



【2021 全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

教師組 教案表單與學習單

教案設計者：王冠智	
課程領域：	
■物理 □化學 □生物 □地球科學 □科技領域 □其他_____	
教案題目：	
貫古通今順時鐘—古機械鐘實作與週期性探究	
授課時數：	
8 節課 (400 分鐘)	
教案設計理念與動機：	
<p>每一天的生活裡，我們都離不開時鐘，不論是教室裡的時鐘或是手機裡的鬧鐘，按照固定時間而作息似乎是人類生活已經習以為常的「小事」，時鐘計時這件「小事」到底是如何做到的呢？翻閱高中基礎物理課本針對時間的制定與時鐘的原理卻只有簡單描寫，不禁令人好奇，從戲劇與歷史中得知古人觀天觀日，不僅可以探索大自然的規律甚至還會影響國運與帝象，這麼重要的事件其背後的科學因素究竟為何？從大自然的規律計時一直到課本上的銻原子鐘，計時的工具是如何一路發展過來，當中遇到什麼原因？有什麼科學原理的應用？因此，進一步了解計時原理能豐富我們在生活中對各種鐘錶的了解，而深入探究計時工具將是活化時間制定與週期性運動教學的良好切入點。</p> <p>本教學活動以「古機械鐘的組裝與探究」結合計時工具發展歷程，引領學生體會科學知識的應用和串聯時間制定的概念歷程，透過動手組裝了解簡單機械、定性觀察理解機構運作、影像分析探索轉動週期，巧妙融合物理課程內容的「SI 制時間定義」發展歷程與「週期性運動」，使得本教學將物理概念轉化成可搭配實作的探究教學，並且將單一點狀事實拓展成連續性的知識脈絡，最後運用 Tracker 軟體分析追蹤時鐘的運動，提升成可量化分析的實作教案。</p> <p>本教案的執行與設計符合 108 課綱的探究實作理念，運用「經驗學習環」融合「STEAM 教學」的教學步驟與章法，先從「古機械鐘如何有效計時」的問題發起探究，著手步步觀察探索其轉動，串接物理原理與週期分析的知識線，以軟體分析實踐「做、用、想」的科技思維，經過實作後教師講解各計時工具發展內涵，使學生將精緻化後的習得概念沿著時間脈絡，拓展至各計時工具應用的科學與社會背景面向，同時反思其設計與影響，使學生體悟物理的學習不僅實際致用更具延展性。</p>	
 <p>計時工具發展 科技應用STS 物理週期運動 機械原理 立體實作影像分析</p>	 <p>組裝古機械鐘 定性觀察運轉 影像物理分析 週期資料探究 探索計時工具 成果分享表達</p>
圖 1：本教學概念連結圖	圖 2：本教案執行流程圖

教學目標：

【認知層面】

- 1.了解單擺的週期性運動及其擺長擺錘變因。
- 2.了解齒輪的運作原理與齒數圈數關係。
- 3.了解圓周運動的定義與角速度和週期的關係。
- 4.了解簡諧運動是圓周運動的投影，與其位置與時間關係圖。
- 5.了解機械運作摩擦力造成的影響，對比理想化物理模型的差異。

【技能層面】

- 1.能按照平面設計圖組裝立體實體物品，使其運作並學會修復的能力。
- 2.能使用影像分析物體運動，建立程式應用的分析能力。
- 3.能繪製各物理量與時間的關係圖，分析不同變因之間關係的能力。
- 4.能控制不同的變因，從眾多變因中分析出可操縱的變因之能力。

【情意層面】

- 1.藉由組裝過程培養學生解決問題的耐心與細心。
- 2.透過探索計時工具的發展，使學生能感同身受科學演進的艱難與毅力。
- 3.反思古機械鐘產品，讓學生換位思考設計者的創作理念與古科技思維。
- 4.探討鐘錶產品的科學原理與人類社會影響，發展學生多面向的思考與關懷。
- 5.經由落實物理分析方法，強化學生探究精神與科學態度的實踐。

教育對象：

高中二年級(自然組)

課程設計(方法與步驟)：

壹、古機械鐘簡介(50分鐘，一節課)

一、引起動機：

- 1.教師展示「古機械鐘」，並巡走教室一圈讓學生都能看見，演示其運轉狀態。
- 2.教師說明古機械鐘的主體設計是仿造當年利瑪竇傳教士進京覲見明朝萬曆皇帝的同款設計，引發學生對科學發展和歷史的交織感受。
- 3.教師展示古機械鐘組裝前的密迪雷切板樣貌，讓學生了解下個目標是將其組裝成立體狀態。



圖 3：組裝前密迪雷切板樣貌



圖 4：古機械鐘完成樣貌

二、延伸提問：

1. 從學生對古機械鐘的最初感受出發，對其具體經驗著手，對學生提問：「初次見到古機械鐘，你有什麼好奇、疑問、想像、感想？」，由此延續動機的引發，是為 Learning from feeling。
2. 請學生將上述問題的想法記錄在學習單，此時教師巡視各組後將學生共有的答案加以講述，並隨機選取學生上台分享自己的觀點與想法，讓班級學生一同參與分享表達。

1. 在課堂中看到老師介紹古機械鐘的圖片時，你對此計時工具有什麼好奇與想像？
當我第一眼看到這個古機械鐘的時候我第一眼看到的是「力與美」的結合，在其中我不斷地思考，是與什麼樣的物理性質結合，才能製造出如此美的結晶，我猜測是「圓周運動」以及「重力」
1. 在課堂中看到老師介紹古機械鐘的圖片時，你對此計時工具有什麼好奇？
1. 它的動力來源是什麼？→可能是彈簧或人力吧？
2. 它的內部構造會不會很複雜？→零件會不會很小很多

圖 5：學生對古機械鐘想法描述與疑問撰寫

三、古機械鐘教具簡介：

1. 教師針對本教具的材質、背景、設計、組裝說明書、組裝注意事項，分別進行說明。
2. 教師引領學生將古機械鐘教具裡用到的部件，進行分門別類的初步認識，分出齒輪、長木桿、壓克力零件、其他，使學生知曉大概所使用到的機械部件有哪些。

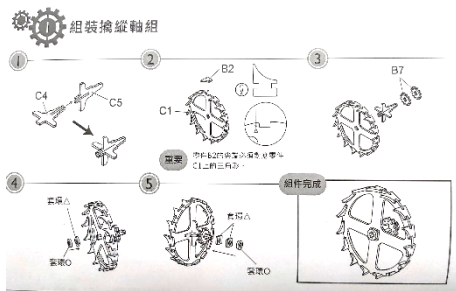


圖 6：古機械鐘組裝說明書

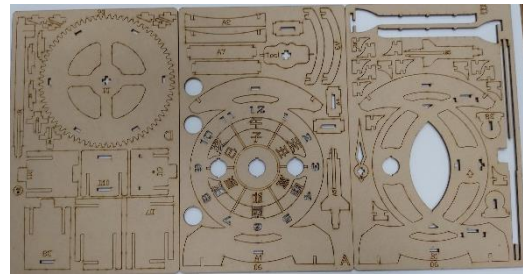


圖 7：古機械鐘各類部件

貳、古機械鐘組裝實作(100 分鐘，兩節課)

一、教師說明與示範：

1. 教師一開始先示範古機械鐘部件在連接的時候，怎麼樣的程度是完全契合。
2. 教師提醒組裝時該特別注意的地方，例如：空間中的方向、由平面圖對照實體物的方位。

二、學生組裝古機械鐘：

1. 學生動手組裝的同時，教師進行巡視與從旁協助，提醒其注意事項與安全。
2. 教師指示學生組裝同時，計數各式齒輪的齒數，找出大小齒輪的關係。



圖 8：學生組裝古機械鐘過程

參、古機械鐘的定性觀察(50 分鐘，一節課)

一、觀察古機械鐘運轉情形：

- 1.教師發放「學習單」，先說明學習單該完成的內容有哪些，教導學生先使古機械鐘可以啟動運轉，接著跟著學習單的步驟將其內容完成。
- 2.因每台機械鐘有些許不同的誤差，教師須巡視課堂同學，協助確保每位學生的鐘皆可運轉。
- 3.學生需觀察思考並記錄古機械鐘的「動力來源」、「運轉歷程各部件的作動配合」、「影響轉速的變因」、「擺桿運動的規律性」、「擒縱器的運轉與功能」，將所觀察到的現象思考後寫在學習單上，並且描繪齒輪部件的運轉，學習單完整度是教師評分的關鍵指標。

二、教師總結觀察重點與互動

- 1.教師在下課前 5 到 10 分鐘，與學生小組問答問動，請小組將觀察到的結果與想法分享表達，用以了解各組觀察狀況，並且讓班級共同將分散的現象觀察整合成幾項重點小結。
- 2.教師說明重點部件「擒縱器」的功能，以投影片顯示出其圖形與內涵，讓學生了解到擒縱器的產生可以做到將連續時間作分割的效果。



圖 9：學生觀察古機械鐘運轉並撰寫學習單



圖 10：教師說明擒縱器重點功用

肆、古機械鐘的 Tracker 軟體應用與週期分析(100 分鐘，兩節課)

一、Tracker 軟體使用說明與介紹：

- 1.教師示範 Tracker 軟體的使用，可用來追蹤物體質點的運動，分析其位置、速度、加速度等等各種物理量，製作簡報先進行基礎使用方法的步驟教學，並以自由落體運動作講解範例。
- 2.教師演示 Tracker 操作內容：匯入影片、設定影片長度、定義座標軸、加入校正桿(比例尺)、設定質點、啟動質點軌跡自動追蹤、分析結果圖表數據、產出統計資料等步驟，為準備接著分析古機械鐘的運動軌跡作事前作業與練習。

二、運用 Tracker 軟體分析古機械鐘的運動：

- 1.教師公告 Tracker 分析的學習單電子檔，讓學生知道這兩節課的學習任務內容，須將其完成，同時向學生逐一說明學習單內容所要的項目，從哪些方向下手進行。
- 2.教師引導學生將古機械鐘的指針尖端貼上紅色圓點標籤紙，作為影像分析的抓取點，並且在古機械鐘下方放置一直尺作為長度設定的參考物，將手機和鐘體保持相互平行，以手機進行錄影，維持鐘的整體盡量填滿整個手機錄影畫面，過程不能有晃動地將機械鐘的重物盒自由釋放，錄影其指針由 12 點完整轉一圈的過程畫面。
- 3.教師同步向學生說明，此動作是用影像分析指針轉圈的運動，也就是圓周運動，此運動必有其規律性，又其投影為簡諧運動，因此我們試圖用此原理與概念來找出古機械鐘的週期性。

三、運用 Tracker 軟體探究古機械鐘運動的週期性：

1. 學生須拍攝三部影片，用以探究不同變因如何影響機械鐘運轉，經由上一堂課的機械鐘定性觀察，學生已知上方擺桿是影響運轉快慢的主要角色，因此由此作為週期性探索的切入點。
2. 學生針對「擺桿上無掛負載盒」、「擺桿上有掛空負載盒且放置最外凹槽」、「擺桿上有掛空負載盒且放置最內凹槽」，三種情形進行錄影與 Tracker 分析，用以探討如同擺錘角色的負載盒之有無對運轉週期的影響，以及如同擺長角色的負載盒擺放位置對運轉週期的影響。



圖 11：學生錄影古機械鐘運轉



圖 12：學生進行 Tracker 影像分析

3. 學生根據教師所編製之學習單電子檔，將上述三部影片用 Tracker 程式產出各物理量關係圖，包含質點「水平位置與時間」、「鉛質位置與時間」、「角速度與時間」、「速度與時間」，並且使用 Tracker 程式內建統計功能，找出「角速度平均量值」、「速度平均量值」。
4. 學生此上述步驟已經可以看出「角速度與時間」關係圖中，每個數值點雖偶有分散，但整體角速度與時間關係仍然為一個相對水平的線性圖，此時學生須將此圖形存下並記錄其數據。
5. 進一步引導學生分析「水平位置與時間」關係圖，此圖形乃是將圓周運動投影在一維數線上，因此將成為簡諧運動的位置與時間關係圖，其結果正好看到此圖形為「正弦函數」曲線圖，恰可符合簡諧運動的位置時間圖形與課本所教知識相互呼應。



圖 13：學生使用 Tracker 分析指針質點位置與時間關係圖

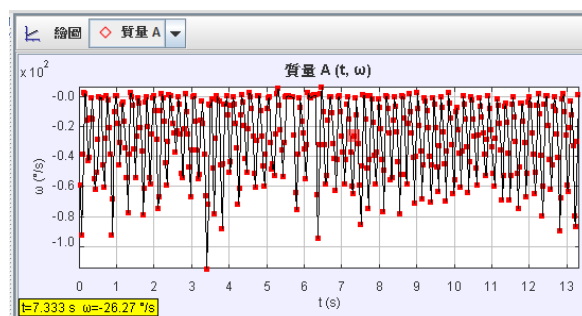


圖 14：古機械鐘角速度與時間關係圖

四、應用 Tracker 資料分析古機械鐘週期性：

1. 學生由上述分析步驟已可以得知古機械鐘的角速度與時間圖、質點水平位置與時間圖，接著教師引導學生進行「水平位置與時間的曲線擬合」，以求簡諧運動正弦函數的角頻率，根據 tracker 內的曲線擬合方程式 $X(t)=A\sin(Bt+C)$ 中可知，若將曲線成功擬合所得的 B 值即為簡諧運動的角頻率，學生將此圖形存下並且記錄其 B 值大小。
2. 學生使用 Tracker 程式內建統計功能找出「角速度平均量值」，將其與「水平位置與時間擬合曲線」的 B 值相互比較，發現數值即為相近，驗證不論以圓周運動分析或簡諧運動擬合，其角速度量值大致相同，皆是週期性運動的具體表現，且整體運動是有固定規律的。

- 學生將 Tracker 分析出來的角速度與時間資料，複製貼上在 Excel 當中，並且以每四分之一圈的資料作分析，產出「資料散布圖」並且加上趨勢線，用以了解每四分之一週期古機械鐘的角速度是否為固定的值，根據圓周運動公式，若角速度 ω 為定值則週期 T 亦為定值。
- 為深入探究古機械鐘運轉的不穩定性與在歷史上實用性被淘汰的科學原因，教導學生將影像分析出來的平均角速度量值(rad/s)轉換成(度/s)，應用 tracker 程式內的量角器，測量每過一秒所轉過的角度為何，是否可以達到「切割成相同等份」？

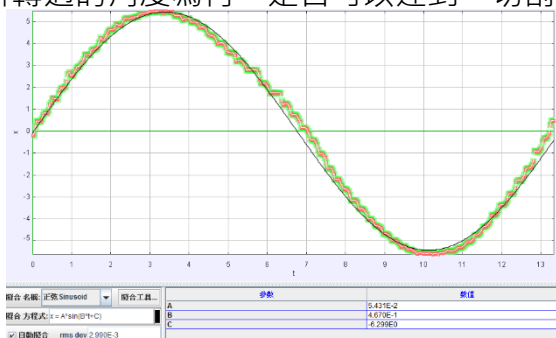


圖 15：古機械鐘水平位置與時間曲線擬合圖(黑色線)

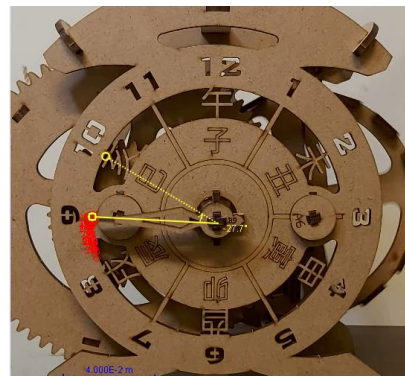


圖 16：使用 Tracker 程式內建的量角器

伍、淺談計時工具的發展(50 分鐘，一節課)

一、教師講述計時工具的發展：

- 先由天文計時切入最初由觀測大自然規律的方式進行計時，同步介紹東方與西方科學的發展歷程，可達成本課程與教科書知識相互搭配演進的功效。
- 接著再進入流體計時方式，介紹「水鐘」的使用與背後的物理原理。
- 接續發展出機械計時，介紹「擒縱器」的原理與應用，以及明代利瑪竇傳教士如何運用西方機械鐘推開紫禁城大門，且對應本課程的古機械鐘正是應用此機構，使得學生的動手實作與探究思考更精緻化，同時培養學生具有時代發展與演進的多面向思考力
- 再來引入運動週期的計時方式，介紹伽利略「單擺等時性」、惠更斯發明「擺鐘」與「游絲彈簧」，結合航海時代的歷史背景，航海鐘與鐘錶微型化的社會需求
- 最後介紹現今「石英鐘錶」運用到「壓電效應」原理產生規律的頻率，用此原理來計時可比機械運作的精度更佳，同時引發學生思考機械鐘錶與石英鐘錶在人類經濟社會上，不僅有著計時準度的差異，更有其「科學工藝」的藝術價值，甚至小小鐘錶反映了社經地位與財富，更是為精品工業的代名詞。

二、教師講述同時引導學生進行反思：

- 教師在講述每個計時工具的原理與發展之後，運用提問引導學生思考：「你覺得這個計時的工具在科學原理上有什麼那個時代的優點？」、「以現今科學眼光來看，你認為它退出計時工具實用性行列的原因有哪些？」，採取互動問答的方式，讓學生站在科學角度與社會發展思考，使其拓展概念與想法的觸角，並且具有反思與換位思考的能力。



圖 17：淺談計時工具發展的大略流程圖

陸、學生實作成果分享與總結(50 分鐘，一節課)

一、學生分組上台報告成果展示：

- 1.教師佈置成果發表簡報的規格與要求，讓每組學生製作 10 頁簡報，將古機械鐘與計時工具此主題，包含「最感興趣的計時工具原理」、「古機械鐘定性觀察發現」、「應用軟體分析古機械鐘週期性」、「產品改良與優化想法提案」、「計時工具的歷史脈絡與社會藝術價值」、「實作個人心得」六大層面進行簡報設計，強調 10 頁簡報的目的在於學會去蕪存菁，將亮點整理並顯現出來，當中必須包含科學分析的圖表，以此收斂整理學生的相關概念。
- 2.教師在學生上台發表同時，須掌握班級秩序與進行時間，並且適當鼓勵與提醒各組表現。
- 3.教師設計分享報告評分單，根據「報告製作完整度」、「口頭表達流暢度」、「科學圖表的解釋精確性」、「思考描述的廣度」等指標作為小組互評與教師評分的向度，透過學生給與彼此分數的等第在轉換成最後教師給予的評分。

二、引導回顧與課程歸納總結：

- 1.教師針對各組表現作說明，將學生所習得之知識情意技能進行精煉與統合，同時對應教科書所教授之物理知識，再次對「SI 制時間定義」發展歷程與「週期性運動」進行知識整合，使學生能感受到學習多元化的實踐，並且能層次分明得逐步深化其探究思考。
- 2.教師總結古機械鐘主題課程每堂所要教導的內涵，並且詢問學生是否有問題與其他想法，此過程可加入有獎徵答環節，提高師生互動程度，並對學生提出的看法與意見加以評述與讚許。

學習評量內容：

- 一、古機械鐘定性觀察學習單(運轉性質的觀察與描述)
- 二、古機械鐘探究實作報告(計時工具文字描述、Tracker 影像分析的圖與數據、Excel 分析圖表)
- 三、課堂參與表現(組裝操作、態度)
- 四、小組學習成果分享報告(簡報檔案、分工合作表現)
- 五、加分題：石英鐘的 Tracker 分析、擺桿週期與指針週期的差異(差異化教學)

參考資料：

- 一、選修物理 I(全)力學一，普通高級中學課本，南一書局
- 二、帶得走的 STEAM 課程設計—古機械鐘創意課程
<https://www.ntsec.edu.tw/LiveSupply-Content.aspx?cat=6844&a=6829&fld=key&isd=1&icop=10&p=1&lsid=15521>
- 三、動力裝置的結構與應用—認識石英錶：生活科技教育月刊，2004 年第 37 卷第八期
- 四、南臺科技大學：古機械研究中心 <https://amc.stust.edu.tw/>
- 五、話說計時器的演變：科學人雜誌 <https://sa.ylib.com/MagArticle.aspx?id=136>
- 六、SEIKO TAIWAN 台灣精工：世界第一只石英錶 <https://www.seiko.com.tw/story-tech-world.php>
- 七、第一座水力天文鐘—北宋的水運儀象台：泛科學 <https://pansci.asia/archives/182094>

《附錄》：古機械鐘探究實作課程學習單(部分摘錄)

◆ 古機械鐘觀察學習單與 Tracker 分析報告

項目	說明
古機械鐘的動力來源為何	
古機械鐘轉動的相關科學知識與原理有哪些	
古機械鐘上方的擺桿其運動有什麼規律性	
相互垂直的木片與棘爪組成的擒縱器如何相互影響	
古機械鐘為何需要不同大小與齒數的齒輪	
古機械鐘裡的各種齒輪，兩兩組合使用有不同的效果，觀察並思考本產品的齒輪有哪些組合方式，請描繪畫出於下，並說明轉動其中一個齒輪後則另一齒輪可能的轉動方向？	
兩個齒輪間齒數與轉動圈數的關係為何	

運用 Tracker 軟體分析「古機械鐘」的運動

3. 空負載時固定重物重量，分析指針轉一圈「位置-時間」與「角速度-時間」關係

+

空負載放置最內凹槽，指針轉一圈，兩個空負載總重量=.....公克	
角速度和時間關係圖	位置(X)和時間(t)之正弦函數曲線擬合圖
(附上 Tracker 程式內的分析圖) (請截圖乾淨)	(附上 Tracker 程式內的分析圖) (請截圖乾淨)
w-t 圖中的角速度平均值：..... rad/s	x-t 正弦函數曲線擬合圖中 b 的大小：.....
指針長度 R=.....(m) · 平均線速度 V=.....(m/s) · 由 V=RW 算出 W=.....(rad/s)	
用 $T=2\pi/w$ 算出周期 T=.....(s)	平均 1 秒要轉過.....度 (1rad=57.296 度)