

特夫物理學

DUFF 主編 張方潔譯

校閱者

裘維裕 張紹忠 楊肇熾

顧毓琇 任之恭 李熙謀 徐仁銑

上 冊

世界書局印行

3.4

5-3
206

特夫物理學

理工科學生適用

力學及聲學

(18)
特夫 (A. Willmer Duff) (主編) 著

波動學及光學

萊維斯 (E. Percival Lewis) 著

裴奇 (R. T. Birge) 與 黑爾 (E. E. Hall) 同訂正

熱學

墨敦黑爾 (Charles E. Mendenhall) 著

電磁學

克門 (Albert P. Carman) 與 納伯 (C. J. Knipp) 合著

張方潔譯

主	譯	發	出	發
編		行	版	行
者	者	人	者	所
特	張	李	世	世
	方	煜	界	界
夫	潔	瀛	書	書
			局	局

表

表 序

我國物理之學，本無專籍，其散見於古集者，亦語焉不詳。自歐學東漸，稍有撰譯之本，然亦寥若晨星，不足以供治物理之用。

特夫氏大學物理一書，行世已久，我國學校，用者甚多，然僅有英文本而無譯本，讀者非先習英文，不能明其義，而物理一書，一字一句，均有深意，不能明其義，則不能通其意。

去年春張君方潔將特夫氏大學物理譯稿見示，張君執教暨南大學，於物理深有研究，譯文亦真確明曉，能達原文之微意，裨益初學，實非淺鮮。

特夫氏之大學物理，分爲數篇，篇由一人專撰，故其體例不同，詳略不一，然取材豐富，要而不煩，深得著書之大體。初學者苟有良師之指導，悉心而研究之，於物理之學必能窺其門徑，再進而習高深物理，亦必迎刃而解。

余嘉張君之志而幸初學者之有良書，謹誌數語，以爲介焉。

裘維裕

民國二十七年十一月序於上海交通大學

上 冊 目 錄

力 學 及 物 性 學

引言.....	1
力學.....	4
運動學.....	5
位移幾何.....	5
速度.....	10
加速度.....	15
動力學.....	22
力及質量.....	22
合力——平衡.....	32
功及能.....	38
轉動.....	47
質量中心.....	51
力矩及轉動慣量.....	57
作用於一物體上各力之合力.....	63
平衡力.....	68
週期運動.....	73
摩擦.....	84
簡單機械.....	87
萬有引力.....	93
單位.....	98

物性學.....	100
物質之組織.....	100
固體之特性.....	103
流體之特性.....	114
液體.....	125
液體分子之特性.....	131
氣體之特性.....	140
參考書及習題.....	154

波 動 學

波之形式.....	163
簡諧運動之組合.....	166
由簡諧運動發生之波.....	172
波之重疊及干涉.....	174
波之速度.....	177
波之反射 定波.....	179
波之折射.....	183
紋波.....	184
參考書及習題.....	187

熱 學

引言.....	191
計溫學.....	193
膨脹.....	203
量熱學.....	217

物態之變化.....	231
熱之傳佈.....	252
熱之傳導.....	253
輻射.....	258
能量之不滅.....	266
熱力學.....	270
汽機之效率.....	285
參考書及習題.....	289

特夫物理學

力學及物性學

沃塞斯脫 (Worcester) 工科大学物理學教授

科學博士特夫 (A. Wilmer Duff) 著

引言

1. 物理學 (Physics) 爲科學之一種 吾人藉感覺作用，能知在四周之物理宇宙中，有種種物體存在；又知凡此種種物體，均具有慣性，重量，及彈性等共同之特性。此等特性爲組成各種物體之物質 (matter) 所秉有。物質本身不能活動。各物體交相作用，使我人感覺者，非爲物質，乃爲寓於物質之能 (energy)。能之意義，待後述之。其見於事實者，則如日光，燃料，及水壓等之作用，皆爲工業上與自然界中所習見者。

物理學爲關於物性與能量兩者之科學。此定義與化學所有者無異。蓋物理學與化學實無一定之界限。雖普通恆以化學爲研究物質化合及分解之科學。又各種應用科學亦探討物質之性質，但以實用爲指歸。

任何一種科學，不徒對於某類事實有詳細之記載而已。人類在最初時，於各種物理現象之知識，已頗豐富。但物理學之肇端，在於

我人能將此等知識加以整理，而考究其關係為何。關係發見愈多，此等物理現象之解釋愈富有科學之意義。在現代物理學於此方面之進步，勝於其他科學。而欲將現代物理學作一簡單之敘述，於各種主要事實外，更須將各事實間之關係說明之。

在物理學上，某類現象間之關係，常較他類為簡單。如在力學上，我人能由若干個簡易之運動定律，以解釋種種複雜運動。但在光、電等學，則我人必時常提出假設以推求種種理論結果。遇某假設失其效用時，即須另行提出一假設以應付之。

將若干事實比較而分類之，以發見其共同之原則，謂之歸納法(induction)。如牛頓(Newton)由月球，流星及各種落體之運動，以發見萬有引力。已知某原則為若干事實所共有，更由之推測其他已知或未知之事實，謂之演繹法(deduction)。此與幾何學上由一定理推知其他定理相同。在普通物理學內，演繹法較歸納法為常用，但各項重要原則，亦須述其如何用歸納法得之。

2. 量度(measurement) 在任何一種科學，欲考究其各事實間之關係，須將各個事實確切表明之。如在指述一物體之體積或重量時，不可僅及其大小。用數量表述同類事物時，須定一標準，用為某事物數量之單位。

量度之方法有兩種：一為直接法，即將某事物與其單位直接比較之。如用一碼尺或米尺以測量一竿之長短。一為間接法，須引用種種計算。如欲量度火車之速度，須由距離及時間兩者計算得之。

3. 觀察(observation)及實驗(experiment) 某等科學之研究方法，全恃觀察原有事實及其狀況為何。如天文學家之研究天象。但在物理上，舍觀察外，尤以實驗為重要。實驗者為變易原有事實及其狀況，以得到更有價值之觀察。如欲知地球對於物體之引

力，及在各地點此引力有無差異，若僅從各種高度自由落體方面觀察，則不能得滿意之結果。但若變易物體落下之形式，如用線以懸物體使作擺動，則所得結果更為準確。因此，物理學是一種實驗科學，即物理學家先由有一定計劃之實驗以求得知識，然後再用理解方法，尤以理解最正確之數學方法，推知一切可能之結果。

4. 假設(hypotheses) 欲解釋一事實，須明其與另一習知事實之關係。否則，即無從解釋之。例如以一真空管，閉端向上而開端向下，插入水銀槽內，即見水銀在管內上升，在初不能知其故。迨後在山上發見管內水銀之上升，與山之高度有關。於是知管內水銀之上升，實由於大氣壓力。在此例所有事實之解釋，由其與另一事實之因果關係得之。但此另一事實自身不必已有解釋。如大氣壓力之為何，其解釋直至最近方有之。

尚未完全證明之解釋，謂之假設。如大氣或任何氣體壓力之解釋為：大氣由於運動微粒所組成。此等微粒碰擊於某面時，即使某面上受有壓力。此謂之氣體運動之假設。在科學上，假設頗為重要。因欲證明其是否為確實，可喚起種種研究。有時雖據研究結果，知其為不確實，然在研究時，常能確定許多未知之事實，以之能得到最後確實之假設。或以理論(theory)一字用為假設。實則理論一字應作為假設之申論。在後討論氣體運動論時，其意義即依此。

5. 因(cause)與果(effect) 若有一事實常隨另一事實而發生，普通可認前者為後者之因，而後者為前者之果。例如，槍膛內火藥爆炸，為槍彈發射之因；而槍彈發射，為火藥爆炸之果。言兩事實有因果關係時，其意不但為一事實常隨另一事實而發生，且於兩者之間，認有一定不變之關係，即我人深信在同樣狀況下，自然作用均相同。

6. 物理定律 (physical law) 將一事實反復研究後，常能知在某種條件下，將有某種事實發生。例如不受支持之物體，落向地面。古代已知之。凡如是概括之原則，即成爲一物理定律。研究範圍愈廣，所得定律愈形普遍。如牛頓由月球，流星，及落體等之觀察，發見凡兩物體均有互相吸引之力。研究物理學之目的，在得到更爲普遍之定律。若所得定律未能以數式表示之，則不能稱完善。然欲有數式之表示，須施以量度及計算。如牛頓萬有引力之公式，係由量度及計算得之。從上可知，一物理定律者，爲表明在某種狀況下，演成某種事實。

物理學上各種定律之證明，有直接與間接之分。若有一定律，能從各種觀察或實驗事實直接證明之，如在幾何學上由一定理推得另一定理然，則此定理之證明爲直接。如萬有引力定律之證明爲直接，因其能從月球，流星等之運動直接證明之 (§143)。若有一定律，其種種推理之結果與各種觀察或實驗事實符合，則此定律之證明爲間接。如力學上各重要定律之證明，皆爲間接 (§36)。

7. 物理學之分科 爲便利計，物理學可分爲下列諸科：

- | | |
|----------------------|-------------------------|
| 1. 力學 (Mechanics) | 4. 電磁學 (Electricity and |
| 2. 波動學 (Wave Motion) | Magnetism) |
| 3. 熱學 (Heat) | 5. 聲學 (Sound) |
| | 6. 光學 (Light) |

力 學

8. 力學爲研究物體之運動，及此運動變化之原因，可分爲運動學 (Kinematics) 及固體力學 (Dynamics) 兩部。運動學討論各種不同之運動。固體力學討論運動變化之原因。運動學之異於幾何學

者，因於空間外，又涉及時間。固體力學又分爲動力學 (Kinetics) 及靜力學 (Statics) 兩部。前者討論正在運動之物體，後者討論靜止之物體，雖此等靜止物體亦有可動之因，但因所受之力互相消除，遂成靜止。(間亦有學者以動力學一名詞爲運動學者)。以下將力學各部分別討論之。

運 動 學

位移幾何 (Geometry of displacement)

9. 移動 (translation) 及轉動 (rotation) 運動可分爲兩種。若物體運動時，其各質點連成之直線，方向不變，謂之移動。如火車於直線軌道進行，及雪車在均勻斜坡滑下，均爲移動。因物體在移動時，各質點運動之方向相同，故物體內任何一點之運動，可代表整個物體之運動。而整個物體之運動，可視作一點之運動。

若物體運動時，各質點均畫成圓，而各圓之中心均位於一直線上，謂之轉動。此直線謂之轉動軸 (axis of rotation)。例如磨石，飛輪，鐘擺等之運動。物體轉動時，除與轉動軸平行之兩點外，其餘任兩點，速度不相同，即與軸距離較遠諸點速度較大，因畫成較大圓周之故。

許多運動之形式，頗爲複雜，但要皆由移動與轉動兩者所組成。

物體僅爲移動時，既可視作一點之運動，故先述之。

10. 點之位置 一點 (point) 之位置，由其對於另一點，或線，或面之距離與方向定之。最簡便法，爲確定其對於另一點之距離及方向爲何。此另一點可謂之原點 (origin)。

若干點之位置限止於一直線，或一曲線上時，各點之位置可由其對於該線上某一假設原點之距離定之。在原點之一方向可定爲

正，則相反之方向爲負。例如，鐵路上一車站之位置，可由其對於另一車站之距離定之。若在另一車站此面之距離爲正，則在彼面者爲負。此另一車站即作爲原點。

若干點限止於一平面或曲面內時，各點之位置可由其對於面上某一原點之距離及方向定之。例如在地面上某點之位置，可由其對於地面上某一原點之距離及方向定之。

凡點不限制於任何線或面時，其位置可由其對於空間中，某一假設原點之距離及方向定之。或由其對於通過此原點，互成垂直之三平面之正負距離定之。

在上第一例，一點之位置用一數確定之。第二例，用兩數確定之。第三例，用三數確定之。一點之運動限止於一線上時，謂之有一自由度 (degree of freedom)。限制於一面上時，謂之有二自由度。無任何限制時，謂之有三自由度。

上所述者，爲一點之相對位置 (relative position)，即一點之位置，由其對於某一原點之關係確定之。一點之絕對位置 (absolute position)，與任何點或坐標軸無表明或暗示之關係者，不能確定其爲如何，亦無一定意義可言之。在下述某點之位置時，係指其相對位置而言。所有之關係點，或原點，在未表明或暗示時，均認爲在地面上之某點。

11. 長度之單位 在指述一點之位置時，須用一長度單位。物理學上普通所用之長度單位爲米 (meter)，或其倍數與分數。一米爲於溫度 0°C . 時，一鉑銀棒上兩刻線間之距離。此棒現保存於巴黎 (Paris) 之國際量度制局 (International Bureau of Weights and Measures)。首創者以一米爲地極與赤道距離之十萬分之一。一米之百分之一，謂之釐米 (centimeter)。此爲常用之單位。一法

定碼爲一黃銅棒上兩直刻線間之距離。此棒現保存於倫敦 (London) 英國皇家國庫 (Exchequer)。在合衆國 (United States)，一法定碼之長度爲一米之 $3600/3937$ 倍。

12. 位移 (displacement) 位置之變易，謂之位移。在述一位移時，須說明其數量及方向爲何。例如，向南行 10 里，可指爲舟車等之位移。位移與時間無關係，與幾何概念相同。

在討論位移時，可於紙（或黑板）上畫位移圖線以表示之。例如，用一直線 AB （圖 1）表示一位移。線之長度表示其數量，但事前宜定某一長度爲標準，如以一釐米代表五哩等。對於另外之位移圖線，則更須有相當的方向以表示之。如兩直線 AB 及 BA 表示兩位移數量相等而方向相反。

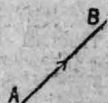


圖 1 一向線表示一位移

在圖中直線 AB 所示之位移，可簡稱爲位移 AB 。但有時須將位移之數量及方向完全說明之。

13. 位移之加法 若有一舟向東行 10 哩，再向北行 10 哩，則其結果位置在其原有位置之東北 $10\sqrt{2}$ 哩處。或可云該舟最後之位置，爲兩位移之和。故以 AB 表示一物體之第一位移（圖 2）， BC 表示第二位移，則 AC 即表示兩位移之和。由 AC 之長度，及 AB 或 BC 與實在位移之比，即可計算由 AC 所示結果位移之數量爲何。此謂位移之三角形加法 (triangle method)。

若作一直線 AD ，與 BC 平行而等長，又作一直線 DC ，與 AB 平行而等長（圖 2），則由 AD 與 DC 所示之兩位移，其和亦可由 AC 表示之。因此，用位移圖線將若干位移加合時，兩平行而等長之直線，可表示同一之位移。如 AD 與 BC ，及 AC 與 DC ，均表示同一之位移。此與位移爲位置變易之定義相合。因兩物體依兩平行線移

動一同一距離時，不論兩物體原有位置為何，彼此位置之變易相同。比如一建築物加建一層時，不論在何高度處加建之，整個建築物之增高，必等於加建一層之高度。

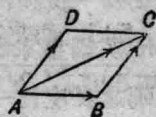


圖 2

由上可知，兩位移之加合，可有一新方法。即使 AB 及 AD 表示所有之兩位移，而由平行四邊形 $ABCD$ 所有通過 A 點之對角線 AC 以表示此兩位移之和。此謂位移之平行四邊形加法 (parallelogram method)；在實際上，與三角形加法相同。

欲將 AC , CD , 及 DB 三個位移加合 (圖 3), 可用三角形, 或平行四邊形加法, 先將在前二個位移加合之。然後再將所得之和, 與其餘一個位移加合之。若干個位移加合時, 欲由計算法得之, 頗為冗繁。但用作圖法, 則極簡易。即但須作一多邊形以 AC , CD , DB 等為順序各邊。結果位移 AB 即為各位移之和。至於各位移加合之次序, 則與合位移無關係。見圖 3 之虛線。

在上所述之各位移, 設為連續發生。但各位移亦可同時發生。同時發生之各位移, 其加法與上述相同。例如, 一氣船向前行 10 呎, 一人在船面上橫過船面行 5 呎, 則此人所有之結果位移, 與其先向前 10 呎, 然後再橫過船面行 5 呎相同。

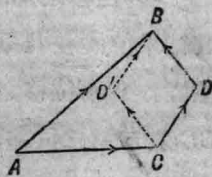


圖 3 位移之加法

位移之加法與算術及代數之加法不同。如兩位移長度均為 10, 若彼此方向不相同, 則其和不等於 20。位移之加法係為幾何加法。因所有之和, 可從三角形, 平行四邊形, 或多邊形等之作法得之。此種加法專用於有數量及方向之量, 在後將知此等量, 在自然界

中頗多。

若用三角形加法將 AB 及 BA 兩位移加合之 (圖 2), 可將 BC 轉動之, 使 C 與 A 兩點相合。所有得合位移爲零, 或 $AB+BA=0$ 。所以 $BA=-AB$ 。

14. 位移之分解及減法 若干位移可用幾何和代替之。反之, 一位移亦可用若干位移代替之。蓋此若干位移之和, 可等於所有之一位移。此謂將一位移分成爲若干位移之分解法。例如, 欲分解一位移 AC (圖 2) 爲兩已定方向之位移, 可由 A 點依兩位移之方向, 作兩直線, 而以 AC 爲對角線作一平行四邊形 $ABCD$ 。於是此平行四邊形之兩邊 AB 及 AD 即爲所欲求之兩位移, 因其和爲 AC 。

減法與加法相反, 10 減 4 等於 6 。 6 加 4 仍等於 10 。同樣, 由位移 PR 減去位移 PQ (圖 4), 所得之位移須爲其與位移 PQ 之和, 仍等於位移 PR 。由三角形加法, 可知此所得之位移爲 QR 。若作一平行四邊形 $PQRS$, 則此所得之位移爲 PS 。此 PS 與 QR 相等。

位移之減法可使與上述者稍異。由三角形加法, 可知 QP 加於 PR 即得 QR 。故欲減去一位移, 可即反其方向而加之。若用平行四邊形加法, 可使 $PQ'=QP$ 作成一平行四邊形 $PQ'SR$; 所得之結果位移爲 PS , 與用上段方法所得者相同。

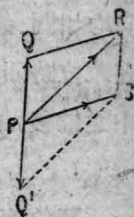


圖 4 位移之減法

15. 有向量 (Vector quantity) 及無向量 (scalar quantity)

凡有數值及方向之量, 謂之有向量。故位移亦屬於有向量之一種。其他如速度, 力等亦均爲有向量。所以速度與力之加法, 與位移之加法完全相同。

無方向之量, 謂之無向量。例如物質, 體積等之量。凡無向量可

單用一數目表示之，無復有方向之觀念。無向量之加法或減法，與通常算術及代數上相同。

速 度

16. 速度 (Velocity) 爲位置之移動率。位移既有一定之數量及方向，故速度亦有一定之數量及方向，或爲有向量之一種。在述一速度時，若僅云“每小時行二十哩”，不能爲完全。因但言及位移之大小，而未及位移之方向。但若云“每小時向東行二十哩”，敘述乃稱完全。每小時二十哩一語，可謂爲速率 (speed)，速率者爲但言及位移之數量，而不說明方向之變更。在一直線上之運動，速度與速率無分別之必要。

17. 等速度 (constant velocity) 若一點於相等時間中，位移相等，則其速度謂之等速度。位移相等云者，謂各移位之數量及方向均相同。故一點有等速度時，必作直線運動。等速度之數量，即爲在單位時間中位移之數量。若以 v 爲等速度之數量， s 爲在 t 時間中之位移，則，

$$s = vt.$$

一單位速度爲一點在單位時間中，運動一單位距離，如一秒內運動一釐米，或簡稱每秒一釐米等。

18. 變速度 (variable velocity) 若一點於相等時間中，移位不相等，則其速度謂之變速度。在連續相等之時間中，一移位可爲：(1) 數量有變易，如一點以變速率作直線運動；(2) 方向有變易，如一點以等速率作曲線運動；或 (3) 數量與方向均有變易，如一點以變速率作曲線運動。現先以例 (1) 屬於直線運動之變速度言之。