

國家科學及技術委員會補助專題研究計畫報告

創新STEM課程開發與師資培育—探討科學建模與工程建模在STEM學習過程(第3年)

報告類別：成果報告

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSTC 109-2511-H-018-011-MY3

執行期間：111年08月01日至112年07月31日

執行單位：國立彰化師範大學物理學系暨研究所

計畫主持人：鄭孟斐

共同主持人：林建隆、林詩茵、鄭智豪

計畫參與人員：此計畫無其他參與人員

報告附件：出席國際學術會議心得報告

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關教育部
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 112 年 07 月 20 日

中文摘要：STEM教育不僅已於國際上被強烈提倡，近期我國十二年國教課綱中也特別提及此跨學科教學，可見STEM教育的重要。但是對全世界的教師與研究人員來說，如何將科學、科技、工程與數學等科目進行跨領域整合教學，仍然是一大挑戰，且在STEM課程相關的研究中，對於學生的學習過程、課程進度與學習結果等方面較少被提及。因此本三年計畫發展一系列強調跨領域整合教學的STEM課程，不僅更佳地整合各領域進行教學，更可提升學生的科學與工程能力及對STEM相關的學習興趣。本計畫還設計了評量學生於課程中與課程結束時的學習表現之工具，以調查STEM課程中學生進行科學和工程建模的過程表現。

在第一年的研究，我們設計了平面喇叭的課程，設計形成性評量來評量學生的工程設計能力進步狀況，和對STEM的態度和學習態度。第二年的研究中，我們設計了智慧居家的課程，設計評量來了解學生科學知識，工程知識，和情意的進步狀況，並且比較直接融入和不直接融入科學知識的方法對學生學習的影響。此研究結果皆記錄在前兩年的成果報告中。在第三年的計劃中，我們設計了隨身穿戴裝置的課程，並探討STEM課程之教學對學生學習科學動機之影響、學生科學概念之影響、對學生科學概念應用在工程設計能力的影響。

本研究有49位參與者來自臺灣中部地區的高中對物理學習有較高興趣的十年級學生，透過收集參與者在課程實施前後所撰寫的科學學習動機量表、科學概念評量與科學概念應用在工程設計能力評量，進行資料分析，將其研究結果發現歸納為下列三點：1. 經過本STEM課程教學，學生對於學習科學的動機是有顯著提升；2. 經由本研究STEM課程教學，透過教師提供的鷹架，學生的科學概念有顯著提升；3. 透過教師使用真實情境電路藉由動手實踐過程整合工程設計與科學探究，學生的科學概念應用在工程設計能力有顯著提升。

因此，若能透過STEM課程設計跨領域整合課程，以真實的情境的主題，藉由動手實踐過程整合工程設計與科學探究，讓學生深入了解科學知識，並且能將科學知識轉移至真實情境應用，不僅培養學生的科學探究和解決問題的能力，也能提升學生對於學習科學的動機。總結，本研究主要貢獻有下二點：1. 提供透過真實情境電路為主題的工程設計，引導學生藉由動手實踐，來培養科學探究與解決問題能力的STEM課程設計範本；2. 建立評量方式，以了解STEM課程對學生的科學概念建構和科學概念應用在工程設計能力的變化。

中文關鍵詞：STEM、工程設計、科學學習動機

英文摘要：STEM education has been advocated internationally, and this interdisciplinary teaching has recently been addressed by the K-12 Taiwan Science Education Curriculum Guideline. Nevertheless, the integration of science, technology, engineering, and mathematics in teaching is still challenging for researchers and teachers around the world. Students' learning processes, progression, and results in these STEM curricula have been studied less. Accordingly,

this research project developed a series of innovative STEM curricula that emphasize interdisciplinary teaching, not only to better integrate these different disciplines and cultivate students' inquiry and problem-solving abilities but also to enhance students' abilities in science and engineering as well as their learning interest in STEM. This project has also designed instruments to measure students' learning progress and results to investigate students' scientific and engineering modeling processes in STEM curriculum.

In the first year of the study, we designed a curriculum on flat speakers and developed the assessment to evaluate students' progression in engineering design abilities and their attitudes towards STEM and STEM learning. In the second year of the study, we designed a course on smart homes and developed assessments to understand students' progression in scientific knowledge, engineering knowledge, and affective aspects. We also compared the effects of directly integrating scientific knowledge versus not directly integrating it on student learning. These research findings are documented in the previous two years' reports. In the third year of the project, we designed a course on wearable devices and explored the impact of teaching STEM courses on students' motivation to learn science, students' understanding of scientific concepts, and students' ability to apply scientific concepts to engineering design.

This study involved 49 participants who were 10th-grade students from the central Taiwan, with a high interest in learning physics. Data were collected through pre- and post- assessments including a science learning motivation scale, a scientific concept assessment, and a scientific concept application to engineering design assessment. After the data analysis, there were three main research findings.

1. Through this STEM curriculum, students showed a significant improvement in their motivation to learn science.
2. With scaffolding provided by teachers, students demonstrated a significant improvement in their understanding of scientific concepts.
3. By integrating engineering design and scientific inquiry through hands-on practice with real-world circuit, students showed a significant improvement in their ability to apply scientific concepts to engineering design.

Therefore, by designing interdisciplinary STEM courses with authentic contextual themes that integrate engineering design and scientific inquiry, students can gain a deep understanding of scientific knowledge and apply it to real-world situations. This approach not only cultivates students' abilities in scientific inquiry and problem-

solving but also enhances their motivation to learn science.

In summary, this study's main contributions are twofold:

1. Providing an example for STEM course design that focuses on real-world circuit themes and guides students in developing scientific inquiry and problem-solving abilities through hands-on practice.
2. Establishing assessment methods to understand the changes in students' scientific concept construction and their application of scientific concepts to engineering design abilities in STEM curriculum.

英文關鍵詞：STEM, engineering design, science learning motivation

創新 STEM 課程開發與師資培育—探討科學建模與工程建模在 STEM 學習過程

STEM 教育強調台灣 108 新課綱中跨學科教學的重要性（臺灣教育部，2014，2018）。其中包括實施以素養為導向的課程，並制定學習目標，將科學、技術、工程和數學等學科融入科學與科技課程領域，使學生能夠在日常生活中實踐概念化和解決科學與科技問題的。然而，綜觀過去研究發將 STEM 課程各領域間有意義的整合是相當困難的（Bell, 2016; de Vries, 2017; Kertil, & Gurel, 2016; Margot, & Kettler, 2019; Radloff, & Guzey, 2016），因此本研究設計一系列 STEM 課程，以鼓勵學生將科學概念的思維，數學的運算，融入工程設計的中，以設計科技產品解決日常生活的問題。

在第一年的研究，我們設計了平面喇叭的課程，設計形成性評量來評量學生的工程設計能力進步狀況，和對 STEM 的學習態度。在第二年的研究中，我們設計了智慧居家的課程，設計評量來了解學生科學知識，工程知識，和情意的進步狀況，並且比較直接融入和不直接融入科學知識的方法對學生學習的影響。此研究結果皆記錄在前兩年的成果報告中。在第三年的計劃中，我們設計了隨身穿戴裝置的課程，並提出以下三點待答問題：一、STEM 課程之教學對學生學習科學動機之影響？二、STEM 課程之教學對學生科學概念之影響？三、STEM 課程之教學對學生科學概念應用在工程設計能力的影響？

STEM 教育

隨著 21 世紀經濟的發展，全球在經濟競爭的壓力之下重新檢視包含科學（Science）、科技（Technology）、工程（Engineering）和數學（Mathematics）之 STEM 教育的重要性，STEM 教育日漸成為全球教育風潮（Kennedy 和 Odeil, 2014）。

Margot 和 Kettler（2019）經過調查指出 K-12（幼稚園到中學階段）的 STEM 教育架構包含六項主要的宗旨：1. 課程內容包含數學和科學、2. 以學生為中心的教學法、3. 在具有吸引力和激發興趣的環境中、4. 包含工程設計或再設計的挑戰、5. 學生從錯誤中學習、6. 強調團隊合作。可見，STEM 教育為整合科學探究、科技和工程設計、數學分析的教學與學習（Johnson, 2013；Moore 等人, 2015），而且在課程引導過程中，學生必須有意識地將科學、科技、工程和數學聯繫在一起（Margot 和 Kettler, 2019）。

Honey, Pearson 和 Schweingruber（2014）提到 STEM「整合」的定義為在現象或情況複雜的背景下，要求學生使用來自多個學科知識與技能以完成任務。但關於如何最好地做到整合這一點，或什麼因素使整合更有可能增加學生的學習、興趣、成就或其他有價值的成果，幾乎沒有研究。Kertil 和 Gurel（2016）也指出教師可以遵循之整合 STEM 課程的良好範例資源有限。

我國教育部於 103 年公佈的十二年國民基本教育課程綱要總綱中，核心素養的涵義為了解決生活問題，而應具備的知識、能力及態度，非單純強調學科知識的重要性，是強調問題解決需發展各方面整合能力，此與 SEM 教育的精神相符；而我國教育部於 107 年公佈科技領域的十二年國民基本教育課程綱要中，明確指出課程發展應包含各學科或領域間的統整，藉由創意及工程的設計，以了解科技與生活的關係，同時發展創新及批判的思考能力，未詳細說明如何跨領域或跨科目整合。

因此本研究致力於設計能培養學生具有整合跨學科知識與技能的問題解決能力之 STEM 課程，為 STEM 教育提供課程範例並推廣其教育精神；同時為了細部觀察參與本研究設計 STEM 課程後，學生的整合能力是否提升，因此對學生關於本 STEM 課程的科學概念與工程設計此兩個領域進行分析。

STEM 課程設計

本研究所設計 STEM 課程是基於 6E 教學模式所設計（參與、探索、解釋、工程、豐

富、評量)，6E教學模式為Burke於2014年提出的6E learning by DeSIGN™ Model。此6E教學模式是改良自Bybee於2006年提出的5E教學模式（參與，探索，解釋，精緻化，評量），由於5E教學模式中對未針對學生於情境問題中藉由設計來學習科學概念，因而發展6E教學模式，此教學模式與5E最大的差異為新增了工程階段，學生會像個工程師一般地根據問題進行設計，將有意識地聯結科學知識與工程設計。

於6E教學模式包含六個階段，分別為參與（Engage）、探索（Explore）、解釋（Explain）、工程（Enginner）、豐富（Enrich）及評量（Evaluate），以下解釋此六個階段的目的地及內容：（1）參與（Engage），目的為了將學生自身的經驗、知識與課程產生聯結，引起學習動機，因此學生於此階段首先接收到課程的主要任務，並組織相關基礎知識及經驗，以面對接下來的課程活動。（2）探索（Explore），促使學生直接觀察到一個現象，引起學生注意，接著學生以自身的經驗及知識對現象進行解釋並與組員討論交流。（3）解釋（Explain），目的為讓學生有機會解釋自己的觀點，透過語言精煉自己目前所學的知識，因此教師以引導的方式使學生與同儕來回討論、相互學習，同時從中得出合理解釋現象的觀點。（4）工程（Enginner），目的為使學生整合各領域知識、概念及技巧，設計一個能達到課程目標的方案，從課程主題中深度學習概念、態度並實踐。（5）豐富（Enrich），讓學生所學遷移到新的情境中。（6）評量（Evaluate），目的為同時讓老師及學生檢視教學情況以及學習情況，利用評量工具觀察學生知識、技能與態度等等的變化（Burke, 2014）。

本研究以科學作為課程核心提出 6E 教學模式進行 STEM 課程，從解釋和工程方面，在科學概念與工程能力進行有效連結。課程從工程的應用出發，引入科學概念解釋，幫助學生建立科學模型。在課程內容每一個活動都會對於工程電路中所使用到新的科學概念進行解釋，此階段為引入科學過程，每個活動皆經過預測、實作、科學概念引入、錯誤修正和實作的階段。

在評量方面針對兩大部分進行前後測：科學概念評量和科學概念應用在工程設計能力評量。科學概念評量包含直流電路的電壓、電流與電阻之間的數學關係與科學概念的電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫電流定律與克希荷夫電壓定律兩部分。科學概念應用在工程設計能力評量包含電源、電阻定義與克希荷夫電壓定律這三個面向，此向度評量學生是否可以將以上三個科學概念運用在真實的工程電路設計中。

科學方面評量前測欲了解學生於課前先備知識具備的程度，後測欲了解學生在經歷 STEM 課程之後須具備的知識是否有提升。工程方面評量前測欲了解教學前學生是否能將具備的科學概念轉移至真實電路，後測欲了解學生在經過 STEM 課程學習之後，對於真實的工程電路的科學概念運用，是否有提升。

學習動機

科學教育的目標是提高所有學生的科學素養；也就是說，幫助學生掌握基本的科學概念，理解科學的本質，認識到科學技術與他們生活的相關性，並願意繼續在學校或校外學習科學 (National Research Council, NRC, 1996)。由此可知科學教育的目標，是希望學生能夠在任何環境下都對學習科學保持熱忱。所以學生的學習動機是一個非常重要的環節。因為當學生感受到有價值和有意義的學習任務時，他們會積極地參與學習任務，使用主動學習策略，將他們的現有知識與新的知識結合起來。當學生沒有意識到學習任務的價值時，他們就會使用表面的學習策略(如記憶) (Pintrich & Schunk, 2002)。von Glasersfeld (1998)也指出學生的學習目標是基於學習的價值和學習策略對科學知識構建的重要性來激勵學生。由此可以發現動機是影響個人活動的因素之一，學習動機是學生為了完成科學學習的目標而進行某種活動的內在動力 (Sari, Sunarno, & Sarwanto, 2018)。因此學生學習科學的動機很重要，因為它對學生的概念發展、批判性思維、學習

策略和科學表現有著關鍵作用(Velayutham, Aldridge, & Fraser, 2011)。

Tuan 等人 (2005)指出學生的自我效能、主動學習策略、科學學習價值、表現目標、成就目標和學習環境誘因確實有助於學生的科學學習動機。以下將對於每個動機因素進行定義，自我效能是指學生相信他們有能力在科學學習任務中表現良好；主動學習策略是指學生在理解原有知識的基礎上，主動使用各種學習策略來構建新的知識；科學學習價值在於讓學生獲得解決問題的能力，體驗探究活動，激發自己的思考，並發現科學與日常生活的關聯性；表現目標是指學生在科學學習中的目標是與其他學生競爭並得到老師的關注；成就目標是指學生對自己在科學學習過程中的能力和表現的提高感到滿意；學習環境誘因是指在課堂上，學生周圍的學習環境，如影響學生科學學習動機的課程、教師的教學、學生的互動等 (Tuan, Chin, & Shieh, 2005)。從上述文獻可以看出，教師在課堂上使用的教學方法實際上影響著學生的科學學習動機。

目前在課室裡教師的教學方法有講述教學法和探究式教學法。其中，講述教學法主要是針對某一特定的主題，進行有系統、有組織的口語教學，是目前教學現場最普遍使用的教學方法；探究式教學法是將真實問題融入教學，引導學生透過主動探究和做中學，使學生產生學習興趣，並且學習到科學知識。所以從教學方法對學生科學學習動機的影響，Chen (2020) 提及學生的學習動機有所提高，可能的原因是用於實踐活動的科學探究幫助學生更深入地了解學習內容，為學生提供了更多的科學探究學習、解決問題和動手實踐的機會。所以可以發現，實踐活動為學生提供動手實踐的過程，加強生活經驗、學習內容、學習表徵、跨學科知識和實作之間的聯繫。在實踐過程中，手工製作能力幫助學生檢驗科學理論，迅速深入了解學習內容，並與實際應用相結合。學生可以通過科學實作的實際動手過程，提高學習動機、學習成績和手作能力。而且，利用科學探究完成實踐活動，不僅是一個做科學的過程，也是一種解決問題學習的方法，是獲取知識的有效過程 (Chen, 2020)。透過科學探究可幫助學生了解科學方法以及步驟，做中學可以用在跨學科的課程，藉由跨學科的內容或主題，可以提升學生在真實情境問題的知識整合與應用。從 Chen (2020)透過開發循環模式 POED(預測-觀察-解釋-實作)模型，以科學探究為實踐活動，研究發現只要透過科學探究過程，學生的學習動機結果，包含內在動機、自我效能和自我決定，都有顯著提升。

Salikha, Sholihin & Winarno (2021)透過 PBL(Project-Based Learning)的 STEM 課程對學生學習熱傳播學習動機的研究發現，學生在經過 PBL 的 STEM 課程，學生學習科學的動機得到提高，並且學生動機的顯著差異將激勵學生積極參加科學學習。如果學生學習物理的動機處於中低水準的時候，是因為學生對學習物理缺乏興趣。此外，當學生無法將自己製作的作品直接與其他小組進行比較時，因此認為專題創作的效果較差，所以學生們覺得科學，令人厭煩，枯燥無味，而且抽象難懂。

從上述文獻研究結果，可以發現透過 STEM 課程或科學探究活動都能有效的提高學生學習科學的動機，因此，動手實踐的科學探究活動課程，能提升學生的學習動機，但是若課程設計過於偏頗失衡，容易產生負面效果。因此本研究在課程設計方面，以跨學科整合的主題式課程，以真實情境，讓學生透過動手實踐的過程驗證科學概念，並且對於科學概念進行更深入了解，能將其科學概念與實際應用進行連結，藉以激勵學生的學習動機。

研究方法

本研究目的是依據 Burke (2014) 提出的 6E 教學模式作為教學方法進行 STEM 課程，以學生科學學習動機量表(SMTSL) (Tuan, Chin 和 Shieh, 2005)、課堂學習單進行量化分析，來探討高中十年級學生在實施 STEM 教學前後學生學習科學動機、科學概

念與科學概念應用在工程設計能力的改變情形。

研究對象

本研究對象係以臺灣中部地區高中對物理學習有較高興趣的十年級學生，作為課程實施研究對象，學生來源皆經由校園課程推廣，自願參與課程之學生總計 49 位。研究對象參與課程研究時間為 109 學年度上學期，並於國中階段已學習過十二年國民基本教育課程自然科學領域中電磁現象的相關知識，包含當電池連接導體形成通路時，多數導體通過的電流與其兩端電壓差成正比，其比值即為電阻。並尚未學習高中階段自然科學領域中電磁現象的相關知識，包含電位差等於電流乘以電阻，此為歐姆定律。電路有串聯、並聯及迴路等形式，電路中的能量及電量必須守恆等。

研究設計

本研究採用 6E 教學模式設計 STEM 課程，在課程設計方面選取較為抽象難理解的單元做為課程教學的核心，設計真實情境工程電路，作為本研究課程設計之發展。此外，研究者在文獻探討中發現之前的 STEM 課程的學生評量，較多是對於學生成品的外觀和是否有符合任務目標等部分進行評量，此評量方式對於學生在面臨工程設計與問題解決過程是否有引入科學概念是無從得知，並且忽略的科學概念的重要性。因此，本研究設計科學概念評量與科學概念應用在工程設計能力評量，以了解學生在經歷 STEM 課程的學習之後，對於科學概念的改變，並且進一步了解學生對於所學之科學概念是否能應用在工程設計上。另外，評量分別於課程前進行施測，以了解學生對於科學概念所具備的基本條件，並且確保知道學生對於科學概念應用在工程設計的基本能力；於課程結束進行施測，以了解學生對於科學概念的學習成果，並對於將科學概念應用在工程設計的能力是否有提升。

本研究以十二年國民基本教育之自然領域國、高中都會提到的「電學」為課程設計的主題，採用自編的「科學概念評量」、「科學概念應用在工程設計能力評量」作為工具，探討經過 STEM 課程後，學生對於科學概念與科學概念應用在工程設計兩部分是否會有所改變。因此，本研究以電學作為課程核心，以 Burke (2014) 提出的 6E 教學模式進行 STEM 課程壓電陶瓷片發電裝置應用的教學。在課程教學當中以活動學習單進行資料收集，並於課程結束填答學生科學學習動機量表，之後將學習單與學生科學學習動機量表進行資料量化分析，以了解透過 STEM 課程教學對於學生科學概念、學習科學動機與工程問題應用的改變情形。

課程架構

本研究之目的藉由直流電路與迴路中的能量守恆為課程核心，採用 Burke (2014) 提出的 6E 教學模式：參與、探索、解釋、工程、豐富、評量為課程基礎，設計壓電陶瓷片發電裝置應用的 STEM 課程，其課程教學目標如下表 1 所示。課程教學皆以引導、推理與實作等方式學習科學概念及發電裝置電路的製作。藉此探討學生經歷 STEM 課程教學活動，如何影響科學概念、學習科學動機與科學概念應用在工程設計能力。

表 1 壓電陶瓷片發電裝置應用之 SETM 教學目標

STEM 領域	教學目標內容
科學 Science	● 迴路中的能量守恆(克希荷夫電壓定則)
	● 電源種類
	● 電阻定義與歐姆定律
科技 Technology	● 選擇合適電子元件

	<ul style="list-style-type: none"> ● 設計發電裝置電路圖 ● 實踐發電裝置讓 LED 燈發亮
工程 Engineering	<ul style="list-style-type: none"> ● 電路元件接腳與電路的正確接線 ● 使用三用電錶找尋問題並進一步解決問題 ● 電阻色環識別與計算 ● 電容元件結構與原理
數學 Mathematics	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用迴路中的能量守恆計算所需之電壓值 ● 利用電阻定義計算分壓所需之電阻值

本研究課程教學活動流程如下表 2 所示：

表 2 壓電陶瓷片發電裝置應用之 6E 課程設計流程

活動	6E 程序	活動內容
活動一： 哇！ LED 燈亮 了	Engage (參與) Explore (探索)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 簡介 STEM，並明確說明課堂目標，請學生完成前測的科學概念評量、科學概念應用在工程設計能力評量和學生科學學習動機量表 1. 播放壓電材料發電應用，引起學生參與動機。 2. 老師展示壓電發電裝置，引起學生參與動機。 3. 由學生預測活動一的電路圖，並完成電路實作與測試。若現象與觀察不符，修正預測電路，並試著說明可能之原因。
活動二： 控制 LED 燈恆 亮	Explain (解釋) Engineer (工程)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 學生從觀察活動一 LED 燈的運作情況，解釋壓電陶瓷片的原理及引入交流電與直流電的原理。(科學原理探討) 2. 介紹電子元件：電容，引入電容運作原理(科學原理探討) 3. 由學生預測活動二的電路圖，並完成電路實作與測試。若現象與觀察不符，修正預測電路，並試著說明可能之原因。
活動三： 讓 LED 燈 不會燒掉 的秘密	Explore (探索) Explain (解釋) Engineer (工程)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請學生利用壓電陶瓷片發電讓電容儲存電壓達到 10V，觀察活動二 LED 燈的運作情況。 2. 請學生解釋，LED 燈燒毀的原因，教師引入迴路中的能量守恆概念(克希荷夫電壓律)，並引導學生如何計算限流電阻(電阻定義)控制 LED 亮度。(科學原理探討) 3. 介紹電子元件：電阻，引入電阻色碼概念，並利用色碼計算電阻值。 4. 由學生預測活動三的電路圖，並且自選 LED 燈光顏色，算出限流電阻值，並利用電阻色碼找出符合需求的電阻，完成電路實作與測試。若現象與觀察不符，修正預測電路，並試著說明可能之原因。 2. 於活動三課程後，請學生完成後測的科學概念評量、科學概念應用在工程設計能力評量和學生科學學習動機量表
活動四： 我是	Engineer (工程)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請學生完成電路圖運用的科學原理判斷與說明。

工程師	Enrich (豐富) Evaluate (評量)	2. 學生自行發想壓電材料發電裝置，並完成設計圖，於課堂中進行成品的組裝與測試。 3. 成品理念分享
-----	------------------------------------	---

研究工具

一、學生科學學習動機量表(STML)

本研究對於學生科學學習動機問卷是依據研究待答問題，從 Tuan, Chin 和 Shieh(2005)所發展的學生科學學習動機量表(STML)，包含的六個向度總共 35 題中進行挑選，其中分別挑選自我效能向度五題、主動學習策略向度四題、科學學習價值向度五題、表現目標向度三題、成就目標向度四題與學習環境誘因向度五題，總共 26 題。此份問卷有前測和後測，其中在學習環境誘因向度後測題目敘述，有針對 STEM 課程稍微的修改，以探討 STM 教學和一般課室傳統教學的模式，學生對於學習科學動機的差異，以下針對六個向度定義進行說明：

1. 自我效能(Self-efficacy, SE)：指學生相信他們有能力在科學學習任務中表現良好。
2. 主動學習策略(Active learning strategies, ALS)：指學生在理解原有知識的基礎上，主動使用各種學習策略來構建新的知識。
3. 科學學習價值(Science learning value, SLV)：指學生在學習科學過程中，獲得解決問題的能力，體驗探究活動，激發自己的思考，並發現科學與日常生活的關聯性。
4. 表現目標(Performance goal, PG)：指學生在學習科學過程中，其中之一目標是與其他學生相互競爭並獲得老師的關注。
5. 成就目標(Achievement goal, AG)：指學生對自己在科學學習過程中的能力和表現的提高感到滿意。
6. 學習環境誘因(Learning environment stimulation, LES)：指在課堂上，學生周圍的學習環境，如影響學生科學學習動機的課程、教師的教學、學生的互動

本研究以 Cronbach's α 係數作為學生科學學習動機量表信度評估指標。 α 值愈大則信度愈高。Devellis (2016) 提出 α 低於 .60 不可接受、 α 介於 .60~.65 最好不要、 α 介於 .65~.70 勉強可接受、 α 介於 .70~.80 不錯、 α 高於 .80 相當好。對本問卷前測和後測的整份問卷六個向度共 26 題進行信度(reliability)分析，其分析結果顯示，其 Cronbach's alpha 內部一致性係數前測 .851、後測 .913，具有相當好的信度。進一步針對各個向度進行信度分析，分析結果顯示，其 Cronbach's alpha 內部一致性係數如下：自我效能(Self-efficacy, SE) α 值前測 .769、後測 .852，主動學習策略(Active learning strategies, ALS) α 值前測 .790、後測 .887；科學學習價值(Science learning value, SLV) α 值前測 .800、後測 .857；表現目標(Performance goal, PG) α 值前測 .867、後測 .919；成就目標(Achievement goal, AG) α 值前測 .872、後測 .888；學習環境誘因(Learning environment stimulation, LES) α 值前測 .705、後測 .793，皆具有不錯的信度。

二、科學概念評量

本研究科學概念評量分為直流電路與科學定義兩部分，分別詳述如下：

(一) 直流電路

本研究需要知道學生是否具備直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係，以輸

林版(108 學年度)九年級自然與生活科技課本內容為依據，題目設計為一個電源和三個燈泡分別進行串聯、並聯與串並聯連接的直流電路。以了解學生是否知道電路串聯連接時，電流由高電位的電源正極，以相同大小流經每一電路元件後回到低電位的電源負極，即代表流經各元件的電流等於總電流；各元件兩端電壓的總和等於電源提供的總電壓。電阻以串聯方式連接時，電路的總電阻值為各電阻的總和。當電路並聯連接時，各分支電路的電流，同樣由高電位的電源正極流經電路元件後，回到低電位的電源負極，即代表並聯電路總電流為各分支電流總和；各分支電路兩端電壓均相同，且等於電源提供的總電壓。電阻以並聯方式連接時，電路的總電阻值為各電阻倒數的總和取倒數。最後電路串並聯連接時，電路中的各元件電壓、電流與電阻和總電壓、總電流與總電阻的關係，為串、並聯電路的運用。於 STEM 課程前後進行施測，以了解學生對於上述直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係否有顯著差異。

(二) 科學定義

本研究想要知道學生對於直流電與交流電、電阻定義與歐姆定律、電路有串聯、並聯及迴路等形式，並且電路中的能量及電量必須守恆，等科學概念的認知。所以題目設計以翰林版(108 學年度)九年級自然與生活科技課本與十二年級選修物理下課本內容對於上述科學概念的定義與公式之敘述，其題目分別為電阻定義與歐姆定律的差別、直流電與交流電的分辨和克希荷夫電流定律與電壓定律的了解。施測學生能分別選出歐姆定律為「溫度保持不變之下，施加於金屬導體兩端的電壓 V ，與通過此材料的電流 I 恆成定值」，公式為「 $R=V/I=$ 定值」；電阻定義為「一個導體的電阻，是以導體兩端的電壓 V 與電流 I 的比值」，公式為「 $R=V/I$ 」。交流電為「電流方向和大小會不斷的作週期性來回變換」；直流電為「電流流動的方向固定不變」。克希荷夫電流定律為「並聯電路中的總電流等於各分支電流的總和」，公式為「 $I_{總}=I_1+I_2$ 」；克希荷夫電壓定律為「串聯電路中的總電壓等於各元件電壓的總和」，公式為「 $V_{總}=V_1+V_2$ 」。於 STEM 課程前後進行施測，以了解學生對於直流電與交流電、電阻定義與歐姆定律、克希荷夫電流定律與克希荷夫電壓定律等科學概念了解是否有顯著差異。

三、科學概念應用在工程設計能力評量

本研究想了解學生是否能夠把科學概念應用在工程設計上，所以從簡易的電子電路設計圖，針對「電源」、「電阻定義」和「克希荷夫電壓定律」三個面向，進行科學概念應用在工程設計的題目設計，詳述如下。

(一) 電源面向：

為了了解學生是否知道，電子電路設計圖有使用到「電源」這個概念，在科學概念應用在工程設計能力評量的題目，第一題「你認為上述電路有使用到電源嗎？」，其選項為「有或沒有」，正確答案是「有」，在直流電路中，要使發光二極體發光，則需要有電源提供電能。此題目想了解學生是否知道，電路有使用到電源這個元件；第八題「你認為下列哪些元件可以供電？」，其選項有「電源、發光二極體、電阻、電容」，正確答案是「電源和電容」兩個，在直流電路中，電源能提供電能，電容能夠儲存電能，當電源消失時，則電容可以提供電能，使發光二極體能繼續發光。此題目想了解學生是否能夠正確選擇出能當電源的供電元件；第九題「你認為上述電路中供電元件的最主要功能為下列何者？」，其選項有「當電源使用、當電阻使用、計算電路中電流、計算電路所需電壓」，正確答案是「當電源使用」，因為電源的概念為提供電能給電子元件，電子元件則將電能轉為熱能、光能等能量形式。此題目想了解學生是否能知道，供電元件在電子電路中所提供的最主要功能。其中題目所敘述的「上述電路」，如圖 1 所示。藉由以上三個子題目，於 STEM 課程前後進行施測，以了解學生對於電子電路設計圖中是否

有使用到電源概念，並針對供電元件的選擇與元件最主要功能的認知是否有顯著差異。

(二) 電阻定義面向：

為了了解學生是否知道，電子電路設計圖有使用到「電阻定義」這個概念，在科學概念應用在工程設計能力評量的題目，第十三題「你認為上述電路有使用到電阻定義嗎？」，其選項為「有或沒有」，正確答案是「有」，在直流電路中，有使用到發光二極體與電阻等元件，則需利用電阻定義計算其限流電阻值。此題目想了解學生是否知道，電路中的電子元件有用到電阻定義的概念；第十四題「你認為下列哪些元件有用到電阻定義？」，其選項有「電源、發光二極體、電阻、電容」，正確答案是「發光二極體和電阻」兩個，因為在直流電路中，發光二極體與電阻等電子元件可透過電子元件兩端的電壓值與通過的電流值，即可算出該電子元件的電阻值。此題目想了解學生是否能夠正確選擇符合電阻定義的元件；第十五題「你認為上述電路中電阻定義的最主要功能為下列何者？」，其選項有「當電源使用、計算電阻值、計算電路中電流、計算整體電路的電壓」，正確答案是「計算電阻值」。因為電阻定義的概念為一個導體的電阻，是以導體兩端的電壓 V 與電流 I 的比值，其公式 $R = \frac{V}{I}$ 。因此，可以知道電阻定義在電路中的最主要功能是要計算元件的電阻值。此題目想了解學生是否能知道，電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能。其中題目所敘述的「上述電路」，如圖 3-4-1 所示。藉由以上三個子題目，於 STEM 課程前後進行施測，以了解學生對於科學概念應用在工程設計於電阻定義面向，電阻定義在電子電路所扮演的角色與用途是否有顯著差異。

(三) 克希荷夫電壓定律面向：

為了了解學生是否知道，電子電路設計圖有使用到「克希荷夫電壓定律」這個概念，在科學概念應用在工程設計能力評量的題目，第三十題「你認為上述電路有使用到克希荷夫電壓定律嗎？」，其選項為「有或沒有」，正確答案是「有」，在直流電路中，同時有二個以上的電子元件，則使用克希荷夫電壓定律計算各元件的分壓。此題目想了解學生是否知道，電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念；第三十一題「你認為下列哪些元件有用到克希荷夫電壓定律？」，其選項有「電源、發光二極體、電阻、電容」，正確答案是「發光二極體和電阻」兩個，因為在直流電路中，發光二極體與電阻等電子元件，當知道發光二極體的工作電壓與工作電流，則可透過克希荷夫電壓定律計算出限流電阻兩端的電壓值。此題目想了解學生是否能夠正確選擇出電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件；第三十二題「你認為上述電路中克希荷夫電壓定律的最主要功能為下列何者？」，其選項有「當電源使用、算出電阻值、計算電路中電流、計算電子元件所需電壓」，正確答案是「計算電子元件所需電壓」，因為克希荷夫電壓定律的概念為串聯電路中的總電壓等於各元件電壓的總和，其公式 $V_{\text{總}} = V_1 + V_2$ 。因此，可以知道克希荷夫電壓定律在電路中的最主要功能是要計算元件的電壓值。此題目想了解學生是否能知道，克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能。其中題目所敘述的「上述電路」，如圖 1 所示。藉由以上三個子題目，於 STEM 課程前後進行施測，以了解學生對於科學概念應用在工程設計於克希荷夫電壓定律面向，克希荷夫電壓定律在電子電路所扮演的角色與用途是否有顯著差異。

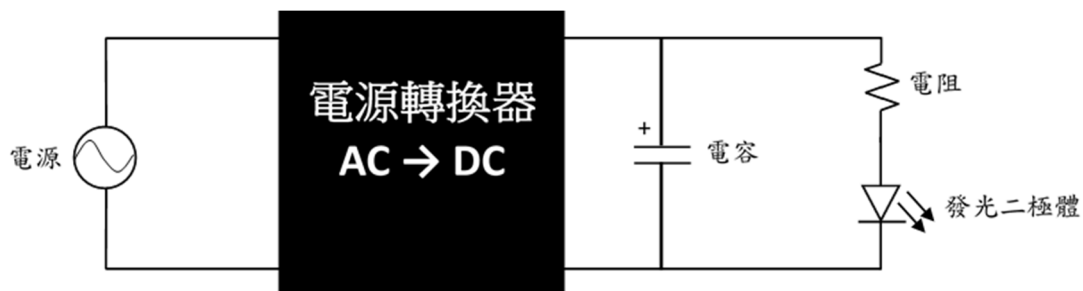


圖 1 簡易電子電路設計圖

資料蒐集與分析

本研究之資料收集與分析為「學生科學學習動機量表」、「科學概念評量」與「科學概念應用在工程設計能力評量」之量化資料。

一、分析科學學習動機量表

分析學生於課程前後撰寫之科學學習動機問卷的答題成績，詳細分析方法如下：

- (一) 本研究將科學學習動機問卷的六個向度採 Cronbach's α 信度分析，以檢驗各向度之可信程度。
- (二) 本研究將科學學習動機問卷分別對各項度前後測平均值進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定，以探討各向度前後是否產生顯著變化，藉此了解學生於 STEM 課程前後對於科學學習動機是否改變。

二、分析科學概念評量

(一) 直流電路在 STEM 課程後是否提升

本研究分析科學概念評量中直流電路的題目，為測量學生是否能了解直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係。將其直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係能力分為四個等級，其分類如下：Level 1 的學生無法正確回答電路中直流電路的電壓、電流與電阻之間的關係。Level 2 的學生僅能正確回答直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係之其中一種。Level 3 的學生能正確回答直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係之其中二種。Level 4 的學生能完全正確回答直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係。本研究評量使用兩位研究者對 43 位學生科學概念評量直流電路部分前、後測作答內容進行評量，並計算評分者間信度(interobserver reliability)為 0.974。

(二) 科學定義在 STEM 課程後是否提升

本研究分析科學概念評量中科學定義的題目，為測量學生是否了解電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律的科學定義。將其電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等定義認知程度分為四個等級，其分類如下：Level 1 的學生僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等科學定義之其中一種。Level 2 的學生僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等科學定義之其中二項。Level 3 的學生僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等科學定義之其中三項。Level 4 的學生能完全正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等科學定義。本研究評量使用兩位研究者對 43 位學生科學概念評量科學定義部分前、後測作答內容進行評量，並計算評分者間信度(interobserver reliability)為 0.993。

三、分析科學概念應用在工程設計能力評量

(一) 電源面向在 STEM 課程後是否提升

本研究分析科學概念應用在工程設計能力評量中電源面向的題目，根據三個準則：電源使用、供電元件的選擇、供電元件在電路的最主要功能，分為四個等級：Level 1

的學生認為電子電路設計圖中沒有使用電源。Level 2 的學生了解電子電路設計圖中有使用電源，但是對於供電元件的選擇與供電元件在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道。Level 3 的學生了解電子電路設計圖中有使用電源元件，對於供電元件的選擇或供電元件在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項。Level 4 的學生了解電子電路設計圖中有使用電源元件，並且正確選擇出當電源使用的供電元件與供電元件在電子電路中所提供的最主要功能。此向度為測量學生是否了解電源的科學概念能否應用在工程設計，對於第 1 題、第 8 題與第 9 題，可以完整測量出學生在面對工程設計的電路圖，若要使電子元件驅動，則必須要有電源提供電能，並且學習到電容為儲存電能的元件，能在電源短暫消失的時候，代替電源角色，對電子元件提供電能，以確保電子元件能繼續動作。本研究評量使用兩位研究者對 43 位學生科學概念應用在工程設計能力評量電源面向前、後測作答內容進行評量，並計算評分者間信度(interobserver reliability)為 0.995。

(二)電阻定義面向在 STEM 課程後是否提升

本研究分析科學概念應用在工程設計能力評量中電阻定義面向的題目，根據三個準則：電子元件有用到電阻定義、符合電阻定義元件的選擇、電阻定義在電路的最主要功能，分為四個等級：Level 1 的學生認為電路中的電子元件沒有用到電阻定義的概念。Level 2 的學生了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，但是對於符合電阻定義的元件與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道。Level 3 的學生了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，但是對於符合電阻定義的元件或電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項。Level 4 的學生了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，並且正確選擇出符合電阻定義的元件與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能。此向度為測量學生是否了解電阻定義能否應用在工程設計，對於第 13 題、第 14 題與第 15 題，可以完整測量出學生在面對工程設計的電路圖，當使用到發光二極體與電阻等元件時，可以使用元件兩端的電壓值與電流值的比值，計算出該元件的電阻值。本研究評量使用兩位研究者對 43 位學生科學概念應用在工程設計能力評量電阻定義面向前、後測作答內容進行評量，並計算評分者間信度(interobserver reliability)為 0.990。

(三)克希荷夫電壓定律面向在 STEM 課程後是否提升

本研究分析科學概念應用在工程設計能力評量中電阻定義面向的題目，根據三個準則：電子元件有用到電阻定義、符合電阻定義元件的選擇、電阻定義在電路的最主要功能，分為四個等級：Level 1 的學生認為電路設計沒有用到克希荷夫電壓定律的概念。Level 2 的學生了解電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，但是對於電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道。Level 3 的學生了解電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，但是對於電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項。Level 4 的學生了解電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，並且正確選擇電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能。此向度為測量學生是否了解克希荷夫電壓定律能否應用在工程設計，對於第 30 題、第 31 題與第 32 題，可以完整測量出學生在面對工程設計的電路圖，使用到發光二極體與電阻等元件，當已知發光二極體的工作電壓與工作電流時，可以使用克希荷夫電壓定律進行分壓的計算，能明確算出電阻元件兩端的電壓值。本研究評量使用兩位研究者對 43 位學生科學概念應用在工程設計能力評量克希荷夫電壓定律面向前、後測作答內容進行評量，並計算評分者間信度(interobserver reliability)為 0.973。

四、待答問題資料分析

(一)待答問題一：STEM 課程之教學對學生學習科學動機之影響

本研究為探討 STEM 課程對學生學習科學動機之影響，其中分別分析學生科學學習動機量表的自我效能、主動學習策略、科學學習價值、表現目標、成就目標和學習環境誘因的六個向度於前、後測的作答情形，並透過 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定探討學生於課程前、後測的學習科學動機是否有顯著的差異。

(二)待答問題二：STEM 課程之教學對學生科學概念之影響

本研究為探討 STEM 課程對學生科學概念之影響，將前、後測的作答情況，分成直流電路概念和科學概念兩個面向。直流電路概念依據直流電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係進行編碼；科學概念依據電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫定律等概念認知程度進行編碼。透過敘述性統計探討學生於課程前、後測的人數分佈情形。並透過 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定探討學生於課程前、後測的科學概念是否有顯著的差異。

(三)待答問題三：STEM 課程之教學對學生科學概念應用在工程設計能力的影響

本研究為探討 STEM 課程對學生科學概念應用在工程設計能力之影響，將前、後測的作答情況，分成電源、電阻定義和克希荷夫電壓定律三個面向。電源面向概念依據電子電路設計圖中電源使用、供電元件的選擇與元件最主要功能的認知進行編碼；電阻定義面向依據電子電路設計圖中電子元件有用到電阻定義的認知、符合電阻定義元件的選擇與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能進行編碼；克希荷夫電壓定律面向依據電子電路設計是否有用到克希荷夫電壓定律的概念、電子電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件選擇與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能的認知進行編碼。透過敘述性統計探討學生於課程前、後測的人數分佈情形。並透過 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定探討學生於課程前、後測的科學概念應用在工程設計能力是否有顯著的差異。

研究結果

本研究採量化方式進行研究，量化資料包括科學學習動機量表、科學概念評量、科學概念應用在工程設計能力評量，藉由統計分析了解學生在經歷本研究以 6E 教學模式為架構設計的 STEM 課程教學後，在科學學習動機、科學概念和科學概念應用在工程設計能力的影響。

STEM 課程之教學對學生科學學習動機的影響

將結果以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定來分析學生在前、後測科學學習動機是否有顯著差異。結果顯示學生在自我效能、主動學習策略、科學學習價值和學習環境誘因的向度，皆有達顯著差異；在表現目標和成就目標的向度，則沒有達到顯著差異。

一、自我效能(SE)

從表 3 可以發現，學生在自我效能向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的自我效能向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的自我效能向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -4.88$ ， $p = .000$ 。課程後測成績($M = 4.05, SD = 0.58$)顯著地大於課程前測成績($M = 3.70, SD = 0.57$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，自我效能向度的提升有達高度顯著差異水準。

二、主動學習策略(ALS)

從表 3 可以發現，學生在主動學習策略向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的主動學習策略向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的主動學習策略向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -3.06$ ， $p = .002$ 。課程後測成績 ($M=4.26, SD=0.47$) 顯著地大於課程前測成績 ($M=4.12, SD=0.41$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，主動學習策略向度的提升有達高度顯著差異水準。

三、科學學習價值(SLV)

從表 3 可以發現，學生在科學價值向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的科學價值向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的科學價值向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -3.28$ ， $p = .001$ 。課程後測成績 ($M=4.38, SD=0.49$) 顯著地大於課程前測成績 ($M=4.20, SD=0.50$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，科學價值向度的提升有達高度顯著差異水準。

四、表現目標(PG)

從表 3 可以發現，學生在表現目標向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的表現目標向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的表現目標向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有著差異， $z = -.50$ ， $p = .600$ 。雖然課程後測成績 ($M=3.65, SD=0.93$) 大於課程前測成績 ($M=3.55, SD=0.86$)。但是學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，表現目標向度的提升未達顯著差異水準。詳細結果請參考表 3。在本研究所設計的教學課程，並未涉及到同儕之間的相互競爭並且獲得老師的關注等目標，所以表現目標向度才會未達顯著差異水準。

五、成就目標(AG)

從表 3 可以發現，學生在成就目標向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的成就目標向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的成就目標向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有著差異， $z = -.87$ ， $p = .382$ 。雖然課程後測成績 ($M=4.11, SD=0.60$) 大於課程前測成績 ($M=4.04, SD=0.57$)。但是學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，成就目標向度的提升未達顯著差異水準。詳細結果請參考表 3。本研究設計的教學課程，有電子元件原理認識與工程電路的實作，雖然課程有提升學生於課程後測的平均值，但是在課程任務層級上，並沒有到很艱難的層級，所以學生雖然在任務挑戰表現獲得不錯的成效，但是仍未達到顯著差異水準。

六、學習環境誘因(LES)

從表 3 可以發現，學生在學習環境誘因向度的平均值經過 STEM 課程的教學後有提升，為了進一步確認學生在 STEM 教學前、後的學習環境誘因向度的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的學習環境誘因向度於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -4.60$ ， $p = .000$ 。課程後測成績 ($M=3.93, SD=0.56$) 顯著地大於課程前測成績 ($M=3.60, SD=0.51$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，學習環境誘因向度的提升有達高度顯著差異水準。

表 3 學生在前後測科學動機量表之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		

自我效能 (SE)	3.70(0.57)	4.05(0.58)	-4.88***	.000
主動學習策略 (ALS)	4.12(0.41)	4.26(0.47)	-3.06**	.002
科學學習價值 (SLV)	4.20(0.50)	4.38(0.49)	-3.28**	.001
表現目標 (PG)	3.55(0.86)	3.65(0.93)	-.52	.600
成就目標 (AG)	4.04(0.57)	4.11(0.60)	-.87	.382
學習環境誘因 (LES)	3.60(0.51)	3.93(0.56)	-4.60***	.000

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

STEM 課程之教學對學生科學概念之影響

本研究參加 STEM 課程教學的學生共有 49 人，其中 6 人科學概念評量有未完整作答部分，故有效樣本人數共 43 人。研究者在 STEM 課程教學前、後對學生進行科學概念評量施測，此評量共有二個面向分別為直流電路和科學定義。以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定來分析學生在前、後測科學概念是否有顯著差異。在經過 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定，學生在直流電路和科學定義，皆有達顯著差異。

一、直流電路

為了探討本研究設計之 STEM 課程對學生直流電路的影響，因此根據學生在前、後測作答進行直流電路編碼，其中 Level 1 代表未能將電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係正確作答；Level 2 代表僅能將電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係其中的一項正確作答；Level 3 代表僅能將電路中電壓、電流與電阻之間的數學關係其中的二項正確作答；Level 4 代表能完全將電壓、電流與電阻之間的數學關係正確回答。

本研究探討學生在課程前後直流電路的改變情形，以下以敘述性統計說明學生在前、後測中直流電路的等級分佈。在直流電路前測的部分，Level 1 人數為 9 人(佔全班總人數 20.93%)；Level 2 人數為 6 人(佔全班總人數 13.95%)；Level 3 人數為 15 人(佔全班總人數 34.88%)；Level 4 人數為 13 人(佔全班總人數 30.23%)。而直流電路概念後測的部分，Level 1 人數為 4 人(佔全班總人數 9.30%)；Level 2 人數為 4 人(佔全班總人數 9.30%)；Level 3 人數為 14 人(佔全班總人數 32.56%)；Level 4 人數為 21 人(佔全班總人數 48.84%)。由以上敘述性統計可以得知，學生在經過 STEM 課程教學，Level 1 人數由 9 位(20.93%)降低為 4 位(9.30%)；Level 2 人數由 6 位(13.95%)降低為 4 位(9.30%)；Level 3 人數由 15 位(34.88%)降低為 14 位(32.56%)；Level 4 人數由 13 位(30.23%)增加為 21 位(48.84%)，詳細結果如表 4 所示。

表 4. 學生於 STEM 教學前、後直流電路等級

	課程前測		課程後測	
	人數 (位)	百分比(%)	人數 (位)	百分比(%)
Level 1	9	20.93	4	9.30
Level 2	6	13.95	4	9.30

Level 3	15	34.88	14	32.56
Level 4	13	30.23	21	48.84
總人數	43	100.00	43	100.00
平均		2.74		3.21

在經歷 STEM 課程教學後，等級提升的人數百分比佔全班總人數的 46.51%，其中 Level 1 人數提升至 Level 2 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、Level 3 人數 4 位(佔全班總人數 9.30%)和 Level 4 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)；Level 2 人數提升至 Level 3 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)和 Level 4 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)；Level 3 人數提升至 Level 4 人數 8 位(佔全班總人數 18.60%)。在 STEM 課程教學後等級維持不變的人數佔全班總人數的 39.53%，其中維持在 Level 1 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、維持在 Level 3 人數 6 位(佔全班總人數 13.95%)、維持 Level 4 人數 9 位(佔全班總人數 20.93%)。在 STEM 課程教學後等級降低的人數佔全班總人數的 13.95%，其中 Level 4 人數降低至 Level 3 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、Level 4 人數降低至 Level 2 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)、Level 4 人數降低至 Level 1 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)；Level 3 人數降低至 Level 2 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)；Level 2 人數降低至 Level 1 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)。詳細結果如表 5 所示。針對經歷課程教學之後，造成等級降低的可能原因從教學層面與學生層面來進行討論，其可能結論如下：

1.從學生作答情況歸納如下：(1)後測作答將電路中三個元件的電壓、電流與電阻之間的數學關係，只寫其中兩個元件，忽略第三個元件、(2)電阻並聯的數學整理錯誤。

2.從教師教學情況歸納如下：(1)由於教學時間緊湊，造成在課程安排上，較為緊迫，對於直流電路電壓、電流與電阻之間數學關係的講解過於的倉促，使學生在概念上產生迷思。(2)在公式推導的過程中，忽略部分數學的運算，使學生對於公式的整理產生誤解。

表 5.學生於 STEM 教學前、後直流電路各等級的人數分佈

前測等級 \ 後測等級	後測等級				總人數
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Level 1	2	2	4	1	9
Level 2	1	0	2	3	6
Level 3	0	1	6	8	15
Level 4	1	1	2	9	13
總人數	4	4	14	21	43

從表 4 結果可以發現，透過 STEM 課程的教學能提升學生的直流電路，為了更進一步確認學生在 STEM 教學前、後的直流電路的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的直流電路於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -2.50$ ， $p = .012$ 。課程後測成績($M = 3.21, SD = 0.96$)顯著地大於課程前測成績($M = 2.74, SD = 1.11$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，直流電路的提升有達顯著差異水準。學生直流電路於 STEM 課程前、後測進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定結果如表 6。

表 6. STEM 課程前、後直流電路之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		
等級	2.74(1.11)	3.21(0.96)	-2.50*	.012

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

二、科學定義

為了探討本研究設計之 STEM 課程對學生科學定義的影響，因此根據學生在前、後測作答進行科學定義編碼，其中 Level 1 代表僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律與克希荷夫定律之其中一種；Level 2 代表僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律與克希荷夫定律之其中二種；Level 3 代表僅能正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律與克希荷夫定律之其中三種；Level 4 代表能完全正確回答電源種類、電阻定義、歐姆定律與克希荷夫定律。

本研究探討學生在課程前後科學定義的改變情形，以下以敘述性統計說明學生在前、後測科學概念的等級分佈。在科學定義前測的部分，Level 1 人數為 17 人(佔全班總人數 39.53%)；Level 2 人數為 1 人(佔全班總人數 2.33%)；Level 3 人數為 20 人(佔全班總人數 46.51%)；Level 4 人數為 5 人(佔全班總人數 11.63%)。而科學定義後測的部分，Level 1 人數為 2 人(佔全班總人數 4.65%)；Level 2 人數為 2 人(佔全班總人數 4.65%)；Level 3 人數為 15 人(佔全班總人數 34.88%)；Level 4 人數為 24 人(佔全班總人數 55.81%)。由以上敘述性統計可以得知，學生在經過 STEM 課程教學，Level 1 人數由 17 位(39.53%)降低為 2 位(4.65%)；Level 2 人數由 1 位(2.33%)增加為 2 位(4.65%)；Level 3 人數由 20 位(46.51%)降低為 15 位(34.88%)；Level 4 人數由 5 位(11.63%)增加為 24 位(55.81%)，詳細結果如表 7 所示。

表 7 學生於 STEM 教學前、後科學定義等級

	課程前測		課程後測	
	人數 (位)	百分比(%)	人數 (位)	百分比(%)
Level 1	17	39.53	2	4.65
Level 2	1	2.33	2	4.65
Level 3	20	46.51	15	34.88
Level 4	5	11.63	24	55.81
總人數	43	100.00	43	100.00
平均	2.30		3.42	

在經歷 STEM 課程教學後，等級提升的人數百分比佔全班總人數的 69.77%，其中 Level 1 人數提升至 Level 2 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、Level 3 人數 8 位(佔全班總人數 18.60%)和 Level 4 人數 5 位(佔全班總人數 11.63%)；Level 2 人數提升至 Level 4 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)；Level 3 人數提升至 Level 4 人數 14 位(佔全班總人數 32.56%)。在 STEM 課程教學後等級維持不變的人數佔全班總人數的 27.91%，其中維持在 Level 1 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、維持在 Level 3 人數 6 位(佔全班總人數

13.95%)、維持 Level 4 人數 4 位(佔全班總人數 9.30%)。在 STEM 課程教學後等級降低的人數佔全班總人數的 2.33%，其中僅有 Level 4 人數降低至 Level 3 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)。詳細結果如表 8 所示。針對經歷課程教學之後，造成等級降低的可能原因從教學層面與學生層面來進行討論，詳述如下：

1.從學生作答的內容分析，在科學概念評量的科學定義前測是知道克希荷夫定律，卻是在後測選擇不知道克希荷夫定律，所以為確保學生作答情形，所以進一步去看學生在科學概念應用在工程設計能力評量前後測作答，發現學生在科學概念應用在工程設計能力評量的前後測作答，克希荷夫定律一律選擇不知道，所以從二個評量的作答來分析，推測該學生可能本來就不知道克希荷夫定律，所以科學定義前測的作答，有可能是參考同儕的作答。

2.從教師教學情況分析，在課程安排上，透過直流電路的串、並聯關係，對於克希荷夫定律進行教學，因為教學時間的關係，未能清楚講解分壓與分流的差異，導致學生在學習過程對克希荷夫定律的知識產生模糊的現象。

表 8 學生於 STEM 教學前、後科學定義各等級的人數分佈

前測等級 \ 後測等級	後測等級				總人數
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Level 1	2	2	8	5	17
Level 2	0	0	0	1	1
Level 3	0	0	6	14	20
Level 4	0	0	1	4	5
總人數	2	2	15	24	43

從表 7 結果可以發現，透過 STEM 課程的教學能提升學生的科學定義，為了更進一步確認學生在 STEM 教學前、後的科學定義的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的科學定義於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -4.80$ ， $p = .000$ 。課程後測成績($M = 3.42, SD = 0.79$)顯著地大於課程前測成績($M = 2.30, SD = 1.12$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，科學定義的提升有達高度顯著差異水準。學生科學定義於 STEM 課程前、後測進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定結果如表 9。

表 9. STEM 課程前、後科學定義之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		
等級	2.30(1.12)	3.42(0.79)	-4.80***	.000

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

STEM 課程之教學對學生科學概念應用在工程設計能力的影響

本研究參加 STEM 課程教學的學生共有 49 人，其中 6 人科學概念應用在工程設計

能力評量有未完整作答部分，故有效樣本人數共 43 人。研究者在 STEM 課程教學前、後對學生進行科學概念應用在工程設計能力評量施測，此評量共有三個面向分別為電源面向、電阻定義面向和克希荷夫電壓定律面向。在經過 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定，學生在電源面向、電阻定義面向和克希荷夫電壓定律面向，皆有達顯著差異。

一、電源面向

為了探討本研究設計之 STEM 課程對電源面向的影響，因此根據學生在前、後測作答進行電源面向編碼，其中 Level 1 代表認為電子電路設計圖中沒有使用電源；Level 2 代表了解電子電路設計圖中有使用電源，但是對於供電元件的選擇與供電元件在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道；Level 3 代表了解電子電路設計圖中有使用電源元件，對於供電元件的選擇與供電元件在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項；Level 4 代表了解電子電路設計圖中有使用電源元件，並且正確選擇出當電源使用的供電元件與供電元件在電子電路中所提供的最主要功能。

本研究探討學生在課程前後電源面向的改變情形，以下以敘述性統計說明學生在前、後測中電源面向的等級分佈。在電源面向前測的部分，Level 1 人數為 2 人(佔全班總人數 4.65%)；Level 2 人數為 4 人(佔全班總人數 9.30%)；Level 3 人數為 18 人(佔全班總人數 41.86%)；Level 4 人數為 19 人(佔全班總人數 44.19%)。而電源面向後測的部分，Level 2 人數為 2 人(佔全班總人數 4.65%)；Level 3 人數為 10 人(佔全班總人數 23.26%)；Level 4 人數為 31 人(佔全班總人數 72.09%)。由以上敘述性統計可以得知，學生在經過 STEM 課程教學，Level 1 人數由 2 位(4.65%)降低為 0 位；Level 2 人數由 4 位(9.30%)降低為 2 位(4.65%)；Level 3 人數由 18 位(41.86%)降低為 10 位(23.26%)；Level 4 人數由 19 位(44.19%)增加為 31 位(72.09%)，詳細結果如表 10 所示。

表 10 學生於 STEM 教學前、後電源面向等級

	課程前測		課程後測	
	人數 (位)	百分比(%)	人數 (位)	百分比(%)
Level 1	2	4.65	0	0.00
Level 2	4	9.30	2	4.65
Level 3	18	41.86	10	23.26
Level 4	19	44.19	31	72.09
總人數	43	100.00	43	100.00
平均	3.26		3.67	

在經歷 STEM 課程教學後，等級提升的人數百分比佔全班總人數的 44.19%，其中 Level 1 人數提升至 Level 2 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)和 Level 4 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)；Level 2 人數提升至 Level 4 人數 4 位(佔全班總人數 9.30%)；Level 3 人數提升至 Level 4 人數 13 位(佔全班總人數 30.23%)。在 STEM 課程教學後等級維持不變的人數佔全班總人數的 39.53%，其中維持在 Level 3 人數 4 位(佔全班總人數 9.30%)、維持 Level 4 人數 13 位(佔全班總人數 30.23%)。在 STEM 課程教學後等級降低的人數佔全班總人數的 16.28%，其中 Level 4 人數降低至 Level 3 人數 6 位(佔全班總人數 19.35%)；Level 3 人數降低至 Level 2 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)。詳細結果如表 11 所示。針對經歷課程教學之後，造成等級降低的可能原因從教學層面與學生層面來進行討論，其可能結論如下：

1. 從學生作答情況分析可能原因歸納如下：(1)認為供電元件只有電容：課程教學內容有

針對電路中電容元件的運作原理進行教學，可能造成學生在後測作答只針對電源轉換後直流電路那端，而忽略原本供電的電源；(2)認為供電元件只有電源：學生在課程教學之後，對於電容元件的認知為可儲存電荷的元件，所以認為供電元件只有電源，這忽略了當電源不在提供的時候，發光二極體會持續發亮的供電來源。

2.從教師教學情況分析可能原因歸納如下：(1)本研究在課程規劃上，因為學生對於電容這個元件的認識較為生疏，所以課堂教學著重於電容元件的原理介紹，確保學生了解電容為儲存電能之元件，可以取代電源提供電能給電子元件使用，將整個焦點擺在電容，而忽略原本的電源的重要性；(2)因為教學時間倉促關係，並沒有讓學生有充裕時間去探究電容元件的充放電過程，讓學生對於電容的供電用途，產生迷思。

表 11.學生於 STEM 教學前、後電源面向各等級的人數分佈

前測等級 \ 後測等級	後測等級				總人數
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Level 1	0	1	0	1	2
Level 2	0	0	0	4	4
Level 3	0	1	4	13	18
Level 4	0	0	6	13	19
總人數	0	2	10	31	43

從表 10 結果可以發現，透過 STEM 課程的教學能提升學生的電源面向，為了更進一步確認學生在 STEM 教學前、後的電源面向的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的電源面向於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z=-2.67$ ， $p=.007$ 。課程後測成績($M=3.67,SD=0.57$)顯著地大於課程前測成績($M=3.26,SD=0.82$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，電源面向的提升有達高度顯著差異水準。學生電源面向於 STEM 課程前、後測進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定結果如表 12。

表 12. STEM 課程前、後電源面向之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		
等級	3.26(0.82)	3.67(0.57)	-2.67**	.007

註：* $p<.05$ ；** $p<.01$ ；*** $p<.001$

二、電阻定義面向

為了探討本研究設計之 STEM 課程對電阻定義面向的影響，因此根據學生在前、後測作答進行電阻定義面向編碼，其中 Level 1 代表認為電路中的電子元件沒有用到電阻定義的概念；Level 2 代表了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，但是對於符合電阻定義的元件與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道；Level 3

代表了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，但是對於符合電阻定義的元件與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項；Level 4 代表了解電路中的電子元件有用到電阻定義的概念，並且正確選擇出符合電阻定義的元件與電阻定義在電子電路中所提供的最主要功能。

本研究探討學生在課程前後電阻定義面向的改變情形，以下以敘述性統計說明學生在前、後測中電阻定義面向的等級分布。在電阻定義面向前測的部分，Level 1 人數為 8 人(佔全班總人數 18.60%)；Level 2 人數為 11 人(佔全班總人數 25.58%)；Level 3 人數為 19 人(佔全班總人數 44.19%)；Level 4 人數為 5 人(佔全班總人數 11.63%)。而電阻定義面向後測的部分，Level 1 人數為 1 人(佔全班總人數 2.33%)；Level 2 人數為 8 人(佔全班總人數 18.60%)；Level 3 人數為 17 人(佔全班總人數 39.53%)；Level 4 人數為 17 人(佔全班總人數 39.53%)。由以上敘述性統計可以得知，學生在經過 STEM 課程教學，Level 1 人數由 8 位(18.60%)降低為 1 位(2.33%)；Level 2 人數由 11 位(25.58%)降低為 8 位(18.60%)；Level 3 人數由 19 位(44.19%)降低為 17 位(39.53%)；Level 4 人數由 5 位(11.63%)增加為 17 位(39.53%)，詳細結果如表 13 所示。

表 13 學生於 STEM 教學前、後電阻定義面向等級

	課程前測		課程後測	
	人數 (位)	百分比(%)	人數 (位)	百分比(%)
Level 1	8	18.60	1	2.33
Level 2	11	25.58	8	18.60
Level 3	19	44.19	17	39.53
Level 4	5	11.63	17	39.53
總人數	43	100.00	43	100.00
平均	2.49		3.16	

在經歷 STEM 課程教學後，等級提升的人數百分比佔全班總人數的 55.81%，其中 Level 1 人數提升至 Level 2 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)、Level 3 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)和 Level 4 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)；Level 2 人數提升至 Level 3 人數 6 位(佔全班總人數 13.95%)和 Level 4 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)；Level 3 人數提升至 Level 4 人數 8 位(佔全班總人數 18.60%)。在 STEM 課程教學後等級維持不變的人數佔全班總人數的 32.56%，其中維持在 Level 1 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)、Level 2 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)、Level 3 人數 8 位(佔全班總人數 18.60%)、維持 Level 4 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)。在 STEM 課程教學後等級降低的人數佔全班總人數的 11.63%，其中 Level 4 人數降低至 Level 3 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)；Level 3 人數降低至 Level 2 人數 3 位(佔全班總人數 6.98%)。詳細結果如表 14 所示。針對經歷課程教學之後，造成等級降低的可能原因從教學層面與學生層面來進行討論，其可能結論如下：1.從學生作答情況分析可能原因歸納如下：(1)認為符合電阻定義的元件只有電阻：學生因為對電子元件的認識較為生疏，覺得僅有電阻符合電阻定義，而發光二極體是不符合電阻定義；(2)認為電阻定義在電路中最主要的功能除了計算電阻以外還有計算整體電路的電壓：學生可能認為電阻定義可以回推電阻的電壓值，所以可以藉由此原則，算出整體電路的電壓值。

2.從教師教學情況分析可能原因歸納如下：(1)本研究的課程教學內容有針對電路中提供電壓超過發光二極體的額定電壓時，必須分給其餘電子元件，所以有針對限流電阻的概

念進行教學，並對於限流電阻所需的電阻值進行計算，所以讓學生把焦點放在限流電阻，而忽略利用發光二極體的工作電壓與工作電流引導學生進行發光二極體的電阻值計算，所以會造成學生認為電路中符合電阻定義的元件僅有電阻；(2)在課程教學內容有教到克希荷夫電壓定律，利用克希荷夫電壓定律找出限流電阻的電壓值，再利用電阻定義去計算電阻值，因此可能讓學生在電阻定義和克希荷夫電壓定律之間產生迷思概念，認為電阻定義亦可作為計算電壓使用。

表 14 學生於 STEM 教學前、後電阻定義面向各等級的人數分佈

前測等級 \ 後測等級	後測等級				總人數
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Level 1	1	3	1	3	8
Level 2	0	2	6	3	11
Level 3	0	3	8	8	19
Level 4	0	0	2	3	5
總人數	1	8	17	17	43

從表 13 結果可以發現，透過 STEM 課程的教學能提升學生的電阻定義面向，為了更進一步確認學生在 STEM 教學前、後的電阻定義面向的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的電阻定義面向於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -3.66$ ， $p = .000$ 。課程後測成績($M = 3.16, SD = 0.81$)顯著地大於課程前測成績($M = 2.49, SD = 0.94$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，電阻定義面向的提升有達高度顯著差異水準。學生電阻定義面向於 STEM 課程前、後測進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定結果如表 15。

表 15. STEM 課程前、後電阻定義面向之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		
等級	2.49(0.94)	3.16(0.81)	-3.66***	.000

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

三、克希荷夫電壓定律面向

為了探討本研究設計之 STEM 課程對克希荷夫電壓定律面向的影響，因此根據學生在前、後測作答進行克希荷夫電壓定律面向編碼，其中 Level 1 代表認為電路設計沒有用到克希荷夫電壓定律的概念；Level 2 代表了解電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，但是對於電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能，完全不知道；Level 3 代表了解電路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，但是對於電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能，僅知道其中一項；Level 4 代表了解電

路設計有用到克希荷夫電壓定律的概念，並且正確選擇電路設計時會使用到克希荷夫電壓定律的元件與克希荷夫電壓定律在電子電路中所提供的最主要功能。

本研究探討學生在課程前後克希荷夫電壓定律面向的改變情形，以下以敘述性統計說明學生在前、後測中克希荷夫電壓定律面向的等級分布。在克希荷夫電壓定律面向前測的部分，Level 1 人數為 35 人(佔全班總人數 81.40%)；Level 2 人數為 0 人(佔全班總人數 0.00%)；Level 3 人數為 3 人(佔全班總人數 6.98%)；Level 4 人數為 5 人(佔全班總人數 11.63%)。而克希荷夫電壓定律面向後測的部分，Level 1 人數為 12 人(佔全班總人數 27.91%)；Level 2 人數為 5 人(佔全班總人數 11.63%)；Level 3 人數為 8 人(佔全班總人數 18.60%)；Level 4 人數為 18 人(佔全班總人數 41.86%)。由以上敘述性統計可以得知，學生在經過 STEM 課程教學，Level 1 人數由 35 位(81.40%)降低為 12 位(27.91%)；Level 2 人數由 0 位(0.00%)增加為 5 位(11.63%)；Level 3 人數由 3 位(6.98%)增加為 8 位(18.60%)；Level 4 人數由 5 位(11.63%)增加為 18 位(41.86%)，詳細結果如表 16 所示。

表 16.學生於 STEM 教學前、後克希荷夫電壓定律面向等級

	課程前測		課程後測	
	人數 (位)	百分比(%)	人數 (位)	百分比(%)
Level 1	35	81.40	12	27.91
Level 2	0	0.00	5	11.63
Level 3	3	6.98	8	18.60
Level 4	5	11.63	18	41.86
總人數	43	100.00	43	100.00
平均	1.49		2.74	

在經歷 STEM 課程教學後，等級提升的人數百分比佔全班總人數的 60.47%，其中 Level 1 人數提升至 Level 2 人數 5 位(佔全班總人數 11.63%)、Level 3 人數 8 位(佔全班總人數 18.60%)和 Level 4 人數 11 位(佔全班總人數 25.58%)；Level 3 人數提升至 Level 4 人數 2 位(佔全班總人數 4.65%)。在 STEM 課程教學後等級維持不變的人數佔全班總人數的 37.21%，其中維持在 Level 1 人數 11 位(佔全班總人數 25.58%)和維持 Level 4 人數 5 位(佔全班總人數 11.63%)。在 STEM 課程教學後等級降低的人數佔全班總人數的 2.33%，其中 Level 3 人數降低至 Level 1 人數 1 位(佔全班總人數 2.33%)。詳細結果如表 17 所示。針對經歷課程教學之後，有一位學生等級退步，從學生作答的內容分析，在前測是知道電路設計是有使用克希荷夫電壓定律，卻是在後測選擇電路設計是沒有使用克希荷夫電壓定律，所以為了了解學生，等級退步原因，進一步去看活動三的限流電阻的計算，學生是有正確計算出來，所以推測該位學生會應用克希荷夫電壓定律，去計算出限流電阻的電壓值，但是卻不知道正在使用的原理為克希荷夫電壓定律。在克希荷夫電壓定律的部分，有 11 位學生等級仍然維持在 Level 1，針對經歷課程教學之後，造成等級降低可能原因從教學層面與學生層面來進行討論，可能結論如下：

1.因為有 11 位學生作答情形，等級維持在 Level 1，因此進一步分析的可能原因歸納如下：(1)知道克希荷夫電壓定律，但是認為電路設計沒有使用到克希荷夫電壓定律的概念，從活動三的限流電阻的計算，學生仍然可以正確計算出來，代表學生是會使用克希荷夫電壓定律的概念去計算出限流電阻的電壓值，但是卻不知道正在使用原理是克希荷夫電壓定律，所以可以推測，學生在於應用和原理兩個層面是有些許落差；(2)課程教學後，對於克希荷夫電壓定律未知的學生有二位，從二位學生其他面向的作答分析發現，

仍然有前後測等級維持不變的現象，可能推測學生在課程參與過程，可沒有完全投入其中，導致在後測評量作答並未能有效提升。

2.從教師教學情況分析可能原因歸納如下：課程將克希荷夫電壓定律應用在真實電路計算元件之間的電壓值，課堂中教師給定電源電壓值，由學生自行選擇發光二極體的顏色，並對應其工作電壓與工作電流，從串聯電路關係，使用克希荷夫電壓定律的去計算限流電阻的電壓值，並且計算出限流電阻的電阻值，因為這部分教學內容已經接近課程尾聲，所以在教學比較算是講述式教學和練習計算，並沒有給學生太多自我發揮的時間，所以可能造成學生在經過學習之後，是知道要怎麼去計算，卻不知道使用到的科學定義是什麼的窘境。

表 17.學生於 STEM 教學前、後克希荷夫電壓定律面向各等級的人數分佈

前測等級 \ 後測等級	後測等級				總人數
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Level 1	11	5	8	11	8
Level 2	0	0	0	0	0
Level 3	1	0	0	2	19
Level 4	0	0	0	5	5
總人數	12	5	8	17	43

從表 16 結果可以發現，透過 STEM 課程的教學能提升學生的克希荷夫電壓定律面向，為了更進一步確認學生在 STEM 教學前、後的克希荷夫電壓定律面向的提升是否有達顯著性，以 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定發現，學生的克希荷夫電壓定律面向於 STEM 課程教學的前測和後測平均值有顯著差異， $z = -4.32$ ， $p = .000$ 。課程後測成績 ($M = 2.74, SD = 1.27$) 顯著地大於課程前測成績 ($M = 1.49, SD = 1.05$)。代表學生透過本研究設計之 STEM 課程教學後，克希荷夫電壓定律面向的提升有達高度顯著差異水準。學生克希荷夫電壓定律面向於 STEM 課程前、後測進行 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定結果如表 17。

表 17. STEM 課程前、後克希荷夫電壓定律面向之 Wilcoxon Signed-Rank Test 檢定

向度	平均值 (標準差)		z 值	p
	STEM 課程前測	STEM 課程後測		
等級	1.49(1.05)	2.74(1.27)	-4.32***	.000

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

結論與建議

一、STEM 課程之教學對學生科學學習動機的影響

本研究結果發現，學生在經過 STEM 課程探究教學之後，科學學習動機量表的六個向度的後測平均值均大於前測平均值，由此可知學生在經過 STEM 探究教學之後，科

學學習動機皆有進步。其中，自我效能、主動學習策略、科學價值與學習環境誘因這四個向度的提升有達到顯著差異。可以說明，教師在透過真實的電子電路作為情境，進行 STEM 課程探究教學，讓學生從體驗探究活動過程中，了解科學與日常生活的關聯，教師透過鷹架的方式引導學生能夠根據原本既有的科學知識去建構新的科學知識，並且從電子電路設計與現象預測的階段，激發學生的思維，能夠將科學概念轉移到真實的電子電路設計，經由動手實踐電路的過程，培養學生建立解決問題的能力，從學習成就當中幫助學生建立自信，並相信自己有能力去完成學習任務。

另外表現目標與成就目標，並未有顯著差異。研究者審視本研究設計的 STEM 課程活動內容，發現在表現目標部分，是學生的學習目標為同儕之間的相互競爭，並且獲得教師的關注。在課堂教學期間，是以分組合作學習的方式進行，小組之間進行想法的分享，所以對於學生學習目標而言並未涉及到同儕之間與小組之間的相互競爭，透過表現來獲得教師關注的部分。在成就目標部分，是學生在學習科學過程中，透過任務挑戰的良好表現獲得成就。課程活動有涉及電子元件原理的認識與工程電路的實作，可能在任務層級上，對學生而言並未達到很艱難，所以學生在任務挑戰表現上獲得不錯的成效，但是仍未達到顯著差異。

本研究結果學生科學學習動機量表的變化，以自我效能、主動學習策略、科學學習價值與學習環境誘因有明顯的顯著差異與 Tuan 等人 (2005) 提出的學生科學學習動機量表研究結果學習環境誘因與學生的科學態度的相關性最高，其次是科學學習價值。自我效能與學生的科學成績的相關性最高，其次是主動學習策略，進行比較發現本研究的結果與 Tuan 等人 (2005) 的研究結果一致。但是本研究採取的教學情境有別於一般傳統講述式教學，本研究課程以學生為中心，採用 6E 教學模式設計 STEM 跨學科整合課程，透過教師對科學概念的講解與引導如何將科學概念應用於工程設計上，讓學生動手實踐的過程，提高學生對科學概念和工程設計的有效整合能力。因此，透過本研究設計的 STEM 課程，可以發現，學生在科學學習動機量表的學習環境誘因向度有高度顯著差異，代表動手實踐的探究課程這樣的學習環境，確實能讓學生對於學習科學的動機有所提升。另外，本研究發現，當學生透過 STEM 課程從真實的工程電路中學習科學概念時，雖然從未接觸過這樣的教學方法，但是對於學習科學仍然具有自信，相信自己能夠學習新的科學概念，並且將所學的科學概念應用於工程設計並且解決問題。

Unfried 等人 (2015) 對 STEM 的態度和職業的興趣進行研究，Tseng 等人 (2013) 對 STEM 的學科之學習態度、學習興趣和學習自主性進行研究。Han 和 Carpenter (2014) 提出學生對 STEM PBL 的態度綜合量表之研究。上述文獻皆對於態度、興趣進行研究，未涉及到科學學習動機的研究。本研究以 STEM 課程進行教學，探討學生的科學學習動機。此外，Chen (2020) 研究科學探究的實踐活動，提高學生的學習動機、學習成績和手作能力。此篇文獻是從科學探究角度去提升學生的學習動機。但在本研究利用 STEM 跨領域主題式整合課程，以真實情境問題進行的探究教學，以探討學生在進行 STEM 探究教學之後，對科學學習動機的影響。

二、STEM 課程之教學對學生科學概念之影響

本研究結果發現，學生在經過 STEM 課程探究教學之後，科學概念評量包含的直流電路的電壓、電流與電阻之間的數學關係與科學定義的電源種類、電阻定義、歐姆定律、克希荷夫電流定律與克希荷夫電壓定律兩部分，後測平均值均大於前測平均值，並且都有顯著差異。可以推論，從 STEM 課程的探究教學過程，教師透過 6E 教學模式的參與、探索、解釋、工程、豐富、評量等過程進行教學，其中在解釋的部分，教師引入學生既有的科學概念，進行科學原理探討以提供鷹架的方式幫助學生搭建新的科學概念其內容包含克希荷夫電流定律、克希荷夫電壓定律和電容，並且強化直流電路的電壓、電流與

電阻之間的數學關係。

在 6E 教學模式中解釋的部分，是極為重要的環節，它是為學生提供建構新的科學概念的鷹架，讓學生在整個活動過程，能夠更為深入的進行工程電路的探究，其研究結果與 So 等人 (2018) 提出對於實施 STEM 活動，利用教師或專家提供的鷹架，支援學生的探究式學習和 Gardner 和 Tillotson (2019) 發現，學生需要鷹架來參與綜合學習任務，是有相同之處。

從 Lin, Hsiao, Williams 與 Chen (2019) 的空投救援物資課程、Lin 與 (2019) 以 IoT 智能手杖創意設計課程與 Love 與 Deck (2015) 以海洋平臺工程設計挑戰課程，進行文獻探討發現，上述三個研究的課程雖然使用 6E 教學模式進行 STEM 課程，但是在課程教學過程中，僅在課程的一開始對於科學概念進行教學，例如僅對裝置中應用的原理進行解釋 (Lin, Hsiao, Williams & Chen, 2019)、針對學生對於智能手杖發現的真正問題進行概念講解 (Lin & Chiang, 2019)、透過活動方式，引入科學術語，幫助學生辨識此活動單元的關鍵術語 (Love & Deck, 2015)，並在後續的課程活動讓學生有大量動手實踐的機會，但是課程活動並未將科學概念再次引入，導致學生並未將剛剛所學的科學概念應用於製作或修正的階段。評量階段，並未針對科學概念的學習的部分進行評量。

傳統講述式教學則是將科學概念透過主題式進行有系統、有組織的口語教學，但是容易形成自顧自的講述，使師生之間的互動低，並且難以掌握學生的學習進度。此外，學生還缺乏親身體驗與動手實踐的機會。

綜合上述結果，本研究課程在 6E 教學模式的解釋部分，透過講述式教學和動手實踐，幫助學生建構新的科學概念，並且能將科學概念應用於工程設計，在研究中藉由科學概念評量進行前、後測，以了解學生的科學概念的變化。

三、STEM 課程之教學對學生科學概念應用在工程設計能力的影響

本研究結果顯示，學生在經過 STEM 課程探究教學之後，科學概念應用在工程設計能力評量包含電源、電阻定義與克希荷夫電壓定律這三個面向，後測平均值均大於前測平均值，並且都有顯著差異。可以推論，從 STEM 課程的探究教學過程，教師透過真實情境的電子電路與 6E 教學模式的探索、解釋、工程和豐富的部分，其中探索是提供真實情境的電子電路引導學生建構自己對於探究課程主題的理解並且透過合作學習進行小組討論，提出自己對於真實情境電路的想法；解釋為學生提供真實的電子電路，讓學生透過電子電路能夠去解釋剛剛所學的科學知識，當在面臨到較為複雜的電路或電子電路設計上遇到困難的時候，能夠試著用先前所學的科學知識來解決問題，而不是單純透過直覺來解決問題。工程是提供真實情境的電子電路，透過動手實踐過程，讓學生將科學知識應用於真實的情境問題，並對主要問題採用概念、實務技術與態度，以發展對探究實作的主題有深刻的理解；豐富是將真實情境的電子電路設計進行改變，讓學生透過深入學習的過程，有機會將所學的科學知識應用到更複雜的電子電路。

在探究教學過程中，透過真實情境的問題與跨學科整合的課程對於學生的深入學習是有明顯的幫助，並且透過 STEM 跨領域整合課程進行探究，能有效幫助學生將所學的電源、電阻定義與克希荷夫電壓定律的科學知識，轉移到真實產品的電子電路進行應用。

從 Lin, Hsiao, Williams 與 Chen (2019) 的空投救援物資課程、Lin 與 Chiang (2019) 以 IoT 智能手杖創意設計課程與 Love 與 Deck (2015) 以海洋平臺工程設計挑戰課程，進行文獻探討發現，上述三個研究的課程雖然使用 6E 教學模式進行 STEM 課程，但是在課程內容並未使用科學思考修正設計上的錯誤，而是採用嘗試錯誤的方式在進行修正，並且在評量方面只對最後的成品結果和性能進行評量，並未考慮到學生的工程設計和科學概念之間的改變。本研究在 6E 教學模式，著重於學生能夠試著用先前所學的科學知識

來解決問題，並且了解學生是否能夠將科學概念轉移至真實的情境電路，因此研究藉由科學概念應用在工程設計能力評量進行前、後測，以了解學生對於真實的工程電路所使用的科學概念是否變化。

四、教學的建議

本研究具有工程背景和科學背景，因此透過研究過程歸納，針對本研究對於教學方面從以下三的面向：STEM 探究教學的困境、動手實踐的重要性與探究教學時間規劃給予教學上建議，詳述如下。

(一)STEM 探究教學的困境：

STEM 是跨領域整合的課程，其內容包含科學、科技、工程與數學，對於教師在設計課程會是一種挑戰，本研究的課程在設計過程遇到工程和科學在進行整合的時候，會因為學生原先所具有的科學知識的內容有所差異，所以會讓課程在設計上，必須將真實工程的電子電路，試著以簡化的電路和電子元件進行課程設計，來符合學生在參與課程之前就已經具有的科學概念。

根據 Grubbs 等人 (2016) 研究指出科學和工程兩個領域之間的合作，來確定科學探究和工程設計如何互補，可能會使學生產生更大的興趣，更重要的是加強學生的學習。因為對科學教師而言，工程和科技領域相較於數學領域而言是相對的不熟悉，所以對科學教師而言會不知道如何設計 STEM 整合課程。這時候會建議科學教師可以跟生活科技教師進行共同備課，去設計一個主題式的整合課程，透過真實的情境進行科學探究與工程設計的教學，幫助學生能夠將科學知識不在侷限於課本當中，而是能轉移到真實的問題上，透過科學知識進一步解決問題。

(二)動手實踐的重要性：

STEM 課程的探究活動中，必須透過動手實踐去了解科學概念如何應用於工程設計，並且實際做出成品，而且整個學習過程，帶領學生學會將科學概念轉移至真實的作品設計，透過實作和測試，去發現問題，使用科學概念解決問題，最終實際製作出成品。因此可以知道，實踐活動為學生提供動手實踐的過程，加強生活經驗、學習內容、學習表徵、跨學科知識和實作之間的聯繫，手作能力在實踐過程中，幫助學生檢驗科學理論，快速地對學習內容有更深入的了解，並結合實際應用 (Chen, 2020)。

所以 STEM 課程的動手實踐是非常重要的環節，本課程在設計和教學過程是透過工程設計實作進行科學探究，在教學上面臨到的問題，是學生會接觸到未曾使用過的材料、電子元件和儀器，因此在課程教學內容必須將對於材料、電子元件和儀器的部分納入教學的一部分。但是卻會面臨到這些材料、電子元件和儀器，可能是生活科技課程才會使用到的，所以對科學教師而言，需要花更多時間去熟悉材料和電子元件的特性與儀器的操作使用，進而達到熟練程度。讓教師在教學過程能夠幫助學生學習並熟悉材料、電子元件的特性與原理和使用儀器進行測量，有助於在 STEM 課程的探究活動的流暢性，並且能夠將科學知識和工程設計、科技製作進行連結製作出成品。能夠將真正的情境問題透過動手實踐，深入了解科學知識的理論，並知道如何運用在日常生活當中，進而將科學知識轉移應用於解決工程問題。在探究課程活動學生將經歷工程師設計研發產品的過程，了解科學探究和工程實作上的差異。

(三)探究教學的時間規劃：

本研究在進行 STEM 課程教學，礙於授課時間的不充裕，進而導致課程內容壓縮，使教學過於倉促等現象。STEM-6E 探究課程，包含參與、探索、解釋、工程、豐富和評量的階段。跨領域整合 STEM 教學的探究和科學探究的方式是截然不同，在 STEM 教學的探究著重於科學概念建構、工程設計和動手實踐能力的培養，所需花費的節數需要更多，因此為了讓學生完整的參與探究活動，授課節數建議以 8 節課進行規劃，能夠有

充裕的時間，進行 STEM 探究課程，藉此培養學生設計和手作的的能力，並且透過教師提供的鷹架，進行科學概念的建構。

參考文獻

- 教育部. (2014). 十二年國民基本教育課程綱要總綱. 台北市: 行政院教育部
- 教育部 (2018)。十二年國民基本教育課程綱要-普通國高中科技領域。台北市: 行政院教育部
- Bell, D. (2016). The reality of STEM education, Design and technology teachers' perceptions: A phenomenographic study. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 61–79.
- Burke, B. N. (2014). The ITEEA 6E learning byDeSIGN™ Model. *Technology and Engineering Teacher*, 73(6), 14-19.
- Chen, J. C. (2020). Developing a cycle-mode POED model and using scientific inquiry for a practice activity to improve students' learning motivation, learning performance, and hands-on ability. *Interactive Learning Environments*, 1-13.
- de Vries, M. J. (2017). Technology education: An international history. In M. J. de Vries (Ed.), *Handbook of Technology Education*. Dordrecht: Springer.
- DeVellis, R. F. (2016). Scale development: Theory and applications (Vol. 26). Sage publications.
- Gardner, M., & Tillotson, J. W. (2019). Interpreting integrated STEM: Sustaining pedagogical innovation within a public middle school context. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(7), 1283-1300.
- Grubbs, M. E., Love, T. S., Long, D. E., & Kittrell, D. (2016). Science Educators Teaching Engineering Design: An Examination across Science Professional Development Sites. *Journal of Education and Training Studies*, 4(11), 163-178.
- Han, S., & Carpenter, D. (2014). Construct validation of student attitude toward science, technology, engineering and mathematics project-based learning: The case of Korean middle grade students. *Middle Grades Research Journal*, 9(3), 27-41.
- Johnson, C. C. (2013). Conceptualizing Integrated STEM Education. *School Science and Mathematics*, 8 (113), 367-368.
- Kennedy, T. J., & Odell, M. R. L. (2014). Engaging students in STEM education. *Science Education International*, 25 (3), 246-258.
- Kertil, M., & Gurel, C. (2016). Mathematical modeling: A bridge to STEM education. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 4(1), 44–55.
- Lin, C. L., & Chiang, J. K. (2019). Using 6E model in STEAM teaching activities to improve university students' learning satisfaction: A case of development seniors IoT smart cane creative design. *Journal of Internet Technology*, 20(7), 2109-2116.
- Lin, K. Y., Hsiao, H. S., Williams, P. J., & Chen, Y. H. (2020). Effects of 6E-oriented STEM practical activities in cultivating middle school students' attitudes toward technology and technological inquiry ability. *Research in Science & Technological Education*, 38(1), 1-18.
- Love, T. S., & Deck, A. (2015). The ocean platform engineering design challenge: Flooded with STEM content and practices. *Science Scope*, 39(3), 33.
- Honey, M., Pearson, G., & Schweingruber, H. A. (2014). *STEM integration in K-12 education: Status, prospects, and an agenda for research*. Washington, DC: National Academies Press.
- Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(2), 1–16.
- Moore, T. J. (2008). STEM integration: Crossing disciplinary borders to promote learning and engagement. Invited presentation to the faculty and graduate students of the UTeachEngineering, UTeachNatural Sciences, and STEM Education program area at University of Texas at Austin, 1-13.
- National Research Council (1996). National Science Education Standards. Washington, DC:

- National Academy Press.
- Pintrich, P. R., & Schunk, D. H. (2002). *Motivation in education: Theory, research, and applications*. Prentice Hall.
- Radloff, J., & Guzey, S. (2016). Investigating preservice STEM teacher conceptions of STEM education. *Journal of Science Education & Technology*, 25, 759–774.
- Salikha, U. A., Sholihin, H., & Winarno, N. (2021, March). The influence of STEM project-based learning on students' motivation in heat transfer learning. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1806, No. 1, p. 012222). IOP Publishing.
- Sari, N., Sunarno, W., & Sarwanto, S. (2018). Analisis Motivasi Belajar Siswa dalam Pembelajaran Fisika Sekolah Menengah Atas. *Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 3(1), 260934.
- So, W. W. M., Zhan, Y., Chow, S. C. F., & Leung, C. F. (2018). Analysis of STEM activities in primary students' science projects in an informal learning environment. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1003-1023.
- Tuan, H. L., Chin, C. C., & Shieh, S. H. (2005). The development of a questionnaire to measure students' motivation towards science learning. *International journal of science education*, 27(6), 639-654.
- Tseng, K. H., Chang, C. C., Lou, S. J., & Chen, W. P. (2013). Attitudes towards science, technology, engineering and mathematics (STEM) in a project-based learning (PjBL) environment. *International Journal of Technology and Design Education*, 23(1), 87-102.
- Unfried, A., Faber, M., Stanhope, D. S., & Wiebe, E. (2015). The development and validation of a measure of student attitudes toward science, technology, engineering, and math (S-STEM). *Journal of Psychoeducational Assessment*, 33(7), 622-639.
- Velayutham, S., Aldridge, J., & Fraser, B. (2011). Development and validation of an instrument to measure students' motivation and self-regulation in science learning. *International Journal of Science Education*, 33(15), 2159-2179.
- Von Glasersfeld, E. (1998). Cognition, construction of knowledge, and teaching. In *Constructivism in science education* (pp. 11-30). Springer, Dordrecht.

國科會補助專題研究計畫項下 出席國際學術會議心得報告

出國人員姓名	鄭孟斐	服務機構及職稱	彰化師範大學物理學系 教授
會議時間和地點	4/28/2023 Virtual Conference	補助編號	MOST 109-2511-H-018 -011 - MY3
會議名稱	2023 NARST (National Association for Research in Science Teaching) Annual International Conference		
發表論文題目	Cheng, M.-F.*& Lo, Y.-H. (2023). <i>The impact of STEM curriculum on students' abilities of engineering design and attitudes toward STEM</i> . Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, USA.		

一、參加會議經過：

全美教育協會 (National Association for Research in Science Teaching) 為每年舉辦一次的國際學術研討會，今年為於 2023 年 4 月 18 日至 4 月 21 日在芝加哥實體和 4 月 28 日線上舉行，主題與是在 NGSS 成立十週年後反思全球科學教育改革。在國際上，也正在進行平行改革，也要求採取新的方法來促進科學素養和 STEM 勞動力準備。會議內容分享和討論相關研究與看法，針對目前科學教育的問題與困難提出討論與交流，為未來的政策提供信息。

在此次大會中，我和其他研究者及指導學生共同發表了一篇與設計 STEM 課程相關的研究“*The impact of STEM curriculum on students' abilities of engineering design and attitudes toward STEM.*” 研究旨在探討經由 STEM 課程提升學生的工程設計另和對 STEM 的態度。研究以線上壁報的形式發表，經由和其他有相關研究興趣的學者討論

線上討論，得知其他國家對於 STEM 課程的進展和所遇到的教學困難。

二、與會心得

對於台灣新課程改革，在會議中能和其他研究學者討論亞洲以及歐美國家最新的改革和課程推動的現況，從中發現一些創新的課程與研究主題可以用在目前台灣的物理教學上。

感謝國科會計畫對於這次國際會議研究計畫的經費補助和支持，除了吸收世界各地優秀學者所提供的研究資訊之外，對於交流與觀摩的機會，與會者提出的最新成果和交流思想對提升台灣科學教育的的研究和未來的方向，並提高台灣在國際學術研究上的能見度。也感謝對於本研究提出建議的與會學者，對於本研究的方法與結果的建議將幫此研究未來的發展與改寫成國際學術期刊論文。

三、發表論文摘要

This study aimed to design and propose an innovative STEM curriculum that emphasized interdisciplinary teaching not only to better integrate different disciplines and cultivate inquiry and problem-solving abilities but also to enhance students' attitudes toward STEM. To enhance interdisciplinary learning in the STEM curriculum, students were scaffolded to involve relevant scientific and engineering knowledge and employ mathematics to collect and analyze data in their engineering practice when designing their technology products. The participants included 50 tenth-grade students. The research instruments included the assessment of the progression of students' engineering designs in students' journals and a student attitude survey about science, technology, engineering, and the learning environment using pre- and post-tests. The results reveal that due to continuous encouragement to involve interdisciplinary thinking emphasizing science and engineering knowledge in their engineering design processes, students gradually improve their ability

to design engineering models. Students also significantly enhanced their attitudes toward STEM and the learning environment compared to the general curriculum in school. This study contributes to a way to encourage interdisciplinary thinking in students' engineering processes and to an assessment to evaluate students' learning progression and results.

NCUE
National Changhua University of Education

The impact of STEM curriculum on students' abilities of engineering design and attitudes toward STEM

Meng-Fei Cheng; Yu-Heng Lo
Department of Physics, National Changhua University of Education

Abstract

While it has been recognized that STEM education is an interdisciplinary teaching, the integration of multiple subjects into interdisciplinary teaching in a meaningful way is still challenging for teachers. This study aimed to design and propose an innovative STEM curriculum that emphasized interdisciplinary teaching not only to better integrate different disciplines and cultivate inquiry and problem-solving abilities but also to enhance students' attitudes toward STEM. To enhance interdisciplinary learning in the STEM curriculum, students were scaffolded to involve relevant scientific and engineering knowledge and employ mathematics to collect and analyze data in their engineering practice when designing their technology products. The participants included 50 tenth-grade students. The research instruments included the assessment of the progression of students' engineering designs in students' journals and a student attitude survey about science, technology, engineering, and the learning environment using pre- and post-tests. The results reveal that due to continuous encouragement to involve interdisciplinary thinking emphasizing science and engineering knowledge in their engineering design processes, students gradually improve their ability to design engineering models. Students also significantly enhanced their attitudes toward STEM and the learning environment compared to the general curriculum in school. This study contributes to a way to encourage interdisciplinary thinking in students' engineering processes and to an assessment to evaluate students' learning progression and results.

Methods and Materials and/or Conceptual Framework

This study was aimed at exploring the effects of a STEM curriculum on the engineering design and affective attitudes of fifty tenth-grade students. The curriculum was designed on the basis of the 6E (Engage, Explore, Explain, Engineer, Enrich, and Evaluate) framework by Burke (2014) and we conducted a series of assessments to evaluate students' progress in their ability to design engineering products.

The students' engineering designs were classified into four levels (low to high) by the structure diagrams that they drew in their learning journals. The progression of the four levels of engineering design showed how students integrated scientific knowledge and engineering knowledge into their engineering designs, thereby enhancing their technology products.

We also assessed their attitudes before and after the curriculum to shed light on changes in their perceptions of the STEM field and STEM courses. Accordingly, the 19-question survey, which was adapted from Han and Carpenter (2014) and Unfried et al. (2015), required the participants to rate items on a 5-point Likert scale.

Results or Findings

The Progression of Students' Engineering Designs

The distribution of the students' engineering design levels is shown in Table 2. Students' engineering designs gradually progressed mostly from Level 1 in Activity 1 to Level 4 in Activity 4. The average mean scores of the students' engineering design progress ranged from 1.32 to 3.62.

Table 2. The Distribution of Levels of Students' Engineering Designs

	Activity 1		Activity 2		Activity 3		Activity 4	
	N	%	N	%	N	%	N	%
Level 1	40	80	2	4	0	0	0	0
Level 2	6	12	18	36	10	20	7	14
Level 3	2	4	16	32	19	38	5	10
Level 4	2	4	14	28	21	42	38	76
Average Levels	1.32		2.84		3.22		3.62	

Table 2 shows that through this STEM curriculum, students' engineering designs progressed from the lower mean score of 1.32 to the higher mean score 3.62. In Table 3, the continuous increase in the mean score indicates the students' continuous progress throughout the course. Paired sample t-tests revealed that this whole STEM curriculum and each stage of the curriculum significantly improved the students' engineering designs. The results indicated that each activity was essential for students to improve their engineering designs from the lower level, in which they only included the appearance or unessential components of the flat speakers, to the higher level, in which they included and enhanced the essential components to achieve the engineering goals based on the underlying scientific concepts of the flat speakers.

Table 3. Results of the paired sample t-test on students' engineering design between activities

Improvement between activities	Mean	S.D.	t	Sig.	Cohen's d
Activity 1	1.32	0.74	9.52***	.000	2.51
Activity 2	2.84	0.89			
Activity 2	2.84	0.89	2.72**	.009	0.39
Activity 3	3.22	0.72			
Activity 3	3.22	0.76	3.30**	.002	0.47
Activity 4	3.62	0.73			
Activity 4	1.32	0.74	15.71***	.000	2.23
Activity 7	3.62	0.73			

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

Table 4. Results of the paired sample t-test on students' engineering design between activities

Dimensions	Pre-test		Post-test		t	Sig.	Cohen's d
	M	S.D.	M	S.D.			
Technology	4.24	0.51	4.49	0.45	5.29***	.000	0.52
Engineering	4.28	0.50	4.62	0.48	6.81***	.000	0.69
Science	4.10	0.50	4.47	0.52	6.15***	.000	0.73
Learning Environment	4.04	0.73	4.69	0.50	6.03***	.000	1.04

*** p < .001

Table 5. Results of the paired sample t-test on students' engineering design between activities

Dimensions	Pre-test		Post-test		t	Sig.	Cohen's d
	M	S.D.	M	S.D.			
Technology	4.24	0.51	4.49	0.45	5.29***	.000	0.52
Engineering	4.28	0.50	4.62	0.48	6.81***	.000	0.69
Science	4.10	0.50	4.47	0.52	6.15***	.000	0.73
Learning Environment	4.04	0.73	4.69	0.50	6.03***	.000	1.04

*** p < .001

Introduction, Objectives, or Research Questions

There is growing concern about improving science, technology, engineering, and mathematics (STEM) education to attract students' interest in STEM and to improve the number and quality of the workforce in STEM around the world. While it has been recognized that STEM education is an interdisciplinary teaching, the integration of multiple subjects into interdisciplinary teaching in a meaningful way is still challenging for teachers (Bell, 2016). It has been argued that the disciplines in STEM education are taught independently (Lin, 2018). Most K-12 curricula are more focused on the process of making technology and the product of this process than on the ways to apply science and mathematics to engineering processes to develop the final technological product. The K-12 curriculum does not emphasize ways to involve engineering or technology in helping students learn about science and mathematics.

The purpose of this study is to explore how learning about the interdisciplinary thinking of scientific and engineering knowledge through an innovative flat-speaker STEM curriculum influences students' engineering design processes, including evaluations and revisions of their engineering designs, as well as how this innovative curriculum may enhance their attitudes toward STEM.

Discussion

This study developed a STEM curriculum to continuously encourage students to engage in interdisciplinary thinking, emphasizing science and engineering knowledge in their engineering design processes, including developing, evaluating, and revising their designs for innovative flat speakers. The results of the study showed the progression of students' engineering designs and the enhancement of their attitudes toward STEM. This study contributes to a way to encourage interdisciplinary thinking in students' engineering processes and to an assessment to evaluate students' learning progression and results.

Figure 1. An Example of a Flat Speaker design diagram.

Contact
Meng-Fei Cheng
Professor
Department of Physics, National Changhua University of Education,
No. 1, Jin-De Road,
Changhua City, Taiwan
E-mail: mcheng2@cc.ncue.edu.tw

References

Bell, D. (2016). The reality of STEM education, Design and technology teachers' perceptions: A phenomenographic study. *International Journal of Technology and Design Education*, 26(1), 61-79.

Burke, B. N. (2014). The ITEA 6E Learning by Design Model: Maximizing informed design and inquiry in the integrative STEM classroom. *Technology and Engineering Teacher*, 22(6), 14-20.

Lin, K. Y., Hsiao, H. S., Williams, P. J., & Chan, Y. H. (2019). Effects of 6E-oriented STEM practical activities in cultivating middle school students' attitudes toward technology and technological inquiry ability. *Research in Science & Technological Education*, 1-18.

Unfried, A., Faber, M., Starke, D. S., & Wiebe, E. (2015). The development and validation of a measure of student attitudes toward science, technology, engineering, and math (S-STEM). *Journal of Psychoeducational Assessment*, 33(7), 622-639.

109年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：鄭孟斐		計畫編號：109-2511-H-018-011-MY3		
計畫名稱：創新STEM課程開發與師資培育—探討科學建模與工程建模在STEM學習過程				
成果項目		量化	單位 質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文	2 篇	鄭孟斐、邱皇棋、林世倫 (2023)。跨領域的STEM教學—以強調科學與工程的課程為例。台灣教育雙月刊，741，54-63。 Chen Y.-T., & Cheng M.-F.* (2022). An exploration of the infusion of indigenous culture into the STEAM instructional design for young children. Journal of Taiwan Education Studies, 3(4), 157-175.
		研討會論文	2	邱皇棋、鄭孟斐*(2022, Dec.10). 探討STEM課程中學生應用科學與工程知識之變化與情況。發表於中華民國第三十八屆科學教育國際研討會。國立清華大學。 林世倫、鄭孟斐*(2022, Dec.9-10). 探討STEM課程對學生科學概念、工程設計能力及態度與學習態度之影響。發表於中華民國第三十八屆科學教育國際研討會。國立清華大學。
		專書	0	本
		專書論文	0	章
		技術報告	0	篇
		其他	0	篇
國外	學術性論文	期刊論文	0	
		研討會論文	1	篇 Cheng, M.-F.*& Lo, Y.-H. (2023). The impact of STEM curriculum on students' abilities of engineering design and attitudes toward STEM. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, IL, USA.
		專書	0	本
	專書論文	1	章 Cheng, M.-F.*& Lo, Y.-H. (2022) Innovative STEM curriculum to enhance students' engineering design skills and attitudes toward STEM. In M. M. H. Cheng, C. Butting, & A. Jones (Eds.),	

					Concepts and practices of STEM education in Asia (pp. 117-137). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2596-2_7
		技術報告	0	篇	
		其他	0	篇	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	7		周孟眉, 林世倫, 邱皇棋, 李夏安, 黃子耕, 梁易晴, 林季霆
		博士生	0		
		博士級研究人員	0		
		專任人員	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等, 請以文字敘述填列。)					