

大學叢書

普通物理學

第一冊

方聲恆編著

臺灣商務印書館發行

大學叢書

普通物理學

第一冊

方聲恆編著

臺灣商務印書館發行

中華民國六十六年十二月初版

大學
叢書

普通物理學 第一冊

定價新臺幣九十六元正

編著者 方 聲 恒

發行所 臺灣商務印書館股份有限公司

臺北市重慶南路一段三十七號

印刷及發行所 臺灣商務印書館股份有限公司

登記證：行政院登記證第111111號

版權所有
翻印必究

序

物理學爲一種基本科學。對其他各種科學俱有深遠之影響，因此不獨主修物理及工程之學生必須對物理之基本觀念有透澈之了解，而且任何人擬在科學領域建立前途者（包括主修生物、化學與數學之學生），必須有同樣程度之了解。

普通物理學對科學與工程學生之主要目的（亦是普通物理學之所以列入其課程表內之理由），是授學生以統一之對物理之認識，此應就分析基本原理其含意，及其限度入手。

薩本棟先生在我政府遷台之前爲我國物理界之耄宿執教於北平清華大學物理系有年，研究及講學蜚聲國際，道德文章群所景仰，聲恒早歲就業北平，與薩先生常相過從，執晚輩禮，得薩先生指教者良多。惜共匪作亂河山破碎，聲恒隨政府播遷來台迄今，與薩先生已睽違逾三十年，音訊無由得通，引領雲天，曷勝惆悵。

薩先生於民國二十年曾著有大學叢書普通物理學一部，由商務印書館出版，民國二十二年改爲訂正版，其中講解精闢文字優美，除清華大學爲之倡，率先採用爲大一普通學教科書外，其他大學亦相率採用，政府遷台以後在台各大學採用書籍，以英文版本爲主，且各校間不一致。商務印書館不忍見優良教本從此湮沒，於是有重編薩著普通物理學之議。惟薩著係成於民國二十年，距今已四十餘年，在此時距物理界新發明新事物不知凡幾，雖云普通物理學屬入門學科不應包羅太多，內容太深，然身爲核子及太空時代之理工科大一學生，其科學基礎及科學常識實應與世界其他國家同年級之學生相埒，故其所用教本內容，應予隨時革舊，務所能追隨世界潮流所趨而不貽大量落伍之議，不獨講材內容，即講義程序亦應隨時注意調配，以配合各埠

學之革新，以求最高教學效率。承商務印書館以重編薩先生普通物理學一書之工作見屬，爰就原書所有四十餘年來無甚更新者予以保存，遇有已有新智識摻入者，則就新智識部分加入之。講述程序如與新趨向不同，則更換章節程序或全章重撰以求新爲主。書內新增問題及套題甚多，多數爲原書所無者，以增加學生之演習經驗與能力。如有未當之處，尙祈海內外碩彥多賜指正無任企禱。

民國六十六年十一月方聲恒謹識

引言

(0.1) 自然科學與物理學 各科自然科學 (natural science) 之基礎，均係建立於自然現象上；然支離片段之自然現象 (natural phenomena)，在未經科學家以科學的方法整理使成為有系統的智識以前，不得視為科學。此與樓房雖由衆多磚石組織而成，然堆聚之磚石，未經匠人以相當方法配合以前，不得視為建築物之理同。

物理學 (physics) 為自然科學之一，故研究物理學者，亦當根據科學方法對於物理學範圍內之特殊自然現象作有系統 (system) 之探討，以尋求表顯各現象之法則，及其相互之關係。在未討論物理學各問題之前，茲先申述科學方法之概要，次說明如何實施科學方法以尋求表顯各物理的現象之律例及其相互關係，然後劃定物理學所討論各現象之範圍，以示物理學與其他科學不同之點。

(0.2) 科學方法 (scientific method) 所謂科學方法云者，在理論方面，不外歸納 (induction) 及演繹 (deduction) 二法而已。自多數之特殊情形而尋得一普遍之法則，謂之歸納法。例如 Newton 將自由落體之運動，與月球及行星之運動，詳加比較，乃發見萬有引力定律 (law of universal gravitation)。又例如由動能 (kinetic energy) 與位能 (potential energy) 之交換法則，熱能 (heat energy) 與功 (work) 之關係，及電能 (electrical energy) 與化學能 (chemical energy) 或機械能 (mechanical energy) 關係等等，乃有能量不減定律 (law of conservation of energy) 出現。既發現一普遍原理以說明多數之現象後，乃更由之以推出他項已知或未知之事實，是謂演繹法。例如承認能量不減定律，則冷次 (Lenz) 定律及法拉第電磁感應定律 (Faraday's law of electromagnetic induction)，均可求得

；又例如承認光爲一種波動及海更史原理（Huygens' principle），則不但可推出光之反射（reflection）及折射（refraction）各定律，且可預計在何種情形之下光將發生干涉（interference）偏振（polarization）等等作用。

演繹法之運用頗爲便利，惟如用之於以事實爲根據之科學，須特別謹慎；因所據以推演之原理常有其一定之限度，故由此所推演之結論是否真確，當視用此原理時有無超越其限度而定。研究科學之方法雖大體爲歸納的，然欲完全藉歸納法而屏棄演繹法，則不但進境緩滯，即在實施方面恐亦爲不可能之事；蓋設計各種實驗以尋覓新事實而作歸納之根據時，嚴格言之，終不能不利用演繹法則也。是故研究科學者，對於演繹與歸納二法，須同時並重。

（0.3）科學方法之實施：觀察（observation）與實驗（experimentation）。科學之目的，既爲尋求表顯各種自然現象之律例，及其相互之關係，故研究科學之第一步工作，即爲搜集事實。事實之搜集，固以細察自然現象爲主，惟純粹有限數之固定自然現象，以作觀察（observation）之資料，其效果殊小。除此等固定之自然現象外，物理學之多數事實均藉有系統之實驗（experimentation）以尋得之。所謂實驗云者，即指在吾人節制下之觀察。換言之，將有關係之情形變更，以觀察現象所受之影響，名爲實驗。例如考究地球吸力之情形，固可由觀察各處自由落體（free falling bodies）之加速度（acceleration）而知其梗概，惟若繫輕重不同之物體於長短不等之繩端，以作擺（pendulum）之實驗，則觀察更易準確，其所得結果之重要且絕非觀察自由落體所能望及。雖然，亦有自然現象，例如天體（celestial body）之運動，吾人無從節制之，故討論此等科學（例如天文學（astronomy）時，只能根據觀察之結果。

（0.4）單位與數值 觀察與實驗之結果，可分爲定性的（qualitative）及定量的（quantitative）兩種。在物理學中，數量的關係尤爲重要。欲求數量的關係，必賴準確之量度（measurement）；

而當作各種量度時，必先規定相當之標準以備比較之用。此種標準名爲單位 (unit)。某量與表此量之單位之比值，名爲其數字 (numeric)。例如言某線長十尺，意即指此線之長，與長一尺之線之比爲十倍：十尺兩字中，尺爲單位，十則爲數字。凡表一量時，單位與數字均須表出，方爲準確。量度之目的在求準確數據 (data)，惟各種量度結果均不免有誤差 (error)，有時需賴各種補救及考核方法。

(0.5) 現象之解釋 既有事實，則第二步工作乃爲進而分析並綜合各事實以解釋其相互之關係。所謂某現象已有解釋 (Explanation) 云者，不過指該現象與已知較顯著之事實之關係已明瞭而已。例如水銀在真空長管中之上升，至托里切利 Torricelli 時方有解釋；此解釋所根據之較顯著事實，則爲空氣係有重量之流體 (fluid)，及流體因其重量可生相當之壓力二事。換言之，某現象與他事之因果關係一明，此現象即可視爲已有解釋；至於用以解釋此現象之其他事實，其本身是否已有解釋，則爲另一問題。

在解釋一現象時，常先假設某種說法之真確，而顯示可以由之推演得所欲解釋之現象。此等假設 (hypothesis) 之數目及性質雖無特種限制，但假設之優劣則視其所能解釋事實之多寡而定。能解釋之事實愈多，則假設之近真程度亦愈佳。若有一假設能解釋衆多之事實，其說常被擴充而成一學說 (theory)。例如分子運動學說 (Kinetic theory) 本爲解釋氣體壓力之一假設，因其所能解釋之事實甚多，故遂成爲物理學中極重要學說之一。

(0.6) 自然律 研究科學之最後步驟爲綜合各結果以最簡單且精確之文字或公式表出，而爲自然界之定律。自然律云者 (natural law) 蓋即敘述在某種情形之下，某事將若何發生之定則也。此種敘述 (statement) 不但須與已知事實無悖，且當不因將來新發現之事實而變爲不確；惟如有較普遍之自然律出現時，此已成立之自然律，常可歸納於其中。例如未經支托之物體必降落於地上係一自然律，惟自較精密之考究，牛頓 (Newton) 乃發現兩物體均互相吸引 (即萬有引

力) (law of universal gravitation) 之定律。此現象發現後，未經支托物體必下墜之一定律，乃包括於萬有引力定律之內。

自然律之證明，有時可自觀察及實驗結果，直接歸納而得之。例如萬有引力定律可自月球與行星之運動，及自由墜體之運動推得之。惟多數自然律之證明係間接的 (indirect)，其驗證方法，即僅顯示由此定律所推得之結果，與觀察或實驗結果不相矛盾而已。例如 Newton 之第一運動定律，熱力學之兩定律及磁極間互相吸引 (attract) 或推拒 (repulse) 之力律等等，雖均無直接準確之證明，然因由之所推得之結果與事實均符合，故亦為物理學上公認之自然律。

(0.7) 物理學之範圍及分科 自然科學之分類，各家所主者互有出入。茲視其所討論之自然現象為有機的或無機的，而分之為生物的科學 (biological sciences) 及物理的科學 (physical sciences) 兩大類。物理的科學又可分為地質學 (geology)，天文學 (astronomy)、氣象學 (meteorology)、礦物學 (mineralogy)、化學 (chemistry) 及物理學 (physics) 等等。此等科學之分界線，本不甚明晰；就中以化學與物理學之範圍尤難劃清。例如放射性 (radioactivity) 與液體導電等問題，物理學家與化學家均各有其貢獻，不得重此而輕彼。概要言之，化學之主要使命為研究物體組合之變更情形，物理學則以考究物質之特性及能量之變化為其範圍。惟近世理論化學有極驚人之進展，而吾人對於物質之構造，因物理家之研究，有較確切之了解，故物理學所討論之問題，常不免侵入化學範圍之內；前所述之例，即其明證。是以此種分法，亦只可視為一種之大概分類，不必過於拘泥墨守也。

為便於初學者起見，吾人常就其所討論較顯著之現象，而分物理學為運動學 (kinematics)、力學 (mechanics)、波動學 (wave motion)、聲學 (sound)、熱學 (heat)、電磁學 (electricity and magnetism) 及光學 (light) 七部分。本書將按此次序而分別討論各部分之重要內容及其相互關係。

普通物理學 第一冊

目 次

引 言	1
第一編 力 學	1
第一章 測 量	1
第(1-1)節 物理量，標準，與單位	1
第(1-2)節 參考坐標	2
第(1-3)節 長度之標準	4
第(1-4)節 時間標準	6
第(1-5)節 單位的系統	10
第二章 向 量	14
第(2-1)節 向量與純量	14
第(2-2)節 向量的相加—幾何方法	15
第(2-3)節 向量的分解與相加—分析法	17
第(2-4)節 向量乘法	23
第三章 在一維中的行動	32
第(3-1)節 力 學	32
第(3-2)節 粒子運動學	32
第(3-3)節 平均速度	33
第(3-4)節 瞬間速度	34
第(3-5)節 一維行動—變動速度	36
第(3-6)節 加速度	41

第(3-7)節	一維運動—可變加速度	43
第(3-8)節	一維運動—固定加速度	44
第(3-9)節	單位與因次的一貫性	47
第(3-10)節	自由落體	50
第四章	平面運動	61
第(4-1)節	位移，速度與加速度	61
第(4-2)節	在一個平面內行動用等加速度	62
第(4-3)節	拋射體行動	64
第(4-4)節	均勻圓周運動	69
第(4-5)節	相對速度與加速度	73
第五章	粒子動力學	83
第(5-1)節	引 言	83
第(5-2)節	古典力學	84
第(5-3)節	牛頓第一定律	85
第(5-4)節	力	88
第(5-5)節	質量；牛頓第二運動定律	90
第(5-6)節	牛頓第三定律	93
第(5-7)節	力學單位的系統	97
第(5-8)節	力的定律	98
第(5-9)節	重量與質量	99
第(5-10)節	量力的步驟	101
第(5-11)節	牛頓運動定律的幾個應用	102
第(5-12)節	摩擦力	111
第(5-13)節	均勻圓動的動力學	118
第六章	功與能	138

第(6-1)節	引 言	138
第(6-2)節	一個固定的力所做的功	139
第(6-3)節	可變的力所作的功——一維情形	144
第(6-4)節	變化中的力所作的功——兩維情形	147
第(6-5)節	動能與功與能理論	148
第(6-6)節	功—能理論的要點	151
第(6-7)節	功 率	152
第七章	能量守恒	159
第(7-1)節	引 言	159
第(7-2)節	守恒的力	160
第(7-3)節	位 能	165
第(7-4)節	一維的守恒組合	170
第(7-5)節	機械能與位能曲線	175
第(7-6)節	二與三維的守恒組合	177
第(7-7)節	非守恒的力	180
第(7-8)節	能量守恒	183
第(7-9)節	物質與能量	185
第八章	線動量的守恒	197
第(8-1)節	質量中心	197
第(8-2)節	質量中心的行動	203
第(8-3)節	一個粒子的線動量	206
第(8-4)節	一個系統的粒子的直線動量	207
第(8-5)節	線動量守恒	208
第(8-6)節	動量原理的幾個應用	210
第九章	碰 撞	

第(9-1)節	碰撞是什麼	223
第(9-2)節	衝擊與動量	225
第(9-3)節	在碰撞時間的動量守恒	226
第(9-4)節	一維內的碰撞	228
第(9-5)節	在二與三維中的碰撞	235
第(9-6)節	截 面	239
第(9-7)節	反應與衰退過程	240
第十章	旋轉運動學	253
第(10-1)節	旋轉運動	253
第(10-2)節	槓桿及力矩定律	253
第(10-3)節	剛體的旋轉	256
第(10-4)節	旋轉運動學	258
第(10-5)節	固定角加速度的旋轉	261
第(10-6)節	一個粒子在圓運動中的線運動學與角運動學的關係	263
第十一章	虛功原理	270
第(11-1)節	本章的問題	270
第(11-2)節	虛功原理	271
第(11-3)節	螺 旋	272
第(11-4)節	差動輪軸	273
第(11-5)節	差動滑車	274
第(11-6)節	機械之效率	275
第(11-7)節	靜力學各原理之回響	275
第十二章	旋轉動力學及角動量守恒	278
第(12-1)節	引 言	278

第(12-2)節	轉矩作用在一個粒子上	279
第(12-3)節	一個粒子的角動量	281
第(12-4)節	粒子的組合	286
第(12-5)節	旋轉與旋轉慣性的動能	287
第(12-6)節	一個剛體的旋轉動力學	291
第(12-7)節	角動量守恒	301
第十三章 剛體的平衡		318
第(13-1)節	剛體的平衡	318
第(13-2)節	重 心	320
第(13-3)節	平衡的例	323
索 引		337

第一編 力學 (Mechanics)

第一章 測量 (Measurement)

第(1-1)節 物理量，標準，與單位

物理學的構成塊是表達物理學各定律的物理量。其間有力 (force)、時間 (time)、速度 (velocity)、密度 (density)、溫度 (temperature)、電荷 (charge)、磁化率 (magnetic susceptibility)，以及很多其他的，在其間如力與溫度等等，是吾人日常應用的字彙，在如此應用方式下，其意義可能與其科學意義有差別。

爲物理學用途計，各基本量必須明確定義。一個觀點是一個物理量的定義必須在規定測量步驟之先予以規定。這稱爲操作觀點，因爲歸根是一套實驗操作用以得到帶單位的數字。操作過程，可能包括數學計算。

物理量時常分爲基本量及導出量，如此分類是任意的因爲一個指定的量，在一部分操作中可視爲基本量，在另一部分操作中可視爲導出量。導出量是根據其他物理量的測量結果而定義的。導出量的例有速度 (velocity)、加速度 (acceleration) 與體積 (volume)，基本量並不依其他物理量而定義的。作爲基本量之數目，是對各物理量提供明晰而一致的敘述所需的量爲最低的，舉例明之尋常目爲基本量者有長度 (length) 與時間，它們的操作定義包括兩個步驟：第一

，選擇一個標準，第二，成立操作程序以與標準比較，決定一個數字與一個單位來作為此物理量之量度。

一個理想標準有兩個主要特徵：它是容易進入（accessible）而不變（invariable）的。這兩個需要常是不相容的必需在其間予以協調。在先對進入性予以強調，但是隨着日益增多的科學及工藝的需要就要增加不變性，吾人習見之碼、呎與吋，舉例言之是源自吾人習用手臂、足及拇指直接作為標準，直至今日。當然如此草率的長度測量很難令人滿意；變動性遠低的標準即使減少了進入性，亦必須予以應用。

假定我們選擇一根棒作為我們長度的標準，棒的長度我們定義為一米。如果我們把這根棒與另一棒作直接比較我們得到結果是第二根棒比之標準棒是長三倍，我們說第二根長度是三米，但是如此同原始標準作直接比較很少能做到。間接測量，使用比較複雜的手續，是時常需要的。於是需要某種假設來連繫如此的間接測量與直接操作。舉例言之，天文距離，如同星座與地球間之距離不可能直接測量；同樣的，很小的距離，如同在原子（atom）與分子（molecule）中的，亦必需間接方法測量。

第(1-2)節 參考坐標（reference frames）

同一物理量，如果由兩觀察者（observer）從相對行動的地點觀測，可能得到不同的數值。火車的速度，如果在地上測量，得一個數值，但是從一個行動中的車裏測量，就會得到另一數值，從一個坐在這火車裏的觀測者量起來這數值是零。在這些所得數值裏，沒有一個對任何另一個有基本的有利點，從從事測量的觀察者的觀點每一數值同樣“準確”。這點在進入以後課文前須予以了解。

大致說來，物理量測量所得數值與測量之觀測者之參考坐標有^{5,3}

。如果測量之物理量為速度，如前，這就很容易見得到，但是，同樣確實的，如果假設所量之物理量為一點的位移，兩個事件之間的時間間隔，一個電場，或一個磁場，欲求充分了解這四個特例必須等待學過相對論理論（relativity principle）之後。

在早期，物理學家群信有一個特殊參考坐標，稱為絕對坐標（absolute frame）存在，這坐標對於全部其他坐標有一個基本有利點：一個觀察者靜實在如此一個坐標中物理量即可有“真實數值”（real value）或“絕對數值”（absolute value），這個觀點現在已被擯棄，因為經過很多年代之後致力於尋取這絕對參考坐標的實驗努力已完全失敗。

考慮參考坐標若干，相互以均勻速度相對運行，及相對於恆星。如此（不加速，不旋轉）參考坐標稱為慣性參考坐標（inertial reference frame）實驗顯示全部慣性參考坐標對解釋物理現象完全一樣。在不同的坐標裏，觀察者可能對所量的物理量得到不同的數據（data），但所量物體的數據間的關係，亦就是物理定律，則對於全部觀察者完全相同。

舉例言之，假定觀察者當原子相碰撞的時候在各不同的慣性坐標內測粒子運動量（momentum），他們在個別粒子各自得到不同的數值的運動量以及粒子組合（system）的總運動量，但是每一觀察者都會注意到這組合粒子的總運動量，不問其所量得數值為若干，在碰撞之後之值必定與碰撞之前之值相同。另言之，每觀察者會注意到這碰撞服從動量不減定律。這我們在以後章節中將繼續討論。

因此，我們見到物理定律在全部參考坐標中是同樣的。但是物理量的量出數值可能或不可能完全相同。在習題中吾人常可以明晰的了解了吾人所用的是何種坐標。