

現代

物理精析

· 上 冊 ·

林 井 編 著



現 代
物 理 精 析

〔上 冊〕

編 著 者 林 井

修 訂 版

桃 源 出 版 社 出 版

編 例

一、物理一科，近年不但在研究與應用方面，迭有驚人的進展；在教學趨向上，也有了顯著的改變——教學範圍上着重於大、小宇宙問題的討論；教學過程中着重模擬、實驗的方法的運用；測驗方面則着重理解與推理能力的考察。

二、自然學科首重系統地理解，故本書在編列上處處顧及由近而遠，由淺入深與由大而細等心理的和邏輯的原則，在闡述中則時時把握條分縷析的精神，務使在一定範圍內，易讀、易懂、易通。

三、物理教材之更新，並不意味舊教材之無用。其為新教材所輕或所無，但與生活或升學有關的部分（如熱學、聲學、簡單機械、電機、無線電等），本書仍詳予論列。對此，讀者自可選閱。

四、「新教材」的測驗形式，多採選擇題。惟此種試題預示答案於一定範圍內、忽視過程，而所佔篇幅亦多。凡此都不宜於以練習、複習、進修等為旨趣的書籍中採用。故本書於精選具有理解與推理內容之新問題後，仍兼以是非、填充、問答、實驗、計算等為主要命題形式。果能熟悉於此，對較此等形式尤易作答的選擇題，必可勝任愉快。

五、本書篇下為章，其各章內編次依序為：一、I、[i]、A、(a)、1 等。“研析”與“註”的下面，遇有不正一條時，以①、②、……區分。其“分類舉例”或“問題分類”之下，則依序為①、②。

六、本書之編、印，雖極慎重；疏誤之處，恐仍不免。至盼賢達不吝賜教。

物理精析 [上册]

目 次

序 篇

綜 論

[2—22]

怎樣學習物理學——代序——

物理學概說

第 一 篇

力 學

[23—294]

第 一 章 物理量的計度	24
附「物理量的計度」與「力之合成」實驗題	
第 二 章 基本運動〔一、直線運動〕	51
第 三 章 基本運動〔二、拋物線運動〕	72
第 四 章 運動與力	87
第 五 章 萬有引力	116
第 六 章 周期運動	125
附「單擺」實驗題	
第 七 章 剛體的轉動與平衡	167
附「力矩與平行力」及「輕微重量之測定」實驗題	
第 八 章 功與能	213
第 九 章 摩 擦	237
附「摩擦」實驗題	
第 十 章 簡單機械	259

第二篇

物性學

[295—378]

第十一章 彈性與彈性碰撞	296
附「虎克定律」實驗題	
第十二章 分子運動與分子力	319
附「分子的質量與直徑的測定」實驗題	
第十三章 靜止的液體	330
附「阿基米得原理與比重之測定」實驗題	
第十四章 靜止的氣體	352
附「波義耳定律」實驗題	
第十五章 流體的流動	366

第三篇

熱學

[379—432]

第十六章 溫度、熱量及其變化	380
附「固體比熱之測定」實驗題	
第十七章 物體的膨脹	396
附「膨脹係數之測定」實驗題	
第十八章 物態之變化	417
附「冰之熔解熱」、「冰之汽化熱」及「露點與溫度」實驗題	
第十九章 熱與功	432

篇

序

論

綜

怎樣學習物理學

——代 序——

一、「學習」不是「研究」

許多讀完中學物理課程的人，常仍發出「怎樣學習物理」的問題；這是有原因的。

我們遍察坊間所售有關課本或參考書，到現在為止，似還沒有對此提出過正面的答覆；有的，也祇是文不對題地說些像觀察、實驗等研究物理學的方法。其實，不論在目的、活動和從事者所需的條件來說，「研究」與「學習」都是有區別的。我們能明辨於此，才能正對問題、接觸問題以至解決問題。

下表就是「研究」與「學習」的主要區別所在：

區別 項目 \ 名稱	研 究	學 習
目 的	探求未知	接受已知
活 動	依“觀察·試驗→假設→考察→建立學說→推論→形成理論”等程序，進行： 懷疑→修正→創造→實證 的 理解→記憶的交互活動 往復活動。	由“聽講、閱讀、觀看、實做、應用”等方式，進行： 理解→記憶的交互活動
條 件	已具相關知能	祇需學習志趣

二、認清物理學的特點

「研究」與「學習」的界限既然劃分，我們就事論事，就

不必再談非現階段所需談的事了，但學習物理學，不是學習其他科目；所以還須認清物理學的特點，以便從事。

值得我們學習的物理學，當然是科學家徵實的科學知識；而不是由直覺、冥想、傳聞等，附會而來的流行說法或常識。

提起「科學」，很容易讓我們聯想起抽象的理論和繁難的計算，或者意識到像火箭、太空船、電視、雷達等新奇的發明。

這些想法雖都與物理學有關，但顯然並不恰切。

物理學中雖有理論與計算，但它既與哲學家的玄思不同，也和祇求在形式上滿足的數學運算有異。它的理論乃是自然事象的骨幹；它的計算也是數學法則在有關事象中的實際應用。

物理學中雖也會提到火箭、太空船……等新奇發明，但祇作理論的說明，祇把它們看作物理學中的副產品。因為技術發明畢竟是祇講具體實用的，而**基本的與純正的物理學都毋寧是非實用的**。明乎此，自然就會知道若干年前英國皇家學會否認大發明家愛迪生（Thomas Alva Edison 1847-1931）為偉大科學家的原因了。

據此，我們可以替物理學勾出一個較為顯明的輪廓：**它有理論，但以萬事萬物做根據；有計算，但以合于實際為原則；談發明，但以說明原理為範圍。**

如果我們近取中學一般學科做譬喻，而以文、史、公民等科是「祇說不算」，數學是「祇算不說」的話；那麼物理的特點就是「又說又算」了！

三、把握學習的重心

物理學的重心可以從它的特點上找得到，那就是「計算」

與「說明」，不過兩者乃是共同統一在「基本觀念」之樞紐下面的。

「基本觀念」這名詞現下用得頗多，學習數理各科都非常需要它！但祇將這一名詞掛在口邊，並不見得有用，現今一般學生之缺乏獨立運思能力就是顯例。所以在重視它、重用它之前必須先「弄清甚麼是基本觀念？」

具體地說，基本觀念就是在對問題加以說明或計算時所有的依據。

對物理問題的說明與計算，依據甚麼呢？差不多稍微受過物理教學洗禮的人都會回答是定律、原理、公式等。

但我們祇熟記這些定律、原理、公式行嗎？——我們的答覆是否定的。原因是它們並不是最基本的，熟記它們並不見得是對基本觀念的通達。

我們不妨拿任何定律、原理、公式來加以分析，它們都毫無例外的是對若干名詞的一種連繫。

譬如牛頓運動第二定律的公式是 $f = kma$

其直接用途是由 k 、 m 、 a 三者的乘積求出作用力之大小來，但 f 、 k 、 m 、 a 四者，各皆有一個特有的名稱和界說。如果不明白質量與重量的區別，不了解 k 之使用條件，不懂得 a 由何推求，及其與時間、速度、位移、距離的關係，又對 f 與張力、重力、壓力、阻力、向心力、離心力反作用力等的異同也欠認識，則有此公式，亦無法運用。

由此可知，弄清楚每一名詞（術語）的定義和各名詞之間的關係才是一切的根本。明乎此，就可對「基本觀念」有個基本的了解了

四、化繁爲簡・執簡馭繁

學習一科，不但要對其內容能夠逐節理解運用，而且也須有一套成系統的概念。而事實上也惟有在有了成套成系統的概念以後，才能對有關內容有較深的理解，才能推廣應用，並記憶深刻。

物理學中每一名詞的定義和各名詞間的關係，既是應當把握的重心。當然也就是建立成套成系統概念的起點。

但物理學的名詞甚多，其定義與關係在納入成套系統以前，必先就需要加以取舍，依輕重予以區別。

「需要」是每個人的事，自己較任何人都更宜於在這方面作決定。不過爲了易於把握起見，我們可以在這裏提出一個原則作爲參考；那就是：先注意有關考試所涉及的範圍，再推廣於日常應用方面，最後着眼於未來的志趣或作深入探討時所需要的部分。

「輕重」是比較客觀的問題。就其與其他問題的連接，和對其他問題的用處（這都與建立系統的概念有關）來說，從表面上看，不妨依其在有關書籍和考試中出現的次數做標準。不過更可靠的標準還應該着眼在它對其他公式或定律的推導作用上。

譬如在普通物理學的力學中不外討論些：速度、運動、動量、衝量、平衡、功、能、力矩、萬有引力、摩擦與簡單機械等問題。其中簡單機械主要是對機械利益與效率的推求；而前者是力矩的推廣應用，後者是功與能問題的引發。所以力矩與功、能是較基本的部分。

但機械能 ($P.E. = mgh$; $K.E. = \frac{1}{2}mv^2$) 的推求，都是根據功的定義 ($W = FS$) 而來的；而力矩是轉動的根源，也是作用力與力臂的乘積 ($T_q = fd$)；都與力 (F) 直接有關。因此說明力之定義的牛頓運動第一定律、計算力之大小的第二定律 ($f = kma$) 和講究物體對作用力之反應的第三定律都成為比較重要了。

而其中第一定律為第二定律之特殊情況，可包含於第二定律中，第三定律是第二定律的引伸；且可由此推出衝量 (ft) 動量 (mv) 的關係，和動量不減原理 ($mv' + Mu' = mv_0 + Mu_0$) 來。故第二定律實應視為居於主導地位。而事實上，它不僅在以上諸方面具有權威，在推求向心力 ($F_0 = ma_0$) 時完全通用；在力矩對於轉動的關係 ($T_q = fr = mr^2\alpha = I\alpha$) 中和摩擦、彈性、以至於分子力的範圍內也深具影響力。

牛頓運動第二定律固然非常重要，但正如前面第三部分（「把握學習的重心」）所言者，其中加速度與時間、速度的關係充分瞭解後才能運用。所以這又需要推出更基本的角色——加速度的定義 ($a = \frac{v-v_0}{t}$) ——了！等加速度運動的三公式就是由它和平均速度 ($v = \frac{v+v_0}{2} = \frac{s}{t}$) 的定義推出的。當然這又是基於速率與等速度的定義 ($v = \frac{s}{t}$) 而顯出的。

所以整個力學簡單地就，實祇寄託在速率、等速度、平均速度、加速度與牛頓運動第二定律等有限的名詞定義中。號稱物理學中最繁難的部分如此，其他也就可以概見了。何況力學

中萬有引力公式的幽靈還會在磁學與電學中出現呢！

讀者或以如上所言，由繁化簡或可解決；但「以簡馭繁」恐就不甚簡易了。是的，對於較繁的問題常需多種關係來協同解決，但如能靜而細心地予以分析比較，終仍不難在「基本觀念」的明澈透視下，使其原形畢露，一切冰釋！

五、聞一知十，舉一反三的方法——推理！推理！推理！

「化繁為簡、執簡馭繁」的效用誠然無窮，但記住這並不是甚麼妙訣神算，而正是常說、常用的「歸納法與演繹法」(induction and deduction)，怎樣善用這兩個方法呢？我們仍可檢起「推理」一詞作為簡而明的回答。

推理(reasoning)本來是邏輯(Logic)中的主題。但事實上它不但廣被應用於一切學科中，在普通的論辯或談話中，也常用到它。物理一科需要借重它之處很多。如果在研習物理時，時時拿它連繫於新的題目或事物、現象與基本觀念之間，便會發生引線的作用，而爆出解答的火花；在筆記和課本所講的同類問題中，由它的混凝，也會在你心底築起一座堅實的系統概念之厦。

當然「推理」是有所依據的，它的主要依據就是基本名詞的含義與關係（如常用的幾何公式，各量的因次，力與運動的特性、熱的傳導原則等等）。還有就是必要的數據（像重力加速度的標準值、聲速、光速、冰之溶解熱與水之汽化熱等等）。

在閱讀、聽講的時候，如果你能隨時就其要點、記為筆記則事後將各重點連貫起來，就會有意外的收穫與樂趣。像力(force)和加速度(acceleration)二詞，就其前後所講予以連接，即可分別得出如下的聯珠關係：

$$f = (k)ma \dots mg \dots m \frac{V^2}{r} \dots \frac{I\alpha}{r} \dots \frac{W}{s} \dots G \frac{Mm}{r^2} \dots PA \dots$$

$$a = \frac{V - V_0}{t} \dots \frac{V^2 - V_0^2}{2s} \dots \frac{\Sigma f}{m} \dots r\alpha \dots \frac{V^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 4\pi^2 n^2 r$$

其在相似或相近名詞的比較連繫中，如：聲波、光波、電磁波；力、磁力、電力、功、熱……等，也會有更多的體會與心得。這當然都是推理的妙用。

然而推理在解答問題時，究能怎樣發揮其功能呢？茲舉實例數則，以分別說明其方法及作用：

I 有據原理而予以闡發者

【例一】最初靜止的物體，在下列情況下，可生何種運動？(a) 沿 x 的方向加一定力 (b) 然後停止加力 (c) x 方向的力停止後沿和 x 垂直的 y 方向加一定的力 (d) 然後再將 y 方向的力停止作用。

【研析】由牛頓第二運動定律知：物體受力作用，必沿力的方向產生加速度；作用力一定時，其加速度即一定，亦即加速度無變化，而為等加速度。

「停止加力」物體即無外力作用，此為牛頓第一運動定律的範疇；故知此後其動或靜的狀態即無改變。但在開始停止加力之時，物體已在運動；故此後即以該時之瞬間速度為速度，而作速率與方向皆不變的運動。

已作等速度運動的物體，另受一與原方向相垂直之力的作用，此物體即作綜合運動。依運動之獨立性，可知其等互不相干。又依座標作圖法可尋釋其軌跡並非一直線。

y 力又停止作用，仍依慣性定律知此後即以該點之瞬時速度作等速度之運動。但曲線之瞬时速度的方向都與該點之切線方向一致；故知此後之運動，為沿力停止作用之始的切線方向者。

【解】(a) 等加速直線運動 (b) 等速直線運動 (c) 等加速度運

動，而其軌跡爲一拋物線。(d) 等速直線運動。

(有關速率與等速度之區別，詳見本書第二章第3、5節)

【例二】 有一質量爲 M 仟克之打樁用鐵錘自靜止狀態落下 L 米之距離，使一樁進入地中 q 米。試計算地對樁之阻力，但此爲一定力，而鐵錘與樁在 q 米中保持接觸，且重力加速度爲 g 米/秒²

【研析一】 此題可分爲兩個階段，在錘自 L 米高處自由落下至地面樁上爲初階段；其後樁與錘同入地內爲末階段。

所求阻力爲末階段之事，但其作用則得自初階段。因阻力之產生是對錘與樁向地內衝擊的反作用。依運動第三定律知此力與錘作用於樁之力的大小相等。故求此即可。

已知錘之質量爲 M 仟克，其作用於樁之初時的速度即自高 L 米處落下時的末速度；由題示知： $V^2 = 2gL$

另知錘與樁在地內衝進之末速爲零。故其進入地內時之加

(減) 速度： $g + a = \frac{0 - V^2}{2q} = -\frac{2gL}{2q} = -\frac{gL}{q}$ 由此知所求爲

〔解〕 $f (=ma) = -M \frac{g(L+q)}{q}$ 牛頓 (負號表與運動方向相反，即阻力向上)

【研析二】 本題如另就功與能的關係着想，更易計算。因

“物體陷入地內所作之功 = 物體落下時所失之動能與位能”

若各值仍用以上文字代表，則

$$fq = -\left(\frac{1}{2}MV^2 + Mgq\right) = -\left[\frac{1}{2}M(2gL) + Mgq\right] = -Mg(L+q)$$

$$\therefore f = -\frac{Mg(L+q)}{q} \quad (\text{同上})$$

註 如就另一觀點着想，本題也可依以下關係列式計算：

$$\textcircled{1} \quad V^2 = 2g(L+q)$$

$$\textcircled{2} \quad V = (M\sqrt{2gL}) \div (M+m) \dots\dots\dots m \text{ 表樁質量。}$$

【例三】 如將一質量爲10克的物體帶至金星，則 (a) 其質量爲若干？

(b) 公式 $f=ma$ 是否仍可適用？ (c) 牛頓運動定律有時寫作

$F = \frac{W_a}{g}$, 此式是否適用於金星? (d) 若在金星上將此 10 克質量的物體懸在一支曾在地球上校準的彈簧秤上, 則讀數是否也為 10 克? (e) 上一答案與 (a) 有無矛盾之處?

【析研】質量為無向量, 不因重力加速度之不同而改變, 彈簧秤為測量力的一種裝置, 同一物體在重力加速度不同之處, 作用其上的重力即不同。本此其答案即可決定如下:

【解】(a) 仍是質量 10 克 (b) 適用 (c) 適用 (d) 因金星上的重力加速度約為地球上的 $\frac{4}{5}$, 故其讀數不同, 即決不指向 10 克重的刻度, (e) 上一答案所指者是重量, 而 (a) 所言為質量, 二者答案雖異, 但並不矛盾。

【例四】一質量為 M 的太空艙正在運行, 若向後將一質量為 m 的物體拋出, 則速度增加 V , 求該物對太空艙的速度。

【研析】此為動量不減原理的應用, 但依此計算時應明辨各速度的方向, 並注意不可將相對速度代入公式。

設太空艙拋物前後之對地速度各為 V_0, V' ; 被拋物對地之速度為 u , 對太空艙的速度為 x 。

則 $V' - V_0 = V$, $x = u - (-V')$ $\therefore u = x - V'$ 其中 u 之方向與 V 相反。

【解】依動量不減原理:

$$MV_0 = (M-m)V' + (-mu) = (M-m)V' - m(x - V') = MV' - mV' - mx + mV'$$

$$\text{即 } M(V' - V_0) = mx \quad \text{也即 } MV = mx \quad \therefore x = \frac{M}{m}V \quad (\text{答})$$

II 有就事實而予以討論者

【例五】執輕繩的一端而以 1 仟克之力拉之, 若不計空氣阻力, 求另端在以下情況時, 繩中的張力 (a) 不固定 (自由) (b) 固定於壁端

(c) 一人執另端反方向施以 5 仟克之力。

〔研析〕 輕繩之質量可忽視，空氣阻力不計則繩上受力，皆人爲之。若人僅執其一端而施力，則輕繩可產生運動而繩上並無張力。

將繩之一端固定於壁端，而他端若無何施力時，則繩上無張力。輕微施力，繩內微有張力。施予大力，則繩中張力亦大，故知此時繩內張力與他端人之拉力相等。

繩之二端分別施予反向之拉力，在繩未斷裂及無伸長現象時，繩受外力即兩端施力之差：其張力則與施力之較小一端者相等。故其解答爲：

〔解〕 (a) 無張力 (b) 1 仟克重 (c) 1 仟克重。(另詳 P. 94, 303)

【例六】 一電池的電動勢爲 1.5 伏特，其內電阻爲 2 歐姆，如在所接的外電阻 40 歐姆上，欲得 1 安培之電流，須用這樣的電池多少個？其連接法如何？

〔研析〕 這顯然是電池的連接問題；諸電池相連接，不外串聯、並聯、複聯三種。如代入串聯公式 ($I = \frac{nE}{R+nr}$) 得 $n = -\frac{4}{77}$ ；代入並聯公式 ($I = \frac{nE}{nR+r}$) 得 $n = -80$ ，因電池的個數絕不可能非正整數。故本題如可解必爲串聯並聯兼用的複聯法無疑。

但以各值代入複聯公式 $I = \frac{PSE}{PR+Sr}$ 中即

$$1(\text{安}) = \frac{PS \times 1.5}{P \times 40 + S \times 2} \quad \text{解之得一個二元不定方程：}$$

$40P - 1.5PS + 2S = 0$ 此一方程式似無有限解，但如仍據電池個數皆爲正整數之事實，我們便可就上得整理如下式；並設其大於零。

$$\text{即 } S = \frac{-40P}{2-1.5P} > 0$$

$$\text{因 } P \text{ 必須爲正，故 } 2-1.5P < 0 \quad \therefore P > \frac{4}{3}$$

又 因 $(40-1.5S)P = -2S$

$$\therefore P = \frac{-2S}{40-1.5S} > 0$$

因 S 亦必須為正，故 $40-1.5S < 0 \quad \therefore S > \frac{80}{3}$

於此，可知此組電池並聯與串聯的個數（ P 與 S ）都有了更確定的範圍：

第一 它們都分別大於 $\frac{4}{3}$ 與 $\frac{80}{3}$

第二 它們都是整數

據此，設合於上一要求之一值代入①或②式，則另一值就可以求出了。故其解為：

【解】依複聯公式 $I = \frac{PSE}{PP+Sr} = \frac{1.5PS}{40P+2S}$

$$\therefore 40P - 1.5PS + 2S = 0$$

分別就 S 、 P 而解之得：

$$S = \frac{-40P}{2-1.5P} \quad P = \frac{-2S}{40-1.5S}$$

因二者皆為正整數 $\therefore P > \frac{4}{3} \quad S > \frac{80}{3}$ 而為整數。

故以下七組答數均合所求：

串 聯 個 數	80	48	40	32	30	28	27
並 聯 個 數	2	3	4	8	12	28	108

III 有窮舉一切可能因素或結果而據有關事理予以選定者

【例七】高山何以常比平地風涼？

【研析】題示「風涼」就是「氣溫低」的意思；以下各條都是溫度較低的原因：

a. 與熱源距離較遠；