

學 力

王恒守編著



三育圖書文具公司

力

學

王恒守編著

香港 上海圖書文化公司 出版

定價港

二角

出版
發行

立信印刷公司

香港九龍彌敦道五八〇號G

San Yu Stationery & Publishing Co.

580G, Nathan Road Kowloon Hong Kong

印刷：立信印刷公司

九龍新蒲崗五芳街23至25號

緯綸工業大廈十一樓

一九七二年十月版

27K

180P.

版權所有·翻印必究

目 錄

緒言	1
----	---

總論	7
----	---

I. 運動學	9
--------	---

引言	9	2. 質點曲線運動	20
1. 質點直線運動	9	3. 剛體運動學	27

II. 質點動力學	30
-----------	----

引言	30	5. 參考座標系與慣性力	47
1. 牛頓三定律	30	6. 科里奧利力	51
2. 各類自然力	40	7. 功和能	56
3. 衝量與動量守恒定律	43	8. 萬有引力	66
4. 曲線運動中的作用力	46		

III. 剛體動力學	70
------------	----

引言	70	律	78
1. 質點組, 質心和重心, 剛體	70	4. 轉動剛體的功和能	79
2. 力偶和力矩, 剛體繞一軸線的轉動, 轉動慣量	73	5. 移動和轉動的剛體運動方程式	80
3. 衝量矩與動量矩, 動量矩守恒定		6. 平衡問題	83
		7. 迴轉儀	90

IV. 彈性力學	95
----------	----

引言	95	2. 彈性限度與極限強度	103
1. 彈性形變的類型	95	3. 彈性形變的能量	105

V. 流體力學	107
---------	-----

引言	107	5. 粘滯液體的運動	120
1. 流體靜力學	108	6. 斯托克斯定律	121
2. 理想流體的運動	114	7. 飛機翼的升力理論	122
3. 伯努利方程式	117	8. 泊肅葉定律	123
4. 動量不滅定律與流體反作用力	119		

VI. 振動與波 126

引言	126	11. 波的方程式和傳播速度.....	153
1. 簡諧運動	126	12. 惠更斯原理	158
2. 簡諧振動的能量	131	13. 波的干涉作用.....	160
3. 單擺, 複擺, 扭擺	131	14. 駐波.....	162
4. 在同一直線上振動的疊加和拍的產生	136	15. 波的能量.....	164
5. 互相垂直的振動合成	139	16. 多普勒原理.....	165
6. 阻尼振動	143	17. 聲的性質.....	167
7. 受迫振動與共振	145	18. 聲波的干涉.....	172
8. 複振動及其分析, 振動譜.....	147	19. 聲波的反射和吸收.....	173
9. 彈性介質內波的傳播, 縱波與橫波	150	20. 聲源.....	174
10. 平面波與球面波.....	153	21. 聲波的共振與聲速的測定.....	176
		22. 超聲波及其應用.....	177
		23. 雙耳效應.....	178

緒 言

1. 物理學與辯證唯物論

環繞我們周圍的任何空間，不論在什麼時間，都被各種形態的物質充滿着，這就是客觀存在的物質世界。所謂客觀存在，就是說物質是客觀的實在，並不是由人類意識創造的，更不是由某種神力佈置出來的。物質存在的形態和他們的運動^①是分不開的，不同方式的運動造成千變萬化的形態，通過人類的智慧和勞動力，掌握了自然規律，可以把物質改變形態，但不能把物質消滅。宇宙間沒有非物質^②的運動，也沒有不運動的物質。自然科學研究的對象，簡括一句話，就是研究各種物質的運動規律，並運用這些規律來改造自然，為人類服務。

全部自然科學分物理科學和生物科學兩大類，生物科學是研究一切有生命的蛋白質運動，凡是無生命的機械運動（蛋白質運動也包含着機械運動）盡在物理科學研究範圍之內。物理科學包括物理、化學、天文、地質、氣象及各種工程如機械、土木、電機、建築等學科，而物理學本身僅是研究物質最普遍的性質及其最簡單的運動形式；可是它是一切自然現象的基本知識，其他各科是研究比較複雜的運動都以機械運動作基礎，如果基本知識不鞏固，談不到

① 這裏所說的運動是個哲學名詞，凡物質起任何變化都叫作運動，物質位置的移動當然也包括在內，所以它是一個廣義的運動。

② 光波熱波等一切都是電磁波，都在運動着，根據量子學說，可以證明他們也是物質（將在原子物理中證明），所以全宇宙之間沒有絕對真空的區域。

深入研究複雜運動，所以物理學在自然科學中所處地位非常基本，十分重要，但有些問題和化學的界限不能分得很清楚。

2. 物理學研究的方法

爲便於研究起見，把物理學分成力學、分子物理學、電磁學、光學和原子物理學五部份，各部份都有依賴關係，彼此不能分割，全部互通之點爲空間、時間、質量和能量四個要目，一切形式的機械運動都可以歸納到這四個要目裏來討論。以研究的物質對象而論，還可以分宏觀世界和微觀世界兩個領域，凡屬於分子和原子以外的問題，擴大到天體運動，都是宏觀的範圍，分子和原子以內的問題，一直小到原子核心內部，都是微觀的範圍。微觀和宏觀的兩極，運動的規律截然不同，不能用同一種概念來研究。

原理的發掘主要依靠實驗，實驗就是科學實踐的一種方式，惟有通過實踐才可以得到感性認識，然後借重數學的幫助，提高到理性認識，再由理性認識回頭再來改進前次的實驗，使所得的結果更準確更精密，逐漸接近於絕對真理，如此反復提高，精益求精；如果不如此作，則所得實驗結果，永遠停留在初步的相對真理上，無法再進步。在某些問題上（如在微觀和宏觀的兩極），實驗不好作，直接的觀察辦不到，祇好用間接的方法，先設立一個假定，如果這個假定不錯的話，應該有某一個間接的現象出現，這個間接現象，是預先根據了假定計算出來的，後來通過試驗，果然出現了預先所盼望的現象，這時還不能立刻斷定那個假定是對的，一個重要定律必須經過多次不同條件下的計算和實驗，如果每次都對，才可以下結論，肯定那個假定是接近絕對真理的；不然的話，不能稱作定律，這種研究方法在物理學上例子很多。凡先設立一個假定，然後通過各

種不同條件的實驗，證明他的結果始終和理論一致，這叫作物理學抽象法，為辯證邏輯所容許，而不是唯心認識論。

3. 學習物理學的要求

上面已經把物理學的性質和內容說清楚，現在要進一步說明學好這一門課程有那些要求：

(1) **重視實驗** 物理學上一切定律都可以用實驗表演，凡不能直接或間接表演出來的理論，就不容許在物理學中存在。學習物理學的目的，不但為了要認識自然的規律，更主要的是要把他的原理應用到生產建設而為人類謀幸福，因此我們所需要的是實驗結果而不是空洞的理論。

(2) **數學工具** 實驗的結果精確程度愈高，愈需要數學的幫助。當研究微觀領域問題時，必須有充分的理性認識之後，才可以安排實驗，否則無從捉摸，研究天體的宏觀物理也是如此。理性認識愈深刻，就需要更多更深的數學工具。

(3) **量度概念** 所謂物理實驗，就是各種物理量的測定，測定必有量度，基本量度有權、度、時三種。權測物質之重，度測物質的位置和大小，時測物質移位的時間。三者之中祇有時間都是以秒為單位（ $1/86400$ 平均太陽日），權、度二者各國制度不同，將在下節討論。茲令 M 、 L 、 T 三符號各代表權、度、時三種度量，一切物理量都可以用 M^l 、 L^m 、 T^n 來代表他的因次（或稱量綱），例如能量 $\frac{1}{2}mv^2$ ， m 的因次為 M ， v 的因次為 $\frac{L}{T}$ ，所以 $\frac{1}{2}mv^2$ 的因次為 ML^2T^{-2} ，即 $l = 1$ ， $m = 2$ ， $n = -2$ ，餘類推。這裏有一個重要概念，

凡一物理方程式中各項的因次必然相同，不容許參差不齊，如果不齊，必然有錯誤。一個物理量祇有一個因次，因次相同的未必表示同一物理量，例如功和力矩的因次都是 ML^2T^{-2} ，但物理意義截然不同。

(4) **體會意義** 物理現象與人生接觸最多，到處可以碰到不易解釋的實際問題。已經發掘出來的原理，也是頭緒紛繁，初學的人很難融會貫通。單位計算也不容易搞清楚，就算一切了解清楚，還是可以作不出習題。主要原因是因為初學的人練習作得太少，功力不足，對每個物理意義體會得不够深刻，不能任意變化。補救辦法，希望把本提綱反復閱讀，因為本提綱各章各節都說得淺顯扼要，把比較難於理解的物理意義，作重點敘述，所舉的例題，有充分代表性和啓發性，而且提綱挈領，篇幅簡短，很容易全盤領略，能起很大的幫助作用。

4. 量 度 單 位

量度單位可以任意選取。在歷史上，長度單位的選取，以實際事物聯系的，例如：古代俄國用肘^①，英國用脚^②來定長度單位的，中國古代的尺最早是依據蒼草^③兩節間的長度定出來的，這是由客觀物質決定人類意識的一個顯著例證。

到了 18 世紀才由法國科學家製訂“絕對”單位制，決定選取通過巴黎的子午線的 4 千萬分之 1 作為長度單位，“米”(meter)，縮寫符號為 m，並用鈹鉑合金（因鈹鉑不易受溫度影響）作成標準原

① elbow

② foot

③ 在伏羲時代，把蒼草（或稱靈草）兩節間的長度定為一寸（不是現在的寸），10 寸為 1 尺，最長蒼草有 100 尺（見易經）。後來用 120 粒秬黍的橫腰排列起來作單位長度（見漢書）。即後來魯班所定的營造尺。

器，保存在國際權度局中，他的輔助單位都按 10 進制製訂。近代的長度單位用鎘^①的紅色光譜線的波長作基本單位，標準米（在 760 毫米大氣壓，15°C 室溫之下）等於 1553164.13 倍的鎘光譜線波長，因為光波的波長絕對不受溫度與氣壓的影響，比銥鉑標準器更準確。

權重的絕對單位用克(gm)或用仟克(kg)，國際標準局的規定以純水在 4°C 溫度及 760 毫米的大氣壓力下，盛在 0.001000027 立方米的容器中，定此水重為 1 仟克(kg)。粗略言之，在同樣條件下，1 立方厘米(cc.)的純水之重定為 1 克(gm)。

標準時間，在科學上各國都用秒為單位，1 秒(sec.) 等於 1/86400 平均太陽日。此外面積和體積的單位，都可以從長度平方和立方起來便是，在科學上最通用的 cc. 便是立方厘米，還有升(liter 亦稱公升)便是 1000.027cc.，約 1000cc.，英制單位容器稱加侖(gallon)，22 加侖 = 100 升。中國市場上即用 1000cc. 為 1 升，10 升為 1 斗，10 斗為 1 石。中國的實用度量衡制，數千年來沒有統一過，直到抗日戰爭(1937)前兩年才把他和米制聯繫起來，稱 1、2、3 制，即 1 升 = 1 升，2 市斤 = 1 公斤，3 市尺 = 1 米。

目前理工各科在國際上所通用的量度單位有兩種，一種是絕對單位，稱厘米、克、秒(C.G.S.)制；度用厘米，權用克，時用秒。一種是實用單位，稱米、仟克、秒(M.K.S.)制；度用米，權用仟克，時仍用秒。這兩種制度，在本提綱中並立應用，以利讀者。

物理學發展簡史分在各部門總論中敘述。凡屬高中物理學中的教材，除了難解部份，儘量從簡，以省篇幅。

① Cadmium

絕對米制長度表 (附英制)

毫 米 (mm)	厘 米 (cm)	分 米 (dm)	米 (m)	英 制	中 國 實 用 制
1	0.1	0.01	0.001	0.0394 吋 (in.)	中國長度的實用制稱市尺, 1 市尺 = $\frac{1}{3}$ 米, 稱米爲公尺, 其餘輔助單位亦以十進, 1 市尺 = 10 寸, 1 寸 = 10 分, 一仟米稱一公里。科學上採用米制。
10	1	0.1	0.01	0.3937 吋 (in.)	
100	10	1	0.1	{ 3.9370 吋 (in.) 0.3281 呎 (ft.)	
1000	100	10	1	{ 39.3701 吋 (in.) 3.2808 呎 (ft.)	

上表的分米不常用, 大於米的輔助單位爲千米, 1 千米 (km) = 1000 米 (m)。在微觀物理學中, 常用比毫米更小的輔助單位, 例如: 1 微米 (μ) = 10^{-6} 米 (m), 1 Å (Angström) = 10^{-8} 厘米 (cm) (光學用), 1 X.U. = 10^{-11} 厘米 (cm) (X-射線上用)。	英制與美制略有不同, 他們的差別甚微, 都在小數四位以下。 1 呎 = 12 吋, 1 吋 = 8 英分, 不以十進, 很不方便。 大的輔助單位: 1 碼(yd) = 3 呎(ft.) 1 哩(mile) = 5280 呎(ft.) 1 海里(knot) = 1.1516 哩(mile) = 赤道線上 1 分弧長度。
---	--

標 準 權 重 表 (附英制)

克 (gm)	千 克 (kg)	英 制	中 國 實 用 制
1	0.001	0.03215 英兩 (ounce, oz.)	1 千克 (kg) 稱 1 公斤， 1 公斤 = 2 市斤， 1 市斤 = 500 克， = 16 兩。
1000	1	2.20462 磅 (lb.)	1 兩 = 10 錢， 1 錢 = 10 分。
1000 千克 (kg) = 1 公噸 (ton)		英美兩國略有出入，差別在四位小數以下。 1 磅 (lb.) = 16 英兩 (oz.) 2000 磅 = 1 短噸 2240 磅 = 1 長噸	

總 論

力學是物理學中發展得最早和最成熟的一門科學，因為力的作用可以使物體作機械運動，最富於直觀性，廣大羣衆容易吸取經驗。當他爲一門科學來研究，是在 16 世紀末葉（1581 年以後），由意大利哲學家伽利略①（1564～1642）創始的，他的貢獻首先是試驗出一個單擺來回擺動的時間是與振幅的大小無關。最著名的實驗是他在匹薩②斜塔上的實驗：拋下物體到地面的時間與物體的輕重無關，糾正了古代名哲學家亞里斯多德③（公曆前 384～332）的錯誤觀點。後來他又發明望遠鏡，開闢了一條天文學的道路。在他的同時期，出了一位天才天文學家開伯勒④（1571～1630），發現三條不朽的行星運動規律（見後），後來給牛頓作爲萬有引力最可靠的根據。當伽利略死後不到一年，偉大科學家牛頓⑤（1642～1727）在英國出世，牛頓三定律把過去各家的實驗記錄總結出來，成爲力學上的公理，奠定經典力學的基礎。他又發掘出萬有引力原理，使天體問題和宏觀物質之間的作用肯定下來，使人類的智慧大大地向前推進一步。直到本世紀初期（1905）又由德國的愛因斯坦⑥創立了相對論，把牛頓力學加以修正，擴大了應用範圍。因為在牛頓時代，凡有關原子的問題還沒有人試驗過，所有物理現象都局限於宏觀世界。物質的運動都比光速小得多，一切物質的質量不管他作多大速度的運動，總是當他不變的，可是到了原子問題

① Galileo

② Pisa

③ Aristotle

④ Kepler

⑤ Issac Newton

⑥ Einstein

時，進入了微觀世界，微小的電子等物質的運動速度，常常會接近光速的，根據相對論和精確的實驗，可以證明他們的質量是速度的函數，不可能是一個常數，因此經典力學就受了限制，這是自然科學在二十世紀開始以來的最大發現。然而牛頓的經典力學仍然是一切力學的基礎，不能放棄或忽視。

力學的範圍，主要是討論物體的機械運動，包括波動和聲學。空間和時間是物質存在的形式，能量是物質存在的形態，物質不滅和能量守恆定律是兩個很重要的基本概念。爲研究方便起見，擬劃分下列六部份來撰寫本篇提綱。

- | | |
|------------|-----------|
| I. 運動學 | II. 質點動力學 |
| III. 剛體動力學 | IV. 彈性力學 |
| V. 流體力學 | VI. 振動與波。 |

1. 運動學

引 言

所謂運動學祇討論物質的位移、速度和加速度，不問產生運動的原因。

每一物體在任何時間內，必定佔一空間單位，因此必須有一個座標系來確定他。但它同時可以有兩個以上的座標系統，例如：人在船上行走，船可以作為他的座標系；可是船在水中行駛，水是船的座標系；於是水對地球，地球對太陽，照這樣一步一步的推出去，可以推得很遠，結果這個人的行走速度對每一個座標系統都有不同的數值。因此我們說某一物體的速度或加速度時，必須指出對那一個座標系講的，如果不說，在習慣上，是指對觀察者講的或對地球講的。

對一切座標系統（或稱慣性系統）的運動數值都是相對的數值，宇宙間就找不出一個絕對不動的座標系（唯物觀點），所以任何物體不可能有一個絕對的運動數值，或絕對不動的位置。

1. 質點直線運動

所謂質點並不是代表沒有長、寬、高的幾何點，它是可大可小的，如果不把物體的自轉運動算進去，一個小小的電子和很大的日月星球都可以把他們當作質點看；相反的，如果把自轉運動算進去，就是電子也要當他是剛體。質點在直線上產生位移、速度或加速

度，不問那一種長度單位，必然有一個數量和一個運動的方向，二者合起來稱為矢量(或稱向量)，要解決運動問題，必先搞清楚矢量的運算法則。

a. 矢量和矢量的加減法 符號 $\vec{A}$ (或 $\vec{A}$) 代表一個有方向和有數量的物理量(例如速度、作用力等)時，就是說這個物理量的數量等於 A ， A 用任何長度單位，但與實際數量成比例， A 上的一劃(或 $\rightarrow$)表示此數量是有方向的。 $\vec{A}$ 的絕對值 $|\vec{A}| = A$ ；如 $\vec{A} = \vec{B}$ ，代表 $A = B$ ，而且 $\vec{A}$ 平行 $\vec{B}$ ，但並不表示 $\vec{A}$ 、 $\vec{B}$ 二矢量一定重疊在一起。一個物體受到兩個不同速度 $\vec{v}_1$ 和 $\vec{v}_2$ 時(設 $\vec{v}_1$ 和 $\vec{v}_2$ 在同一平面內)，它的總速度 $\vec{v}$ 可以按照平行四邊形方法加起來，作法如下：

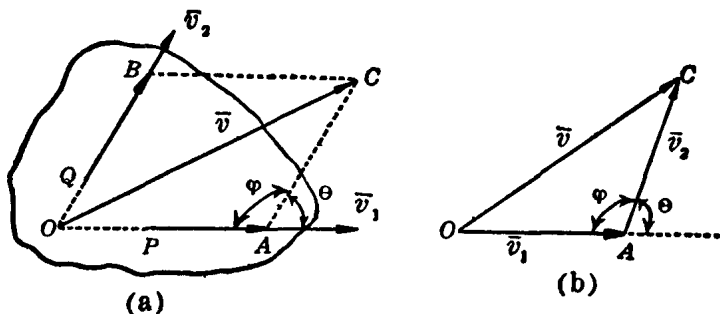


圖 1-1

圖 1-1 a 表示速度 $\vec{v}_1$ 、 $\vec{v}_2$ 分別作用在 P 、 Q 兩點上，要求出它的總速度 $\vec{v}$ ，應先把 P 、 Q 兩點移到交點 O ，劃令 $\overrightarrow{OA} = \vec{v}_1$ ， $\overrightarrow{OB} = \vec{v}_2$ ，作平行四邊形 $\square OACB$ ，對角線 $\overrightarrow{OC}$ 就是總速度 $\vec{v}$ ，算式表示為：

$$\overrightarrow{OC} = \overrightarrow{OA} + \overrightarrow{OB}, \text{ 即 } \vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad (1)$$

倘此物體為一很小質點，問題更簡單，因 P 、 Q 、 O 三點都集中在一

點上，頭一步把 P 、 Q 移到 O 點的手續就可以不要，直接劃平行四邊形即可，(1)式仍然成立。

(1)式的加法是矢量加法，不是代數加法，所以 $v \neq v_1 + v_2$ 。他們的數量關係，還是要應用三角上的餘弦(或正弦)定理來求的，即

$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cos \varphi$$

或
$$v^2 = v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \cos \theta \quad (2)$$

(注意兩式中的 $+$ ， $-$ 號。 $\varphi = \theta = \frac{\pi}{2}$ 為常用的特例)。

同理，用三角形來代替平行四邊形也是一樣的。參閱圖 1-1 b， A 點為二矢量頭尾相接處， O 為雙尾相接， C 為雙頭相接，因此我們在圖上可以看出總矢量 $\vec{v}$ 的兩端，是雙頭雙尾的，分矢量與另一分矢量連接處，是頭尾相接的，不看算式(1)，從圖上也可以看出那一個是分矢量，那一個是總矢量，這個關係下面很有用處。

把問題推廣到多邊形上去，如下圖：

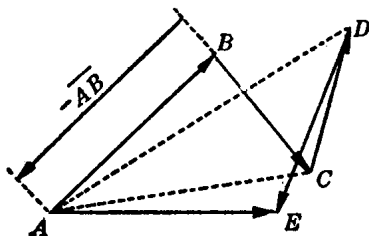


圖 1-2

圖 1-2 的多邊形不必在同一個平面上，虛線 $\overline{AC} = \overline{AB} + \overline{BC}$ ；虛線 $\overline{AD} = \overline{AC} + \overline{CD}$ ； $\overline{AE} = \overline{AD} + \overline{DE}$ ，三式相連，得

$$\overline{AE} = \overline{AC} + \overline{CD} + \overline{DE} = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} + \overline{DE} \quad (3)$$

(3)式表示矢量 $\overline{AE}$ 是矢量 $\overline{AB}$ 、 $\overline{BC}$ 、 $\overline{CD}$ 及 $\overline{DE}$ 四個矢量之和，從圖或從算式都可以看出 B 、 C 、 D 三點為頭尾相接處，祇有 A 是雙尾接點， E 是雙頭接點，根據上述法則，我們可以立刻看出 $\overline{AE}$ 是

總矢量，其餘都是分矢量，此法可以推廣到任意多的多邊形上去。

矢量 $\overline{AB} = -\overline{BA}$ ，代入(3)式，得

即 $\overline{AE} = -\overline{BA} + \overline{BC} + \overline{CD} + \overline{DE}$

$$\overline{BA} + \overline{AE} = \overline{BC} + \overline{CD} + \overline{DE} \quad (4)$$

(4)式表示等號左右兩邊的總矢量都是 $\overline{BE}$ ，從圖 1-2 的圖線來體會也可以看出同樣結果。這個關係，將來在相對運動問題中應用，可以把物理意義弄得非常簡便清楚。矢量的減法就是與負矢量相加，例如

$$\begin{cases} \overline{A} + \overline{B} = \overline{C} \text{ 可以看作} & \text{(此處的字母即代} \\ & \text{表各矢量長度。)} \\ \overline{A} = \overline{C} - \overline{B} = \overline{C} + [-\overline{B}] \end{cases}$$

或 $\begin{cases} \overline{AB} + \overline{BC} = \overline{AC} \text{ 可以看作} & \text{(此處的字母祇代表} \\ & \text{各線段兩頭的點。)} \\ \overline{AB} = \overline{AC} - \overline{BC} = \overline{AC} + [-\overline{BC}] = \overline{AC} + \overline{CB} \end{cases} \quad (5)$

b. 位移、速度、加速度 物體位置移動，不問時間長短，稱作位移，如(圖 1-3)由 A 點到 B 點，其位移長度為 $x - x_0$ ，他是一個

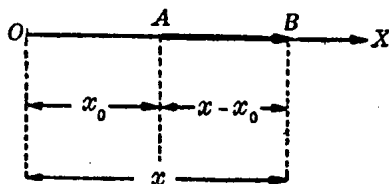


圖 1-3

矢量。設 t_0 為物體在 A 點的時間， t 為到達 B 點的時間，則

$$\bar{v}_a = \frac{\overline{x - x_0}}{t - t_0} \quad (\overline{x - x_0} \text{ 表示矢量}) \quad (6)$$

此稱物體在 A, B 兩點間的平均速度，他也是矢量，因為 $\overline{x - x_0}$ 是矢量，時間不是矢量而是一個常量，以一常量除一矢量，數量雖已不同，方向仍然不變。如果祇問物體在每秒鐘位移的大小，不問它