 Cock, 2012）為例，文字版的題目(圖 3-3-1 (a))，題目的情境描述皆是文字，題目敘述較長，相對於圖片版的題目(圖 3-3-1 (b))，題目的情境雖以圖片表示，但初始條件及問法皆以文字為主，只是題目的敘述稍微精簡些。本研究所述的試題表徵係將題目情境用不同表徵來呈現，此即為本研究中定義的文字版與圖片版試題，但兩版本表徵所呈現出的資訊量是相當的。

(a) 文字版

運輸公司位於第 9 層樓，為了運輸產品的方便性，從公司 9 樓地板（8 樓頂）做一個光滑滑梯直通地面，此滑梯面與水平面夾 θ 角，當產品從 9 樓地板自由滑下後，著地速率為 V ，不計任何阻力。若當產品的速率為 $V/2$ 時，產品大約位於哪一層？請解釋

- (A) 2 樓
- (B) 4 樓
- (C) 6 樓
- (D) 其他地方

(b) 圖片版

運輸公司位於 9 層樓高，為了運輸產品的方便性，從 9 樓地板（8 樓頂）做一個光滑滑梯直通地面，當產品從公司滑下後，不計摩擦力，著地速率為 V 。若當產品的速率為 $V/2$ 時，產品的大約位置為何？請解釋

- (A) 位於 A 點
- (B) 位於 B 點
- (C) 位於 C 點
- (D) 位於其他地方

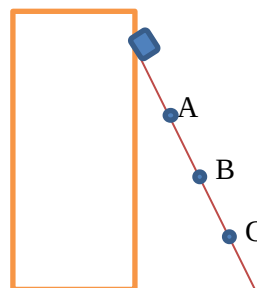


圖 3-3-1 層級 1 (a) 文字版 (b) 圖片版的運輸題

本研究探討之另一層級試題「整合」的問題認知程度較高，情境較為複雜，且能測驗學生的物理知識結構。故題目藉由一些方式確認作答學生的物理知識結構。層級 2 中的物理問題與層級 1 的不同在於學生要知道自己的解題取向，無法照本宣科的解題，面對問題須先了解自己將使用何種方式解題，所以此層級中的問題，將會有一前置問題，此前置問題會問學生將如何解題？請學生先寫出解題方式。第一種方式如圖 3-3-2，在問題中有個前置問題：請寫下您的解題策略；或者第二種方式如圖 3-3-3，藉由出題者提供兩種解題方式，依學生自己的選擇，繼續完成解題。因本研究假設解題取向為「運動學」與「能量守恆」此兩種，故提供的解題方式亦為運動學與能量守恆兩種選擇。前置問題的種類有上述 2 種方式，而在層級 2 的題目 6 題中，有 4 題為前者，讓學生直接寫出學生自己的解題取向；2 題為後者，題目提供 2 種解題取向，讓學生選擇後，繼續解題。但此種子題的提問方式並非為引導式提問，而是為確認學生的物理知識結構而提問。

在本研究中對於層級 2 試題的 C、D 題本，其試題表徵與 A、B 的試題表徵排列方式相同，在 C 題本與 D 題本中同樣各自有文字版與圖片版，且兩表徵呈現的資訊量也是相等的。以本研究試卷中「溜滑梯」為例，此題在 C 題本中的版本為文字版，如圖 3-3-2 (a)，在 D 題本則為圖片版如圖 3-3-2 (b)，試題表徵之差異在於題目描述的情境為何種表徵，文字版藉由文字將題目情境盡可能描述出來，圖片版只用一張圖片表現出題目情境，然而對於題目中的初始條件、或題目的提問，仍以文字作為主要表徵，在兩種版本試題中仍無法將表徵完全獨立。

(a) 文字版

2. 有一溜滑梯，高度為 h ，溜滑梯長度為 L （斜面長 L ），溜滑梯平面與水平夾角為 θ ，溜滑梯為光滑平面，地平面具有摩擦力，當物體質量為 m ，由頂端自由釋放，經過斜面後，在地平面的滑行，當地平面滑行距離為 D 時，物體停止。

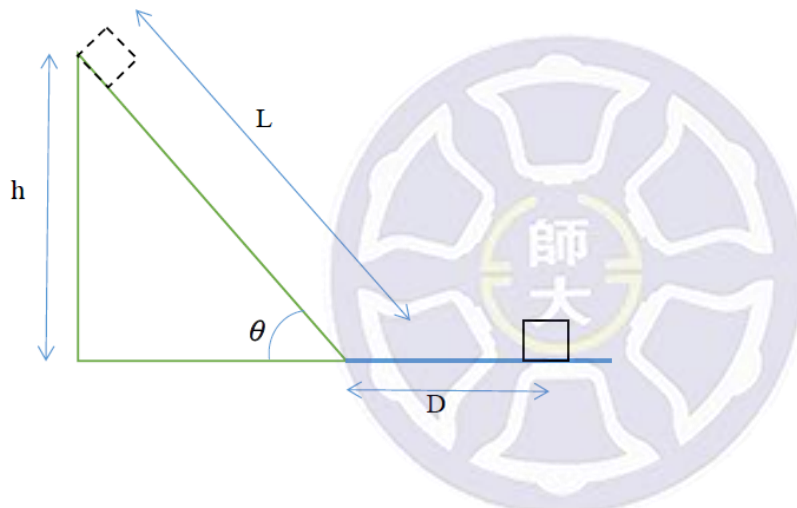
A. 當斜面長 L 不變並減少高度 h 時，地平面滑行距離 D' 會大於、小於、等於 D ？為什麼？

(1) 請寫下您的解題策略

(2) 請依照您選擇的策略作解題

(b) 圖片版

4. 有一溜滑梯，溜滑梯為光滑平面，如圖所示，地平面具有摩擦力，當物體從頂點釋放後，在水平面滑行距離 D 時停止。



A. 當斜面長 L 不變並減少高度 h 時，地平面滑行距離 D' 會大於、小於、等於 D ？為什麼？

(1) 請寫下您的解題策略

(2) 請依照您選擇的策略作解題

圖 3-3-2 層級 2 (a) 文字版 (b) 圖片版的溜滑梯試題

5. 一個火箭質量 100 kg，火箭以初速 50 m/s 從地面垂直上升，火箭的引擎提供 2000N 的力，讓火箭加速上升，當上升高度為 150m 時，引擎停止加速（重力加速度 10 m/s^2 ，不計任何阻力）。

若華華及芳芳 2 人想知道火箭可上升的最大高度，而他們有各自的方法

請選擇其中一人的方式繼續解題

華華：1. 利用牛頓運動定律找出火箭的加速度，再利用運動公式找出火箭停止加速的高度

2. 再藉由…，找出上升最大高度

芳芳：1. 引擎可視為外力，外力做功可改變火箭的力學能，藉此找出火箭停止加速的高度

2. 再藉由…，找出上升最大高度

(a)請你選擇其中一人的方式繼續解題

(b)依據你選擇的方式完成解題

圖 3-3-3 層級 2 的題目提供兩種解題取向供學生選擇

第四節 資料蒐集

本研究主要蒐集的資料主要為「物理測驗解題」、「空間能力測驗」。此節將分別說明本研究蒐集的資料之編碼內容。

一、物理測驗試題之編碼與評分方式

研究者將蒐集的學生試卷進行分析，依據本研究旨在探討學生的兩種解題取向之差異。首先研究者須歸類學生的解題取向，原則是依據學生的作答分類兩種解題取向(運動學、能量守恆)。第二，將學生的解題表現做分數計算，藉由分數判斷學生解題的完整性。以上為物理測驗試題量化資料的主要來源。

在高中物理範圍內，物體的運動其解題方式大致分為兩種，一是運動學，另一則是能量守恆。故本研究將蒐集之試卷進行評分判斷，運動學取向與能量守恆取向的判斷標準係依物理測驗試題編碼表。將運動學概念編碼為「N」，能量守恆概念則編碼為「E」，若學生空白無作答時，標示為「99」，如表 3-4-2 所示。在此階段，評分者主要判斷學生解題之主要方向，需檢視學生作答之過程，由起始解題到結束解題是否一致，若學生混合解題取向，則需由初始概念作為解題取向，例如：學生一開始列出牛頓第二運動定律 ($F = ma$)，但後續使用能量守恆以完成解題，評分判斷則是以運動學做為解題取向。

本研究尚有一研究問題為探討學生的不同解題取向下其得分之情形。故第二階段，評分者需檢視學生解題之完整性，如表 3-4-3 所示。解題完整性之得分編碼表，分為四種得分：物理概念正確無錯誤且完整解題，評為最高分「3 分」；「2 分」則是物理概念正確，但因數字計算出現錯誤，而計算錯誤；當學生只將記憶中的公式列出或不正確使用題目資訊而無法解題時，則評為「1 分」；亂寫則是「0 分」，同樣空白則評為「99」。

本測驗工具在正式施測前，以台北市立某高中進行一次預試以修改試題，正式施測後有效樣本數為 150 份，共四種 A、B、C、D 題本。評分標準係由本研究與物理系背景之中學教師，共同檢視學生作答情形，及共同討論分類編碼表與解題得分表。取題本總數之四分之一進行共同編碼及評分，每種題本 20 本，共 80 本題本。其 Kappa 一致性係數介於 0.81 至 0.92 之間，顯示兩評分者間達高度一致性，經討論、確認編碼表及解題得分表之使用內容，由研究者進行後續題本之編碼與評分。

表 3-4-1 物理測驗試題編碼表

編碼	解題概念	說明	舉例
N	運動學	以運動學概念解題。	等速度運動三定律：
		1. 解題過程出現「運動三定律」	$v = v_0 + at$
		及「牛頓第二運動定律」	$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$
		2. 解題過程看不出唯一的概念。 解題先以運動學解題，後以能量解題	$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$ 牛頓第二運動定律： $F = ma$
E	能量	以能量概念解題。	功： $W = \vec{F} \cdot \vec{S}$
		1. 解題過程出現「功」、「動能」	$(= F \times S \cos\theta)$
		與「位能」	動能： $K = \frac{1}{2}mv^2$
		2. 解題過程看不出唯一的概念。 解題先以能量解題，後以運動學解題	位能： $U = mgh$

0	無	空白，或看不出解題方式
---	---	-------------

若學生寫出 $v = \sqrt{2gh}$ ，視前面的過程給予分類；若沒有過程，將視為分類於運動學，請編碼「N」

表 3-4-2 物理測驗試題得分表

分數	說明
3	解題過程清楚明瞭，且沒有任何計算錯誤
2	解題過程清楚明瞭，計算過程僅出現數字計算錯誤
1	(1) 無法寫清楚解題過程，僅列出公式 (2) 列出公式，但無法有效利用題目中的數字資訊，導致計算錯誤
0	(1) 無法寫清楚解題過程 (2) 亂寫
99	空白

二、空間能力測驗

空間能力測驗則是選用康鳳梅等人（2006）所設計的空間能力測驗試題，此測驗試題康鳳梅等人以高職生為對象將空間能力分為十二面向。而在物理領域中，學者亦有將空間能力與物理問題解決做相關研究（Kozhevnikov, Hegarty, & Mayer, 2002a；Kozhevnikov, 2007），Kozhevnikov (2007)研究中測驗學生的空間能力以摺紙測驗（Paper Folding Test）與板型測驗（Form Board Test）為主。本研究參考 Kozhevnikov (2007)研究中所測驗的空間能力，對應康鳳梅等人（2006）設計的空間能力測驗，選擇相似的測驗內容。因考慮施測時間，故從十二項測驗中的選擇其中三項測驗，分別是：平面旋轉空間定位能力、立體展平空間關係能力、型版組合空間關係能力做為本研究空間能力測驗的項目。此空間能力測驗中，平面旋轉空間定位能力 13 題，範例如圖 3-4-1；立體展平空間關係能力 15 題，範例如圖 3-4-2；型版組合空間關係能力 10 題，範例如圖 3-4-3，共 38 題。

依照圖 3-4-1，題號旁的圖型為此題的主圖型，學生必須於腦中判斷下列選項中，何者為主圖型旋轉後的圖型，或者選項中，何者與主圖型一致，平面旋轉空間定位能力為測驗學生對於平面圖形的旋轉；圖 3-4-2，立體展平空間關係能力之測驗題，主圖型為一立體圖型，學生需判斷選項中，何者為主圖型展開後的圖型；圖 3-4-3，型版組合空間關係能力中，學生須在腦中自行將主圖型中的板塊組合，組合出與選項一致的圖型。

空間能力測驗題數總共 38 題，每題 1 分。測驗後將所有學生的空間能力測驗分數整理，比較康鳳梅等人（2006）設計的空間能力測驗之常模發現，本研究受試學生的空間能力分數偏高，整體分布呈現負偏態（可參考附錄一）。若依常模做分組（標準約 20 分），低空間能力組學生人數將會過少，故本研究以本次受試學生的空間能力測驗為母群體，依照測驗分數高低將學生分為兩組，「高空間能力組」、「低空間能力組」。經分析後發現 32 分為 50 百分位數的分數，故訂定測驗分數高於或等於 32 分為高空間能力組；低於 32 分者為低空間能力組。本研究對空間能力分類標準與常模不同，本研究的低空間能力組並非常模中的低空間能力組，而是本次受試學生於測驗後分數較低的學生，而測驗分數 31、32 的學生可能是本次實驗的誤差範圍。

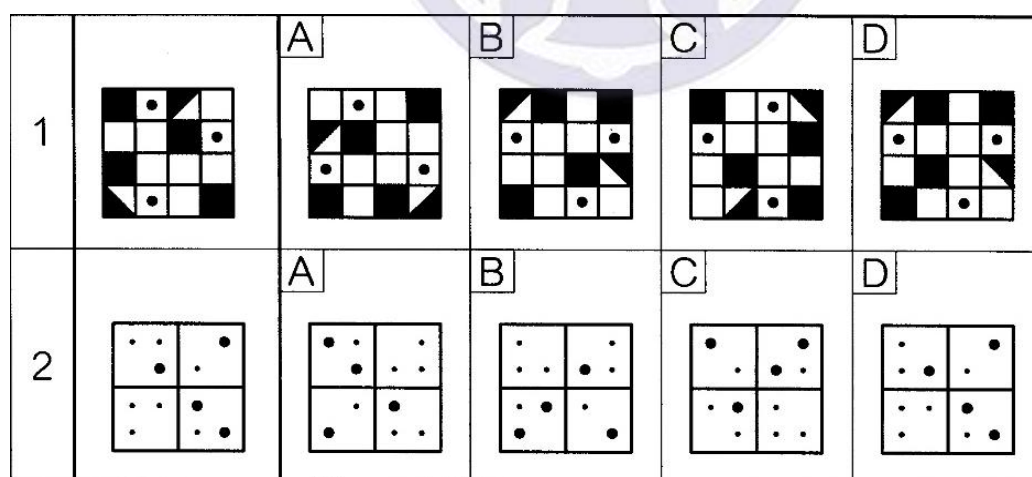


圖 3-4-1 平面旋轉空間定位能力

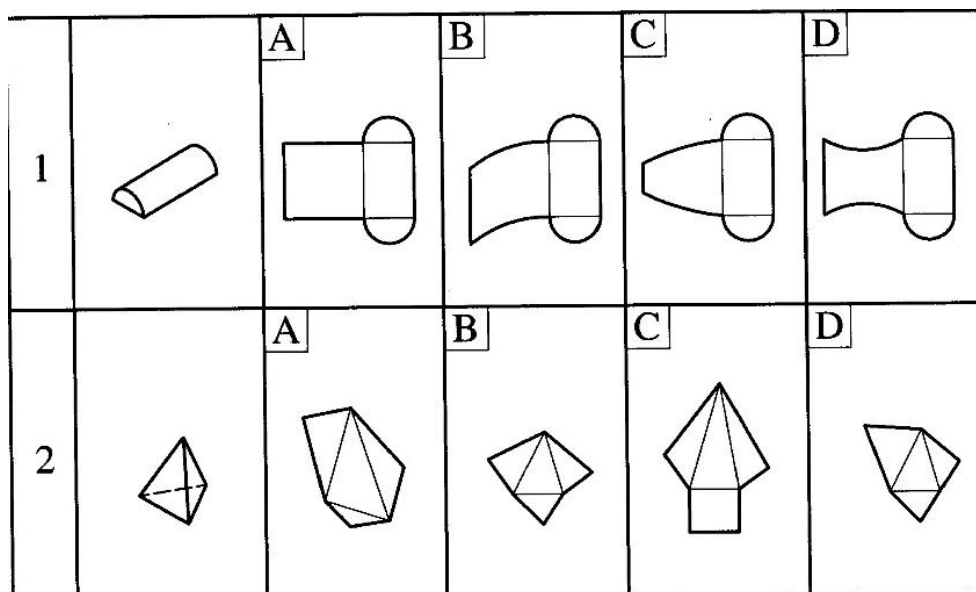


圖 3-4-2 立體展平空間關係能力

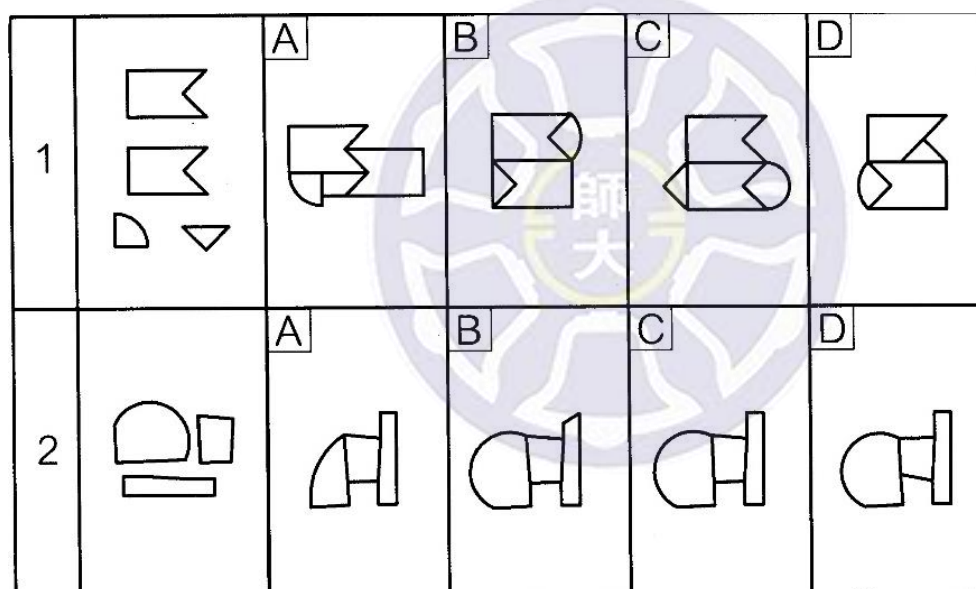


圖 3-4-3 型版組合空間關係能力

三、 學生常見之解題錯誤類型編碼

本研究之物理測驗大多為計算題，除探討不同試題層級與試題表徵對學生之解題取向與表現之影響，與學生的空間能力是否影響解題取向及表現，本研究根據學生的作答情形，探討學生常見的錯誤。研究者檢視所有之物理測驗試題，將學生常見的錯誤分為數項，與另一位評分者共同討論其錯誤項目，以並以物理解題之嚴重錯誤之程度完成關於學生解題常見錯誤之編碼表（表 4-4-4）。

表 3-4-4 學生解題常見錯誤之編碼表

類型	編碼	說明
物理概念無關	1-1	未掌握題意
	1-2	數字計算錯誤
物理概念有關	2-1	忽略系統完整受力
	2-2	物理公式錯誤
	2-3	混淆物理單位
	2-4	只列出物理公式
	2-5	定義方向錯誤
	2-6	不了解答案的意義
	2-7	未完成計算過程

第五節 資料分析

本研究研究期間蒐集的三筆資料：物理測驗卷中「解題取向」與「物理測驗得分」、「空間能力測驗」，依本研究之研究問題，研究資料內容可分為量化與質性兩種分析方式，並選擇適當的方式進行分析討論。

一、 量化資料

(一) 針對不同層級及不同表徵的物理試題，學生的問題解決取向及表現情形為何

對於研究問題一，需要使用「物理測驗試題」作為研究資料，分析試題層級與試題表徵對學生解題取向是否有影響，首先分為不同層級的試題，並將學生之作答資料進行編碼。一本題本有 6-8 大題(8-10 小題)，學生於同一題本上各題之解題取向不完全一致，故將所有學生的解題取向分開。例如：一位學生在 8 題當中有 6 題使用運動學取向，2 題使用能量守恆取向，故每位學生應有 2 筆解題取向資料，呈現兩種解題取向之次數，這兩筆資料是相依的。

將編碼後之資料以 SPSS 22.0 版進行成對樣本 t 檢定 (paired-samples t test) 之分析

方法，先比較同層級間之解題取向是否有差異；其次，將各層級之試題依照試題表徵分為文字版與圖片版試題，將資料編碼後，同樣因學生有兩相依之解題取向資料，故進行成對 t 檢定，用以比較試題表徵對解題取向之影響。但探討各題之解題情況時，因每位學生對於 1 道物理試題，僅會有一筆解題取向資料，故在此部分每筆資料皆是獨立的，採用卡方檢定 (chi-squared test) 探討各題之解題情況。

再者，研究問題一仍需探討解題表現，本研究將解題得分視為解題表現，將「物理測驗試題」依照上述分類方式（不同層級、不同表徵）進行得分表之評分。而學生利用不同解題取向，會有不同解題取向之得分，例如：若一位學生可完整作答整份試題，且在 10 題當中有 6 題使用運動學取向，平均得分為 1.20、4 題使用能量守恆取向，平均得分為 1.80，那麼每位學生有 2 筆得分之資料，而這兩筆資料是獨立的。學生若在整份物理測驗試題使用運動學取向，能量守恆取向使用次數為 0，在計算解題得分時，將能量守恆之分數將視為遺漏值，故只分析有分數之學生資料。分析時將解題得分作為依變項，試題層級或試題表徵與解題取向作為自變項，以 2（試題層級或試題表徵） $\times$ 2（解題取向）雙因子變異數分析 (two-way analysis of variance, 2-way ANOVA) 進行統計分析，並檢視試題層級與解題取向兩者、試題表徵與解題取向兩者間的交互作用之效果檢定，顯著性以 .05 為標準，若雙因子變異數分析的交互作用項達顯著，其顯著性小於 .05，表示兩者間存有交互作用，須再進行單純主要效果檢定；若交互作用項未達顯著，則須檢視主要效果項之檢定，此為探討不同試題層級或試題表徵是否影響不同解題取向之表現。為配合研究目的，探討學生的解題取向，並以解題表現做輔助說明，故本研究不進行三因子變異數分析 (three-way analysis of variance, 3-way ANOVA)，僅以雙因子變異數分析進行探討。

(二) 針對不同空間能力的學生的問題解決取向及表現情形為何

研究問題二需要學生的空間能力分組作為研究資料，將所有有效樣本之空間能力測驗分數藉由統計軟體之等級觀察值(32 分)，將學生分為高空間能力、低空間能力兩組。同以研究問題一之分類方式，將試題依照試題層級與試題表徵分組，並對學生之作答進行編碼，以成對 t 檢定探討在各層級試題，不同空間能力學生的解題取向是否有差異、

在各試題表徵，不同空間能力學生的解題取向是否有差異；以雙因子變異數分析探討在各層級試題，不同空間能力學生與不同解題取向之得分是否有差異、在各試題表徵，不同空間能力學生是否影響不同解題取向之得分，若其交互作用項達顯著差異，亦須進行單純主要效果檢定，否則須檢視主要效果項。

二、 質性資料

本研究中的物理測驗試題屬於計算題，可反映學生解題的歷程。故在本研究的研究問題中，除探討學生的解題取向外，探討學生常見的錯誤類型作為質性資料以輔助說明作為本研究之研究問題三。研究者將資料依據錯誤類型編碼表，將學生的作答情形進行編碼，以 SPSS 22.0 與 Excel 2013 進行分組統計。將編碼後的資料，依照試題表徵、學生的空間能力與解題取向等三種不同的條件進行分組討論。編碼後的資料統計次數後，因錯誤類型之次數差異相差甚大，進而將錯誤類型之次數轉換為百分比（以總錯誤題數作為母體），而以長條圖呈現此資料，說明學生常見的錯誤類型。

綜合上述之內容，以表 3-5-1 表示研究問題、資料來源與分析對應關係。

表 3-5-1 研究資料對應研究問題與其之統計方法

研究問題	分析內容	統計方法
1. 針對不同層級及不同表徵的物理試題，學生的問題解決取向及表現情形為何？	A. 物理測驗試題 (1) 學生解題取向編碼 (2) 學生解題測驗得分	(1) 成對 t 檢定 (2) 雙因子變異數分析 (3) 卡方檢定
2. 針對不同空間能力的學生的問題解決取向及表現情形為何？	A. 物理測驗試卷 (1) 學生解題取向編碼 (2) 學生解題測驗得分 B. 空間能力測驗	(1) 成對 t 檢定 (2) 雙因子變異數分析
3. 學生在物理解題時常見的錯誤為何？	A. 物理測驗試卷 (1) 學生解題錯誤編碼	(1) 長條圖（百分比次數表）

第肆章 研究結果

本研究欲探討不同層級、不同表徵的物理試題對學生的解題取向與得分是否有影響，及不同空間能力、先備知識的學生對上述物理試題的解題取向與得分之差異。

依據本研究目的與問題，本章將分為三節進行討論。將研究獲得的資料，將資料做量化分析。第一節針對本研究問題一，在不同層級及不同表徵的試題是否影響學生表現解題取向、得分；第二節探討學生之空間能力是否影響解題取向與得分；第三節探討學生常見的錯誤類型。前兩節皆屬於量化分析，第三節屬質性分析。

第一節 不同層級及不同表徵的物理問題之解題分析

本節針對不同層級與不同表徵的物理問題，學生所表現的解題取向情形，與得分情形，分為三部分。第一，探討學生對不同層級的物理試題之解題取向與得分情況，試題表徵於此部分不作為變因考慮；第二，探討不同表徵的物理試題對學生的解題取向與得分的影響，而試題的層級不作為此部分的變因考慮；最後，針對每一道題目，探討在同一層級的題目，不同表徵的試題是否影響學生的解題取向與得分。

一、不同層級的物理問題對解題取向之影響

本研究藉由研究者自行設計的物理解題測驗試題，討論學生的解題取向及得分。測驗工具之物理試題分為兩層級，且每一試題皆分為文字表徵及圖片表徵。而解題取向於本研究中分為「運動學」取向與「能量守恆」取向。於測驗工具中，將學生每題的解題取向做歸類並加總次數，而每位學生有兩筆相依的資料，因此用統計軟體進行成對樣本 t 檢定，分析學生在不同層級試題中，兩種解題取向的次數是否有差異，分析結果如表 4-1-1。在本研究計算次數時，發現部分學生的答案有些許空白的試題，研究旨在探討學生的解題取向差異，無法將學生的空白答案視為遺漏值，因此將空白的答案之使用次數歸為 0，故本研究所呈現的表中，運動學與能量守恆使用次數之和與題數不完全相符，後續的表中也是相似的做法。

表 4-1-1 顯示，學生在不同層級的物理試題，其運動學、能量守恆此兩種解題取向的次數之 p 值均小於 .05，達統計分析之顯著差異，說明在層級 1 或層級 2 試題，解題取向皆有差異。發現學生在層級 1 中，學生較常使用運動學概念進行解題，平均使用次

數達 5.99 次，而應用能量守恆概念則降低許多，僅 2.22 次；而學生面對層級 2 的物理試題使用運動學進行解題的次數僅 1.99 次，能量守恆則是提高至 3.00 次。在低層級試題，學生傾向使用運動學概念；在高層級試題，學生易使用能量守恆概念解題。本文依據以上內容推論，不同層級的試題會影響學生的解題取向。本研究另於表 4-1-1 求得成對樣本 t 檢定之效果量(Effect Size, ES)，進一步探討學生使用解題取向之差異大小。首先檢視層級 1 的解題取向之效果量，其顯著水準達 Cohen (1988) 中等效果($0.8 > ES > 0.5$)；層級 2 僅達低度效果($0.5 > ES > 0.2$)。

表 4-1-1 不同層級的物理試題與其解題取向使用次數之成對 t 檢定

層級(題數)	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
1(10)	83	5.99	3.17	2.22	3.00	5.99	< .001***	0.66
2(8)	67	1.99	1.76	3.00	2.34	-2.52	.014*	0.30

* $p < .05$ ，*** $p < .001$

依照先前評分標準進行試題評分，每題最高 3 分，最低 0 分，將學生每題的得分做平均整理後，可得表 4-1-2，表示每題的平均得分。表 4-1-2 顯示在層級 1 中，運動學取向的平均得分為 1.90，能量守恆取向則為 1.42，兩者相差不大；在層級 2 中，運動學取向的平均得分降為 0.93，能量守恆亦稍微降低，降低至 1.17，層級 1 與層級 2 的試題難易度不同，層級 2 的試題含有較多的物理概念，認知程度較高，其平均分數不適合以相似標準看待，但從表 4-1-2 中，可看出學生面對不同的試題，使用運動學進行解題，其結果極端，相差至 0.98 分，反之，使用能量守恆的平均得分，只稍微降低 0.25 分。

表 4-1-2 不同層級的物理試題對學生的解題表現情形

層級	運動學	能量守恆
1	1.90	1.42
2	0.93	1.17

雖然不同層級難易度不同，不適合做平均得分的統計分析，但本研究想利用平均分輔助說明，學生面對不同層級的物理試題，學生使用不同解題取向的情況，故將學生

在不同層級的物理試題與其使用不同解題取向時，其平均得分做 2×2 雙因子變異數分析，其分析結果整理後如表 4-1-3。大多數學生在解題時，並沒有單一使用特定的解題取向，若有兩種解題取向，解題得分將分開計算，因此學生將會有兩筆資料，但這兩筆資料是獨立的。而總樣本數為 150 人，在得分表現階段，資料應有 300 筆，而表 4-1-3 中，總數為 272，顯示兩者間的差值為遺漏值，共 28 筆。但總樣本數 150 人中，無法從表中得知這 28 人次只用單一的解題方式而進行解題，或空白。後續的表中也將呈現相似的內容。

結果顯示學生在不同層級的試題，其不同解題取向之解題表現的交互作用考驗 $F(1, 268) = 10.69$ ， $p < .05$ ，達統計上的顯著差異，因試題層級與解題取向間有交互作用，故需再進行單純主要效果分析，可分別得到表 4-1-4。表 4-1-4 表示，不同層級試題與不同解題取向與其解題表現之單純主要效果分析摘要，可見到運動學取向在兩層級間之主要效果達顯著差異 ($F(1, 143) = 58.36$ ， $p < .05$)，並說明在層級 1 試題其表現較佳；就能量守恆取向而言，不同試題層級的解題表現之主要效果未達顯著差異 ($F(1, 125) = 1.87$ ， $p > .05$)，當學生使用能量守恆解題時，其解題表現沒有明顯差異(可參考圖 4-1-1(a))。而不同解題取向在層級 1 試題之表現主要效果有顯著差異 ($F(1, 139) = 8.65$ ， $p < .05$)，進一步說明，運動學取向其表現較佳；就層級 2 試題而言，不同解題取向之表現主要效果沒有顯著差異 ($F(1, 129) = 2.72$ ， $p > .05$)。

並從表 4-1-3 顯示學生在不同層級的試題，其解題表現的主要效果考驗 $F(1, 268) = 30.96$ ， $p < .05$ ，表示學生在不同層級的試題，其解題取向的表現有顯著差異，層級 1 試題其解題表現較佳；但相同試題層級，不同解題取向的得分表現無顯著差異 $F(1, 268) = 1.10$ ， $p > .05$)。

小結以上所述，當學生面對不同層級的物理試題，學生使用的解題取向與解題表現是有差異的，欲說明彼此間的差異，如前述所言，學生面對層級 1 的物理試題，較常以運動學作為思考及解題方式，且較容易得到分數；面對層級 2 的物理試題，則多以能量守恆方式進行思考、解題，亦較容易得到分數。

表 4-1-3 不同層級的物理試題其解題取向下平均得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	<i>F</i>	顯著性
修正的模式	38.57	3	12.86	15.57	<.001***
截距	495.10	1	495.10	599.32	<.001***
試題層級	25.57	1	25.57	30.96	<.001***
解題取向	0.901	1	0.91	1.10	.295
試題層級*解題取向	8.83	1	8.83	10.69	.001**
誤差	221.40	268	0.83		
總數	784.59	272			

** $p < .01$, *** $p < .001$

表 4-1-4 不同層級試題與不同解題取向與其解題表現之單純主要效果分析摘要

自變項	群體	第 III 類平方和	df	平均值平方	<i>F</i>	顯著性
試題層級	運動學	34.31	1	34.31	58.36	<.001***
	能量守恆	2.05	1	2.05	1.87	.174
解題取向	層級 1	7.90	1	7.90	8.65	.004**
	層級 2	1.99	1	1.99	2.72	.10

** $p < .01$, *** $p < .001$

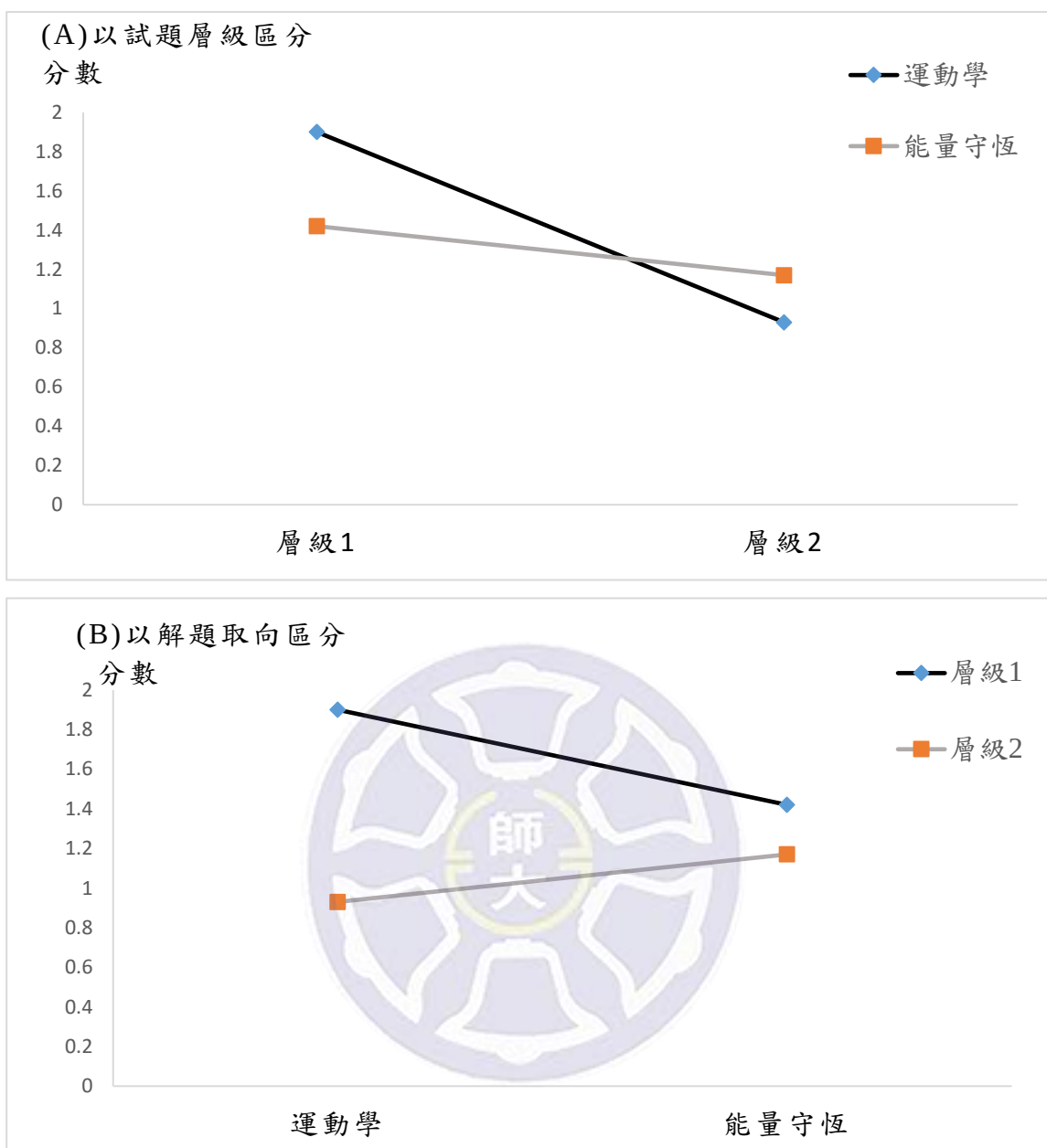


圖 4-1-1 (a)以試題層級為橫軸(b)以解題取向為橫軸對解題表現之交互作用圖

二、不同表徵的物理問題對解題取向之影響

本研究除探討不同層級的物理試題對解題取向之影響，更欲探討不同表徵的物理試題是否影響學生的解題取向，本研究將收集學生作答的物理測驗試題做整理，先以不分層級的方式，將所有學生面對的不同表徵的物理測驗試題與其所表現的解題取向歸類整理為表 4-1-5，共 150 位學生，14 題物理測驗試題，物理試題每題又可分為文字版與圖片版試題。此部分暫不考慮層級的差異，因層級間的難易度不同，故在此部分不討論其平均得分之情況。

(一) 全部試題之解題取向

此階段將整份試題僅依試題表徵做分類，而無關試題層級，故每一試題表徵題數約 4 或 5 題。根據表 4-1-5，可看出在不同表徵的物理試題，學生使用運動學與能量守恆解題次數之 p 值皆小於 .01，達顯著性差異，顯示兩種解題取向有明顯差異。當學生面對文字版的試題，使用運動學解題的次數為 2.31 次，使用能量守恆則為 1.29；而遇到對圖片版試題時，使用運動學的次數為 1.89 次，使用能量守恆則是 1.27 次。學生面對文字版或圖片版的物理試題，使用運動學解題的次數較多，能量守恆則較少。雖然兩種表徵達顯著差異，但皆以運動學解題為多數的解題方式，本研究認為此次的物理測驗試題之表徵無法影響學生的解題取向。

表中亦顯示不同表徵的物理試題，學生使用運動學與能量守恆解題次數之效果量。文字表徵與圖片表徵皆小於 0.5，屬於低度效果。

表 4-1-5 不同表徵試題與其解題取向使用次數之成對 t 檢定

表徵	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
文字	150	2.31	1.91	1.29	1.51	4.08	< .001***	0.33
圖片	150	1.89	1.76	1.27	1.44	2.75	.007**	0.22

** $p < .01$ ，*** $p < .001$

(二) 層級 1 試題之解題取向及表現

本研究欲探討不同層級、不同表徵的物理試題對學生的解題取向之影響。而前述的內容多顯示不同層級的物理試題與學生的解題取向的影響，及不同表徵的物理試題是否影響學生的解題取向。故研究者將不同層級的物理試題分開，以方便觀察在同一層級的試題下，試題表徵對解題取向之影響。將物理測驗試題的資料做整理後，可得到表 4-1-6，表示學生在層級 1 的試題中，學生的解題取向在不同表徵的試題下解題取向的使用次數之成對 t 檢定。從表 4-1-6 說明在層級 1 的物理試題中，不同試題表徵下，學生的解題取向之 p 值皆小於 .05，達統計上之顯著差異，顯示不同表徵的試題，其解題取向皆有明顯差異。

從表 4-1-6 可觀察出，在層級 1 的試題中，大多數學生使用運動學作為解題手段，學生使用能量守恆進行解題的次數並不高。在文字版的試題中，使用運動學的次數高達

3.28 次，使用能量守恆則為 1.05 次；圖片版的試題，使用運動學的次數亦達到 2.71 次，使用能量守恆為 1.17 次。可發現學生在層級 1 的兩種表徵試題，學生都傾向使用運動學進行解題，可說明學生面對層級 1 的物理試題，容易以運動學作為思考觀點，而無關試題表徵對解題取向的影響。表 4-1-6 顯示層級 1 不同表徵試題，學生使用解題取向之效果量。兩種表徵之效果量皆屬於中度效果。

表 4-1-6 層級 1 不同表徵試題其學生解題取向次數之成對 t 檢定

表徵 (5 題)	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
文字	83	3.28	1.95	1.05	1.65	6.12	< .001***	0.67
圖片	83	2.71	1.80	1.17	1.55	4.72	< .001***	0.52

*** $p < .001$

本研究之物理測驗試題除分類學生的解題取向，尚進行試卷評分以判別學生之解題表現，評分標準為每題最高 3 分，最低 0 分，層級 1 共 8 大題，滿分 30 分。將表 4-1-6 的資料做平均分數整理後，可得表 4-1-7，代表每題的平均得分。表 4-1-7 顯示，文字版的試題，使用運動學解題的學生，平均每題可得 1.90 分，使用能量守恆則是 1.50 分；圖片版的試題，學生使用運動學解題，平均每題可得 2.02 分，能量守恆則為 1.78 分。

表 4-1-7 層級 1 不同表徵的題目中其解題取向的平均得分情形總表

層級 1	運動學	能量守恆
文字	1.90	1.50
圖片	2.02	1.78

欲判別表徵與解題取向之關係，將資料蒐集後進行 2×2 雙因子變異數分析，可得表 4-1-8。因每位學生皆有對兩種表徵的試題作答，且有兩種解題取向之得分，故每位學生有四筆資料，此四筆資料亦皆獨立。層級 1 樣本數為 83 人，故應有 332 筆資料，而表 4-1-8 中的總數為 242，代表有 90 筆資料為遺漏值，意指部分學生面對特定表徵的 10 道題目，只使用特定的解題取向，而這些學生可能只有 1~2 筆資料，其餘因空白未得分的資料則視為遺漏值，因此本研究只探討有得分之學生，後續表中也是相同的意思。表

4-1-8 顯示，試題表徵與解題取向兩者間的交互作用考驗 $F(1,238) = 0.43$ ， $p > .05$ ，未達統計上之顯著差異，說明層級 1 的試題表徵、不同解題取向與其解題表現三者沒有顯著差異，意即試題表徵與解題取向及其表現沒有明顯影響；學生在不同表徵試題，其不同解題取向的表現之主要考驗 $F(1,238) = 2.28$ ，顯著性 $p > .05$ ，無顯著差異，表示學生在不同表徵試題無法影響解題表現；學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1, 238) = 5.92$ ， $p < .05$ 達顯著差異，表示學生在不同解題取向其解題表現有顯著差異，顯示在層級 1 試題不論文字或圖片表徵，學生若使用運動學概念解題，其平均表現較佳。

表 4-1-8 層級 1 不同表徵的題目其解題取向的平均得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	8.46	3	2.82	2.82	.039
截距	747.15	1	747.15	748.05	<.001***
表徵	2.28	1	2.28	2.28	.132
解題取向	5.91	1	5.91	5.92	.016*
表徵* 解題取向	.43	1	0.43	0.43	.515
誤差	237.71	238	1.00		
總數	1058.46	242			

* $p < .05$ ，*** $p < .001$

(三) 層級 2 試題之解題取向及表現

本研究所施測的物理測驗試題有兩種層級，將蒐集的層級 2 之測驗試題同樣做表徵與解題取向做整理並分析，可得表 4-1-9，表示在層級 2 的試題，學生面對不同試題表徵所表現出的解題取向次數之成對 t 檢定。表 4-1-9 顯示，在層級 2（層級較高）不同表徵的試題中解題取向皆有顯著差異（ $p < .05$ ）。於文字版的試題，學生使用運動學解題的次數為 1.12，使用能量守恆則為 1.60；於圖片版的試題，使用運動學的比例佔 0.87，使用能量守恆為 1.40。表中皆顯示學生在層級 2 不同表徵的試題，以能量守恆概念解題為多數，故本研究認為此層級的物理測驗試題以能量守恆為主要解題方式，而試題表徵無法改變學生的解題取向。表同樣顯示層級 2 不同表徵的物理試題，學生使用運動學與能量守恆解題次數之效果量。文字表徵或圖片表徵之效果量僅達低度效果（ $0.5 > ES > 0.2$ ）。

表 4-1-9 層級 2 不同表徵試題其解題取向次數之成對 t 檢定

表徵	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
文字(4 題)	67	1.12	0.99	1.60	1.26	-2.13	.037*	0.26
圖片(4 題)	67	0.87	1.03	1.40	1.30	-2.38	.020*	0.29

* $p < .05$

研究者同樣對層級 2 的物理試卷進行評分，可得表 4-1-10，表顯示，層級 2 的試題中，於文字版的試題，學生使用運動學進行解題，其平均得分為 0.96，使用能量守恆，其平均得分為 1.26；於圖片版的試題，使用運動學解題，其平均得分為 0.93，使用能量守恆則為 1.32。

表 4-1-10 層級 2 不同表徵的題目其解題取向的平均得分情形總表

層級 2	運動學	能量守恆
文字	0.96	1.26
圖片	0.93	1.32

將蒐集的資料進行 2×2 雙因子變異數分析，可得表 4-1-11。表 4-1-11 顯示，試題表徵與解題取向兩者間的交互作用考驗 $F(1, 217) = 0.12$ ， $p > .05$ ，未達統計之顯著，說明層級 2 中，試題表徵、解題取向之交互作用無顯著差異。學生在不同表徵試題，其不同解題取向的表現之主要考驗 $F(1, 217) = 0.02$ ，顯著性 $p > .05$ ，無顯著差異，表示學生在不同表徵試題無法影響解題表現。學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1, 217) = 6.97$ ， $p < .05$ 達顯著差異，表示學生在不同解題取向其解題表現有顯著差異。發現在層級 2 試題，學生對於文字或圖片表徵使用，若能以能量守恆解題，其平均表現較佳。

表 4-1-11 層級 2 不同表徵的題目其解題取向的平均得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	6.60	3	2.20	2.35	.073
截距	269.90	1	269.90	288.34	<.001***
試題表徵	0.02	1	0.02	0.02	.891
解題取向	6.52	1	6.52	6.97	.009**
試題表徵* 解題取向	0.11	1	0.11	0.12	.728
誤差	203.12	217	0.94		
總數	492.90	221			

** $p < .01$, *** $p < .001$

三、 相同層級不同表徵的物理問題對解題取向之影響

本研究之物理測驗試題分為兩層級，層級 1 共 8 大題（10 小題），層級 2 共 8 大題（10 小題），將每題的資料個別整理，整理出試題表徵與學生解題取向的使用比例。

針對層級 1 的各題之解題情況，可得表 4-1-12，表 4-1-12 顯示在層級 1 的物理試題中，每題學生面對文字版與圖片版試題學生所表現出的解題取向比例。可發現，學生在層級 1 的試題範圍下，以運動學作為大多數學生的解題方式。如前述所說，學生面對層級 1 的物理試題，容易以運動學作為主要思考方式，以了解題目。

若想判別每題中，試題表徵是否影響學生的解題取向，需以卡方檢定（百分比同質性檢定）進行統計分析，因此部分之試題為各題討論，每位學生僅有一筆獨立資料，故不採用成對 t 檢定，而採用可同時比較兩種表徵與兩種解題取向之卡方檢定。因統計結果過多，將統計分析表置於附錄 6。於層級 1 共 10 題試題中，僅「熊」試題表徵與解題取向之顯著性小於 .05，達統計上之顯著差異，其餘 9 題其顯著性皆大於 .05，無法達顯著差異，說明大多數試題表徵無法影響學生的解題取向。綜合以上，如前述內容，於層級 1 的試題，試題表徵無法影響學生的解題取向。而層級 1 的試題中，僅「熊」試題表徵會影響學生解題，從試題內容來看，「熊」試題描述主要為熊從樹上靜止下滑，提供相關之末速、位移，尋求熊與樹間的摩擦力，研究者推測，熊試題很明顯地為物體鉛直下滑，此概念會讓學生使用能量守恆的比例提高，當學生面對文字版試題，僅能了解鉛直下滑，從運動學觀點分析較為容易，而當面對圖片版試題時，可從圖片聯想位能概念，進而使用能量守恆作為解題。

表 4-1-12 層級 1 不同表徵的各題目之解題取向的使用比例

		運動學 能量守恆				運動學 能量守恆	
		(%)	(%)			(%)	(%)
工人 1	文字	78.57	21.43	電梯	文字	71.79	28.21
	圖片	71.05	28.95		圖片	81.82	18.18
	平均	75.00	25.00		平均	76.39	23.61
工人 2	文字	76.19	23.81	大樓	文字	68.29	31.71
	圖片	70.00	30.00		圖片	71.05	28.95
	平均	73.17	26.83		平均	69.62	30.38
書 1	文字	73.81	26.19	球	文字	76.74	23.26
	圖片	57.89	42.11		圖片	70.00	30.00
	平均	66.25	33.75		平均	73.49	26.51
書 2	文字	74.42	25.58	熊	文字	78.05	21.95
	圖片	62.96	37.04		圖片	55.88	44.12
	平均	70.00	30.00		平均	68.00	32.00
運輸	文字	74.42	25.58	箱子	文字	63.83	36.17
	圖片	62.96	37.04		圖片	59.46	40.54
	平均	70.00	30.00		平均	61.90	38.10

欲探討各題得分情形，將資料整理後可得表 4-1-13。表 4-1-13 表示層級 1 的各試題，學生面對不同試題表徵時，使用不同的解題取向的平均得分情形，可發現層級 1 的試題，不論何種解題取向，平均分數皆可得到 1 分以上，「工人 1」的能量守恆取向甚至可達滿分 3 分。

欲判別試題表徵是否影響解題取向的得分情形，需進行 2×2 雙因子變異數分析，因統計結果過多，統計結果表置於附錄 7。分析結果表示，層級 1 的 10 題試題中，僅「電梯」與「箱子」兩題的試題表徵與解題取向兩者間的交互作用考驗，其顯著性小於 .05，達統計之顯著差異，其餘 8 題其顯著性 p 值高於 .05，無法達統計之顯著差異，意指其餘 8 題試題表徵無法影響不同解題取向之得分。

當學生面對「電梯」試題，圖片版試題其分數較高(試題表徵達顯著差異)；學生若

使用能量守恆進行解題，平均分數皆較高(解題取向達顯著差異)。當學生面對「箱子」試題，於文字版試題，使用運動學解題較容易得高分，於圖片版試題，使用能量守恆則較容易得高分(解題取向達顯著差異)。「電梯」屬於物體下落範圍；「箱子」則屬於水平移動範圍。

表 4-1-13 層級 1 不同表徵的各題之解題取向的平均得分情形

		運動學		能量守恆		運動學		能量守恆	
工人 1	文字	2.94	3.00	電梯	文字	1.47	1.67	圖片	3.00
	圖片	2.86	3.00		圖片	1.63	3.00		2.11
	平均	2.90	3.00		平均	1.53	2.11		
工人 2	文字	2.59	2.75	大樓	文字	2.19	2.40	圖片	2.00
	圖片	2.28	2.80		圖片	2.27	2.00		2.00
	平均	2.28	2.78		平均	2.23	2.00		
書 1	文字	1.69	2.50	球	文字	2.64	3.00	圖片	2.29
	圖片	1.91	2.11		圖片	2.49	2.29		2.58
	平均	1.78	2.29		平均	2.57	2.58		
書 2	文字	1.34	1.67	熊	文字	2.26	2.80	圖片	2.75
	圖片	1.62	1.25		圖片	2.33	2.75		2.77
	平均	1.43	1.50		平均	2.29	2.77		
運輸	文字	1.33	1.43	箱子	文字	1.77	1.91	圖片	2.57
	圖片	1.83	1.50		圖片	1.48	2.57		2.17
	平均	1.54	1.45		平均	1.64	2.17		

本研究層級 2 試題共 6 大題 (8 小題)，同樣將每題的資料個別整理，整理出試題表徵與學生解題取向的使用比例，可得表 4-1-14。表 4-1-14 可發現在層級 2 之試題，學生使用能量守恆解題的比例提高，且學生使用運動學、能量守恆兩種解題取向的機會近似。

同樣若想判別層級 2 的試題，試題表徵與學生解題取向是否有關，亦須進行卡方檢定，其統計分析結果過多，詳見附錄 8。統計結果發現層級 2 的各試題，各題之顯著性

p 值皆大於 0.05，無法達統計之顯著差異，說明層級 2 的試題，其試題表徵無法影響學生的解題取向。

表 4-1-14 層級 2 不同表徵的各題目之解題取向的使用比例

		運 動 學 能 量 守 恆				運 動 學 能 量 守 恆	
		(%)	(%)			(%)	(%)
火箭	文字	60.00	40.00	滑雪	文字	31.25	68.75
	圖片	50.00	50.00		圖片	40.00	60.00
	平均	56.52	43.48		平均	36.96	63.04
斜坡	文字	64.10	35.90	阿特伍德機	文字	55.56	44.44
	圖片	48.28	51.72		圖片	61.29	38.71
	平均	57.35	42.65		平均	57.89	42.11
溜滑梯 1	文字	16.67	83.33	滑水道 1	文字	41.67	58.33
	圖片	19.05	80.95		圖片	23.53	76.47
	平均	17.54	82.46		平均	32.86	67.14
溜滑梯 2	文字	24.24	75.76	滑水道 2	文字	40.63	59.38
	圖片	20.00	80.00		圖片	40.54	59.46
	平均	22.64	77.36		平均	40.54	59.42

欲探討不同試題表徵是否影響學生解題取向的得分，將資料整理為表 4-1-15，表 4-1-15 表示層級 2 的題目中，學生面對不同試題表徵時，使用不同解題取向的平均得分情形，因試題難度較高，顯示分數偏低。 2×2 雙因子變異數分析之統計結果置於附錄 9。結果發現，此層級 2 中的試題，試題表徵與解題取向兩者間的交互作用之 p 值皆大於 .05，無法達統計之顯著差異，說明層級 2 的試題中，試題表徵與解題取向無交互作用。仍有題目顯示(阿特伍德機、溜滑梯 1、滑水道 1 與滑水道 2)，不同解題取向間有顯著差異，大多是能量守恆解題其表現較佳。

表 4-1-15 層級 2 不同表徵的各題之解題取向的平均得分情形

		運動學		能量守恆		運動學		能量守恆	
火箭	文字	1.11	1.25	滑雪	文字	0.60	0.73		
	圖片	1.38	1.63		圖片	0.42	0.78		
	平均	1.38	1.40		平均	0.47	0.76		
斜坡	文字	1.48	1.36	阿特伍德機	文字	0.40	0.30		
	圖片	1.43	1.20		圖片	0.68	0.17		
	平均	1.46	1.28		平均	0.52	0.25		
溜滑梯 1	文字	0.50	2.10	滑水道 1	文字	0.93	1.86		
	圖片	0.75	2.12		圖片	1.25	2.12		
	平均	0.60	2.11		平均	1.04	2.00		
溜滑梯 2	文字	1.00	1.21	滑水道 2	文字	0.77	1.42		
	圖片	0.25	1.19		圖片	0.33	0.95		
	平均	0.75	1.22		平均	0.54	1.17		

第二節 不同空間能力的學生之解題分析

本節將針對不同空間能力的學生面對不同表徵的試題，學生所表現出的解題取向及得分情形，空間能力為康鳳梅等人研發之測驗試卷，依前章將學生分為高空間能力組與低空間能力組，此節分為二部份，第一，探討不同空間能力的學生，面對不同層級的物理試題，其表現出的解題取向與得分情形；第二，分析不同空間能力的學生面對相同層級、不同表徵的物理試題，其表現的解題取向及得分情形。

一、 不同空間能力學生針對特定層級的解題

(一) 整體解題取向

不同空間能力的學生對於不同的物理問題，他們的解題取向是否有差異。此部分將蒐集的資料作整理，先將學生依不同空間能力將學生分組，探討他們面對物理試題以不分試題層級與表徵，分類他們所表現的解題取向，整理出表 4-2-1 顯示，不同空間能力學生其解題取向的使用次數之成對 t 檢定。低空間能力的學生使用運動學解題取向的次數為 4.02 次，使用能量守恆的次數 2.82 次；高空間能力的學生使用運動學解題取向的次數為 4.34 次，使用能量守恆的次數為 2.38 次。從表 4-2-1 可知低空間能力與高空間能力的學生都偏向使用運動學進行解題，次數約 4 次，使用能量守恆取向則約 2.5 次。

亦可發現，不同空間能力學生其解題取向之差異，低空間能力學生的解題取向之 p 值大於 .05，未達顯著性差異，說明低空間能力學生之兩種解題取向沒有明顯差異。然而高空間能力學生的解題取向達顯著性差異($p < .05$)，說明高空間能力學生傾向使用運動學進行解題。不同空間能力學生的解題取向之效果量皆為低度效果。

表 4-2-1 不同空間能力學生的解題取向次數之成對 t 檢定

空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低	65	4.02	3.23	2.82	2.73	1.84	.71	0.23
高	85	4.34	3.37	2.38	2.7	3.34	.001**	0.36

** $p < .01$

(二) 層級 1 之解題取向及表現

將學生依據不同層級的題目分為兩大類，探討不同層級中，不同空間能力的學生使用之解題取向是否有差異。表 4-2-2 表示在層級 1 的試題中，不同空間能力學生使用的解題取向之成對 t 檢定。分析結果顯示，不同空間能力的學生其解題取向之顯著性皆小於 .001，說明不同空間能力學生其解題取向有明顯差異，且達中度效果。低空間能力的學生在層級 1 的試題中，使用運動學解題佔 6.03 次，能量守恆佔 2.06 次；高空間能力的學生在層級 1 的試題中，學生使用運動學進行解題為 5.96 次，使用能量守恆為 2.33，可發現不同空間能力的學生多傾向使用運動學解題。本研究更進一步認為，於層級 1 的試題中，學生的空間能力無法影響學生之解題取向。

表 4-2-2 不同空間能力學生在層級 1 試題其解題取向次數之成對 t 檢定

空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(10 題)	35	6.03	3.01	2.06	2.84	4.43	< .001***	0.75
高(10 題)	48	5.96	3.32	2.33	3.06	4.13	< .001***	0.60

*** $p < .001$

本研究蒐集的資料中，尚有試題的得分，固承上表 4-2-2，將學生的平均得分情形整理於表 4-2-3。表 4-2-3 顯示，低空間能力的學生面對層級 1 的物理試題，使用運動學解題，平均可得 1.94 分，使用能量守恆平均可得 1.24 分；高空間能力學生面對層級 2 的物理試題，使用運動學解題，平均可得 1.88 分，使用能量守恆者，平均可得 1.58 分。

表 4-2-3 不同空間能力學生對層級 1 的試題其解題取向的得分情形

空間能力	運動學	能量守恆
低	1.94	1.24
高	1.88	1.58

欲探討於層級 1 的試題中，不同空間能力與不同解題取向之平均得分兩者的關係，需以 2×2 雙因子變異數分析進行統計分析，可得表 4-2-4，從表 4-2-4 可知，學生面對層級 1 的物理試題，不同空間能力的學生與解題取向之得分兩者間的交互作用 $F(1,137)$

= 1.48，顯著性 $p > .05$ ，無法達統計之顯著差異。意即在層級 1 的試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間沒有明顯關聯；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,137) = 0.75$ ，顯著性 $p > .05$ ，無顯著差異，表示學生的空間能力無法影響解題表現；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗達顯著差異 $F(1,137) = 9.29$ ， $p < .05$ ，說明不同解題取向的表現有差異。不同空間能力學生在層級 1 試題使用運動學取向其得分表現較佳。

表 4-2-4 不同空間能力學生於層級 1 試題其解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	9.70	3	3.23	3.54	.017
截距	373.52	1	373.52	408.50	<.001***
空間能力	0.68	1	0.68	0.75	.389
解題取向	8.49	1	8.49	9.29	.003**
空間能力*解題取向	1.35	1	1.35	1.48	.226
誤差	125.27	137	0.91		
總數	543.33	141			

** $p < .01$ ，*** $p < .001$

(三) 層級 2 之解題取向及表現

表 4-2-5 表示學生面對層級 2 的物理試題時，不同空間能力的學生所使用的解題取向使用次數之成對 t 檢定。結果顯示，於層級 2 試題，低空間能力的學生其解題取向之 p 值小於 .01，達顯著性差異；高空間能力學生則未達顯著性差異。可從表得知，學生作答層級 2 的試題時，低空間能力的學生使用運動學解題的次數為 1.67 次，使用能量守恒的次數為 3.70 次；高空間能力學生使用運動學進行解題的次數為 2.24 次，使用能量守恒的機率則是 2.43 次。因僅低空間能力學生組之解題取向具明顯差異，說明低空間能力學生傾向使用能量守恒進行解題。然而僅低空間能力學生組之效果量達中度效果；高空間能力學生組之效果量偏低($ES < 0.2$)

研究者推測學生使用運動學解題時，學生需要掌握物體的相關運動狀態與過程，例

如：物體的運動軌跡...等；而學生使用能量守恆解題時，學生大多只需掌握物體的初狀態與末狀態，無需考慮其過程。因低空間能力的學生可能對於試題中的空間方向較差，故適合使用較不需要考慮方向的能量守恆取向，因而增加使用能量守恆解題的機率，而高空間能力學生對於試題中物體的空間方向掌握較佳，使用運動學解題並不會增加學生的負擔，反而會因熟悉運動學公式而使用運動學解題，故兩種解題取向出現次數皆有可能出現，並不會使用特定解題取向。

表 4-2-5 不同空間能力學生在層級 2 試題其解題取向次數之成對 t 檢定

空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(8 題)	30	1.67	1.37	3.70	2.35	-3.91	.001**	0.71
高(8 題)	37	2.24	2.01	2.43	2.19	-0.33	.74	0.05

** $p < .01$

將蒐集的物理試卷的分數作整理，可得表 4-2-6，此表可見面對層級 2 的試題時，低空間能力學生使用運動學解題，平均可得 0.84 分，學生使用能量守恆解題時，平均可得 1.23 分；高空間能力學生使用運動學解題，平均可得 0.99 分，使用能量守恆解題時，平均可得 1.13 分，若學生使用能量守恆可得較高的分數，皆大於 1 分，使用運動學解題時，皆小於 1 分。

表 4-2-6 不同空間能力學生對層級 2 的試題所表現之解題取向的得分情形

空間能力	運動學	能量守恆
低	0.84	1.23
高	0.99	1.13

以 2×2 雙因子變異數分析進行統計分析，可得表 4-2-7，從表 4-2-7 可知，層級 2 的物理試題，不同空間能力的學生與解題取向之得分兩者間的交互作用 $F(1,127) = 0.68$ 顯著性 $p > .05$ ，未達統計之顯著差異，說明在層級 2 的試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間也沒有明顯關聯；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,127) = 0.02$ ，顯著性 $p > .05$ ，無法達顯著差異，表示學生的空間能力無法

影響解題表現；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1,127) = 2.97$ ， $p > .05$ 同樣未達顯著差異，說明不同解題取向與其表現沒有差異。

表 4-2-7 不同空間能力學生於層級 2 試題其解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	2.50	3	0.83	1.13	.341
截距	141.68	1	141.68	191.79	<.001***
空間能力	0.01	1	0.01	0.02	.890
解題取向	2.20	1	2.20	2.97	.087
空間能力*解題取向	0.50	1	0.50	0.68	.411
誤差	93.82	127	0.740		
總數	241.26	131			

*** $p < .001$

二、不同空間能力的學生針對特定表徵的解題表現

本節第二部份欲探討不同空間能力的學生在不同層級及不同表徵的試題時，學生所表現的解題取向。表 4-2-8 表示，對於層級 1 的文字表徵試題，不同空間能力學生其解題取向使用次數之成對 t 檢定。表顯示，低空間能力學生使用運動學的次數為 3.09 次，使用能量守恆解題的次數為 0.91 次；高空間能力使用運動學進行解題的次數為 3.42 次，使用能量守恆則為 1.15 次。發現高、低空間能力學生其解題取向之 p 值均小於 .001，說明解題取向均有明顯差異。從表可知學生較傾向使用運動學進行解題。本研究認為於層級 1 的文字版試題，學生的空間能力不會影響其解題取向間。而此效果量皆屬於中度效果。

表 4-2-8 不同空間能力學生對層級 1 文字版的解題取向使用次數之成對 t 檢定

層級 1 文字 空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(5 題)	35	3.09	1.8	0.91	1.46	4.45	< .001***	0.75
高(5 題)	48	3.42	2.05	1.15	1.79	4.43	< .001***	0.64

*** $p < .001$

學生使用不同的解題取向的平均得分之結果可見於表 4-2-9，顯示低空間能力學生使用運動學進行解題，平均可得 1.88 分，使用能量守恆取向平均可得 1.10 分；高空間能力學生使用運動學解題，平均可得 1.92 分；使用能量守恆取向可得 1.85 分，學生同樣使用運動學取向解題時，高空間能力學生之得分較低空間能力學生高 0.04 分；學生同樣使用能量守恆取向解題時，高空間能力學生之得分較低空間能力學生高 0.75 分。

表 4-2-9 不同空間能力學生對層級 1 文字版試題解題平均得分情形

層級 1	空間能力	運動學	能量守恆
文字版	低	1.88	1.10
	高	1.92	1.85

表 4-2-10 不同空間能力學生於層級 1 文字版試題其解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	11.79	3	3.93	3.83	.012
截距	332.51	1	332.51	323.74	<.001***
空間能力	4.62	1	4.62	4.50	.036*
解題取向	5.30	1	5.30	5.16	.025*
空間能力*解題取向	3.65	1	3.65	3.55	.062
誤差	122.22	119	1.03		
總數	507.09	123			

* $p < .05$ ，*** $p < .001$

將表 4-2-9 進行 2×2 雙因子變異數分析，可見於表 4-2-10 顯示，層級 1 文字版的物理試題，不同空間能力的學生、解題取向兩者間的交互作用 $F(1,119) = 3.55$ ， $p > .05$ ，未達統計之顯著差異，說明在層級 1 文字版試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間沒有明顯關聯；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,119) = 4.50$ ， $p < .05$ ，達顯著差異，表示學生的空間能力可影響解題表現，高空間能力學生的解題表現較佳；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1,119) = 5.16$ ， $p < .05$ 同樣達顯著差異，說明不同解題取向與其表現有差異。對於層級 1 文字版試題，高空間能力學生表現較佳，且不同空間能力學生使用運動學取向其得分

表現皆較佳。

表 4-2-11 呈現層級 1 的图片版試題中，不同空間能力的學生使用不同解題取向使用次數之成對 t 檢定。從表中可知，學生於層級 1 圖片版試題，學生的空間能力其解題取向間皆達顯著差異($p < .05$)，說明學生的解題取向有明顯差異，且效果量皆屬於中度效果。低空間能力學生使用運動學解題次數為 2.94，使用能量守恆的次數為 1.14；高空間能力使用運動學進行解題為 2.54，使用能量守恆則為 1.19 次。高、低空間能力學生同樣皆以運動學進行解題，更說明在層級 1 圖片版試題，學生的空間能力無法影響學生的解題取向。

表 4-2-11 不同空間能力學生對層級 1 圖片版的解題取向使用次數之成對 t 檢定

層級 1 圖片 空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(5 題)	35	2.94	1.71	1.14	1.59	3.60	.001**	0.61
高(5 題)	48	2.54	1.86	1.19	1.53	3.13	.003**	0.45

** $p < .01$

學生對於層級 1 圖片版之解題表現整理為表 4-2-12，低空間能力學生使用運動學取向解題時，平均可得 2.00 分，使用能量守恆取向時，平均可得 2.02 分；高空間能力學生使用運動學取向解題時，平均可得 2.03 分；使用能量守恆時，平均可得 1.63 分，可發現，高空間能力學生使用運動學解題時較容易得高分。

表 4-2-12 不同空間能力學生對層級 1 圖片版試題解題平均得分情形

層級 1	空間能力	運動學	能量守恆
圖片版	低	2.00	2.02
	高	2.03	1.63

然而 2×2 雙因子變異數分析顯示（表 4-2-13），層級 1 圖片版的物理試題，不同空間能力的學生、解題取向兩者間的交互作用 $F(1,115) = 1.33$ ， $p > .05$ ，未達統計之顯著差異，說明在層級 1 圖片版試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間沒有明顯關聯；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,115) = 0.95$ ，

$p > .05$ ，未達顯著差異，表示學生的空間能力無法影響解題表現；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1,115) = 1.05$ ， $p > .05$ 同樣未達顯著差異，說明不同解題取向與其表現沒有差異。

表 4-2-13 不同空間能力學生於層級 1 圖片版試題的解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	3.26	3	1.09	1.17	.324
截距	401.24	1	401.24	431.85	<.001***
空間能力	0.89	1	0.89	0.95	.331
解題取向	0.98	1	0.98	1.05	.307
空間能力*解題取向	1.24	1	1.24	1.33	.251
誤差	106.85	115	0.93		
總數	551.37	119			

*** $p < .001$

本研究蒐集之物理測驗試卷，尚有層級 2 的試題，表 4-2-12 顯示，學生於層級 2 文字版試題中，低空間能力使用運動學解題次數為 1.07 次，使用能量守恆的次數為 1.80；高空間能力學生使用運動學解題佔 1.16 次，使用能量守恆解題則佔 1.43 次。而以成對 t 檢定進行統計分析，結果顯示低空間能力學生其解題取向之 p 值小於 .05，達顯著差異，說明低空間能力學生傾向使用能量守恆進行解題；高空間能力學生組之解題取向則未達顯著差異，意即學生無特定解題取向。而低空間能力組達中度效果；高空間能力組之效果量偏低。

表 4-2-14 不同空間能力學生對層級 2 文字版試題的解題取向使用次數之成對 t 檢定

層級 2 文字 空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(4 題)	30	1.07	0.83	1.80	1.22	-2.48	.019*	0.45
高(4 題)	37	1.16	1.12	1.43	1.28	-0.82	.415	0.13

* $p < .05$

至於學生在層級 2 文字版試題方面（表 4-2-15），低空間能力學生使用運動學取向解題之平均得分為 0.86，使用能量守恆之平均得分為 1.25；高空間能力學生使用運動學取向之平均得分為 1.04，使用能量守恆之平均得分為 1.27，可發現在層級 2 文字版試題，學生使用能量守恆解題較容易得高分，且高、低空間能力學生之平均得分相近。

表 4-2-15 不同空間能力學生面對層級 2 文字版試題解題平均得分情形

層級 2	空間能力	運動學	能量守恆
文字版	低	0.86	1.25
	高	1.04	1.27

2×2 雙因子變異數分析顯示（表 4-2-16），層級 2 文字版試題，不同空間能力的學生、解題取向兩者間的交互作用 $F(1,122) = 0.20$ ， $p > .05$ ，未達統計之顯著差異，在層級 2 文字版試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間沒有明顯差異；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,122) = 0.34$ ， $p > .05$ ，未達顯著差異，表示學生的空間能力無法影響解題表現；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1,122) = 3.08$ ， $p > .05$ 同樣未達顯著差異，說明不同解題取向與其表現沒有差異。

表 4-2-16 不同空間能力學生於層級 2 文字版試題的解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模式	3.37	3	1.13	1.16	.327
截距	153.40	1	153.40	158.44	<.001***
空間能力	0.32	1	.32	0.34	.564
解題取向	2.98	1	2.98	3.08	.082
空間能力*解題取向	0.19	1	.19	0.20	.658
誤差	118.12	122	.97		
總數	278.54	126			

*** $p < .001$

此節最後討論學生於層級 2 圖片版試題之得分表現，表 4-2-17 呈現，高、低空間能力學生其解題取向使用次數之成對 t 檢定。此部分結果可知，低空間能力學生使用運動學解題次數為 0.60，使用能量守恆 1.90 次；高空間能力學生使用運動學解題次數為 1.08 次，使用能量守恆的次數則為 1.00。並從表發現，低空間能力學生組之解題取向達顯著性差異($p < .05$)，而低空間能力學生大多使用能量守恆；高空間能力學生則未達顯著差異($p > .05$)。低空間能力組達中度效果；高空間能力組之效果量偏低。

參考表 4-2-17，可知低空間能力學生面對層級 2 圖片版試題時，易以能量守恆為主要方式進行解題，研究者推測低空間能力學生無法掌握圖片表徵，而使用能量守恆時，只需掌握初、末狀態即可，故須考慮物體運動過程之運動學取向較為不利；當面對層級較高的題目，從能量守恆觀點進行解題，其中高空間能力學生對於圖片表徵掌握程度較佳，所以學生可使用較為熟悉的運動學進行解題，形成兩種解題取向使用次數相當。

表 4-2-17 不同空間能力學生對層級 2 圖片版試題的解題取向使用次數之成對 t 檢定

層級 2 圖片 空間能力	人數	運動學		能量守恆		t	p	ES
		平均數	標準差	平均數	標準差			
低(4 題)	30	0.60	0.81	1.90	1.37	-4.23	< .001***	0.77
高(4 題)	37	1.08	1.14	1.00	1.11	0.28	.78	0.04

*** $p < .001$

表 4-2-18 為不同空間能力學生在層級 2 圖片版試題，其不同的解題取向之平均得分情形，顯示低空間能力學生使用運動學進行解題時，平均可得 0.93，使用能量守恆則可得到 1.49；高空間能力學生使用運動學解題時，平均可得 0.94，使用能量守恆解題可得 1.18 分。

表 4-2-18 不同空間能力學生對層級 2 圖片版的試題解題平均得分情形

層級 2 圖片版	空間能力	運動學	能量守恆
	低	0.93	1.49
	高	0.94	1.18

2 × 2 雙因子變異數分析顯示（表 4-2-19），層級 2 圖片版試題，不同空間能力的學生、解題取向兩者間的交互作用 $F(1,91) = 0.65$ ， $p > .05$ ，未達統計之顯著差異，在層級 2 圖片版試題，學生的空間能力、不同解題取向與其解題表現三者間沒有明顯差異；不同空間能力學生其相同解題取向之表現的主要考驗 $F(1,91) = 0.58$ ， $p > .05$ ，未達顯著差異，表示學生的空間能力無法影響解題表現；相同空間能力學生在不同解題取向的得分表現之主要考驗 $F(1,91) = 4.05$ ， $p < .05$ 達顯著差異，說明不同解題取向與其表現有差異。學生在層級 2 圖片版試題，使用能量守恒取向其解題表現較佳。

表 4-2-19 不同空間能力學生於層級 2 圖片版試題的解題得分之雙因子變異數分析

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	<i>F</i>	顯著性
修正的模式	4.96	3	1.65	1.81	.151
截距	116.40	1	116.40	127.33	<.001***
空間能力	0.53	1	.53	0.58	.448
解題取向	3.70	1	3.70	4.05	.047*
空間能力*解題取向	0.59	1	0.59	0.65	.423
誤差	83.19	91	0.91		
總數	214.36	95			

* $p < .05$ ，*** $p < .001$

第三節 常見的錯誤類型

物理被視為困難的科目之一，而本節主要探討學生在解題時常見的錯誤，研究資料為本研究所蒐集的物理測驗試題，依照常見錯誤編碼表，將錯誤類型分為兩大類型：「與物理概念無關」、「與物理概念有關」。

一、「與物理概念無關」的錯誤類型

此部分探討與物理概念無關的錯誤類型，細分為「未掌握題意」、「數字計算錯誤」兩個類型，比較學生在不同條件，計算學生錯誤次數，以了解學生發生解題錯誤的因素。

首先 1-1「未掌握題意」之錯誤類型，在 Polya (1956) 解題步驟中，了解問題是第一步，這適用在任何領域問題上，故本研究將此錯誤類型歸類於與物理概念無關之錯誤類型，如圖 4-3-1 所示：題目為物體從 8 樓頂下落，旨在說明物體從 8 樓高的位置滑落，而學生卻認為 9 樓下落 ($v^2 = 2 \times g \times 9F$)。

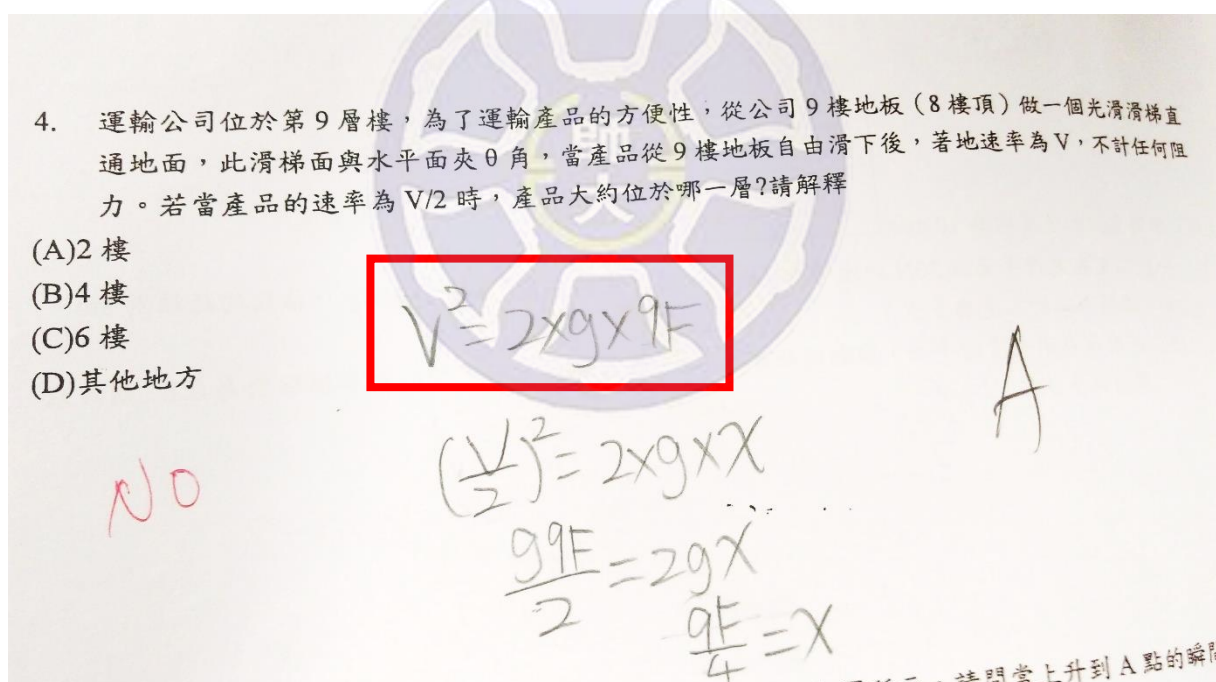


圖 4-3-1 錯誤類型 1-1 未掌握題意之範例

在 Polya (1956) 解題步驟中，執行計畫為第三步，在執行計畫後期更需細心，否則將前功盡棄，而在物理解題過程，經常要做數字處理，不少學生常常發生 1-2「數字計算錯誤」之錯誤類型，以本研究為例，學生在解題過程中，能適度提取試題所提供的資訊，且學生的物理概念是合理的，僅在計算過程計算錯誤。以圖 4-3-2 為例，學生在

最後的減法計算錯誤，「 $\frac{75}{2} = 250 - f, f = 425N$ 」，此錯誤大多數來自於學生的粗心大意或數字計算能力。

6. 某質量 25kg 熊在樹上，若牠自靜止抱著樹滑下，途中受到一固定摩擦力，當從 A 點滑到 B 點時，請問熊與樹之間的磨擦力為多少？

Handwritten student work for the problem:

$$U = mgh = 25 \times 10 \times 12 = 3000$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2} \times 25 \times 36 = 450$$

$$F_g = m \cdot a$$

$$\frac{75}{2} = 25 \cdot \frac{3}{2}$$

$$F_g = N - f$$

$$\frac{75}{2} = 250 - f$$

$$\Rightarrow f = 425(N)$$

Diagram details: A bear of mass 25kg slides from point A to point B, a vertical distance of 12m. At point B, the bear's speed is 6m/s. A velocity-time graph shows acceleration $a = \frac{3}{5} \text{ m/s}^2$ over a time of 4 seconds.

圖 4-3-2 錯誤類型 1-2 數字計算錯誤之範例

二、「與物理概念有關」的錯誤類型

學生在物理解題發生錯誤主要發生在「與物理概念有關」的錯誤類型，此部分可細分為 2-1「忽略系統完整受力」、2-2「物理公式錯誤」、2-3「混淆物理單位」、2-4「只列出物理公式」、2-5「定義方向錯誤」、2-6「不了解答案的意義」以及 2-7「未完成計算過程」等七項。

首先，物理系統的定義在進行物理解題時扮演十分重要的角色，不同定義的系統將導致不同的解題方式，定義及分析系統時，進而討論物體的受力狀態，並討論此系統受那些力的作用，學生若分析物體系統時，忽略物體的重力或摩擦力，此學生則發生的與物理概念有關的 2-1 錯誤類型「忽略系統完整受力」，如圖 4-3-3 所示，學生使用能量守恆進行解題，然而學生只考慮物體所受的 20N 的力所做的功，並未考慮物體本身的重力亦會做功，故顯示出「 $20 \times 5 = \frac{1}{2} \times 1 \times v^2$ 」，此錯誤類型主要來自於學生對物理系統的定義、分析。

5. 將 1 公斤的球靜止放在平面，若以定力 F 向上拉，，如圖所示，請問當上升到 A 點的瞬間，球的速率為何

E1

$$20 \times 5 = \frac{1}{2} \times 1 \times V^2$$

$$V^2 = 200$$

$$V = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$$

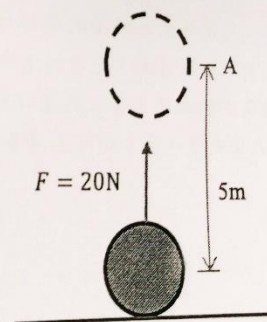


圖 4-3-3 錯誤類型 2-1 忽略物體完整受力之範例

3. 在一水平面上有一箱子質量為 m ，從原點以水平初速 v_0 出發，向前滑行 10 公尺後停止，平面與箱子間的摩擦係數為 0.2，請問此箱子的初速為何？

Diagram showing a box of mass m moving to the right with initial velocity v_0 over a distance of 10m. A friction force f acts to the left.

$$f = 0.2 \times (N) = 10m$$

$$= 2m$$

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - 2m = m a$$

$$0 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot 10$$

$$v_0^2 = -2 \left(\frac{1}{2}v_0^2 - 2 \right) 10$$

$$= - (v_0^2 - 4) \cdot 10$$

$$= - (0.9v_0^2 + 40)$$

$$1.9v_0^2 = 40$$

$$v_0^2 = \frac{40}{1.9}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{40}{1.9}} \text{ m/s}$$

圖 4-3-4 錯誤類型 2-2 物理公式錯誤之範例

物理公式為物理之基本，物理公式因含有很多不同物理量，導致物理公式難以被接受，「物理公式錯誤」此錯誤類型之學生，其答案過程中，可明顯看出物理公式中的物理量放錯位置，或者將不相關的物理量放置同一公式，或將不同的物理概念混淆，這些皆導致公式錯誤，例如圖 4-3-4 可判斷學生欲使用運動學進行解題，然而在前期使用牛頓運動定律時，物體的受力卻以物體的動能表示，寫下「 $\frac{1}{2}mv^2 - 2m = ma$ 」，本研究旨

在探討解題取向，牛頓運動定律屬於運動學取向，而動能則是屬於能量守恆取向，兩者屬於不同取向，自然無法放置在同一公式中，學生卻將兩種物理概念混淆，使解題的公式列錯。

在物理概念中，物理單位佔了十分重要的角色，物理公式中，不同的物理量有專屬的單位，雖然物理單位是個很小的概念，但卻很重要，而「混淆物理單位」在學生的解題過程中也很常見，本研究最常發生混淆物質的重量與質量，以圖 4-3-5 為例，物體的動摩擦力為摩擦係數與正向力的乘積，水平放置的物體其正向力與物體重量相等，牛頓第二運動定律說明物體所受的外力與物體質量有關，然而物體的質量與重量是不相等的，兩者間相差重力加速度之倍數，然而學生卻直接將重量當成質量以進行計算，寫出動摩擦力與牛頓第二運動定律「 $f_k = 0.2 \times w = w \cdot a$ 」，此加速度與正解相差 10 倍，後續的計算自然發生錯誤。

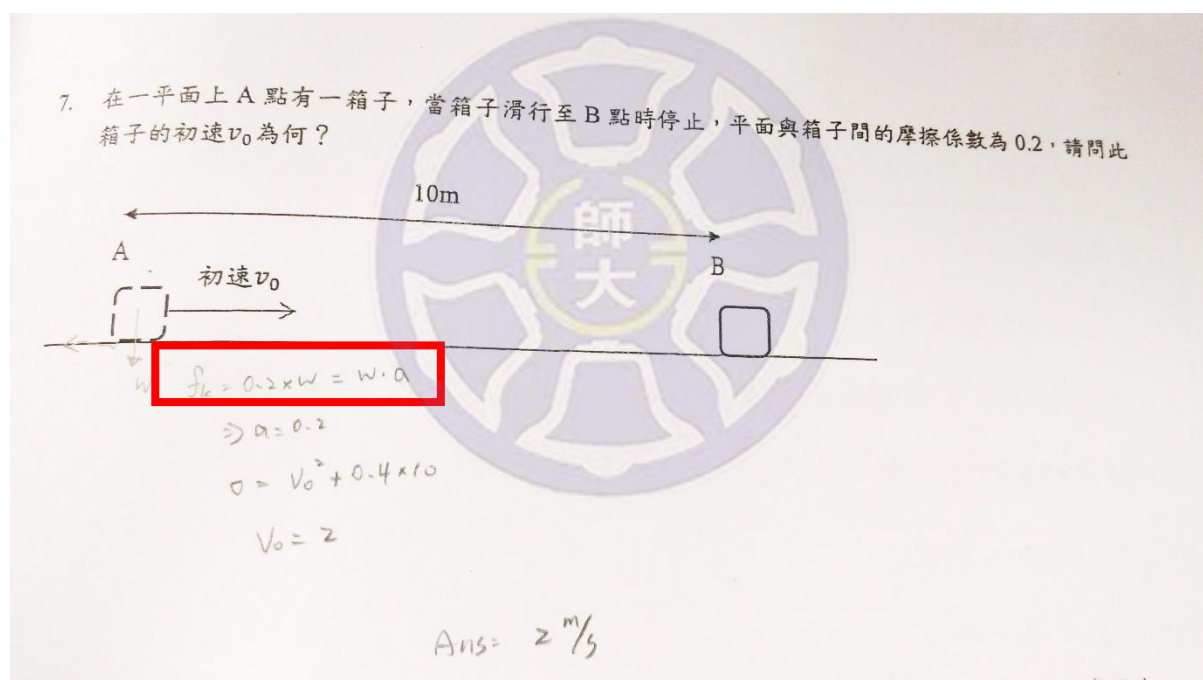


圖 4-3-5 錯誤類型 2-3 混淆物理單位之範例

「只列出物理公式」在所有錯誤類型中，也佔有比例，物理公式在解題過程中固然重要，但將其應用亦很重要，當學生只列出物理公式，卻無法應用，研究者無法判斷此學生是否真的了解問題，並解題，例如只寫出 $F = ma$ 或 $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ，如圖 4-3-6，學生只寫出一行本題可用的公式，卻無法繼續完成，學生可能是因為只記得公式，卻不了解公式中的物理量，或者無法取得題目中的物理資訊，因而導致此錯誤類型。

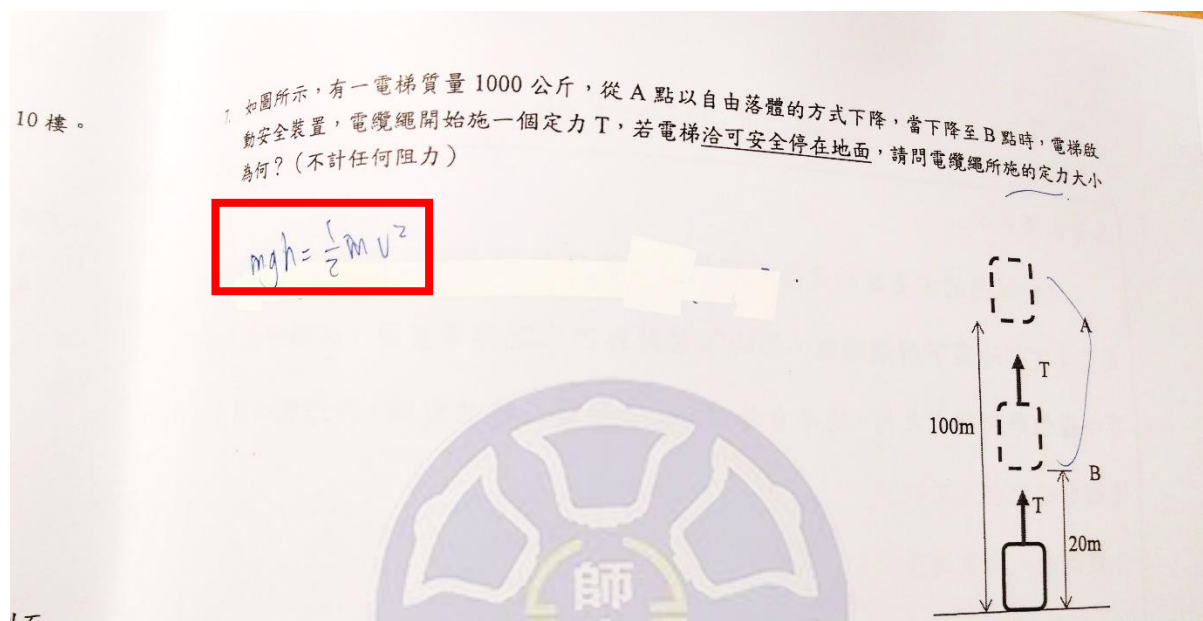


圖 4-3-6 錯誤類型 2-4 只列出物理公式之範例

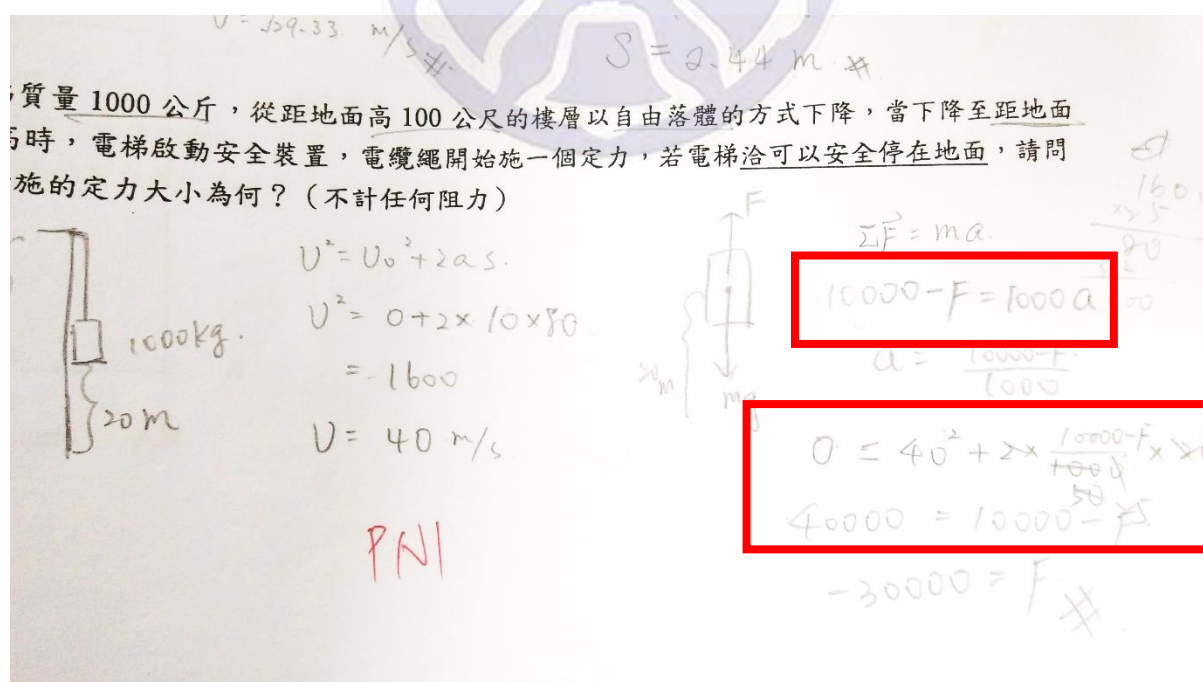


圖 4-3-7 錯誤類型 2-5 定義方向錯誤之範例

分析物理系統時，討論物體的受力前，須先定義方向，何者為正，以方便討論物體的受力，例如物體受到向上的力，學生可定義向上為正；反之，向下則為負。少許學生在定義方向後，常常發生定義的方向前後矛盾之現象，如圖 4-3-7 所示，學生定義向下為正，故可求出物體在減速過程的加速度（此加速度方向向上），然而在後續以運動學列式時方向仍以向下為正，卻未配合物體的加速度方向，形成定義的方向前後不符，導致錯誤。

許多物理問題都在要求學生尋求答案，當學生將題目的資訊帶入公式，利用物理公式求出答案，的確可以求出答案，但物理並非單純帶數字求答案，而是要給予答案合理的意義，若無法給予答案正確的意義，學生即會發生「不了解答案的意義」次錯誤類型，例如圖 4-3-8，一個物體從 8 樓下滑，題目欲求出物體會下滑至幾樓，學生利用運動學解題，求出位移為原本的 $1/4$ ，故答案應為「下降 2 樓」，但學生卻選擇下滑「至」2 樓。學生可能不瞭解題目導致選錯樓層，學生也有可能不清楚利用物理公式中每一物理量所代表的意義，或者只記得題目中的某個資訊可放入物理公式中的某個位置，因而導致雖然求出的答案但卻誤解答題的意義。

8. 運輸公司位於 9 層樓高，為了運輸產品的方便性，從 9 樓地板（8 樓頂）做一個光滑滑梯直通地面，當產品從公司滑下後，不計摩擦力，若地速率為 V 。若當產品的速率為 $V/2$ 時，產品的大約位置為何？請解釋

(A) 位於 A 點
(B) 位於 B 點
(C) 位於 C 點
(D) 位於其他地方

$mg \cos \theta$
 $mg \sin \theta = F$
 $F = m \cdot a = m \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)$
 $F \cdot m$ 為定值 $\Rightarrow \frac{dv}{dt}$ 為定值
 $V^2 = V_0^2 + 2as$
 $V^2 \propto s$

$V = V_0 + at$
 $a = \left(\frac{dv}{dt}\right)$

$v^2 = \left(\frac{V}{2}\right)^2 = S \cdot \frac{S}{4}$
 $s = \frac{S}{4}$
 $\rightarrow$ 改在 C 點

圖 4-3-8 錯誤類型 2-6 不了解答案的意義之範例

當學生在計算過程中遇到困難，常常會發生「未完成計算過程」此錯誤類型，有別於「只列出物理公式」，學生可正確利用題目中的資訊，應用於公式中，但卻無法完成。當學生在尋找答案的過程中，有許多途徑，若有一途徑無法直接求得答案，學生會感到困惑，導致於計算過程中停筆、中斷，例如圖 4-3-9，學生欲利用運動學公式解題，但學生只將物體的合力求出，沒有將此合力繼續尋求速度。當學生可正確利用公式，但無法善用它，也許是學生的解題遇到困難，又或者學生對此題失去興趣，因而計算中斷。

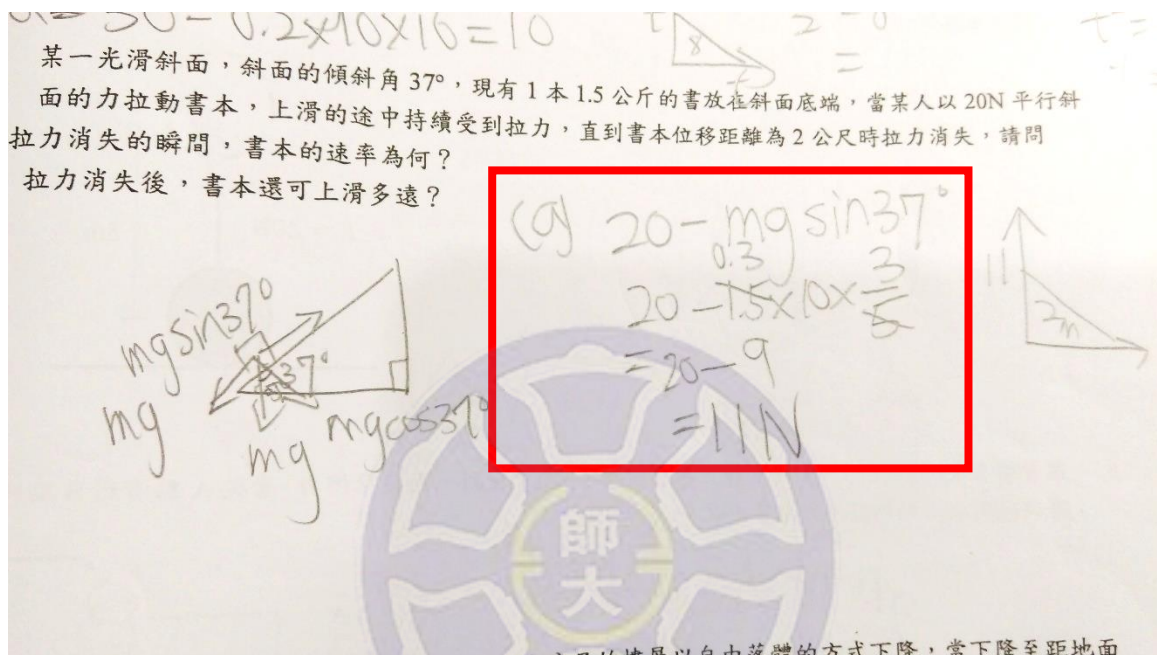


圖 4-3-9 錯誤類型 2-7 未完成計算過程之範例

三、 不同錯誤類型在不同條件之分佈情形

承前面所說的物理解題常見的錯誤類型，此部分為比較不同條件時，學生的錯誤次數比例，不同的條件分別為：試題表徵、學生的空間能力、學生的解題取向。將資料依照編碼表，統計錯誤次數，換算為錯誤比例，可得表 4-3-1 與表 4-3-2，表 4-3-1 為層級 1 的錯誤比例；表 4-3-2 為層級 2 的錯誤比例。

首先說明不同條件的整體之錯誤比例（整體錯誤係以全部題數為分母，總錯誤題數為分子），在試題表徵方面，不論層級 1 或層級 2，圖片版試題的錯誤比例較文字版試題略高（文字版：46.67%、61.96%；圖片版：49.29%、64.13%），其中圖片版試題的空白比例高出文字版試題許多（文字版空白：32.14%、43.86%；圖片版空白：44.93%、63.84%），故推測圖片版試題的高比例錯誤多來自於空白未作答。

在學生空間能力方面，在層級 1 的試題，低空間能力學生的整體錯誤比例高於高空間能力學生（低空間能力：51.43%；高空間能力：43.06%），空白比例相近（37.22%、37.44%）。高空間能力學生其錯誤比例較低，答題表現較佳。但在層級 2 的試題，高空間能力學生的整體錯誤比例高於低空間能力學生（低空間能力：61.25%；高空間能力：65.79%）。而空白比例的部分，高空間能力學生大於低空間能力學生（低空間能力空白：50.34%；高空間能力：57.50%）。推測高空間能力學生其整體錯誤比例較高來自於空白未作答。故整體而言，若比較有作答時的答題表現，高空間能力學生的表現仍較低空間能力學生的表現佳。

在解題取向方面，不論層級 1 或層級 2 的試題，學生使用運動學取向解題的錯誤比例較能量守恆取向高（運動學取向：35.81%、52.67%；能量守恆取向：29.35%、42.58%），故當學生使用能量守恆進行解題時，學生的解題表現較佳。

從表 4-3-1 與表 4-3-2 亦可發現兩大類錯誤類型中，「與物理概念無關」錯誤屬於少數，「與物理概念有關」錯誤佔大多數，而在與物理概念有關的錯誤類型中，錯誤類型 2-1 與 2-2 占多數，錯誤類型 2-1 為「忽略物體完整受力」、錯誤類型 2-2 為「物理公式錯誤」。以下將分別探討不同條件時，學生常見的解題錯誤之分佈。

表 4-3-1 學生在層級 1 試題不同條件其錯誤比例

層級 1	試題表徵		空間能力		解題取向		
錯誤類型	文字	圖片	低空間能	高空間能	運動學取	能量守恆取	全部
	(%)	(%)	力 (%)	力 (%)	向 (%)	向 (%)	(%)
1-1 ^a	5.10	3.86	6.11	2.84	5.62	11.11	4.47
1-2	6.12	8.21	9.44	5.21	11.24	14.81	7.20
2-1	15.31	14.01	14.44	15.64	24.72	25.93	14.64
2-2	17.86	13.53	15.55	16.59	24.16	25.93	15.63
2-3	3.06	4.35	3.89	4.27	6.18	7.41	3.72
2-4	6.12	4.35	3.89	5.69	7.30	5.56	5.21
2-5	2.04	0.97	1.11	1.90	2.81	1.85	1.49
2-6	5.61	1.45	2.22	5.21	6.74	5.56	3.47
2-7	6.63	4.35	6.11	5.21	11.24	1.85	5.46
空白	32.14	44.93	37.22	37.44			38.71
整體錯誤	46.67	49.29	51.43	43.06	35.81	29.35	
(%) ^b							

註：a.1-1 未掌握題意、1-2 數字計算錯誤、2-1 忽略系統完整受力、2-2 物理公式錯誤、2-3 混淆物理單位、2-4 只列出物理公式、2-5 定義方向錯誤、2-6 不了解答案的意義、2-7 未完成計算過程。

b.整體錯誤係以全部題數為分母，錯誤題數為分子。

表 4-3-2 學生在層級 2 試題不同條件其錯誤比例

層級 2	試題表徵		空間能力		解題取向		
錯誤類型	文字	圖片	低空間能	高空間能	運動學取	能量守恆取	全部
	(%)	(%)	力 (%)	力 (%)	向 (%)	向 (%)	(%)
1-1 ^a	9.36	2.82	9.52	3.50	10.14	9.33	6.03
1-2	2.92	2.26	2.72	2.50	5.80	5.33	2.59
2-1	21.05	11.86	15.65	15.50	34.78	40.00	16.38
2-2	16.37	9.60	11.56	13.50	26.09	28.00	12.93
2-3	0.58	1.69	0.00	2.00	1.45	4.00	1.15
2-4	2.34	2.26	2.04	2.50	8.70	1.33	2.30
2-5	0.58	2.26	2.04	1.50	4.35	4.00	1.44
2-6	0.58	1.13	1.36	0.50	0.00	4.00	0.86
2-7	2.34	2.26	4.76	1.00	8.70	4.00	2.30
空白	43.86	63.84	50.34	57.50			54.02
整體錯誤	61.96	64.13	61.25	65.79	52.67	46.58	
(%) ^b							

註：a.1-1 未掌握題意、1-2 數字計算錯誤、2-1 忽略系統完整受力、2-2 物理公式錯誤、2-3 混淆物理單位、2-4 只列出物理公式、2-5 定義方向錯誤、2-6 不了解答案的意義、2-7 未完成計算過程。

b.整體錯誤係以全部題數為分母，錯誤題數為分子。

(一) 與物理概念無關的錯誤類型在不同條件之分佈情形

從圖 4-3-10 的 1-1 項可發現，學生在層級 1 文字版試題的錯誤比例較圖片版差約 1.3%，幾乎無差異；而在層級 2 時差異更為明顯，文字版試題發生此錯誤的比例較圖片版高，兩者差距約 6%，層級 2 的試題本身為較困難的試題，除了涉及較高的認知層次，題目情境也較層級 1 複雜，若只單靠文字描述，有許多學生無法單靠文字訊息以完全了解題意導致解題錯誤。綜合以上，說明學生在文字表徵容易因未掌握題意而導致解題錯

誤，可建議於題目中增加圖示輔助說明，增加學生對於題目的掌握程度。

從圖 4-3-10 的 1-2 項可發現，在層級 1 圖片版試題其錯誤比例較文字版高些；在在層級 2 的試題中，文字版試題較圖片版試題的錯誤比例相近。結合以上所言，試題表徵與學生發生數字計算錯誤兩者間無明顯差異，本研究認為試題表徵為提供題目資訊的方式，數字計算多為學生個人計算能力，故兩者間無明顯關聯。

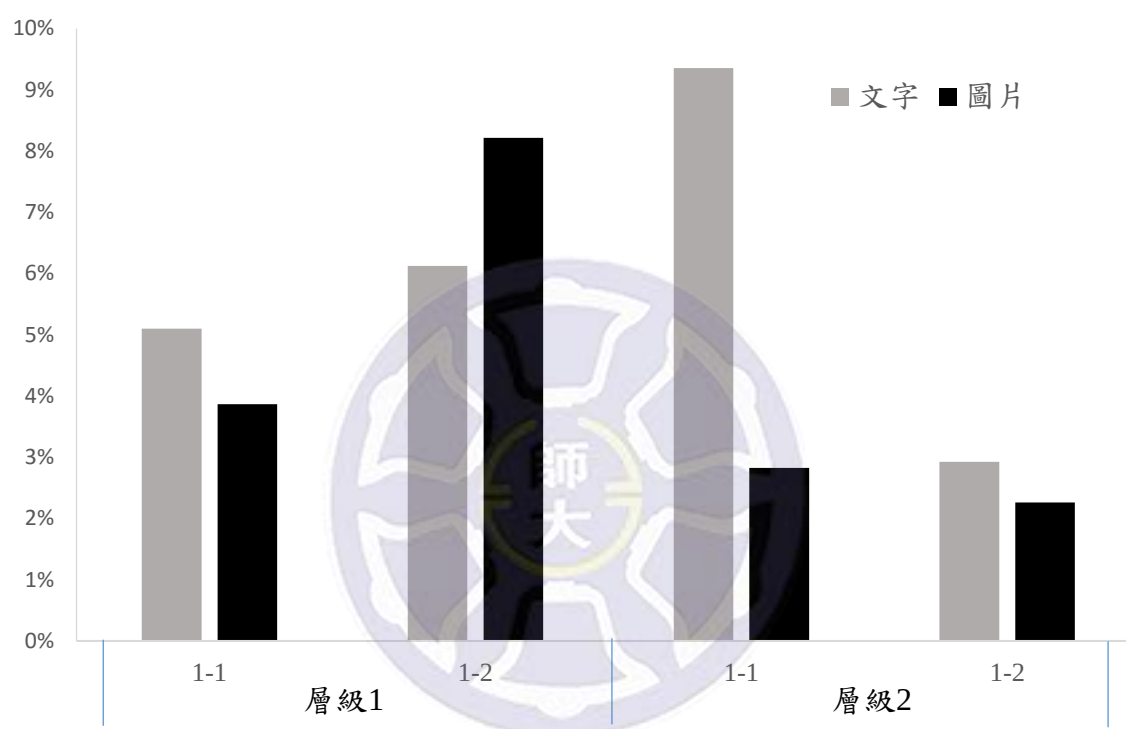


圖 4-3-10 在不同層級時不同試題表徵中與物理概念無關之錯誤類型比例。

註：錯誤類型 1-1「未掌握題意」、1-2「數字計算錯誤」

圖 4-3-11 分別表示不同空間能力學生在層級 1 與層級 2 的試題發生與物理概念無關的錯誤類型比例；從圖中 1-1 項可看出不論在層級 1 或層級 2 的試題，低空間能力學生的在「未掌握題意」錯誤比例較高空間能力學生高，且有明顯差異，兩者差距分別為 3.3%及 6%，而許多文獻說明低空間能力學生的學習成就較高空間能力學生差，若以物理解題做為物理學習成就，從圖 4-3-11 判斷低空間能力無法達高學習成就，可能有不少的比例是因為低空間能力較容易發生「未掌握題意」之錯誤。

圖 4-3-11 的 1-2 項可發現，「數字計算錯誤」這一錯誤類型發現，在層級 1 的試題，低空間能力在數字計算方面明顯較高空間能力學生容易出現錯誤，兩者差距 4.2%；然

而對於層級較高的試題，兩者差異較不明顯。整體而言，低空能力學生在「數字計算錯誤」的出現比例較高，當低空間能力學生的科學學習成就較低，其數字計算錯誤為可能之原因。

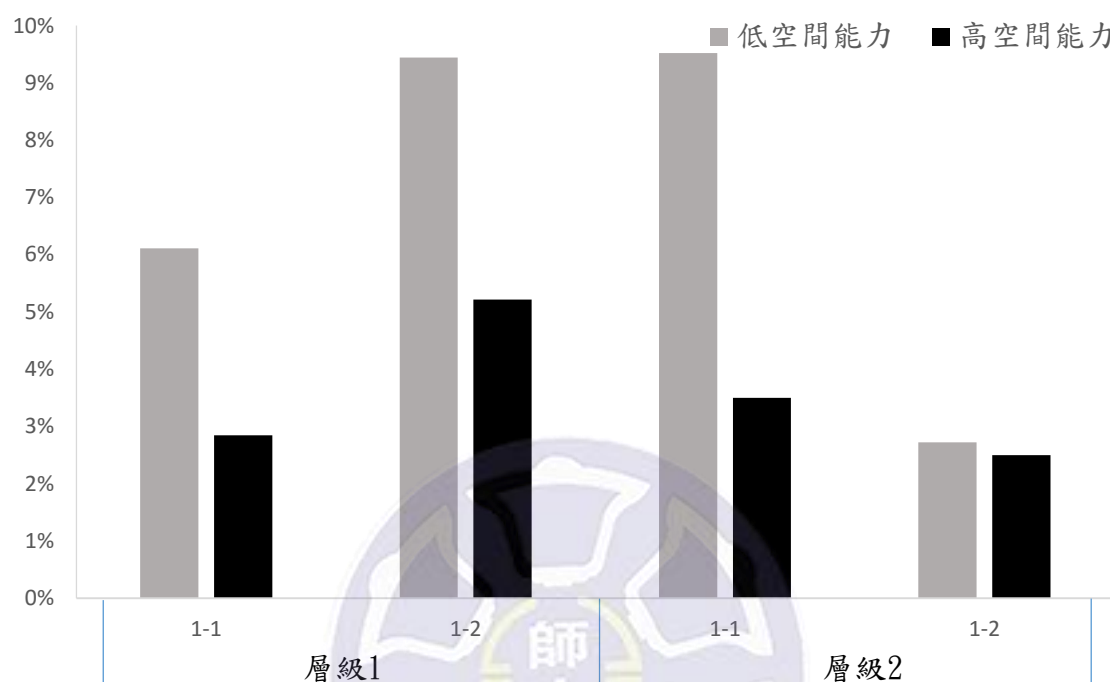


圖 4-3-11 在不同層級時不同空間能力學生發生與物理概念無關之錯誤類型比例
註：錯誤類型 1-1「未掌握題意」、1-2「數字計算錯誤」

從圖 4-3-12 可發現在層級 1 試題使用能量守恆取向的學生在 1-1「未掌握題意」比例較使用運動學取向學生稍微多些，兩者相距僅 5.5%；在層級 2 試題，反而是使用運動學取向的錯誤比例稍高。

圖 4-3-12 的 1-2 項則分別表示在層級 1 與層級 2 的試題中，學生使用不同解題取向時，學生發生「數字計算錯誤」的解題錯誤比例，從圖 4-3-12 可發現，在層級 1 試題使用能量守恆取向的學生發生「數字計算錯誤」比例較高，兩者相距 3.6%；在層級 2 試題，兩類解題取向的學生發生此錯誤比例相反。

根據以上所述，本研究認為學生的解題取向與「未掌握題意」或「數字計算錯誤」兩者間沒有明顯關聯。

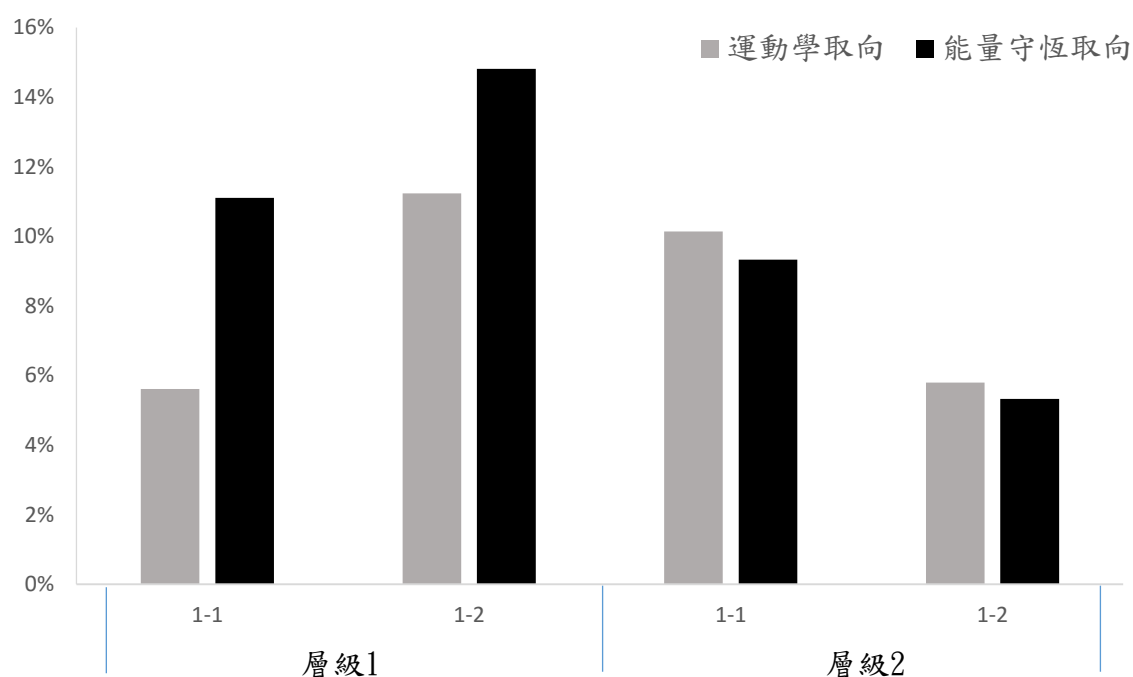


圖 4-3-12 在不同層級不同解題取向之學生發生與物理概念無關之錯誤類型比例
 註：錯誤類型 1-1「未掌握題意」、1-2「數字計算錯誤」

(二) 與物理概念有關的錯誤類型在不同試題表徵之分佈情形

本研究將蒐集的錯誤類型依照試題層級與試題表徵整理為圖 4-3-13，分別表示學生在層級 1 與層級 2 的物理試題，不同試題表徵與物理概念有關的錯誤類型比例。

首先物理系統在分析的過程，學生須清楚物體所受的力有哪些，以方便討論物理系統，從下圖可知與物理概念有關的錯誤類型當中，「忽略系統完整受力」是整體錯誤中較為明顯偏高的，若學生無法順利解題，有很高的比例是因為學生在物理系統中，系統的分析錯誤，從本研究的物理試題中發現，學生最常忽略的力為物體的重力。從圖中 2-1 項可發現，不論層級 1 或層級 2，學生對於文字版試題錯誤比例較高，分別為 1.3%、9.2%。本研究認為學生對於文字版試題，以閱讀接收題意後，需自行描繪題目情境，認知負荷較大，不易分析系統受力情況；圖片版試題則以圖像給予題目情境，減少學生認知負荷，學生較容易進行物體受力的分析，此錯誤比例在認知較高的層級 2 試題明顯差異，圖片版試題較文字版試題偏低。

本研究探討學生使用不同的解題取向的差異，換言之，可說是學生選擇的物理公式的差異，然而學生不瞭解物理公式當中所代表的意義，導致物理量錯放於公式中，便發生「物理公式錯誤」的錯誤類型，學生可能因為不了解物理公式中的物理量，或者混淆

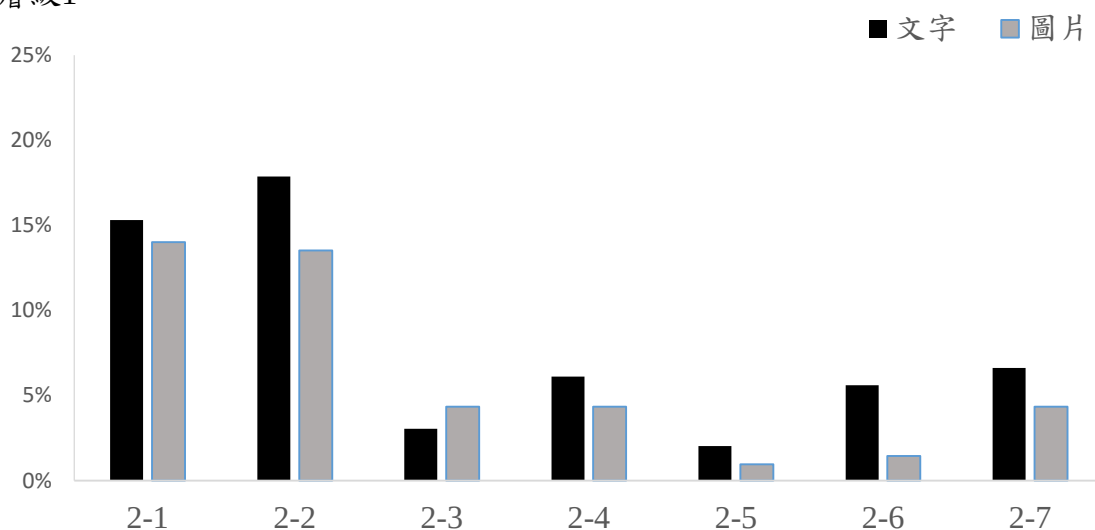
不同的物理概念等原因，導致列出錯誤的物理公式，從圖 4-3-13 的 2-2 項可知，在層級 1 或層級 2 的試題，學生對於文字版試題較容易發生物理公式錯誤，本研究認為學生本身會擁有許多的物理相關知識，包含公式與物理量，而文字版試題提供的情境讓學生須自行拼湊情境中物體的受力情況，與錯誤類型 2-2 相似，造成學生額外認知負擔，將物理量錯放或物理知識混用，導致物理公式錯誤。

「單位」在物理中是非常重要的概念，每一物理量有其各自的單位與意義，當學生對物理量不熟悉時，常常會混淆物理量的單位，本研究發現物體的質量與重量是學生較常混淆的單位，從圖 4-3-13 的 2-3 項可知，不論層級 1 或層級 2，學生對於圖片版試題發生此錯誤比例較文字版試題略高，但兩者相差不多，無法推論何種表徵容易讓學生混淆單位。

物理公式在物理解題過程中，扮演舉足輕重的角色，而學生「只列出物理公式」，無法說明學生可以進行成功地解題，從圖 2-4 項顯示，雖然學生對層級 1 或層級 2 的文字版試題發生此錯誤比例略高，但兩種試題表徵之差異相差甚少，無法證實文字版試題較容易發生此錯誤。

在物理解題方面，定義方向很重要且會影響解題的列式，然而少數學生會在解題過程中，發生定義的方向前後矛盾，導致解題錯誤，從圖 4-3-13 的 2-5 項「定義方向錯誤」可發現，學生在層級 1 的試題，學生發生此錯誤之比例情況，文字版試題較圖片版試題略高；層級 2 的試題，則是圖片版較文字版稍高。本研究物理解題時需要定義方向，然而定義方向是幫助學生對題目情境更了解題意中物體的狀態，此為學生的主觀想法，用以協助解題，似乎與試題表徵無關。

(a)層級1



(b)層級2

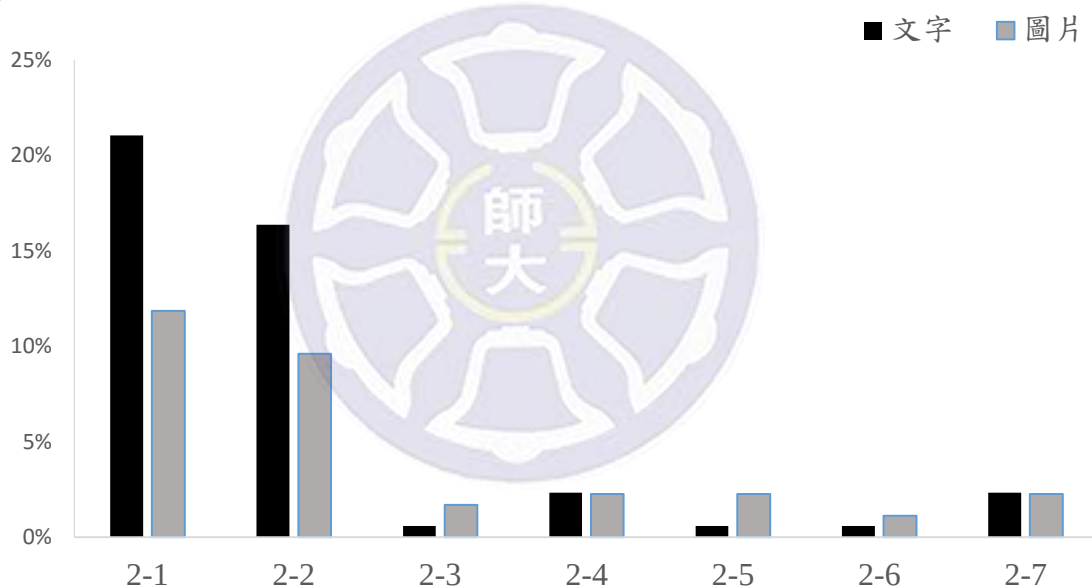


圖 4-3-13 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同試題表徵之錯誤類型比例。

註：錯誤類型 2-1「忽略系統完整受力」、2-2「物理公式錯誤」、2-3「混淆物理單位」、2-4「只列出物理公式」、2-5「定義方向錯誤」以及 2-6「不了解答案的意義」2-7「未完成計算過程」

依照 Polya (1956) 的解題步驟，學生在解題的最後步驟，需進行驗算與回顧，在物理解題方面，則是應給予答案合理的解釋，學生在解題過程皆無錯誤，但卻給予不合理的解釋給答案，從圖中 2-6 項可知，學生在不同層級的試題，兩種表徵情況相反，但差異皆不大，說明給予答案錯誤的解釋這方面，試題表徵的差異沒有明顯影響此錯誤之

比例。

學生解題時都會遇到大小不等的困難，若遇到困難，有的學生會嘗試去解題，有的則是放棄解題，而發生「未完成計算過程」之錯誤，此錯誤有別於 2-4「只列出物理公式」，此錯誤大多是學生可正確列式，但中途放棄解題，當學生未完成解題，並無法斷言學生不會解題。從圖中 2-7 項發現，學生對於層級 1 或層級 2 的文字版試題較圖片版略高。研究者認為這與學生的作答心態有關，願意去嘗試的學生發生此錯誤之比例較低。

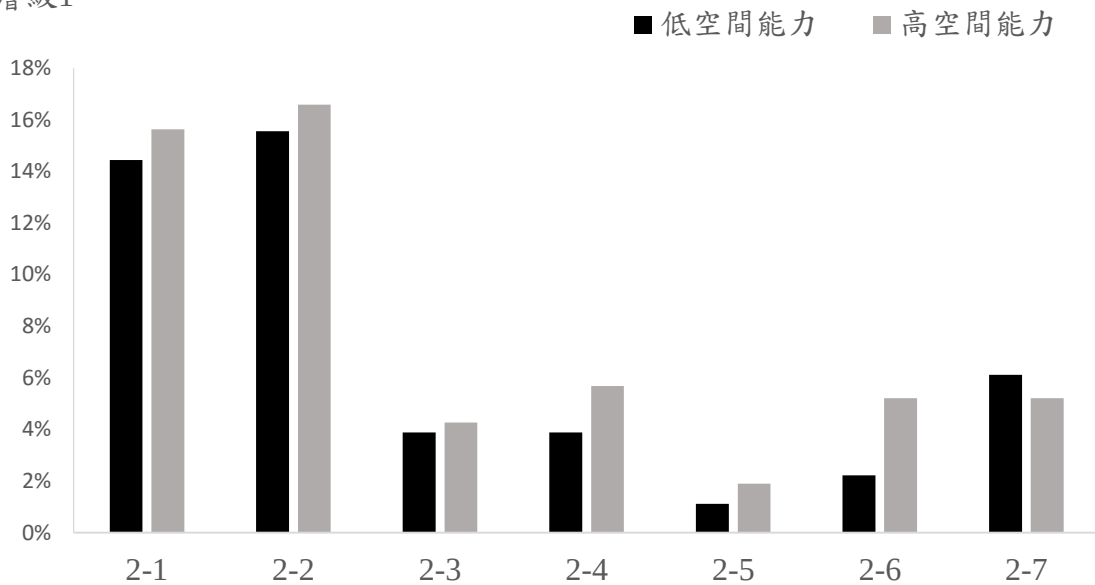
總的來說，在試題表徵與錯誤類型兩者間 2-1 與 2-2 其差距較為明顯，文字版試題的錯誤比例較高；在 2-3、2-4、2-5、2-6、2-7 等錯誤類型，因試題表徵間差距不大，無法說明試題表徵在這些錯誤類型之影響。

(三) 與物理概念有關的錯誤類型在學生不同空間能力之分佈情形

將錯誤類型以學生的空間能力劃分，可得圖 4-3-14，分別表示不同空間能力的學生在層級 1 與層級 2 的物理試題，發生與物理概念有關的錯誤比例。

從圖 4-3-14 可知，學生的空間能力在兩層級的試題，發生錯誤的比例相反的項目有：2-1「忽略系統完整受力」、2-5「定義方向錯誤」及 2-6「不了解答案的意義」等三項，說明這些錯誤類型與學生的空間能力較無明顯關聯。然而從圖中顯示，不同空間能力學生發生與物理概念有關的錯誤類型之差距多數不大，僅層級 2 試題的 2-7 項「未完成計算過程」差距較明顯，本研究認為因層級 2 試題認知負荷較大，學生較容易半途而廢，但此部分多數無法提供相當的證據較明確地說明學生的空間能力與錯誤類型的關聯。

(a)層級1



(b)層級2

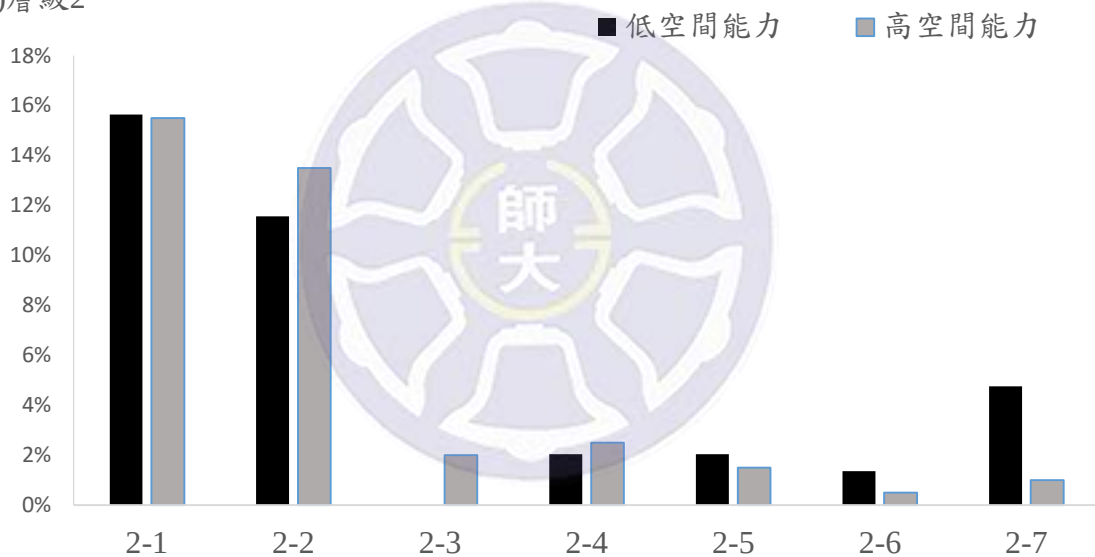


圖 4-3-14 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同空間能力學生之錯誤類型比例。

註：錯誤類型 2-1「忽略系統完整受力」、2-2「物理公式錯誤」、2-3「混淆物理單位」、2-4「只列出物理公式」、2-5「定義方向錯誤」以及 2-6「不了解答案的意義」2-7「未完成計算過程」

(四) 與物理概念有關的錯誤類型在不同解題取向之分佈情形

圖 4-3-15 則分別表示學生在層級 1 與層級 2 的試題，不同解題取向發生與物理概念有關的錯誤類型。

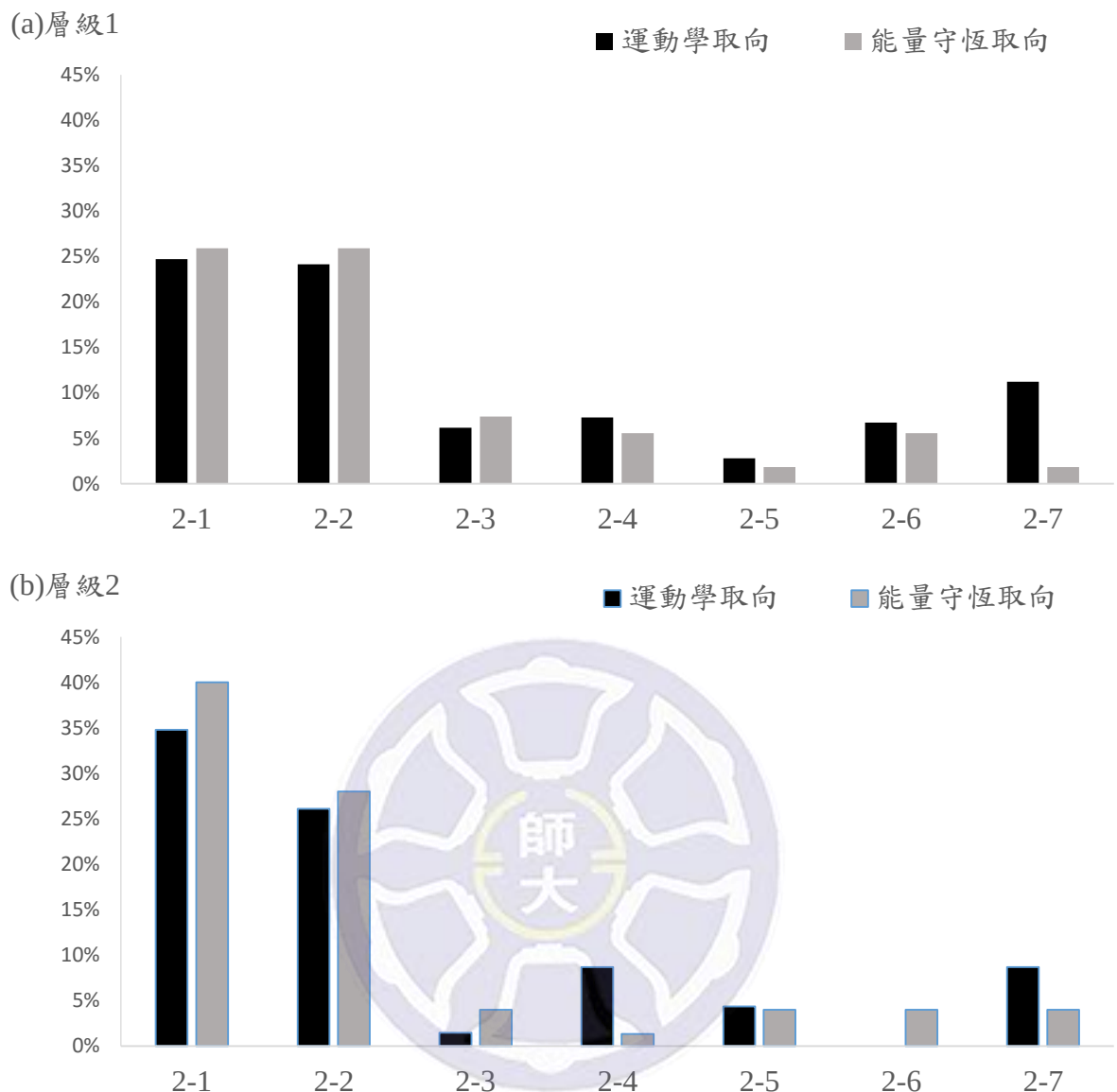


圖 4-3-15 在 (a) 層級 1 (b) 層級 2 不同解題取向之錯誤類型比例

註：錯誤類型 2-1「忽略系統完整受力」、2-2「物理公式錯誤」、2-3「混淆物理單位」、2-4「只列出物理公式」、2-5「定義方向錯誤」以及 2-6「不了解答案的意義」2-7「未完成計算過程」

從圖 4-3-15 可發現，在不同層級試題中，解題取向與錯誤類型之比例，僅層級 1 的 2-7 項與層級 2 的 2-4 項差距較大，皆是運動學取向比例較高。本研究認為層級 1 試題中，學生傾向使用運動學進行解題，但運動學公式較多，若其中公式不清楚，則會中途停筆；層級 2 試題，因題目情境較複雜，雖然學生有解題的想法，但無法應用題目提供之訊息，因而只能先寫下公式。其餘解題取向與錯誤類型間的差異多數亦不明顯，無法充分說明解題取向與錯誤類型之間的關聯。



第伍章 結論與討論

本章分為三節，第一節針對研究結果做歸納，以作為結論；第二節依據研究問題與其結果做進一步討論；第三節針對相關的研究限制與建議，並提供教學現場之教學建議。

第一節 結論

本研究設計不同層級及不同表徵的物理測驗試題，欲探討學生的解題取向及表現，以及不同空間能力的學生其解題取向及表現，物理測驗試卷為兩種層級（層級 1 與層級 2）與兩種表徵（文字與圖片）的試題交叉構成，共四種版本。依學生對試題的解題內容分為兩類取向：運動學取向與能量守恆取向，透過不同條件的物理試題，條件有試題的層級、試題表徵以及學生的空間能力等三項，分別探討學生的解題取向及表現，進而從物理測驗試題中，找出學生常見的解題錯誤類型。

針對解題取向方面，本研究主要發現，第一，當學生面對不同層級的物理問題，其解題取向有顯著差異，面對層級 1 的試題，學生傾向使用運動學解題；對於層級 2 的試題，學生會大幅提高使用能量守恆解題的機會，且解題取向與表現間亦有顯著差異，面對層級低的試題，學生使用運動學解題可得到有效的分數；對於層級高的試題，學生使用能量守恆解題可得到有效的分數。第二，試題表徵對學生的解題取向沒有顯著影響，學生大多使用運動學進行解題，解題表現亦無顯著差異。第三，學生的空間能力對解題取向同樣無顯著影響，且學生的空間能力亦無法顯著影響其解題表現。

本研究藉由自行設計的物理測驗試題發現，並分類學生常見的解題錯誤，藉由試題表徵、學生的空間能力以及學生的解題取向三種不同條件比較錯誤類型的比例，可發現所有錯誤類型比例中，錯誤比例最高的皆為「忽略系統完整受力」、「物理公式錯誤」此兩種類型。許多解題錯誤與試題表徵、學生的空間能力或學生的解題取向沒有明顯關聯。

第二節 討論

本研究顯示學生面對不同層級的試題時，學生的解題取向（運動學取向與能量守恆取向）有顯著影響，且解題表現亦有顯著影響，並發現學生解題時常見的錯誤分為兩大類：與物理概念無關、與物理概念有關。但本研究的結果也顯示，試題的表徵與學生的空間能力無法明顯地影響學生的解題取向。本節將針對上述結論做討論，並分為四部分，首先為試題層級與解題取向；第二針對試題表徵與解題取向做討論；第三為學生的空間能力與解題取向；最後為常見的錯誤類型。

一、 試題層級與解題取向

本研究設計兩種層級的物理測驗試題，藉由不同層級的物理試題，觀察學生解題方式，結果顯示，物理層級與解題取向兩者間顯著差異，且解題表現也有顯著差異，如第四章第一節所述，層級 1 的物理試題，學生較容易使用運動學的方式，且容易得到高分；層級 2 的試題，則容易提高能量守恆解題的機會，且較易得到分數。本研究之物理試題，此層級係依據 Teodorescu 等人（2013）之研究，將學習的認知過程配合物理試題，發展出六大層級的試題，本研究試題選定層級 1 提取（Retrieval）中的執行（Executing），與層級 2 理解（Comprehension）中的整合（Integrating）。執行的定義為：可藉由套用公式，以執行一個需要被解決的任務；整合的定義為：需辨別題目的物理知識結構，以及從問題中分辨出重要的訊息。如第二章第一節所述，此兩種層級在定義上的不同，其認知程度也不同，問題的問法上也不同。本研究的層級 1 試題是為一般計算題型，題目給予一個明確的任務，例如：找出物體的速度、移動距離或受力大小等，要求學生可套用公式以完成解題，此類試題與學生平常接觸的試題類型相似，受試學生大多願意去執行此任務，空白比例相對較低。受試學生多可藉由模仿教師的解題過程，或自身的學習經驗套用在此物理試題進行解題，作答率高可較明確了解學生不同的解題過程。層級 2 的試題，其認知程度較高，題目情境較複雜，並要求學生了解自己的物理知識結構，研究試題藉由一前置問題以確認學生的物理基本知識。本研究之受試學生甚少接觸過此類問題，對於試題作答方式的不熟悉，以及試題較為困難、認知程度較高，導致受試學生將

近一半未作答，甚至將層級 2 試題視為層級 1 試題，鮮少寫下解題的想法。本研究主要探討解題取向，故不考慮學生對層級 2 試題的前置問題做探討。

二、 試題表徵與解題取向

本研究將解題取向分為運動學取向與能量守恆取向，並設計兩種層級與兩種表徵的物理測驗試題，藉由不同層級與不同表徵的物理試題，觀察學生解題方式。結果顯示，物理層級與解題取向兩者間顯著差異，且解題表現也有顯著差異。但結果亦顯示試題表徵並不影響學生的解題取向。本研究之物理試題表徵依據 Wu 與 Puntambekar (2012) 研究，使用的表徵為文字與圖片，並根據過去的研究發現，假設試題表徵將影響學生的解題取向 (Cock, 2012; Kohl & Finkelstein, 2006)，欲探討試題表徵與解題取向間的關係。然而結果顯示，試題表徵皆無法影響學生的解題取向。在較簡單的層級 1 試題，學生常使用運動學解題，難度較高的層級 2 試題，會提高使用能量守恆的次數，這結果與試題表徵無關，反而與試題層級的結果相似。換言之，本研究之受試學生無視試題表徵的差異，多數以運動學進行解題，當面對高層級的試題方會提高能量守恆解題的機率。從運動學與能量守恆兩種解題取向內容可發現，運動學取向為向量導向，當學生使用運動學進行解題時，需一步一步的分析系統、列出公式或畫關係圖。剛接觸物理的初學者適合以此方式開始學習物理，培養出分析系統的能力；能量守恆取向為純量導向，當使用能量守恆解題時，則是縱觀整個題目情境或系統，必須要以系統整體做討論，討論系統的初狀態與末狀態。以物理學習過程而言較為晚些，同時學生在物理方面的認知程度亦較初學者高些。

Cock (2012) 研究顯示試題表徵會影響解題取向，學生在文字表徵的題目較常傾向使用能量的方式解題；而圖片表徵的學生較容易傾向運動學的方式解題，且 Kohl 和 Finkelstein (2006) 的研究暗示學生的物理解題表現跟許多因素有關，例如：學生的學習經驗、先備知識...等，更重要的是他們認為試題表徵會促使學生使用更多種的解題策略，但不保證不同解題策略的解題表現會較佳。但本研究發現試題表徵無法影響學生的解題取向，顯示本研究之發現與過去許多文獻不同。若要找出本研究與過去研究不符之原因，

首先受試者對象的不同，過去許多學者的研究對象多為大學生，而本研究針對的是高二學生。高中生接觸物理課程時，課程從運動學開始，甚至國中課程也對運動學著墨甚多，相對於能量守恆，學習階段較運動學晚，國中階段雖亦提及能量守恆，但篇幅甚少。對學生而言，運動學是所有物理課程中接觸最久的的章節。且本研究在高二下學期第二次段考後進行測驗。高中物理課程談論能量守恆的概念，約在高二下學期第二次段考前。能量守能雖為近期之教授課程，但學生對於能量守恆概念的熟悉度，並無法與運動學相提並論。故學生對於層級 1 試題易使用運動學解題，可能因學生對於運動學公式較為熟悉；層級 2 試題因認知程度需求較高，雖然可完成作答之學生數量偏少，但可作答之學生其認知程度較高，使用不同解題取向的機率較高，故運動學與能量守恆取向皆有機率出現。

再者，本研究在試題設計上，未考量概念性試題與計算題之分配，本研究之物理測驗試題大多是屬於計算題型。Singh (2008)指出對於概念性問題，使用能量守恆解題是個較聰明的策略。亦可參考 Walsh (2007)研究，Walsh (2007)針對 22 位 18 歲至 24 歲之大學生進行物理課程與測驗，發現 22 位學生面對物體掉落的物理問題縱使含有文字及圖片表徵表徵，受試者中僅有 1 位會使用能量守恆進行解題。顯示對於尚在學習物理的高中生而言，學生使用運動學進行解題是一常見的現象，使用能量守恆是較為少見的。綜合以上所言，學生使用能量守恆解題雖然是少見的，但在概念性試題較容易出現。本研究雖設計兩種表徵試題，卻因未考量學生對於兩不同概念之熟悉度，與平衡概念性試題與計算題的分配。導致結果顯示學生較常以運動學進行解題，研究者推測為本研究試題表徵與解題取向兩者間未達顯著差異之原因。

三、 學生的空間能力對解題取向

本研究旨在探討學生的解題取向，發現不同空間能力學生使用不同解題取向的差異。本研究為考慮兩組之人數，而以本次受試學生中，後段 50%之學生訂為低空間能力組，與康鳳梅 (2006) 之常模標準不同。本研究分組之分數標準較常模標準高，於常模中屬於高空間能力組，可能造成本研究之分組不清楚。造成本研究雖分為高、低空間能力兩

組，但可能只討論常模中高空間能力學生的解題取向及得分，以致其結果大多無顯著差異。

根據過去研究，Kozhevnikov、Motes 及 Hegarty (2007)提到低空間能力學生較無法整合兩向量問題，而運動學取向屬於向量導向，過去研究似乎暗示低空間能力學生使用運動學解題之機率較高空間能力學生低，且高空間能力學生的解題表現較佳。依據研究結果，顯示學生的空間能力與解題取向兩者間沒有顯著關係，在整體的物理試題中，高、低空間能力的學生大多使用運動學解題，兩者未達顯著差異。根據研究發現，學生的空間能力與解題取向間無明顯關聯。根據本研究發現，雖然解題取向沒有明顯差異，而過去許多研究顯示，高空間能力學生的科學學習表現較佳（左台益、梁勇能，2001；曾永祥、許瑛珖，2006；Adeyemo, 1993；Load, 1985；Tambychik, 2010），在解題表現方面，本研究之結果與過去研究的發現是不相同的，僅在某特定條件才相符(例如層級 2 圖片版)。

雖然本研究在解題表現方面與過去大多文獻不符 (Kozhevnikov、Motes 及 Hegarty, 2007)，且解題取向亦沒有顯著差異，若要說明學生的空間能力與解題取向兩者間未達顯著差異的原因，可先從試題本身作探討，承如上述所說，本研究之測驗試題為計算題型居多，概念性試題偏少。過去許多文獻對於空間能力與物理解題間的探討，大多提供概念性試題作為測驗題 (Kozhevnikov, 1999；Kozhevnikov、Hegarty & Mayer, 2002；Kozhevnikov、Motes & Hegarty, 2007)。在 Kozhevnikov 等人 (2002)研究指出，物理的計算題與空間能力沒有高度相關，反而大多與物理原理的知識或語意理解有關。根據過去研究，高空間能力學生的計算能力較佳（吳文如，2004；Blatto-Vallee et al., 2007；Casey et al., 2008；Garderen, 2003；Tambychik, 2010），而本研究所設計的試題並無法說明高空間能力學生的解題表現較佳，故本研究認為分組方式與試題本身的性質是本研究結果（解題取向、解題表現）無法達顯著差異之原因。

四、 常見的錯誤類型

根據本研究發現，將學生常見的錯誤類型分為「與物理概念無關」、「與物理概念有

關」兩大類型，與物理概念無關的錯誤類型中，尚分為「未掌握題意」、「數字計算錯誤」，與物理概念有關的錯誤類型中，分為「定義方向錯誤」、「忽略物體完整受力」、「只列出物理公式」、「混淆物理單位」、「計算過程只有一半」、「物理公式錯誤」、「不了解答案的意義」。

根據本研究的發現，發生與物理概念無關的錯誤類型的「未掌握題意」，文字表徵所佔的比例較圖片表徵高，在數學教育領域，過去許多研究說明文字表徵的試題其解題表現不佳（李俊彥，2004；劉佳璋、楊凱琳、許慧玉，2012）。大多皆指向學生無法完全掌握文字表徵試題的題意，因此解題表現不佳，本研究的結果與之有些相似。而低空間能力學生也較易發生此錯誤，低空間能力學生的心智模型操作能力較差，無法對題目產生正確的心像，自然無法了解題意。在「數字計算錯誤」的錯誤比例中，試題表徵無明顯差異，而在低空間能力學生則容易發生此錯誤，此錯誤類型與學生的數學計算能力有關係。於數學領域，探討許多數學能力與學生的空間能力兩者間的關係（吳文如，2004；Blatto-Vallee et al., 2007；Casey et al., 2008；Garderen, 2003；Tambychik, 2010），說明低空間能力學生的計算能力是較差的，這與過去文獻是相同的。根據研究發現，不少比例的低空間能力學生較高比例是因為不了解題目以及數學計算等與物理無關的錯誤，因而導致物理學習成效較差。

針對與物理有關的錯誤類型，「忽略物體完整受力」、「物理公式錯誤」此兩類型為錯誤比例最高，而過去研究暗示學生對於物理解題的困難的原因，並非是學生不瞭解物理知識概念，而是學生未能有物理系統的概念（蔡興國、陳錦章、張惠博，2010；Meriam & Kraige, 2003；Fisher, 1999）。首先對於本研究發現「忽略物體完整受力」為學生常見的錯誤，多來自學生對於系統受力的不完整，此部分與過去研究有相似的結果。再者，「物理公式錯誤」亦常見的錯誤類型，研究者認為此錯誤亦多來自學生對物理系統的分析錯誤而導致學生於列式時發生錯誤（Fisher, 1999），然而本研究發現學生另一種「物理公式錯誤」，係學生將物理概念混用導致公式錯誤，將物體的能量作為力的一種，說明學生對於物體受力的迷思概念（蔡興國、陳錦章、張惠博，2010）。

第三節 研究限制與建議

一、 研究限制

本研究之結果顯示，不同層級的物理試題會影響學生的解題取向及表現，試題表徵、學生的空間能力大多無法影響學生的解題取向。根據本研究實驗進行，下列說明相關的研究限制。

針對試題設計的部份，首先，本研究選擇高中物理課程為研究範圍，因本研究旨在探討學生的解題取向，因在高中物理範圍中，有許多的物理主題，然而「物體的運動」是在物理課程中，少數課程可藉由兩種以上的解題方式進行解題，這有別於其他物理主題，故適合做為為研究主題。若其他物理課程範圍亦可提供兩種以上解題方式，亦可作為研究主題。再者，本研究藉由自行設計的物理測驗試題，因試題表徵與試題本的設計，將圖片版試題放置於文字版試題的後方。因學生狀態、作答時間等因素，導致學生對圖片版試題留有較多空白為作答情況。這是試題表徵與題本設計時，為研究者考慮不周之處。其次，研究對象大台北地區的高中二年級學生，且已學習過相關的物理知識，尤其以學習過運動學與能量守恆的相關物理概念，學習時間約為高中二年級上、下學期，上學期學生學習運動學相關的物理知識；下學期學生學習能量守恆相關的物理知識，而本研究施測時間為下學期第二次段考後，受試學生應具備兩種物理概念，可進行解題。

而針對試題相關特性與解題取向的部份，因本研究欲探討試題層級對解題取向之差異，本研究未探討學生在不同層級試題的作答情況，例如：學生在層級 2 試題是否正確回答前置問題等，試題層級間作答的差異。因欲探討試題表徵對解題取向的影響，若學生在文字版試題，畫出圖像表徵以描述題目此類作答方式，本研究亦未探討學生的解題表徵能力，僅針對學生的列式過程作探討。因試題範圍為「物體的運動」，可使用兩種解題取向進行解題，若學生將解題取向輪流使用，例如：先使用運動學，在使用能量守恆，本研究將此過程僅歸類與運動學取向，以簡單的二分法進行歸類。

本研究之空間能力測驗之分數分佈為負偏態。對於學生的空間能力分組，本研究未以康鳳梅等人(2006)之空間能力常模作為分組依據，僅以分數做分組依據，可能形成本

研究之低空間能力學生，並非常模中的低空間能力學生，而在分組過程形成誤差。

最後，因本研究僅透過自行設計的試題卷進行解題取向或錯誤類型之歸類，未進行晤談，故無法個明確地了解學生使用不同解題取向之原因，及常見錯誤的原因。

二、 研究之建議

首先討論研究工具的部分，本研究之物理測驗試題，為自行設計之試題以符合問題之層級定義，雖本研究與許多專家討論，以符合專家效度，並藉由 2 次預試進行修改試題，建立試題的信度，但進行預試之學生與正式施測之學生並非同校，學生素質亦不相同，然而試題本身未做難度指數，導致空白、無效問卷偏高。

其次，針對試題表徵的部分，因本研究的試題設計，將文字表徵皆放置在圖片表徵前，導致學生因時間不足或疲勞效應（fatigue effect）無法寫圖片版試題，圖片版試題的無效題數較高，縱使同一層級的物理試題，文字版試題的作答題數與圖片版的作答題數並不一致。若日後有相關研究欲達較佳之結果，建議慎選預試對象，預試與正式施測之學生，建議選擇素質相近且配合度較高的學生，以減少無效問卷的機會，而研究試題本身建議將文字版試題與圖片版試題可交叉放置，減少學生的疲勞效應或因時間不足而未寫的狀況，也減少兩種表徵間的空白差距。

而針對試題層級，因層級 2 的物理試題需要較高的認知程度，故在每一題前有一小問題，先讓作答者寫下解題的想法，因而層級 2 的試題題數上較層級 1 少，而小問題的用意在於確認作答者的認知架構，但層級 2 的試題在測驗時有些許問題，有許多學生在作答時，忽略小問題，直接進行解題，以層級上來說，這是屬於層級 1 的作法，或者先進行解題，再往回寫小問題，這些做法並不符合層級 2 的要求，反之，學生先回答小問題再進行解題，解題表現普遍較佳，而後續若要有相關小問題設計，須請受試者配合完成小問題。

再者，本研究的物理解題取向主要為量化資料來源，根據本章之討論，發現本研究試題大多以計算題為，計算題雖有利於學生以較自由的方式解題，以探討解題取向，但此部分雖與學生的物理知識有關，也關係著學生的計算能力，可參考過去許多研究針對

概念性試題作探討，例如：預測，增加概念性試題的比例，可增加試題表徵與學生空間能力的影響，以達到較佳的研究成果。亦可將試題設計為引導式問題，或可在測驗後對學生做晤談，藉由學生一層一層的回答，讓研究者更明確了解學生的解題取向，亦可更貼切的了解、探討學生常見的解題錯誤。

對於空間能力分組的方式，可增加多間不同學校，以增加不同族群的學生。並考量學生之分數分佈，與參考空間能力之常模，選擇適當的分組方式，以更符合空間能力分組之差異。

三、 未來研究之建議

本研究之物理試題顯示，試題的層級會影響學生的解題取向，試題的設計分為高、低層級，於 Teodorescu 等人 (2013) 所分類的試題，屬於提取中執行與理解中的整合，針對試題層級，後續可繼續探討其他的細項或層級，例如：提取中的認識及理解中的象徵，以及另外兩個更高層級的試題分類：分析與知識利用，同樣此兩層級又含許多細項，可提供後續的研究。

雖然本研究設計的試題表徵無法影響學生的解題取向，本研究選擇常見的文字與圖片表徵，但外在表徵有許多種形式，例如：模擬、動畫...等，建議未來研究可搭配不同的設備，例如：電腦、平板電腦...等，嘗試其他不同表徵，以提供學生更多元的試題表徵，以觀察學生的解題是否更多元，解題表現是否更佳。

而本研究蒐集之資料旨在探討學生的解題取向，與常見的錯誤類型，蒐集之資料含有其餘豐富資訊可供分析，例如學生於試題中以不同表徵表現題意，學生使用 $v-t$ 圖或 $F-x$ 圖進行解題，這解題方式有別於本研究著重的公式，或者藉由晤談了解學生解題的想法、困難，這些皆可供後續研究。

本研究發現學生的常見錯誤類型為「忽略物體完整受力」、「物理公式錯誤」此兩類型，此錯誤類型多來自學生對系統的分析，過去研究也指出學生對於系統的分析不完整，導致解題困難，後續研究者可針對此兩錯誤類型或學生對系統的分析作更深度地探討。

四、教學之建議

在物理學習過程中，若要判斷學生的學習成就，大多以解題為主要方式，對於剛接觸物理的學生，運動學概念是學生學習物理的開始，而運動學有相當多的公式，每一公式中還有許多物理量，而學生對於公式中許多的物理量不了解，導致學生無法應用公式，解題自然導致許多困難，在後期，學生將接觸能量守恆的概念，能量守恆的概念中，物理量不多，但每一物理量皆為抽象的概念，學生不一定能較容易接受。

物體的運動範圍中，不論使用運動學或能量守恆概念都可進行解題，根據本研究結果顯示，學生使用運動學解題大多在低層級的物理試題，能量守恆解題則大多在高層級物理試題，教師在設計試題時，可考量教師欲測驗之解題取向而設計試題的難易度，若是試題較為困難，可藉由引導式問題引領學生作答，協助學生列式。然而不同解題取向之題表現亦有差異，但可發現使用能量守恆解題時，其表現較為穩定，不易因試題難易度而大幅度地變動，在教學現場授課時，可提供多樣化的解題方式，以幫助不同能力學生進行解題。本研究發現學生常發生的錯誤類型大多起因於系統分析錯誤，教師可讓學生以分組討論的方式，進行解題討論，用以協助學生間互相了解彼此會如何分析系統，可正確分析系統後，進而可正確地列式，可減少學生常發生的錯誤，以提高學生的學習成效。

參考文獻

中文部分

- 左台益，蔡志仁(2001)。高中生建構橢圓多重表徵之認知特性。**科學教育學刊**，9(3)，1-17。
- 吳文如(2004)。國中生空間能力與數學成就相關因素之研究（未出版的碩士論文）。台北市：台北師範學院數理教育研究所。
- 李俊彥(2004)。不同題目表徵型式的面積問題對國三學生解題表現之探討（未出版之博士論文）。高雄市：國立高雄師範大學。
- 洪文東(2006)。以創造性問題解決教學活動設計提升學生解決問題能力。**科學教育研究與發展季刊**，43，26-42。
- 康鳳梅(2002)。高工學生空間能力指標建構之研究(1/2)。行政院國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告（NSC91-2516-S-003-007），台北市：國立台灣師範大學工業教育學系。
- 康鳳梅、簡慶郎、鍾怡慧、詹秉鈞與盧永昌(2006)。高工學生空間能力常模及空間能力資源網建構之研究。**師大學報**，52（3），1-14。
- 張俊彥、翁玉華(2000)。我國高一學生的問題解決能力與其科學過程技能之相關性研究。**科學教育學刊**，8(1)，35-56。
- 陳李綢(1998)。教育心理學。台北：五南出版社。
- 陳章正、蘇明俊、江新合(2007)。高中物理解題教學及評量策略之行動研究。**屏東教育大學學報**，27，103-128。
- 曾永祥、許瑛珖(2006)。線上課程對高二學生四季成因概念學習的影響。**科學教育學刊**，14(3)，257-282。
- 黃茂在、陳文典(2004)。「問題解決」的能力。**科學教育月刊**，273，21-41。
- 劉家樟、楊凱琳、許慧玉(2012)。小六學生不同代數表徵的解題表現、教師布題順序與代數教學信念之研究。**當代教育研究季刊**，20（2），93-133。

蔡興國、陳錦章、張惠博(2010)。高中學生解題歷程之力圖表徵與列式關係之研究。 *科學教育學刊*，18 (2)，155-175。

鄭麗玉(1993)。 *認知心理學--理論與應用*。臺北：五南出版社。

英文部分

Ainsworth, S. E., Wood, D. J., & O'Malley, C. (1998). There's more than one way to solve a problem: Evaluating a learning environment to support the development of children's multiplication skills. *Learning and Instruction*, 8(2), 141-157.

Ainsworth, S. E. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33, 131-52.

Ainsworth, S. E. & VanLabeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learning and Instruction*, 14(3), 241-255.

Ainsworth, S. E. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183-198.

Alibali, M. W., Phillips, K. M. O., & Fischer, A. D. (2009). Learning new problem-solving strategies leads to changes in problem representation. *Cognitive Development*, 24, 89–101.

Bausell B. R. & Li. Y. F. (2002). *Power Analysis for Experimental Research*. Cambridge University Press.

Blatto-Vallee, G., Kelly, R. R., Gaustad, M. G., Porter, J., & Fonzi, J. (2007). Visual-spatial representation in mathematical problem-solving by deaf and hearing students. *Journal of Deaf Studies and Deaf Education*, 12, 432–448.

Boonen, A. J. H., Van der Schoot, M., Van Wesel, F., De Vries, M. H., & Jolles, J. (2013). What underlies successful word problem solving? A path analysis in sixth grade students. *Contemporary Educational Psychology*, 38, 271–279.

- Carter, C. S. , LaRussa, M. A., & Bonder, G. M. (1987). A study of two measures of spatial ability as predictors of success in different levels of general chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 24(7), 645-657.
- Chiappetta, E. L., & Russell, J. M. (1982). The relationship among logical thinking, problem solving instruction, and knowledge and application on earth science subject matter. *Science Education*, 66, 85-93.
- Cox, R., & Brna, P. (1995). Supporting the use of external representations in problem solving: The need for flexible learning environments. *Journal of Artificial Intelligence in Education*, 6(2/3), 239-302.
- Danish, J. and Enyedy, N. (2007). Remember, we have to do all the parts of the rose:Negotiated representational mediators in a K-1 science classroom. *Science Education*, 1-35.
- De Cock, M. (2012). Representation use and strategy choice in physics problem solving. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 8, 020117.
- Fisher, K. (1999). Exercises in drawing and utilizing free-body diagrams? . *The Physics Teacher*, 37, 434-435.
- Gardner, H., & Hatch, T. (1989). Educational Implications of the Theory of Multiple Intelligences. *Educational Researcher*, 18(8), 4-10. doi: 10.3102/0013189x018008004.
- Gorgorio, N. (1988). Exploring the functionality of visual and non-visual strategies in solving rotation problems. *Educational Studies in Mathematics*, 35, 207-231.
- Greenfield, L. B. (1987). Teaching thinking through problem solving. *New Directions for Teaching and Learning*, 30, 5-22.
- Halloun, I. A., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53,1043-1055.
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2006). Effects of representation on students solving physics problems: a fine-grained characterization. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 2. 010106.

- Kozhevnikov, M., Hegarty, M., & Mayer, R. E. (2002a). Visual/spatial abilities in problem solving in physics. In M. Anderson, B. Meyer, & P. Olivier (Eds.), *Diagrammatic Representations and Reasoning*, 155–173.
- Kozhevnikov, M., Motes, M., & Hegarty, M. (2007). Spatial visualization in physics problem solving. *Cognitive Science*, 31, 549–579.
- Lawson, R. A., & McDermot, L. C. (1987). Student understanding of the work-energy and impulse-momentum theorems. *American Journal of Physics*, 55, 811-817.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta--analysis . *Child Development*, 56(6), 1479. doi: 10.1111/1467-8624.ep7252392.
- Lohman, D. F. (1979). Spatial ability: A review and reanalysis of the correlational literature (Tech. Rep. No. 8), Stanford, CA: Stanford University, *Aptitude Research project. School of Education*. (NTIS NO. AD-A075 972).
- Lohman, D. F. (1988). Spatial abilities as traits, processes, and knowledge. In R. J. Sternberg (Ed.). *Advances in the psychology of human intelligence 4* , (181-248), Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Lord, T. R. (1985). Enhancing the visuo-spatial aptitude of students. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 395-405. doi: 10.1002/tea.3660220503.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125–139.
- Mayer, R. E. (2010). Problem solving and reasoning. *Learning and cognition in education*, 112–117.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics*, 55(6), 503-513.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: Psychometric studies and environmental,

- genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological Bulletin*, 86(5), 889-918.
- Meltzer, D. E. (2005). Relation between students' problem-solving performance and representational format. *American Journal of Physics*, 73(73), 463–478.
- Meriam, J. L., & Kraige, L. G. (2003). Engineering mechanics. New York: Wiley.
- Pallrand, G.J., & Seeber, F. (1984). Spatial ability and achievement in introductory physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(5), 507-516.
- Reif, F. (1995). Millikan Lecture 1994: Understanding and teaching important scientific thought processes. *American Journal of Physics*, 63(1), 17-32.
- Schofield, N. J., & Kirby, J. R. (1994). Position location and topographical maps: Effects of task factors, training, and strategies. *Cognition and Instruction*, 12(1), 35-47.
- Singh, C. (2008). Assessing student expertise in introductory physics with isomorphic problems. II. Effect of some potential factors on problem solving and transfer. *Physical Review Special Topics- Physics Education Research* 4, 010105.
- Tambychik, T., & Meerah, T. (2010). Students' difficulties in mathematics problem-solving: What do they say? *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 8, 142-151.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial orientation skill and mathematical problem solving. *Journal for Research in Mathematics Education*, 21(3), 216-229.
- Teodorescu, R. E., Bennhold, C., Feldman, G., & Medsker, L. (2013). New approach to analyzing physics problems: a taxonomy of introductory physics problems. *Physical Review Special Topics- Physics Education Research*, 9, 010103.
- Van Heuvelen, A. (1991). Overview, Case Study Physics. *American Journal of Physics*, 59, 898-907
- van Garderen, D., & Montague, M. (2003). Visual–spatial representation, mathematical problem solving and students of varying abilities. *Special Needs Research & Practice*, 18(4), 246–254.
- Wallas, G. (1926). *The Art of Thought*. New York: Harcourt-Brace.

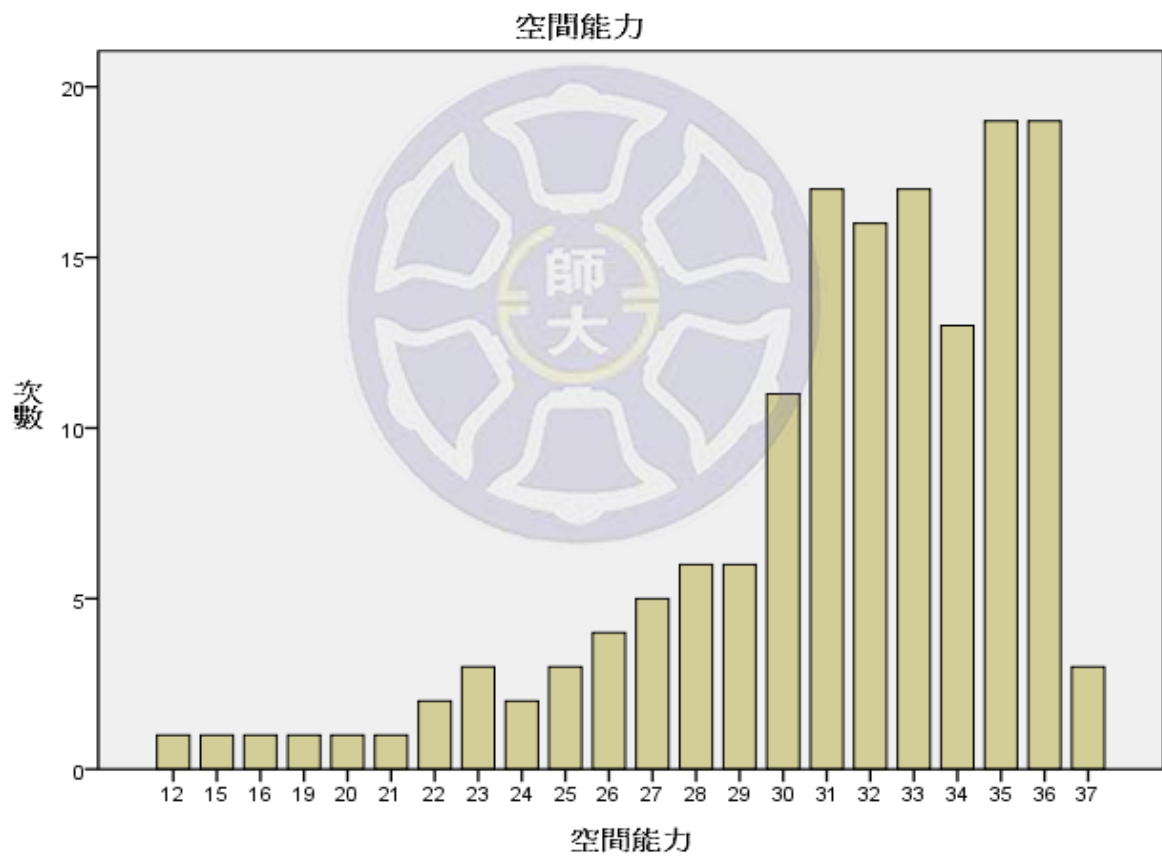
- Walsh L. N., R. G. Howard, and B. Bowe. (2007). Phenomenographic study of students' problem solving approaches in physics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*. 3, 020108.
- Wu, H. K., & Puntambekar, S. (2012). Pedagogical affordances of multiple external representations in scientific processes. *Journal of Science Education and Technology*, 21(6), 754-767.
- Zhang, J. ,& Norman, D. A . (1994). Representations in distributed cognitive tasks. *Cognitive Science* , 18, 87 -122.



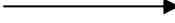
附錄

附錄一 空間能力之分佈情形

數量	有效	150
	遺漏	0
標準偏差		4.541
偏斜度		-1.539
偏斜度標準誤		.197
峰度		2.995
峰度標準誤		.391
50%		32.00



附錄二 物理測驗 A 題本

	表示為力
	表示為速率
	表示為距離

題目中的重力加速度均為 10 m/s^2

1. 一位工人在光滑平面以 30N 的水平力，推動一塊靜止的石塊（質量為 10kg ），推動的距離為 8m 。
 - (a) 請問石頭的末速為多少？
 - (b) 若改為在不光滑的平面，推動的距離為 8m ，且石塊與平面之間的動摩擦係數為 0.2 ，則石頭末速為多少？



2. 某一光滑斜面，斜面的傾斜角 37° ，現有 1 本 1.5 公斤的書放在斜面底端，當某人以 20N 平行斜面的力拉動書本，上滑的途中持續受到拉力，直到書本位移距離為 2 公尺時拉力消失，請問
 - (a) 拉力消失的瞬間，書本的速率為何？
 - (b) 拉力消失後，書本還可上滑多遠？

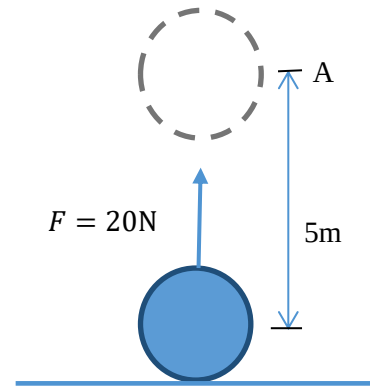
3. 有一電梯質量 1000 公斤，從距地面高 100 公尺的樓層以自由落體的方式下降，當

下降至距地面 20 公尺高時，電梯啟動安全裝置，電纜繩開始施一個定力，若電梯恰可以安全停在地面，請問電纜繩所施的定力大小為何？（不計任何阻力）

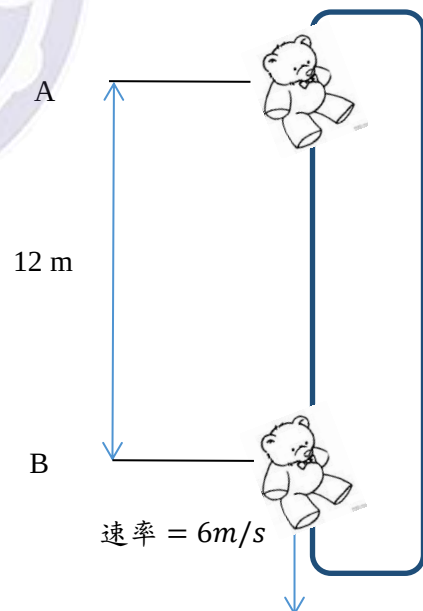
4. 運輸公司位於第 9 層樓，為了運輸產品的方便性，從公司 9 樓地板（8 樓頂）做一個光滑滑梯直通地面，此滑梯面與水平面夾 θ 角，當產品從 9 樓地板自由滑下後，著地速率為 V ，不計任何阻力。若當產品的速率為 $V/2$ 時，產品大約位於哪一層？請解釋

- (A) 2 樓
- (B) 4 樓
- (C) 6 樓
- (D) 其他地方

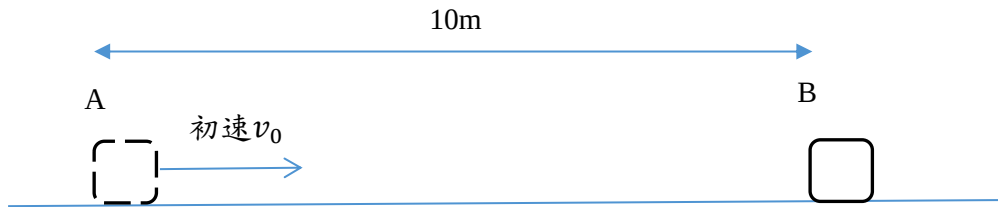
5. 將 1 公斤的球靜止放在平面，若以定力 F 向上拉，，如圖所示，請問當上升到 A 點的瞬間，球的速率為何



6. 某質量 25kg 熊在樹上，若牠自靜止抱著樹滑下，途中受到一固定摩擦力，當從 A 點滑到 B 點時，請問熊與樹之間的磨擦力為多少？

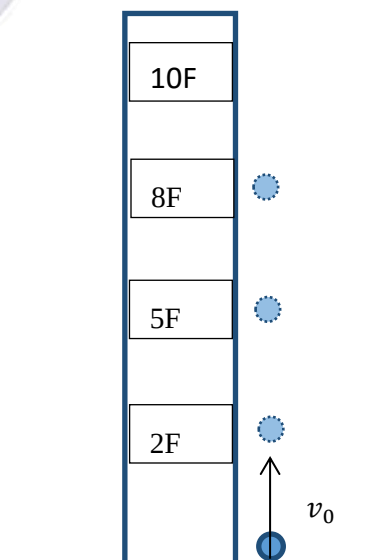


7. 在一平面上 A 點有一箱子，當箱子滑行至 B 點時停止，平面與箱子間的摩擦係數為 0.2，請問此箱子的初速 v_0 為何？

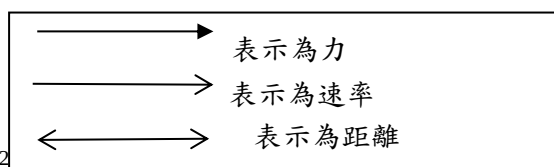


8. 光光站在某大樓一樓丟球，如圖所示，以速率 v_0 可丟至 10 樓。若光光以 $0.7v_0$ ，以相同方式丟球，請問球大約可上升至哪一樓？

- (A) 2 樓
(B) 5 樓
(C) 8 樓
(D) 其他地方



附錄三 物理測驗 B 題本



以下題目重力加速度均為 10 m/s^2

1. 將一顆 1 公斤的球靜止放在平面上，若以定力 20N 筆直往上拉，當球上升 5 公尺時，請問當上升至 5 公尺的瞬間，球的速率為何？

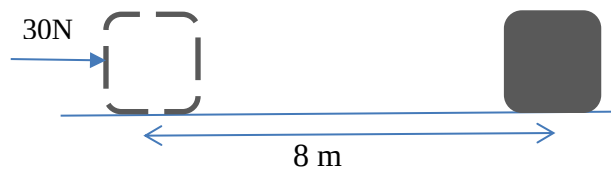
2. 某質量 25kg 的熊在樹上，若牠自靜止抱著樹滑下，途中受到一固定的摩擦力，當滑落距離為 12 公尺時，速率為 6m/s，請問熊與樹之間的摩擦力為多少？

3. 一水平面上有一箱子質量為 m ，從原點以水平初速 v_0 出發，向前滑行 10 公尺後停止，平面與箱子間的摩擦係數為 0.2，請問此箱子的初速為何？

4. 光光站在某大樓的 1 樓，他將棒球以鉛質上拋的方式丟球，當球的初速為 v_0 球可上升至 10 樓。若 光光 以相同丟球方式丟球，當球的初速為 $0.7v_0$ ，請問球可上升至大約哪一樓？

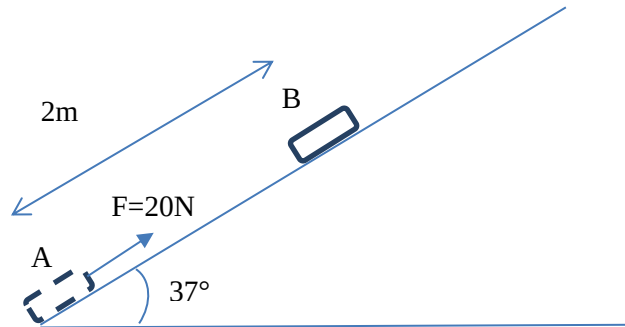
- (A) 2 樓
(B) 5 樓
(C) 8 樓
(D) 其他地方

5. 一位工人在光滑平面推 10kg 的石頭，由虛線位置推至實線位置，如圖所示
- (c) 請問石頭的末速為多少？
- (d) 若改在不光滑的平面，推動相同的距離，且石頭與平面間的動摩擦係數為 0.2 的平面，則石頭末速為多少？

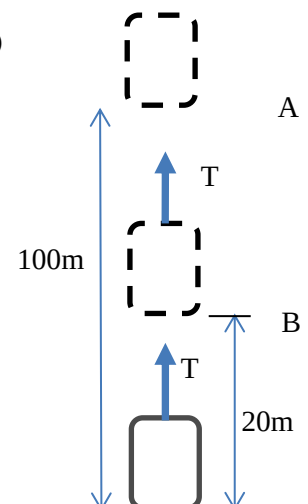


6. 某一光滑斜面，有 1 本 1.5 公斤的書從斜面底端上滑，上滑的途中持續受到拉力 F ，書本由 A 點推至 B 點，如圖所示，請問

- (a) 到達 B 點時，書本的速率為何
 (b) 到達 B 點時，拉力消失，書本還可上滑多遠

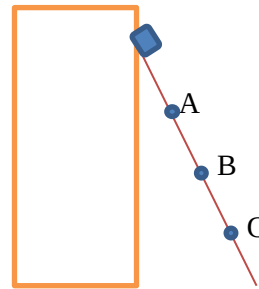


7. 如圖所示，有一電梯質量 1000 公斤，從 A 點以自由落體的方式下降，當下降至 B 點時，電梯啟動安全裝置，電纜繩開始施一個定力 T ，若電梯恰可安全停在地面，請問電纜繩所施的定力大小為何？（不計任何阻力）

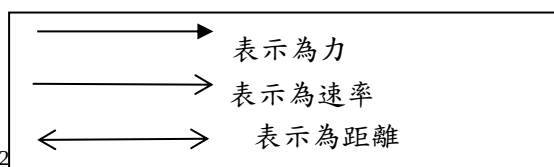


8. 運輸公司位於 9 層樓高，為了運輸產品的方便性，從 9 樓地板（8 樓頂）做一個光滑滑梯直通地面，當產品從公司滑下後，不計摩擦力，著地速率為 V 。若當產品的速率為 $V/2$ 時，產品的大約位置為何?請解釋

- (E) 位於 A 點
(F) 位於 B 點
(G) 位於 C 點
(H) 位於其他地方



附錄四 物理測驗 C 題本



以下題目重力加速度均為 10 m/s^2

1~4 請參考範例題的形式作答

在一個光滑平面上，放有 2 塊木塊，A 木塊質量為 1 公斤；B 木塊質量為 2 公斤，2 木塊相距 1 公尺。現有一顆子彈質量 0.5 公斤以某初速 v_0 ，射向 2 木塊，當子彈穿過 A 木塊後，停留在 B 木塊，發現 A 木塊具有 0.5 m/s 的速率；B 木塊具有 1.5 m/s 的速率，請問子彈的初速 v_0 為多少？

(1) 請寫下您的解題策略

1. 對子彈穿出 B 木塊前後列出動量守恆，找出子彈穿出 A 木塊後的速率 v_1
2. 對子彈穿出 A 木塊前後列出動量守恆，找出子彈的初速 v_0

(2) 請依照您的策略作解題

1. 對子彈穿出 B 木塊前後列出動量守恆， $\Delta p = 0$ ， v_1 為穿出 A 木塊後的速率

$\Delta p = 0$ 進入 B 木塊前的動量 = 穿出 B 木塊後的動量

穿出 A 木塊的子彈動量 + B 木塊動量 = (子彈 + B 木塊) 動量

$$0.5v_1 + 2 \times 0 = (2 + 0.5)1.5$$

$$v_1 = \frac{2.5 \times 1.5}{0.5} = 7.5 \text{ m/s}$$

2. 對子彈穿出 A 木塊前後列出動量守恆， $\Delta p = 0$ ， v_0 為進入 A 木塊前的初速 $\Delta p =$

0 進入 A 木塊前的動量 = 穿出 A 木塊後的動量

子彈初動量 + A 木塊初動量 = 穿出 A 木塊的子彈動量 + A 木塊動量

$$0.5v_0 + 1 \times 0 = 0.5 \times 7.5 + 1 \times 0.5$$

$$v_0 = \frac{0.5 \times 7.5 + 0.5}{0.5} = 8.5 \text{ m/s}$$

所以子彈的初速為 8.5 m/s

1. 現有一阿特伍德機（定滑輪）距地面 20 公尺，利用輕繩（不計質量）使定滑輪兩端垂直吊掛兩不同質量的物體，質量分別為 5、3 公斤，兩物體藉由外力 F ，使得兩物在同一水平面，且皆離地面 5 公尺。今外力 F 釋放，使得兩物從靜止開始移動，請問 3 公斤的物體最高「可上升」多少距離（重力加速度 10 m/s^2 ，不計任何阻力）？

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您的策略作解題



2. 現有兩滑水道甲、乙，兩個滑水道高度相同，但斜角 θ 不同， $\theta_{\text{甲}} > \theta_{\text{乙}}$ ，滑水道長度 L 不同， $L_{\text{乙}} > L_{\text{甲}}$ ，今有一個人想嘗試兩個滑水道
- A. 當滑水道「皆光滑」時，請問當人自由滑下，滑到底端時，哪一個滑水道的末速較快，其理由

(1)請寫下您的解題策略

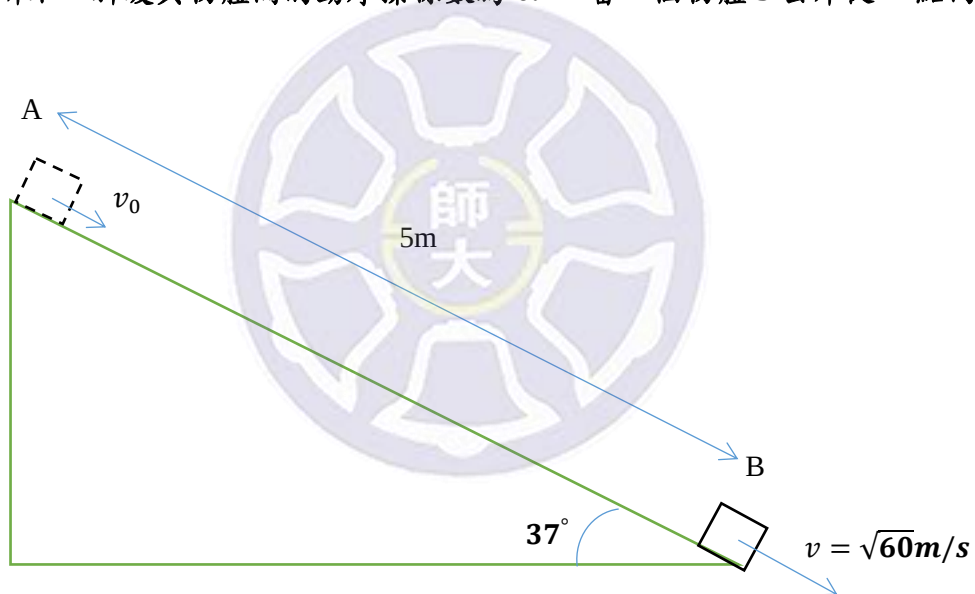
(2)請依照您選擇的策略作解題

B. 當滑水道「不光滑」時（動摩擦係數相同），請問當人自由滑下，當滑到底端時，哪一個滑水道的末速較快，其理由

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您選擇的策略作解題

3. 如圖所示，斜坡與物體間的動摩擦係數為 0.2，當一個物體 5 公斤從 A 點向下滑

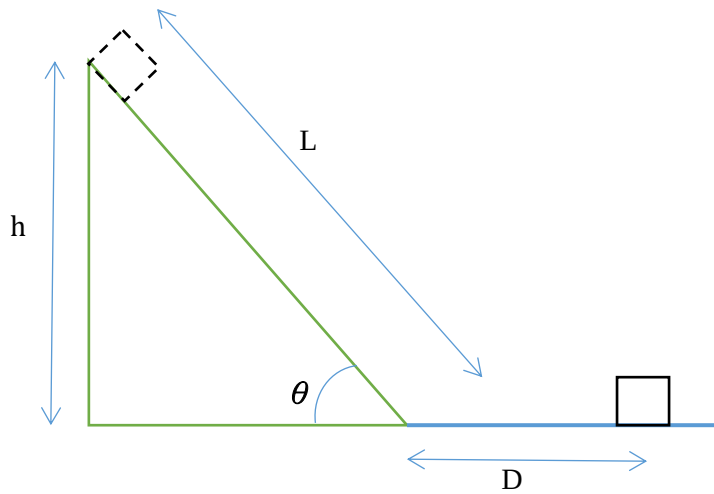


當到達 B 點，物體末速為 v ，請問物體的初速 v_0 為多少？

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您選擇的策略作解題

4. 有一溜滑梯，溜滑梯為光滑平面，如圖所示，地平面具有摩擦力，當物體從頂點



釋放後，在水平面滑行距離 D 時停止。

- A. 當斜面長 L 不變並減少高度 h 時，地平面滑行距離 D' 會大於、小於、等於 D ？

為什麼？

- (1) 請寫下您的解題策略

- (1) 請依照您選擇的策略作解題

- B. 若增加物體質量，地平面滑行距離 D'' 會大於、小於、等於 D ？為什麼？

- (1) 請寫下您的解題策略

- (2) 請依照您選擇的策略作解題

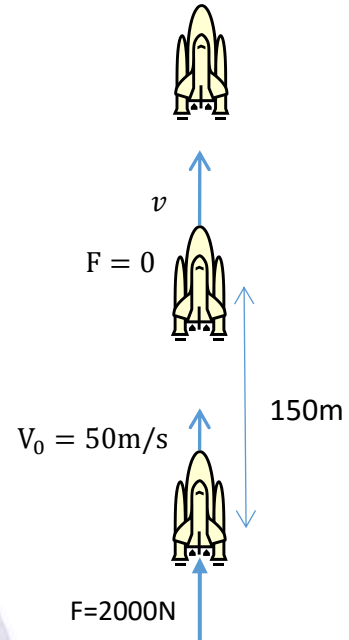
5. 一個玩具火箭質量 100 kg 以 V_0 初速垂直上升，當上升高度 A 點時，引擎停止運作（停止加速），如圖所示 F 表示上升力。重力加速度 10 m/s^2

若華華及芳芳 2 人想知道火箭可上升的最大高度，而他們有各自的方法

- i. 華華：1.利用牛頓運動定律找出火箭的加速度，
再利用運動公式找出火箭停止加速的高度
2.再藉由...，找出上升最大高度
- ii. 芳芳：1.上升力可視為外力，外力做功可改變火箭的力學能，藉此找出火箭停止加速的高度
2. 再藉由...，找出上升最大高度

(a)請你選擇其中一人的方式繼續解題

(b)依據你選擇的方式完成解題



6. 凹凹的體重是 70 kg ，他從高度 50 m 高的光滑斜坡自由滑下，此斜坡的斜面與水

平夾角為 30° (坡度 30°)，但下滑途中，凹凹受到『水平的風力迎面』吹拂，此水平風力大小恆為 $100N$ 。

若安安及慈慈 2 人想知道當凹凹滑至底部時，他的末速為何？

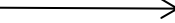
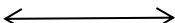
- i. 安安：將水平風力分為平行斜面及垂直斜面的力，再找出凹凹所受的合力，再利用...，找出末速。
- ii. 慈慈：重力是保守力，水平風力可視為非保守力，非保守力做功會改變力學能，藉此...，找出末速。

(a)請你選擇其中一人的方式繼續解題

(b)依據你選擇的方式完成解題



附錄五 物理測驗 D 題本

	表示為力
	表示為速率
	表示為距離

以下題目重力加速度均為 10 m/s^2

1~4 請參考範例題的形式作答

範例題

在一個光滑平面上，放有 2 塊木塊，A 木塊質量為 1 公斤；B 木塊質量為 2 公斤，2 木塊相距 1 公尺。現有一顆子彈質量 0.5 公斤以某初速 v_0 ，射向 2 木塊，當子彈穿過 A 木塊後，停留在 B 木塊，發現 A 木塊具有 0.5 m/s 的速率；B 木塊具有 1.5 m/s 的速率，請問子彈的初速 v_0 為多少？

(1)請寫下您的解題策略

1. 對子彈穿出 B 木塊前後列出動量守恆，找出子彈穿出 A 木塊後的速率 v_1
2. 對子彈穿出 A 木塊前後列出動量守恆，找出子彈的初速 v_0

(2)請依照您的策略作解題

1. 對子彈穿出 B 木塊前後列出動量守恆， $\Delta p = 0$ ， v_1 為穿出 A 木塊後的速率

$\Delta p = 0$ 進入 B 木塊前的動量 = 穿出 B 木塊後的動量

穿出 A 木塊的子彈動量 + B 木塊動量 = (子彈 + B 木塊)動量

$$0.5v_1 + 2 \times 0 = (2 + 0.5)1.5$$

$$v_1 = \frac{2.5 \times 1.5}{0.5} = 7.5 \text{ m/s}$$

2. 對子彈穿出 A 木塊前後列出動量守恆， $\Delta p = 0$ ， v_0 為進入 A 木塊前的初速 $\Delta p =$

0 進入 A 木塊前的動量 = 穿出 A 木塊後的動量

子彈初動量 + A 木塊初動量 = 穿出 A 木塊的子彈動量 + A 木塊動量

$$0.5v_0 + 1 \times 0 = 0.5 \times 7.5 + 1 \times 0.5$$

$$v_0 = \frac{0.5 \times 7.5 + 0.5}{0.5} = 8.5 \text{ m/s}$$

所以子彈的初速為 8.5 m/s

.

1. 現有一個斜坡長 5 公尺，斜面與水平面夾角 37° ，斜坡與物體間的動摩擦係數為

0.2。有一個物體質量為 5 公斤，從斜面頂端以初速 v_0 滑下，當物體滑至斜坡底端

時，物體末速為 $\sqrt{60}m/s$ ，請問物體的初速 v_0 為多少？

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您選擇的策略作解題

2. 有一溜滑梯，高度為 h ，溜滑梯長度為 L （斜面長 L ），溜滑梯平面與水平夾角為 θ ，溜滑梯為光滑平面，地平面具有摩擦力，當物體質量為 m ，由頂端自由釋放，經過斜面後，在地平面的滑行，當地平面滑行距離為 D 時，物體停止。

A. 當斜面長 L 不變並減少高度 h 時，地平面滑行距離 D' 會大於、小於、等於 D ? 為什麼?

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您選擇的策略作解題

B. 若增加物體質量，地平面滑行距離 D'' 會大於、小於、等於 D ? 為什麼?

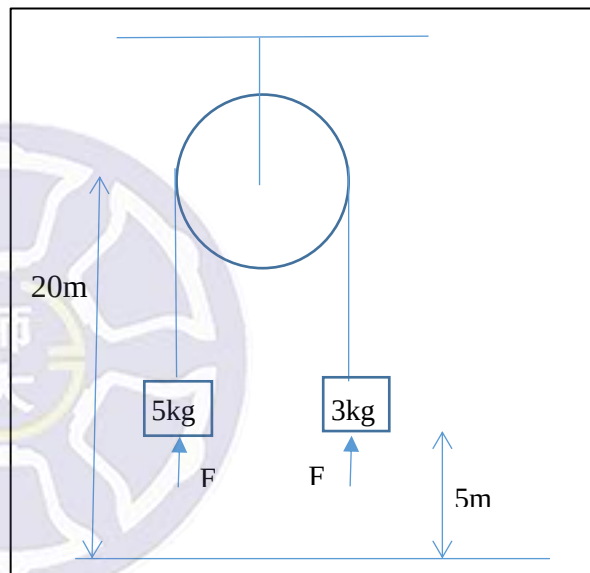
(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您選擇的策略作解題

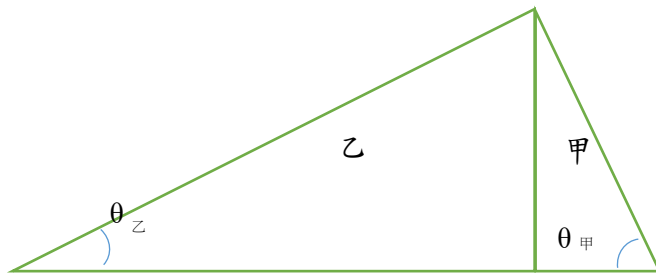
3. 現有一阿特伍德機（定滑輪），利用輕繩（不計質量）吊掛兩不同質量的物體，如圖所示，兩物體藉由外力 F ，使得兩物在同一水平面。今外力 F 釋放，使得兩物開始移動，請問 3 公斤的物體最高可上升「可上升」多少距離（重力加速度 10 m/s^2 ，不計任何阻力）？

(1)請寫下您的解題策略

(2)請依照您的策略作解題



4. 現有兩滑水道甲、乙，如圖所示，今有一個人想嘗試兩個滑水道



A. 當滑水道「皆光滑」時，請問當滑到底端時，哪一個滑水道的末速較快，其理由

(2) 請寫下您的解題策略

(2) 請依照您選擇的策略作解題



B. 當滑水道「不光滑」時（動摩擦係數相同），請問當滑到底端時，哪一個滑水道的末速較快，其理由

(1) 請寫下您的解題策略

(2) 請依照您選擇的策略作解題

5. 一個火箭質量 100 kg ，火箭以初速 50 m/s 從地面垂直上升，火箭的引擎提供 2000 N 的力，讓火箭加速上升，當上升高度為 150 m 時，引擎停止加速（重力加速度 10 m/s^2 ，不計任何阻力）。

若華華及芳芳 2 人想知道火箭可上升的最大高度，而他們有各自的方法

請選擇其中一人的方式繼續解題

華華：1.利用牛頓運動定律找出火箭的加速度，再利用運動公式找出火箭停止加速的高度

2.再藉由...，找出上升最大高度

芳芳：1.引擎可視為外力，外力做功可改變火箭的力學能，藉此找出火箭停止加速的高度

2. 再藉由...，找出上升最大高度

(a)請你選擇其中一人的方式繼續解題

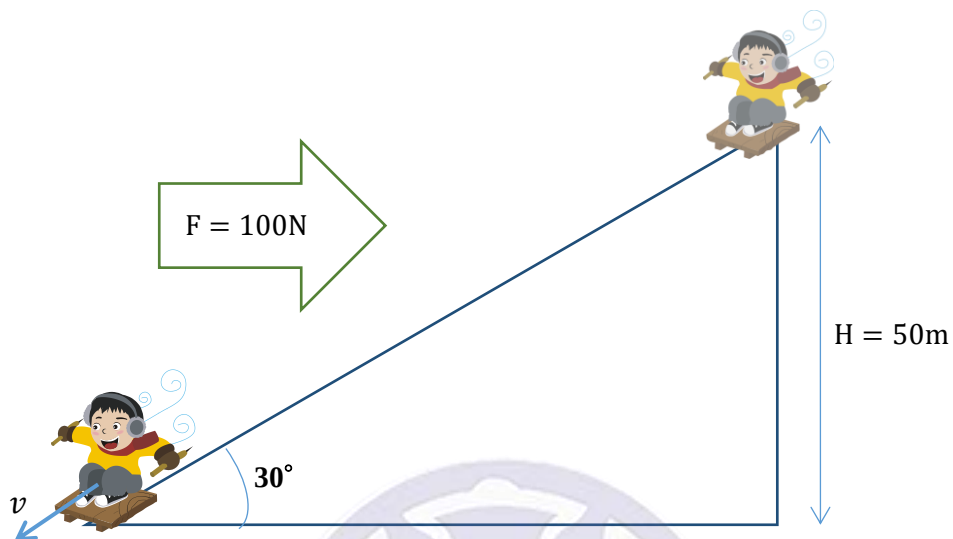
(b)依據你選擇的方式完成解題



6. 凹凹的體重是 70 kg ，他從光滑斜坡頂滑下，但下滑途中，凹凹受到風力迎面吹

拂，此風力大小恆為定值，如圖所示，地表重力加速度 10 m/s^2 。

若安安及慈慈 2 人想知道，當凹凹滑至底部時，他的末速 v 為何？而他們有各自的方法



安安：將水平風力分為平行斜面及垂直斜面的力，再找出凹凹所受的合力，再利用...，找出末速。

慈慈：重力是保守力，水平風力可視為非保守力，非保守力做功會改變力學能，藉此...，找出末速。

(a)請你選擇其中一人的方式繼續解題

(b)依據你選擇的方式完成解題

附錄六 學生在層級 1 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向之卡方檢定

試題：工人 1

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.96	1	.327		
持續更正 b	0.51	1	.473		
概似比	0.96	1	.327		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.431	.237
有效觀察值個數	79				

試題：工人 2

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.96	1	.327		
持續更正 b	0.51	1	.473		
概似比	0.96	1	.327		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.431	.237
有效觀察值個數	79				

試題：書 1

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	2.73	1	.099		
持續更正 b	1.97	1	.161		
概似比	2.75	1	.097		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.137	.080
有效觀察值個數	74				

試題：書 2

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.83	1	.364		
持續更正 b	0.30	1	.584		
概似比	0.80	1	.371		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.475	.287
有效觀察值個數	50				

試題：球

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.51	1	.475		
持續更正 b	0.21	1	.649		
概似比	0.51	1	.475		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.606	.324
有效觀察值個數	79				

試題：運輸

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	3.724	1	.054		
持續更正 b	2.697	1	.101		
概似比	3.813	1	.051		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.084	.049
有效觀察值個數	59				

試題：大樓

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.04	1	.835		
持續更正 b	0.00	1	1.000		
概似比	0.04	1	.835		
費雪 (Fisher) 確切檢定				1.000	.530
有效觀察值個數	65				

試題：電梯

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	1.17	1	.280		
持續更正 b	0.62	1	.432		
概似比	1.18	1	.276		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.382	.217
有效觀察值個數	68				

試題：熊

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	6.71	1	.010*		
持續更正 b	5.40	1	.020		
概似比	6.95	1	.008		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.015	.009
有效觀察值個數	67				

試題：箱子

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.50	1	.479		
持續更正 b	0.20	1	.657		
概似比	0.50	1	.479		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.600	.328
有效觀察值個數	64				

* $p < .05$

附錄七 學生在層級 1 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向的表現之

雙因子變異數分析

試題：工人 1

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	0.64	3	0.21	1.80	.147
截距	1514.97	1	1514.97	12822.97	<.001***
試題表徵	0.06	1	0.06	.52	.472
解題取向	0.45	1	0.45	3.79	.053
試題表徵*解題取向	0.06	1	0.06	0.52	.472
錯誤	26.23	222	0.12		
總計	1966.00	226			
校正後總數	26.87	225			

*** $p < .001$

試題：工人 2

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	8.29	3	2.76	3.51	.016
截距	1087.34	1	1087.34	1381.05	<.001***
試題表徵	0.71	1	0.71	0.90	.345
解題取向	4.61	1	4.61	5.86	.016*
試題表徵*解題取向	1.34	1	1.34	1.70	.194
錯誤	167.70	213	0.79		
總計	1570.00	217			
校正後總數	175.99	216			

* $p < .05$, *** $p < .001$

試題：書 1

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	13.40	3	4.47	4.15	.007
截距	625.18	1	625.19	581.28	<.001***
試題表徵	0.27	1	.27	0.25	.617
解題取向	9.35	1	9.35	8.69	.004**
試題表徵*解題取向	3.41	1	3.41	3.17	.077
錯誤	203.28	189	1.08		
總計	926.00	193			
校正後總數	216.67	192			

** $p < .01$, *** $p < .001$

試題：書 2

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	3.34	3	1.11	0.74	.532
截距	193.62	1	193.62	128.04	<.001***
試題表徵	0.11	1	.11	0.07	.793
解題取向	0.01	1	0.01	0.01	.928
試題表徵*解題取向	2.72	1	2.72	1.80	.182
錯誤	214.73	142	1.51		
總計	523.00	146			
校正後總數	218.06	145			

*** $p < .001$

試題：運輸

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	7.84	3	2.61	1.55	.205
截距	225.80	1	225.80	133.52	<.001***
試題表徵	2.00	1	2.00	1.18	.278
解題取向	0.32	1	0.32	0.19	.663
試題表徵*解題取向	1.13	1	1.13	0.67	.415
錯誤	257.06	152	1.69		
總計	628.00	156			
校正後總數	264.90	155			

*** $p < .001$

試題：電梯

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	18.88	3	6.29	7.11	<.001***
截距	301.12	1	301.12	340.27	<.001***
試題表徵	11.18	1	11.18	12.63	.001**
解題取向	12.38	1	12.38	13.99	<.001***
試題表徵*解題取向	6.87	1	6.87	7.76	.006**
錯誤	130.09	147	0.89		
總計	553.00	151			
校正後總數	148.97	150			

** $p < .01$, *** $p < .001$

試題：大樓

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	1.12	3	0.37	0.25	.860
截距	373.71	1	373.71	251.93	<.001***
試題表徵	0.48	1	0.48	0.32	.571
解題取向	0.02	1	0.020	0.01	.911
試題表徵*解題取向	1.11	1	1.11	0.750	.388
錯誤	213.61	144	1.48		
總計	955.00	148			
校正後總數	214.72	147			

*** $p < .001$

試題：球

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	5.28	3	1.76	2.12	.100
截距	765.42	1	765.412	920.97	<.001***
試題表徵	5.26	1	5.26	6.33	.013*
解題取向	0.16	1	0.16	0.19	.664
試題表徵*解題取向	2.25	1	2.25	2.70	.102
錯誤	147.10	177	0.83		
總計	1347.00	181			
校正後總數	152.39	180			

* $p < .05$

試題：熊

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	6.87	3	2.29	2.44	.066
截距	728.36	1	728.36	776.29	<.001***
試題表徵	0.00	1	.00	0.00	.973
解題取向	6.50	1	6.50	6.93	.009**
試題表徵*解題取向	0.09	1	.09	0.10	.758
錯誤	148.24	158	.94		
總計	1094.00	162			
校正後總數	155.11	161			

** $p < .01$

試題：箱子

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	18.97	3	6.32	4.77	.003
截距	548.06	1	548.06	413.69	<.001***
試題表徵	1.31	1	1.31	0.99	.322
解題取向	13.85	1	13.85	10.45	.001**
試題表徵*解題取向	8.22	1	8.22	6.21	.014*
錯誤	237.14	179	1.33		
總計	844.00	183			
校正後總數	256.11	182			

* $p < .05$, ** $p < .01$

附錄八 學生在層級 2 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向之卡方檢定

試題：火箭

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.46	1	.498		
持續更正 b	0.11	1	.741		
概似比	0.46	1	.500		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.512	.368
有效觀察值個數	39				

試題：斜坡

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.95	1	.329		
持續更正 b	0.48	1	.491		
概似比	0.95	1	.330		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.395	.245
有效觀察值個數	53				

試題：溜滑梯 1

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.28	1	.597		
持續更正 b	0.00	1	1.000		
概似比	0.27	1	.602		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.626	.489
有效觀察值個數	45				

試題：溜滑梯 2

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.19	1	.666		
持續更正 b	0.00	1	1.000		
概似比	0.19	1	.661		
費雪 (Fisher) 確切檢定				1.000	.512
有效觀察值個數	42				

試題：滑雪

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.56	1	.453		
持續更正 b	0.12	1	.729		
概似比	0.57	1	.449		

費雪 (Fisher) 確切檢定		.689	.368
有效觀察值個數	28		

試題：阿特伍德機

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	2.57	1	.109		
持續更正 b	1.47	1	.225		
概似比	2.72	1	.099		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.141	.111
有效觀察值個數	32				

試題：滑水道 1

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	2.24	1	.135		
持續更正 b	1.38	1	.239		
概似比	2.21	1	.137		
費雪 (Fisher) 確切檢定				.203	.120
有效觀察值個數	52				

試題：滑水道 2

	數值	df	漸近顯著性 (2 端)	精確顯著性 (2 端)	精確顯著性 (1 端)
皮爾森 (Pearson) 卡方	0.04	1	.850		
持續更正 b	0.00	1	1.000		
概似比	0.04	1	.850		

費雪 (Fisher) 確切檢定		1.000	.549
有效觀察值個數	43		

附錄九 學生在層級 2 各試題，不同表徵的試題與不同解題取向的表現之

雙因子變異數分析

試題：火箭

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	1.55	3	0.52	0.44	.729
截距	73.91	1	73.91	62.36	<.001***
試題表徵	1.05	1	1.05	0.89	.352
解題取向	0.39	1	0.39	0.33	.570
試題表徵*解題取向	0.03	1	0.03	0.03	.871
錯誤	49.78	42	1.19		
總計	127.00	46			
校正後總數	51.32	45			

*** $p < .001$

試題：斜坡

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	0.78	3	0.256	0.18	.911
截距	119.73	1	119.72	82.14	<.001***
試題表徵	0.17	1	0.17	0.12	.731
解題取向	0.50	1	0.50	0.34	.562
試題表徵*解題取向	0.05	1	0.05	0.03	.861
錯誤	93.28	64	1.456		

總計	224.00	68
校正後總數	94.056	67

*** $p < .001$

試題：溜滑梯 1

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	18.86	3	6.29	7.13	<.001***
截距	58.75	1	58.75	66.66	<.001***
試題表徵	0.14	1	0.14	0.16	.691
解題取向	17.31	1	17.31	19.64	<.001***
試題表徵*解題取向	0.11	1	0.11	0.12	.730
錯誤	46.72	53	0.88		
總計	259.00	57			
校正後總數	65.58	56			

*** $p < .001$

試題：溜滑梯 2

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	3.57	3	1.19	1.33	.274
截距	28.32	1	28.32	31.72	<.001***
試題表徵	1.35	1	1.35	1.51	.225
解題取向	2.90	1	2.90	3.25	.077
試題表徵*解題取向	1.02	1	1.02	1.14	.291
錯誤	43.75	49	0.893		
總計	113.00	53			
校正後總數	47.32	52			

*** $p < .001$

試題：滑雪

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	1.03	3	0.34	0.36	.779
截距	14.80	1	14.80	15.77	<.001***
試題表徵	0.04	1	0.04	0.04	.835
解題取向	0.56	1	0.56	0.59	.446
試題表徵*解題取向	0.13	1	0.13	.14	.715
錯誤	39.41	42	0.94		
總計	60.00	46			
校正後總數	40.44	45			

*** $p < .001$

試題：阿特伍德機

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	2.38	3	0.79	2.05	.115
截距	10.64	1	10.64	27.40	<.001***
試題表徵	0.10	1	0.10	0.26	.612
解題取向	1.69	1	1.69	4.34	.041*
試題表徵*解題取向	0.77	1	0.77	1.99	.163
錯誤	27.97	72	0.39		
總計	43.00	76			

校正後總數	30.36	75
-------	-------	----

* $p < .05$, *** $p < .001$

試題：滑水道 1

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	15.43	3	5.14	3.27	.026
截距	136.44	1	136.44	86.87	<.001***
試題表徵	1.19	1	1.19	0.76	.387
解題取向	11.53	1	11.53	7.34	.009**
試題表徵*解題取向	0.012	1	0.01	0.01	.930
錯誤	103.66	66	1.57		
總計	318.00	70			
校正後總數	119.09	69			

** $p < .01$, *** $p < .001$

試題：滑水道 2

來源	第 III 類平方和	df	平均值平方	F	顯著性
修正的模型	10.25	3	3.42	3.03	.035
截距	50.06	1	50.06	44.43	<.001***
試題表徵	3.37	1	3.37	2.99	.088
解題取向	6.71	1	6.71	5.95	.017**
試題表徵*解題取向	0.00	1	0.00	0.00	.953
錯誤	73.23	65	1.13		

總計	141.00	69
校正後總數	83.48	68

* $p < .05$, *** $p < .001$

