

初探中學各階段力學運動與能量的系統性教學與思考

文／王冠智

前言

在古典物理學當中可依照其理論大致分成運動學、力學、能量、波動、光學、熱學、電學等等，

上述這些章節在國中理化、高一物理、高二高三選修物理當中重複的出現，想必有其重要性與延伸性，在教學現場則依照學生認知能力的發展，將其內容拆分成不同學習層次的表述，108 課綱當中亦表明不同學習階段的物理學概念其學習目標、內容、認知能力皆有差異（教育部，2018），物理課本也遵循課綱內容架構做編排，然而，不同學習階段之間的物理概念該如何銜接與說明，可使得同時顧及學生認知能力的階段性和物理概念發展的全面性呢？

相較於國中理化之學習重點在於現象理解與定性描述，高中物理需要定量分析和具體化抽象思維的能力，因此教師需要引導學生對於物理知識結構進行梳理，將零碎的物理知識相互聯繫，形成相對完整的物理內容架構（朱樹福，2022），課程教材的組織也要重視縱向的連貫與橫向的統整（教育部，2018），再加上現今科學教育強調由知識本位導向逐步轉變成素養導向的教學，並以探究實作方式來理解科學，帶領學生手腦並用學習科學內涵（鄭文星，2003；NRC，2013），對於各階段的物理學習不再是「背多分」或刷考古題就能掌握，而是要融會貫通物理的系統性思考，且能運用圖像表徵方式連結具體的物理現象（蘇毅中，2016），若學生缺乏有系統性的引導，不僅對物理的解題造成困難（陳章正、江新合，2007），更可能對於物理知識體系的建構缺乏完整的理解，造成塊狀的片面記憶。

伽利略(Galileo)曾說「The great book of nature is written in mathematics language」，從初步的定性觀察物理現象要能到透徹物理哲學的原理原則，最後總結出物理定律，數學計算與邏輯是最佳的載體，然而，學生學習物理如果無法將數學化的科學定律與真實物理現象連接起來，便難以透過數學方程具體理解物理意義（錢正之，2003）。綜觀高中階段物理的學習，第一個相對複雜的章節即是「運動學」，有許多符號、公式、名詞、圖表，此章節是對物體運動現象進行精緻化統整出運算邏輯；再者，透過力與運動的思辨進入到牛頓「力學」，歸納出三大運動定律；最後，進入「能量」的世界，將力與運動的物理量延伸到動能與位能，定義自然世界物質與能量的交互作用，一路是由具體的向量思維加深加廣至抽象的純量邏輯。綜上所述，本文探討「運動學」、「力學」、

「能量」三者在中學不同階段的學習重點和教學策略，試圖建立三者之物理概念關係圖以及概念銜接的有感說明，以求現今教學現場的有效銜接與物理概念發展的系統性層次。

十二年國教自然科學領域綱要的物理學習重點

國中學習階段自然科學的課程主要是由具體操作切入後，引進抽象思考連結具體操作，學生能在日常生活經驗中找出問題，進行初步探究。

運動學和力學對應課綱訂定之學習主題為「物質系統」，次主題為力與運動；能量對應課綱訂定之學習主題為「能量的形式、轉換與流動」，次主題為能量的形式與轉換，針對國中階段學習運動學、力學、能量的內容和重點整理如下表一：

表 1. 課綱訂定之國中階段自然科學學習內容(章節名稱節錄自翰林版本教科書)

	運動學	力學	能量
學習階段	九上	八下、九上	九上
章節名稱	1-1 位置路徑長位移 1-2 速度與速率 1-3 加速度運動 1-4 自由落體	6-1 力與平衡 6-2 摩擦力 6-3 壓力 6-4 浮力 2-1 慣性定律 2-2 運動定律 2-3 作用力反作用力	3-1 功與功率 3-2 功與動能 3-3 位能、能量守恆 定律與能源
學習內容	距離、時間及方向等概念可用來描述物體的運動	1.力能引發物體產生移動或轉動 2.平衡物體所受合力為零且合力矩為零 3. 物體不受力時，會保持原有運動狀態 4.物體做加速度運動時，必受力。以相同的力作用相同的時間，則質量愈小的物體其受力後造成的速度改變愈大	1.力可以作功，作功可以改變物體能量 2.物體的動能與位能之和稱為力學能，動能與位能可互換 3. 能量有不同形式例如：動能、熱能、光能、電能、化學能

課綱訂定國中階段的學習內容當中強調，運動學只以簡單數學形式描述物體運動，且不涉及運動方程式的計算和公式的推導；力學方面強調所有計算均局限於單一物體受單一作用力的簡單計算；能量方面強調動能和位能的互換會對物體狀態或運動造成影響，並連結施力作功可以改變物體能量的基本概念。

高一必修學習階段的課程可較大幅放入微觀、運算與理論推導的層次，並建立科學模型的系統性思考方式，學生能以合乎邏輯的方式描述自然科學活動的主要特徵、方法、發現、價值和限制，針對高一必修物理學習階段，將運動學、力學、能量的內容和重點整理如下表二：

表 2. 課綱訂定之高一必修階段物理學習內容(章節名稱節錄自翰林版本教科書)

	運動學	力學	能量
學習階段	高一 1 學期		
章節名稱	3-1 對物體運動的研究歷程 3-2 牛頓運動定律	3-2 牛頓運動定律	5-1 能量的形成 5-2 微觀尺度的能量 5-3 能量間的轉換與能量守恆 5-4 質能互換與核能
學習內容	1.伽利略之前學者對物體運動的觀察與思辯。 2.伽利略對物體運動的研究與思辯歷程。	1.牛頓三大運動定律 2.摩擦力、正向力、彈力等常見的作用力	1.不同形式的能量間可以轉換。能量形式因觀察尺度不同，而有不同展現 2.質量及能量可相互轉換:公式 $E=mc^2$ 3.原子核的融合及分裂是質量可以轉換為能量的應用實例 4.能量一樣的系統，作功能力不一定相同

課綱訂定高一階段的物理學習，著重「物理發展的精神與傳承」，是為不分組別的學生打造通識物理課程，以物理學家發想過程的故事為主、基礎物理通才知識為輔，跳脫「聲、光、熱、電」的傳統教學模式，聚焦於物理的發展脈絡與傳承。運動學方面強調透過完整的運動學思辯歷程，說明人對自然現象的關注，才會有科學的產生；力學方面詳細敘述三個運動定律的意義，不涉及公式之推導與複雜計算；能量方面強調各種能

量之間的轉換，避免做定量推導及複雜計算，可舉焦耳實驗為例，說明力學能和熱之間的關係，並說明能量守恆具有普適性。

高二選修學習階段的課程大幅放入微觀、抽象思考、基本運算與理論推導的層次，並建立科學模型與理論的系統性思考方式，學生能運用較為複雜的科學模型、理論與儀器等，獨立規劃完整實作探究活動，針對高二選修物理學習階段，將運動學、力學、能量的內容和重點整理如下表三：

表 3. 課綱訂定之高二選修階段物理學習內容(章節名稱節錄自翰林版本教科書)

	運動學	力學	能量
學習階段	高二上 選修物理 I	高二上 選修物理 I 高二下 選修物理 II	高二下 選修物理 II
章節名稱	2-1 位置路徑長位移 2-2 速度與速率 2-3 加速度 2-4 等加速度運動 2-5 自由落體運動 2-6 相對運動 3-2 平面運動的位移 速度、加速度 3-3 水平拋射 3-4 斜向拋射	4-1 力的向量性質 4-2 牛頓第一運動定律 狀態的意義 4-3 牛頓第二運動定律 狀態的改變 4-4 牛頓第三運動定律 作用與反作用 1-1 動量與衝量 1-2 系統質心運動 1-3 動量守恆定律 2-1 靜力學與應用實例 2-2 摩擦力	3-1 定力所做的功 3-2 變力所做的功 3-3 動能與功能定理 3-4 功率 4-1 重力位能 4-2 重力位能一般式 4-3 彈性能 4-4 力學能守恆定律
學習內容	1.質點如在一平面上運動，則其位移、速度、加速度有兩個獨立的分量，應用向量表示 2.等加速度運動其位移、速度、加速度及時間的數學關係	1.力是向量，可以分解和合成 2.質點的動量等於質點的質量乘以速度，其時間變化率等於質點所受作用力 3.質心速度、質心加速度及系統總動量及其所受外力的關係	1.功等於力和位移的向量內積 2.功能定理 3.位能的定義 4.重力位能及彈簧位能的一般表示式 5.一般性的力學能守恆律與實例

課綱訂定高二上下的選修物理學習階段，以高一物理基礎增廣其理論應用，學生不僅要知道基本物理名詞概念，更要會運用其物理原理。運動學方面完整介紹三種運動模式：移動(直線與平面)、振動(簡諧)、轉動(圓周運動、力矩)，並透過動量與衝量連結到牛頓力學；力學方面強調向量分析與質點系統的選定，通過質點系統的動量時變率、角動量時變率得到作用力與外力矩；能量方面強調位能的一般式與力學能守恆定律，以及力與位移的內積定義作功。

運動學、力學、能量在不同階段的物理意涵與知識點

將課綱訂定的內容簡單換句話說，國中階段著重在基礎觀念與定性描述，學生能從具體的物理現象知曉其相關原理；高一階段著重在物理概念發展脈絡與探究歷程，學生能對物理科學模型有合乎邏輯的理解與簡單計算；高二階段著重在定量分析、抽象思考與系統性的統整，學生要能從單一觀念拓展出質點系統、多方向的探究性思考，運用較為複雜的科學模型進行物理分析。

由上述課綱訂定之學習內容可以了解不同階段的學習重點，接下來換個角度以知識內容為中心，統整出國中、高一、高二在運動學、力學、能量的物理觀念，用知識點點列式描述教學內容，以建立全面性通盤的物理意涵之層次。

首先，針對「運動學」內容整理如下表 4 所示，國中、高一、高二各階段的運動學概念由具體現象慢慢抽象化變成一套描述物體運動的科學語言，由原先的基礎慢慢加深加廣，建立人類對物體運動的描述方式。

表 4. 不同學習階段「運動學」的物理知識點整理

學習階段	運動學知識點
國中階段	<ul style="list-style-type: none"> · 位移、路徑長、速度、速率、加速度的基本概念 · 自由落體是一種等加速度運動 · x-t 圖、v-t 圖、a-t 圖的基本認識
高一必修	<ul style="list-style-type: none"> · 伽利略對落體運動的論證、伽利略斜面小球運動的慣性論述 · 位移、路徑長、速度、速率、加速度的定義與方向性 · 平均速度、平均速率、瞬時速度、瞬時速率的概念與應用 · x-t 圖、v-t 圖、a-t 圖的判讀與簡單運算 · 運動函數圖形中用切線斜率、割線斜率判斷物體運動的變化
高二選修	<ul style="list-style-type: none"> · 直線與平面的位移、路徑長、速度、速率、加速度計算 · 等加速度運動的計算、運用等加速度運動公式描述物體運動 · 靜止下落、鉛直上拋、鉛直下拋的自由落體理解與計算 · 相對運動的位移、速度、加速度基礎計算與應用

學習階段	運動學知識點
	<ul style="list-style-type: none"> · 向量的平移、加法、減法、分解、合成 · 平面運動的位移、速度、加速度；切線加速度與法線加速度 · 運動的獨立性；平面拋射斜向拋射的運動公式、物理量計算
延伸	<ul style="list-style-type: none"> · 瞬時概念的實際計算：微分 · 函數關係圖曲線下面積計算：積分 · 變加速度運動的分析

再者，討論「力學」內容整理如下表 5 所示，國中、高一、高二各階段力學概念大致上有力的效應和牛頓運動定律兩大觀念，從單一質點單一方向慢慢拓展至多質點系統多方向的受力分析，透過牛頓力學三大定律的詮釋，建構物體受力造成的影響與運動狀態變化的原因。

表 5. 不同學習階段「力學」的物理知識點整理

學習階段	力學知識點
國中階段	<ul style="list-style-type: none"> · 力的效應-形變、彈簧秤與虎克定律 · 牛頓第一運動定律：慣性的現象與伽利略斜面小球思想實驗 · 牛頓第二運動定律：$F=ma$(單一受力物體、討論 F、m、a 關係) · 牛頓第三運動定律：作用力與反作用力(性質與生活現象)
高一必修	<ul style="list-style-type: none"> · 生活常見的力：彈力、正向力、張力、摩擦力(性質與方向) · 力與運動的思辨歷程：力用來改變運動、慣性是維持運動 · 牛頓第一運動定律：慣性定義、靜者恆靜動者恆作等速度運動 · 牛頓第二運動定律：$F=ma$(單一物、F 為合力、F 和 a 的方向) · 牛頓第三運動定律：作用力與反作用力(A 對 $B=B$ 對 A、方向)

學習階段	力學知識點
高二選修	<ul style="list-style-type: none"> · 力的向量分析與平衡：分解、合成、平行四邊形法、拉密定理 · 彈力方向總是和形變方向相反；虎克定律向量形式 · 靜摩擦力、最大靜摩擦力、動摩擦力與摩擦係數的測定 · 靜力平衡為移動平衡(合力為 0)與轉動平衡(合力矩=0) · 牛頓第一運動定律：慣性、慣性質量重力質量、慣性座標系 · 牛頓第二運動定律：$F=ma$(多力多物體、選取系統、二維分析) · 牛頓第三運動定律：作用力與反作用力(選取系統、內力外力) · 動量與衝量、平均作用力為動量時變率 · 動量衝量原理：受力體的動量變化來自施力體所給的衝量 · 質心位置、質心位移、質心速度、質心加速度的公式與意義 · 以質心代表多質點系統的整體狀態 · 質心動量為系統各質點動量和、各質點外力和=質心所受外力 · 不受外力或受力時間極短或只受內力時，系統動量守恆
延伸	<ul style="list-style-type: none"> · 變質量的牛頓第二運動定律：火箭方程式、融化的雪球

最後，彙整「能量」的觀念與內容如表 6 所示，國中、高一、高二各階段的能量概念與內容，接緊扣作功的定義以及作功可以轉換成能量，還有力學能守恆的意義與應用，只是每個學習階段定義的深淺不同、不同種類的力作功會得到不同的能量變化，討論的尺度亦有所不同，從微觀的原子動能到星際間的力學能，透過作功與能量的概念建立物質世界交互作用的一套互動法則。

表 6. 不同學習階段「能量」的物理知識點整理

學習階段	能量知識點
國中階段	<ul style="list-style-type: none"> · 作功是施力乘以物體沿外力方向的位移(正功、負功、不作功) · 作功的效率-功率：單位時間的作功 · 運動的物體具有作功的能力即為動能(討論 m 和 v 與動能關係) · 外力對物體作功等於物體的動能變化(以靜止下落簡單說明) · 物體在高處的重力位能=下落過程重力對物體作的功(定性說明) · 彈簧被伸長或被壓縮時具有彈力位能(定性說明) · 力學能守恆：物體減少的重力位能=物體增加的動能

<p>高一必修</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 作功=力的量值乘以施力方向的位移量值(正功、負功、不作功) · 動能公式 $E_k=1/2mv^2$、重力位能公式 $U=mgh$ 皆做簡單計算 · 位能意義：儲存潛在的作功能力且位能是相對的(零位面可變) · 只受重力作功不計阻力時，力學能(動能加重力位能)會守恆 · 能量可作不同形式的轉換，但整體的能量總和會保持固定 · 能量雖可以互相轉換，但不同形式的能量其作功的能力不同 · 熱能是巨觀表現可由溫度衡量，其微觀行為就是分子的力學能 · 力學能是作功能力較好的有序能量，熱能則是無序能量 · 焦耳熱功當量實驗驗證熱是一種能量，且找出 1 卡=4.2 焦耳 · 核能包含核分裂與核融合，可用質能互換公式作計算
<p>高二選修</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 定力作功：力與位移的內積(以力和位移的夾角定義功的正負) · 變力作功：以力 F-位移 x 關係圖求線下面積 · 平均功率：作功除以時間、瞬時功率：力和速度作內積 · 保守力作功時先以位能形式儲存能量，重力彈力靜電力為保守力 · 彈力作功是一種變力作功、彈力位能公式：$1/2kx^2$ · 合力作功會造成物體的動能變化(功能定理:$W_{\text{合力}}=\Delta E_k$) · 保守力作功會造成物體位能變化的負值(功能定理:$W_{\text{保守力}}=-\Delta U$) · 非保守力作功造成物體的力學能變化(功能定理:$W_{\text{非保}}=\Delta E_k+\Delta U$) · 物體或系統只受保守力作功時，力學能會守恆
<p>延伸</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 變力作功大小為曲線下面積；保守力的位能與位置關係

課室教學顯現不同階段物理思考層次的策略與經驗

綜上所述，按照課綱的規劃與知識點的系統性陳列，將運動學力學能量作成不同層次的表述之後，可以發現大致上在加深加廣的過程中，物理知識點的縱向發展由現象特性的理解慢慢發展至定律邏輯的演算，橫向發展由單一且主觀演變到多重且客觀的科學分析，舉凡方向由直線變成平面、單一物體變成質點系統、尺度由微觀到巨觀等，不同學習階段各有其物理學習複雜度的變化，但是物理的重大觀念與內涵都是由國中基礎層層遞進，倘若能明瞭這樣的層次演進將對學習物理有更宏觀的視野，筆者於此整理由上述物理知識點和課綱繪製出物理學習的幾個複雜度於下圖一。

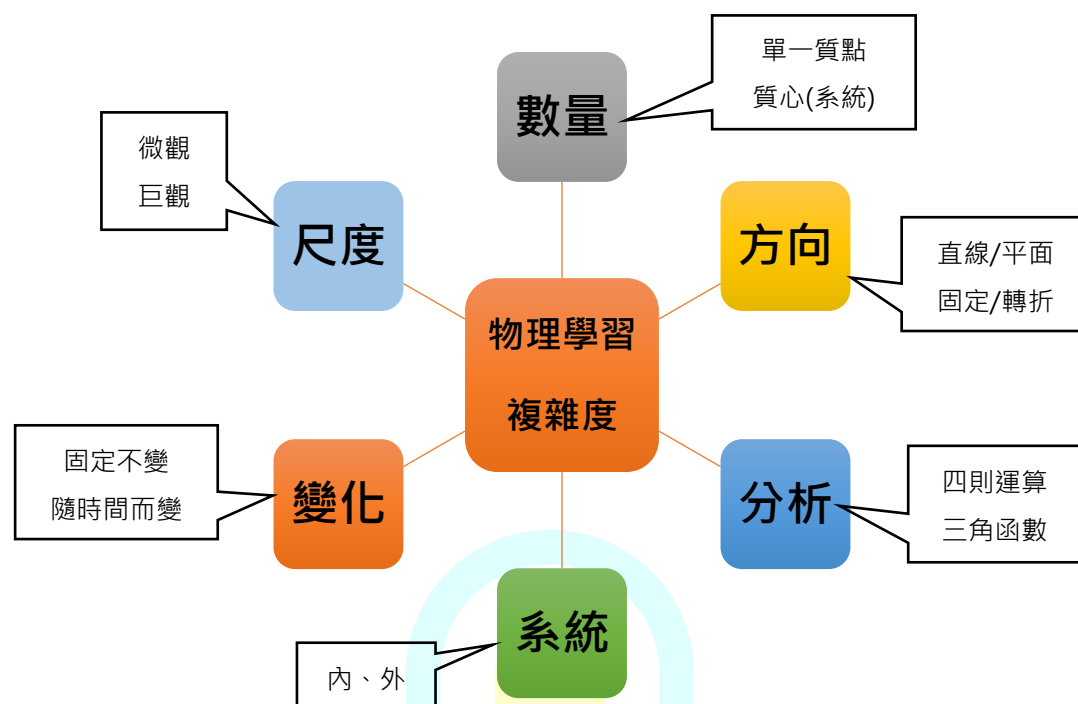


圖 1、筆者自製物理學習複雜度統整圖

知曉不同階段物理學習的複雜度以及學習內容之後，回到課室內的教學，要如何在有限的時間內透過教學策略，顯現這些物理內容不同思考的層次呢？筆者認為透過引起動機階段連結舊經驗，再加上有效的提問策略擘劃出新的學習內容，讓學生了解他們已經學習到的內容，以及這個物理概念後來的發展與可解決的問題，因此在課室中能用「關鍵問句」連結已知打開未知，是教師在有限時間內引導學生進行更深一層學習的重要步驟，也是在不同學習階段顯現其思考層次的重要策略，於是，下面將列舉幾項中學階段有關運動學、力學、能量的關鍵問句，並且把舊有知識陳述出來，用以承先啟後此物理教學內容，依序整理於下圖二至圖四。

首先，運動學是初入物理學習者的第一個關卡，先從具體現象的物體動態的表達，進入用物理符號客觀表達的學習，再對於物體狀態隨時間變化的 XY 座標圖學習運用，並且對於運動的變化可以使用斜率來判讀，最後對於「運動狀態」的思考必須加入質量與方向的因素，因此運用動量來描述更為全面。

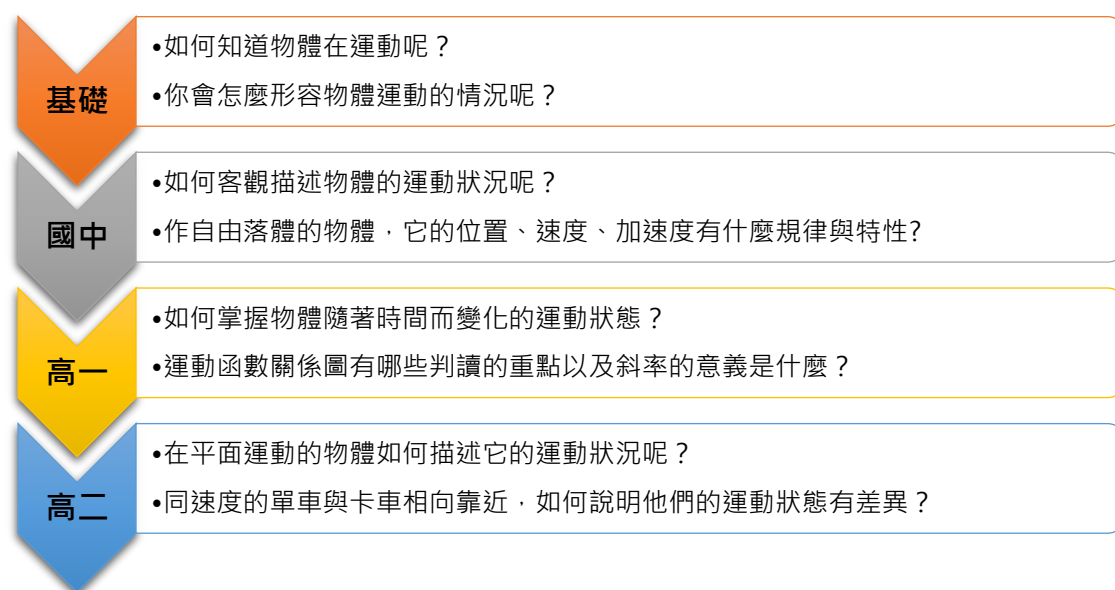


圖 2、筆者自製不同學習階段「運動學」教學的關鍵問句圖

力學的發展先透過力與運動的思辨，定義出力的效應是用來改變運動狀態，建立出牛頓三大運動定律，並且藉由彈簧秤來客觀判斷力的大小，再來對於各式各樣的力量分析，學會畫力圖與箭頭作為表達方式，當不只一個力量作用於物體時，學會分析受力體的力圖並找出合力，判斷出運動狀態改變的方向，最後引出衝量作為力的時間效應之考量，並學會「選取系統」作牛頓力學的系统性分析。

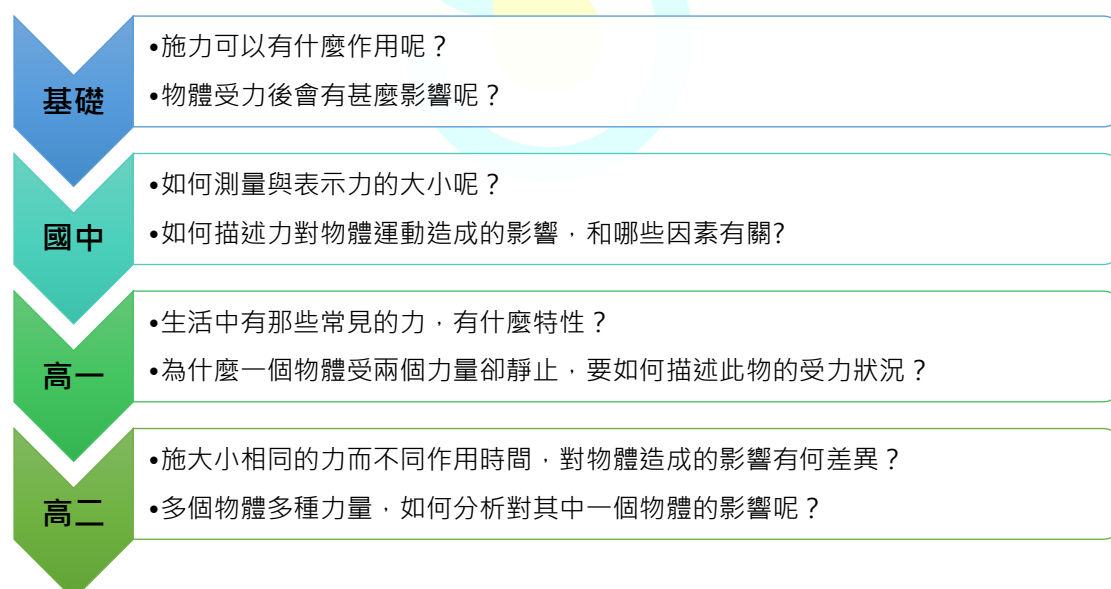


圖 3、筆者自製不同學習階段「力學」教學的關鍵問句圖

最後，抽象的能量通常會以「現金和存款」來作為動能和位能的比喻，起初階段先建立作功的量化定義，並且說明作功可以能量做互相轉換，再來對於不同形式的能量，簡單瞭解影響其能量大小的相關因素，引入生活中常見的能量形式，最後對於「保守力與位能」的關係進行強調，某些力量作功後會轉存成位能，統整出功能定理在不同力量作功後所造成的能量變化。

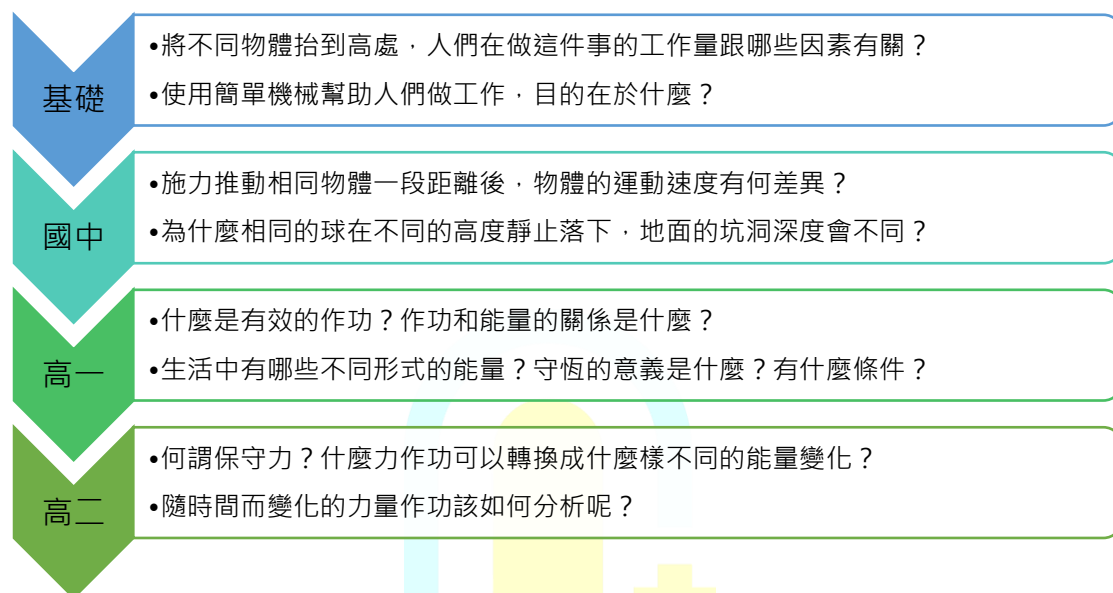


圖 4、筆者自製不同學習階段「能量」教學的關鍵問句圖

在教學現場展現上述的「關鍵問句」引起動機連結舊經驗後，開展新的教學內容之過程中，搭配「物理圖像」的解說會更加完善，研究也指出善用圖像表徵可幫助學生建立心中的物理圖像。以自由落體為例，教師在平常教學中可畫出軌跡圖、標示軌跡間隔變化、標上速度箭頭漸變大，建立學生對自由落體會越來越快的印象；分析物體受力時，圈起欲分析的物體作為一個隔離系統，畫上受力的箭頭分析不同方向的受力，建立學生對物體受力圖的繪製與解析邏輯；而談及力學能守恆時，標註欲分析位置的動能與位能，並且把系統所受到的非保守力特別標記出來，以建立學生對能量與作功概念的結構性理解，各別釋例如下圖五。

自由落體	物體受力分析	力學能守恆
	<p>分析 AB 間受力 圈選 A 為系統(看 A)</p>	<p>光滑斜面物體滑至底部</p>
描述運動的「動態」	以箭頭分析受力	標註所求處的能量表現

圖 5、運動學、力學、能量教學中的物理圖像釋例

結語

從課綱對中學各階段物理學習的規劃，到以物理知識點為出發的統整，慢慢聚焦到各階段運動學、力學、能量的關鍵問句，主要目的就是在於顯現物理學習以及教師教學的「層次」，尤其對於從國中到高二重複出現的物理內容，掌握其中舊階段知識的斷點，轉變成新階段的連接點，隨著學生學習與物理概念進一步了解，建構出更宏觀且層次分明的物理概念與結構化理解。

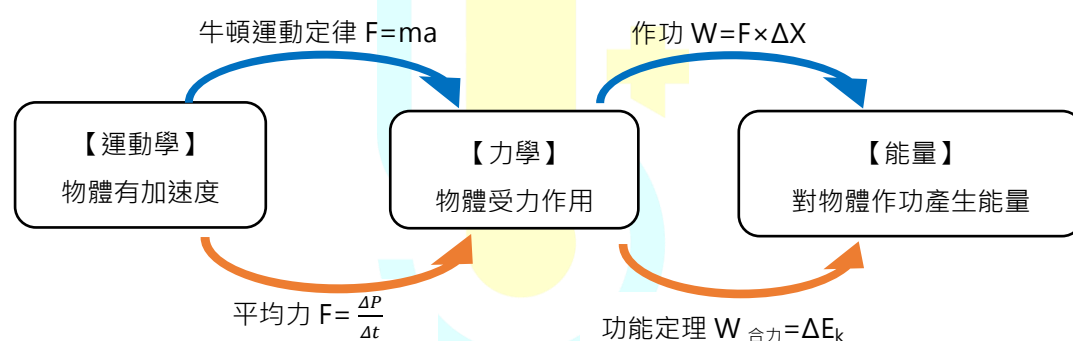


圖 6、運動學、力學、能量教學中的不同層次之概念連結示意圖

上圖六從運動學理論中的加速度透過力與運動的思辨，連結到力學，通曉牛頓力學的內涵與應用，再而將力與運動對物體的影響統合起來，以作功和能量的角度看待物體的能量表現，並以功能定理說明作功對物體造成的能量變化，不同學習階段會有不同層次的理解。教師必須掌握的物理整體性概念與發展，且能作不同層次的表述與教學，方能引導學生將塊狀知識推展成帶狀，進而發展成樹狀，追其根本有國中以來建立的基礎，隨概念的開枝散葉建立有脈絡層次的學習。最終將運動、力、能量三者隨教科書的陳述和物理概念的演進，加上教師有層次的教學策略，形成環環相扣的物理結構化概念，系統性理解其中相關與推演。

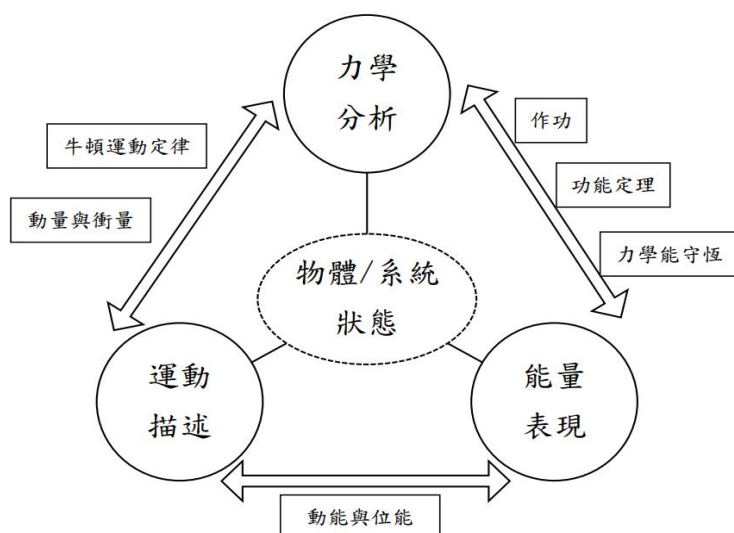


圖 7、運動學、力學、能量的整體性思考與關聯圖

王冠智
國立基隆高級中學教師

參考資料

- [1] 教育部 (2019)。十二年國民基本教育課程綱要—自然科學領域課程手冊。臺北：教育部。
- [2] 朱樹福 (2022)。高中物理學習困難的成因分析及對策研究。新時代教育·教學探討，9，79-80。
- [3] 陳家騏 (2016)。牛頓第二運動定律的演變--從速度、力到動量、衝量，以單一質點到多質點(系統)。科學教育月刊，393，11-19。
- [4] 蘇毅中 (2016)。高中學生在不同層級及不同表徵的物理解題取向。國立臺灣師範大學科學教育研究所，未出版之碩士論文，臺北市。
- [5] 林柏青 (2008)。如何製作高中物理概念圖。科學教育月刊，313，21-26。
- [6] 陳章正、江新合 (2007)。建構高中物理解題教學模式之研究。國立臺中教育大學學報：數理科技類，21(1)，17-42。
- [7] 錢正之 (2003)。方程式定性分析在運動學的教學與研究。科學教育學刊，11(3)，331-350。
- [8] National Research Council (2013). *Next generation science standards: For states, by states*. Washington, DC: National academy press.