超易懂

高中物理筆記

死記硬背OUT！

用圖像記憶讓你輕鬆搶分

池末翔太／著　陳識中／譯

前言

物理背後有「1個」故事！

「公式絕對不能死記硬背！」

這是我在每學期的物理課上告訴大學準考生們的第一句話。

為什麼要用這句話當開頭？因為在唸物理學的時候，很多人都對物理抱有「總之就是背公式，然後把數字帶進公式計算就對了」的印象。

講白了，日本的高中物理一共會出現100個左右的公式。

不明就裡地去背誦100個意義不明的數字和符號排列，就跟背誦100串電話號碼是一樣的意思。

這種學習方式，簡直就是苦行。

物理學雖然存在很多俗稱公式的數學算式和專門術語，但它們只不過是長在「物理大樹」上的「葉子」罷了。

學習物理最重要的，是理解這棵「物理大樹」的「樹幹」。而所謂的「樹幹」，則是公式誕生的背景，也就是「故事」。

一旦理解了背後的故事，即使不去刻意死記硬背，你也能夠自行推導出公式（自己從頭寫出算式、導出解答）。

那麼，物理學究竟是個什麼樣的故事呢？

這點我們會在本篇詳細告訴大家。高中物理涉及的內容，在物理學中被歸類在「古典物理學」。

而古典物理學始於牛頓在17世紀發現的運動方程式（牛頓力學）。

當時的科學家以牛頓的力學概念為基礎，透過不斷地試誤，逐一解開了物體的運動、熱、波、電磁力等物理現象的原理。但在19世紀末，科學家們遇上了許多牛頓力學無法解釋的物理現象。

於是古典物理學迎來終點，進入了大學物理才會教授的量子論時代。這便是高中物理背後的故事大綱。

本書配合各物理學單元的解說，盡可能地穿插介紹各個科學家的名字和相關公式的背景，最大程度地描繪出背後的故事。

我認為這種作法，**既可以幫助讀者認識物理學的基礎，讓本書發揮參考書的功能，還能同時讓讀者品味到由名震歷史的科學天才們全心全力建立的壯闊物理學史故事，兼具歷史科普讀物的角色，成為一本不同以往的物理入門書。**

本書的原文書名有段文字是「讀過一遍就絕對忘不了」。

我相信多數拿起這本書的人，一定都在心想「哪有可能讀過一遍就記住那麼多公式！」。

不過，物理學其實是一門根本不需要背誦的科目。

在學生時代，以為物理就是一門背公式的科目，為此飽受折磨的人；還有被物理學出現的大量數學算式嚇破膽，從此敬而遠之的文組人，如果你是這兩類人，那我更希望你能閱讀本書。

我相信讀完本書，你對物理這門科目的印象一定會有180度的轉變。

池末翔太

超易懂高中物理筆記 CONTENTS

前言
物理背後有「1個」故事！ 2

課外時間①
物理完全不用硬背公式！ 10

課外時間②
物理要用「故事」學！ 12

課外時間③
只有這些！物理所需的數學知識 14



第1章 力學

力學的9成是運動方程式 18

位置、速度、加速度
力學的目的是認識物體「何時」在「何地」 20

等加速度運動
用「v–t圖」解讀「3個數學式」的意義 24

相對運動
求「2個移動物體」的「速度」和「位置」 28

運動方程式
表示「力」和「加速度」之因果關係的運動方程式 30

作用力與反作用力定律
至少需要2個物體才能產生力 34

力的種類
接觸力就是原子、分子的電磁力 36

斜面上的物體運動
用力的「分解」來思考斜面運動 37

靜力平衡
靜力平衡就是「加速度為0」的運動方程式 40

摩擦力
把摩擦力拆成3個向量來理解 42

彈力
計算彈力大小的「虎克定律」 46

慣性力
不屬於重力、接觸力的假想力「慣性力」 48

功與能／衝量與動量①
從運動方程式得到的2種資訊 50

功與能①
功就是「力的距離總和」 52

功與能②
功與能量存在什麼樣的關係？ 54

衝量與動量①
衝量就是「力的時間總和」 57

衝量與動量②
衝量與動量有什麼關係？ 59

功與能／衝量與動量②
應該什麼時候使用能量或動量？ 61

位能
把重力的做功當成能量看待的「位能」 65

力學能守恆定律
「力學能」是動能和位能的總和 67

動量守恆定律
碰撞前後的動量總和相同 69

恢復係數
用碰撞前後的相對速度差求「恢復係數」 72

等速圓周運動
等速之圓周運動的速率和角速度關係 74

向心運動方程式
加速度被限制的圓周運動的運動方程式 79

離心力
「向心力」和「離心力」是不同種力 80

簡諧運動①
必然變成簡諧運動的加速度型態 82

簡諧運動②
簡諧運動的代表例——水平彈簧振子 86

萬有引力定律①
有質量的物體之間必然存在引力作用 88

萬有引力定律②
如何計算萬有引力的位能 92

宇宙速度
投球的速度要多快才能繞地球1圈？ 93

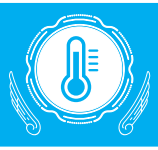
克卜勒定律
天體運行的三大定律「克卜勒定律」 98

力矩①
使物體旋轉的作用「力矩」 100

力矩②
決定力矩的2個要素 102

力矩③
3股力的作用線必然交於1點 107

重心
「數學的重心」和「物理學的重心」相同 109



第2章 熱力學

從「力學途徑」解釋熱現象的熱力學 114

熱力學是什麼？
「牛頓力學」和「機率統計論」的融合 116

熱和溫度
力學的溫度——「絕對溫度」 118

比熱和熱容量
使「物體」的溫度上升1[K]所需的熱量 122

理想氣體
從「分子的運動」來探究熱現象 124

狀態方程式
由波以耳定律和查理定律形成的「狀態方程式」 126

內能
求理想氣體的動能總和 128

熱力學第一定律
表達能量出入的「熱力學第一定律」 130

氣體的變化①
從P－V圖追蹤「氣體的變化」 132

氣體的變化②
最具代表性的4種氣體變化過程 134

氣體分子運動論
用「粒子的運動」來理解氣體的壓力 139



第3章 波動

將波的現象理解為「微小粒子運動」的波動現象 146

波動是什麼？
因「分子振動」產生的波動現象 148

波的種類
「波動現象」可分為兩大類 150

橫波和縱波
依「振動方向」分類波 151

波的特徵
描述波特徵的6個物理量 153

波的基本公式
用數學式表達波動現象的「波的基本公式」 155

反射波和駐波
波與波相撞會怎麼樣？ 156

駐波
由2個方向相反但波形相同的波形成的「駐波」 159

自然振動
宇宙萬物都有的振動 161

弦振動
計算在弦上傳遞的波的振動 162

氣柱振動
管中的空氣分子振動稱為「氣柱振動」 165

都卜勒效應
為什麼救護車駛過時的鳴笛聲會變化？ 169



第4章 電磁學

古典物理學中誕生了「場」這個新視點 178

電磁學是什麼？
用「粒子的運動」解釋電磁力 180

電荷
用數學式表達電荷之間作用力的「庫侖定律」 182
電場
表現「電荷運動」的空間「電場」 184
電位和電壓
「電位」就是電的位能 186
電磁場
描述電磁場四大定律的「馬克士威方程組」 189
「電力線」和「高斯定律」
以定量方式說明「電力線」的「高斯定律」 193
金屬
金屬內的電子如何移動？ 196
電容器
電容器和電容量的關係 198
電流
電荷的大行軍「電流」 202
電阻的定義
用電阻和電流求電壓的「歐姆定律」 204
電力
電流通過時產生的熱「電功率」 206
迴路
計算迴路之電流、電壓的「迴路方程式」 208
磁場
電荷在磁場受到的作用力「勞侖茲力」 212
磁場的形成
表示磁場狀態的「安培右手定則」 216
電磁感應
磁場變化可以產生「電場」 220

第5章 原子物理學

「古典物理學」到「現代物理學」的轉換期 226
原子物理學＝舊量子論
研究原子等級微觀世界的「舊量子論」 228
光①
電子從金屬內飛出的「光電效應」 229
光②
把光當成粒子思考的「光子假說」 231
二象性
光的性質是波？還是粒子？ 235
電子
顯示電子波動性的物質波（德布羅意波） 236
原子①
原子模型的歷史 237
原子②
波耳的氫原子模型 239
質量與能量的等價關係
其實，質量就是能量 242
原子核的結構
由質子、中子組成的原子核 243
鍵能
若是將核子拆開，則總質量會改變 246
原子核的衰變
因原子核衰變而放出的「輻射」 248
衰變的情形
機率性發生的原子核衰變 251

結語 254
參考文獻 255

CONTENTS

物理完全不用硬背公式！

最重要的，是隱藏在公式背後的故事

一般來說，高中物理主要集中在「力學（運動與能量）」、「熱力學（熱）」、「波動（波）」、「電磁學（電）」這四大領域。而這些領域中出現的「公式」數量，粗估也有100個左右。

因此，很多人都以為學習物理就是把這些公式統統背下來，於是沒頭沒腦地死記硬背，不了解這些公式背後的意義，結果碰得灰頭土臉。

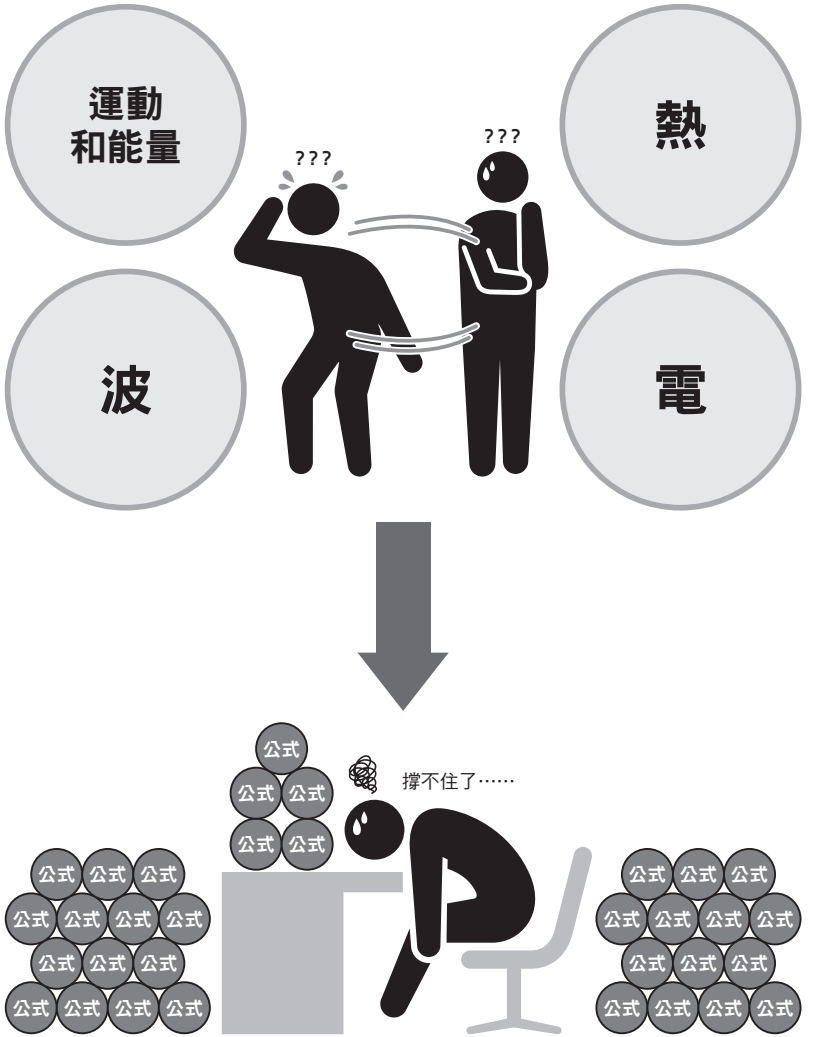
我敢拍胸脯向你保證，物理其實根本不需要背誦任何東西。如果用一句話簡單地概括物理學，那就是**『假設所有自然現象都按照某種規律在運作，並嘗試描述那些規律的學問』**。

而那些俗稱公式的數學算式，便是「描述」這個行為產生的結果。換言之，**學習物理最重要的不是公式本身，而是公式誕生的背景故事**。

在江戶時代後期到明治初期，日本人把物理學理解為「窮究自然界道理的學問」，稱之為「究理學（窮理學）」。

換句話說，物理是一門從「想知道這世上發生的所有事情！」的欲望中誕生的學問。在物理學中登場的每個「公式」背後，都隱藏著一齣由名震歷史的天才們為了窮究自然界之理，不斷嘗試和犯錯的壯闊「人物劇」。**一旦認識這些故事，即使不像苦行僧一樣刻意去死背那些意義不明的數學算式，你也能自己推導出物理學的公式。**

圖 H-1 物理公式絕對不能硬背！



把多達100個的公式當成「枯燥無味的數字排列」，在不理解意義的情況下死記硬背，只會碰得灰頭土臉。

物理要用「故事」學！

高中物理是一段講述牛頓力學從開始到結束的故事

那麼，高中物理的故事是什麼呢？

請看右邊的圖。

其實高中物理的內容，是基於在17世紀到19世紀誕生的研究。這些內容在物理學上俗稱**「古典物理學」**。

而古典物理學的起點，則是從17世紀由牛頓發現的運動方程式（$ma=F$）開始。

首先，在發現運動方程式後，**人類終於能完美地理解「粒子的運動」**（**牛頓力學**）。

接著，科學家們又基於牛頓力學，開始把「熱」當成「氣體中的分子運動」來研究（**熱力學**）。

然後，科學家們又想到「波」可能跟同屬「力學」現象的「簡諧運動」有關（**波動**）；而「電」也可以理解成「電氣粒子的運動」，以「力學的運動方程式」為基礎，推動了電的研究（**電磁學**）。

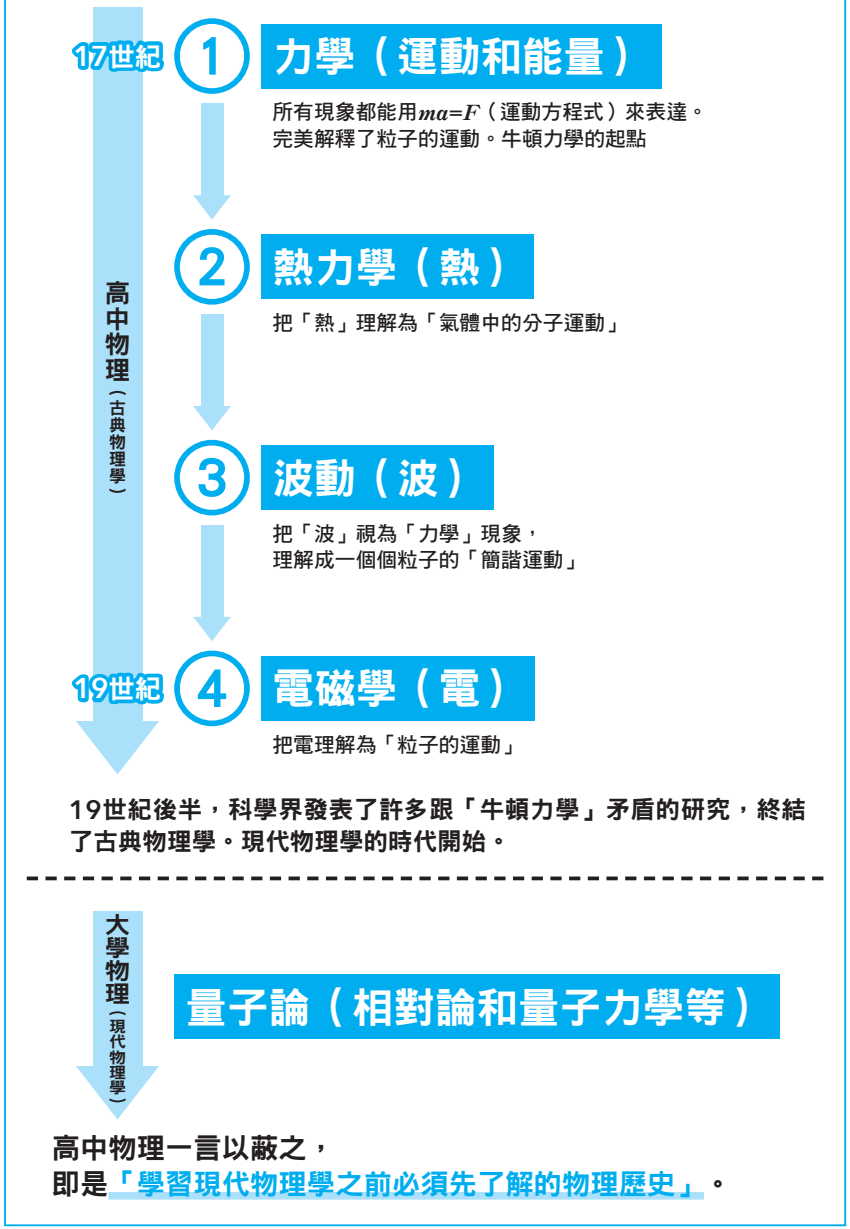
就這樣，多虧了牛頓力學，物理的各個領域都逐漸完備。到了19世紀後半葉，物理學距離集大成已經只剩一步之遙。

然而，牛頓力學卻在這時撞上了一堵高牆。

在更加渺小的微觀世界中，開始陸續觀察到牛頓力學無法解釋的現象。而這便是大學之後才會學到的**「現代物理學」**的起點。

換句話說，高中物理的內容用一句話總結，就是**「學習現代物理學之前必須先了解的古典物理學歷史」**。

圖 H-2 1個始於運動方程式的「物理研究」故事



只有這些！物理所需的數學知識

理解高中物理所需的數學知識只有4個

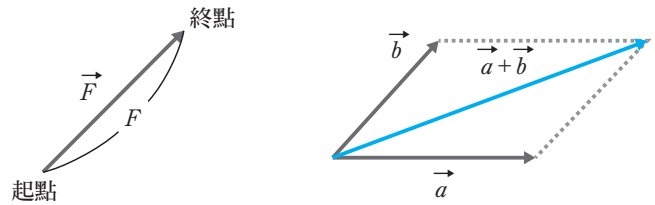
要理解高中物理的內容，必須用到高中數學的知識。但是，最少必要的高中數學知識，其實就只有4項。所以，為了讓對數學沒有自信的讀者也能看懂，我想先簡單講解一下這4項知識。

《高中物理需要的數學知識①》向量

所謂的「向量」，即是「具有大小和方向的量」。一般來說，向量習慣在英文字母上加箭號來表示，比如「$\vec{F}$」。用圖表示的話，則是1個從起點連到終點的箭頭。而F是向量的大小（在大學以上的課程中，向量常常用粗體的$\boldsymbol{F}$來表示）。

同時，我們可以用畫平行四邊形對角線的方式，來做2個向量的加法。也可以把這個步驟反過來，將相加後的向量拆回原本的2個不同向量。

圖 H-3 向量

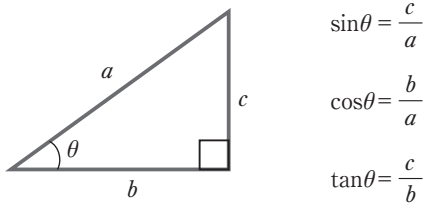


《高中物理需要的數學知識②》三角比

從直角三角形的3邊中取2個邊，這2個邊的比值就是**「三角比」**。

三角比一詞其實是「**三角**形2邊**比**」的縮寫。三角比共有$\sin\theta$、$\cos\theta$、$\tan\theta$這3種。

圖 H-4 三角比的定義



$$\sin\theta=\frac{c}{a}$$

$$\cos\theta=\frac{b}{a}$$

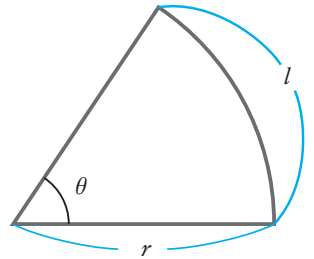
$$\tan\theta=\frac{c}{b}$$

《高中物理需要的數學知識③》弧度法

如60°或90°，在數字的右上角畫〇來表示角度的方法稱為「度數法」，是種廣為人知的角度測量方法。這種方法是將圓分成360等分來測量角度。

除此之外，還有另一種表示角度的方法稱為**「弧度法」**。請看右圖。右圖是一半徑為r，弧長l的扇形。此時，如果將扇形的圓心角θ定義為$\theta=\frac{l}{r}$，則角度單位稱為[rad]（radian，弧度）。比如，假如有一半徑r的半圓（半圓也是扇形的一種），則此半圓的圓心角用

圖 H-5 弧度法



度數法表示就是180°。而改用弧度法表示的話，因為弧長是圓周（$2\pi r$）的一半πr，故$\frac{\pi r}{r}=\pi$[rad]。換言之，180°＝π[rad]。度數法的90°是$\frac{1}{2}\pi$。簡單來說，弧度法就是用半圓的長度來表現圓心角角度的方法。

《高中物理需要的數學知識④》三角函數

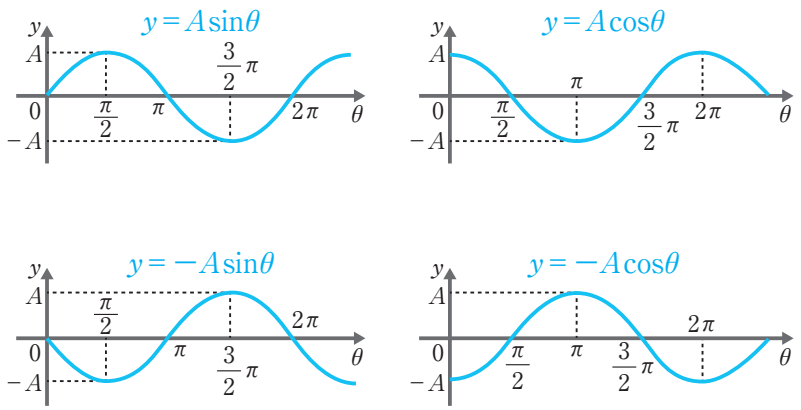
而三角比的概念進一步擴充後就是**「三角函數」**。

三角比和三角函數的決定性差異是「角度」。三角比的定義是用「直角三角形」計算，所以很顯然「角度θ」的範圍被限制在$0°\leq\theta\leq180°$，換用弧度法表示便是$0\leq\theta\leq\pi$。

另一方面，三角函數計算的圖形可以是任何角度。

三角函數的圖是個漂亮的波形，在物理的世界也被用來表現「簡諧運動」或「波動」現象。

圖 H-6 三角函數的圖



y軸是三角函數的變位（高），橫軸θ用弧度法表示

第 1 章

力學

力學的9成是運動方程式

古典物理學始於力學

在古典物理學中扮演中心角色的古典力學，是從牛頓發現的$ma=F$這個**「運動方程式」**開始的。牛頓主張**「物體的運動可用運動方程式完美說明」**。而實際上，科學家們也陸續證明了這世界的各種運動現象的確可以用「運動方程式」來說明。

因此，**古典物理學可以說是一個始於發現牛頓運動方程式的故事**。

本章在開始介紹運動方程式之前，我們要先從「為什麼物體會移動？」這個力學的根本問題——「物體的運動論」開始聊起。接著，一邊介紹**「等加速度運動」**，一邊聊聊運動方程式的重要概念——「加速度（在運動方程式中用a表示）」。

講完加速度後，再來才是力（在運動方程式中用F表示）。**「力學定律」**中最重要的，是力量必定成對而生的**「作用力與反作用力定律」**。而力的種類，其實基本上只有「重力（場的力）」和「接觸力」2種。物理課上雖然會談到**「摩擦力」**、**「彈力」**、「垂直抗力」、「張力」或「浮力」等的力，但它們全都是「接觸力」。

介紹完加速度和力，接著會講解透過變換「運動方程式」創造出來的物理量**「功和能」**與**「衝量和動量」**。最後，我們會透過具有質量和體積的物體**（剛體）**的運動，來講解力量使物體旋轉的作用**「力矩」**。

第1章 【力學】的概覽圖

牛頓發現「運動方程式」

運動方程式

牛頓主張「物理的運動可以用運動方程式完美解釋」

為什麼物體會動？（物理的運動論）

等加速度運動

力是從哪裡出現的？

力的定律

- 作用力與反作用力定律
- 摩擦力
- 彈力
- 慣性力
- 萬有引力定律

可從「運動方程式」推導出的運動資訊①

功和能

- 力學能守恆定律

可從「運動方程式」推導出的運動資訊②

衝量和動量

- 動量守恆定律

思考具質量和體積的物體運動

剛體和力矩

力學的目的是認識物體「何時」在「何地」

物理學從「物體運動論」開始的理由

高中物理是從**「物體的運動論」**開始教起。

之所以從「物體的運動」開始教，其實是有原因的。

一如前文所說，物理學的目的是**『假設所有自然現象都按照某種規律在運作，並嘗試描述那些規律的學問』**。換句話說，就是用來描述自然現象的學問。

而**科學家們做的第一個嘗試，就是建立世間所有現象皆與「物體（正確來說是粒子）」有關的模型（假說）**。

這句話的意思是，因為萬物都是由原子、分子組合而成（當然這也只是人類創造的假說），所以「球的運動」就源自「組成球的物體之運動」，「星星的軌道」源自「組成星體的物體之運動」，「人類的情感」則源自「組成人類大腦的物體之運動」等等。科學家們認為，也許宇宙中的一切現象都可以用「物體的運動」來解釋。

換句話說，**「物體的運動」這個概念，可以說是物理的「出發點」**。

而力學的目標，就是完美地描述「物體的運動論」。

那麼，我們要知道什麼，才能說自己「完全理解運動了！」呢？

從結論來說，是當我們成功**用「時間」的函數求出物體的「位置」**時。

所謂的函數，是指「當某個變數確定時，另一個與之對應的變數也會跟著確定」的關係性。

換言之，「當時間確定後，位置也會跟著確定」。說得更簡單點，我們想知道的是**「物體何時（時間）在何地（位置）」**。

描述「位置」

接下來，我們暫時將物體的範疇局限在俗稱**「質點」**的粒子。所謂的質點，也就是**「具有質量，但無視體積的物體」，亦即「有質量的點（粒子）」**。雖然這世界實際上不存在「有質量但體積為0的粒子」，但這裡先設定一個理想化的情境。

那麼，就從最簡單的「質點的運動」看起吧。

若把「運動論」定義為「用時間的函數來表示物體的位置」，那麼首先遇到的難題，就是該如何表示**「位置」**。

最典型的物體位置表示方法，就是**「直角座標系（笛卡兒座標系）」**。也就是國中數學介紹的**x軸**、**y軸**（3次元的話還要再加上z軸）座標系統。這是由撰寫《談談方法》的法國哲學家勒內‧笛卡兒發明出的座標系統。

速度＝位置隨時間的變化量

在物理學中，為了讓大家在討論時正確理解彼此在說什麼，有時科學家們會發明新的學術用語。其中之一就是**「速度」**這個物理量（所謂的物理量，就相當於物理學這門語言的「單字」之意）。在物理學中，凡事都是從**「定義」**開始。

而速度的定義如下：

速度＝每單位時間的位移

位移就是「位置的變化量」之意，**在物理學的世界，習慣用「1秒鐘」當作時間單位**。說得更簡單點，就是**「1秒鐘內前進了多少距離」的量化數值**。

因此，如果把這句中文定義改寫成數學式，就變成下面這樣：

$$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$