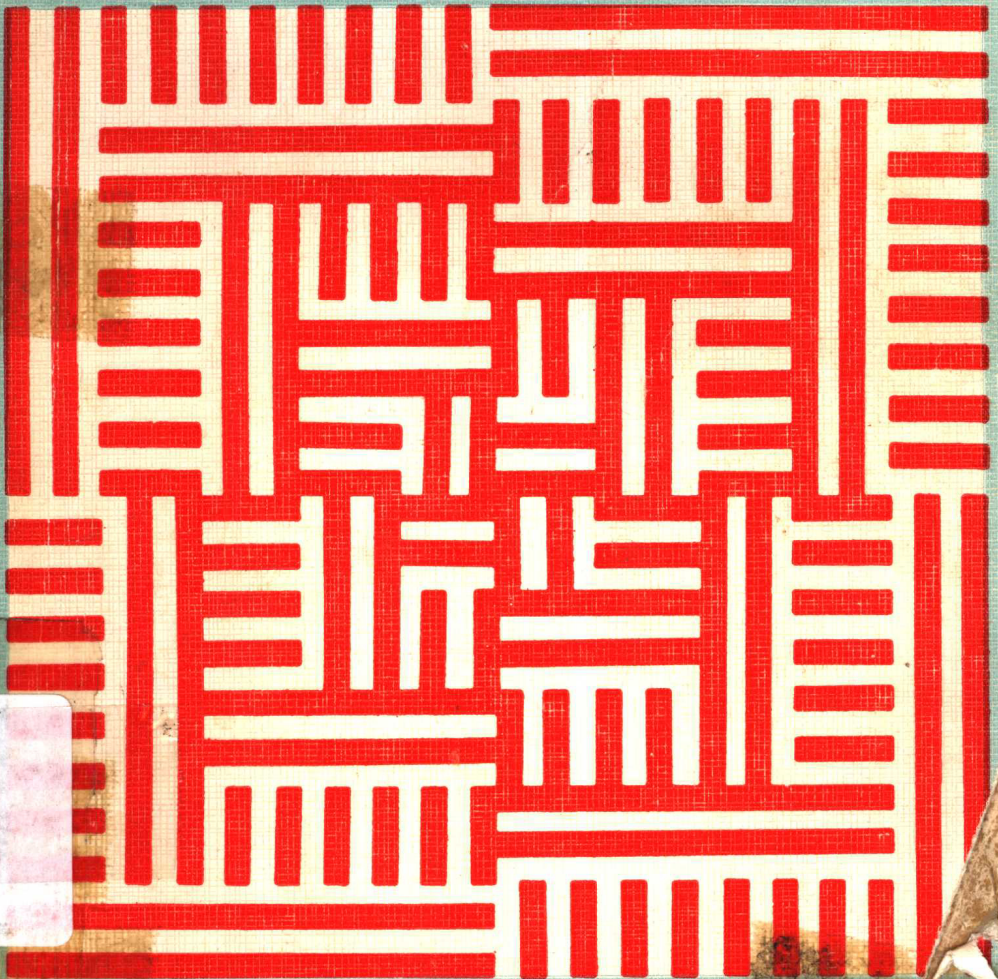


PHYSICS
ALONSO-FINN

物理學

第一冊

謝芳生譯



東華書局印行

物理學

第一冊

著者

艾隆索 斐恩
(MARCELO ALONSO) (EDWARD J. FINN)

譯者

謝芳生博士

東華書局印行

前 言

物理學是一門基本科學，它對其他一切科學都有深遠的影響，所以不只是以物理為主科和工程方面的學生必須對它的基本觀念有澈底的瞭解，而是任何一個準備以科學為職業的人（包括主修生物、化學，以及數學的學生們）都必須具有同樣的瞭解。

對理學院和工學院的學生而言，普通物理這門課的主要目的（同時也許是它之所以被列在課程中的唯一原因）是給學生們一個統一的物理觀念。這一點應當由分析各個基本原理和它們的涵意，以及它們的限度來辨到，所以這本書設計為理學院和工學院學生的一門二學期用的普通物理課——所介紹的是我們認為構成今日物理學核心的基本觀念。

直到最近為止，物理學被教得彷彿是由幾門科學聚積而成的，它們之間多少有些關係却又沒有一個真正統一的觀點。傳統式的分為力學、熱學、聲學、光學、電磁學，以及近代物理學（…“學”）不再合用。我們脫離了這種傳統的方法，採用一個較更合邏輯而統一的介紹法，強調各項不滅定律，場和波的觀念，以及物質的原子觀。特殊相對論的基本原則在全書中均被用來作為輔導原理之一，任何物理理論必須符合這點。

主要題材可分為三部份：(1) 質點，(2) 相互作用及場，(3) 波。在第一篇中我們由力學開始以便建立一些基本原理，這些原理在敘述我們所觀察到的在我們周圍的運動時是必須的。在這一篇中我們由統計力學的觀點，來討論熱力學；我們相信這種方法比較簡單而合理。然後，因為自然界的一切現象都是相互作用的結果，而這些作用又是以場的觀念來分析的，所以我們在第二篇內考慮現在所認出的各種作用和它們相關的場。重心吸引作用和電磁作用被討論得非常詳細，因為它們是

2 物理學 (一)

大多數所見的巨觀現象 (macroscopic phenomena) 的起因；而核子現象以及涉及基本質點的過程有關的各種強、弱作用則討論得很簡明。在第三篇中我們將波當作場的觀念的結果來討論。一般包括在聲學和光學內的材料我們都列在這部份內。但是重點則在電磁波方面。最後一章是量子力學的簡短介紹。在全書內我們一再地談到物質的構造，即是原子，分子，原子核，以及基本質點。

這本書很新穎，不只是它的介紹方法不同，它的觀念也特出，因為我們加入了一些基本題材是一般普通物理教本中所沒有的；同時也略去了一些傳統上所談到的問題。所用數學限於微積分內的非常基本的觀念。許多基本原理的應用以及一些特殊題材均以做好的例題形式出現。這樣，教師可以趁方便的時候說明，或者選擇地來討論，是以在課程的編組方面伸縮性較大。證明以及限於物理涵義內的數學計算均和教本的主體分開(*用灰色的底)以免讀者在閱讀時失去物理推理的主源。這樣安排同時又使教師在要略去某些證明時可以較為自由。

我們採用 IUPAP 的符號，單位及名稱委員會的推薦。我們一直用的是 SI 單位，以米，千克，秒，以及庫侖為基本單位 (即 MKSC 制)。然而我們同時也介紹了一些 CGS 制和英制中常用的單位。

所有物理常數，到小數第四位為止，都是用 1964 年的值。自從本書付印之後又有一些常數被發表出來 (B. N. Taylor, W. H. Parker, 及 D. N. Langenberg, Rev. Mod. Phy. 41, 375, 1969)，它影響書中所列的幾項數值。

所有各項科學的課程都受到很大的壓力要將新近變得有關的各門課包括進去，我們期望這本初級物理的書能減少一些這種壓力，因為它在不需要不適當的努力下在學生們大學教育的早期提高了學生對物理觀念的瞭解以及他運用它們的能力。

我們要對某些人，由於他們的鼓勵和協助才使此書得以完成的人，

譯註：* 在本書中用小號字體以示區分。

表示謝意。我們特別要感謝我們傑出的同事 D. Lazarus 教授，他是這本書的顧問編輯，他的批評和指教幫助我們修正並改進這書的許多地方。我們對 Addison-Wesley 工作人員的才能和努力也十分感激。末了，我們至少應該感謝我們的妻子們，她們一直非常耐心地陪着我們。

艾 隆 索 M. A.
斐 恩 E. J. F.

華 盛 頓/
1969 十月

第一冊 目 錄

引 論1~6

- | | |
|------------------------|--------------|
| 0-1 什麼是物理？ | 0-2 物理的古典式分支 |
| 0-3 物理和其他各種科學
之間的關係 | 0-4 實驗方法 |

物質的構造 7~20

- | | |
|----------|------------|
| 1-1 引論 | 1-2 質點 |
| 1-3 原子 | 1-4 分子 |
| 1-5 巨觀物質 | 1-6 相互間的作用 |

度量 and 單位21~34

- | | |
|---------|----------|
| 2-1 引論 | 2-2 度量 |
| 2-3 基本量 | 2-4 基本單位 |
| 2-5 密度 | 2-6 平面角 |

向 量35~58

- | | |
|-------------|---------------|
| 3-1 方向的觀念 | 3-2 無向量和向量 |
| 3-3 向量的加法 | 3-4 向量的分量 |
| 3-5 幾個向量的加法 | 3-6 運動學問題上的應用 |
| 3-7 無向積 | 3-8 有向積 |
| 3-9 面的向量表示法 | |

力59~84

- | | |
|--------|--------------|
| 4-1 引論 | 4-2 同點力的合成 |
| 4-3 轉矩 | 4-4 幾個同點力的轉矩 |

2 物理學 (一)

- | | |
|----------------|----------------|
| 4-5 加到剛體上各力的合成 | 4-6 平行力的合成 |
| 4-7 質量中心 | 4-8 靜力學——質點的平衡 |
| 4-9 靜力學——剛體的平衡 | |

第一篇 質點

5. 運動學 88~124

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 5-1 引論 | 5-2 直線運動：速度 |
| 5-3 直線運動：加速度 | 5-4 直線運動中速度與加速度的向量表示法 |
| 5-5 幾種特殊的運動 | 5-6 曲線運動：速度 |
| 5-7 曲線運動：加速度 | 5-8 定加速度的運動 |
| 5-9 圓周運動：角速度 | 5-10 圓周運動：角加速度 |
| 5-11 圓周運動中的速度與加速度 | |

6. 相對運動 125~157

- | | |
|----------------------------|----------------------|
| 6-1 引論 | 6-2 相對速度 |
| 6-3 均勻的相對移動： <u>伽利略</u> 轉換 | 6-4 均勻的相對轉動 |
| 6-5 對地球的相對運動 | 6-6 <u>羅倫茲</u> 轉換 |
| 6-7 速度和加速度的 <u>羅倫茲</u> 轉換 | 6-8 <u>羅倫茲</u> 轉換的結果 |

7. 力和動量 158~201

- | | |
|--------|----------|
| 7-1 引論 | 7-2 慣性定律 |
|--------|----------|

7-3 線動量	7-4 動量不滅原理
7-5 質量的再定義	7-6 牛頓第二和第三定律， 力的觀念
7-7 力的單位	7-8 摩擦力
7-9 流體中的摩擦力	7-10 質量可變的系統
7-11 曲線運動	7-12 角動量
7-13 有心力	
8. 功和能	202~235
8-1 引論	8-2 功
8-3 功率	8-4 功和功率的單位
8-5 動能	8-6 能量的單位
8-7 定值力的功	8-8 位能
8-9 力和位能之間的關係	8-10 一質點的能量不滅
8-11 位能曲線的討論	8-12 非保守力
8-13 結要	
9. 振盪運動	236~279
9-1 引論	9-2 簡諧運動的運動學
9-3 簡諧運動中的力和能	9-4 簡諧運動的基本方程式
9-5 單擺	9-6 二個簡諧運動的重疊： 同一方向，同一頻率
9-7 二個簡諧運動的重疊： 同一方向，不同頻率	9-8 二個簡諧運動的重疊： 垂直方向
9-9 耦合振盪器	9-10 不諧和振盪
9-11 阻尼振盪	9-12 被迫振盪
9-13 振盪器的阻抗	9-14 週期運動的 <u>傅立葉分</u> 析

10. 質點系統.....280~329

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 10-1 引論 | 10-2 被隔絕質點系統其質量中心之運動 |
| 10-3 外力作用下質點系統質量中心的運動 | 10-4 對比質量 |
| 10-5 質點系統的角動量 | 10-6 內在的和軌道的角動量 |
| 10-7 質點系統的動能 | 10-8 質點系統的能量不滅 |
| 10-9 外力作用下質點系統的總能量 | 10-10 質點系統的內能 |
| 10-11 質點系統的束縛能 | 10-12 碰撞 |
| 10-13 流體運動 | |

附 錄.....330~340

引 論

(Introduction)

什麼是物理？

物理的古典式分支

物理和其他各種科學之間的關係

實驗方法

2 物理學 (一)

研讀物理是一件富於刺激性和挑戰性的冒險工作，作為一個職業物理學者則更為刺激，也可以說是人類智慧活動中最令人愉快的一項，因為在作者的觀點中沒有一件事比明瞭我們所生活的世界以及揭開自然的秘奧來得更吸引人了。

看起來也許認為不需要在這裏告訴讀者物理是關於什麼的，為什麼它具有挑戰性且有趣，或者它所用的方法是些什麼，因為很可能他對這門科學已經有些熟稔了，但是就因為他對許多物理觀念的這份熟稔，我們就必須在從事它的詳細研討之前分析並複習這門科學的目的和方法。

0-1 什麼是物理？(What is physics?)

物理 (Physics) 這英文字是由希臘字自然 (nature) 一詞來的，所以物理學應當是致力於研討一切自然現象的科學。事實上，直到十九世紀初葉以前，物理學都是被應用在這廣義的意思之下，所以也稱為“自然哲學”。但是從十九世紀起直到最近，物理學被限於只研討一部份現象，這些現象的泛義是一切參與的物質本性不起改變的過程。物理學的這一定義已逐漸被棄置，我們又回到了早期的較廣泛同時也較為基本的觀念。是以我們可以說

物理是一種科學，它的目的是研究物質的成份和它們之間相互的作用。科學家們以這些作用來解釋巨觀物質以及我們所觀察到的其他自然現象。

在課程進度中，讀者將親自見到這門課如何由基本的且屬一般性的原理發展而成，以及怎樣用它來瞭解許多種顯然不相關但却服從同樣基本定律的現象。

0.2 物理古典式的分支 (The classical branches of physics)

具有好問的頭腦的人類對於自然界是如何工作的這件事一直具有極大的好奇。最初他的資料的唯一來源是他的感覺，所以他將他所觀察到的一切現象依照他所感到的方式來分類。光 (light) 是和視覺有關的，所以光學 (optics) 就發展成爲一門和這一動作相聯的而多多少少是獨立的科學。聲音 (sound) 是和聽覺有關的，所以聲學 (acoustics) 就發展成一門相關的科學。熱 (heat) 又是和另一種身體的感覺有關的，所以許多年來對熱的研究〔稱爲熱力學 (thermodynamics)〕又是物理上獨立的一支。運動 (motion) 當然是所有直接觀察到的現象中最普通的，所以運動的科學—力學 (mechanics)—比物理上任何別的分支發展得早。由於相互之間的引力作用而引起的行星的運動以及自由落體的運動都可以用力學上的定律來解釋得非常好，所以引力 (gravitation) 在傳統上是被當作力學的一章來討論的。電磁學 (electromagnetism) 雖然是許多感覺經驗 (sensory experience) 的起因，但是因爲不和其中任何一項直接有關，所以遲至十九世紀才形成物理的另一支。

所以在十九世紀物理學在形式上被分成幾個〔稱爲古典式的 (classical)〕分支或幾門科學：力學、熱學、聲學、光學以及電磁學，互相之間的關係則極少甚而沒有，只有力學才很恰當地是它們全體的輔導原則。

但是自從十九世紀末葉開始物理學起了十分深遠的改革，它改變了我們的觀點以及處理物理問題的方法。由於這一原因，被稱爲“現代”物理的一個新的分支被加到了“古典式”的各支上。

物理的“古典式”各支是而且也將繼續成爲非常重要的專門學問及職業，但是再繼續這樣一部份一部份地來讀基本的物理則變得沒有意義了，電磁學和現代物理下所包括的同樣的一些現象已經引起了一種新的想法，是從一個統一而且較合邏輯的觀點來看物理現象，而這也是二十世紀的偉大成就之一。要以這種統一的方法來談物理學就需要從現代的觀點來對古典物理重新估價——而不是將物理分成古典的

(classical) 和現代的 (modern) 二部份。現代物理 (modern physics) 將永遠存在，因為在每一時代總會有當時代的物理發展出來。這種現代物理將要求隨時將過去的觀念和原則加以修改和重新估價。但是物理學本身則將是一個整體，而必須以一致的且合邏輯的方法來處理。我們在這本書裏的目的就是要以這種方法來討論物理學。

0-3 物理和其他各種科學之間的關係 (The relation of physics to other sciences)

我們已經說明了物理學的目的是要使我們能瞭解物質的基本成份以及它們之間相互的作用，因而可以解釋自然界的現象，且包括巨觀的物質在內。從這說法我們可以知道物理學是一切自然科學中最基本的。化學主要是討論這大規模問題中的一個特殊部份：如何將物理學上的定律應用到分子的形成，同時怎樣以實用的方法將某些分子轉換成別的，同時，生物學必須借助於物理和化學來解釋有生命體內所發生的各種過程。將物理和化學的原理應用到實際問題上，在研究、發展、以及職業性的實用等各方面就形成各種不同的工程分支。若對自然科學的基本觀念沒有深刻的瞭解的話，現代化的實際工業以及工程方面的研究都將是不可能的事。

但是物理學的重要不只在於它供給了基本觀念以及理論準則，而它們則是其他各種自然科學建構的基礎。從實用觀點來說，它之所以重要是因為它供應了許多技術，而這些技術幾乎可以被用到任何純粹的或應用的研究方面去。天文學者需要用到光學的、光譜學的，以及無線電方面的技術。地理學家在他的研究工作上則要用到測重量的、聲學的、核子的，以及力學上的各種方法。對於海洋學者、氣象學者，以及地震學者等等都一樣。現代化的醫院中都具有各種實驗室，其中用到最巧妙的物理技術。總而言之，幾乎沒有一項研究活動——包括考古學、古生物學、歷史，和藝術等——能夠不用到近代物理的技術的。這點使得物理學者們很滿足地感到他不只是在使我們對於自然界的知識本身在

增進,同時對人類社會的進步也有所貢獻。

0-4 實驗方法 (The experimental method)

爲了要達到它的目的起見,物理學和其他一切純粹的以及應用的自然科學一樣,都要靠觀察 (observation) 和實驗 (experimentation)。觀察是仔細而透澈地檢查一項現象,並記下而且分析似乎影響它的各種不同因素及周圍情形。不幸的是現象發生時的情況很少具有足夠的變化或伸縮性。有的時候某些現象不常發生,所以要分析它就成爲很難且很慢的事。由於這個原因實驗就是必要的了。實驗是在預先安排好而且很小心地控制住的情形下來觀察一項現象。於是科學家就可以依照自己的意志來改變情況,使得它們對於過程的影響易於被發覺。若是沒有實驗的話,近代科學將永遠不可能達到它今天的程度。這就是爲什麼實驗室對科學家如此重要的原故。

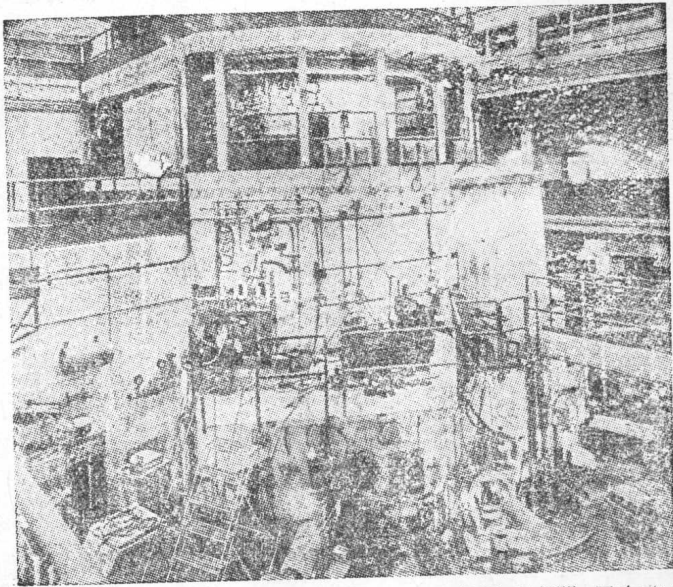


圖 1 Oak Ridge 國家實驗室中的核子反應器,用在許多種基本研究工作上。(照片取材自 ORNL)

6 物理學 (-)

爲強調這一點起見，圖 1 所示是一個研究用反應器，在 Oak Ridge 國家實驗室中用的。注意：反應器周圍的地方擠滿了各種實驗設備。有些設備可供物理學家用來知道更多關於核子的性能，或者從結構方面來分析物質。別的裝置可用來準備放射性物質以便應用到化學、醫藥、生物、農業，及工程方面去。利用上述設備的一羣生物物理學者們可能在實驗放射對某些生物的影響，而另一羣科學家們，用同一設備，可能在研究放射對不同種類的物質的作用。我們建議讀者們參觀一下現代化的研究實驗室以便對於實驗在科學上的地位得到一點親身的體驗。

當然，實驗並不是物理學者所擁有的唯一的工具。根據已知的事實，科學家們可以由理論的 (theoretical) 方法推出新的知識來。所謂理論的方法就是說物理學者提出一個他所研究的物理情形的模型 (model)，利用已經建立的關係，他根據邏輯的推理應用到他的模型上。起初他的推理是用數學方法作出來的，最後的結果可能是預言一些尚未被觀察到的現象，或者證實幾種過程之間的關係。一個物理學者由理論方法得來的知識又再被別的科學家們用去做新的實驗來核對模型本身，或者來決定它的限度和成敗。於是理論學者再修正或改良他的模型以便能和新的資料相符。這種實驗和理論之間互相交織的關係，才能使科學在堅固的基礎上穩定地進步。

1

物質的構造

(Structure of Matter)

引論

質點

原子

分子

巨觀物質

相互間的作用

1-1 引論 (Introduction)

我們在這本書的開始已經說過了物理是一門科學，它的目的是研究物質的成份以及它們之間相互的作用。所以也許很自然地對物理的研究應當從討論我們今天對物質的看法着手，然而這並不是一件容易的事情，因為我們必須先得到某些觀念和方法然後才能嚴密地來分析物質的成份。由於這個原因，我們現在要將自己限制於討論有關物質構造的一些基本觀念；在課程進展中我們將一再地而且更詳盡地檢討我們在本書中所談的題目。

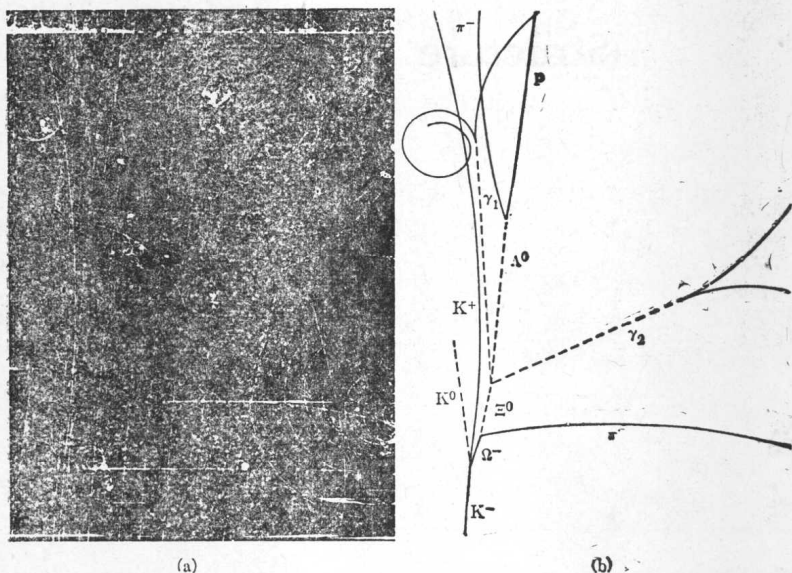


圖 1-1 (a) 在 80 英寸 (2 米) 的液態氫氣泡室內的基本粒子的路線，氣泡室被放在強磁場中，以便驅使帶電荷的質點循曲線路徑而行。先分析這些路線，再由這項分析推出不同粒子的性質。這張 1964 年拍的相片已成歷史。它提供出 Ω^- 粒子 (英文名字是 omega minus) 存在的第一證據，這種粒子先前已由理論根據預言它的存在。(b) 圖中的線指出相片中所記錄下來的較重要的事件。 Ω^- 的路線是靠近相片底下的短線，相當於其他各路線的各種質點也都分別得以驗明而標明在圖上。(相片取材自 Brookhaven 國家實驗室)。