

1

科學的態度與方法

- 1-1 科學態度
- 1-2 科學方法
- 1-3 國際單位制
- 1-4 物理學簡介





授課重點

1. 科學態度：面對未知問題時，所持的思考方式與態度，如理性、客觀、好奇心、避免妄下決斷等。
2. 分析問題、發掘真理的科學態度，只要經過適當的訓練後，每個人都可以具備。
3. 關於科學態度的實例：
 - (1) 亞里斯多德、伽利略對物體運動的看法不同。
 - (2) 現代人對都會型區域，白天 $\text{PM}_{2.5}$ 的濃度高於夜晚的判斷。上述科學（哲學）家或是查證 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度的現代人，在面對問題時，所抱持的處理態度即是科學態度。



教學策略

1. 說明科學態度可以是對問題的懷疑與批判，當我們在面對日常生活中所得到的資訊時，也應抱持相同的態度，並審慎檢視其真實性與可信度。
2. 補充比較亞里斯多德和伽利略對物體運動的看法：
 - (1) 亞里斯多德認為物體只有在不斷的對其施力，才能夠保持運動。
 - (2) 伽利略認為在沒有外力作用的情形下，靜者恆靜，動者恆保持原先的運動狀態。亞里斯多德的學說，是來自於生活經驗的分析與推理，基本上仍秉持著理性、客觀的態度；伽利略的推論除了理性、客觀的態度之外，還多了定量與實驗的驗證。兩者都有符合科學態度，而後者因為有精確的實驗驗證，多了下一小節所要描述的科學方法。
3. 說明 $\text{PM}_{2.5}$ 的定義：懸浮在大氣中且直徑約略小於或等於 2.5 微米的顆粒物質，也稱為細懸浮微粒。另一類似的污染物 PM_{10} ，稱為懸浮微粒，是直徑約略小於或等於 10 微米的顆粒物質。
4. 關於 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度與時間的關係圖，若時間允許，可以當成學生課外練習的作業，或是自主學習、探究與實作的素材。

資料來源可參考環保署空氣品質監測網查詢：<https://airtw.epa.gov.tw/>

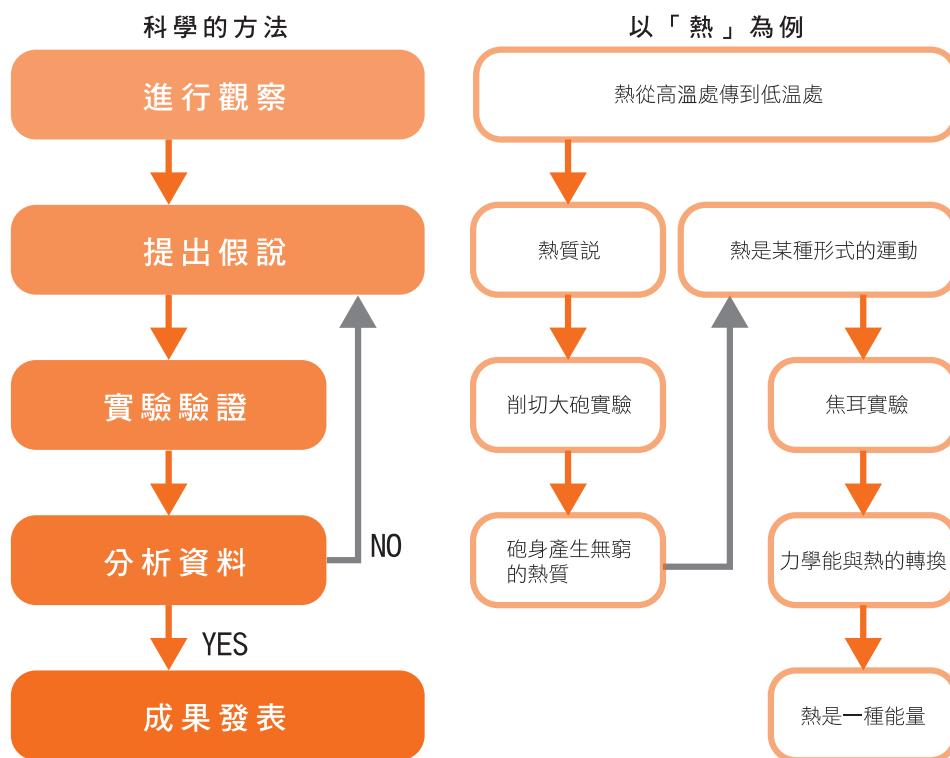
1-2 科學方法

授課重點

科學方法：科學家在從事研究時，藉由各種客觀的方法，如確認問題、提出假說、實驗分析與驗證、做出預測等等，來確認猜想或假說是否正確。這些方法稱為科學方法。

以熱的本質發展歷程為例：

1. 熱從高溫處傳到低溫處（進行觀察）→熱質說（提出假說）→削切大砲實驗（實驗驗證）→砲身產生無窮的熱質（分析資料）⇒ 不可行
2. 熱從高溫處傳到低溫處（進行觀察）→能量說（提出假說）→焦耳實驗（實驗驗證）→力學能與熱的轉換（分析資料）→熱可以與其他不同式的能量互相轉換（成果發表）→能量守恆定律（分享 / 確認可重複性）⇒ 可行





教學策略

1. 說明在從事科學研究時，科學家可以有主觀的判斷與猜想，但仍需藉由各種客觀的方法，才能有所突破。這裡所說的客觀方法就是科學方法。
2. 科學方法有其程序，例如觀察、提出假說、實驗分析、得出結論、發表與分享等，不過由於不同的科學研究，其程序可能也會有些許的差異或先後對調。
3. 說明當實驗以及分析資料無法驗證假說時，必須回頭檢視或重新確認問題的核心，並提出新的假說，然後再重複實驗驗證與分析，以解釋所有的實驗結果。
4. 在說明熱的本質時，除了解說發展歷程符合科學方法之外，尚須解說「精確的實驗與分析，可以協助理論發展；理論的建構，可以幫助指引實驗的方向」的概念。可見實驗與理論平衡發展，對於科學的推展極為重要。

1-3

國際單位制

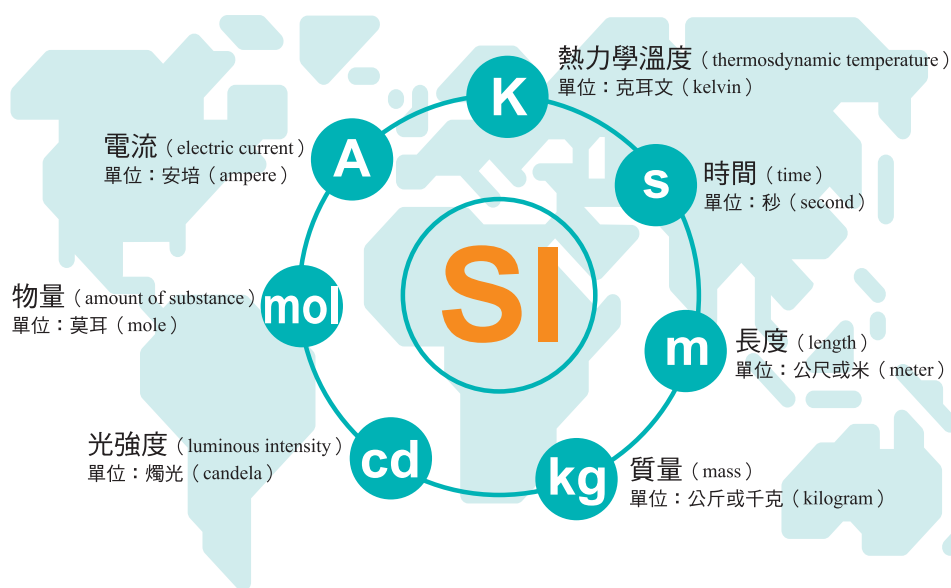


授課重點

科學上的物理量常以國際單位制（簡稱 SI）做基準，目前 SI 分為基本單位和導出單位兩種。

一、基本單位

現行 SI 有 7 個基本單位



教學策略

1. 說明制訂國際單位制的原因：物理學是定量的科學，在測量一個物理量時，必須包含數值和單位兩部分，若世界各處使用單位不同，不僅資訊無法有效傳遞，也很容易造成誤解和困擾。為了科學資訊交流的統一與便利，因而制訂國際單位制。

2. 長度、質量與時間是力學中最常用的三個物理量，也是物理學的基礎，因此可以針對這三個物理量的定義做較詳細的解說：

物理量	定義
時間	以銨 -133 原子鐘振盪 9 192 631 770 次所需的時間為 1 秒。
長度	光在真空中於 1/299 792 458 秒的時間內行走的距離為 1 公尺。
質量	以普朗克常數的精確值 $h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ 為基礎，並以公尺和秒的定義作為 1 公斤的定義。

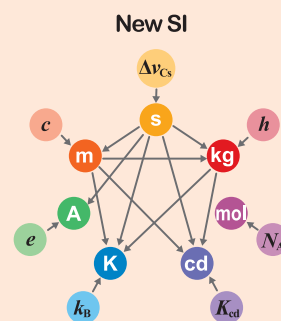
3. 為了穩定的標準，SI 傾向利用自然界的物質或是基本常數定義基本單位，因此 7 個基本單位中，自 2019 年 5 月 20 日開始將有 4 項國際單位定義將改變，包括公斤、克耳文、安培、莫耳，其中公斤定義的改變最受矚目。（補充：公斤以普朗克常數 h 定義、克耳文以波茲曼常數 k_B 定義、安培以電子電量 e 定義、莫耳以亞佛加厥數 N_A 定義）
4. 說明之前公斤的定義，是以 1889 年由人工打造的國際公斤鉑鈱原器為標準，由於保存不易，加上其複製品與原器之間的質量差值有逐年增加的趨勢，因此科學家們才決議以普朗克常數重新定義質量。目前有兩種方法可以精確地測量普朗克常數並定義質量，分別是基布爾秤（Kibble balance，又稱瓦特秤）和矽球法。
5. 光強度只有在介紹國際單位制的時候才會提到，往後選修物理的教材也都沒有這部分的內容。若有學生提問，大致上只說明光強度這個單位，是用來表示光源在特定方向上的發光強弱程度，這裡所指的發光強弱程度，是只針對可見光而言。至於 1 燭光的定義，因為不是本章的主題，所以不必做過多的量化說明。

參考補充／ 7 個基本常數建構 7 個 SI 基本單位

2018 年 11 月 16 日，國際度量衡大會（CGPM）通過以自然界的 7 個基本常數建構 7 個 SI 基本單位，新定義於 2019 年 5 月 20 日生效，此 7 個基本常數與對應的基本單位如圖所示。重新定義後的基本單位，僅僅依賴數值確定的 7 個基本常數和這 7 個常數定義的其他基本單位；例如公尺（m），是以光速 c 以及秒為基準定義出來的；安培（A）則是以基本電荷 e 以及秒所定義出來的。

根據 2018 年的 SI 手冊，這些基本常數的導出單位一律改寫為基本單位，其數值如下：

- 普朗克常數 $h = 6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34} (\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s})$
- 基本電荷 $e = 1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19} (\text{A} \cdot \text{s})$
- 波茲曼常數 $k_B = 1.380\ 649 \times 10^{-23} (\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{K} \cdot \text{s}^2)$
- 亞佛加厥常數 $N_A = 6.022\ 140\ 76 \times 10^{23} (1/\text{mol})$
- 光速 $c = 299\ 792\ 458 (\text{m/s})$
- 銨 -133 原子基態超精細能階分裂頻率 $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\ 192\ 631\ 770 (1/\text{s})$
- 頻率 540×10^{12} 赫茲的輻射其發光效率 $K_{\text{cd}} = 683 (\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{s}^3/\text{kg} \cdot \text{m}^2)$

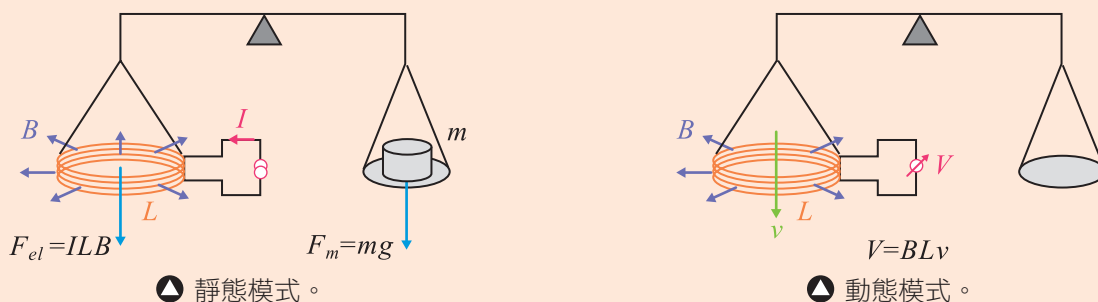


參考補充／ 基布爾秤和矽球法

1. 基布爾秤

早期稱為瓦特秤（watt balance），為紀念已故的發明者布萊恩·基布爾博士（Dr. Bryan Kibble），自 2016 年 6 月起重新命名為基布爾秤。基布爾秤分為靜態與動態兩種模式：

- (1) 靜態模式也稱為重模式（weighing mode），方法是在天平一端放置砝碼，另一端則放置線圈通以電流，並施加磁場使其受磁力作用，如此可使天平達到靜力平衡。
 - (2) 動態模式也稱為速度模式（velocity mode），方法是使線圈等速在磁場中移動，因電磁感應而產生電功率，並與力學功率相等。此模式便是最初命名為瓦特秤的由來。
- 上述兩種模式仍須以其他標準，使質量連結到普朗克常數，才能定義質量。



2. 矽球法

又稱為 X 光晶體密度法（XRCD method），透過計算矽晶球中矽原子數量的方式定義公斤，這種方法也是目前物量單位莫耳最準確的測量方式。矽晶球的製作方式是將自然界的矽經過純化、長晶、切割、研磨與拋光多道程序，製造出純度超過 99.99% 的矽-28 同位素（²⁸Si），並成為一顆直徑 93.7 毫米且真圓度為數十奈米的完美球體。此方式可以算出矽晶球的質量為：

矽晶球內含有矽原子的數量 × 單顆矽原子的平均質量

其中單顆矽原子的平均質量，為一與普朗克常數聯結的實驗數值。

參考補充／ 光強度（luminous intensity）

光強度也稱做發光強度，或簡稱為光強或光度，用來表示光源在給定方向上單位立體角內發光強弱的程度，國際單位為燭光（cd）。燭光在 2019 年的新定義中沒有實質的改變，但文字的敘述上變成以基本常數為中心：當頻率 540×10^{12} 赫茲的單色輻射，其發光效率取固定值為 683 lm/W 或 $683 \text{ cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{s}^3 / \text{kg} \cdot \text{m}^2$ 來定義燭光，其中公斤、公尺、秒分別用常數 h 、 c 和 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ 定義。

上述定義中的「lm」為光通量（luminous flux）的標準單位，稱為流明（lumen，簡記為 lm）。光通量是一種表示光功率的物理量，也是光源整體亮度的指標，定義為單位時間內由光源所發出或由被照物所吸收的總光能。另外「sr」為球面度（steradian）的簡稱，是立體角的國際單位，一整個球面的立體角為 $4\pi \text{ sr}$ ，球面度本身並沒有因次。在給定方向上的光強度可以數學表示為：

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega}, \quad \Phi: \text{光通量} \quad \Omega: \text{立體角}$$

上式表示光強度為 1 cd 的各向同性光源，在 1 sr 的立體角內放射的光通量為 1 lm（即 1 cd 的球狀光源所發出的總光通量為 4π lm），所以

$$1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr} \quad (1 \text{ 燭光} = 1 \text{ 流明} / \text{球面度})$$

因為燭光是由 540×10^{12} 赫茲、發光效率 683 lm/W 的輻射定義的，因此 1 燭光也可以被描述為：

「取一頻率 540×10^{12} 赫茲的單色輻射光源，該輻射光源在給定方向上的輻射強度為 $\frac{1}{683} \text{ W/sr}$ ，則該輻射光源在該方向的光強度定為 1 燭光」，這就是 1979 年國際度量衡大會所定義的燭光。



授課重點

二、導出單位

由 7 個基本單位組合而得，稱為導出單位。例如：

速度：公尺 / 秒 (m/s)

電荷：安培 · 秒 (A · s) = 庫侖 (C)

能量：公斤 · 公尺² / 秒² (kg · m²/s²) = 焦耳 (J)

三、國際單位的前綴詞

因應不同尺度，常在各個基本單位或導出單位前加上適當的前綴詞，增加使用上的方便性。例如：

$$1 \text{ km (公里)} = 10^3 \text{ m}、1 \text{ ns (奈秒)} = 10^{-9} \text{ s}、1 \text{ MJ (百萬焦耳)} = 10^6 \text{ J}$$

字首	數值	中文	字首	數值	中文
f	10^{-15}	飛	P	10^{15}	拍
p	10^{-12}	皮	T	10^{12}	兆
n	10^{-9}	奈	G	10^9	吉
μ	10^{-6}	微	M	10^6	百萬
m	10^{-3}	毫	k	10^3	千
c	10^{-2}	厘	h	10^2	百



教學策略

1. 強調物理量的單位可以由 7 個基本單位組合而成的，才是導出單位。
2. 有些單位不屬於國際單位制，但與國際單位之間有換算關係。例如
 - (1) 英制單位：1 磅 (lb) 約等於 0.454 公斤 (kg)，1 吋 (in) = 2.54 公分 (cm)。
 - (2) 台制單位：1 台尺約等於 0.303 公尺，1 台斤 = 0.6 公斤。
3. 可以在課堂上讓學生複習國中學過的物理單位，例如牛頓 (N)、帕 (Pa)、瓦特 (W)、...，練習將它們寫成基本單位的組合：

$$N = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2, Pa = N/\text{m}^2 = (\text{kg} \cdot \text{m/s}^2)/\text{m}^2 = \text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2, W = \text{J/s} = \text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^3$$

4. 前綴詞的部分，原則上不必每個符號都要求學生記起來，表格中 12 個常用的前綴詞，便足夠高中物理所需用到的部分。
5. 除了字首之外，用來表示一個數量的大約尺度，稱為數量級。表示方法如下：

$$\text{有一數量以科學記號表示為 } a \times 10^n, \begin{cases} \text{若 } a < \sqrt{10}, \text{ 則數量級為 } 10^n \\ \text{若 } a \geq \sqrt{10}, \text{ 則數量級為 } 10^{n+1} \end{cases}$$



基本概念釐清

1. 「公斤重 (kgw)」屬於國際單位中的導出單位。
答 錯。力的國際單位是牛頓 (N)，屬於導出單位，「公斤重」雖然也是力的一種單位，但不屬於國際單位。
2. 「1 Km = 10³ m」，這個等式是正確的。
答 嚴格來說並不正確。表示 10³ 的前綴詞 k 是小寫，等式裡的 K 是大寫。同樣的，表示 10⁻³ 的前綴詞 m 是小寫，表示 10⁶ 的前綴詞 M 是大寫，也要特別注意。



授課重點

一、科學的啟蒙

1. 亞里斯多德（384 - 322BC，希臘人）的《物理學》：

(1) 一般物體的運動必須受力。

(2) 天體的運動是等速圓周運動，因為天體是純潔不朽的。

2. 托勒米（約 100 - 約 170，埃及人）的地心說：

地球處於宇宙的中心，太陽、恆星、行星、月球全都環繞地球運行。

亞里斯多德與托勒米的學說，主導人們對運動學的認知長達一千多年。

二、16 世紀—哥白尼的日心說

哥白尼（1473 - 1543，波蘭人）認為太陽為宇宙的中心，其他行星包括地球，皆以圓形軌道繞日而行，月球還是繞著地球轉。

三、17 世紀—伽利略結合實驗與數學

1. 克卜勒（1571 - 1630，德國人）提出行星運動三大定律，行星以橢圓形軌道繞日而行。

2. 伽利略（1564 - 1642，義大利人）提出慣性定律：物體沒有外力作用時，會保持等速運動，反駁亞里斯多德的運動學，伽利略結合實驗與數學方法，創造並示範新的科學典範。





教學策略

1. 克卜勒提出行星運動三大定律，給予牛頓極大的啟發，進而發現萬有引力定律，克卜勒與伽利略便是牛頓口中的巨人。
2. 在伽利略之前是知識封閉的時代，伽利略結合實驗與數學的方法，在科學上居於承先啟後的角色。英國物理學家霍金認為，自然科學的誕生要歸功於伽利略，愛因斯坦稱他為「現代科學之父」，足見伽利略在科學史上的重要性。
3. 這一小節在教學上，教師本身要有一個清楚的脈絡，講解也需要有先後傳承的故事性，簡單扼要介紹物理學涵蓋的範疇、探究的方向與演進的歷史，但須避免單純以條列的方式來呈現物理史。



授課重點

四、18 世紀－牛頓建立嶄新物理學

1. 牛頓的成就：發明微積分、提出萬有引力定律、提出三大運動定律、發現太陽光譜、發明反射式望遠鏡。
2. 牛頓的萬有引力定律和三大運動定律為古典物理學奠定穩固的基礎。

五、19 世紀－馬克士威統一電磁理論

1. 焦耳的熱功當量實驗，證實熱能是能量的一種形式，進一步揭示能量守恆定律。
2. 熱力學第二定律：熱無法完全轉換為功。
3. 波茲曼（1844 - 1906，奧地利人）建立熱力學的微觀理論，奠定統計力學的發展基石。
4. 法拉第（1791 - 1867，英國人）提出電磁感應定律。
5. 馬克士威（1831 - 1879，英國人）提出馬克士威方程式，統一電學與磁學，並揭開光即是電磁波的一種。



**教學策略**

1. 十七世紀，克卜勒的行星運動定律為天體力學開啟了先河，伽利略有關力及運動方面的研究，對於以後力學的發展產生了啟發性的作用。1687 年牛頓發表《自然哲學的數學原理》一書，可謂集力學理論之大成，古典力學的理論體系已經完備。
2. 熱本質的了解始於焦耳自 1843 年起經由一連串的實驗，證實了熱能是能量的另一種形式，並定出了熱能與功兩種單位之間換算的比值，自此人類對熱是一種能量的本質才算了解。
3. 可說明法拉第感應定律，正因為有馬克士威的數學分析，才得以彰顯其價值，愛因斯坦甚至認為，法拉第與馬克士威的電磁學研究結果是自牛頓以來最重要的發現。後人都將牛頓、馬克士威和愛因斯坦稱譽為最偉大的理論物理學家。

參考補充／熱力學定律

1. 第零定律：在不受外界影響的情況下，若是 A 和 B 同時與 C 處於熱平衡，則 A 和 B 也必處於熱平衡。
2. 第一定律：包括熱能在內的能量守恆定律。以數學表示為：

$$dQ = dU + dW$$

dQ ：輸入系統的熱能、 dU ：系統內能的變化量、 dW ：系統對外界所作的功

3. 第二定律：孤立系統的熵值變化量必大於或等於零。以數學表示為：

$$\Delta S \geq 0$$

第二定律說明熱機輸出的功一定少於輸入的熱能，或熱不能自發性的從低溫處流向高溫處。

4. 第三定律：在有限次數的操作下絕對零度無法達到。

**授課重點****六、20 世紀—量子論與相對論共舞**

1. 量子論：

(1) 普朗克（1859 - 1947，德國人）提出能量不連續的概念，開啟了量子的時代。

(2) 愛因斯坦將量子概念推廣，藉由光量子假說，成功解釋光電效應。

(3) 德布羅意（1892 - 1987，法國人）提出物質波的概念，主張所有物質都有波動的特性。

從此無論是光或是電子，乃至於所有物質，都同時具有波動與粒子的雙重特性，稱為波粒二象性。

2. 愛因斯坦的相對論：

- (1)狹義相對論：時間與空間彼此是有關聯的，改寫人類對時空架構的認知。
- (2)廣義相對論：重力就是時空彎曲的結果，即「時空告訴物質該如何運動，物質告訴時空該如何彎曲」。

3. 優秀女性科學家：

- (1)瑪里·居禮（1867 - 1934，波蘭人），榮獲兩次諾貝爾獎，是研究放射線物理的先驅。她在第一次大戰期間，發明移動式 X 光機，拯救許多傷患。
- (2)唐娜·史崔克蘭（1959 - ，加拿大人），發展能量極強的雷射脈衝，廣泛應用到雷射醫療手術，獲得 2018 年諾貝爾物理獎。

4. 其他研究領域：

- (1)隨著資訊科技的蓬勃發展，計算物理成為現代科學的生力軍。

物理學的研究方法：

{	實驗觀測	⇒	實驗物理
	理論推導	⇒	理論物理
	數值模擬	⇒	計算物理

- (2)現代人類面臨的挑戰，促成跨領域的研究，例如能源問題、仿生科技等，唯有跨領域的視野與素養，才能有效解決問題。



教學策略

- 1. 二十世紀初，物理上有兩個極重要的發展，一個是普朗克在 1900 年所提出的量子論，後來演變為量子力學，在微觀的世界裡取代了古典力學。另一個重要的發展是愛因斯坦分別在 1905 年、1915 年所提出的狹義相對論和廣義相對論，狹義相對論只涉及沒有重力作用的問題，而廣義相對論則是討論有重力作用時的物理現象。
- 2. 關於「時空告訴物質該如何運動，物質告訴時空該如何彎曲」，可解釋為：大質量的物質能夠造成時空彎曲，重力就是這種時空彎曲所造成的一種幾何效應，而受重力作用的物體就在這個彎曲的時空中作慣性運動。
- 3. 目前學校大多採分科教學，然而現代世界所面臨的問題，都不是單一學科能夠解決的，因此如何產生跨學科、跨領域的教學，以培養學生更寬廣的視野，也是教育的一大課題。

參考補充／諾貝爾物理獎得主及其成就

年份	獲獎者	國家／地區	獲獎成就
2014 年	赤崎勇	 日本	發明有效率的藍色發光二極體，催生明亮而節省能源的白色光源
	天野浩	 日本	
	中村修二	 美國	
2015 年	梶田隆章	 日本	發現了微中子震盪，並因此證明了微中子具有質量
	阿瑟·麥克唐納	 加拿大	
2016 年	戴維·索利斯	 英國  美國	在物質的拓撲相變和拓撲相領域的理論性發現
	鄧肯·霍爾丹	 英國  美國	
	約翰·科斯特利茨	 英國  美國	
2017 年	萊納·魏斯	 美國	對 LIGO 探測器及重力波探測的決定性貢獻
	巴里·巴里什	 美國	
	基普·索恩	 美國	
2018 年	阿瑟·阿什金	 美國	在雷射物理領域的突破性發明
	熱拉爾·穆魯	 法國	
	唐娜·史崔克蘭	 加拿大	
2019 年	吉姆·皮布爾斯	 加拿大  美國	物理宇宙學的理论發現
	米歇爾·梅爾	 瑞士	發現了一顆圍繞太陽型恆星運行的系外行星
	迪迪埃·奎洛茲	 瑞士	
2020 年	羅傑·潘洛斯	 英國	發現黑洞的形成是廣義相對論的真實預測
	賴因哈德·根策爾	 德國	發現位於銀河系中心的超大質量緻密天體
	安德烈婭·蓋茲	 美國	
2021 年	真鍋淑郎	 日本  美國	建構地球氣候的物理模型，可量化變數並可靠地預測全球暖化
	克勞斯·哈塞爾曼	 德國	
	喬治·帕里西	 義大利	發現從原子到行星尺度的物理系統中，無序和變動的交互作用
2022 年	阿蘭·阿斯佩	 法國	關於糾纏光子的實驗，建立可違反貝爾不等式並開創量子資訊科學
	約翰·克勞澤	 美國	
	安東·蔡林格	 奧地利	
2023 年	皮埃爾·阿戈斯蒂尼	 法國	產生阿秒脈衝光用以研究物質中電子動力學的實驗方法
	費倫茨·克勞斯	 匈牙利  奧地利	
	安妮·呂利耶	 法國	