

題目：透過自主學習發展學生的 STEM 素養

講者： 林從敏博士（教育局 小學校本課程發展組）

梁惠卿主任、施雅茵老師、周陽陽老師（聖公會主恩小學）

引言

推動 STEM 教育的其中一個目的，就是發展學生的 STEM 素養，同時使他們具備自主學習的能力。本文藉協作學校聖公會主恩小學四年級的「浮力大比拼」、「機械手」及五年級的「自製樂器」，分享如何以自主學習的理念來設計 STEM 活動，當中包括三個階段（目標設定及計劃、監控、反思）。活動配合常識科課題，並且在假期中讓學生在家進行產品製作及測試，於學習平台上載相片及影片。在課堂上，老師跟進及討論學生作品，讓學生建構相關科學概念及發展 STEM 素養。

STEM 教育與自主學習

學者 Bybee(2013)指出 STEM 教育是一種普及教育，目的是讓人們具有 STEM 素養，即是能運用相關知識、技能及態度來認清 STEM 相關的議題，成為具反思能力的公民。學者 Kennedy & Odell(2014)亦提及 STEM 教育是將科學探究和工程設計兩種概念結合及滲入在不同的學科之內。因此，在發展 STEM 素養的同時，學生需要掌握科學過程技能，例如觀察、預測、量度、記錄、辨識變數、推論和傳意，然後再綜合應用科學過程技能、工程技能和學科知識進行協作解難，發揮創意。這些技能和 STEM 素養可以多元模式進行，例如透過常識科正規課程，也可透過專題研習的形式實踐，更可以自主學習的策略，讓學生在探究過程中發展科學過程技能及工程技能，從而讓學生具備終身學習的條件。那麼，在設計 STEM 自主學習活動時，有什麼地方需要注意？

《基礎教育課程指引》（課程發展議會，2014）指出自主學習是一籃子的概念，包括自我調整學習、自學及獨立學習等。自主學習大致上包括四個特點和能力：學習者的控制及自我管理、學習者的反思、個人自主的環境，以及自學的誘因和傾向。因此，在選擇自主學習活動時，要兼顧學生的興趣及能力，太過容易或太複雜的活動會降低自學誘因。另外，學者 Zimmerman (2002) 提出自主學習可以分為三個階段，分別是目標設定及計劃、監控階段及反思階段。若果應用在 STEM 活動當中，目標設定及計劃就是讓學生清楚知道自己的預期成果是什麼，要設計怎樣的產品、計劃怎樣完成自學活動；在監控階段，學生需要在探究過程中進行自我監控，調整自學策略，也是學習行為的管理，例如展示階段性作品；最後是反思階段，小學老師在這個階段的角色特別重要，老師會帶領學生就製作題材進行反思，也要讓學生釐清當中的科學概念，帶領學生思考怎樣優化和改良產品的設計。透過有系統及持續的自學活動，讓學生循序漸進地發展自主學習的能力。

STEM 自主學習活動一：「浮力大比拼」

階段一：目標設定及計劃

協作老師配合四年級的課題「水的探究」，設計 STEM 自主學習活動——「浮力大比拼」。老師製作自學短片，教授學生利用 A5 紙張摺成兩種不同款式的紙船 A 和紙船 B，並利用硬幣測試紙船的承載力。學生在聖誕節期間，在家中自行完成製作及測試紙船，上載照片及測試短片，以展示自學過程。過程中，學生需預測哪一種摺法的紙船浮力較大，從而能夠承載較多的硬幣。為了讓學生了解製作過程所需注意事項，老師親身拍攝自學短片，在介紹製作及測試方法後，並沒有展示結果，而是讓學生自行測試並找出答案，透過「預測、觀察、解釋」的策略，從而提升學生學習動機。

階段二：監控階段

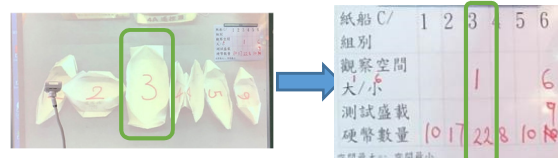
學生在自主學習過程中，需要自己安排時間完成任務或尋求家人協助，例如請家人幫忙拍攝或自行準備器材拍攝，這些都是學生自己要完成的任務。而拍攝過程亦是監控的其中一種方法，學生自行檢視片段及探究過程，有需要時再進行測試。從學生的作品可見，學生能夠掌握公平測試的概念，即測試過程中只會改變一個變項，就是紙船的摺法。另外，從學生上載的短片，也發現大部分學生能夠掌握測試時的技巧，例如要輕輕把硬幣放進紙船，避免實驗誤差。老師也設計挑戰題目，就是讓學生觀察及比較紙船 A 和紙船 B 的分別，再利用 A5 紙張，用其他摺法來製作紙船，以挑戰老師提供的摺法。從挑戰題的作品可見，學生能夠嘗試不同的摺法，有的是長方形、有的是有頂蓬的，也有的是雙體式的。除此之外，學生也會主動從互聯網及圖書中，找出摺紙船的方法，可見學生能運用不同資源進行自主學習。

階段三：反思階段

其後老師在跟進課堂揀選不同學生上載的照片及影片，讓學生討論測試過程是否符合公平測試的原則。表一展示了跟進課堂的重點及內容，在課堂上學生能夠指出有個別同學在測試時，並沒有使用重量一致的硬幣來進行測試，也指出需要輕輕地把硬幣平均放進紙船，避免出現誤差(圖一)。透過同儕互評，學生對公平測試的原則及測試時的技巧均有所提升。隨後老師引導學生討論為什麼紙船 A 的浮力較大，學生能夠發現並說出紙船 A 的空間較大，所以浮力較大。老師利用膠珠填滿紙船的空間，並運用量筒量度膠珠的容量，從而比較紙船 A 和紙船 B 的空間。透過具體的數據，讓學生建構空間與浮力的關係。從課堂可見，學生也能夠運用空間的概念來預測誰的紙船浮力較大，並進行測試驗證預測(圖二)。



圖一：學生能夠指出使用不同硬幣會影響公平測試



圖二：學生能夠運用科學概念來進行預測

表一：「浮力大比拼」跟進課堂的重點內容

課堂目標	知識：找出不同摺法紙船的浮力 建構空間與浮力之間關係的概念 技能：觀察、比較紙船 A 及紙船 B 的空間 預測並測試自製紙船的浮力 態度：認真和公平地進行測試
引起動機	➤ 重溫學習活動的目標 ➤ 回顧自己在家進行的測試並展示自製紙船
活動一：釐清概念 公平測試的重要性	➤ 展示紙船 A 及紙船 B 和學生上載的影片及相片，引導學生觀察同學的測試影片 引導問題：有甚麼因素影響結果？是否用同一款的紙製作？放置硬幣的方法會否影響測試結果？為甚麼？同學的測試有什麼改善的地方？是否公平測試？
活動二：建構概念 空間與浮力之間的關係	➤ 老師提問學生在家的測試結果 ➤ 老師示範測試紙船 A 和紙船 B 盛載硬幣數量 ➤ 老師利用膠珠和量筒量度紙船 A 和紙船 B 的容量 ➤ 帶出空間與浮力兩者之間的關係
活動三：應用概念 應用空間的概念，預測自製紙船的浮力	➤ 各組根據空間和浮力的關係進行討論，並在組內選出一艘可以承載最多硬幣的自製紙船 ➤ 預測各組自擬紙船的浮力 ➤ 利用自製紙船進行浮力測試 ➤ 記錄每艘紙船能承載硬幣的數量，找出浮力最強的紙船
總結	➤ 總結空間與浮力的關係 ➤ 帶出當中涉及的科學過程技能、測試的限制及公平測試的重要性 ➤ 欣賞同學自主學習的態度

STEM 自主學習活動二：「機械手」

階段一：目標設定及計劃

老師配合課題「健康的身體」，設計復活假期 STEM 自學活動——「機械手」。老師運用新聞作為引入，說明很多遊人在郊遊時亂拋垃圾或口罩，清潔工人在清理垃圾時會有健康風險，為了保障他們的健康，因此需要製作機械手來輔助工人清理垃圾。老師首先製作短片，教授製作兩款不同的機械手，讓學生自行製作並測試機械手關節的數目與拾起物件效能的關係。由於題材生活化，製作過程亦符合學生的能力，因此學生均感興趣。

階段二：監控階段

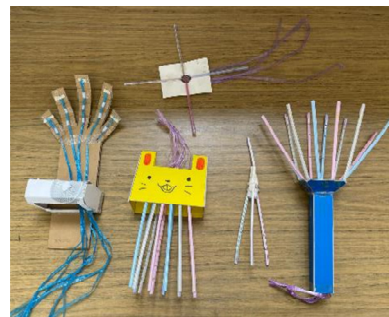
在自學活動中，學生需要利用六枝飲管及尼龍繩製作兩隻機械手——只有一節關節的機械手 A 和有三節關節的機械手 B，測試拾起紙球的效能，並把測試過程上載「Goggle classroom」。從學生的作品可見，學生均認真製作及進行測試，亦能發現關節數目越多，活動能力及效能越高(圖三)。隨後老師要求學生自行設計，並製作另一款更高效能的機械手。從學生的作品可見，他們嘗試從不同方面進行探究，例如手指的數目、關節的數目、手掌的大小、手掌與手指長度的比例；有的同學更跳出框架，參考夾毛公仔的方法來設計機械手，也有同學運用硬卡紙來承托飲管，從而提升機械手的效能(圖四)。在學生的挑戰作品中，不難發現他們能夠綜合應用測試結果，進行改良，創意及解難能力也得以提升。

階段三：反思階段

其後老師在課堂上展示學生的測試過程，讓學生建構關節數目與效能關係的概念。表二展示了跟進課堂的重點及內容，老師透過不同的體驗活動和展示學生挑戰題的作品，例如讓學生比較運用一節關節和三節關節及不同數目的手指拿起物件的容易程度；讓學生比較用拇指和沒有用拇指時的分別，從而帶出手指不同方向的重要性。從課堂可見，學生能夠從不同的體驗活動中，反思及歸納製作機械手時需要注意的事項，亦能夠欣賞手的結構，當中手指數目、關節數目、手指方向及手掌大小比例要恰到好處。



圖三：學生製作及比較運用一節關節與三節關節的效能



圖四：挑戰題的作品多元化，學生能夠充分發揮創意

表二：「機械手」跟進課堂的重點內容

課堂目標	知識：找出影響機械手效能的不同因素 技能：觀察和發現機械手不同部分如何運作 態度：在體驗過程中，欣賞手的結構
引起動機	➤ 展示同學在家完成的機械手及測試影片 ➤ 引導問題：在你們的測試中，你發現多少節關節有較佳的效能？如何設計更高效能的機械手？
活動一：建構概念 探究關節數目如何影響機械手的效能	➤ 老師展示學生製作的機械手 A 和機械手 B ➤ 引導問題：在你們的測試中，哪一款機械手拾物件的能力較佳？為甚麼？你們在進行公平測試時有甚麼條件保持不變？ ➤ 讓學生觀察自己的手指，找出手指關節的數目和位置。 ➤ 讓學生通過體驗，比較運用一節關節和三節關節拿起鉛筆的容易程度
活動二：建構概念 探究手指數量如何影響機械手的效能	➤ 老師展示兩款學生挑戰題作品(三隻手指及五隻手指) ➤ 引導問題：手指數量與機械手的效能有甚麼關係？ ➤ 讓學生通過體驗，比較利用一隻、兩隻及三隻手指抓起鉛筆 ➤ 展示學生挑戰題的影片，觀察機械手的手指較多，效能較高
活動三：建構概念 探究手指方向如何影響機械手的效能	➤ 引導問題：為甚麼姆指是不同方向的？ ➤ 讓學生通過體驗，比較利用四隻手指(包括姆指和不包括姆指)拿起擦膠來擦東西的分別 ➤ 展示學生挑戰題的作品，具有不同方向的手指，帶出不同方向的手指能提高握東西的效能
活動四：建構概念 探究手掌如何影響機械手的效能	➤ 引導問題：除了手指外，手掌在拿東西時有什麼作用？ ➤ 學生通過體驗，比較利用四隻手指(包括手掌和不包括手掌)拿起水樽的分別 ➤ 展示學生挑戰題的作品，探索不同手指和手掌比例的機械手的效能，引導學生說出手掌的用途、手掌和手指的比例應相若
總結	➤ 總結手指數目、關節數目、手指方向及手掌大小比例如何影響機械手的效能 ➤ 欣賞手的奇妙之處，並要愛惜身體

STEM 自主學習活動三：「自製樂器」

階段一：目標設定及計劃

老師配合課題「聲音的傳播」，設計自主學習的活動「自製樂器」，讓學生探究飲管的長短和粗幼如何影響音調，然後製作排笛，進行演奏。為了提升學生的興趣及動機，老師還加入簡單的兒歌樂譜，讓學生找出 B、A、G 三個音調來演奏「Hot Cross Buns」。在探究過程中，學生需要應用音樂科的知識來進行製作及測試。除此之外，老師還引入免費應用程式，讓學生準確地量度音調，從而找出不同長度及粗幼飲管所產生的音調變化。為了讓學生更清晰製作過程，老師拍攝短片示範製作，學生在成功製作排笛後，需要自訂目標，在挑戰題中運用不同的物料來製作樂器進行演奏。

階段二：監控階段

學生在自主學習過程中，能夠綜合比較排笛 A(幼飲管)和排笛 B(粗飲管)的音調，發現飲管越短，音調越高，也發現飲管的粗幼與音調的高低沒有明顯的關係(圖五)。學生更能夠利用排笛演奏兒歌，並上載「Google classroom」，與同儕分享作品。而在挑戰題中，學生能夠綜合應用概念來設計其他種類的樂器，例如弦樂及敲擊樂。從學生的作品可見，他們能夠有計劃地監控自己的學習過程，並能發揮創意，製作認真，投入地演奏兒歌。另外，亦有學生挑戰自己，演奏由五個音調組成的聖誕歌「叮叮噹」(圖六)，可見學生在探究過程中會調整及訂立新目標。

階段三：反思階段

其後老師揀選學生的作品在課堂上跟進，讓學生歸納排笛的長短與粗幼如何影響音調。表三展示了跟進課堂的重點及內容，老師透過其他學生上載的敲擊樂短片，帶領學生討論水杯內的水越少時，音調越高；水杯內的水越多時，音調便越低。在討論弦樂時，老師播放學生運用不同橡筋來改變音調的片段，讓學生思考當中可改良的地方。學生能夠發現不同橡筋的彈性也不一樣，當中也較難發出固定的音調，因此演奏效果不是太理想。老師再播放其他自製樂器短片，讓學生觀察並發現運用一條橡筋，按着不同的位置來改變長短，較運用不同的橡筋來改變音調的效果更佳。老師也帶領學生思考在製作時候，共鳴箱的原理及其重要性。最後，老師歸納管樂、弦樂和敲擊樂等不同樂器的相同特性，就是物料的長短是影響音調的其中一個因素，在欣賞同儕具創意的製作後，老師亦鼓勵學生繼續改良及優化自己的樂器。



圖五：學生利用幼飲管和粗飲管製作排笛



圖六：學生能夠運用家中物料自製弦樂和敲擊樂，進行演奏

表三：「自製樂器」跟進課堂的重點內容

課堂目標	知識：歸納振動物件的長短與音調高低的關係 技能：觀察及比較不同學生的作品及提出改良方案 態度：欣賞同學創作不同樂器的精神
引起動機	➤ 重溫聲音是透過振動而產生的 ➤ 展示不同樂器，讓學生思考當中怎樣改變音調
活動一：建構概念 探究飲管的長短和粗幼與音調的關係	➤ 引導問題：在使用相同粗幼的飲管時，如何改變音調？飲管較幼的排笛 A 與飲管較粗的排笛 B 吹出來的音調有沒有不同？ ➤ 老師播放學生吹奏排笛 A 和排笛 B 的影片 ➤ 歸納飲管越短，音調越高；飲管越長，音調越低，而飲管粗幼與音調沒有明顯的關係 ➤ 帶出管樂中管的長短與音調的關係
活動二：建構概念 探究敲擊樂中，振動物件的長短與音調的關係	➤ 展示學生挑戰題的影片：利用水杯製作樂器的短片，觀察水杯的水高度與音調的關係 ➤ 歸納水杯的水越少，音調越高；水杯的水越多，音調越低 ➤ 帶出敲擊樂中振動物件的長短與音調的關係
活動三：建構概念及改良方案 探究弦樂中，振動物件的長短與音調的關係	➤ 展示學生挑戰題的影片：利用橡皮圈製作樂器 ➤ 觀察及發現使用不同橡皮圈來改變長短的問題，提問學生有甚麼改良的方法，引導學生說出使用同一橡皮圈，按著不同的位置來改變長短，從而改變音調 ➤ 歸納橡皮圈愈短、音調愈高；橡皮圈愈長、音調愈低 ➤ 帶出弦樂中弦線長短與音調的關係
總結	➤ 歸納不同樂器也運用振動物件的長短來改變音調的原理。 ➤ 除了振動物件的長短外，你們認為有甚麼因素影響音調？ ➤ 播放學生挑戰自己，演奏由五個音調組成的「聖誕歌叮叮噹」的片段，鼓勵學生繼續創作新的樂器

總結及展望

從協作學校的經驗，可以看到學生均積極投入在各樣的 STEM 自主學習活動。在過程中，除了發展學生的科學過程技能和 STEM 素養外，亦培養學生自主學習的策略，例如時間管理，安排及分配長假期的時間進行 STEM 製作，亦會恰當運用不同的資源，包括互聯網、科普書籍、STEM 雜誌、科普多媒體節目等來進行自學。而最重要是過程中培養學生堅毅的精神和持續探究的熱誠，達致終身學習的目標。

綜觀整個過程，協作老師無論在題材的訂立、自學教材及短片的製作、學生作品的檢視及跟進反思課堂的教學設計，均花了不少心思和精力。在設計活動題材時，除了配合常識科的課程外，更會考慮學生自主學習和動手操作的能力，因為要照顧不同能力的學生，太複雜和步驟過多的活動都不太適合。此外，亦必須考慮學生在家進行製作和測試時的安全性，讓學生能夠在安全的環境下進行自學。在課程設計反思方面，協作學校會進一步讓學生在挑戰題中自行訂立目標，增加他們自學的誘因及提升學習動機。而在網上同儕互評方面，老師發現學生在提問及同儕回饋上有待深化，將來會設計引導問題，刺激學生思考及培養學生進行同儕互評的習慣，提升他們自我反思的能力。

參考文獻

1. Bybee, W. (2013). *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. National Science Teachers Association, NSTA Press, Arlington, Virginia, pp101.
2. Kennedy & Odell(2014). *Engaging Students in STEM Education*. Science Education International, 25(3), 246-258.
3. Zimmerman, B. J. (2002). *Becoming a Self-Regulated Learner: An overview*. Theory into Practice, 41, 64-70.
4. 課程發展議會(2014)。 **基礎教育課程指引－聚焦・深化・持續（小一至小六）**。香港：課程發展議會。取自 https://www.edb.gov.hk/attachment/tc/curriculum-development/doc-reports/guide-basic-edu-curriculum/becg_2014_Full.pdf