

553324

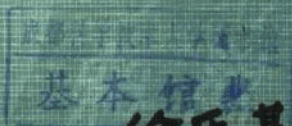
科學圖書大庫

332

444

力學原理淺說

譯者 黃 恕



徐氏基金會出版

444

科學圖書大庫

力學原理淺說

譯者 黃 恕

徐氏基金會出版

美國徐氏基金會科學圖書編譯委員會

科學圖書大廈

監修人 徐銘信 科學圖書編譯委員會主任委員
編輯人 曾迺碩 科學圖書編譯委員會編譯委員

版權所有
不許翻印

中華民國五十九年七月十九日初版

力學原理淺說

定價 新台幣三十元 港幣五元

改訂為 1.60 元

譯者 黃 恕 國立台灣大學工學院機械工程學系工學

內政部內版臺業字第1347號登記證

出版者 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 臺北郵政信箱第3261號 電話519784號

發行人 財團法人臺北市徐氏基金會出版部 林碧銓 郵政劃撥帳戶第15795號

印刷者 長城彩色印刷有限公司 台北市克難街354號 電話375334號

我們的一個目標

文明的進步，因素很多，而科學居其首。科學知識的傳播，是提高工業生產，改善生活環境的主動力，在整個社會長期發展上，乃人類對未來世代的投資。科學宗旨，固在充實人類生活的幸福也。

近三十年來，科學發展速率急增，其成就超越既往之累積，昔之認為絕難若幻想者，今多已成事實。際茲太空時代，人類一再親履月球，這偉大的綜合貢獻，出諸各種科學建樹與科學家精誠合作，誠令人有無限興奮！

時代日新又新，如何推動科學教育，有效造就人才，促進科學研究與發展，尤為社會、國家的急要責任，培養人才，起自中學階段，學生對普通科學，如生物、化學、物理、數學，漸作接觸，及至大專院校，便開始專科教育，均仰賴師資與圖書的啓發指導，不斷進行訓練。科學研究與教育的學者，志在將研究成果貢獻於世與啓導後學。旨趣崇高，立德立言，也是立功，至足欽佩。

科學本是互相啓發作用，富有國際合作性質，歷經長久的交互影響與演變，遂產生可喜的意外收穫。

我國國民中學一年級，便以英語作主科之一，然欲其直接閱讀外文圖書，而能深切瞭解，並非數年之間，所可苛求者。因此，從各種文字的科學圖書中，精選最新的基本或實用科學名著，譯成中文，依類順目，及時出版，分別充作大專課本、參考書，中學補充讀物，就業青年進修工具，合之則成宏大科學文庫，悉以精美形式，低廉價格，普遍供應，實深具積極意義。

本基金會為促進科學發展，過去八年，曾資助大學理工科畢業學生，前往國外深造，贈送一部份學校科學儀器設備，同時選擇出版世界著名科學技術圖書，供給在校學生及社會大眾閱讀，今後當本初衷，繼續邁進，謹祈：

自由中國大專院校教授，研究機構專家、學者；

旅居海外從事教育與研究學人、留學生；

大專院校及研究機構退休教授、專家、學者；

主動地精選最新、最佳外文科學技術名著，從事翻譯，以便青年閱讀，或就多年研究成果，撰著成書，公之於世，助益學者。本基金會樂於運用基金，並藉優良出版系統，善任傳播科學種子之媒介。掏誠奉陳，願學人們，惠然贊助，共襄盛舉，是禱。

徐氏基金會敬啓

緒 言

物理學環境

我們通常有一個印象，物理學在普通論述上太抽象了，太數學化，和生活的關係極微。這倒是真的，這一科目可能是比其他任何科學更易於適合抽象公式化，同時科學家們也是喜歡用這種方法，因為這方法較為正確而簡潔。不過這決不是必要的，在許多方面，物理學是最具體的科學，和我們日常生活處處發生關係。像我們呼吸的空氣，液體，固體，我們聽到的聲音，使我們能夠看到東西的光，我們用的電，引導我們航行的磁力，使我們能生存和替我們作功的熱，以及所有其他無生命的事物和圍繞在我四周各方的力，都和它有關係。我們可以躲開塵世，過一種隱士的生活；却無法置身於物理環境之外。倒不如既來之，則安之。

許多人都覺得物理學討厭，因為它祇談及死的事物。大家對於生命比較有興趣。當然，對生物來說，沒有再比生命更重要的事了；而且除去和生命有關者外，無論什麼事都不重要。但是我們是生活在一種物理學的環境裡，我們必須要知道如何和這樣的環境相處，和這環境中的生物一起生活下去。尤其現代文明是依賴對於這環境的控制，使它適應我們的目的。

今天，上項控制是集中在少數的技術專家手裡，進步發展也是由一些少數的科學人員和發明家們支持着。其餘的人，因為有百無一失的設備而不難得過且過。看看說明書，我們便可談以操作。我們用不着去瞭解。其他有智慧的人，已經為我們解除了那些討厭的事情。他們已經使世界變得毫無腦筋的人亦可安然混過。他們給了我們兒童可以使用的收音機，男孩可以駕駛的汽車。“你祇要壓一下按鈕，其餘的事我們來管。”烹飪不再是藝術了，你必要做的是讀一讀罐筒上的用法。可是社會大眾，要付予這項智力貢獻一份代價，同時這中間有某種危險存在着。

假設萬一出現一個惡魔，要將那些以其智力和技藝使對機械一無所知的人能夠生存的人們，全部消滅。祇要他選擇得對，一千人中，也許祇要消滅一個人，就可以在幾十年內，將我們的文明毀滅。舉一個明確的例子：假定把我們所有的汽車技工和其他機匠突然撤走，不要多久，大街小巷便會塞滿了拋锚汽車，因為沒有人會修理。再過一兩年，世界上的汽車都會一一報銷。

我們的機械文明，就是懸掛在這樣纖弱的線上。

這些可能性並非完全是假想，惡魔偶爾確曾出現過。一七九四年，近代化學之父 Lavoisier 以及其他許多有學問的法國人被送上了斷頭台，因為革命黨人相信，共和國不需要大科學家。同類事件在蘇俄也曾發生過。世界大戰時，科學家們先是被送到前線去從軍，英國的一流科學家，原子序數的發明人，Henry Gwyn-Jeffreys Moseley 在達達尼爾海峽死於一個土耳其人的鎗彈下。但是最後，許多國家終於醒悟，所進行的不僅是鎗的戰爭，也是智力的戰爭，一個科學家的頭腦，要比增加一枝來福鎗的價值大得多。

在動亂的時代，上面這樣的事情常常發生，這是一項對價值的曲解。統制權落在那些既矇昧而又對學問不加尊重的人手裡，當最優秀的智力全被毀滅，而生存着的人不比一夥澳洲土著更能使我們複雜的文化繼續下去的時候；我們整個的文化，在這樣的大動亂中，最後終致沉沒，決不是不可能的。歐洲的文化曾被一群外來的掠奪者摧毀過。至於我們的文明或許會屈服於內在的掠奪者。

即使是和平也有其危險處。許多年以前，一位有名的英國牧師一本正經地建議，把我們所有的科學實驗室關閉十年，使我們的思想能夠從物質轉變到心靈方面去。相反地，我倒想提議，傳教師們全部給予十年的假期，使他們在這段時間內，去熟悉物理的世界，去學習科學在心靈方面的價值。

另一方面，因科學知識和控制的集中於少數人，已有人警覺到比以往所知的暴政還要更強暴的一項未來科學暴政的威脅。假定所有那些知道如何開動世界上的機器的人，聚集到一起，決定取得統制權，則其餘的人將簡直毫無力量反抗，因為他們已控制了所有的權力。

對於這些意外事件惟一的護衛，就是對科學知識及鑑賞的普及，特別是對物理科學。並不是每一個人都能成為專家，而是要他在更有能力的援助來到以前，能夠學得足以應用急救法，以及能正確判斷完成的工作品質和價值的公允。這是提高標準和降低價格的可靠方法。他可以學習到足以保護自己，以對抗大言不慚的人、騙子、欺詐；足以區別真假科學，避開迷信和追尋科學的空想，像永久運動和其他違反基本力學原理的發明等。對所有這些耗費了我們太多時間、勞力、能量和金錢的禍害，最好的解毒藥是普及科學的啟蒙。

到現在為止我們已經說明了一些科學知識的實際價值，可是它還有些別的較不具體的價值。我們的宇宙在結構上，根本是力學的。這或許並不是其全部，但是其重要部份。這是最接近我們、最明顯、也是最可論證的一面。任何人，如果他能瞭解宇宙，都不會忽略這一面。何況在人類的可能範圍內。

，每一個人都希望瞭解宇宙。缺乏這一面，世界觀便不能算完全或適當，也不能聲稱對事實已有真正的基礎。

瞭解我們生存其中的物理環境，對於我們的安全和進步很重要，同時在這項知識裏，以及在所給與的精通的感覺上也存有快樂與滿足。動物是使牠自己來適應環境，人是使環境來適應他自己，其中存有他的自負。瞭解使生活豐富，有興趣，有價值。求知是對空暇的一項有價值的占有，我們大多數的人都不知道如何去利用空暇。對於物理的世界有更深的瞭解會使我們生活在裡面感到格外安適。它成為我們可以信賴的朋友，而不是我們所疑懼所不信任的陌生人。企求真理常使人高貴，值得讚美，這不是時間或發展可以消毀的，這是一些科學的精神價值。

把每一件事情，即使是生活和精神的現象，在可能範圍以內，都簡化屬於力學的原理，這久已是科學上的理想了。這項企圖已經獲得相當程度的成功，尤其在物理學的本身範圍內，甚為成功，現在本質上已全部是力學的分枝。每當任一事件被如此簡化時，科學家都感到已大功告成。也可以說他已經走到了盡頭，不能再前進了。所以物理學是所有其他科學的基礎，而力學又是物理學的基礎。

甚麼都依靠力學，固然很好，可是力學本身又依靠着甚麼呢？如果每樣事情都用力學來說明，那我們又如何來說明力學呢？所有的說明，都是將較不通俗的去和比較通俗的事情發生關聯。在這種情況下，力學的作用就是較不通俗的，人類的行為就是比較通俗的。所以這時除去將過程顛倒，用人類的行為來說明力學的作用，似乎沒有其他的方法。較早的作者都自由自在地應用這方法。他們說到一個慣性體“難以”改變其速度時，就說是：它“喜歡”等速運動，它“抵抗”其他物體的“出力”來“擾亂它“靜止”的狀態。你還以為它在生氣咧。大自然厭惡真空，大自然選擇最短的途徑，這些都是名言。在牛頓一文中有著名的一節談到：“大自然喜歡單純，而不愛過多理由的浮誇。”

後來的作者，不屑於精靈論這一套，而想完全予以排除。他們希望使每樣事情都縮減為純抽象名詞。可是不幸得很，這樣的名詞却很難達意。祇要他們一脫離公式，想說得通俗一點，結果又落入精靈論的老套。這看來似乎是不可避免的。梅可生 (Michelson) 說：“大自然總是公平競爭的。”這正是橋牌選手的道地說法。當然，他在這裡並沒有以橋牌選手來比擬大自然，而是讓兩者互相對照。

後面我們不想避免這逼真的語言。我們的問題是要說明。那些能夠幫助

我們達到說明的目的者，我們甚麼也不鄙棄·史賓賽（Herbert Spencer）說，所有的說明，最後都是走向無法說明之一途，同時也是以不能說明作為根據。如果我們接觸到底部時，唯一要做的事就是再反跳回來。倘若我們用較低的來說明較高的，用較高的來說明較低的，用一部份來說明另一部份，最後等於甚麼也沒有說明。我們恰像一氣體的分子，在一密閉容器的牆壁之間亂跳，統一體是驚奇的，是神秘的，我們祇是使我們自己在它這方面稍微安適點，處置方法是我們適應的一部份。

儘管近來在物理學上發生了很大的改變，但是比一般想像還要多的老舊的已經被遺留了下來。有些基本原理，已遭受了時間的考驗，一點也不會有被淘汰的危險。新的，無論是怎麼具有革命的，也常常是由老的裡面滋生出來的，同時也祇能適當地作為老的去理解它。所有的理解是包含了使未知和已知發生關聯，這意思就是，我們必須有一適當的設備來認識未知。那些在奮力領悟愛因斯坦的學說而遭失敗的人們，常將他們的失敗歸咎於缺乏數學的能力。雖然這是很方便採用的藉口，但並不完全正確。這些學說是靠一項錯綜的數學方法而達成的，可是本質上仍然是物理的學說，全靠其極端的重要而至此景況。我們要理解它，並不須再走這條困難的路徑，我們祇須知道一些物理方面的情形，這些學說都是從那兒來的。

供應這基本的知識就是本書的宗旨，希望能給與讀者適當的基礎，從而由其他的書本中匯集增加有關知識，使能理解、欣賞，以及評價那些關於科學方面的著述與作用情況；因此將會期待享有提出來的新發現，而不致被遺留在進步潮流之後。

毛頓·摩特史密斯

目 錄

	頁	次
緒言： 物理學環境.....		II
第一章 密度.....		1
第二章 阿基米德與金皇冠.....		7
第三章 充實與空隙.....		12
第四章 嫌厭真空.....		18
第五章 力之增大.....		24
第六章 伽利略和動力學的新科學.....		37
第七章 慣性定律.....		46
第八章 加速作用.....		52
第九章 運動的獨立性.....		61
第十章 固定不動體.....		71
第十一章 動量不減.....		74
第十二章 牛頓與新宇宙.....		82
第十三章 萬有引力定律.....		86
第十四章 質量與重量.....		93
第十五章 作用與反作用.....		101
第十六章 虛位移.....		109
第十七章 動能與位能.....		116

第一章 密度

有一天，本書作者在一個班級上教授物理學的時候，偶然地講到，奶油浮在牛奶的上面，是由於奶油不如牛奶稠密 (Dense)。這一說明，立即引起了苦惱與驚奇的表情。學生們似乎在想，老師受了一種常常為大學教授們所說的密度這個字所困擾，這使他們不能夠去應付生活上的通常事件。其實情形並非如此，作者祇不過是應用了 "Dense" 這一個字的專門意義罷了。這一班級上的學生認為奶油較牛奶稠密，是將 "Dense" 這一個字解釋為濃厚的意思；這也是 "Dense" 的通俗意義。但濃厚的意義在科學家們的講法，則說是粘 (Viscous)。在說奶油不如牛奶稠密這句話時，其意指：以相同體積比較，奶油較輕。這就是奶油為甚麼會浮起的原因。在他來講，密度的意義祇有一個，那就是一物體的質量 (Mass) (或重量) 與其體積之比。

常常感到遺憾的，科學方面採用普通慣用的字眼而變換了它的意義，因此使它被認為不必要的晦澀難解。不過在其他各種專門化的場合，也有同樣的情形。如以棒球為例，不熟悉棒球比賽術語的人，他能知道 Run (生還、得分)，Ball (歪球、失球)，Strike (正球、好球) Foul (線外球)，Fly (飛球)，這些字是甚麼意義嗎？這些字眼的應用都是非常專門的，和在通常使用時簡直不同。例如：Fly 不是指家庭裡面的昆蟲，Foul Ball (線外球) 既不骯髒也不畏縮，當裁判叫 Strike 時，他的意思是選手沒有擊中球，誰會知道？每一個打高爾富球的人都知道甚麼是 Slice (右曲球)，Pull (左彎球)，Putt (用高爾富球桿將球輕輕打進洞裡去)；但是不打高爾富球的人他會知道這些術語嗎？Beat (迎斜風行駛)，Tack (搶風調向)，Reef (帆的縮帆部)、Jib (船首三角帆，帆自一舷轉至他舷)，這些字的意義是甚麼？那就去問水手吧！各種運動、職務、商業或專門職業都有他的術語。所以關於正當用辭這一點，我們必須確信，科學並不是最壞的罪人。

大家都知道，這些科目裡，從事任何一項，都必須多少通曉一點他們的術語才行。科學方面也是如此。這些術語必須標明關係科學，新穎而專門的

事件，同時要保證確當和簡潔。雖然在理論上講，每一術語，可以用許多字說明出它的意義來代替；但實際上，這樣宛轉曲折的說明，用來代替一個簡單的術語，將會使人感到受不了。設想在每次提到打字機的時候，不稱呼其名稱，而必須對其加以描述一番，那將是如何的情況。現在很多普通用的字，最初都是專門名詞。每年都有許多新的字語產生，這實在是我們字彙的主要來源。如果在一本沒有經過刪節的字典裡看上幾頁，將會發現，四五十萬字彙中大部份是專門術語或科學名詞。在平常運用方面，有一萬個普通字語即已足夠，但是要表示出人類知識的全部，那就需要五十萬字了。

縱如上述情形，人們對於專門術語，確已愈來愈熟悉。雖然很少人明瞭伏特 (Volts)、瓦特 (Watts)、千瓦小時 (Kilowatthours)、發電機 (Dynamo)、電子 (Electrons)、X 光線 (X-Rays) 鐳 (Radium)、及相對性 (Relativity) 等的真實意義，但每一個人講起來，都會是很流利的。專門術語好像是科學的小工具，今天是專門術語，明天即成普通用字了。

有些物質比其他容積相同的物質重，這是一椿通常會遭遇到的事情，毋需解釋，不要理論。但是如要相信，一個物體的重量，是由於地球的吸引力而產生的，則祇有兩個假設是可能的。一是：有些物質對地球吸力的感應較大，我們知道，在磁性方面有此情形；對於磁力的感應，以鐵為最甚，鎳和鈷則極微。至於其他物質，都有感應，但較為微弱。此外，同一物體的感應，是因溫度、壓力以及曾經受過的處理之不同而有變化。例如軟鐵的磁感則較硬鐵為大。但是一個物體的重量，只要沒有物質消失或增添，是不會因溫度、壓力、伸展、壓縮或其他的處理而發生影響的。這情形已經有極端確實的試驗加以證實，所以我們相信，一物體的重量，是決定於其所含有的物質的量，也就是物體的測定標準。這就是第二個假設。依照這假設，所有的物質對於地心吸力的感應均相等。因此一物體的重量為另一物體的二倍時，是因為它所含有的物質是另一物體的二倍。

這完全是一個普通的觀念。當我們去買 100 磅冰的時候，我們相信，重量決定我們所獲得的冰的量；因此會堅持要有足夠的重量。可是對於搬運冰的人來講，冰的重量正是他所承擔的負荷，重量足夠與否，他是不會關心的。這就很明顯了，這裡所說的重量，是有兩種意義，因此我們實在要有兩個字語來分別表示它。物體內物質的量，牛頓 (Newton) 稱為質量 (Mass)。物體被吸向地球的力，我們叫它做重量 (Weight)。

所以一物體比另一物體稠密時，那就是因為在同樣大小的空間裡擠塞了更多的物質。顯然這是含有原子觀念在內。一個比較稠密的物體，就是它體

內所含有的質點擠得比較緊密。這實在是稠密一詞的普通意義之一。所以我們可以像牛頓一樣地給密度 (Density) 這一名詞下一定義：一物體，其含有物質之量除以其體積，即為其密度。含有物質之量可以由其重量求得，體積如為長方形者可由其長寬高相乘求得。如用代數式表示，則為 $D = M/V$ 。

如果祇是為表明這代數式並不是像通常想像那樣可怕的問題，而是很有用的，我們對這方程式稍加研究也許很好。首先，我們看到這方程式，很明顯地引用了各個數量名詞的第一個字母或別的符號，因此，其關係可以很簡潔地表示出來了，現在這個方程式是表示三個數量之間的關係，如已知其中兩個量，則第三個量就可以由這兩個量求出；同時這方程式也正告訴我們，如何去計算它。上一節中所列出的方程式是告訴我們，當 M 和 V 已經知道時，如何去算出 D 來，除此之外，還可以用此方程式求出其他的量；假定一物體之體積與密度為已知，而欲求出其重量時，那就可以從此方程式中求出 M 值，當工程師們在需要知道一個要支架起來的水箱、煤櫃或其他物體的重量時，這樣的問題就發生了；此時我們必須使 M 值單獨地列在方程式的一邊，也就是說，要將 V 移到方程式的另一邊去；依照通常的規則，分母移至方程式之另一側時，則成為分子，因此： $V D = M$ ；由此方程式可以看出，體積與密度相乘，就是它的重量。又如已知 M 和 D 而欲求 V 時，這是在以體積的關係改正對空氣浮力的重量時會遭遇到的問題；將本節中變換後的方程式內的 D 移至右側，則得： $V = M/D$ 。

設若一個方程式中的未知數多於一個時，那就必須再有一個方程式來決定它們；未知數是多少，需要的方程式也是多少。讀者請注意，此處不需要像學校裡學生那樣的習慣，“令 X 等於未知數”。因為方程式中的任何數量依情況之不同，均可變為未知數。在求解時，也不需要將名稱符號加以更換，換也沒有幫助。

上面所說的幾個問題都是很簡單的，如果在那些情況相當複雜的時候，代數式就顯出它真正有益，它可以機械操作，免於智力過勞。

一個物體的密度，可以用每立方呎若干磅來表示。然而世界上各個國家並不是普遍地都使用英制，因此通常都是依據水的密度來表示其他各種物質的密度。水的密度定為 1，所以比水重的物質，在水中會下沉，其密度大於 1；比水輕的物質，其密度小於 1，為一分數或小數。例如鐵的密度，以此比例計算，為 7.86，鉛的密度則為 11.4，樅木的密度為 0.4，軟木的密度為 0.25。如將此相對密度，或亦有稱之為比重 (Specific Gravity)，變換為每立方呎若干磅時，則須乘以 $62\frac{1}{2}$ ($62\frac{1}{2}$ 是水一立方呎的重量)。於是鐵每立方

呎重 491 磅，鉛每立方呎重 558 磅。用同樣的方法可以將其換算為其他任何一種衡量的制度。公制 (Metric System) 使用很普遍，並且也很簡單；所以科學方面多喜歡採用這一種制度，公制的密度是以每立方公分若干克 (或公分) 來表示。由於 1 立方公分水的重量被定為 1 克，所以公制的密度和比重是相同的，致使這種制度非常簡化。

世界上密度的範圍，要比普通想像的大得多。假如有人問：“甚麼是最重的物質？”差不多每一個人都會回答：“鉛。”“其重如鉛”，或“脚重如鉛”，這都是通常表示鉛是很重的些說法。但是比鉛重的物質還有很多，如水銀的密度為 13.6，而鉛則僅為 11.4，將鉛放在水銀裡，鉛會浮起來的。又如黃金，則更重，其密度為 19.3。事實上，黃金是已知最重的物質之一。人們之所以未曾予以引用，那是由於黃金是很難大量的被人所持有；一立方呎的黃金重 1,200 磅，價值 380,000.00 美元 (1931 年)。但是黃金則又比鉑 (Platinum)、銱 (Iridium)、銱 (Osmium) 等三種貴重金屬輕，鉑的密度為 21.5，銱的密度為 22.4，銱的密度為 22.5。銱確實是最重的物質，所以它應該代替鉛，用來作為重的表徵，我們應該說：“脚重如銱”。

另一方面，大部份的人都認為鋁是最輕的金屬，它的密度為 2.65，是鐵的三分之一。但是鈹 (Beryllium) 和鎂 (Magnesium) 則更輕，其密度分別為 1.93 和 1.74。儘管這兩種全屬，一屬稀有，一為易燃，並且都很軟；但都已很成功地和鋁以及其他金屬合成為合金，作為建造飛船之用。在所有的金屬中，最輕的應該算是鈉 (Sodium)、鉀 (Potassium)、和鋰 (Lithium)。鈉的密度為 .97，鉀的密度為 .86，鋰的密度為 .53。這三種金屬都比水輕，因此可以浮在水上，由於有高度的化學活動性 (Chemical Activity)，在機械方面毫無用處，遇水會分解，故必須貯存在油裡。

金屬的密度，從最輕的到最重的，其範圍是由 1 到 42；但這祇是指那些在地球上的氣溫裡成為固體的物質而言。凡是所謂永久氣體 (Permanent Gas)，現在已經可以使它變成為液體，甚至於固體了；倘若為了週全，而將這些物質包括在內時，固體氫的密度為 .08，固體氮的密度為 .16，則固體的密度範圍變為 1 至 280 了。

有許多很輕的非元素物質，像木材、竹子、軟木、木髓 (Pith)，以及重量僅及軟木之半厄瓜多爾著名的波爾沙木 (Balsa Wood) 等等，它們的組織都是多孔的，質地輕，其大部份的原因在此。我們即使將這些物質也計算在內，密度的範圍也不會增大，這是因為固體氫比年久的木髓還要輕的緣故。

液體部份的密度，以地球上所能發現到的來說，大部份和水差不多，甘

油為 1.25，油約為 .90，酒精約為 .80；祇有水銀是極端的例外，其密度達 13.6。如將液化氣體和熔化的金屬都包含在內時，液體密度的範圍，約和固體密度的範圍相同，因為液體的密度和它在固體狀態時很相近，通常要稍微低些，不過有時也會高一點，物體祇能在比較小的溫度範圍內成為液體形態，水是在 32°F 至 212°F 間，也就是在 180° 的範圍內以液體形態存在，從冰點至冰點以下 491° 之絕對零度間則為固體，在 212° 以上時，均成為氣體。宇宙間的物質，一般都是氣體和元素。雖說在太陽的冷卻地點 (Cooler Point) 有破碎的化合物 (Fragmentary Chemical Compounds)，但是太陽和那些恆星都是氣態的，祇存在有的行星 (如地球) 上，才有液體、固體和化合物存在。因為地球上溫度的範圍有了限制，所以液體也僅僅是有限的若干種，密度差不多約略相同。

至於氣體密度，使我們遭遇到一項困難，那就是氣體沒有特定的容積，它會無限制地膨脹，如將它裝進任何一個容器裡面，這個容器都會被它完全充滿，所以氣體的容積，就是被裝納的容器之容積，而這個容器可以是我們隨意所指定的。氣體膨脹時，壓力會減小；因此測量氣體容積時，必須認定一個特定的壓力；此一被選定之壓力，就是大氣壓力。但是由於大氣壓力也有變化，所以必須再規定是多大的壓力；這規定的大氣壓力，稱為標準大氣壓力 (standard atmosphere)，就是每平方吋 14.7 磅的壓力，相當於 76 公分的氣壓計高度。氣體也會因為受溫度的影響而發生很大的膨脹，所以必須再規定一個特定的溫度；這通常就是水的冰點。此二種情況合併起來稱為標準狀態 (Standard Condition)。

液體與固體的密度也同樣受壓力與溫度的影響。因為壓力與溫度變化時，液體和固體也會膨脹或收縮；不過其影響極微，常可將其略而不計。

在標準狀態下，空氣密度為 .001293，那就是比水輕 775 倍。如果要求一立方呎若干磅時，則須乘以 62.5。因為 62 ½ 磅約為 1,000 噸 (Ounces)，故可將 .001293 的小數點向右移三位，得到每立方呎的重量為 1.293 噸。因為 1 公升等於 1000 立方公分，所以這數字也就是單位為每公升若干克的密度；在公制方面，這是通常用來表示密度的方法。為了立即可以顯示出氣體較空氣重還是輕的情況，氣體的密度，也常以與空氣之比較值來表示，空氣作為 1，大於 1 的比空氣重，小於 1 的比空氣輕，其方式與液體相同。

最輕的氣體，氫和氦，每立方呎的重量分別為 .09 噸及 .18 噸。所以氫與空氣比較，氫輕了 144 倍。

雖然氣體是一種非常輕的物質，給人的印象好像是一點重量都沒有；但

是如果體積很大，那就有相當的重量了。一個面積為12呎乘14呎、高8呎小房間裡的空氣，其重量有100磅，要是在一大的會堂裡，那就會有幾噸了重了。三百多萬立方呎的氫——這是使一隻可以駕駛的齊柏林飛船(Graf Zeppelin)膨脹所需的氫氣，其重量有九噸之多。

有許多氣體比空氣重。戰爭中使用的氯氣，大約重2½倍，二氧化碳約重50%，這些氣體可以像液體一樣，由一容器倒入另一容器裡，由於氣體是無色的，用眼睛看不到，所以這樣的動作，就好像演啞劇一樣；但當將容器靠近一枝點燃的蠟燭並將容器倒轉時，蠟燭就被流出的氣體滅熄了。田道爾(Tyndall)敘述過一個非常有趣的試驗：在一個開口的玻璃容器裡裝有這樣的氣體，再放一個肥皂泡進去，這時可以看到，肥皂泡一直下降，直至碰到這氣體的表面為止，然後當肥皂泡跳上落下時，就好像容器裡繃了一張薄膜一樣。

第二章 阿基米德與金皇冠

假如物體的形狀不規則，體積無法用幾何學確定時，那麼它的密度將如何求得呢？阿基米德 (Archimedes) (公元前二八七~二一二年) 用兩個方法解決了這項問題。關於阿基米德的這項勞績的描述不止一個，不過下面的一種說法似乎是最適宜。

西拉庫薩* Syracuse 這個地方，當阿基米德居住在那兒的時候，是被希羅 (Hiero) 暴君統治着。這位暴君希望有一頂黃金製的皇冠，於是黃金被小心地稱量給金匠，等待皇冠造成以後，再稱量皇冠一次。這樣重量是被計算出來了，不過由於某種原因，懷疑那金匠曾竊取一部份黃金而以相等重量的賤金屬來代替。這將如何來證明呢？對這困難的問題，希羅找到了當時在數學和力學上的成就已經有名的阿基米德，阿基米德對這件事情仔細地想了一下，他知道，黃金是一種非常重的金屬，倘若用其他金屬來調換一部份黃金時，那必須要用得很多，方能維持同樣的重量，皇冠將也就要變得很大的了。但是他將如何求得現在的皇冠是多麼大，沒有其他金屬調換過的皇冠又是多麼大呢？這是很明顯的，不獨重量需要計算，體積也需要計算一番。

當他仍然在思考這件事的時候，偶然去到浴室，浴盆裡注滿了水，他走進浴盆，浴盆裡的水立即溢漫了出來。這一現象觸使他獲得了問題的解答。他大喜若狂，跳出了浴盆，來不及穿上衣服就跑到家裡去，大聲地叫道：“Eureka! Eureka!” 這意思就是“我知道了。”

他知道了，將做好的皇冠浸入充滿了水的盆中，由溢出的水量，就可以求得皇冠的體積了。但是要以純金再製造一頂皇冠以決定其體積應為若干，這是不可能的事。不過阿基米德知道，用一小塊純金，由其重量與體積之比例，就可以求得純金製造的皇冠體積應為若干，因此可以判定製成的皇冠是否是由純金所製成的了。由於這一事件，第一個密度的測定法產生了。

當然，這樣的方法是不夠精密的，不過它可以改善。今天我們所應用的，已經是經過相當地改善的了。阿基米德發明的方法有兩個主要的缺點：第

* 譯者註：西拉庫薩是西西里 (Sicily) 島東部的一個商埠。

一，因為水面會有點凸出盆子的邊緣，所以要斷言甚麼時候水是剛滿到邊緣，是一個很困難的問題。其次是會有不少的溢水粘附在容器的側面。第一個缺點可以由縮小水面的面積而減少。用如圖 1 所示的瓶子可以將此缺點減少至最小程度。這瓶子的口上有一隻與瓶口配合很密的毛玻璃瓶塞，瓶塞中央



圖 1 比重測定瓶

鑽有一個約為 $1/20$ 吋直徑的小孔。試驗時，瓶中裝滿水，壓下瓶塞，水從塞孔上升溢出，將瓶全部擦乾，用天平稱量一下。由於瓶塞小孔面積很小，所以瓶內水的容積誤差也就很小了。然後再將瓶塞拔出，放入要測定的樣品，裝回瓶塞，於是更多的水溢出，但這樣溢出的水並不須加以保留和測量，祇要將水擦乾，再稱量瓶重，這時的瓶重扣除樣品的重量後，其與原先無樣品在內稱量之瓶重的相差，就是溢出水量的正確重量了。這樣的方法也可以用來求某一種液體的密度，此時僅需於瓶內一次裝進某液體，一次裝進水，兩次稱出的重量分別減去瓶重後，二者之比，就是這液體的密度。

阿基米德在他沐浴的經驗中，還觀測到另外一件事情。當他走進浴盆，身體浸入水裡的時候，浴盆裡的水在他的周圍昇起了起來，他感覺到他的體重逐漸減少，這是由他為了支持身體在桶底上作用的力量逐漸在減小而獲得證明的，最後在他身體差不多全部浸入水中的時候，他的重量減為零了，於是他被浮了起來。

這個現象使阿基米德去研究整個浮體問題。為什麼有些物體會在水中下沉，而有些物體則會浮起來？物體在浮起時，會浮出水面多少？物體浸在水裡為何重量會減輕？減輕多少？這些問題，還有其他許多的問題，在他的“關於浮體”(On Floating Bodies)一文中都有解說。

當阿基米德的身體在水中沉下的時候，水昇高的現象，使他在天平的上