

國立交通大學

理學院(科技與數位學習)學程

碩士論文

探討利用「動態表徵」與「靜態表徵」教學對概念學習成效影響之研究—以「波的重疊原理」單元為例



Exploring the effect of dynamic and static representation on conceptual learning: An example of wave superposition.

研究生：張力夫

指導教授：裘性天 教授

王嘉瑜 教授

中華民國 100 年 8 月

誌 謝

從來都不知道原來寫論文這麼辛苦！這兩年真的過的好充實，每天都覺得時間不夠用，無時無刻都在被時間追著跑，時間真的過得好快，快到讓我覺得這兩年的整個過程就像一個瞬間，大腦的記憶被複製貼上般的就結束了！回想起來，這兩年真的不輕鬆啊！這一路走來，要感謝好多人…

首先最感謝的是我兩位親愛的指導教授，謝謝嘉瑜老師超認真地帶領我，每次 meeting 都很有耐心地替我解答論文中的困惑，哪怕是再簡單不過的問題，也從來沒看過您不耐煩，而且總是非常的和藹可親，謝謝嘉瑜老師！謝謝裘老師在如此忙碌的情況下，仍然每次都很努力地擠出時間陪我們 meeting，雖然與您的交談並不多，但老師對事情那種獨特的見解以及幽默地談吐，總是讓我收穫良多，謝謝裘老師！還要感謝口試委員邱國力教授對論文提的建議，讓我的論文可以盡善盡美。

再來要感謝的就是我的夥伴們了！感謝朝閔學長這兩年的照顧，這兩年多虧了你，每次有不懂的地方找你就對了！真的很謝謝學長！感謝贊樺與婷怡兩位美女以及仕文爸爸，這兩年多虧了你們的陪伴，讓我這兩年的研究所生涯增加了許多樂趣！

最後，要感謝的是我的家人。謝謝媽媽這兩年的幫忙與無微不至的照顧，您總是體諒我要一邊工作一邊進修，所以家裡大大小小的事情您捨不得讓我做，只是特別叮嚀我要多休息，別累壞身子了！媽媽謝謝您！我愛您！謝謝爸爸這兩年總是在我無助需要救援的時候對我伸出援手，每當我遭遇到困難，您總是能提供我解決事情的辦法，老爸！謝謝您！謝謝可愛的小寶總是那麼乖巧，謝謝姐與姐夫總是替我加油打氣。

走完這兩年，要感謝的人真的還有好多好多，謝謝所有曾經幫助過我的人，也要謝謝交大，這兩年讓我又更加的成長與精進，謝謝！

摘要

本研究旨在探討以「動態表徵」或「靜態表徵」進行教學，對高中生於「波的重疊原理」單元學習成效影響之差異。為達成研究目的，採實驗研究法之準實驗設計，以北區某高中三年級兩班學生分為實驗組 I 與實驗組 II，進行兩堂的教學實驗。實驗組 I 運用物理教學網站之波的重疊動畫教材進行教學；實驗組 II 則是將動畫教材中的瞬間畫面擷取出來，作為靜態圖片教材來進行教學，比較兩組學生在概念成效試卷表現，以及學習過程成效記錄之表現差異。

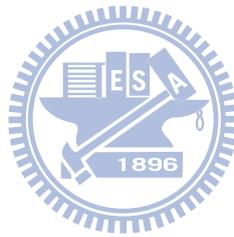
結果顯示實驗組 I 相較於實驗組 II 在經過實驗教學後，在概念成效試卷表現與前測成績相比較，後測與延宕測均有更好的學習成效，顯示使用動態表徵教學較使用靜態表徵，更有助於學生概念學習成效與保留成效的增進。另外針對學習過程成效記錄進行分析，結果呈現接受動態表徵教學之學習者較接受靜態表徵者亦有較佳的教學成效，且達顯著差異。本研究顯示「動態表徵」教學較「靜態表徵」教學，對波的重疊原理單元能夠產生好的概念學習成效。



英文摘要

This study aimed to explore influence on outcomes of scientific conceptual construction through teaching principles of wave superposition with “dynamic representation” or “static representation”. To achieve the purpose of research, a quasi-experimental design was conducted, high school students in the Northern Taiwan. Dynamic or static representation was incorporated into a design of instruction on wave superposition. Students in the experimental group I received instruction incorporating dynamic representations. Students in the experimental group II received instruction incorporating static representations. Students’ performance on a conceptual diagnostic exam and on their learning worksheet were analyzed to determine effectiveness dynamic and static representation on assisting high school students’ learning concept of wave superposition.

The results showed that students who received instruction with dynamic representations outperformed those who received instruction with static representations on their post and postpond test's scores of conceptual diagnostic exams well as on their scores of learning worksheet. That the use of dynamic characterization of the concept of teaching can help students learning and retention enhance the effectiveness. Another record for the effectiveness of the learning process analysis, dynamic characterization results presented to accept the teaching of learners are also better teaching and learning, and significant differences . This study suggest that instructions incorporating dynamic representation is more effective in assisting learning of wave superposition, in comparison to instructions combining with static representation.



目錄

一、緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的與待答問題.....	3
1.3 名詞解釋.....	3
1.4 研究範圍與限制.....	5
二、文獻探討.....	6
2.1 波的重疊原理之迷思概念和學習困難.....	6
2.2 多媒體動畫輔助教學之理論分析.....	12
2.3 動態表徵對科學學習成效影響之相關研究.....	15
三、研究方法.....	21
3.1 研究程序.....	21
3.2 實驗設計.....	23
3.3 研究對象與工具.....	25
3.4 實驗過程與處理.....	38
3.5 資料蒐集與分析.....	39
四、研究結果與分析.....	40
4.1 不同表徵教學對「波的重疊原理」單元之概念學習成效與保留成效之分析... 40	40
4.2 不同表徵教學對「建設性干涉與破壞性干涉」及「自由端與固定端反射」單元之概念學習成效上與保留成效之分析.....	45
4.3 不同表徵教學對於概念學習過程成效之分析.....	51
五、結論與建議.....	56
5.1 結論與討論.....	56
5.2 建議.....	58
參考文獻.....	60
附錄.....	65
附錄一 動態表徵教學教案與靜態表徵教學教案.....	65
附錄二 概念學習成效試卷.....	96
附錄三 學習過程紀錄單.....	102

表目錄

表 2-1-1 高中生在學習波的重疊原理前常見的迷思概念類型與持有率.....	8
表 2-1-2 高中生在學習波的重疊原理後的迷思概念與持有率.....	9
表 2-1-3 高中生學習波的反射之正確觀念學前、後持有率比較.....	10
表 2-1-4 99 課綱普通高級中學選修科目「物理」課程綱要「波的重疊原理」教材綱要說明表：.....	11
表 2-3-1 國外研究不同表徵教學對於學習成效之影響相關文獻.....	17
表 3-2-1 實驗設計表.....	24
表 3-3-1 研究對象人數表.....	25
表 3-3-2 建設性干涉教學設計說明表.....	28
表 3-3-3 破壞性干涉教學設計說明表.....	29
表 3-3-4 自由端反射教學設計說明表.....	30
表 3-3-5 固定端反射教學設計說明表.....	31
表 3-3-6 學習成效試卷試題與教學內容雙向細目表.....	35
表 4-1-1 概念學習成效試卷之敘述性統計分析.....	40
表 4-1-2 概念學習成效試卷之推論性統計分析.....	41
表 4-1-3 概念學習成效試卷前測與延宕測之敘述性統計分析.....	42
表 4-1-4 概念學習成效試卷前測與延宕測之推論性統計分析.....	42
表 4-1-5 概念學習成效試卷後測與延宕測之敘述性統計分析.....	43
表 4-1-6 概念學習成效試卷後測與延宕測之推論性統計分析.....	43
表 4-1-7 實驗組 I 與實驗組 II 在前測、後測以及延宕測的平均分數.....	44
表 4-2-1 概念學習成效試卷次主題之敘述性統計分析.....	45
表 4-2-2 概念學習成效試卷第 1 到 9 題之推論性統計分析.....	46
表 4-2-3 概念學習成效試卷第 10 到 13 題之推論性統計分析.....	46
表 4-2-4 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之敘述性統計分析.....	47
表 4-2-5 概念學習成效試卷第 1 到 9 題前測與延宕測之推論性統計分析.....	48
表 4-2-6 概念學習成效試卷第 10 到 13 題前測與延宕測之推論性統計分析.....	48
表 4-2-7 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之敘述性統計分析.....	49
表 4-2-8 概念學習成效試卷第 1 到 9 題後測與延宕測之推論性統計分析.....	49
表 4-2-9 概念學習成效試卷第 10 到 13 題後測與延宕測之推論性統計分析.....	50
表 4-3-1 學習過程紀錄描述統計分析.....	52
表 4-3-2 學習過程記錄單各項成績同質性假設之檢定 LEVENE 檢定分析表.....	52
表 4-3-3 「波的行進」與「波的重疊」成績描述性與推論性統計分析.....	53
表 4-3-4 學習過程記錄單各項細部概念成績同質性假設之檢定 LEVENE 檢定分析表.....	54

圖目錄

圖 3-2-1 研究架構圖	23
圖 3-2-1 學習單題組一之圖形.....	37
圖 3-4-1 實驗流程圖	38
圖 4-1-1 實驗組 I 與實驗組 II 在前、後測、延宕測的平均分數折線圖	44
圖 4-2-1 實驗組 I 與實驗組 II 在次主題「建設性干涉與破壞性干涉」中前、後測以及延宕測的平均分數折線圖	50
圖 4-2-2 實驗組 I 與實驗組 II 在次主題「自由端與固定端反射」中前、後測以及延宕測的平均分數折線圖	51



一、緒論

本研究旨在探討利用「動態表徵」或「靜態表徵」，對於學習者之學習成效是否會產生不同的差異。本章共分為五節加以說明：第一節為研究背景與動機；第二節為研究目的與待答問題；第三節為研究假設；第四節為名詞解釋；第五節為研究範圍與限制。

1.1 研究背景與動機

在自然研究領域中，物理科學是最重要的基礎科學之一。物理科學所探討的是大自然美麗的現象，它所強調的是如何研究大自然的運行法則的科學方法(鄭秀芬, 2003)。許多專家認為物理科學是以訓練學生觀察、測量、推理、歸納等能力，並以做科學的客觀、細心、誠實、尊重自然等態度為目的(鍾秀景、郭遠明、郭重吉, 民 75 年)，所以物理教育對於科學素養的養成是相當基本且重要的。但受到我國升學制度的影響，物理教師的教學型態常在教學生如何應付考試，使得物理課常常只是在講授科學的知識以及訓練解題技巧，導致學生不斷地背公式、解題目，因而違背物理教育的本意(鄭秀芬, 2003)。

所以身為一位高中物理教師，應該要本著物理教育的根本精神，著重於自然現象的觀察，從實驗中訓練學生親自動手做：觀察、測量及歸納等重要的基本能力，進而培養出他們擁有科學素養，擁有作科學的細心、誠實及尊重自然的態度。但有某些自然現象不容易在日常生活中觀察，也不容易在實驗室中被創造出來觀察，例如：波的重疊現象。波動現象是個既基本又重要的現象，在我們日常生活中許多現象皆與波動原理有關。但波動是個抽象且不易觀察的物理現象，撇開肉眼看不見的聲波及生活中無所不在但波動性質卻虛無飄渺的光波不說，就連一般容易觀察到的水波、繩波等物質波，也因為它僅存在於運動的狀態下，除非具有豐富想像力的學生，否則極不容易去「捕捉」到它的真正性質(鍾秀景、郭遠明、郭重吉, 民 75 年)，而波的重疊現象則更難在日常生活中直接觀察或覺察。「波的重

疊原理」單元在傳統教法中，教師常在黑板上以粉筆畫出波形來說明，而學生們看到的是「凍結」的波形，不容易領會出波的動態傳遞的物理現象。所以當老師在講台上揮汗如雨地講解波的重疊原理，在學生腦海裡能夠停留的只是一堆線條與煩人的名詞而已(鄭秀芬, 2003)。

為了避免上述的情況，教師應設法協助學生對抽象的波的重疊現象在心裡建立動態的心像。早期想要在傳統課堂中以板書呈現各種表徵的教學存有許多限制，往往不能將概念中真正想要傳達的意義或過程表示出來。但在現今電腦科技發達的時代，這些概念的表徵可藉由許多工具(如各式的軟硬體)來呈現，且藉著電腦科技的輔助，可將概念具體化，把許多複雜且抽象的情況變成可看見的、實際的表徵，使它們更容易被了解。因此，適當地使用電腦多媒體輔助教學，可以帶給學生好的學習情境，並獲得正面助益的學習成果(蕭登仲, 2002)。

針對波的動態特性，本研究欲探討以多媒體的方式將動態表徵融入教學，與較為傳統的靜態表徵教學相比較，對高中生在有關波的重疊原理的概念學習成效是否有差異，而本研究融入多媒體的方式為教師在課堂教學中，搭配電腦動畫或 PowerPoint 來進行教學，多媒體只是教學教材的一部分，只是增加學生學習的一個管道或方法，而非以多媒體教學完全取代教師的角色(鄭秀芬, 2003)。Rieber(1994)曾提到電腦無法取代課室教學的某些獨特性質，也無法像老師一樣會因學生的反應而隨時調整，或在學生的需要增強自信時採取鼓勵的方式來進行教學。

本研究期望能提供以下之貢獻：一、透過於實務現場協助高中生藉由動態表徵或靜態表徵學習「波的重疊原理」課程單元之研究結果，對教師及教育研究者提出建議，如探討以動態表徵或靜態表徵融入教學，何者對於學習者之概念學習成效有較好的影響。二、瞭解高中生學習「波的重疊原理」課程單元相關概念之現況，以提供教師做為教學方面的建議，如教學策略、教材教具及教學活動安排之參考。

1.2 研究目的與待答問題

一、研究目的

根據前述的研究背景與動機，本研究之目的是在了解以多媒體輔助教學時，使用「動態表徵」或「靜態表徵」融入教學，對於高三學生學習「波的重疊原理」單元的概念學習成效以及概念學習保留成效之影響。

二、研究問題與假設

依據上述的研究目的，本研究欲探討下列之問題：

- (一) 不同教學模式(實驗組I-融入動態表徵、實驗組II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習成效有何差異？
 - 1-1 不同教學模式對學生的概念學習成效達顯著差異。
- (二) 不同教學模式(實驗組I-融入動態表徵、實驗組II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習保留成效有何差異？
 - 2-1 不同教學模式對學生的概念學習保留成效(前測、延宕測)達顯著差異。
 - 2-2 不同教學模式對學生的概念學習保留成效(後測、延宕測)達顯著差異。
- (三) 不同教學模式(實驗組I-融入動態表徵、實驗組II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習過程成效有何差異？
 - 3-1 不同教學模式對學生的概念學習過程成效總分達顯著差異。

1.3 名詞解釋

一、多媒體

本研究採用 Mayer(2001)的定義，認為多媒體包含文字(words)及圖片(pictures)；文字即為語文型式的呈現，包含了書寫方的視覺文字及口語方式來表達的文字；而圖片指的是圖像型式的呈現方式，包含了靜態圖片與動畫二種。

二、表徵融入教學

本研究中的表徵融入教學是指在研究者在進行教學時，同時搭配使用電腦教學程式，以動畫或靜態圖像作為傳遞部分教材內容訊息的介面。本研究之表徵融入教學共分為下列兩種模式：

- (一) 電腦動畫搭配教師口語說明
- (二) 靜態圖像搭配教師口語說明

三、概念學習成效

概念學習成效為學習者在完成學習後，對於所學習內容之記憶程度(邱惠芬, 2003)。而本研究所指的概念學習成效為本研究之實驗樣本在研究者所編撰的學習成效試卷測驗上所得的成績，答對題數越多代表其學習成效越好。而研究者所編撰的學習成效試卷乃是擷取部分鄭秀芬(2003)與部分Tongchai(2009)和Caleon(2010)所研究發展之診斷工具，結合而成的概念學習成效試卷，並且經過其他專家審核修正而成。

四、概念學習過程成效

本研究指的概念學習過程成效乃是本研究之實驗樣本在研究者所自編的學習過程記錄單(學習單)上所得的成績，分數越高代表概念學習過程成效越好。而研究者自編之學習過程記錄單則為研究者自身與兩位教學經歷達15年以上的高中物理教師討論並修改後，再與兩位國立大學同時具有理工與教育背景的教授作深入探討，最後修訂後完成。

五、概念學習保留成效

本研究所指的概念學習保留成效分為兩種，第一種為本研究之實驗樣本在研究者所編撰的學習成效試卷測驗中前測成績與延宕測成績之差距，差距越大代表其學習保留成效越好，意即學習者的記憶越多。第二種則為本研究之實驗樣本在研究者所編撰的學習成效試卷測驗中後測成績與延宕測成績之差距，差距越小代表其學習保留成效越好，意即學習者遺忘的部分越少。

1.4 研究範圍與限制

一、研究範圍

本研究所探討動態表徵教學與靜態表徵教學對學習的影響，是以動態或靜態表徵搭配教師授課，在推論到其他多媒體融入教學設計對學習成效影響時須謹慎推論；本研究探討融入動態或靜態表徵對學習「波的重疊原理」概念之影響。由於不同單元的概念性質不同，因此動態或靜態表徵融入教學對學習的成效亦可能不同，故研究結果可能較不適合推廣到其他學科概念

二、研究限制

因考量時間、人、物力資源，本研究有限制存在。研究樣本方面，本研究對象為北區某高中高三學生，是否合適推廣到其他年級或年齡層，仍有待證明。另本研究的主題為高三選修物理（上）的一個主題，教學時間僅有兩堂課，共 100 分鐘，所以研究結果可能會與進行長期教學的研究結果不同。

二、文獻探討

本研究在探討教師使用電腦多媒體，以「動態表徵」與「靜態表徵」於「波的重疊原理」單元來輔助教學，對學習者的概念學習成效之影響。故本章分成三個主題來進行討論：首先第一節先針對波的重疊原理之迷思概念和學習困難來作探討，接著第二節將進行多媒體動畫輔助教學之理論分析，最後第三節則分析動態表徵對科學學習成效影響之相關研究。

2.1 波的重疊原理之迷思概念和學習困難

2.1.1 高中生學習物理的迷思概念之來源探討

高中生在接受學校的正式教育之前已經對大自然的部分現象發展出自己的一套想法(Driver & Erickson, 1983)。他們覺得高中生對於大自然現象的見解和說明模式具有個人獨特的想法。這樣的看法自成一套完整的觀念架構，但對事物常和科學家有不同的見解。Redish(1993)曾指出高中生對物理觀念的迷思一部份來自以前的經驗，另一部分則受到我們平常所用語言的影響；除此之外，一般日常生活中的常識和推論的方式亦可能造成學習者無法理解正確的觀念。Redish 亦認為大多數高中生無法清楚分出物理與數學公式的不同，也不能辨別出何謂在實驗之前所提出的假設、何謂在實驗後所得到的結果，這些原因都可能是造成高中生在學習物理觀念時產生迷思概念的原因。

除了上述的因素之外，高中生學習物理會產生迷思概念的原因，有一部分是來自於老師的教學。Hewson 和 Hewson (1983)認為科學教學的主要困難之一，在於老師不易體會高中生對科學理論敘述中的用字遣詞可能停留在他們原本的想法。高中生對於一些科學的專有名詞的意義與解釋，經常存有迷思觀念，當學生嘗試從自己的見解提出合理的想法時，在對於科學專有名詞的錯誤使用也經常是問題的重點之一。

教學者若希望教學能夠具有效率，且有效減少學習者所產生之迷思概念，則要先設法了解學習者的學習習慣與困難。我們可以參考美國物理教育研究團體(Physics Education Research, 簡稱 PER)對於教學所提出的幾點看法：

1. 老師在教學的過程中需要將教學的重點由課本內容教授於學生身上。
2. 老師要從各個方面去收集與加以吸收所要授與學生的知識。
3. 老師要能清楚聆聽高中生的看法與想法，並試著找出學生們在上課前後的想法、想法及認知有何差異性。

此外，學生在學習一個新的科學概念時，如果這個概念是抽象的，在日常生活中很難親身體驗及感受，則學生容易形成迷思概念。譬如陳建偉(2008)提到學生對於微觀的概念多不了解，主要原因在於學生在日常生活中接觸到的多是巨觀世界的現象，因此較不容易將巨觀現象與微觀的概念做連結，做合理的解釋或預測，所以容易產生迷思概念。

由此可知，高中生的迷思觀念除了來自於日常生活中的經驗和文化語言外，還有來自對所需要學習的科目不熟悉感，當高中生無法正確的使用方式進行學習，老師的教學成效一定會大大地降低。所以要如何去知道高中生的想法，進而去協助高中生去進行更有效率的學習，是所有教師們要加以關注的一個重要議題。

2.1.2 學生對於波的重疊原理之迷思概念探討

一、波的重疊原理部分

在日常生活中，波動概念並不容易透過一些簡單的生活經驗而建構起來，所以大部分高中生在學習波動的相關概念前，整體概念架構其實是不完整的(鄭秀芬, 2003)。尤其是波的重疊之現象，在日常生活中更是難以直接的被觀察到，因此有許多學者(Wittmann, 1996; Wittmann, Steinberg, & Redish, 1999)指出高中生在學習波的重疊原理單元之前，常見的迷思概念有下列這些：

1. 高中生將兩波的振幅同向重疊和兩波的位移反向重疊視為不相同的情況，而答案將會隨著不同情況而有所改變。
2. 高中生會認為兩波的振幅反向重疊時，當兩波完全重疊時，不論兩波的振幅多大一定都會完全抵消。

3. 高中生會認為兩波的振幅同向重疊時，兩波的振幅一定會相加，但是卻不知道為什麼會相加。
4. 高中生只會在脈衝波完全重疊時才會將波的振幅彼此相加，卻不能認同重疊原理為介質上的每一個點均能進行點對點的垂直位移相加，高中生只會認為“振幅重疊時”（依據學生的講法是為脈衝波的最高點），才能夠相加。
5. 高中生會將脈衝波與粒子相向運動進行比較，認為同樣大小的兩個脈衝波會彼此碰撞而彈開，或認為大波會把小波抵消，並且保持原來行進的方向繼續往前行（因為大波抵消小波，所以現在的大波會因而減弱）。

還有些高中生會認為在繩子上相遇時，兩波會互相抵消(Snir, 1989)。而鄭秀芬（2003）所做的研究，亦對學生在學習波的重疊原理前常見的迷思概念類型和持有率作了統整，如表 2-1-1：

表 2-1-1 高中生在學習波的重疊原理前常見的迷思概念類型與持有率

主題	學前迷思概念	持有率(%)
波的重疊原理— 建設性干涉	認為大波會蓋住小波，只會看見大波	23.4
	認為波相向重疊所以振幅要相減	30.7
	認為波相向碰撞會彈開，不會重疊	5.1
	認為相向傳遞，所以重疊後會完全相消	12.3
	認為大波小波部分相消，重疊後剩餘部份朝原方向移動	15.1
	認為兩波會合成更大波，重疊後朝原大波行進方向移動	6.7
波的重疊原理— 破壞性干涉	認為重疊後完全相消，不會再有波形	30.1

而至於在學習波的重疊原理單元後的情形，整理如下表 2-1-2：

表 2-1-2 高中生在學習波的重疊原理後的迷思概念與持有率

主題	學後迷思概念	持有率(%)
波的重疊原理— 建設性干涉	認為重疊時，大波會蓋住小波。	15.9
	認為波重疊時振幅要相減。	24
	認為兩波會碰撞彈開。	10.4
	認為重疊時會完全相消。	2.2
	認為重疊後會維持重疊時的波形，朝大波原行進方向前進。	25.7
	認為小波碰撞大波，反射波形位移會顛倒。	6.6
波的重疊原理— 破壞性干涉	認為重疊後波形會相消而消失。	51.7

由上述兩表的比較，我們可以發現高中生在學習波的重疊原理前後，部分的迷思概念持有率有下降的趨勢，只有在建設性干涉中，認為兩波相遇時「會碰撞彈開」的持有率是增加的。另外在破壞性干涉，認為兩波相遇重疊時，波形會彼此相消而消失的學生持有率是增加的，且高達二分之一以上！而在學前有少部分的學生認為大波小波相遇時會完全抵消，在學後反倒在「認為重疊後會維持重疊時的波形，朝大波原行進方向前進」的比例是增加的。此外，在學習後有少數的學生將波的重疊原理和波的反射之觀念混淆，認為小波碰撞大波，反射波形位移會顛倒。

二、波的自由端與固定端反射部分

在上一個段落裡，我們討論了有關波的重疊原理之迷思概念的主要成因為：學生很難從日常生活中觀察與體會波的重疊原理所產生之現象或效應。對於波的自由端與固定端反射的現象也是一樣，許多高中生對於判斷究竟是自由端還是固定端的反射的脈衝波會不會上下顛倒而感到困難 (Wittmann, 1996; Wittmann, et al., 1999)。

而鄭秀芬 (2003) 在其研究中，亦將學生在學習波的自由端反射與固定端反射前、後，正確觀念的學生持有率念作了統整，詳如下表 2-1-3：

表 2-1-3 高中生學習波的反射之正確觀念學前、後持有率比較

主題	正確觀念	學前 持有率(%)	學後 持有率(%)
波的固定端 反射	知道固定端不可能產生移動	68	50.8
	知道反射波的位移會顛倒	23.1	20.2
波的自由端 反射	知道自由端可以自由移動	48.3	81.4
	知道反射波的位移方向不變	19.8	76.5

由上表可以清楚的看見在學習前後，對於波的固定端反射之正確觀念，學生持有率都有下降的趨勢，尤其是能夠知道固定端不能動的學生比例，下降至二分之一，而知道反射後位移會顛倒的學生比例則是持續低迷，大約只有五分之一的學生能夠知道這個正確觀念。在波的自由端反射的部分，兩個正確觀念都有很明顯的提升，顯示在學習後，波的自由端反射對於學生是較容易去理解的。

鄭秀芬(2003)認為高中生對於波動所擁有的觀念幾乎來自於日常生活中與學校課業所學，且常以生活中的經驗來解釋課堂所學的新訊息。例如：以聲波的傳遞而言，高中生會以為擁有較大衝力的聲波會傳遞的比較遠，上例說明高中生在接觸一個新的物理觀念時，會將所得到的新訊息與舊有的經驗重新組裝，建構成為自己所認為較為合理的新觀念。而有關波的重疊原理的迷思概念研究結果也顯示，高中生對於波的重疊現象不具備統整性的理解，所以沒辦法運用這些不完整且較為零碎的知識去理解或整合在課堂上所學的概念。

2.1.3 波的重疊原理單元之內容與學習目標探討

現在的高中物理單元裡，「波動」的現象是抽象的、不容易具體描述及說明的物理現象之一，要如何將抽象的概念轉換成較為具象使學生更能接受，就是在波的重疊原理教學中會面臨的問題。在動手設計合適的教學之前，教師需先針對波的重疊原理單元，分析所應達到的教學目標，以及在

進入這個單元前，高中生所應具備的概念與能力為何。

早在國中階段學生就已學習過波的反射之相關概念，當時是以回聲作為例子，說明在聲音的傳播過程中，若是遇到障礙物，與障礙物的表面接觸時，聲音會有部分被吸收而部分被反射的現象，被反射回來的聲音即為回聲。而能否觀察到回聲則與障礙物之表面以及觀察者與障礙物之間的距離有關。此外，學習者在高一基礎物理的內容中，也在「聲音」以及「光」這兩個主題學過波動的相關概念，但卻對波的重疊原理並沒有太多的描述。

而以目前大部分的高中教材來看，波的重疊原理被安排在物質科學物理篇(下)的最後一章，銜接在力學之後，讓高中生可以在具備運動力學的理解基礎下明白波的傳遞需要介質，以及理解質點在介質中的運動狀況，來幫助學生了解波動的本質，且幫助學生學習高三的選修物理中學習聲波與光等課程(鄭秀芬, 2003)。

教育部所公佈 99 課綱-普通高級中學選修科目「物理」課程綱要中，有關波的重疊原理單元的教材綱要如下表 2-1-4。

表 2-1-4 99課綱普通高級中學選修科目「物理」課程綱要「波的重疊原理」教材綱要說明表：

繩波的反射與透射	說明繩波在遇到不同介質介面時的反射和透射的情形。
波的重疊原理	說明兩獨立波在同一介質中相遇時，其合成波的位移會疊加。

在了解學習者對於波的重疊原理之迷思概念後，教學者應形成一些策略來協助學習者去解決迷思概念，並且建立正確的波的重疊原理之相關概念，以利下一階段的物理學習。

2.2 多媒體動畫輔助教學之理論分析

2.2.1 多媒體動畫的基本概念

李賢輝（1999）指出，由於現在電腦多媒體繪圖技術日新月異，且大量運用在各種形式中，「數位多媒體」幾乎已經和「電腦多媒體」(Multimedia)畫上等號。然而現今有關數位多媒體的概念皆是指由電腦產生的文字（Text）、繪圖（Graphic art）、聲音（Sound）、動畫（Animation）和影片（Video）等多媒體加以任意組合，以成為一個計畫（Project）。

一、多媒體的定義

綜觀 Mayer(2001)的相關研究，可知多媒體的定義包含了文字(words)及圖片(pictures)；文字為語文型式的呈現方式，有以書寫方式來呈現的視覺文字以及用口語方式來表達的文字二種型式；而圖片指的是圖像型式的呈現方式，有靜態與動態二種類型。

而靜態的圖片和動態的動畫，這兩種多媒體的傳達該如何加以區別呢？靜態圖片是類像性的資訊加以結合，模擬實際世界上的事物為目的、人工的、靜止的視覺性後的產物通稱。然而動畫則是以一連串的靜止性的畫面或圖像，用快速且連續性的速度來加以呈現，因圖像有些許的差異性進而製作轉換成動態性的效果（范懿文，陳彙芳，2000）。

二、多媒體的呈現方式與原則

數位多媒體因結合了許多不同的媒體，因此包括多種展現方式。「數位多媒體」所囊括的媒體項目有下列項目（徐文杰，金承慧，2000；李賢輝，1999）：

1. 文字和旁白（Text & Narration）
2. 圖形和插圖（Graphics & Illustration）
3. 靜態的照片（Still Photographs）
4. 圖表和圖像（Charts & Graphs）
5. 動畫和視訊（Animation & Video）

6. 音樂和音效 (Music & Sound Effects)

7. 虛擬實境 (Virtual Reality)

8. 互動程式 (Interactive Programs)

Mayer(2001)建議幾點多媒體輔助教學的呈現原則，說明如下：

1. 時間接近原則(Temporal Contiguity Principle)

實施多媒體教學時，應將文字及圖片同時呈現時，根據 Mayer(2001)的研究顯示，學生在相對應的文字及圖片分離呈現時，其學習成效較同時呈現差。

2. 形式原則(Modality Principle)與多餘原則(Redundancy Principle)

實施多媒體教學時，學生可從動畫搭配口語表達文字中得到比動畫搭配視覺文字較佳的學習成效，此為形式原則。而多餘原則指的是學生在動畫搭配口語表達文字的多媒體呈現，其學習成效比在動畫同時搭配口語表達文字及視覺文字的多媒體呈現好。

3. 分割原則(Segmentation Principle)

實施多媒體教學時，應將多媒體教材分割成數個小片段，如此一來學習者能夠擁有足夠的時間及能力去組織及整合被選擇的文字及影像，再進入下一片段。

4. 信號原則(Signaling Principle)

實施多媒體教學時，如果含有協助如何處理教材的信號，其效果就如同在課本上畫重點，幫助學生更容易地去理解教材的內容。

Park (1998) 指出以電腦動畫結合教學具備以下的特點：

1. 吸引和指引學習者。

2. 能明確的說明具備動作 (motion) 與移動路徑 (trajectory) 的事件。

例如：牛頓定律。

3. 能說明複雜的觀念或現況，例如：系統的架構以及所建構分子之間的關連性。

因動畫擁有上述的特性，所以能協助觀賞者明白事物的架構、功能性與程序。然而靜態圖像需經由觀賞者自己進行模擬和推想整個動態流程，所以在協助了解的功能較動畫差 (范懿文，陳彙芳，2000)。

電腦動畫教學輔助軟體的設計與使用，不只著重在於感官性，還要能夠給予空間讓學生思考，激發學生的學習動機，這樣才能夠真正的幫助學生能有效率的學習。人們常將以老師為主的傳統教學和以電腦工具環境為主的教學來做比較，而電腦課程軟體往往則被認為是一種有效的工具。在傳統課堂中，專業的老師和嚴謹的教學，能協助學習者統整個人的經驗和學習技能，但若在個別化練習式的課程軟體環境中，以電腦掌控學生的學習和交互作用，則難以掌握概念統整是否發生(尹政君,1993)。故陳伶伶(2004)認為，若由教師在課堂上使用多媒體電腦軟體來融入教學中，學習效果會比僅將個別化練習式的課程軟體交由學生自己練習來得大幅提昇。例如凌久原(2007)即曾探討課室中教師配合教學，應用動態幾何軟體以呈現不同型態之視覺表徵，對於國中學生數學學習成就與數學學習態度之影響，其研究採用不等組前後測準實驗設計，將學生分成實驗組與控制組進行施測，實驗的結果顯示，兩組的學生在經過了老師使用電腦多媒體來輔助的教學後，其學習成效都有進步的趨勢，代表教師在課堂上使用多媒體電腦軟體來融入教學中，對於學生的學習成效確實是會產生影響的。

2.2.2 電腦多媒體輔助教學之理論探討

黃福坤(民89年)曾經提到電腦多媒體輔助教學的成效並不是在於電腦或是網際網路使用，而是取決於如何加以善用網際網路科技以配合精心設計的教學方法。運用科技提升學生的學習興趣固然有效，然而最重要的是實際的學習效果。而綜觀當今國內外之科學教育有關多媒體動畫相關主題的研究，對於電腦多媒體輔助教學採用的形式，大多是研究者設計教材，而學習者則使用電腦自學的方式來進行，但也有一部分是教師在教學過程中，同時搭配電腦多媒體來輔助教學。

使用動畫來表現部份授課內容，除了要能夠吸引學生的專注力，亦需幫助學生進行授課內容與表徵間轉換，並協助進行反思，以重新組織認知架構(Tso, 2001)。但專家也提醒，在設計和使用電腦動畫輔助教學時，要注意下列原則 (Milheim, 1993)：

1. 尋找較簡易的動畫而非複雜的。
2. 選擇動畫的表現方式時，應盡可能明顯標示教學重點。
3. 動畫表現的速度必須適當，使學生了解動畫中所要呈現的重點所在。

4. 動畫的運用要和授課內容有直接的相關。
5. 使用動畫來顯現含有動作或是軌跡的授課內容。
6. 需要添加想像或是導引方向資訊的授課可以運用動畫。
7. 運用動畫來呈現肉眼不能直接觀察的事件。
8. 利用具有互動或數位性質的圖像。
9. 利用動畫來吸引學生的專注力或是提升他們的學習動機。

由於電腦可將動態圖像的方法表現出變化的經過，提供學生更好的學習和經驗，能夠讓學生變成動態內部表徵 (Dynamic Internal Representation)，使學生對於抽象的觀念，能夠有意識的能力 (鄭晉昌，1997)。但是，教學者在設計電腦動畫輔助的教學活動時，應該考慮與原學科教材之結合度 (若差異性太大，在實施教學時容易造成認知負載過重，得到反效果) 以及動畫是否容易取得和合法性 (張國恩，2002)，才能夠真正發揮出動畫融合教材設計的優點，並將抽象化的教材轉變為視覺性的教材。

經過以上的分析與討論，研究者發現欲使用電腦多媒體動畫融入教學中，其實是需要多方考量的，教學者必須要考量到教材的內容、學習者的態度，甚至是連動畫的選取都必須非常注意，否則使用電腦多媒體動畫是有可能得到反效果的！而本研究以教師為教學的主導者，以電腦多媒體為輔助工具來呈現部份教學內容，動態表徵之教材部份在網路中尋找既有的多媒體動畫，進一步將以動畫截圖的方式來製作靜態表徵教材，以輔助學者於波的重疊原理單元之教學。

在下一段主題中，研究者將探討使用動態或靜態表徵輔助教學對於科學學習成效之影響。

2.3 動態表徵對科學學習成效影響之相關研究

在電腦數位多媒體的環境下，學生可能會因長時間看文字性的資料而造成注意力的不集中，若能運用動畫來進行動態教學，學生不只可以在不同類型的環境下刺激 (Modality) 因而開拓學生的注意廣度 (Attention

Span)，也可以使空間性和具有前後時間性的觀念傳達更為清楚 (Paivio, 1990)。專家也曾比較運用電腦動畫來輔助教學，較其他多媒體有以下優點 (Rieber, 1990)：

1. 與教學設計的靈活結合：教師在設計或選擇動畫時，可結合教材與教學設計讓學生更輕鬆去吸收知識與概念，較傳統教學形式更添加生動與活潑性。
2. 無實際拍攝的限定：於現實日常生活中，有很多事情是無法完全用實際的情況來拍攝，因物體太大或太小亦或運動速度太快等皆可能會造成無法拍攝的因素，例如：細胞進行分裂的現況、各大行星在太陽系中運行的軌跡等，但運用電腦動畫的效果來傳達就不會有所限制。

動畫還可以幫助學生對現象或物體的運動有直覺性的了解，可以比文字符號更容易理解，更加能夠說明物體或現象的相關觀念，而且電腦動畫提供學習者一個明確且具體的影像，亦可以降低抽象邏輯思考的迷思

(Fowler, 1993; Rieber & Kini, 1991)。與靜態的圖像相比，針對合乎動畫特性（如視覺、動作、軌跡）的教學內容，運用動畫效果比起使用靜態圖像會有更好的學習效果 (Park & Gittelman, 1992)。所以，在運用動畫來教學更能夠幫助學生掌握課程中的相關知識 (Incidental Knowledge) (Rieber, 1991)。而 Mayton (1991) 與 Rieber (1989) 的研究也提出透過動畫學習，學生重新再建立知識和重新回憶時所需的回應時間較短，並且在學習上也會有更優異的學習成果，且在學習保留上亦有更好的效果。

雖然多數研究結果支持動態表徵對學習成效的正面影響，但部份研究發現，有些學生靜態的多媒體表現方式（例如：圖片）更有助於學生的學習效果 (Lai, 1998)。

經由上述之分析，研究者發現使用電腦多媒體來輔助教學對於教學者有相當多的優勢，而其中又對於較抽象或複雜、或不易在日常生活中觀察的現象等，使用動態表徵教材會比靜態表徵教材有較佳的學習成效，但亦有研究提出相反的證據。下表 3-1-1 統整出國外部分學者之相關研究，以比較動態表徵與靜態表徵對於學習成效之影響：

表 2-3-1 國外研究不同表徵教學對於學習成效之影響相關文獻

研究者	多媒體組合方式	實驗結果
Lai (1998)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	接受文字+圖片教學的學生，學習成效最佳。
Chanlin (1997)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫 4. 文字+圖片+聲音 5. 文字+動畫+聲音	接受文字+動畫+聲音教學的學生，學習成效最佳，且接受文字+動畫教學的學生，其學習成效較優於接受文字+圖片教學的學生。
Szabo and Poohkay (1996)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	接受文字+動畫教學的學生，學習成效最佳。
Poohkay and Szabo (1995)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	接受文字+動畫教學的學生，學習成效最佳。
Large et al. (1994)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	三者無明顯差異。
Rieber (1990)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	接受文字+動畫教學的學生，學習成效最佳。
Baek (1988)	1. 文字 2. 文字+圖片 3. 文字+動畫	接受文字+動畫教學的學生，學習成效最佳。

由表中所呈現之結果，我們不難發現雖然大部分的研究都支持動態表徵教學，能夠讓學習者產生較佳的學習成效，但是也有少部分的研究顯示靜態表徵能夠有較好的成效，而以下將深入探討國內幾位研究者對於使用動態教材與靜態教材對於學生之學習成效。

邱惠芬(2002)使用實驗研究法來研究不同多媒體介面的教學模式對國小學童學習大氣壓力之學習成就的影響，而其採用的媒體界面包含圖像+文字+無語音模式、圖像+文字+語音模式、動畫+文字+無語音模式、動畫+文字+語音模式，探討學習者在接受不同多媒體介面的教學模式後，對其學習動機、學習成效以及學習保留成效的影響。實驗結果發現國小學童在以不同的多媒體介面來進行教學後，不管學童接受哪個教學模式，其學習成就以及學習保留測驗的成績都沒有顯著差異。

呂慧君(2009)則認為分數的概念對國小學童來說是一種非常抽象且不易理解的概念，且往往因為不了解分數的意義，而無法進行有意義的教學解題活動。分數的除法對高年級的學生來說更是難上加難，大多只能套用口訣來解題，卻無法了解計算過程欲表達的意義。該研究旨在探討使用 AMA (Activate Mind Attention) 當中的激發式動態呈現 (Trigger-based Animation, TA) 來設計教材，探討該教材設計對國小六年級分數除法之學習成效的影響。研究對象為台北縣某國小六年級學生。實驗組 27 人採用激發式動態呈現的教學模式、對照組 26 人採用傳統的靜態教學模式，實驗時間為九節課。研究結果顯示：1. 實驗組與對照組學生在後測的立即學習成效上無顯著差異。2. 實驗組與對照組學生在延宕測上的學習保留成效上達顯著差異；並且在「比值未知」及「基準量未知」概念上達顯著差異，顯示使用激發式動態教學能有較好的學習保留成效。

劉光中(2007)的研究主要為探討操作動態表徵融入數學課室中對高職學生表現的影響。其研究採用準實驗研究法，以高職高二的兩班學生為研究對象，並且以自編之「函數極限、導函數概念診斷評量測驗」試卷為研究工具，其研究結果發現：動態表徵教學有助於提升學習者在不定型函數極限、一階導函數判別函數遞增減兩個單元的學習成效；而傳統教學則在代入運算求極限單元表現較佳。研究者認為之結論，操作動態表徵的教學對於高職學生在學習極限及導函數概念上有正面影響。

林貞延(2010)認為數學的抽象概念學習需要透過外在表徵來建構與溝通，因此欲探討學習者對於數學概念的理解，可從其對應之外在表徵所運用的策略，來進行結構性的分析。而此研究之目的即為設計針對二次不等式的動態鏈結多重表徵學習環境，並探討在此環境下高職學生二次不等式之表徵整合能力。研究採用實驗研究法，並且同時作質化與量化兩種分析方法，分析 70 位高職二年級學生的解題表現與方式，來探討學生對於二次

不等式的表徵運用能力。研究結果顯示：透過動態多重表徵教學環境的設計，學習者可經由適當的類化，使心智中的模組產生重新排列的現象，進而產生知識結構的增長與強化。因此，研究者建議在高職課程二次不等式單元可設計動態鏈結多重表徵環境設計教學活動，以增強學生多重表徵整合之能力。

許多學生會覺得數學是一科不易學習的科目，最主要的原因是內容太過於抽象，不易理解，及對於傳統的教學方式，大多數的學生是感到沒有興趣的(戴錦秀, 2002)。近年來因為電腦科技的發展，使得電腦多媒體輔助教學漸漸成為教師吸引學生注意力的一種方式，透過電腦多媒體的聲光動態效果，讓學生可以較輕鬆地來學習，進而提昇學習成效。戴錦秀(2002)的研究主要目的即為比較「G. S. P. 輔助教學」和「傳統講述式教學」兩種不同的教學方式，對國小五年級學生在三角形面積的學習成就之差異，研究方法採使用準實驗研究法，研究樣本為小學五年級一班學生共 32 位，選取一半(16 位)為實驗組，另一半(16 位)為控制組，實驗組實施 G. S. P. 輔助教學，控制組實施傳統講述式教學。實驗教學時間為期一週，共六堂。經由實驗結果分析發現：1. 學生在三角形面積學習成就上，實驗組較優於控制組，且達顯著差異。2. 對於學習中成就的學生，在三角形面積學習成就上，實驗組較優於控制組，且達顯著差異。3. 針對六次形成性評量的三角形面積概念發展情形，大多數實驗組的平均分數均比控制組的平均分數高，且同時兩組均正向發展。

陳裕亮(2003)利用 GSP 電子幾何板之特性，並且依據多種教學及情境學習理論之精神來設計動態表徵之三角函數教材。其研究方法採用準實驗研究法，實驗樣本取自苗栗縣某高職一年級兩班共 62 位學生，其中一班為實驗組，實施「GSP 電腦輔助教學」，另一班為控制組，實施「傳統講述式教學」。實驗為期三週，內容為廣義角三角函數單元。實驗結果發現：1. 實驗組與控制組在後測成績上的表現，並無顯著差異。2. 實驗組在延宕測成績上的表現明顯優於控制組。

動畫輔助教學之所以能夠提升學習成效，主因為其提供了具體化的學習經驗，Dale(1946)提出「經驗錐」理論(Cone of Experience)，說明人從直接的「實做」中最容易學習，如實際操作、實地參觀等，其次是具「圖像」的視覺媒體，如影帶、照片等，最後才是「抽象」符號，如文字、數字、口語等所提供的學習經驗。具體化的學習經驗對學生的學習非常重要，

在學習的過程中，若能提供真實物件使其操弄，能幫助學生學習學得更透徹。可惜的是，教學實物可能因體積空間與時間的限制，教師無法隨手可得，此時電腦的模擬功能即能因應需求來解決困境(劉光中, 2007)。在學習的過程中，以實物來輔助教學比教師用盡口舌的描述，在記憶保留上更具有成效(黃正賢, 2007)。

經過上述研究的分析後，研究者發現大多數的研究都是支持使用動態表徵教學，會有效地提升學習者的學習成效，或產生較佳的學習成效保留之效果，而本研究即欲證明對於高中生學習波的重疊原理之學習成效，使用動態表徵教學能比靜態表徵教學得到較佳成果。



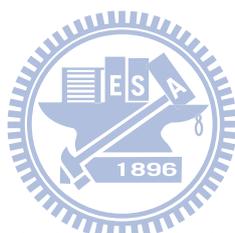
三、研究方法

本研究採用實驗研究法中的準實驗設計，探討使用動態表徵或靜態表徵進行教學，對於高中生學習波的重疊原理之學習成效的影響。而本章主要的內容是在說明研究的方法，依順序排列為：研究程序、實驗設計、研究對象與工具、實驗過程與處理以及資料蒐集與分析，茲說明如下。

3.1 研究程序

本研究共分為三個階段，第一階段為「準備期」、第二階段為「施測期」、第三階段為「結果分析期」，詳細說明如下。

3.1.1 準備期



1. 文獻探討

確定要探討的問題為動態表徵與靜態表徵對於波的重疊原理之學習成效的影響後，研究者開始參閱國內外的論文，內容包括波的重疊原理之迷思概念的相關研究、多媒體動畫輔助教學之理論分析以及動態表徵對於科學學習成效之影響的相關研究，以作為本研究的理論基礎。

2. 發展多媒體教學教材與進行教學設計

瀏覽國內外各大物理教學動畫網站，並且分析受測學生之程度與需求，蒐尋合適的動畫作為動態表徵教學教材，並將動態教材轉換為靜態之圖片，作為靜態表徵教學教材。教材確認後，開始設計教學流程並且著手撰寫教學設計。

3. 發展學習成效試卷以及學習過程記錄單（學習單）

發展試卷之目的是為了要了解學生在接受不同表徵的教學後，探討對於其學習成效所產生的影響，且試卷的內容與實驗的範圍相同。學習過程

記錄單則是在實驗過程中使用，目的是為了要蒐集學生學習過程中所留下的紀錄，以便後續作結果分析與討論。

4. 專家評估並修正

所有教材、教案、學習成效試卷與學習過程記錄單完成編撰後，與專家進行會談並討論需要修改的地方，以確認研究者所發展出的教材以及試卷和學習過程記錄單之可用性。

3.1.2 施測期

1. 進行前測

實驗組 I 與實驗組 II 之學生，於實驗前一週進行學習成效試卷的施測，且此成績將作為前測成績使用。

2. 進行教學與學習過程記錄單練習

實驗組 I 進行動態表徵教學，而實驗組 II 的學生則進行靜態表徵教學，兩組所教的內容完全相同，只是實驗組 I 在教學時以動畫的方式呈現波的重疊過程，另一個則是將動畫的內容擷取成一張一張靜態的圖片進行教學。教學過程中，每介紹完一個子主題，即要求學習者以小組方式於學習過程記錄單上練習繪出波的重疊過程中、不同時間點之瞬時圖。此部分的成績將作為評估學習者之概念學習過程成效的依據。

3. 進行後測

教學完成後，實驗組 I 與實驗組 II 之學生立即進行第二次學習成效試卷的施測，此次施測的成績則做為後測成績使用。

4. 進行延宕測

於實驗結束後五週，實驗組 I 與實驗組 II 之學生進行第三次學習成效試卷的施測，此次施測的成績則做為延宕測成績使用。

3.1.3 結果分析期

1. 資料分析

為回答研究問題一與二，研究者將分別比較學習成效試卷的前測與後測以及前測與延宕測成績，來分析學生概念學習成效以及概念學習保留成效。為回答研究問題三，則以學習過程記錄單之成績做為學生概念學習過程成效。

2. 編寫研究報告

依照實驗結果，比較實驗組 I 與實驗組 II 學生的概念學習成效、學習保留成效以及概念學習過程成效之差異，回答本研究之待答問題，並且將實驗結果與過去的相關文獻互相比較，以分析本研究與其他相關研究之關聯性，探討採動態表徵教學以及靜態表徵教學對於學習者的概念學習成效、學習保留成效以及概念學習過程成效之影響，並且歸納結果撰寫成研究報告。



3.2 實驗設計

3.2.1 研究架構

本研究採實驗研究法。自變項為教學模式(實驗組 I、實驗組 II)，依變項分別為學習者的概念學習成效、概念學習保留成效以及概念學習過程成效研究架構如圖 3-2-1 所示：

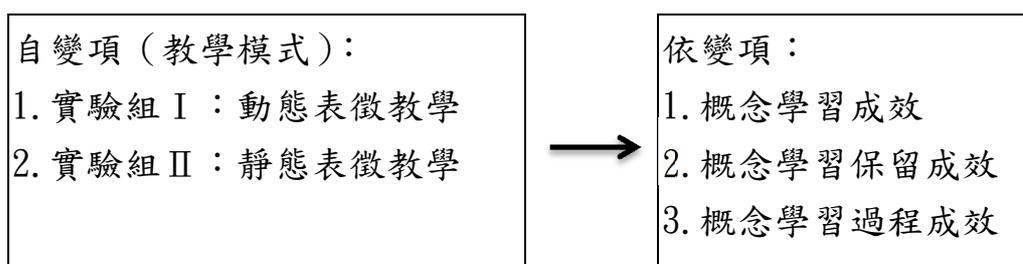


圖 3-2-1 研究架構圖

一、自變項－教學模式

本研究的自變項，乃是將兩個班級分為實驗組 I 與實驗組 II，實驗組 I 班級進行動態表徵教學，而實驗組 II 則進行靜態表徵教學。

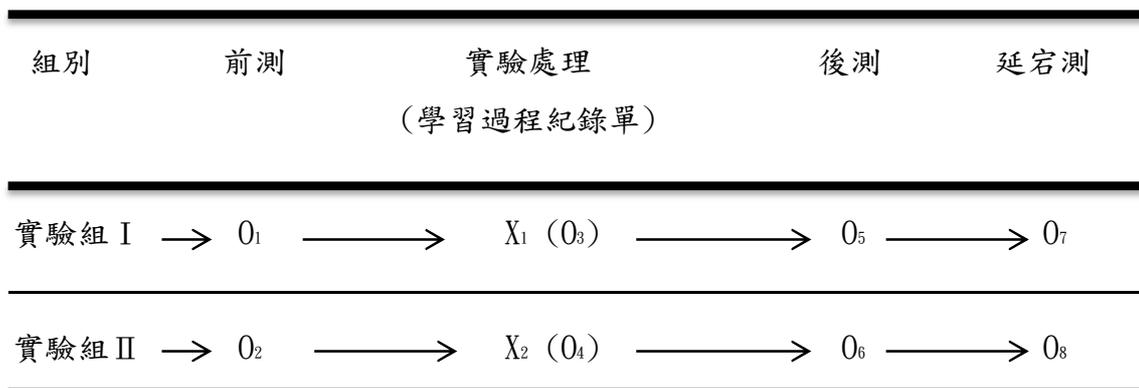
二、依變項－概念學習成效、概念學習保留成效、概念學習過程成效

在本研究的依變項中，學生的概念學習成效與概念學習保留成效，其測量工具為修改自鄭秀芬（2003）與Tongchai(2009)所研究發展之概念診斷工具。而概念學習過程成效的部分，則為學生於動態或靜態表徵教學過程中所使用之學習過程記錄單，做為學生對於波的重疊原理學習過程之記錄。此兩工具的設計與實施方式將於3.3節作進一步說明。

3.2.2 實驗設計

本研究採準實驗設計，實驗設計如表 3-2-1 所示。

表 3-2-1 實驗設計表



- 一、受試樣本共分為兩組，分別為實驗組 I、實驗組 II。
- 二、實驗處理前，兩組均接受學習成效測驗做為前測（O₁、O₂）。
- 三、實驗組 I 接受動畫加教師講解的教學模式(X₁)，實驗組 II 則是使用實驗組 I 所使用之動畫，將其擷取成一張一張靜態之圖片作為教學教材，加上教師講解的教學模式(X₂)。
- 四、在實驗處理中，穿插進行學習過程記錄單測驗（O₃、O₄）。

五、實驗處理後，兩組接受第二次學習成效測驗做為後測（ O_5 、 O_6 ）。

六、實驗進行後五週，兩組接受第三次學習成效測驗做為延宕測（ O_7 、 O_8 ）。

3.3 研究對象與工具

3.3.1 研究對象

本研究之研究對象為台灣北部某公立高中理組三年級的學生，共兩班，合計共有 46 人。所有研究樣本都已學習過且了解波動的基本性質，所以都具備對於學習波的重疊原理所需的先備概念。所有學生分為兩組，實驗組 I（動態表徵教學）22 人；實驗組 II（靜態表徵教學）24 人，如表 3-3-1 所示：

表 3-3-1 研究對象人數表



組別	實驗處理（教學模式）	人數	總人數
實驗組 I	動態表徵教學	22	46
實驗組 II	靜態表徵教學	24	

3.3.2 教材與教學設計

本研究的教學主題為波的重疊原理，其中共細分為四個次主題，按照教學的順序分別為：波的重疊—建設性干涉、波的重疊—破壞性干涉、波的自由端反射以及波的固定端反射。依照教育部公佈的 99 課綱普通高級中學選修科目「物理」課程綱要，在關於波的重疊原理單元的教學中，教師應說明兩獨立波在同一介質中相遇時，其合成波的振幅會疊加，以及說明繩波在遇到不同介質介面時的反射和透射的情形，而本研究之教學即依照此綱要來進行設計。

一、教材設計

(一) 動態表徵教學之動畫教材

本研究所使用動態表徵教學之動畫教材，於波的重疊原理部份乃是採用由前鎮高中物理教師張慶堂所製作之波的重疊原理動畫(網址：<http://mail2.cjhs.kh.edu.tw/PhysicsElearning/animation/>)，而波的自由端與固定端反射則採用國外網站(網址：http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/waves_superposition_reflection.htm#reflections)所製作之動畫。目前不論是國內國外均有相當多的物理教學動畫網站，來供物理教師使用，且大多為開放式資源，也就是說從物理教學者都可以自行使用，而研究者本身所使用之物理教學動畫網站亦是如此。

研究者在找尋動畫教材時，國內外有許多物理教學網站可選擇，但研究者發現在次主題一「建設性干涉與破壞性干涉」裡，大部分的動畫都只有將兩個波相遇的過程呈現出來，而張慶堂所製作之波的重疊原理動畫則是在背景加上了方格，如此一來只要透過數格子，就能夠讓學生輕易地算出兩波重疊的結果。而在次主題二「自由端與固定端反射」裡，會挑選上列的國外網站最主要的原因為，此網站所呈現之動畫，除了有實際做實驗的影片之外，在影片的下方還有用電腦模擬的方式，清楚地說明波的反射整個過程與兩波重疊的過程相同，因此透過此動畫來輔助教學，研究者認為能夠有效的幫助學生理解波的反射之物理原理。

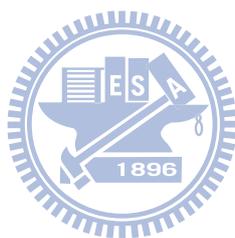
(二) 靜態表徵教學之圖片教材

本研究之目的為探討動態表徵與靜態表徵教學對於學習者學習成效之影響，故為避免因不同素材而產生不同學習效果之影響，本研究所使用之靜態表徵教學之教材，乃是擷取動態表徵教學之動畫過程中的某些瞬間畫面，作為靜態表徵教學所使用之圖片。且圖片教材使用 PowerPoint 軟體來呈現，如此亦可避免因資訊融入教學所產生不同學習效果之影響。以下就分兩部分簡短說明靜態表徵教學之圖片教材內容呈現方式，而完整教材內容請見附錄一。

二、教學設計

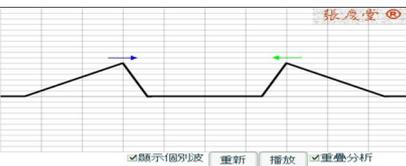
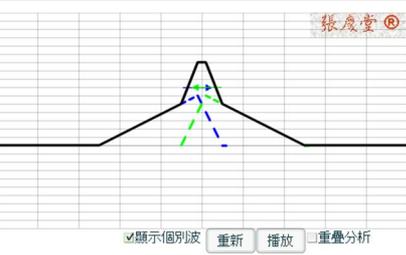
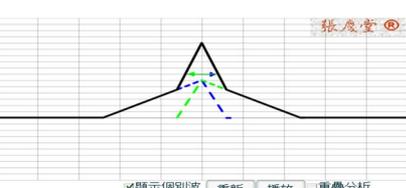
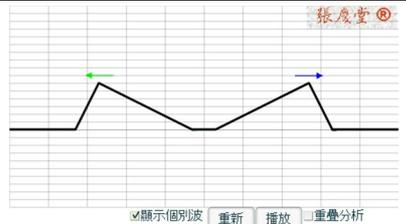
本研究目的為探討靜態或動態表徵教學對學習者於波的重疊概念之學習成效的影響，所以教材設計上，動態表徵教學的動畫教材與靜態表徵教學的圖片教材之內容與概念涵蓋範圍相同，主要差別在於接受實施動態表徵教學的學習者，能夠看到完整波的重疊與反射的動態過程，而靜態表徵教學的學習者看到的是一張張擷取的靜態圖片。以下就針對動態與靜態表徵教學設計上不同之部分來作說明，而完整的教學設計內容請見附錄一。

第一部分：波的重疊原理



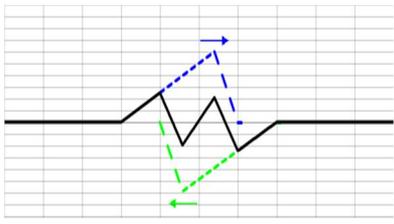
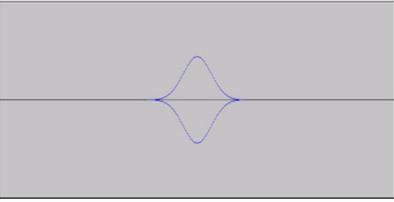
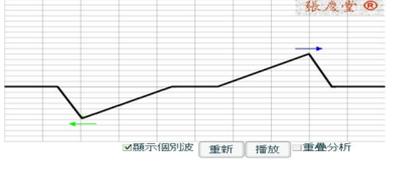
(一) 建設性干涉：詳細說明，請見下表 3-3-2。

表 3-3-2 建設性干涉教學設計說明表

	教學內容	靜態表徵教學	動態表徵教學
1.引言	說明教學主題為建設性干涉。	--	將兩波重疊的過程完整撥放一次。
2. 兩個脈衝波相向前進	說明兩個脈衝波相向前進，振幅與波長均相同，但波形不同。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	利用動畫的暫停功能，將螢幕停格至左格顯示之畫面。
3.建設性干涉	說明波動是一種能量的傳遞，而波所傳遞能量的大小會顯現在振幅上，因此兩波在相遇時會因為能量的加成而造成振幅變大。在此畫面中要強調藍色與綠色的兩個成分波振幅加起來會等於黑色合成波的振幅，最後說明建設性干涉的意義：合成波振幅大於各成份波之振幅。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	同上。
4.完全建設性干涉	說明當兩波波峰完全重疊時，黑色合成波的振幅達到最大，且剛好等於兩個成分波振幅的總和，此狀況稱為完全建設性干涉。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	同上。
5.兩波完全分離後	此時應強調重疊的現象結束後，兩波回復至原來的狀態因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會有像物質一樣碰撞的現象。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	同上。
6.結尾	複習上述內容。	將上列投影片再從頭播放一次。	將兩波重疊的過程再完整撥放一次。

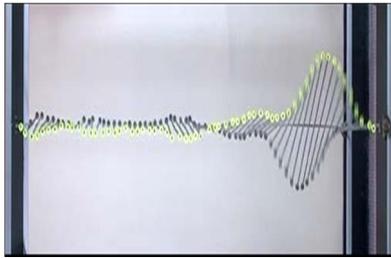
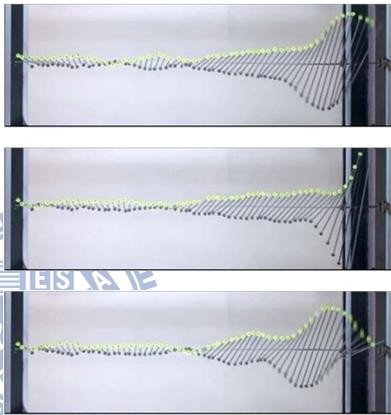
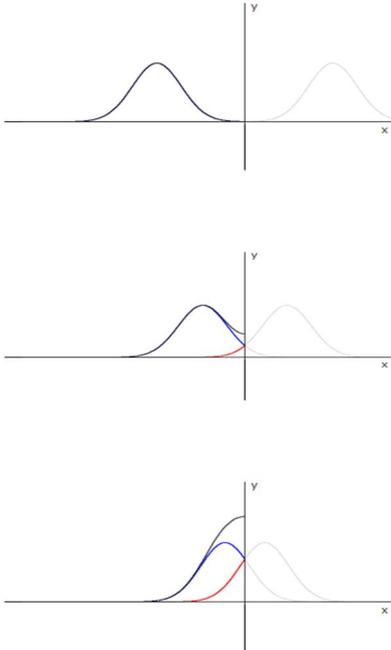
(二) 破壞性干涉：詳細說明，請見下表 3-3-3。

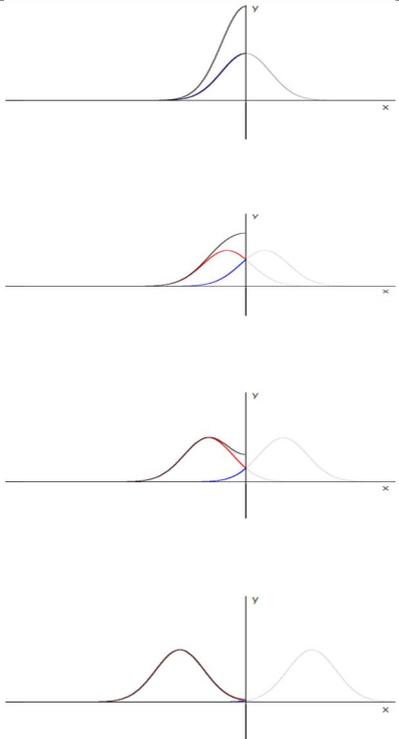
表 3-3-3 破壞性干涉教學設計說明表

	教學內容	靜態表徵教學	動態表徵教學
1.引言	說明教學主題為破壞性干涉。	--	將兩波重疊的過程完整撥放一次
2. 兩個脈衝波反向前進	說明兩個脈衝波相向前進，振幅與波長均相同，但波形不同。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	利用動畫的暫停功能，將螢幕停格至左格顯示之畫面。
3.破壞性干涉	說明波動是一種能量的傳遞，而波所傳遞能量的大小會顯現在振幅上，因此兩波在相遇時會因為能量的相消而造成振幅變小。在此畫面中要強調藍色與綠色的兩個成份波振幅加起來會等於黑色合成波的振幅，最後說明破壞性干涉的意義：合成波振幅小於各成份波之振幅。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	同上。
4.完全破壞性干涉	說明當兩對稱波完全重疊時，合成波振幅為零，此狀況稱為完全破壞性干涉。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	另外將一兩對稱波反向重疊過程完整撥放一次，接著利用暫停功能，將畫面停留在左格畫面進行說明。
5.兩波完全分離後	此時強調重疊現象結束後，兩波回復原來的狀態因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會像物質一樣有碰撞的現象。	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	同 3. 破壞性干涉。
6.結尾	複習上述內容。	將上列投影片再從頭播放一次。	將兩波重疊的過程再完整撥放一次。

(三) 自由端反射：詳細說明，請見下表 3-3-4。

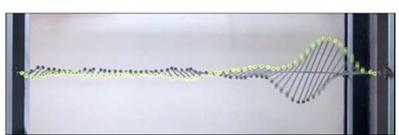
表 3-3-4 自由端反射教學設計說明表

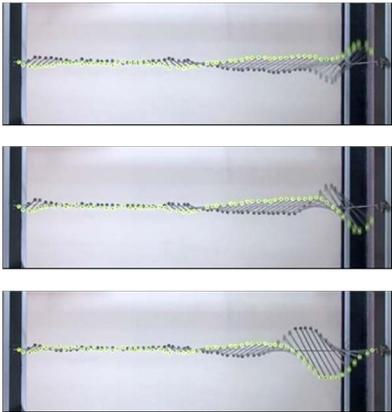
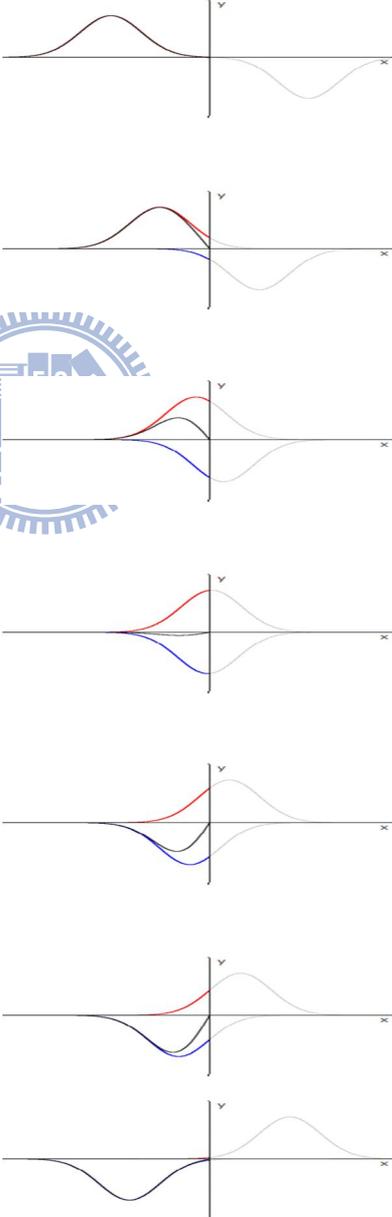
	教學內容	靜態表徵教學	動態表徵教學
1.引言	說明教學主題為自由端反射。		將自由端反射的過程完整撥放一次。
2. 單一脈衝波射入自由端	說明有一脈衝波向右傳遞，射入一自由端。【即可自由上下移動的端點。】	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	利用動畫的暫停功能，將螢幕停格至左格顯示之畫面。
3.自由端反射	波訊號傳至自由端時，繩將環拉起，拉至波峰時，環因慣性之故而繼續上升，使得環的最高點位置比入射波振幅還高，因此環施予繩一個向上的拉力而製造出一個向上振動的反射波。	 <p>使用 PPT 呈現此三張畫面。</p>	利用暫停功能分格說明，完畢之後再將動畫完整播放一次。
4. 說明反射波波形左右相反，上下不顛倒。	觀察自由端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇而重疊的過程剛好完全相同。自由端的反射可以視為：在牆的另一端有一個與入射波之波形左右相反且振幅上下不顛倒的脈衝波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，故自由端反射的反射波的波形與入射波的波形相較，會上下不顛倒，但左右相反。		將動畫完整播放一次，接著利用暫停功能分格說明重疊過程，最後再將動畫播放一次。

		 <p>利用 PPT 展示上列圖片，說明重疊過程。</p>	
--	--	---	--

(四) 固定端反射：詳細說明，請見下表 3-3-5。

表 3-3-5 固定端反射教學設計說明表

	教學內容	靜態表徵教學	動態表徵教學
1. 引言	說明教學主題為固定端反射。		將固定端反射的過程完整撥放一次。
2. 單一脈衝波射入固定端	說明有一脈衝波向右傳遞，射入一固定端。【即可被固定無法上下移動的端點。】	 <p>使用 PPT 呈現此張畫面。</p>	利用動畫的暫停功能，將螢幕停格至左格顯示之畫面。

<p>3.固定端反射</p>	<p>波訊號傳遞至牆上的固定點時，繩施予固定點一個向上的拉力，但因牆是固定不動的，依牛頓第三運動定律，牆上的固定點會對繩施一個向下的反作用力，而形成一個向下振動的反射波。</p>	 <p>使用 PPT 呈現此三張畫面。</p>	<p>利用暫停功能分格說明，完畢之後再將動畫完整播放一次。</p>
<p>4. 說明反射波波形左右相反，上下顛倒。</p>	<p>觀察固定端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇而重疊的過程剛好完全相同！固定端的反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下顛倒的脈衝波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，故固定端反射的反射波的波形與入射波的波形相較，會上下顛倒，但左右相反。</p>	 <p>利用 PPT 展示上列圖片，說明重疊過程。</p>	<p>將動畫完整播放一次，接著利用暫停功能分格說明重疊過程，最後再將動畫播放一次。</p>

3.3.3 研究工具

一、概念學習成效試卷

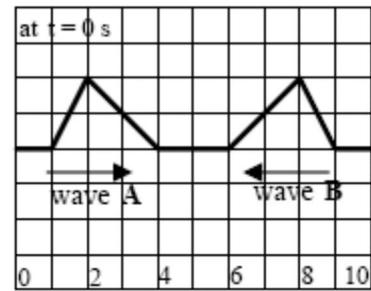
本研究所使用之測量工具乃是擷取部分鄭秀芬（2003）與部分Tongchai(2009)所研究發展之診斷工具，結合而成的概念學習成效試卷。研究者對以上三份診斷工具之題目依主題分類，選出與本研究主題相關的題目，英文題目則進行翻譯並進一步將所挑選之題目修改為二階層形式，每一題之第二階層為開放式問題，直接請學習者說明選此答案之理由。修改完成後，經過與兩位國立大學同時具有理工與教育背景的教授進行審查，因此此概念學習成效問卷具有專家效度。

本研究的試題以已學習過此單元之高三學生34位為預試樣本，Cronbach α 為0.72，以本研究之樣本進行之前測，Cronbach α 為0.66，依Nunnally（1967）所提出之看法，Cronbach α 在一般研究中，至少要大於0.6，代表本概念學習成效試卷具有一定程度的可靠度。以下僅列出試卷中的題型一的第一題為例，說明本試卷之計分方式。完整試卷請見附錄二。

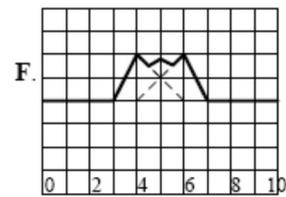
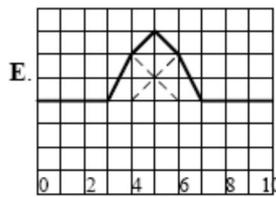
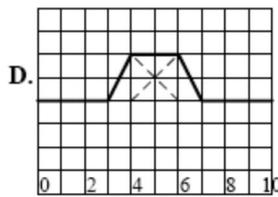
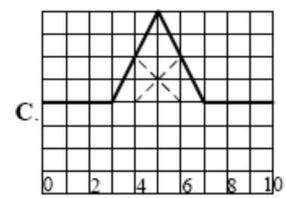
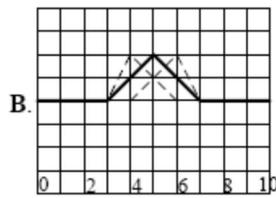
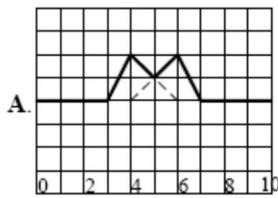


題型一：兩波同向重疊

1.考慮下列敘述之情況並且回答第(1) - (2)題
 兩個相向前進的脈衝波，兩者的波速皆為 1 cm/s 。
 右圖為 $t = 0 \text{ s}$ 時的波形，每一個方格的寬度
 為 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 。



(1) 請選出兩秒後的波形並說明你的理由。



理由： _____

概念學習成效試卷之計分方式為，在學習者選完答案之後，必須要清楚地寫出理由為何，答案與理由均正確，始可得一分，二者其中之一錯，則得零分。而整份試卷共有13題，故總分為13分。

試卷的試題內容與所對應教學主題之雙向細目表分析如下：

表 3-3-6 學習成效試卷試題與教學內容雙向細目表

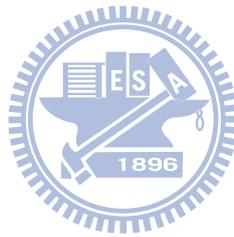
試題 \ 教學內容	波的重疊原理 —建設性干涉	波的重疊原理 —破壞性干涉	波的自由 端反射	波的固定 端反射
1	0			
2	0	0		
3	0			
4	0			
5	0	0		
6		0		
7		0		
8		0		
9	0	0		
10			0	
11			0	
12				0
13				0

二、學習過程記錄單（學習單）

研究者利用學習過程記錄單，引導學習者在每個子主題教學後，以小組方式練習繪出波的重疊過程中、不同時間點之瞬時圖，做為評估概念學習過程成效的依據。本研究所使用之學習過程記錄單，其內容為研究者本身自編後，與兩位教學經歷達 15 年以上的高中物理教師討論並修改後，再由兩位國立大學同時具有理工與教育背景的教授進行審查，最後修訂後完成。

學習過程記錄單的內容依課程單元的四個主題：波的重疊原理—建設性干涉、波的重疊原理—破壞性干涉、波的自由端反射與波的固定端反射各設計一題，四題共分為兩個題組，每個題組包含兩小題。第一題組之設

計主要為評估學生是否能形成有關波的疊加過程之心像，而能清楚理解且正確畫出兩波相向而行時，隨時間變化的重疊過程，故兩小題均要求學習者將兩波相遇而進行時，發生建設性干涉或破壞性干涉之過程的五個瞬時圖畫出來。而第二題組之設計主要為評估學生是否能形成有關波的自由端與固定端反射過程之心像，能清楚理解如何使用波的重疊原理來解釋整個反射的過程，且能正確地畫出波進行自由端反射與固定端反射時之過程的五個瞬時圖。以下僅列出題組一：波的重疊原理—建設性干涉與波的重疊原理—破壞性干涉為例，其餘題目請見附件三。

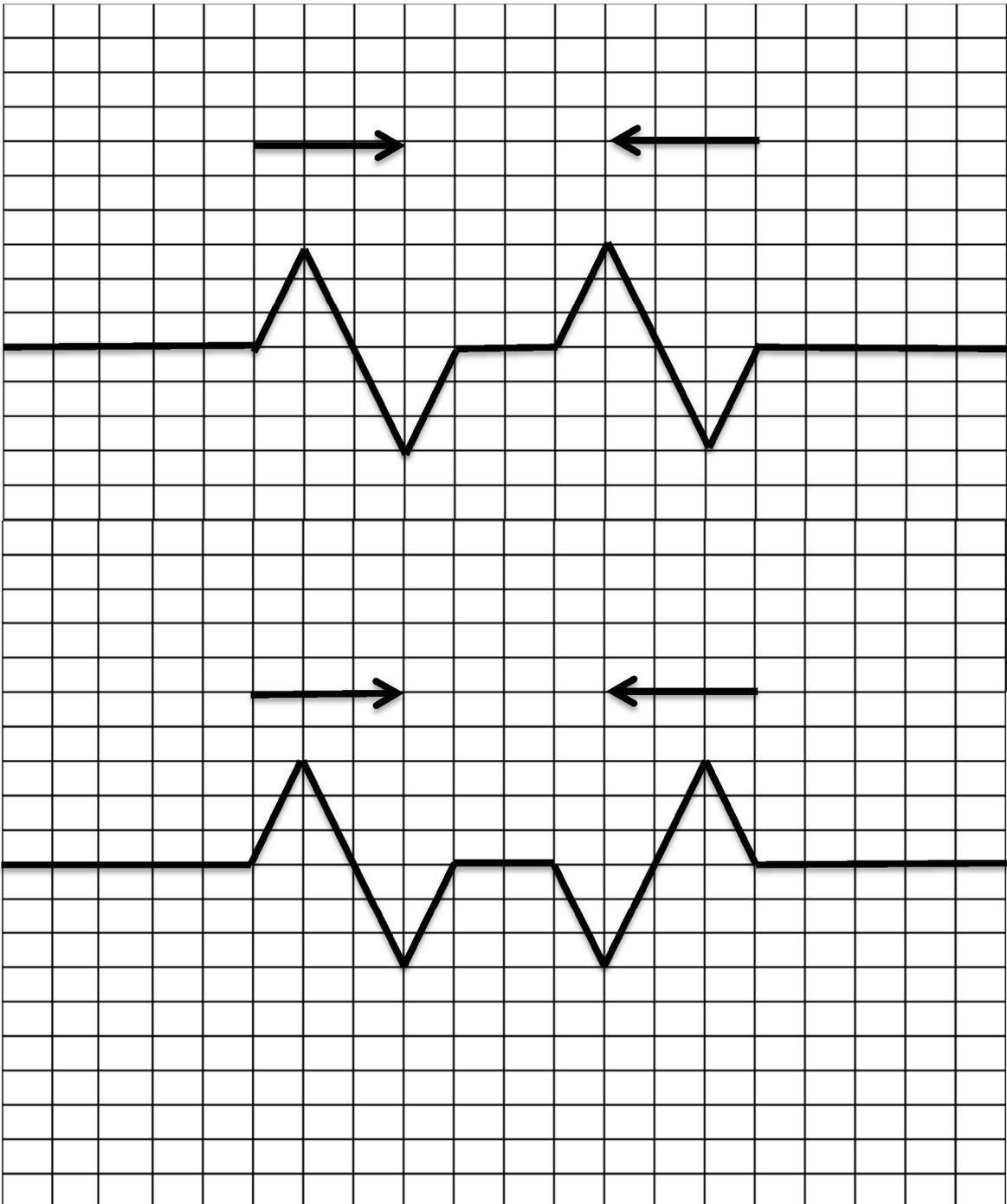


題組一

下列各圖形中所顯示之波動，其波速均為每秒一格，且圖形顯示為 $t=0$ 時之波形，請畫出 $t=1, 2, 3, 4, 5s$ 時的波形。

圖 3-2-1 學習單題組一之圖形

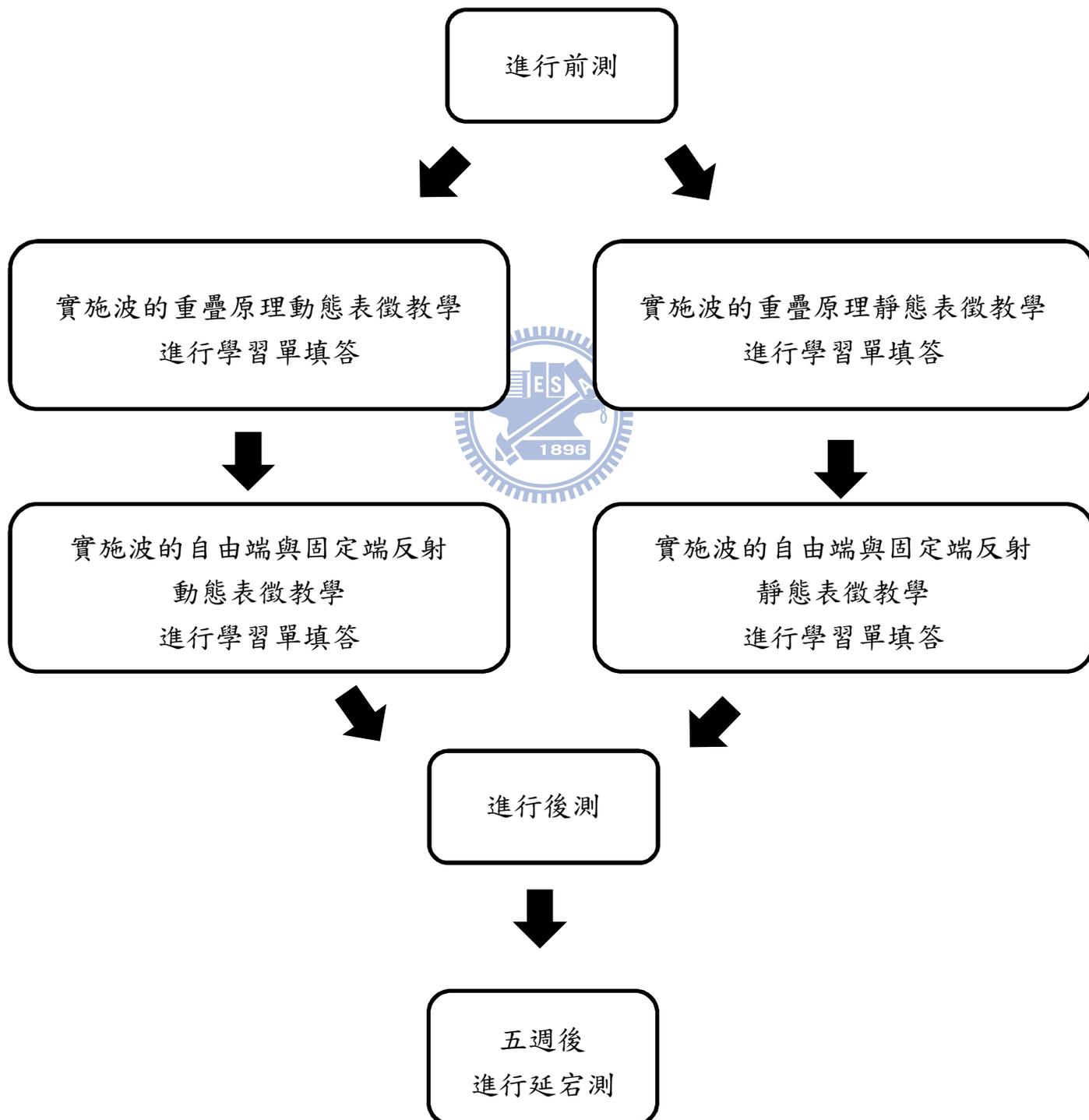
1.



3.4 實驗過程與處理

本研究之教學主題為波的重疊原理，其中亦包含波的自由端與固定端反射。實驗組 I 採用動態表徵教學，而實驗組 II 則採用靜態表徵教學，教學時間均為兩節課，共 100 分鐘。第一堂課的主要教學內容均為波的重疊原理，而第二堂課主要教學的內容則為波的自由端與固定端反射，課程實施與資料收集流程如圖 3-4-1。

圖 3-4-1 實驗流程圖



3.5 資料蒐集與分析

為回答研究問題，本研究收集兩組學習者之概念學習成效試卷之前測、後測、延宕測以及學習過程記錄單成績，數據資料分析主要是以 SPSS 套裝軟體進行統計分析。

一、概念學習成效與概念學習保留成效分析

以「教學模式」為變項進行單因子共變數分析(one-way ANCOVA)。資料分析時，以「教學模式」為自變項，共變量為「概念學習成效試卷前測成績」，依變項為「概念學習成效試卷後測成績」，比較教學模式(實驗組 I—動態表徵教學、實驗組 II—靜態表徵教學)在後測成績有何差異。

接著以「教學模式」為自變項，共變量為「概念學習成效試卷前測成績」，依變項為「概念學習成效試卷延宕測成績」，比較教學模式(實驗組 I—動態表徵教學、實驗組 II—靜態表徵教學)在實驗結束後五週，兩組學習者的學習保留成效是否有顯著差異。



二、學習過程成效分析

在概念學習過程成效的部分，則是將學習過程記錄單的四個小題配成每題 10 分。每一小題均需畫出五個圖形，且每一個圖形均需畫對兩個部分，第一個部分為波的位置，第二個部分為波重疊後的結果，每畫對一個部分可得一分，故一題 10 分。

以「教學模式」為變項進行獨立樣本 T 檢定分析(T-test)。資料分析時，以「教學模式」為自變項，依變項為「學習過程記錄單成績」，比較教學模式(實驗組 I—動態表徵教學、實驗組 II—靜態表徵教學)在學習過程記錄單之成績有何差異。

四、研究結果與分析

本研究旨在探討「動態表徵教學」或「靜態表徵教學」對於高三學生學習波的重疊原理之學習成效的影響。據此目的，本章分成三節依序闡述不同表徵教學對概念學習成效、概念學習保留成效以及概念學習過程成效之分析，呈現實驗教學前、中、後所蒐集到的資料之分析結果。

4.1 不同表徵教學對「波的重疊原理」單元之概念學習成效與保留成效之分析



一、學習成效試卷前、後測之學習成效分析

此部分乃回答研究問題一「不同教學模式(實驗組I-融入動態表徵)、實驗組II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習成效有何差異？」進而以敘述性統計與推論性統計呈現其結果。

(一) 概念學習成效試卷之敘述性統計分析

針對不同教學模式(實驗組I、實驗組II)的概念學習成效試卷成績(前、後測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-1。

表 4-1-1 概念學習成效試卷之敘述性統計分析

	N	前測		後測		後測-前測
		M	SD	M	SD	平均差
實驗組 I	22	4.27	2.53	10.36	2.13	6.09
實驗組 II	24	3.54	1.84	7.96	2.59	4.42

由表 4-1-1顯示實驗組 I 與實驗組 II 學習者在教學處理後，其後測成績明顯高於前測，且實驗組 I 的前後測平均差高於實驗組 II，顯示實驗組 I 之教學成效優於實驗組 II 的學習者。以概念學習成效試卷前測成績進行「Levene 係數同質性考驗」， $F(1, 42)=1.03$ ， $p=.316$ ，未違反同質性假設，表示兩組沒有顯著差異。

(二) 概念學習成效試卷之推論性統計分析

以「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷後測成績」為依變項，呈現於表 4-1-2：

表 4-1-2 概念學習成效試卷之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	56.60	1	56.60	10.04	.003
組內 (誤差)	236.77	43	5.64		
全體	307.20	45			

根據表 4-1-2， $F(1, 43)=10.04$ ， $p<.01$ ，顯示實驗組 I 優於實驗組 II 且達顯著差異，即接受「動態表徵教學」對學習者之概念學習成效較接受「靜態表徵教學」者佳，本研究結果支持研究假設 1-1，接受「不同教學模式學習者之概念學習成效達顯著差異」。

二、學習成效試卷前、後測與延宕測之成效分析

此部分乃回答研究問題二「不同教學模式(實驗組 I-融入動態表徵)、實驗組 II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習保留成效有何差異」進而以敘述性統計與推論性統計呈現其結果。

(一) 概念學習成效試卷前測與延宕測之敘述性統計分析

針對不同教學模式(實驗組 I、實驗組 II)的概念學習成效試卷成績(前測、延宕測)進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-3。

表 4-1-3 概念學習成效試卷前測與延宕測之敘述性統計分析

	N	前測		延宕測		延宕測-前測
		M	SD	M	SD	平均差
實驗組 I	22	4.27	2.53	10.46	1.57	6.12
實驗組 II	24	3.54	1.84	6.21	2.75	2.67

由表 4-1-3 顯示在教學處理後五週，實驗組 I 之學習者的延宕測成績明顯高於實驗組 II 之學習者，且實驗組 I 的兩次測驗平均差高於實驗組 II，顯示實驗組 I 之教學保留成效優於實驗組 II 的學習者。

(二) 概念學習成效試卷前測與延宕測之推論性統計分析

將「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷延宕測成績」為依變項，呈現於表 4-1-4：

表 4-1-4 概念學習成效試卷前測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	197.71	1	197.71	37.80	<.001
組內 (誤差)	224.89	43	5.23		
全體	432.37	45			

根據表 4-1-4， $F(1, 43)=37.80$ ， $p<.001$ ，顯示實驗組 I 優於實驗組 II 且達顯著差異，即接受「動態表徵教學」對學習者之概念學習保留成效較接受「靜態表徵教學」者佳，且本研究結果支持研究假設 2-1 接受「不同教學模式學習者之概念學習保留成效(前測、延宕測)達顯著差異」。

(三) 概念學習成效試卷後測與延宕測之敘述性統計分析

針對不同教學模式 (實驗組 I、實驗組 II) 的概念學習成效試卷成績 (後測、延宕測) 進行敘述性統計分析，結果如表 4-1-5。

表 4-1-5 概念學習成效試卷後測與延宕測之敘述性統計分析

	N	後測		延宕測		延宕測-後測
		M	SD	M	SD	平均差
實驗組 I	22	10.36	2.13	10.46	1.57	0.10
實驗組 II	24	7.96	2.59	6.21	2.75	-1.75

由表 4-1-5 顯示在教學處理後五週，實驗組 I 之延宕測與後測成績差異不大，有些微的進步；而實驗組 II 之延宕測成績與後測成績相較有明顯的退步。實驗組 II 的兩次測驗平均差(退步幅度)大於實驗組 I，顯示實驗組 I 之教學保留成效優於實驗組 II 的學習者。以概念學習成效試卷後測成績進行「Levene 係數同質性考驗」， $F(1, 42)=3.33$ ， $p=.075$ ，未違反同質性假設，表示兩組沒有顯著差異。

(四) 概念學習成效試卷後測與延宕測之推論性統計分析

將「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷後測成績」為共變項，「概念學習成效試卷延宕測成績」為依變項，呈現於表 4-1-6：

表 4-1-6 概念學習成效試卷後測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	38.95	1	38.95	36.06	<.000
組內(誤差)	45.37	43	1.08		
全體	392.58	45			

根據表 4-1-6， $F(1, 43)=36.06$ ， $p<.001$ ，顯示實驗組 I 優於實驗組 II 且達顯著差異，即接受「動態表徵教學」對學習者之概念學習保留成效較接受「靜態表徵教學」佳，且本研究結果支持研究假設 2-2 接受「不同教學模式學習者之概念學習保留成效(後測、延宕測)達顯著差異」。

三、本節綜合討論

經由本節的分析結果可發現，學習「波的重疊原理」單元時，接受動態表徵學習者比接受靜態表徵學習者有較好的概念學習成效與學習保留成效。將接受不同教學模式的學習者在前測、後測以及延宕測的成績表現，整理呈現於表 4-1-7，並將表中資料轉換成折線圖呈現於圖 4-1-1：

表 4-1-7 實驗組 I 與實驗組 II 在前測、後測以及延宕測的平均分數

	前測	後測	延宕測
實驗組 I	4.27	10.36	10.46
實驗組 II	3.54	7.96	6.21

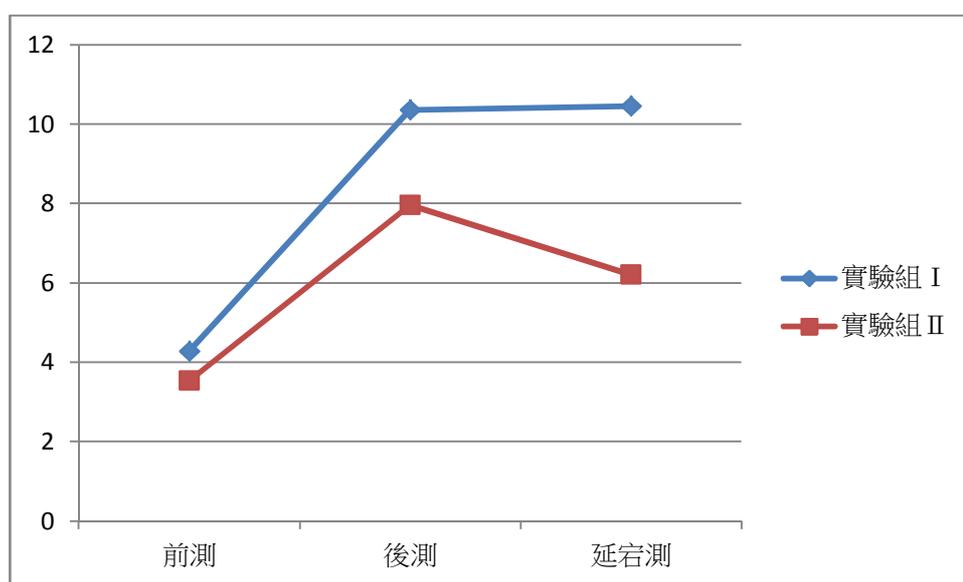


圖 4-1-1 實驗組 I 與實驗組 II 在前、後測、延宕測的平均分數折線圖

經由以上資料顯示，在教學後的後測表現上，動態表徵教學(實驗組 I)的學習成效明顯優於靜態表徵教學(實驗組 II)，而在教學處理後五週的延宕測表現上，接受動態表徵教學的學習者仍能維持學習成效，但接受靜態表徵教學的學生則有退步之現象，在學習保留成效上顯著落後動態表徵教學組。

4.2 不同表徵教學對「建設性干涉與破壞性干涉」及「自由端與固定端反射」單元之概念學習成效上與保留成效之分析

因本研究所分析的兩個次主題「建設性干涉與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」採用不同動畫或影片來源進行教學，因此研究者欲進一步探討此「教學模式」所造成之學習成效差異分別在此兩主題仍有同樣效果，故研究者將概念學習成效試卷試題依主題分為兩部份：「建設性干涉與破壞性干涉」包含第 1 到 9 題，「波的自由端與固定端反射」則包含第 10 到 13 題，分別進行統計分析。以下針對次主題「建設性干涉與破壞性干涉」和「波的自由端與固定端反射」的敘述性統計與推論性統計結果進行討論。

一、學習成效試卷次主題之概念學習成效分析

針對不同教學模式（實驗組 I、實驗組 II）的概念學習成效試卷「建設性與破壞性干涉（第 1 到 9 題）」以及「波的自由端與固定端反射（第 10 到 13 題）」成績（前、後測）進行敘述性統計分析，結果如表 4-2-1。

表 4-2-1 概念學習成效試卷次主題之敘述性統計分析

		前測		後測		後-前	
		N	M	SD	M	SD	平均差
建設性與破壞	實驗組 I	22	3.46	2.15	7.64	1.09	4.18
性干涉	實驗組 II	24	2.79	1.50	6.00	1.75	3.21
波的自由端與	實驗組 I	22	0.82	0.80	2.73	1.67	1.91
固定端反射	實驗組 II	24	0.75	0.85	1.78	1.38	1.03

由表 4-2-1 顯示實驗組 I 與實驗組 II 學習者在教學處理後，兩組學生於「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題之後測成績皆明顯高於前測成績，且實驗組 I 於兩主題之前後測平均差皆高於實驗組 II，顯示實驗組 I 之學習成效優於實驗組 II 的學習者。分別以概念學習成效試卷前測第 1 到 9 題和第 10 到 13 題成績進行「Levene 係數同質性考驗」，第 1 到 9 題 $F(1, 43)=3.20, p=.08$ ，第 10 到 13 題 $F(1, 43)=3.85, p=.06$ ，均未違反同質性假設，表示兩組沒有顯著差異。

(二) 概念學習成效試卷次主題之推論性統計分析

將「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第 1 到 9 題前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第 1 到 9 題後測成績」為依變項，呈現於表 4-2-2：

表 4-2-2 概念學習成效試卷第 1 到 9 題之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	26.50	1	26.50	12.35	.001
組內 (誤差)	92.24	43	2.15		
全體	125.83	45			

進而以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第 10 到 13 題前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第 10 到 13 題後測成績」為依變項，呈現於表 4-2-3：

表 4-2-3 概念學習成效試卷第 10 到 13 題之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	10.78	1	10.78	4.68	.037
組內 (誤差)	97.64	43	2.33		
全體	110.31	45			

根據表 4-2-2， $F(1, 43)=12.35, p<.01$ 與表 4-2-3， $F(1, 43)=4.68, p<.05$ 顯示，實驗組 I 在「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固

定端反射」兩主題上皆優於實驗組Ⅱ且達顯著差異，即兩主題即使採用不同動畫，接受「動態表徵教學」學習者之概念學習成效仍較接受「靜態表徵教學」者佳。

二、學習成效試卷次主題之概念學習保留成效分析

(一) 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之敘述性統計分析

針對不同教學模式（實驗組Ⅰ、實驗組Ⅱ）的概念學習成效試卷「建設性與破壞性干涉(第1到9題)」以及「波的自由端與固定端反射(第10到13題)」成績（前測、延宕測）進行敘述性統計分析，結果如表 4-2-4。

表 4-2-4 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之敘述性統計分析

	N	前測		延宕測		延宕-前
		M	SD	M	SD	平均差
建設性與破壞性干涉 實驗組Ⅰ	22	3.46	2.15	7.64	0.96	4.00
實驗組Ⅱ	24	2.79	1.50	4.58	1.89	2.21
波的自由端與固定端反射 實驗組Ⅰ	22	0.82	0.80	3.00	1.23	2.18
實驗組Ⅱ	24	0.75	0.85	1.63	1.44	0.88

由表 4-2-4 顯示在教學處理後五週，於「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題上實驗組Ⅰ之學習者的延宕測成績皆明顯高於實驗組Ⅱ之學習者，且實驗組Ⅰ於兩主題之兩次測驗平均差皆高於實驗組Ⅱ，顯示實驗組Ⅰ於兩次主題之教學保留成效優於實驗組Ⅱ的學習者。

(二) 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之推論性統計分析

將「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第1到9題前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第1到9題延宕測成績」為依變項，呈現於表 4-2-5：

表 4-2-5 概念學習成效試卷第1到9題前測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	88.90	1	88.90	37.96	<.001
組內 (誤差)	100.70	43	2.34		
全體	195.91	45			

進而以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第10到13題前測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第10到13題延宕測成績」為依變項，呈現於表4-2-6：

表 4-2-6 概念學習成效試卷第10到13題前測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	22.34	1	22.34	12.51	.001
組內 (誤差)	76.75	43	1.79		
全體	101.33	45			

根據表 4-2-5， $F(1, 43)=37.96$ ， $p<.001$ 與表 4-2-6， $F(1, 43)=12.51$ ， $p<.01$ ，顯示實驗組 I 在「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題上皆優於實驗組 II 且達顯著差異，即兩主題即使採用不同動畫，接受「動態表徵教學」學習者之概念學習保留成效仍較接受「靜態表徵教學」者佳。

(三) 概念學習成效試卷次主題後測與延宕測之敘述性統計分析

針對不同教學模式（實驗組 I、實驗組 II）的概念學習成效試卷「建設性與破壞性干涉（第1到9題）」以及「波的自由端與固定端反射（第10到13題）」成績（前測、延宕測）進行敘述性統計分析，結果如表 4-2-7。

表 4-2-7 概念學習成效試卷次主題前測與延宕測之敘述性統計分析

		N	後測		延宕測		延宕-前
			M	SD	M	SD	平均差
建設性與破壞	實驗組 I	22	7.64	1.09	7.64	0.96	-0.18
性干涉	實驗組 II	24	6.00	1.75	4.58	1.89	-1.42
波的自由端與	實驗組 I	22	2.73	1.67	3.00	1.23	0.27
固定端反射	實驗組 II	24	1.78	1.38	1.63	1.44	-0.16

由表 4-2-7 顯示在教學處理後五週，於「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題上實驗組 I 之學習者的延宕測成績皆明顯高於實驗組 II 之學習者，且實驗組 I 於兩主題之兩次測驗平均差皆高於實驗組 II，顯示實驗組 I 於兩次主題之教學保留成效優於實驗組 II 的學習者。

(四) 概念學習成效試卷次主題後測與延宕測之推論性統計分析

將「教學模式」變項進行單因子共變數分析，分析時以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第1到9題後測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第1到9題延宕測成績」為依變項，呈現於表 4-2-8：

表 4-2-8 概念學習成效試卷第1到9題後測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	20.91	1	20.91	22.74	<.001
組內(誤差)	39.53	43	.92		
全體	195.91	45			

進而以「教學模式」為自變項、「概念學習成效試卷第10到13題後測成績」為共變項，「概念學習成效試卷第10到13題延宕測成績」為依變項，呈現於表4-2-9：

表 4-2-9 概念學習成效試卷第10到13題後測與延宕測之推論性統計分析

變異來源	SS	df	MS	F	顯著性
組間	3.26	1	3.26	8.87	.005
組內 (誤差)	15.45	43	.37		
全體	96.00	45			

根據表 4-2-8， $F(1, 43)=22.74$ ， $p<.001$ 與表 4-2-9， $F(1, 43)=8.87$ ， $p<.01$ ，顯示實驗組 I 在「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題上皆優於實驗組 II 且達顯著差異，即兩主題即使採用不同動畫，接受「動態表徵教學」學習者之概念學習保留成效仍較接受「靜態表徵教學」者佳。

三、本節綜合討論

將兩個次主題依兩組在前測、後測以及延宕測的概念學習成效表現，轉換成折線圖呈現於圖 4-2-1 與圖 4-2-2：

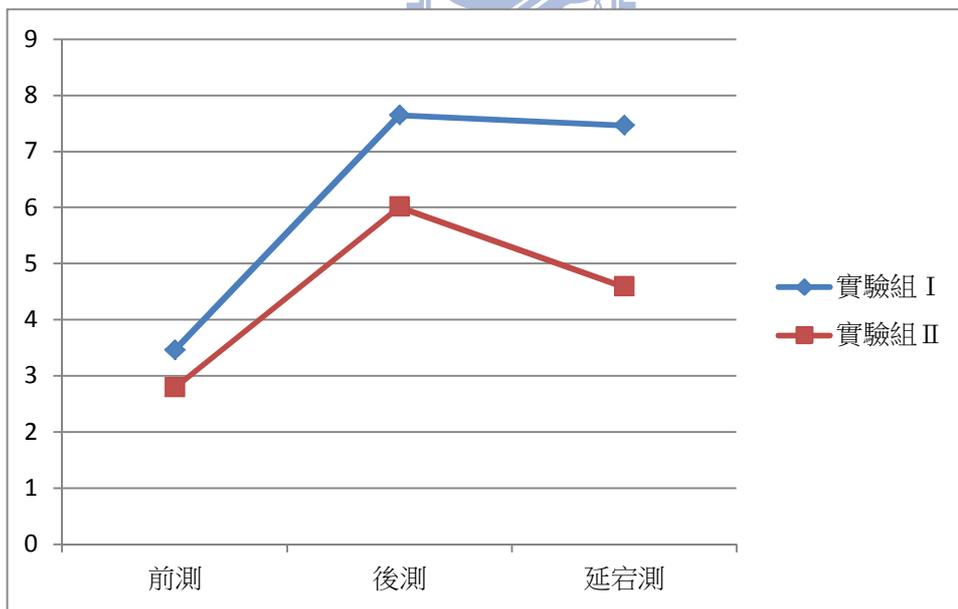


圖 4-2-1 實驗組 I 與實驗組 II 在次主題「建設性干涉與破壞性干涉」中前、後測以及延宕測的平均分數折線圖

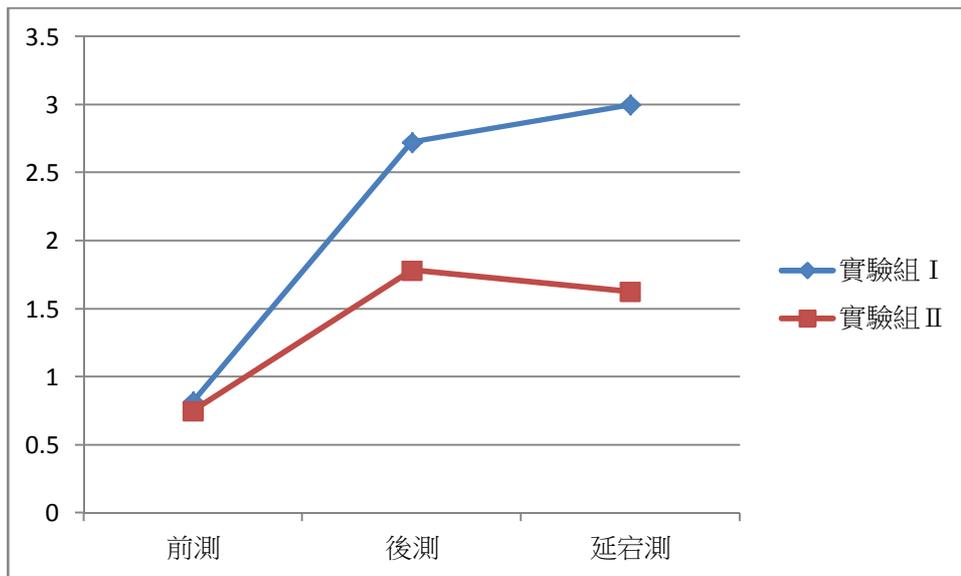


圖 4-2-2 實驗組 I 與實驗組 II 在次主題「自由端與固定端反射」中前、後測以及延宕測的平均分數折線圖

經由本節的分析結果可發現，「建設性與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題即使採用不同動畫，接受「動態表徵教學」學習者之概念學習成效以及教學後五週的概念學習保留成效上，皆明顯較接受「靜態表徵教學」者佳。接受「動態表徵教學」者僅在「建設性與破壞性干涉」主題上有微幅退步，而接受「靜態表徵教學」者在兩個次主題上皆呈出現退步之情形。

4.3 不同表徵教學對於概念學習過程成效之分析

一、學習過程記錄單各組總成績與次主題成效分析

此部分乃回答研究問題三「不同教學模式(實驗組I-融入動態表徵)、實驗組II-融入靜態表徵)對學習者在「波的重疊原理」單元之概念學習過程成效有何差異?。又因本研究於兩個次主題「建設性干涉與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」採用不同動畫或影片來源進行教學，因

此研究者欲進一步探討「教學模式」對學習過程成效差異之影響是否於此兩主題出現，故研究者將學習過程記錄單試題依主題分為兩個題組，題組一的内容為「建設性干涉與破壞性干涉」，而題組二的内容則是「波的自由端與固定端反射」，分別以敘述性統計與推論性統計呈現其結果。

(一) 學習過程紀錄描述性統計和推論性統計分析

本研究對實驗組 I 與實驗組 II 之學習過程紀錄成績總分以及於兩個次主題之分數進行描述統計和推論性統計分析，結果如表 4-3-1：

表 4-3-1 學習過程紀錄描述統計分析

		N	M	SD	t (實II-實I)
總分	實驗組 I	22	37.32	2.01	-3.12**
	實驗組 II	24	34.00	4.61	
建設性與破壞性干涉	實驗組 I	22	18.59	1.74	-1.42
	實驗組 II	24	17.5	3.19	
自由端與固定端反射	實驗組 I	22	18.73	1.58	-2.84**
	實驗組 II	24	16.5	3.35	

** $p < .01$

兩組成績進行同質性假設之檢定Levene檢定，結果如表 4-3-2：

表 4-3-2 學習過程記錄單各項成績同質性假設之檢定Levene檢定分析表

	總成績	建設性與破壞性干涉	波的自由端與固定端反射
F值	14.39***	7.88**	6.69*

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

由表 4-3-2 結果顯示，學習過程記錄之總成績與分項成績均違反同質性檢定，表示兩受測樣本之變異數差異性達顯著，故進行獨立樣本T檢定分析時，需採計「假設變異數不相等」之結果值。

由表 4-3-1 顯示實驗組 I 之學習者在總成績以及兩個次主題「建設性干涉與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」的學習過程表現，均優於實驗組 II 之學習者，且在總成績以及「波的自由端與固定端反射」

成績上達顯著差異。顯示接受「動態表徵教學」對學習者之概念學習過程成效較接受「靜態表徵教學」者佳，此研究結果亦支持研究假設3-1。此外，實驗組 I 的標準差在總分以及兩個次主題上皆小於實驗組 II，顯示與「靜態表徵教學」相較，「動態表徵教學」不只有助於提昇學習歷程成效，亦能縮小學習者間的成效差異。

二、學習過程記錄單之細部概念學習過程成效分析

為了解學習者在完成「波的重疊原理」教學後，能否判斷兩波在同一介質上行進時，波在不同時間點之位置，以及能否判斷兩波相遇時，合成波的位移疊加結果。本研究使用之學習過程記錄單，每一小題均分為兩部分，第一部分「波的行進」主要欲了解學習者是否能正確的畫出波在各個瞬間的位置，第二部分「波的重疊」欲了解學習者是否能正確的畫出波在各個瞬間的疊加結果以下針對「波的重疊原理」單元中的細部概念：「波的行進」與「波的重疊」之概念學習過程成效做進一步分析。

1、「波的行進」與「波的重疊」描述性與推論性統計分析

本研究對實驗組 I 與實驗組 II 之於「波的行進」與「波的重疊」成績進行描述統計分析，結果如表 4-3-3：

表 4-3-3 「波的行進」與「波的重疊」成績描述性與推論性統計分析

		波的行進				波的重疊		
		N	M	SD	t	M	SD	t
		(實II-實I)				(實II-實I)		
總分	實驗組 I	22	18.59	1.05	-2.97**	18.73	0.99	-3.25**
	實驗組 II	24	17.00	2.30		17.00	2.30	
建設性與破壞性干涉	實驗組 I	22	9.23	0.92	-1.23 (p=.23)	9.36	0.85	-1.60 (p=.12)
	實驗組 II	24	8.75	1.59		8.75	1.59	
自由端與固定端反射	實驗組 I	22	9.36	0.79	-2.84**	9.36	0.79	-2.84**
	實驗組 II	24	8.25	1.67		8.25	1.67	

** $p < .01$

兩組成績進行同質性假設之檢定Levene檢定，結果如表 4-3-4：

表 4-3-4 學習過程記錄單各項細部概念成績同質性假設之檢定Levene檢定分析表

	總成績	建設性與破壞性干涉	波的自由端與固定端反射
波的行進 F值	13.26**	6.72*	6.69*
波的重疊 F值	15.10***	8.01**	6.698

* $p < .05$; ** $p < .01$; *** $p < .001$

由表 4-3-4 顯示，「波的行進」與「波的重疊」之學習過程記錄總成績與分項成績均違反同質性檢定，表示兩受測樣本之變異數差異性達顯著，故進行獨立樣本T檢定分析時，需採計「假設變異數不相等」之結果值。

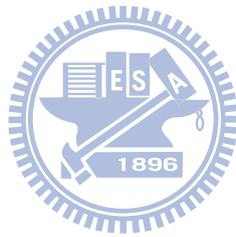
由表 4-3-3 顯示，無論在「波的行進」或「波的重疊」之細部概念，實驗組 I 之學習者在總成績以及兩個次主題「建設性干涉與破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」的學習過程表現，均優於實驗組 II 之學習者，且在總成績以及「波的自由端與固定端反射」成績上達顯著差異。顯示接受「動態表徵教學」對學習者在「波的行進」以及「波的重疊」之細部概念學習過程成效較接受「靜態表徵教學」者佳，此研究結果亦支持研究假設3-1。

此外，無論在「波的行進」或「波的重疊」之細部概念，實驗組 I 的標準差在總分以及兩個次主題上皆小於實驗組 II，顯示與「靜態表徵教學」相較，「動態表徵教學」不只有助於提昇在「波的行進」以及「波的重疊」之細部概念的學習歷程成效，亦能縮小學習者間的成效差異。

三、本節綜合討論

經由本節的分析結果可發現，學習「波的重疊原理」單元時，接受動態表徵學習者比接受靜態表徵學習者有較好的概念學習過程成效，且除了在次主題「建設性干涉與破壞性干涉」的差異未達顯著外，其餘差異性均

已達顯著。而在「波的行進」與「波的重疊」細部概念的部分結果亦同。此外，與「靜態表徵教學」相較，「動態表徵教學」不只有助於提昇學習者各方面的學習過程成效，亦能縮小學習者間的成效差異。



五、結論與建議

5.1 結論與討論

本章依據研究目的、待答問題以及研究結果，於第一節綜合歸納本研究之結論，並於第二節就本研究結論作出教學與研究上之具體建議。

一、接受動態表徵教學的學習者較接受靜態表徵教學的學習者，有較好的概念學習成效：

經由概念學習成效試卷測驗結果顯示，不論是在「波的重疊原理」單元中的任一主題裡「建設性干涉」、「破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」，接受動態表徵教學的學習者其概念學習成效，均優於接受靜態表徵教學的學習者。此研究結果支持劉光中(2007)認為操作動態表徵的教學對於學習者的學習有正面影響。研究者認為因為波的重疊過程，在日常生活中較少有具體的例子能夠讓學習者觀察或體驗，所以對於學習者來說，這是一個陌生且抽象的現象，因此如果能夠用動畫來呈現完整的過程，讓學習者親身體驗完整的波的重疊現象，對於學習者的理解一定是有正面的幫助與影響，因此在學習成效上，也就優於接受圖片教學的學習者。

二、接受動態表徵教學的學習者較接受靜態表徵教學的學習者，有較好的概念學習保留成效：

研究者對兩組學習者在進行教學活動後的五週，實施概念學習成效試卷之延宕測，實驗結果顯示，不論是在「波的重疊原理」單元中的任一主題裡，接受動態表徵教學的學習者其概念學習保留成效，均優於接受靜態表徵教學的學習者。此研究結果支持呂慧君(2009)使用動態表徵教學能有較好的學習保留成效。研究者認為由於動畫教學擁有快速呈現的優勢，因此，在同樣的教學節數下，接受動畫教學的學生能夠有更多的時間可以討論，而學生能夠有較長的時間去沉澱且吸收所學的概念，對於概念學習保

留成效勢必會產生助益。

三、接受動態表徵教學的學習者較接受靜態表徵教學的學習者，有較好的概念學習過程成效：

在教學活動結束後，兩組學習者立即練習學習過程記錄單的例題，以加深印象並確認學生對於「波的行進」與「波的重疊」過程之理解程度。研究資料顯示，接受動態表徵教學的學習者於總分以及「建設性和破壞性干涉」以及「波的自由端與固定端反射」兩主題的概念學習過程成效，均優於接受靜態表徵教學的學習者，僅在「建設性和破壞性干涉」之主題差異未達顯著。此研究結果支持林嘉孜(2009)對陌生概念的学习過程之影響，使用動畫教學能得到最佳的學習效果。研究者認為動態表徵教學之所以能夠較靜態表徵教學，獲得更佳的概念學習過程成效，其主要的原由與概念學習成效的相同，動畫能夠加深學習者對於「波的重疊」過程的印象，因此在概念學習的過程中，能夠有較優於接受圖片教學的學習者之成效。而建設性干涉與破壞性干涉此主題的表現之所以沒有顯著的差異，研究者認為，是因為學習者已學過此主題的內容，故在進行教學的過程中，喚起了學習者的記憶，此為恢復現象。對於以前某事物記憶起來，以後於某時刻卻忽然又記起來。在學習時常會發生這種現象，意即學習一種概念教材後，立刻去回憶，所能記憶的不多，但一段時間後再測驗，記憶量反而增多起來(黃正賢，2007)。因此在概念學習過程中的表現，並不會有太大的差異存在。

四、總結

綜合以上研究結果顯示，動態表徵教學與靜態表徵教學都有助於學習者的學習，但接受動態表徵教學之學習者其概念學習成效優於接受靜態表徵教學之學習者，且使用動態表徵教學同時能提升學習者之概念學習保留成效與概念學習過程成效。在現行的高中物理教材中，有許多章節闡述的概念是相當抽象的，或者是某些現象在日常生活中難以觀察，例如本研究所探討波的重疊與反射等特性。研究者發現如果初學者使用不適當的方式來學習，可能學習到的概念都是零碎且不完整的，故造成學習者之學習成

效低落。因此學習方法與教材呈現方式就顯得重要，若是能夠針對此些章節或概念，運用動態表徵來輔助教學，勢必能夠對於學習者之學習成效，產生正面的助益。

5.2 建議

一、對教學的建議：

(一) 使用合適的動畫教材

以本研究為例，高三「波的重疊原理」單元網路上有許多網站都找的到動畫或影片教材，但是有些教材的設計不是很流暢，或者是內容有誤，都不是合適的動畫教材。建議尋找動畫前要先分析概念特性，本研究結果顯示動態表徵教學對於學習成效有正面的助益，主因為波的重疊現象對於學習者而言是抽象且不易觀察到的，因此使用動畫輔助教學，能夠得到好的成效。故若要進行動態表徵教學務必要挑選合適的動畫教材。

(二) 延長教學的時間

本研究範圍為高三「波的重疊原理」單元，在教學節數兩節的時間內，而要教授的觀念很多，可能導致學生無法完全吸收且內化，故若能夠延長實驗的時間來進行研究，則在建設性與破壞性干涉的學習歷程成效上應該能有更明顯的差異。

二、對研究的建議

未來可發展教師教學融入電腦動畫對學習成效影響之相關研究，研究的方面可放在比較老師操作動畫說明（學習進度主控權在老師）與學生自行操作動畫並提出解釋（學習進度主控權在學生），對學習成效之影響。許多研究（包含本研究）比較動態和靜態表徵對學習成效之影響，但少有研究嘗試解釋動態和靜態表徵如何影響學習者概念建構的統整性，未來研究亦

可針對動態和靜態表徵對學習的影響機制作較深入之探討。

綜觀目前國內外電腦輔助教學之相關研究，大多數為教導式或評量式的動畫教材對學習者之學習成效的影響，較少為教師教學融入電腦動畫對學習成效之影響，故為驗證本研究之正確性，研究者希望能夠有更多學者能夠投入心力來研究以不同教學設計形式將電腦動畫融入教學對學習成效之影響。



參考文獻

中文部分

- 尹玫君 (1993)。練習式及指導式電腦輔助教學軟體之探討。初等教育公報，6，117-130。
- 呂慧君 (2009)。激發式動態表徵設計運用於國小六年級分數除法教學成效之研究。國立臺北教育大學，台北市。
- 李賢輝 (1999)。天馬行空—話說多媒體概論與實務。財團法人資訊工業策進會。
- 林貞延 (2010)。動態鏈結多重表徵環境下高職學生學習二次不等式的成效之研究。國立臺灣師範大學，台北市。
- 林嘉孜 (2009)。字幕在多媒體英語學習過程中對字彙習得與句子理解之探究。國立臺灣海洋大學，基隆市。
- 邱惠芬 (2003)。多媒體介面對國小學童學習動機、學習成就及學習保留的影響。屏東師範學院，屏東縣。
- 范懿文、陳彙芳 (2000)。認知負荷對多媒體電腦輔助學習成效之影響研究。資訊管理研究，2，45-60。
- 凌久原 (2007)。動態多重表徵對於國中生幾何單元學習成效之影響。國立成功大學，台南市。
- 徐文杰、金承慧 (2000)。多媒體內容的應用與展望。電子出版與圖書館學術研討會論文集，103-125。
- 張國恩 (2002)。從學習科技的發展看資訊融入教學的內涵。北縣教育，41，16-25。
- 陳伶伶 (2004)。多媒體動畫融入國小六年級教學之學習成效研究-以分數之加、減、乘法為例。國立臺南大學，台南市。
- 陳建偉 (2008)。高三學生液體界面現象迷思概念之研究。國立臺灣師範大學，台北市。

陳裕亮 (2003)。高職廣義角三角函數單元 GSP 電腦輔助教材之設計與教學成效研究。國立高雄師範大學，高雄市。

黃正賢 (2007)。動態化媒體應用於高職電子科抽象概念學科對學生學習成效之影響。國立臺灣師範大學，台北市。

黃福坤 (2000)。網路虛擬環境中國中生科學學習模式之研究子計畫一：動畫情境模擬對中學生科學學習的影響，行政院國家科學委員會輔助專題研究計畫成果報告(編號：NSC89-2511-S-003-063)。

劉光中 (2007)。操作動態表徵教學對學習成效的影響-以「函數極限」「導函數」單元為例。國立嘉義大學，嘉義市。

鄭秀芬 (2003)。高中生的波動概念探究與電腦輔助學習教材研製。國立臺灣師範大學，台北市。

鄭晉昌 (1997)。視覺思考及科學概念的獲取-設計與發展電腦輔助視覺學習環境。《*教學科技與媒體*》，33，20-27。

蕭登仲 (2002)。國小五年級學生在動態多重表徵視窗環靜下學習等值分數成效之研究。91 學年度師範院校教育論文發表會論文集，1419-1458。

戴錦秀 (2002)。國小五年級學生使用電腦軟體 GSP 學習三角形面積成效之研。國立高雄師範大學，高雄市。

鍾秀景、郭遠明、郭重吉 (1986)。波動現象電腦輔助教學教材軟體設計。《*教育學院學報*》，11，627- 643。

英文部分

Baek, Y. K. & Layne, B. H. (1988). Color, graphic, and animation in computer-assisted learning tutorial lesson. *Journal of Computer-Based Instruction*, 15(4), 131-135.

Chanlin, L. J. (1997). The effects of verbal elaboration and visual elaboration on student learning, *International Journal of Instructional Media* 24(4),333-339.

Dale, E. (1946). Audio-visual methods in teaching. New York. USA:Holt, Rinehart & Winston.

diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics, *Cognition and instruction* 10 (21), 105.

Driver, R. & Erickson, G. (1983). Theories-in-action: some theoretical and empirical issues on the study of student's conceptual frameworks in science, *Studies in Science Education* 10,37.

Fowler, W. (1993). *Effects of Computer Exercise on student cognitive process*. Thesis, Dominican College.

Hewson, M. G. & Hewson, P. W.(1983). Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning, *Journal of Research in Science Teaching* 20(8),731-743.

Lai, S. L. (1998). The effects of visual display on analogies using computer-based learning, *International Journal of Instructional Media* 25(2), 151-160.

Large, A., Beheshti, J., Breuleux, A.,& Renaud, A. (1994). Multimedia and comprehension: the relationship among text, animation, and captions, *Journal of the American Society for Information Science* 46(5), 340-347.

Mayer, R. E. (2001). *Multimedia learning*. New York, Cambridge University Press.

Mayton, G. B. (1991). *Learning dynamic process from animated visual's in microcomputer based instruction*. Proceeding of the annual Meeting of the association for Educational Communication and Technology.

Milheim, W. D. (1993). How to use animation in computer assisted learning. *British Journal of Educational technology* 24(3),171-178.

Paivio, A. (1990). *Mental representation: A dual coding approach*. New York, Oxford University Press.

Park, O. (1998). Visual displays and contextual presentations in computer-based instruction, *ETR&D* 46 (3), 37-50.

Poohkay, B., & Szabo, M. (1995). Effects of animation & visuals on learning high school mathematics.

Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change, *Science education* 66(2), 211.

Rieber, L. P. (1989). *A review of animation research in computer-based instruction*. Presented at the annual meeting of the association for Educational Communication and Technology.

Rieber, L. P. (1990). Using computer animated graphics in science instruction with children. *Journal of Educational Psychology*, 82(1), 135-140.

Rieber, L. P. (1991). Animation, incidental learning, and continuing motivation. *Journal of Educational Psychology*, 83(3), 318.

Rieber, L. P. & Kini, A. S. (1991). Theoretical foundation of instructional applications of computer-generated animated visuals. *Journal of computer based instruction*, 18(3), 83-88.

Redish, E. F. (1993). Is the computer appropriate for teaching physics? ,*Computer in Physics*, 7(6), 613-615.

Redish, E. F. (1993). What can a physics teacher do with a computer? ,<http://www.physics.umd.edu/ripe/papers/resnick.html>

Rieber L. P. (1994). Computers ,graphic & learning ,
<http://www.nowhereroad.com/cgl/request.html>

Schnotz, W. & Grzondziel, H. (1996). Knowledge acquisition with static and animated pictures in computer-based learning, *Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association*, New York, April 8-12.

Snir, J. (1989). Making waves: a simulation and modeling computer-tool for studying wave phenomena. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 8(4), 48-53.

Szabo, M. & Poohkay, B. (1996). An experimental study of animation ,mathematics achievement, and attitude toward computer-assisted instruction, *Journal of Research on Computing in Education* 28 (3), 390-402.

Tongchai, A., Sharma, M. D., Johnston, I. D., Arayathanitkul, K., & Soankwan, C. (2009). Developing, evaluating and demonstrating the use of a conceptual survey in mechanical waves. *International Journal of Science Education*, 31(18), 2437-2457.

Wittmann M. (1996). Student difficulties in understanding mechanical waves: an overview of previous research results ,
<http://perlnet.umephy.maine.edu/wittmann/research/wavelitreview96/wavereseaarch.htm>

Wittmann M. C., Steinberg R. N., & Redish E. F. (1999). Making sense of how students make sense of mechanical waves, *The Physics Teacher* 37, 15-21.

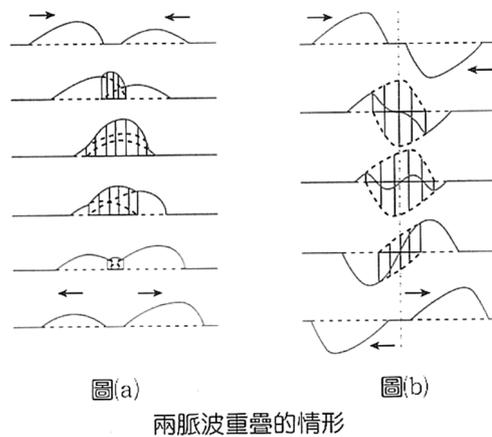
附錄

附錄一 動態表徵教學教案與靜態表徵教學教案

動態表徵教學教案

教學內容

壹、波的重疊原理



一、意義：當兩波訊號同時傳遞至同一位置時，**合成波的位移等於各成份波位移之總和**。

將兩成份波相遇**各點的垂直位移**做向量和，即可得到合成波上各點的位移，進一步可得到合成波的波形。而此疊加原理即為波的重疊原理

二、波的獨立性：

脈波交會結束後，各自朝原方向前進，且波形、波長、波速、振幅皆**相同**。

(強調波是能量，釐清迷思！)

貳、波的干涉

一、意義：波重疊時，介質受到不同成份波的波訊號干擾而產生新波形（即合成波）的現象。

二、干涉的種類

在同繩上傳播的兩頻率相同的正弦波，其相位差會影響其的合成波的波形，造成不同種類的干涉。

1.相長干涉（建設性干涉）：干涉後合成波振幅大於成份波振幅者

當**合成波的振幅=兩成分波振幅之和**時，此時合成波的振幅到達最大，稱為**完全建設性干涉**。

2.相消干涉（破壞性干涉）：干涉後合成波振幅小於成份波振幅者

當合成波的振幅= 0 時，此時合成波的振幅到達最小，稱為完全破壞性干涉。

參、固定端反射

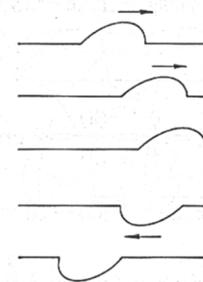
如右圖，將繩一端固定繫於牆上，在另一端製造一個向上振動的脈波，即可形成固定端反射的情形

一、反射機制：

波訊號傳遞至固定點時，繩施予固定點一個向上的拉力，但因牆是固定不動的，依牛頓第三運動定律，牆會對繩施一個向下的反作用力，而形成一個向下振動的反射波。

因為先入射的波形會被先反射，故反射波波形與入射波波形會形成左右對稱的情形。

二、反射波波形：反射波波形與入射波波形比較起來會上下顛倒，左右相反。



波經固定端反射

肆、自由端反射

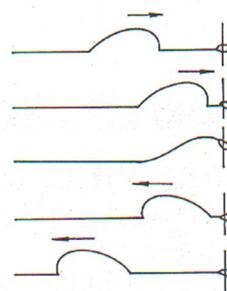
將繩右端繫於一質量不計的環上，環套於一根棒子上，使環可以沿棒子自由地上下移動（此即為自由端）。在另一端製造一個向上振動的脈波，即可形成自由端反射的情形

一、反射機制：

波訊號傳至自由端時，繩將環拉起，拉至波峰時，環因慣性之故而繼續上升，使得環的最高點位置比入射波振幅還高，因此環施予繩一個向上的拉力而製造出一個向上振動的反射波。

因為先入射的波形會被先反射，故反射波波形與入射波波形會形成左右對稱的情形。

二、反射波波形：反射波波形與入射波波形比較起來會上下不顛倒，左右相反。



波經自由端反射

伍、固定端與自由端反射之反射波波形探討

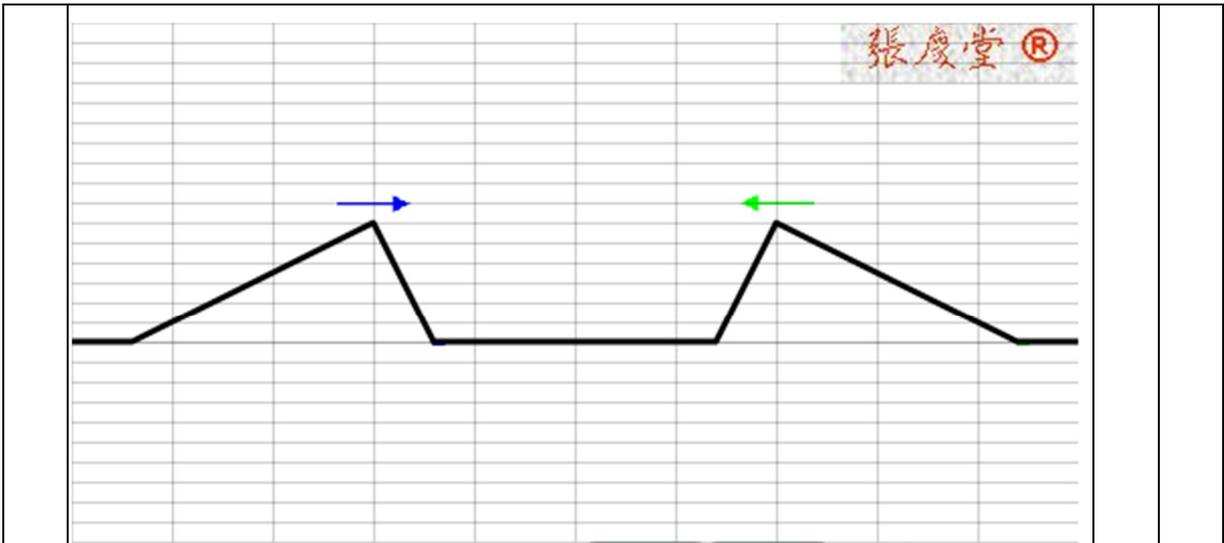
固定端與自由端的反射波，其反射波之波形一個是上下顛倒、左右相反；另一個則是上下不顛倒、左右相反，其實可以用數學裡面的波函數來證明，利用波函數的計算可以證明出固定端的反射波與入射波相位差為 $1/2$ ，且振幅剛好正負相反；而在自由端的部分，反射波與入射波相位差為 0 ，但是振幅的正負卻保持不變。因此兩種反射的波形才會有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

我們觀察兩種反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！固定端反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，因此我們看到反射波的波形會上下顛倒，左右相反。而自由端的反射則是可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下不顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，因此我們看到反射波的波形會上下不顛倒，左右相反。

第一堂課教學流程分析

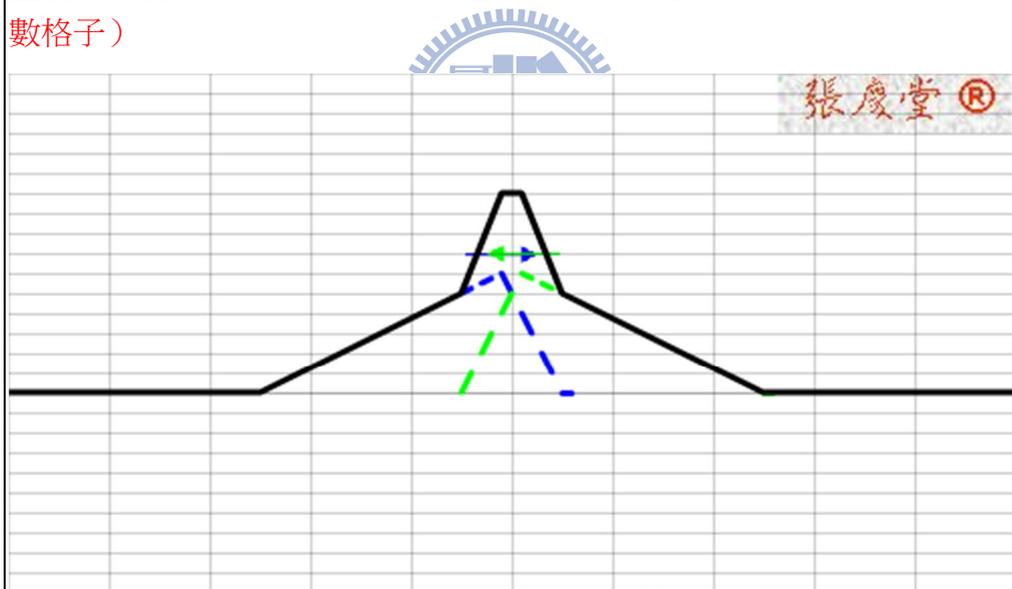
- 一、教學進度：波的重疊原理
- 二、教學目標：
 1. 能夠了解波的重疊原理之意義。
 2. 能處理兩波相遇時產生建設性干涉的問題。
 3. 能處理兩波相遇時產生破壞性干涉的問題。
- 三、教學準備：
 1. 教師準備筆記型電腦與移動式單槍。
 2. 學生攜帶物理課本、筆記本與文具用品等。
- 四、教學時間：50 分鐘。
- 五、教學對象：實驗組班級。
- 六、活動設計：(此堂課全程錄影)

教學目標	教學流程	時間分配	備註
1	一、前言 (5 分鐘) 架設硬體設備，並舉生活中實例(水波重疊與繩波重疊)引導學生進入主課程。	5	
	二、教學活動 (45 分鐘) (1) 老師說明觀念。告訴同學波的重疊原理之意義，並提醒同學此為重要定義，務必牢記！	5	
	(2) 講解合成波波形的形成原理： 開啟網頁： http://mail2.cjhs.kh.edu.tw/PhysicsElearning/category/ 教材介面如下： a.說明兩個脈衝波相向前進，振幅與波長均相同。波形不同。	5	



顯示個別波 重新 播放 重疊分析

b. 強調波動是一種能量的傳遞，而波所傳遞能量的大小會顯現在振幅上，因此兩波在相遇時會因為能量的**加成而造成振幅變大**。在此畫面中要強調藍色與綠色的兩個成分波振幅加起來會等於黑色合成波的振幅。（請學生數格子）

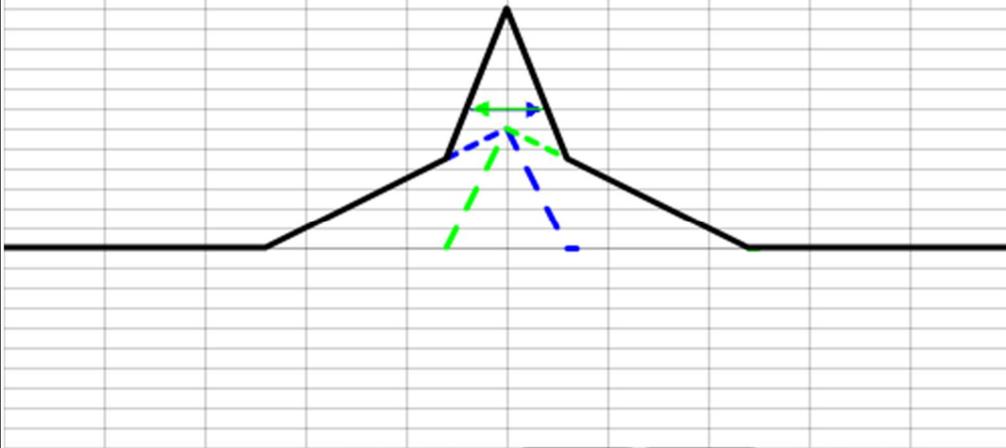


顯示個別波 重新 播放 重疊分析

c. 利用同一畫面說明建設性干涉的意義：
合成波振幅大於各成份波之振幅。

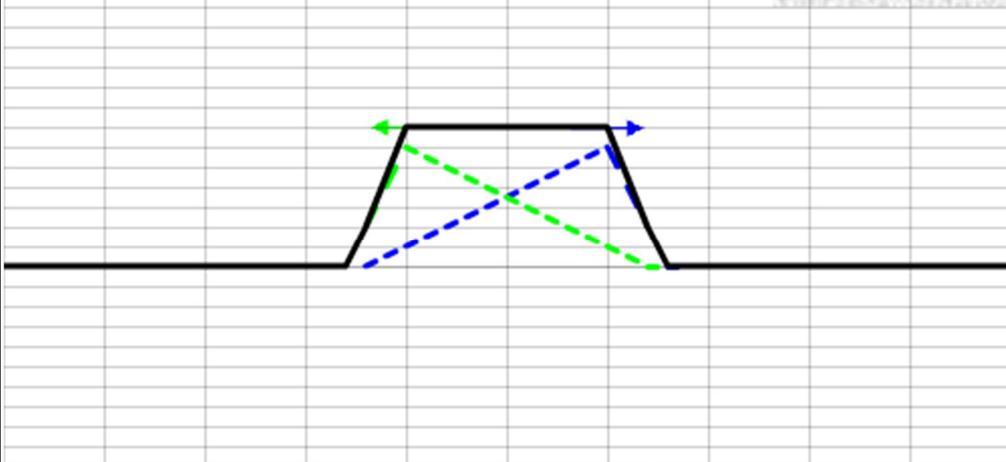
d. 當兩波波峰完全重疊時，黑色合成波的振幅達到最大，且剛好等於兩個成分波**振幅**的總和（強調），此狀況稱為完全建設性干涉。

5

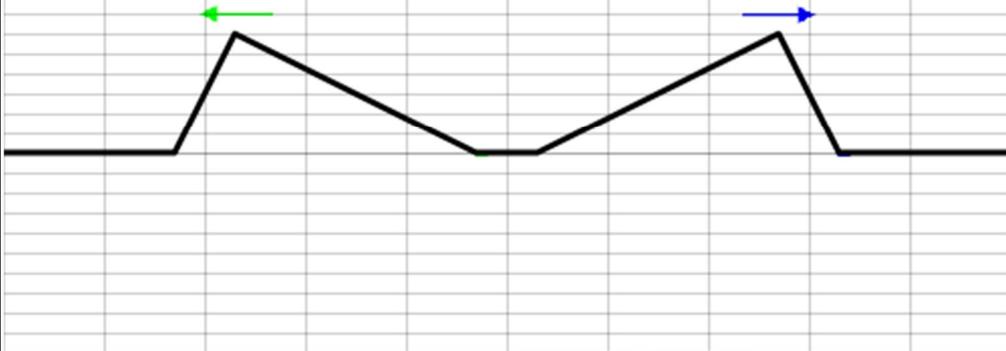


顯示個別波 重疊分析

e.當兩波完全分離後，此時應強調重疊的現象結束後，兩波回復至原來的狀態（如波長、振幅、波速、傳遞方向等，這裡要用提問的方式來進行講解。），因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會有像物質一樣碰撞的現象。

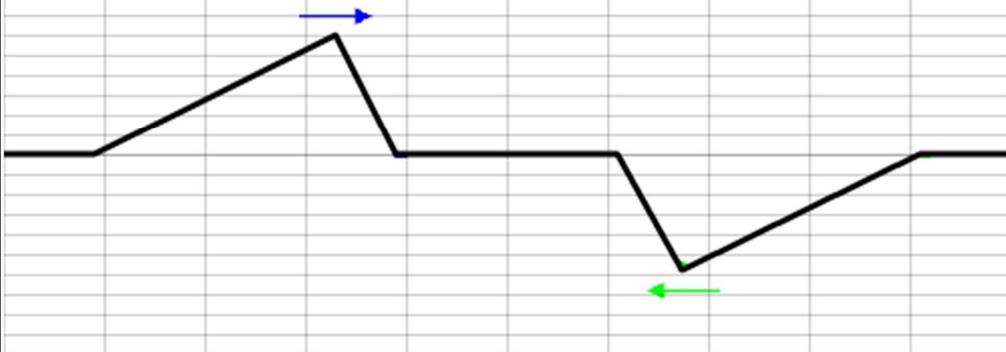


顯示個別波 重疊分析



顯示個別波 重新 播放 重疊分析

f.說明破壞性干涉的意義：合成波振幅小於於各成份波之振幅。
 兩個波振幅方向相反，相向前進。此時兩成分波垂直方向的位移因為方向相反，所以會互相抵消，造成黑色合成波振幅小於藍色與綠色成份波之振幅。(不要講能量，要講就要講動能位能的轉換)(請學生數格子)

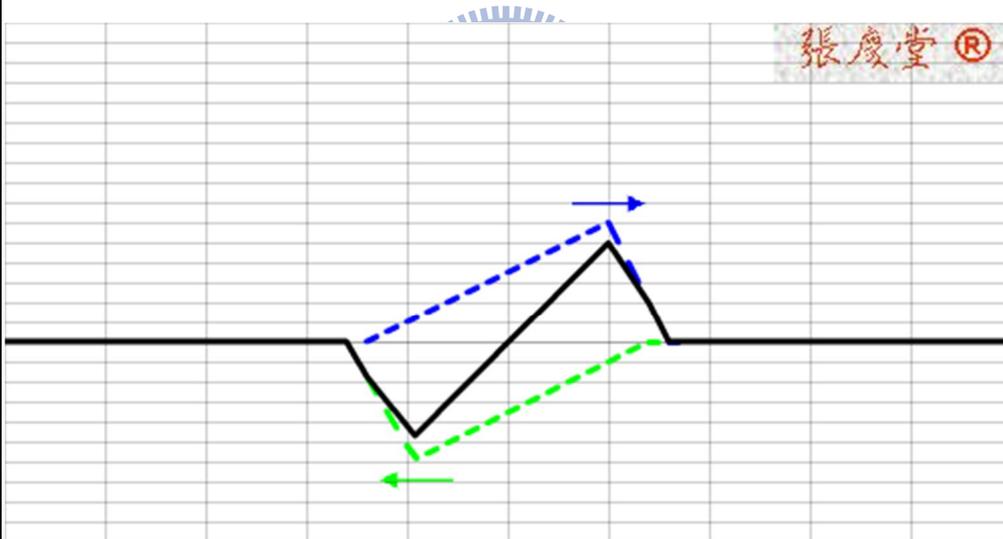


顯示個別波 重新 播放 重疊分析



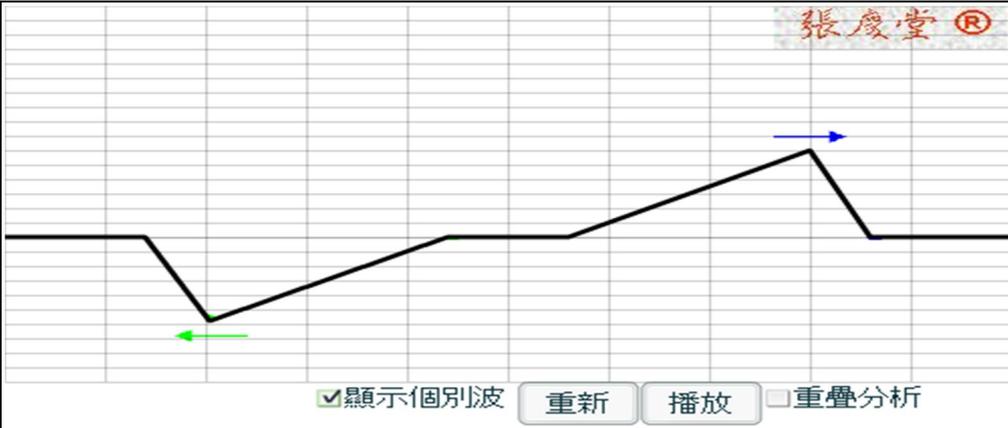
顯示個別波 重新 播放 重疊分析

g. 當兩波完全分離後，此時應強調重疊的現象結束後，兩波回復至原來的狀態（如波長、振幅、波速、傳遞方向等，這裡要用提問的方式來進行講解。），因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會有像物質一樣碰撞的現象。



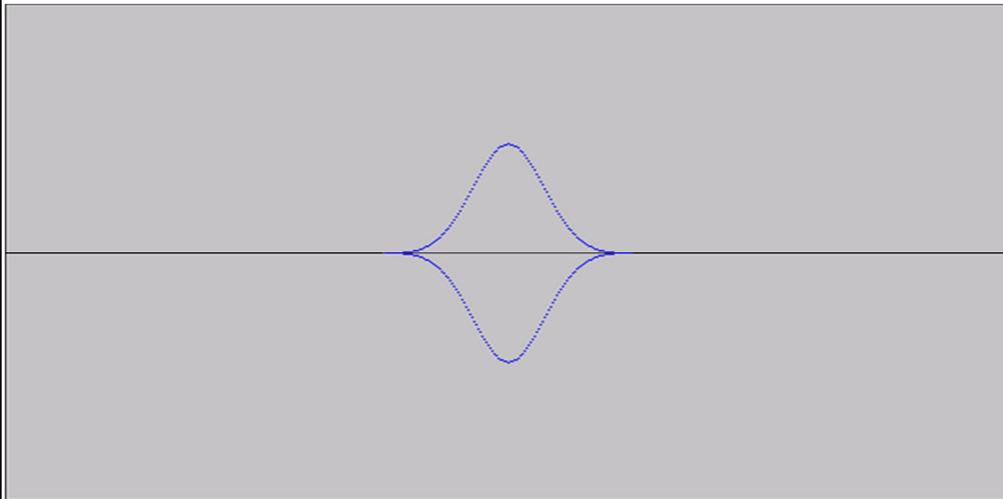
顯示個別波 重新 播放 重疊分析

10

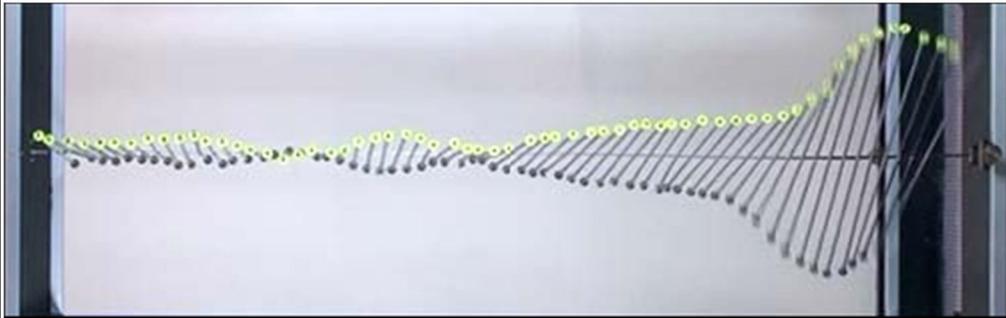


h. 當兩成分波之波峰波谷相遇時，因為兩波的垂直方向位移完全抵消，所以造成黑色合成波振幅為零，此狀況稱為完全破壞性干涉。

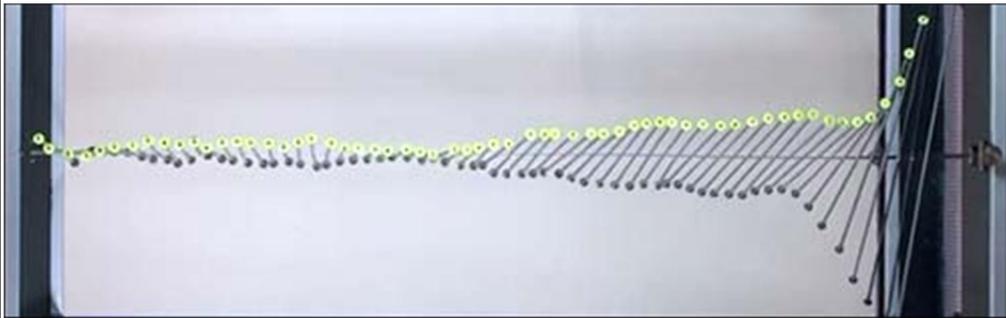
波形不對稱的時候，沒有完全破壞性干涉！



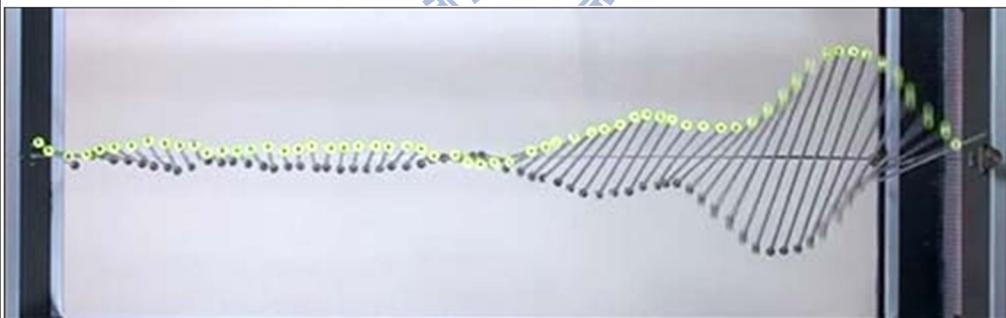
* 將班上同學分組，並請各組同學做學習單上的**題組一**，並且告知全班同學於五分鐘後，各組推派一位代表上台畫出你們的答案並說明理由。



b. 波訊號傳至自由端時，繩將環拉起，拉至波峰時，環因慣性之故而繼續上升，使得環的最高點位置比入射波振幅還高，因此環施予繩一個向上的拉力而製造出一個向上振動的反射波。



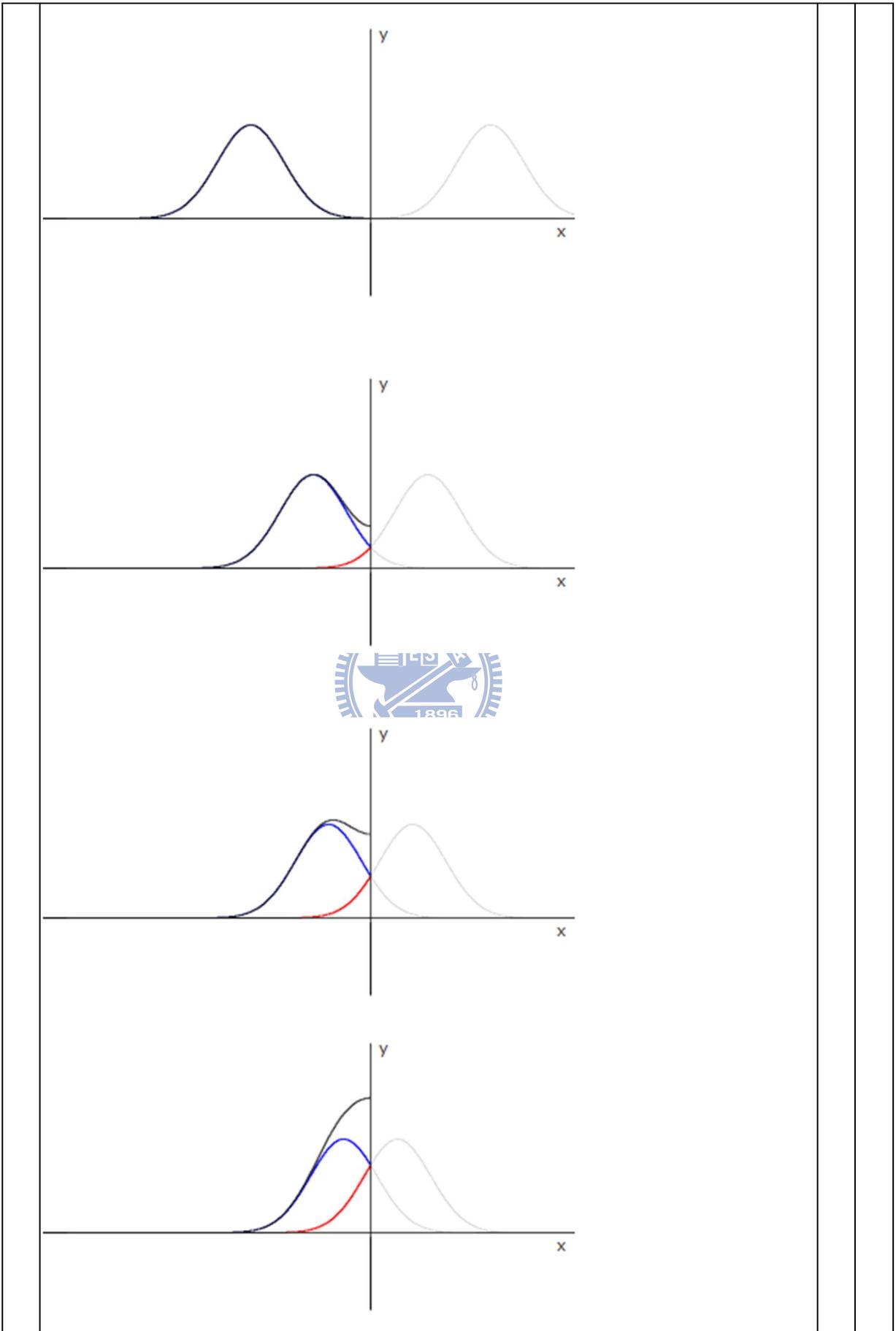
c. 因為先入射的波形會被先反射，用游泳者遇到牆壁折返當例子故反射波波形與入射波波形會形成左右相反的情形，但是上下不顛倒。

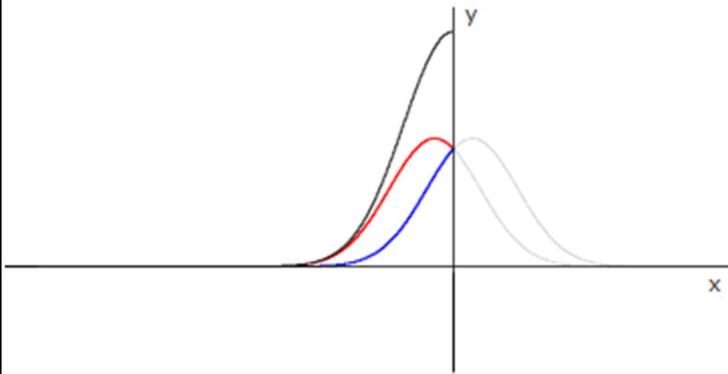
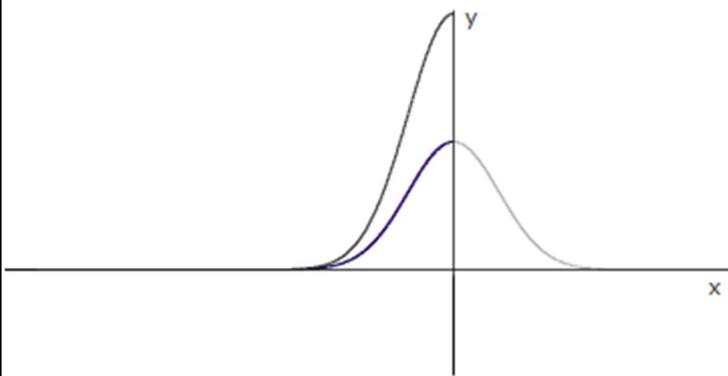
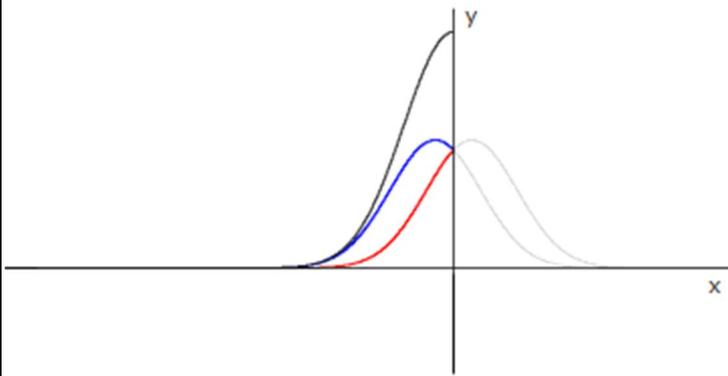


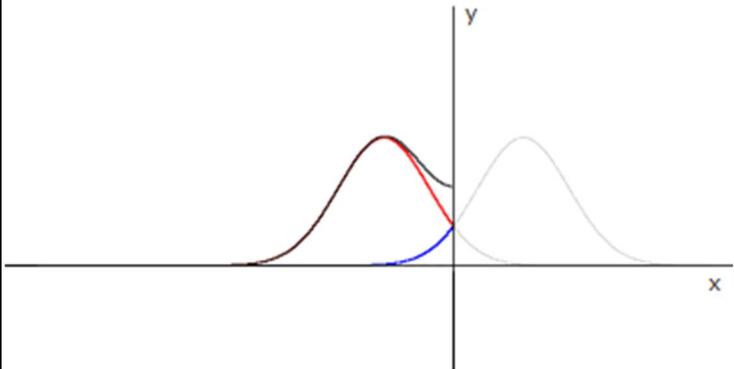
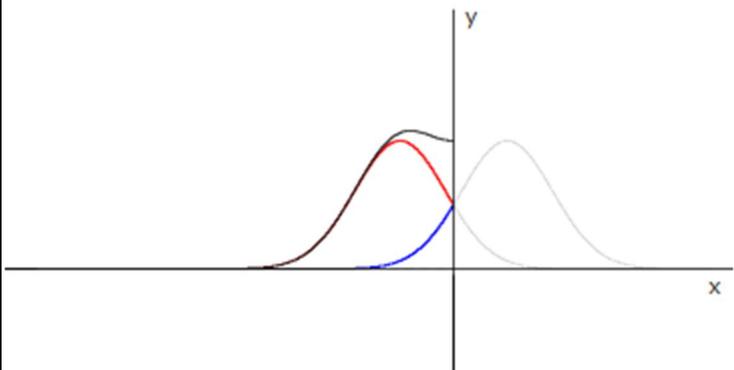
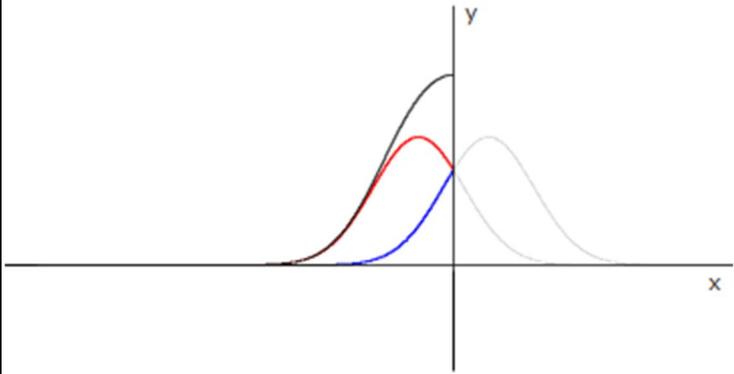
※說明反射波波形左右相反，上下不顛倒。

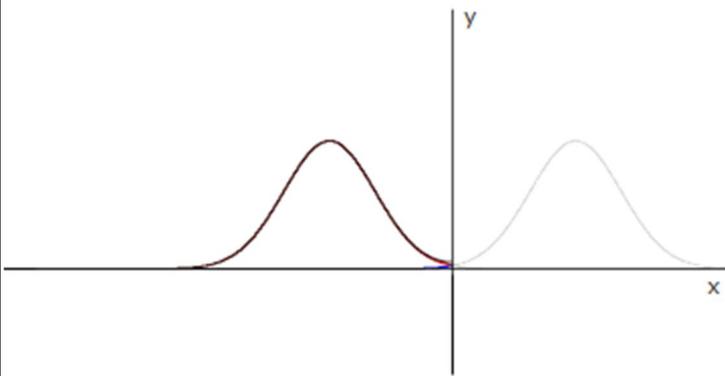
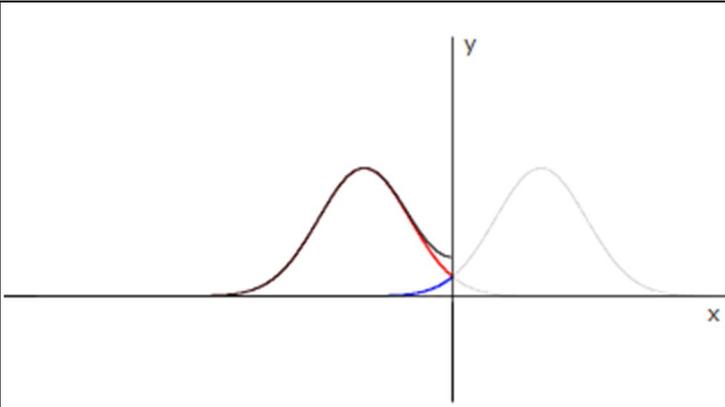
反射波之波形可以用數學裡面的波函數來證明：利用波函數的計算可以證明出自由端的反射波與入射波相位差為0，波形左右相反。因此反射波的波形才會有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

我們觀察自由端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！自由端的反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下不顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，反射波的波形會上下不顛倒，左右相反。

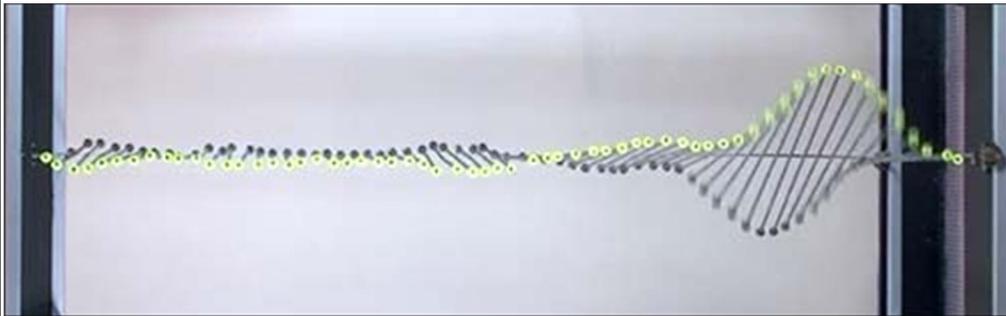


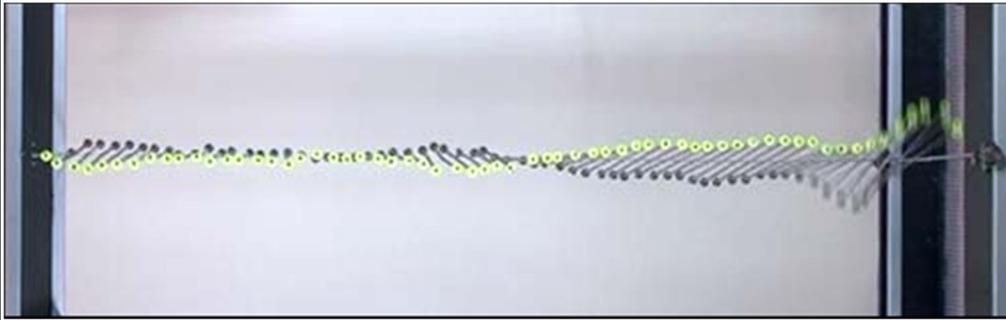






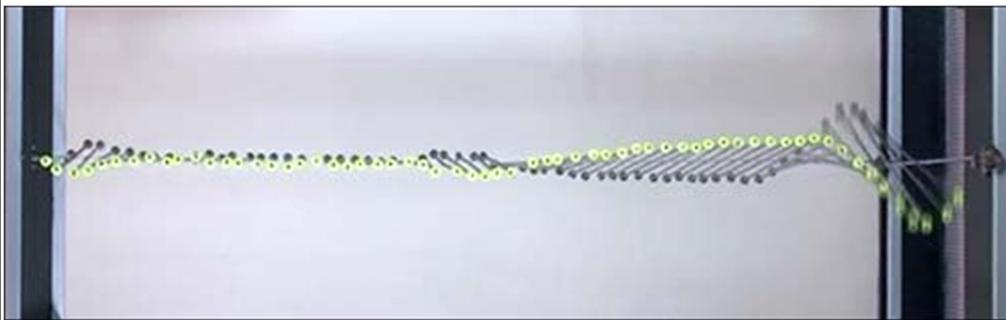
d. 說明有一脈衝波向右傳遞，射入一固定端（如何固定：說明影片中的實驗器材有固定的開關，用來控制端點，若用繩波做實驗，則可直接將繩子綁在竿子上即可。）



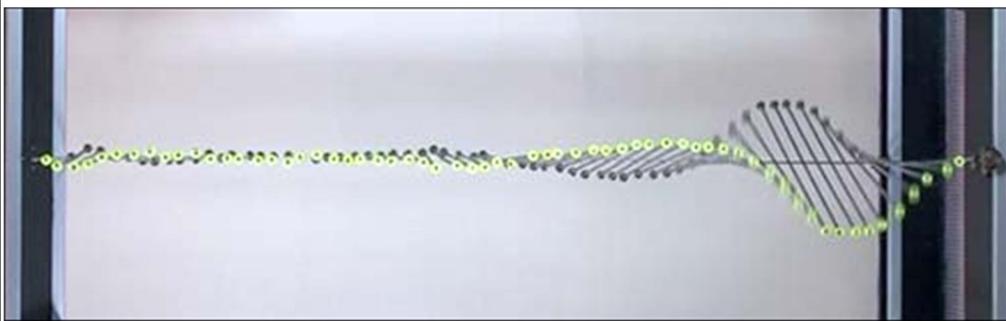


e. 波訊號傳遞至固定點時，繩施予固定點一個向上的拉力，但因牆是固定不動的，依牛頓第三運動定律，牆會對繩施一個向下的反作用力，而形成一個向下振動的反射波。

課本：當波抵達固定端，會對固定端點施以一垂直向上的力，由作用一反作用定律，固定端點會對繩波施以一垂直向下的相等力，當繩向上拉時，牆上端點便會向下拉，繩上所受到的此種向下力，會在繩上產生波形上下顛倒、運動方向相反的反射波。



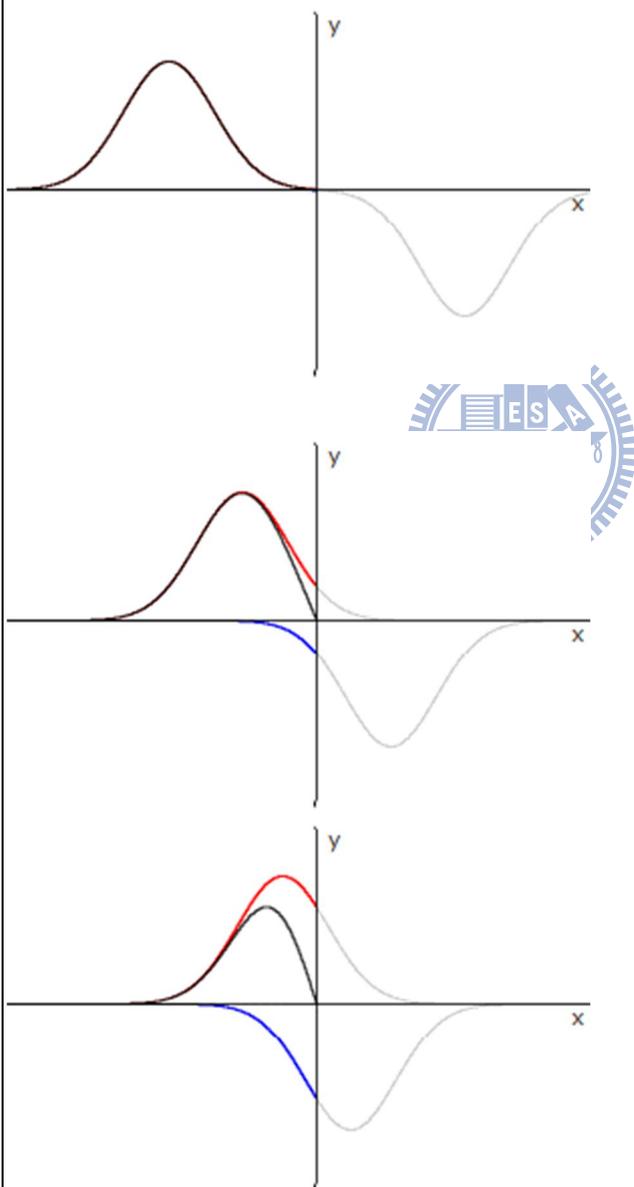
f. 因為先入射的波形會被先反射，用游泳者遇到牆壁折返當例子故反射波波形與入射波波形會形成左右相反的情形，但是上下不顛倒。

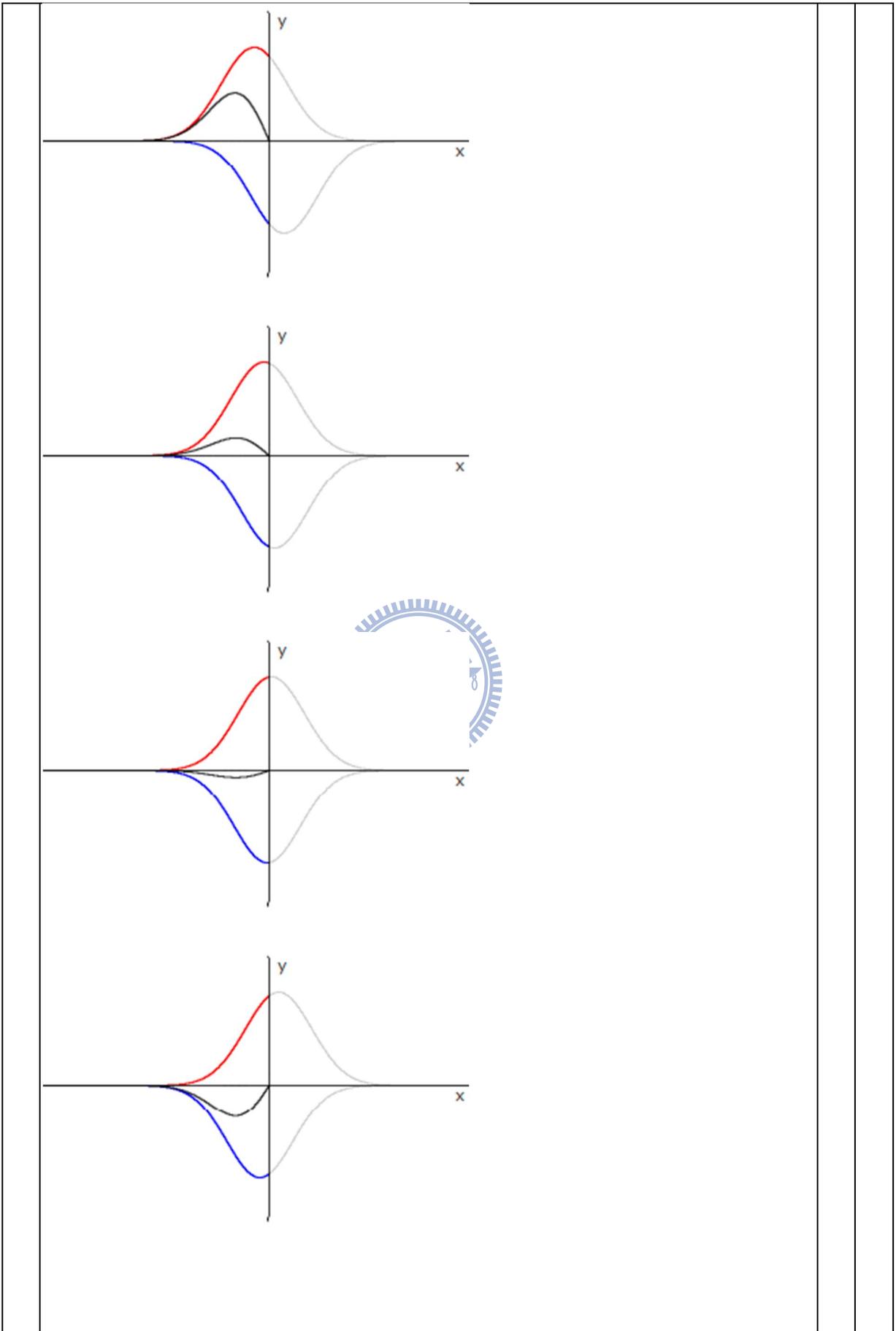


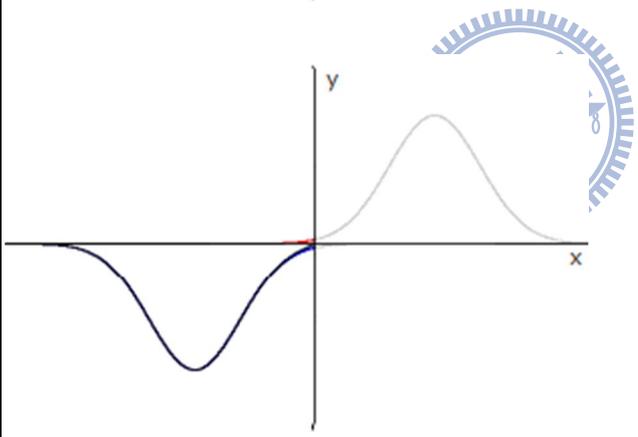
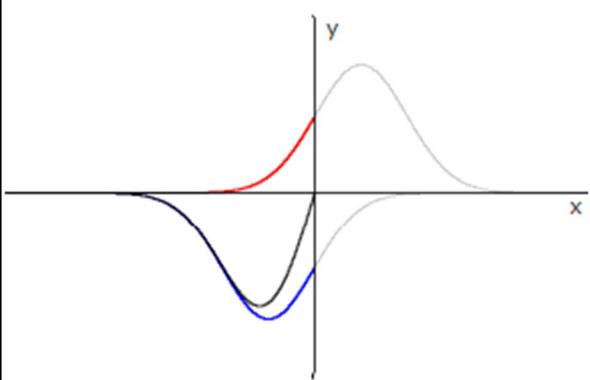
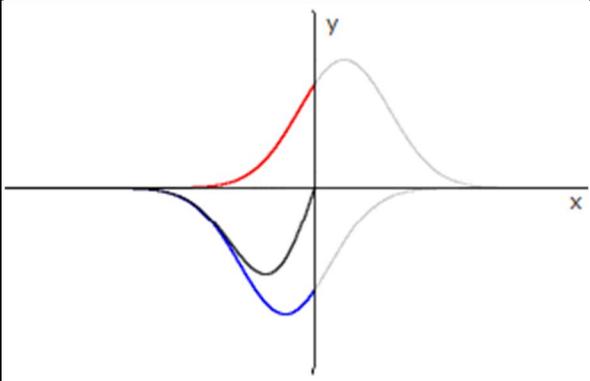
※說明反射波波形左右相反，上下顛倒。

反射波之波形可以用數學裡面的波函數來證明：利用波函數的計算可以證明出固定端的反射波與入射波相位差為 $1/2$ ，即振幅上下顛倒且波形左右相反。因此反射波的波形才会有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

我們觀察固定端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！固定端的反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，反射波的波形會上下顛倒，左右相反。





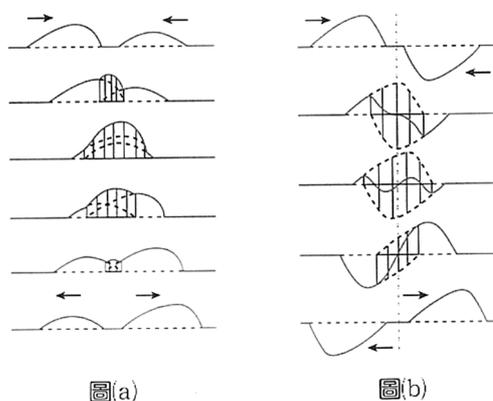


* 將班上同學分組，並請各組同學做學習單上的**題組二**，並且告知全班同學於五分鐘後，各組推派一位代表上台畫出你們的答案並說明理由。

靜態表徵教學教案

教學內容

壹、波的重疊原理



兩脈波重疊的情形

一、意義：當兩波訊號同時傳遞至同一位置時，**合成波的位移等於各成份波位移之總和**。

將兩成份波相遇**各點的垂直位移**做向量和，即可得到合成波上各點的位移，進一步可得到合成波的波形。而此疊加原理即為波的重疊原理

二、波的獨立性：

脈波交會結束後，各自朝原方向前進，且波形、波長、波速、振幅皆**相同**。

(強調波是能量，釐清迷思！)

貳、波的干涉

一、意義：波重疊時，介質受到不同成份波的波訊號干擾而產生新波形（即合成波）的現象。

二、干涉的種類

在同繩上傳播的兩頻率相同的正弦波，其相位差會影響其的合成波的波形，造成不同種類的干涉。

1.相長干涉（建設性干涉）：干涉後合成波振幅大於成份波振幅者

當合成波的振幅=兩成分波振幅之和時，此時合成波的振幅到達最大，稱為**完全建設性干涉**。

2.相消干涉（破壞性干涉）：干涉後合成波振幅小於成份波振幅者

當合成波的振幅=0時，此時合成波的振幅到達最小，稱為**完全破壞性干涉**。

參、固定端反射

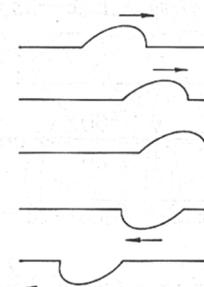
如右圖，將繩一端固定繫於牆上，在另一端製造一個向上振動的脈波，即可形成固定端反射的情形

一、反射機制：

波訊號傳遞至固定點時，繩施予固定點一個向上的拉力，但因牆是固定不動的，依牛頓第三運動定律，牆會對繩施一個向下的反作用力，而形成一個向下振動的反射波。

因為先入射的波形會被先反射，故反射波波形與入射波波形會形成左右對稱的情形。

二、反射波波形：反射波波形與入射波波形比較起來會**上下顛倒，左右相反**。



波經固定端反射

肆、自由端反射

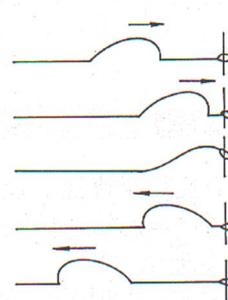
將繩右端繫於一質量不計的環上，環套於一根棒子上，使環可以沿棒子自由地上下移動（此即為自由端）。在另一端製造一個向上振動的脈波，即可形成自由端反射的情形

一、反射機制：

波訊號傳至自由端時，繩將環拉起，拉至波峰時，環因慣性之故而繼續上升，使得環的最高點位置比入射波振幅還高，因此環施予繩一個向上的拉力而製造出一個向上振動的反射波。

因為先入射的波形會被先反射，故反射波波形與入射波波形會形成左右對稱的情形。

二、反射波波形：反射波波形與入射波波形比較起來會**上下不顛倒，左右相反**。



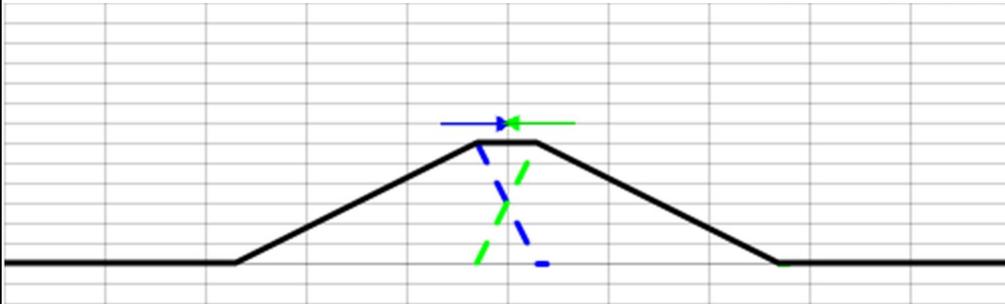
波經自由端反射

伍、固定端與自由端反射之反射波波形探討

固定端與自由端的反射波，其反射波之波形一個是上下顛倒、左右相反；另一個則是上下不顛倒、左右相反，其實**可以用數學裡面的波函數來證明**，利用波函數的計算可以證明出固定端的反射波與入射波相位差為 $1/2$ ，且振幅剛好正負相反；而在**自由端的部分，反射波與入射波相位差為 0**，但是振幅的正負卻保持不變。因此兩種反射的波形才會有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

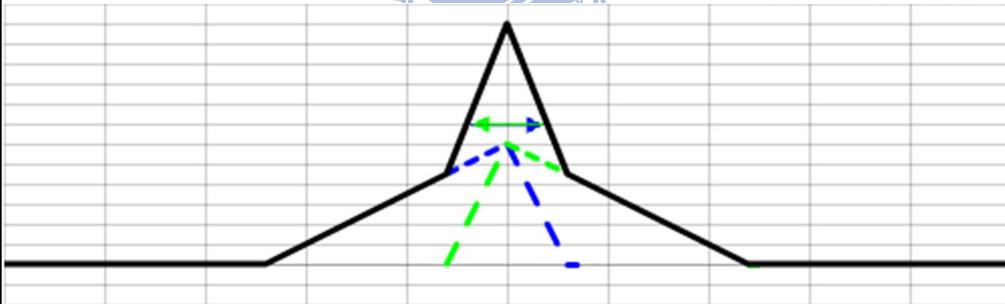
我們觀察兩種反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！固定端反射可以視為，**在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下顛倒的脈波射出**，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，因此我們看到反射波的波形會**上下顛倒，左右相反**。而自由端的反射則是可以視為，**在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下不顛倒的脈波射出**，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，因此我們看到反射波的波形會**上下不顛倒，左右相反**。

上，因此兩波在相遇時會因為能量的**加成而造成振幅變大**。在此畫面中要強調藍色與綠色的兩個成分波振幅加起來會等於黑色合成波的振幅。
 (請學生數格子)



c. 利用同一畫面說明建設性干涉的意義：
 合成波振幅大於各成份波之振幅。

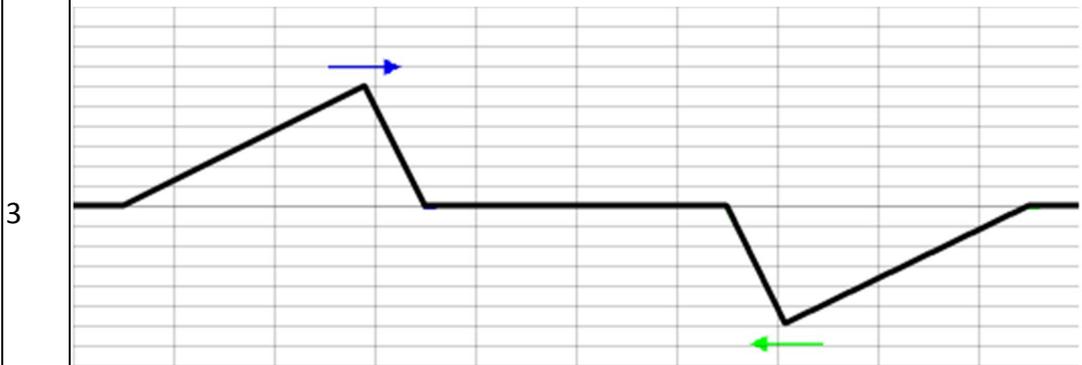
d. 當兩波波峰完全重疊時，黑色合成波的振幅達到最大，且剛好等於兩個成分波振幅的總和（強調），此狀況稱為完全建設性干涉。



e. 當兩波完全分離後，此時應強調重疊的現象結束後，兩波回復至原來的狀態（如波長、振幅、波速、傳遞方向等，這裡要用提問的方式來進行講解。），因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會有像物質一樣碰撞的現象。



f.說明破壞性干涉的意義：合成波振幅小於於各成份波之振幅。
 兩個波振幅方向相反，相向前進。此時兩成分波垂直方向的位移因為方向相反，所以會互相抵消，造成黑色合成波振幅小於藍色與綠色成份波之振幅。(不要講能量，要講就要講動能位能的轉換)(請學生數格子)

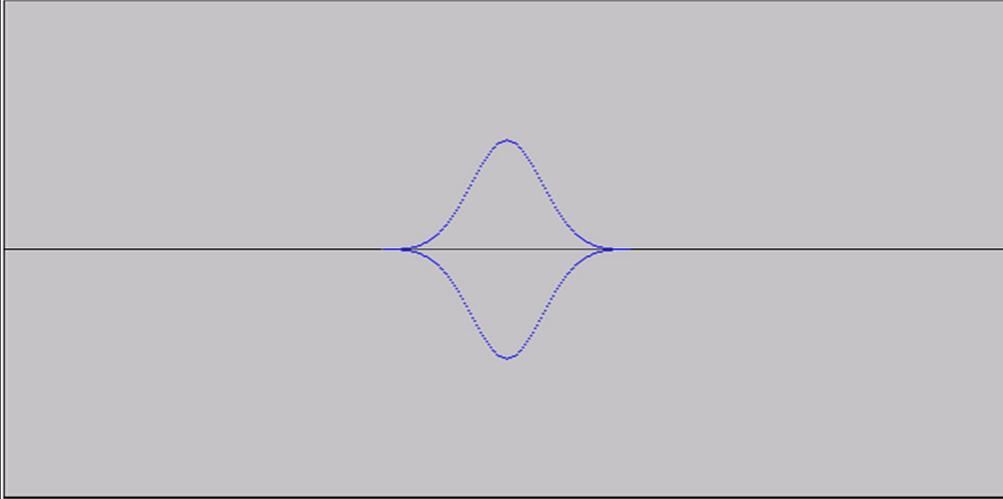


g.當兩波完全分離後，此時應強調重疊的現象結束後，兩波回復至原來的狀態(如波長、振幅、波速、傳遞方向等，這裡要用提問的方式來進行講解。)，因為波是能量的傳遞，不是物質，所以不會有像物質一樣碰撞的現象。



h. 當兩成分波之波峰波谷相遇時，因為兩波的垂直方向位移完全抵消，所以造成黑色合成波振幅為零，此狀況稱為完全破壞性干涉。

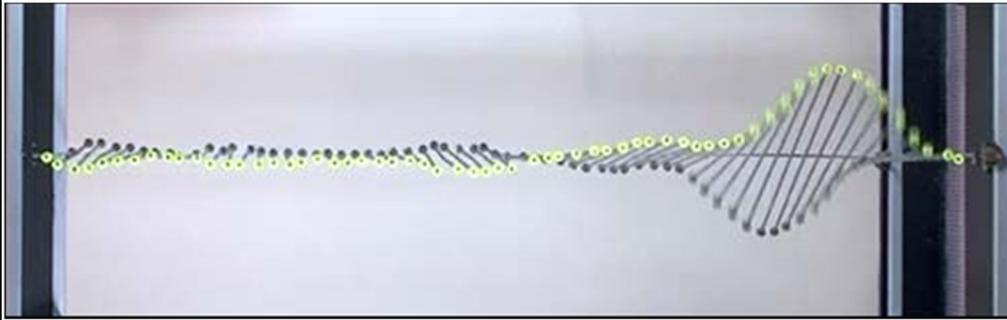
波形不對稱的時候，沒有完全破壞性干涉！



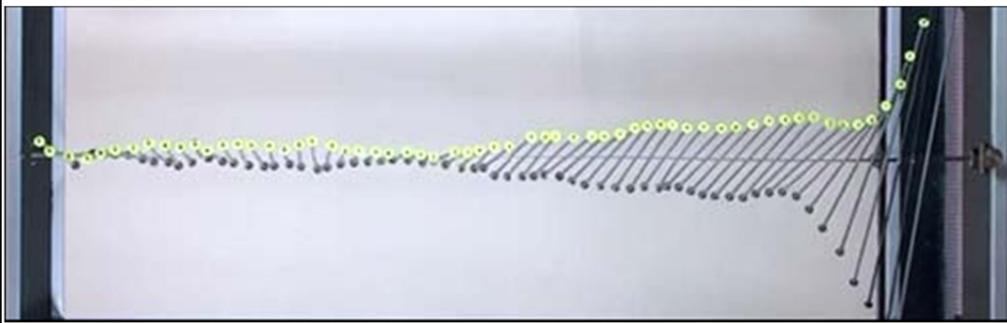
* 將班上同學分組，並請各組同學做學習單上的**題組一**，並且告知全班同學於五分鐘後，各組推派一位代表上台畫出你們的答案並說明理由。



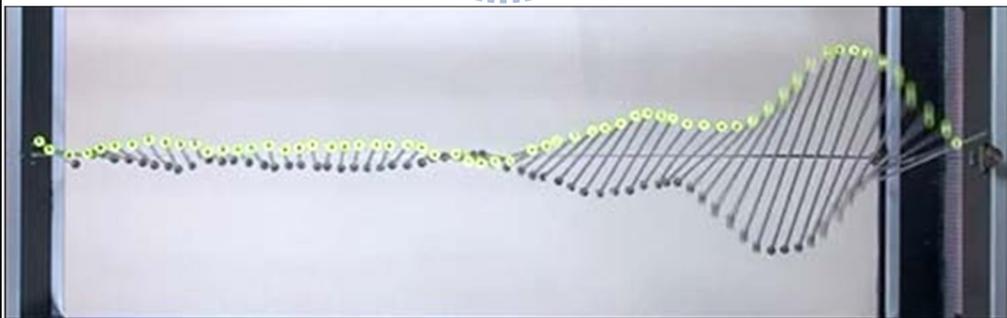
10



b.波訊號傳至自由端時，繩將環拉起，拉至波峰時，環因慣性之故而繼續上升，使得環的最高點位置比入射波振幅還高，因此環施予繩一個向上的拉力而製造出一個向上振動的反射波。



c.因為先入射的波形會被先反射，用游泳者遇到牆壁折返當例子故反射波波形與入射波波形會形成左右相反的情形，但是上下不顛倒。

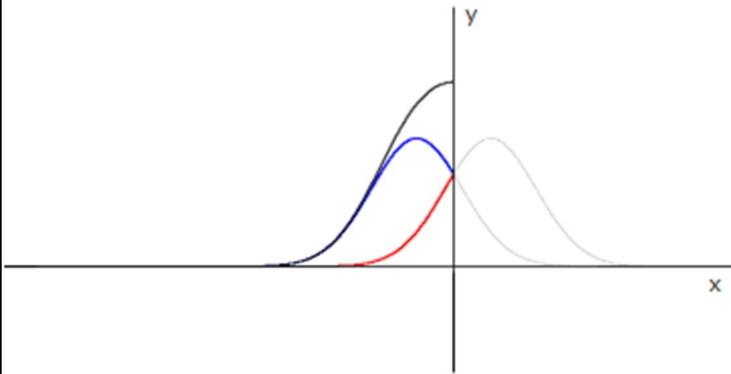
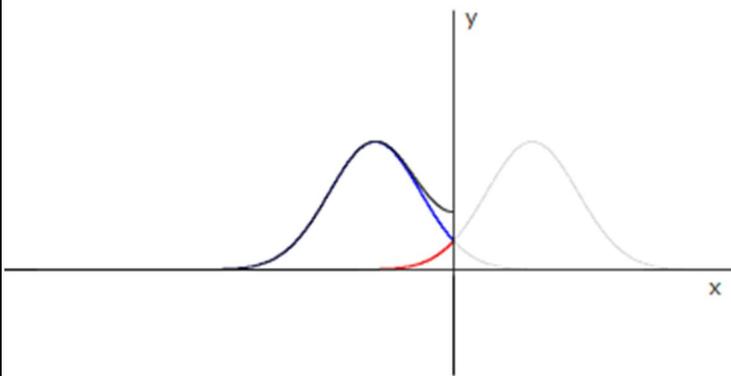
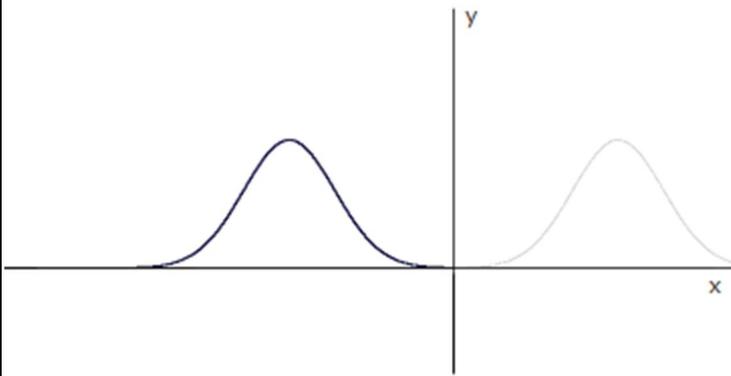


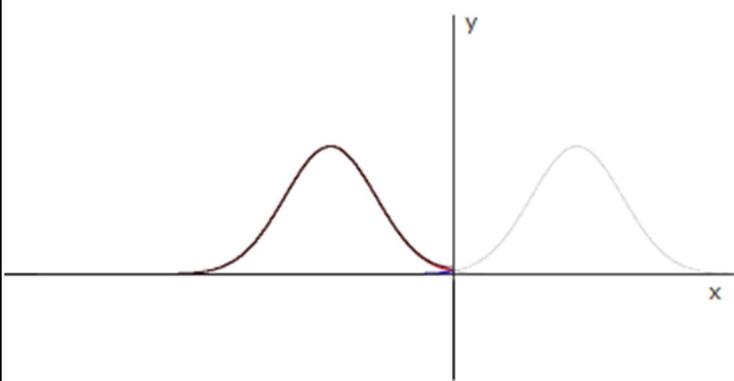
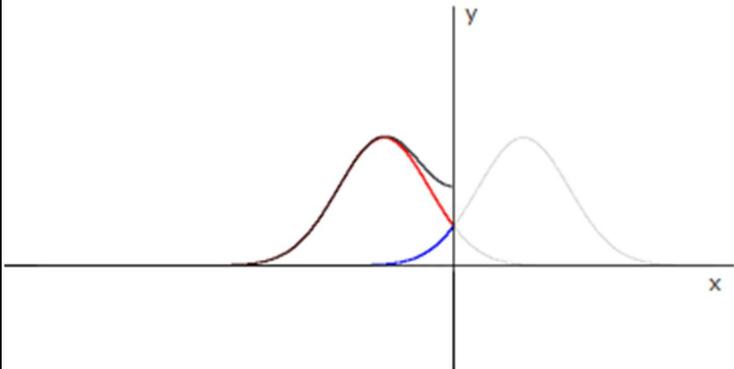
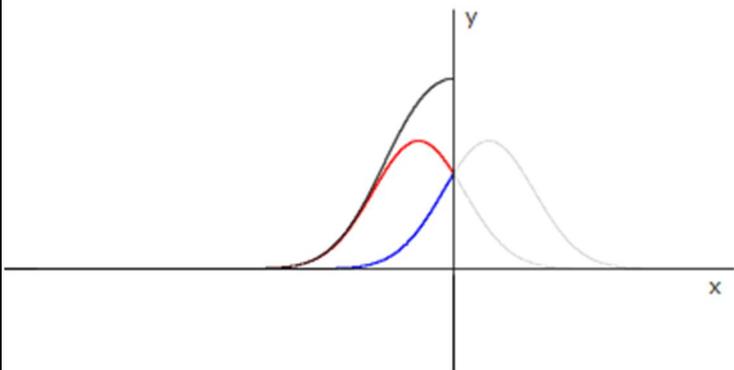
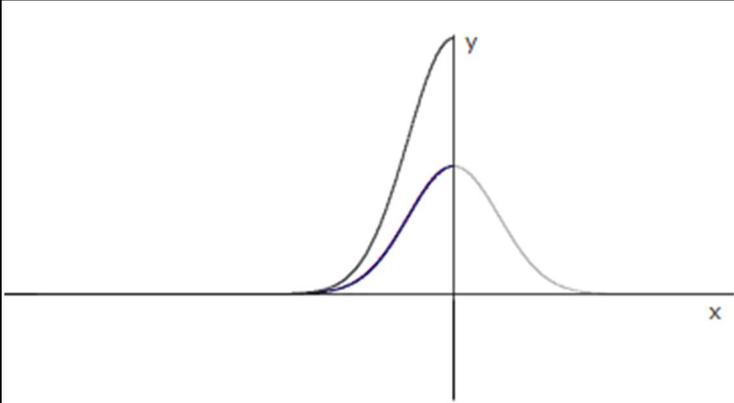
※說明反射波波形左右相反，上下不顛倒。

反射波之波形可以用數學裡面的波函數來證明：利用波函數的計算可以證明出自由端的反射波與入射波相位差為0，波形左右相反。因此反射波的波形才會有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

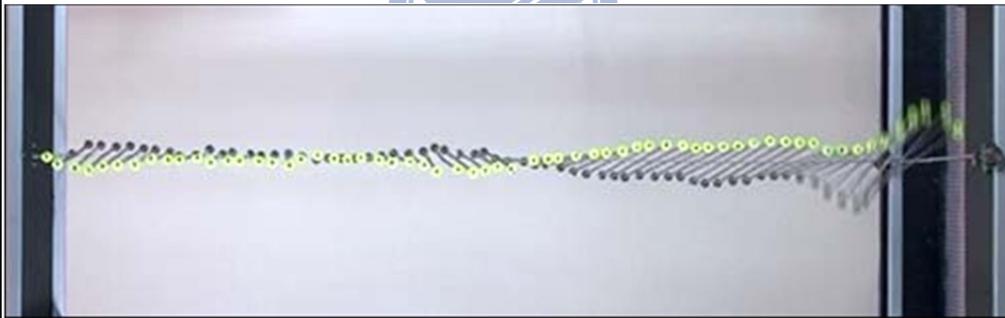
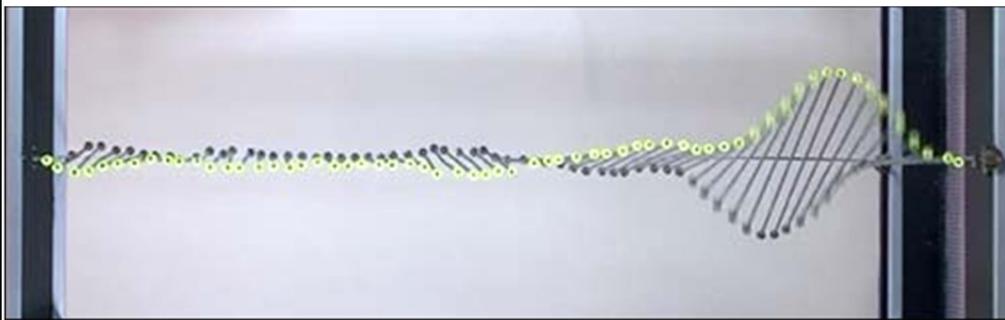
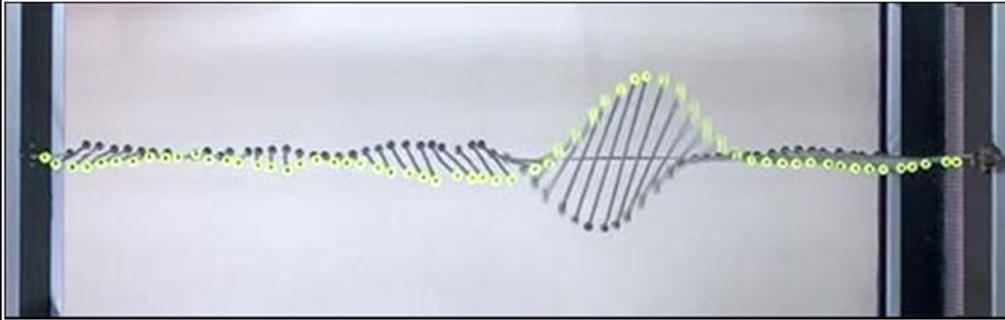
我們觀察自由端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！自由端的反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下不顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，反射波的波形會上下不顛倒，左右相反。

3





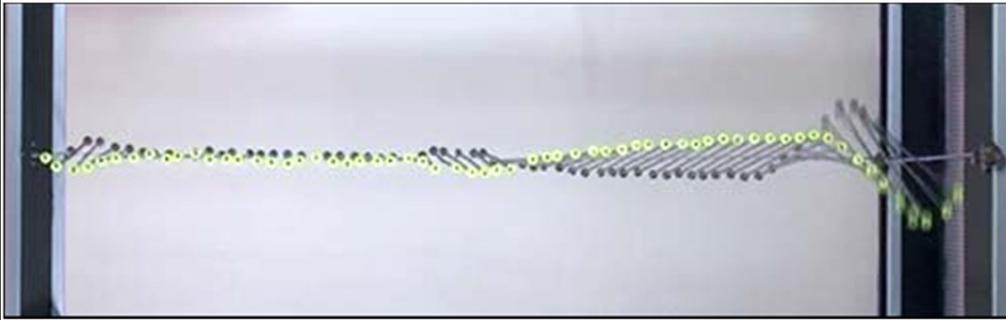
d.說明有一脈衝波向右傳遞，射入一固定端（如何固定：說明影片中的實驗器材有固定的開關，用來控制端點，若用繩波做實驗，則可直接將繩子綁在竿子上即可。）



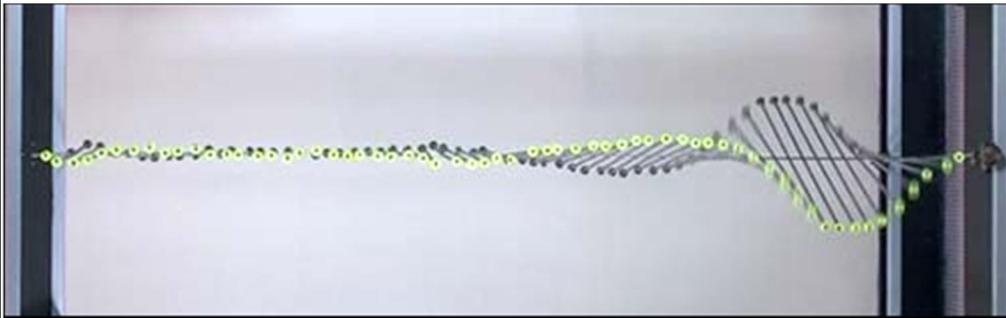
10

e.波訊號傳遞至固定點時，繩施予固定點一個向上的拉力，但因牆是固定不動的，依牛頓第三運動定律，牆會對繩施一個向下的反作用力，而形成一個向下振動的反射波。

課本：當波抵達固定端，會對固定端點施以一垂直向上的力，由作用一反作用定律，固定端點會對繩波施以一垂直向下的相等力，當繩向上拉時，牆上端點便會向下拉，繩上所受到的此種向下力，會在繩上產生波形上下顛倒、運動方向相反的反射波。



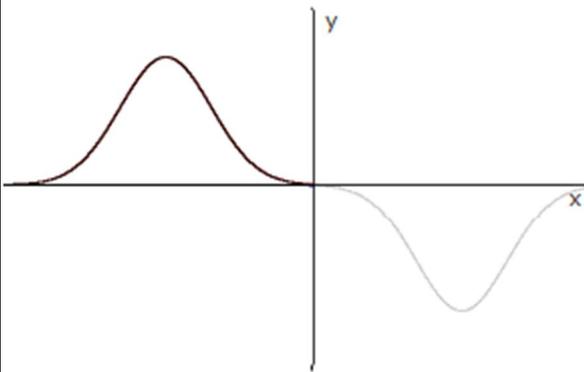
f. 因為先入射的波形會被先反射，用游泳者遇到牆壁折返當例子
故反射波波形與入射波波形會形成左右相反的情形，但是上下不顛倒。

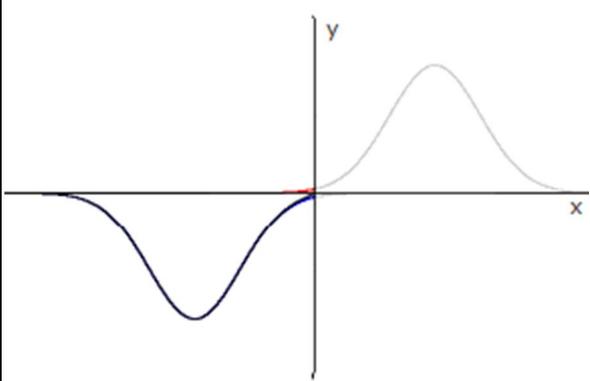
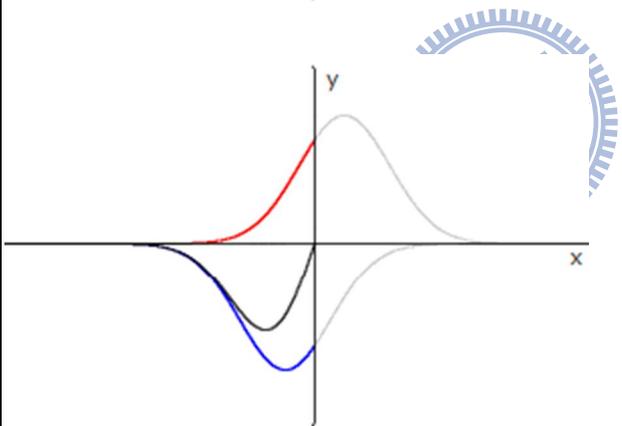
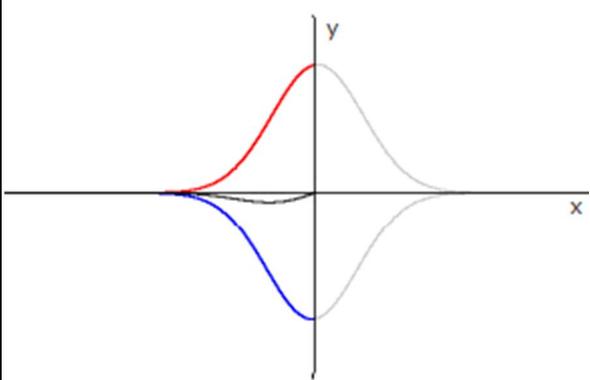
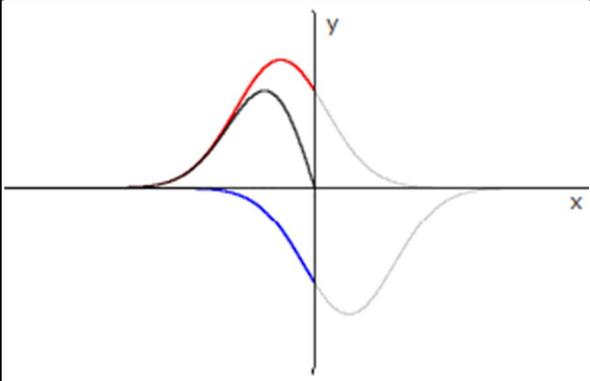


※說明反射波波形左右相反，上下顛倒。

反射波之波形可以用數學裡面的波函數來證明：利用波函數的計算可以證明出固定端的反射波與入射波相位差為 180 度，即振幅上下顛倒且波形左右相反。因此反射波的波形才会有上述的結果，但是波函數的計算已超出高中數學的範圍，故在本章節中並沒有提出來做討論。

我們觀察固定端反射的反射波波形可以發現，其波形變化的過程與兩波相遇重疊的過程剛好完全相同！固定端的反射可以視為，在牆的另一端有一個與入射波波形左右相反且振幅上下顛倒的脈波射出，兩波相遇重疊後，依各自原行進的方向繼續前進，反射波的波形會上下顛倒，左右相反。





* 將班上同學分組，並請各組同學做學習單上的**題組二**，並且告知全班同學於五分鐘後，各組推派一位代表上台畫出你們的答案並說明理由。

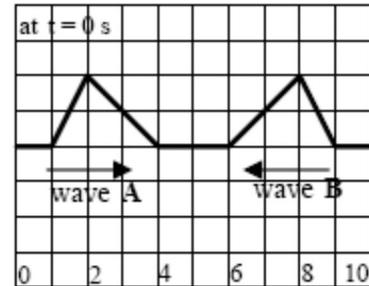
20

附錄二 概念學習成效試卷

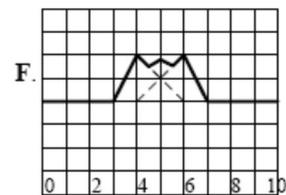
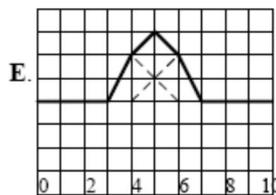
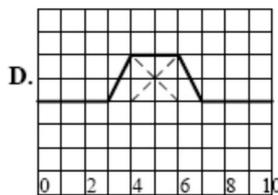
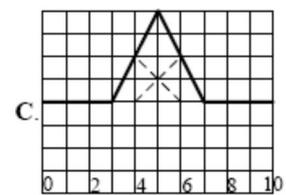
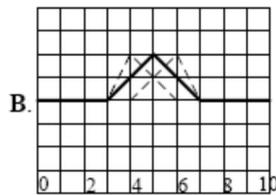
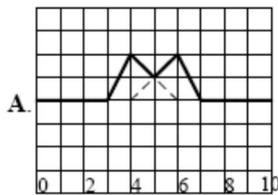
題型一：兩波同向重疊

班級 _____ 座號 _____ 姓名 _____

一、考慮下列敘述之情況並且回答第 1-2 題
 兩個相向前進的脈衝波，兩者的波速皆為 1 cm/s 。
 右圖為 $t = 0 \text{ s}$ 時的波形，每一個方格的寬度
 為 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 。



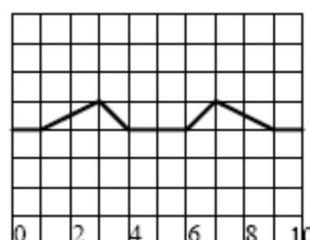
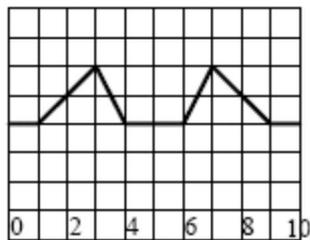
1. 請選出兩秒後的波形並說明你的理由。



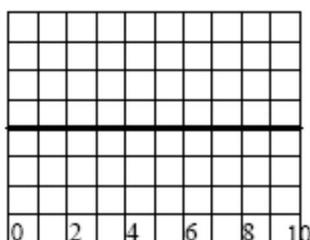
理由： _____

2. 關於五秒後的波形，請選出正確的解釋。

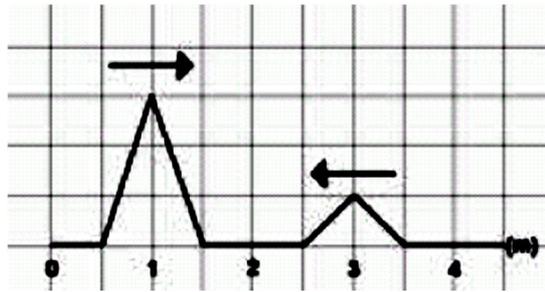
A. 兩波相遇後維持原本的波形 B. 兩波碰撞後因為能量的損失而變的比較小



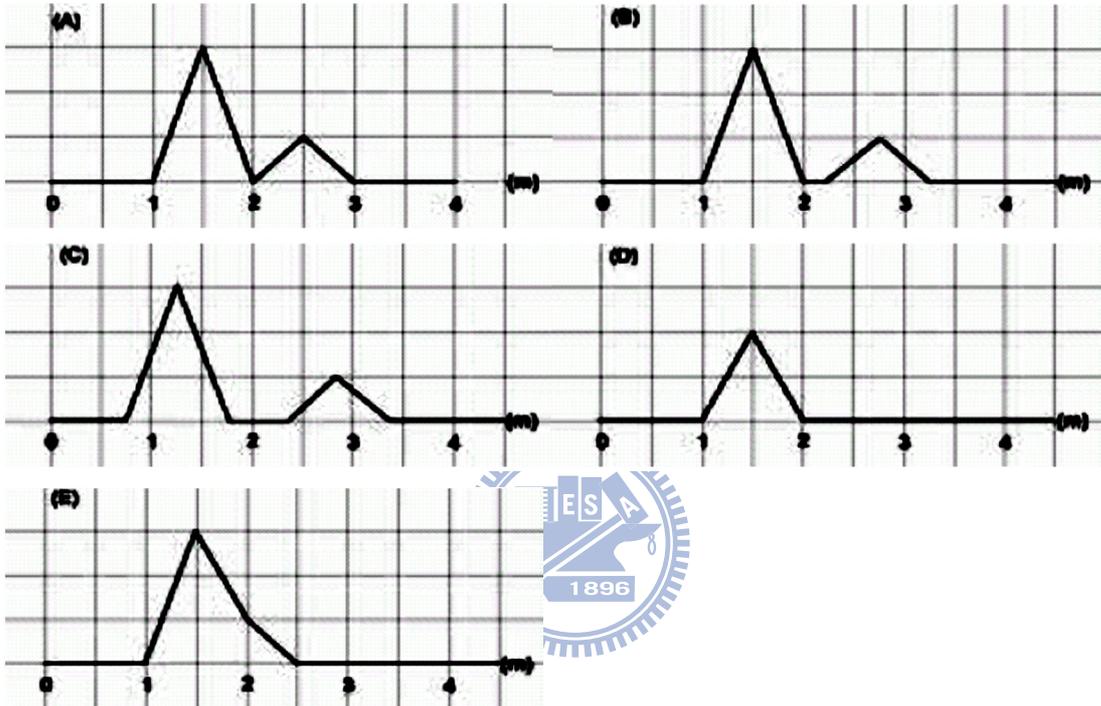
C. 兩波會互相抵消。



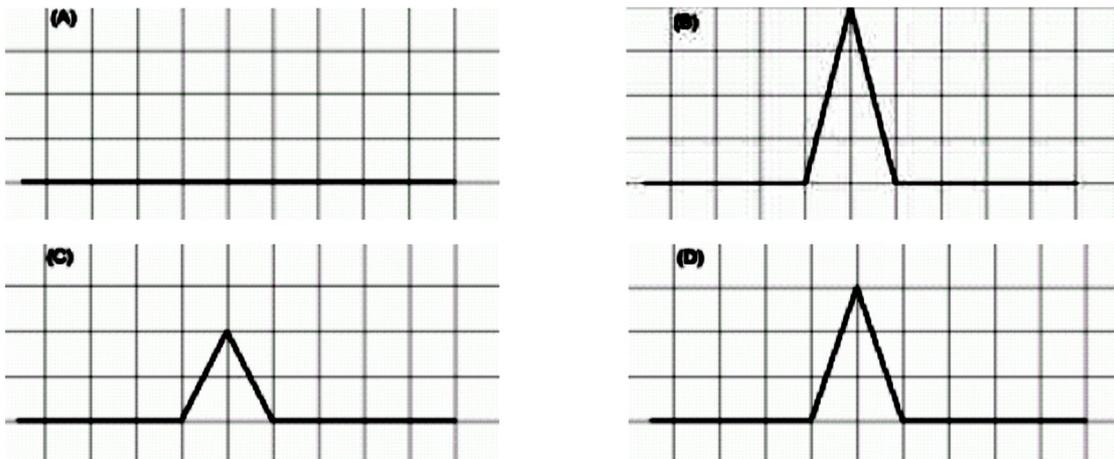
二、一緊繃的繩上有兩個振幅不同的脈衝波相向移動。當 $t=0\text{sec}$ 的瞬間，其波形如圖所示。



3. 請由下方的答案欄選出 $t=0.5\text{sec}$ 時的波形？



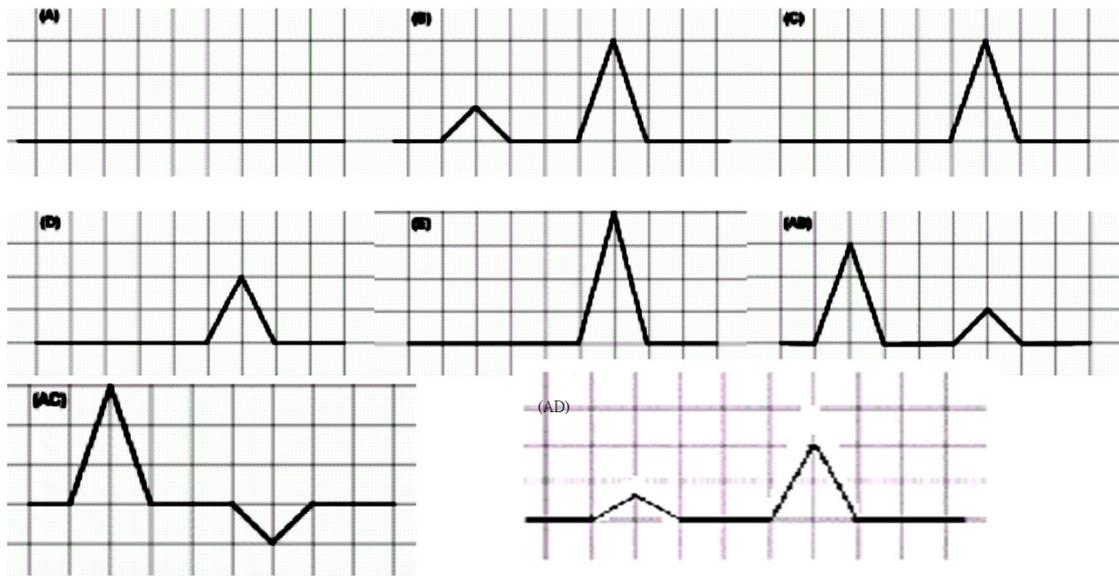
4. 請由下方的答案欄選出 $t=1\text{sec}$ 時的波形，並說明你的理由？



(E)兩波會碰撞彈開

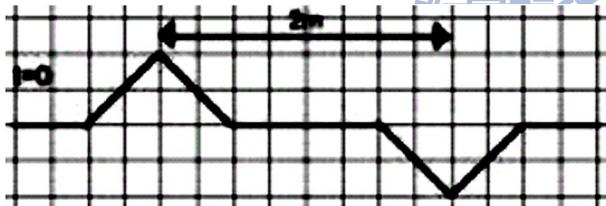
理由： _____

5. 下方答案欄中哪一個波形會出現在完全重合後？



題型二：兩波反向重疊

一、繩上有兩個振幅相同的繩波以 1m/s 的速率相向移動。當 $t=0\text{sec}$ 的瞬間，其波形如圖所示，此時兩波相距 2m 。

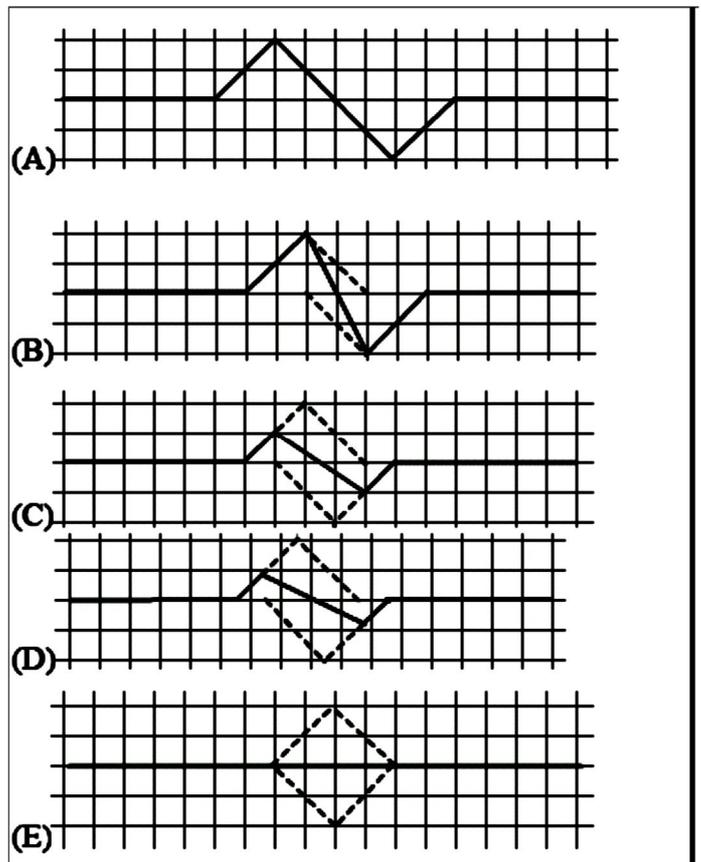


6. 請選出 $t=0.5\text{sec}$ 時的波形，並說明你的理由。

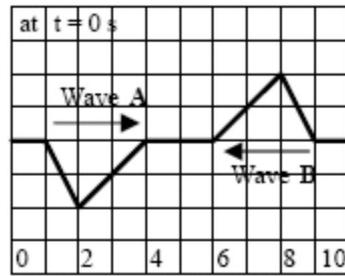
理由： _____

7. 請選出 $t=1\text{sec}$ 時的波形，並說明你的理由。

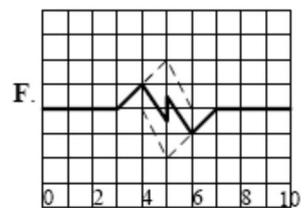
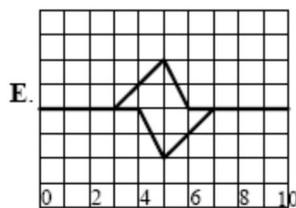
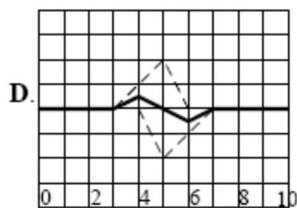
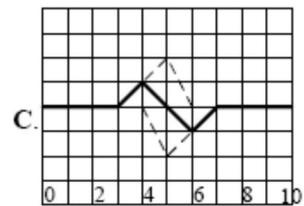
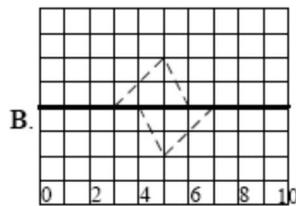
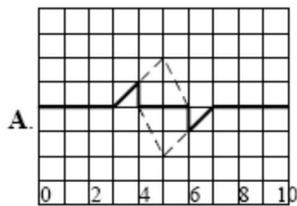
理由： _____



二、考慮下列敘述之情況並且回答第 8-9 題
 兩個相向前進的脈衝波，兩者的波速皆為 1 cm/s 。
 右圖為 $t = 0 \text{ s}$ 時的波形，每一個方格的寬度
 為 $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 。



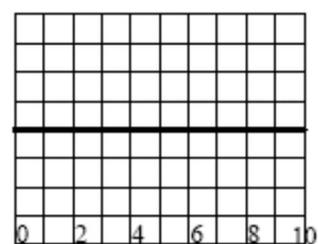
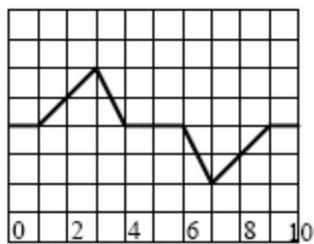
8. 請選出 3 秒後的波形。



9. 關於五秒後的波形，請選出正確的解釋。

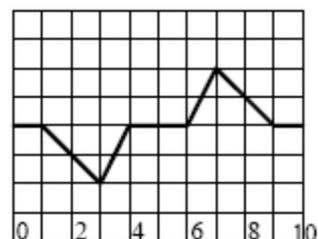
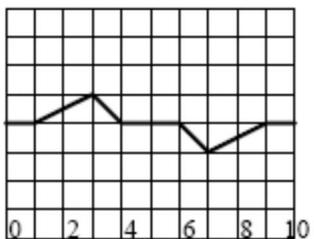
A. 兩波相遇後維持原本的波形。

B. 兩波會互相抵消。



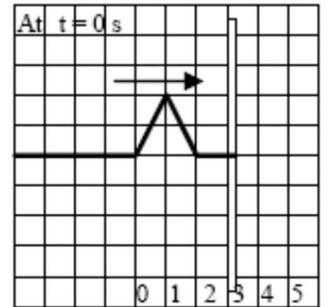
C. 兩波碰撞後因為能量的損失而變的比較小。

D. 兩波碰撞後會上下顛倒。

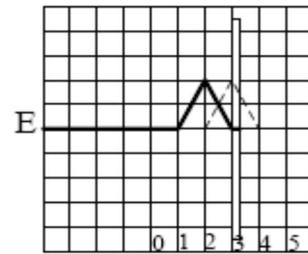
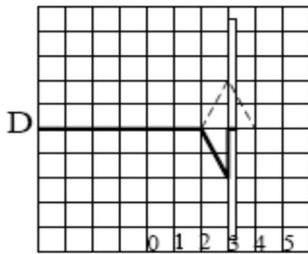
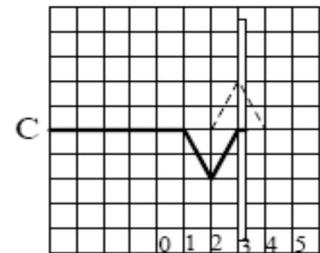
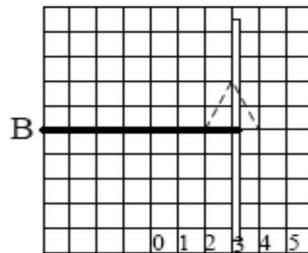
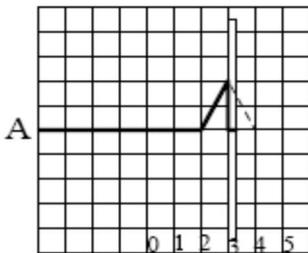


題型三：波的反射

一、一個女孩正在演示波運動，她用一條繩子將其中一端綁在一根竿子上。這條繩子可以緊緊的固定在竿子上不能移動，也可以套上一個圓環而在竿上自由的上下移動。這女孩輕輕的甩動繩子而製造出一個往竿子前進的對稱脈衝波，其波速為 **1 cm/s**。右圖為 $t = 0\text{ s}$ 時的波形，每一個方格的寬度為 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 。

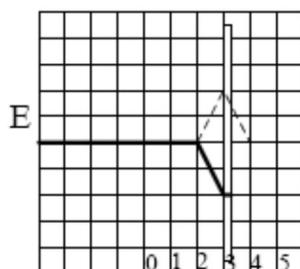
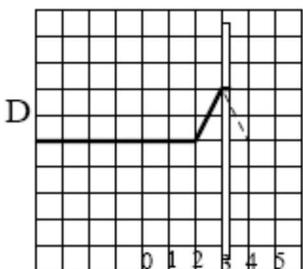
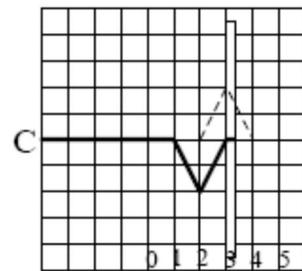
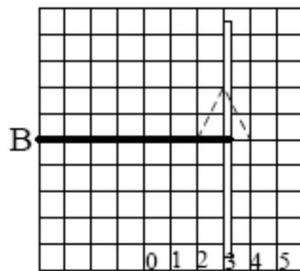
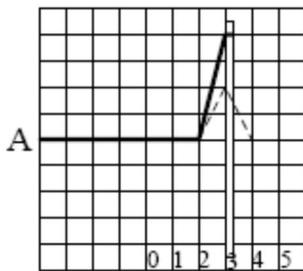


10. 假設繩子緊緊的固定在竿子上，請選出兩秒後的波形，並寫出你的理由。



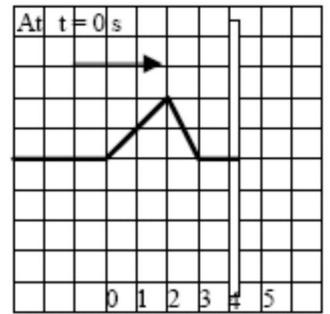
理由：_____

11. 假設繩子套上一個圓環而能在竿上自由的上下移動，請選出兩秒後的波形，並寫出你的理由。



理由：_____

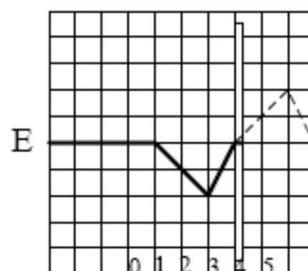
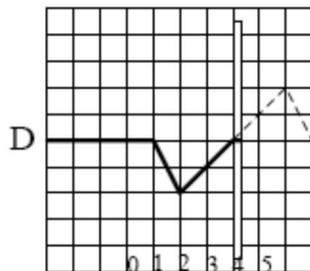
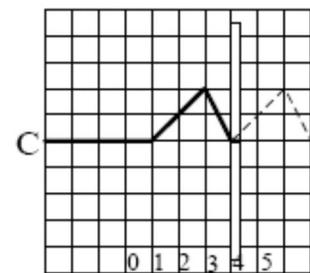
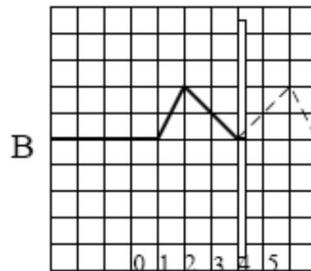
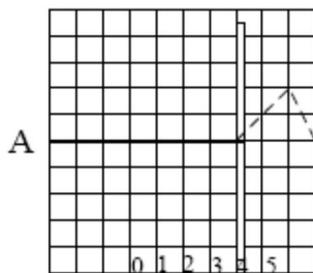
二、一個女孩正在演示波運動，她用一條繩子將其中一端綁在一根竿子上。這條繩子可以緊緊的固定在竿子上不能移動，也可以套上一個圓環而在竿上自由的上下移動。這女孩輕輕的甩動繩子而製造出一個往竿子前進的不對稱脈衝波，其波速為 **1 cm/s**。右圖為 $t = 0\text{ s}$ 時的波形，每一個方格的寬度為 $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ 。



12. 假設繩子緊緊的固定在竿子上，請選出 4 秒後的波形，並寫出你的理由。

理由：_____

13. 假設繩子套上一個圓環而能在竿上自由的上下移動，請選出 4 秒後的波形，並寫出你的理由。



理由：_____

附錄三 學習過程紀錄單

班級

座號

組別

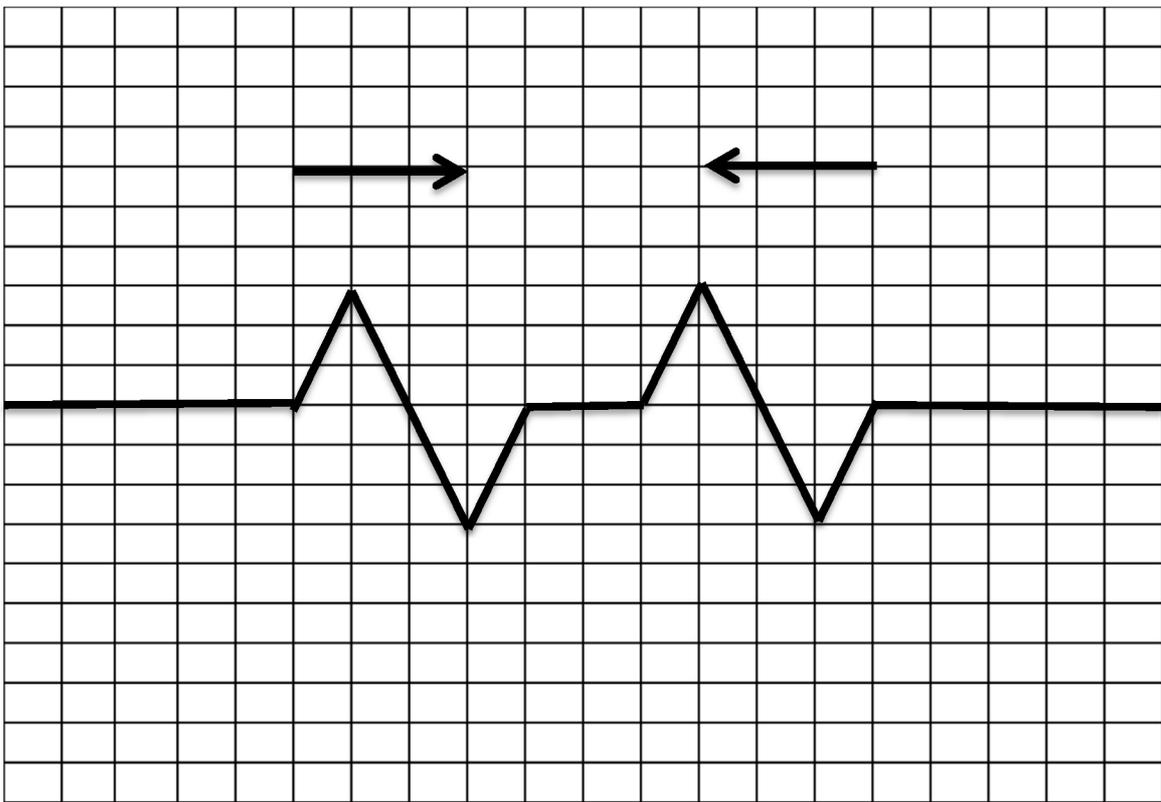
姓名

題組一

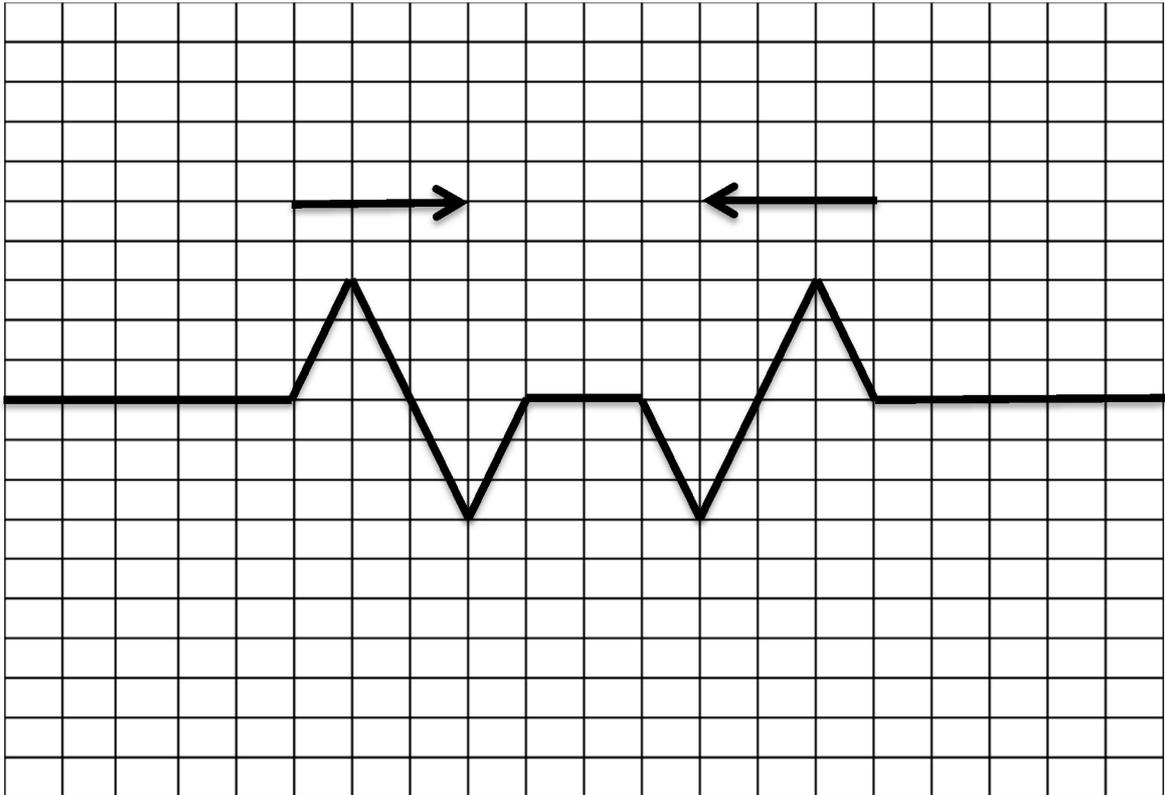
下列各圖形中所顯示之波動，其波速均為每秒一格，且圖形顯示為 $t=0$ 時

之波形，請畫出 $t=1, 2, 3, 4, 5$ s 時的波形並說明原因。

1.



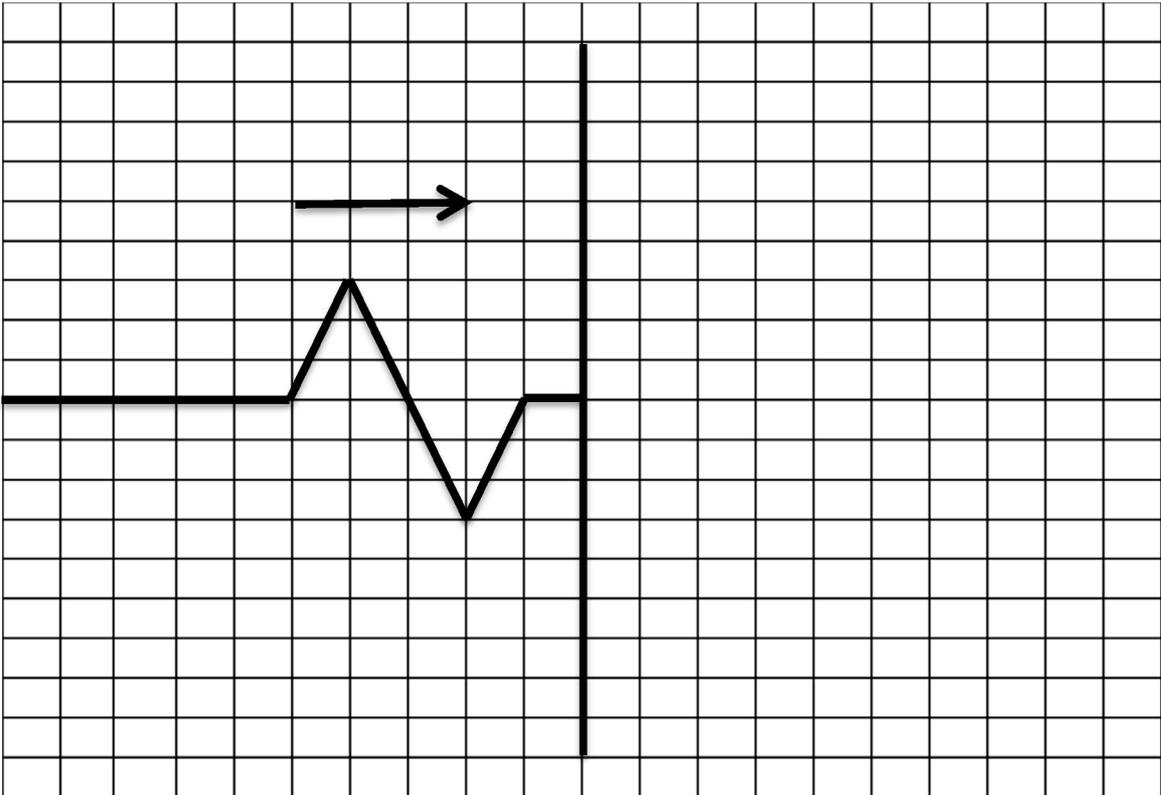
2.



題組二

下列各圖形中所顯示之波動，其波速均為每秒一格，且圖形顯示為 $t=0$ 時之波形，並請回答下列問題：

1. 固定端反射：如圖所示，繩子的一端連結在牆上且被固定住，無法上下移動。請你畫出 $t=1,2,3,4,5s$ 時的波形並說明原因。



2.自由端反射：如圖所示，繩子的一端套著質量極輕的鐵環，並且套在一根被固定住的竿子上，因此鐵環可以自由地在竿子上下移動。請你畫出 $t=1,2,3,4,5s$ 時的波形並說明原因。

