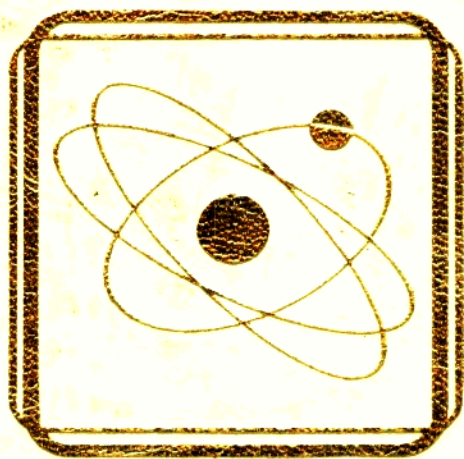


牛頓科學研習百科

物理



牛頓出版社

牛頓科學研習百科



發行人 高源清
總編輯 丁錫鏞
特約編審委員 王亢沛・吳心樞・林爾康・陳文成
陳祿清・梁鎰廣・葉鳳生・鄒志剛
劉齊一・鄭克勇(依姓氏筆劃排列)
日文編輯 陳秀蓮・徐世榮・賴麗娟・劉森昭
宋碧華
科學編輯 李子玲・沈秀雀・張鳳蕙
執行編輯 邱寶貞・洪家輝・陳妙侶
企劃製作 牛頓雜誌社
出版 牛頓出版社
地址 臺北市和平東路二段107巷20號1樓
電話 7059942・7061976・7061977・7062470
郵撥 0731188-1牛頓出版社
原作者 井川憲明・井川隆・都筑卓司
米山正信
原出版者 株式會社 講談社
插畫 石原恒和・山崎典子
攝影 奧村和泰
製版印刷 中華彩色印刷股份有限公司
定價 新臺幣1100元
初版 1985年5月25日
出版登記證 / 局版臺業字第3139號
法律顧問 林樹旺律師
■本書版權所有，翻印必究■

牛頓科學研習百科



• 特約編審委員(按姓氏筆劃排列) •

王亢沛 (臺灣大學物理系教授)

吳心恆 (中央大學物理系教授)

林爾康 (中央研究院物理研究所所長)

陳文咸 (中正理工學院物理系教授)

陳滌清 (中央大學物理系教授)

梁鎬廣 (中央大學物理系教授)

葉鳳生 (清華大學電機系教授)

鄒志剛 (中央大學物理系教授)

劉齊一 (臺灣大學電機系教授)

鄭克勇 (中正理工學院電機系教授)

總審訂 • 丁錫鏞

牛頓出版社

序言

科技文明的腳步不斷地向前邁進，而且已由漫步逐漸加速為快跑。以近日備受矚目的太空科技來說，自古以來，人類始終夢想著翱翔天際，但雖歷經了千百年的努力，在十九世紀之前，人類仍在地面行走，航空科技的進展幾乎為零。直到一九〇三年萊特兄弟完成第一次離地飛行的實驗之後，至今不過八十餘年，人類不僅已能藉著各種航空載具像鳥類一樣海闊天空、自由自在地飛翔，而且衝出了大氣層，踏上月球的寧靜海，以土星、木星為跳板，奔向太陽系外浩瀚無窮的宇宙深處。

然而，沒有一項劃時代的發明是偶然的，如果沒有紮實的科學知識為根基，所有的理論都是空想。沒有物理基礎力學，那來的流體力學，更不可能研製出飛機，航向太空的美夢又從何圓起？因此，儘管太空梭、電腦、雷射、機器人等應用科技喧器一時，但如果不在基礎科學方面多下功夫，到頭來終究是黃梁一夢而已。

我國教育的隱憂之一，在於中學階段「考試領導教學」，國中生為高中聯考而疲於奔命，高中生為大學聯考而心力交瘁；大學時代則基礎科學不受重視，考入「冷門科系」者極多非其本意，對畢業後出路更是惶惶不安。所幸近年來教育當局已對這些缺失痛下針砭，陸續展開一連串革新行動，諸如：由師大科學教育中心改編中學教材、實施彈性化及多元化的新高中課程標準、開闢大學社會與科技學門之間的通識課程、修訂留學辦法等。國科會在訂定八大重點科技時，也不忘再三強調：絕不忽略基礎科學。

這些措施確是極為睿智的決策，因為基礎科學可以說是培養科學態度、鍛鍊科學精神、訓練推理思考最重要的工具。尤其身處科技發展日新月異的現代，若想迎頭趕上時代潮流，注重基礎科學教育已是必然的趨勢。

牛頓雜誌社有感於基礎科學教育的重要，自民國七十二年五月十五日「牛頓雜誌」創刊之後，不斷地以「推動大眾科技傳播、加強科學紮根教育、提升全民科技水準」自我鞭策，在全體編審委員、編譯委員及編輯同仁的合作之下，緊接著又推出「小牛頓雜誌」，並企劃製作『透視地球』、『探索能源』、『動物獵奇』、『人體的奧秘』、『航向太空』、『銀

河之旅』、『科技天地』、『大自然之美』、『科學的最前線』、『生物奇觀』、『星星·月亮·太陽』、『科學家列傳』等十二本「牛頓特集」與「基礎科學」專書。爲了達到相輔相成的效果，對應用性的尖端科技也不遺餘力地推廣，先後出版了『雷射光電』、『資訊電腦』、『機器人』等專輯。『臺灣科學之旅①——墾丁國家公園』則是「牛頓」關心大自然生態環境的另一個起步。

這一系列期刊及叢書的推出，已在國內蔚爲一股科學研習與科技傳播的風氣，如今面對我國科學教育此一重大的轉型期，牛頓雜誌社深受國人的殷切叮囑與期盼，遂再次動員了十九位編輯，花費了一年半的時間及鉅額經費，在八十餘位專家學者的協助之下，製作這套「牛頓科學研習百科」，因應社會大眾及莘莘學子的需求。

「牛頓科學研習百科」共有『物理』、『宇宙』、『人體』、『化學』、『地球』、『動物』、『生命』、『植物』八冊，各冊章節脈絡分明，內容儘量避免抽象化的符號，而代以輕鬆活潑的筆調、精美透晰的圖解。從生活周遭的實例著手，在科際整合的新穎觀念指引之下，介紹科學概念、原理及方法，探討各種科學與人類的關係，幫助讀者在心中建立起完整的科學知識體系，並受本書啓發式的誘導，進一步萌發研究的動機。例如『物理』一書中介紹慣性作用時，即以搭乘公車時乘客摔得人仰馬翻的慘狀來說明。相信凡是搭過公車的讀者，都會深深地體會出其中奧妙，進而研究出調整自己身體重心的對策，從此不再怕公車。

這不僅是一套圖文並茂的中學基礎科學研習教材，離開校門已久的社會人士也可以藉此溫故知新，對非理工背景的讀者更是一套十分理想的科學入門指導。此外，各冊書後都附有詳細的中、英、日對照索引，所以也是從事科學教育工作及科技行業的專業人員手邊不可或缺的工具書。

推行科學普及運動一直是「牛頓」的中心目標，願「牛頓」的每本佳作及每場科學活動都能成爲您立志做個「科技人」的助力，共同迎接二十一世紀新科技浪潮的來臨。

目錄

1 力的世界..... 7

- 力的種類和性質 / 8
- 力的平衡 / 10
- 重心與穩定性 / 12
- 速度和加速度 / 14
- 運動的定律 / 16
- 萬有引力 / 18
- 各種運動 / 20
- 根據重力的運動 / 22
- 圓周運動 / 24
- 旋轉運動 / 26
- 單擺和振動 / 28
- 碰撞力學 / 30
- 摩擦力 / 32
- 水的壓力 / 34
- 浮力和比重 / 36
- 表面張力 / 38
- 毛細現象 / 40
- 氣體的性質和定律 / 42
- 流體的科學 / 44
- 固體的變形 / 46
- 黏性的科學 / 48
- 力與運動的科學史 / 50

2 熱的世界..... 52

- 各式各樣的熱 / 52

- 熱和溫度 / 54
- 固體、液體和氣體的膨脹 / 56
- 熱的移動 從高溫到低溫 / 58
- 熱力學的定律 / 60
- 熱的科學史 / 62

3 聲音的世界..... 64

- 各式各樣的聲音 / 64
- 波的傳達方式 / 66
- 波的繞射、干涉與共振 / 68
- 運動中物體所產生的聲波 / 70
- 人類耳朵聽不到的聲音 / 71
- 聲音的科學史 / 72

4 光的世界..... 74

- 光是什麼 / 74
- 光的反射 / 76
- 光的折射 / 78
- 全反射 / 80
- 光的繞射和干涉 / 82
- 偏振光和雙折射 / 84
- 紅外線和紫外線 / 86
- X射線 / 88
- 螢光和磷光 / 90
- 光的顏色和光譜 / 92
- 雷射 / 94
- 如何測定光速 / 96

蒲朗克的量子論 / 98	電流和磁場 / 144
光的粒子說 / 100	電磁感應 / 148
波動形態的電子 / 102	交流電 / 150
測不準原理和量子力學 / 104	電磁波 / 152
光度 / 106	真空放電 / 154
光的科學史 / 108	真空管 / 156
5 相對論的世界..... 110	半導體 / 158
伽利略的相對性原理 / 110	二極體 / 160
以太是否存在 / 112	電晶體 / 162
邁克爾遜與莫萊的實驗 / 114	其他的半導體 / 164
縮短的尺與變慢的時鐘 / 116	電子學 / 166
似是而非的雙生子理論 / 118	電與磁的科學史 / 168
何謂特殊相對論 / 120	7 能量的世界.....170
廣義相對論 / 122	能量的世界 / 170
彎曲的空間 / 124	生物中的能量 / 171
黑洞 / 126	自然界的能量 / 172
愛因斯坦的世界 / 128	能源 / 174
6 電的世界..... 130	核分裂 / 175
靜電 / 130	核反應器的科學 / 176
靜電場 / 132	核融合的能量 / 178
電容器(蓄電器) / 134	未來的能源 / 180
電流和歐姆定律 / 136	8 物理的世界..... 182
電路 / 138	物理上使用的單位 / 182
電和熱 / 140	向量、座標、質量 / 184
磁性和磁鐵 / 142	

前言 我們四周的各種事物會起種種變化，關於科學性的變化有二種，其一是物質的本質會產生變化的化學變化；另一種是物質的本質雖然沒有變化，但是形態會改變的物理變化。包括種種自然現象在內，凡研究這種物理變化的學問就稱為物理學(physics)。換言之，物理學是爲了探究各種形態能量的真面目、物質和能量的關係及兩者之間相關作用的一門學問。

這本探討能量世界的物理學書籍，是針對學生及一般對科學有興趣的社會人士特別編寫的。在各級學校裏，物理被編類於自然學科中。本書雖然不能做為物理學教科書，但卻盡可能在淺顯、易懂的範圍內，介紹種種物理學的重要觀念。

物理學的研究範圍非常廣泛，包括了生物物理(biophysics)、化學物理(chemical physics)、地球物理(geophysics)、天文物理(astrophysics)等許多和其他學問有關的科目。也由於這個因素，物理學和數學一樣，都屬於自然科學的基礎學

科之一。

力的世界 在這個領域裏，我們最先要接觸的是從古希臘時代至伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642)、牛頓(Isaac Newton, 1642~1727)……等物理學家們所倡導的古典力學(classical mechanics)。力學是物理學的基礎，主要探究作用於物體的力，以及由作用力所引起之運動的一門學問。我們在中學時讀過的重量、槓桿、彈簧、壓力等問題，在此將做進一步的探討。爲使讀者更容易了解，原有較困難的公式和計算方法盡量加以省略。此外，在第五章「相對論的世界」，則介紹了著名的愛因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955)等，近代物理學家們所提出的新的力學觀念——量子力學。

下圖是氣墊船(hover craft)。把壓縮的空氣噴向地面或水面，形成一層空氣墊；由於此空氣墊能減輕氣墊船和水面或地面的磨擦，所以能够高速前進。



氣墊船



火箭藉氣體的反作用力而飛升

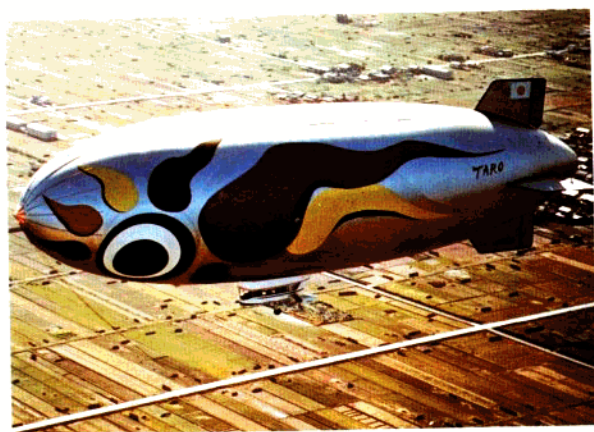
力的種類和性質

何謂力 當我們準備舉起較重的行李、投出某種東西、讓運動中的物體停止或者改變物體原有形態時，手或手臂會有什麼感覺呢？此時，手上的肌肉可能會因抽動而變硬。

古希臘時代將這種手部肌肉所感覺到的緊張狀態稱為力。舉起重物的行李和輕的行李時，那一種情況會使肌肉產生較強的緊張感呢？答案當然是舉起重物的行李時，肌肉的緊張感較強。根據這種肌肉所能感覺到的緊張程度，我們就可以區分出力的大小。

中世紀時偉大的義大利科學家伽利略，曾對「力」做如下的解釋：所謂力就是改變物體運動狀態的原因。今天，物理學界已經採納了這種觀念。

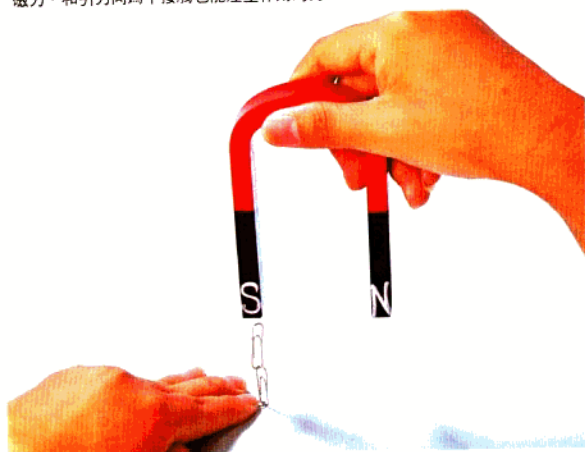
生物所產生的力 伽利略認為物體開始運動或改變運動的方向時，必有力在作用。事實上，我們無時無刻都在將力量加諸各種事物上。這些力量是從肌肉細胞中所產生出來的，也是肌肉伸縮的結果。



浮力。液體和氣體具有讓物體往上浮的力量。
壓力即面的壓力。圖中是在雪地穿著的走雪鞋。



升力。作用於翅膀而能使鳥類上升的力。
磁力。和引力同為不接觸也能產生作用的力。



人類之外的各種動物，也具有從細胞中產生力量的機制。其實不僅在動物身上，就連植物由萌芽而冒出地面等生長的過程，也可說是一種力的作用。

直接作用的力 人類常利用各種機械來獲得比自己肌肉更強大的力量，其中引擎就是能產生大馬力的最常見裝置。此外，還有如弓或彈簧般借助彈性的力量。在汽車修理廠中經常可以看到修理工人用一根金屬棒撐起車子的情形，這就是壓力(油壓)的應用實例。

至於能使船隻浮在水面上的力，則是所謂的浮力。

不直接接觸也能作用的力 地球受到太陽引力的影響而環繞太陽運轉，這早已是衆所周知的常識。牛頓看見蘋果掉落在地面上，而發現了地心引力的這一段故事，相信大部分人也都聽說過。凡有質量的物體，都具有互相吸引的力量，這種力量並不需和對方直接接觸，就可透過空間相互作用，此即為萬有引力(universal gravitation)。

磁鐵能吸住鐵釘，是藉由某種不接觸也能够作用的力。電同樣具有不接觸也能够作用的力，而且，同類的電會互相排斥，不同類的電則會互相吸引，這就是我們所說的同性相斥、異性相吸的道理。

物質內部的力量 若想折斷筷子，需使出相當的力量，此即意味著筷子的內部具有一種抵抗折斷的作用力。事實上不只筷子，所有物質的內部都具有維持固有形態的作用力。物質是一粒粒稱為分子的集合，分子和分子之間具有不易分開的力，此即所謂的分子引力(molecular attraction)。通常分子間的力均為短距離的力，是屬於凡得瓦力(Van der Waals force)。這是由於組成分子的原子之價電子的運動所造成的，所以分子與分子才能聚合在一起，因此我們一般所謂的折斷、撕開等等，實際上就是要將這種分子間的力破壞掉，而使物體能分開。

若將物質加熱，分子會因受熱而開始運動，最後形成與分子引力相反的力。分子引力將因而減弱，使固體熔解成液體。如果繼續加熱，液體將會完全擺脫分子引力，而蒸發成氣體。

作用和反作用 力的表現方式，可分為作用(action)以及反作用(reaction)二種力，接下來我們便針對這二種力加以說明。跳遠時，當雙腳用力踩上踏板，雙腳即向踏板施加作用力，身體卻朝相反方向凌空而起。當用力擠壓皮球時，手也會感覺到來自皮球的壓力。又如舉起重物時，手雖然使出往上的作用力，但同時重物也會給手向下的作用力，因而會覺得物品很重。由此可知，當力在作用的時候，同時也產生



撐竿跳是一種利用玻璃纖維等彈性材料的彈力來跳高的運動項目。彈簧秤和發條等也是利用彈力原理製造的產品。

方向相反、大小相同而作用在不同物體的力，這種力即被稱為反作用力。

物體和物體間在互相接觸時，作用力和反作用力通常都會保持平衡。當一本書擺在桌面上，受到地球引力的影響，書本會對桌面產生向下的作用力，而桌面也會生出抗力，由下往上作用於書本上。由於作用力和反作用力彼此平衡，所以書本得以保持靜置於桌面上的狀態。噴射機在飛行時，由引擎排出的氣體對空氣做向後的作用力；此時，空氣也對噴射機產生反作用力，因而促使噴射機往前推進。

這種關於作用和反作用的定律稱為運動的第三定律。

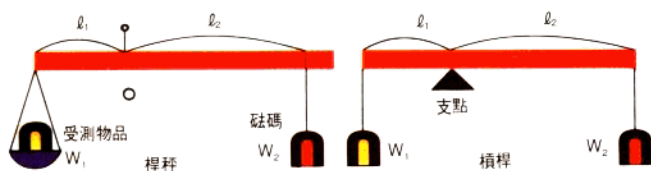
力程 力場作用的有效範圍稱為力程(range of force)，力依照力程的大小又可分為二大類。第一類是短程力(short range force)，這種力的作用範圍很小，同時其所產生的影響力會隨距離的增加而急速減小。就像是核子間的核力(nuclear force)，在 10^{-13} 公釐距離內的作用力很強，但當距離超過此值時核子力即可忽略不計。第二類是長程力(long range force)，這種力的大小會隨距離的增加而緩慢地減小。一般所稱靜電力、萬有引力等都是與距離的平方成反比的長程力。



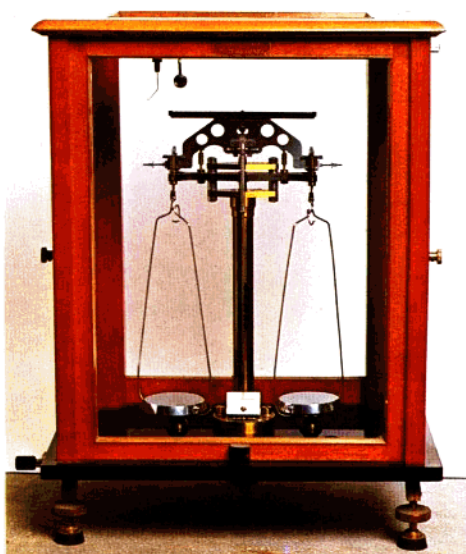
拉力的平衡，大小相等、方向相反的二力平衡。



橡皮圈的力平衡，注意橡皮圈伸長的情形。



桿秤利用槓桿原理來測定物體重量的器具



化學天秤的精密度可達一萬分之一公克

力的平衡

二力的平衡 前面曾提及由於重力和桌面所生抗力保持平衡，使書本得以靜止於書桌上。關於這種力的平衡，我們要做一番更詳細、深入的說明。要了解力作用於靜止桌面的書上，實在不是一件簡單的事；不過若舉拔河的例子便可一目了然。雙方雖然滿面通紅地盡力拉，繩子卻始終不見移動，這正是雙方勢均力敵的表徵。

我們也可用二個彈簧秤來觀察力的平衡現象。上圖中將二彈簧秤由二端向外拉引，結果雙方的指針指在相同的刻度上。這是因為二彈簧秤被同樣大小的力分別往左及右側拉，也就是說，施加於二彈簧秤上方向相反、大小相同的二力相互平衡。

如果沒有彈簧秤，我們還可借助二條橡皮圈，如上圖所示般來觀察二力的平衡。

平衡木偶 玩具類中的平衡木偶也是利用二力的平衡原理，但看起來卻和拔河完全不同。

平衡木偶右邊的重球因受地球引力的影響而有向下作用的力。這個力量透過臂而對木偶左側的重球產生上舉的作用力（此即槓桿原理）。由於木偶左側的重球也同樣受到地心引力的影響，因此，二側的重球都會在上下二個方向接受到同樣大小的二力，以致於得以保持平衡，這和拔河的情形如出一轍。

天秤就是應用平衡木偶的原理所製造的測量儀器。桿秤雖然也是測量儀器的一種，不過，在使用時由支點至懸掛物品的秤鉤與砝碼之間的長度不相等，因此其應用的原理可說與

平衡木偶不盡相同。正確地說，桿秤所應用的正是力矩(moment of force) 的原理。

現在假設上圖中桿秤支點所在的O點至左右二端的長度分別為 ℓ_1 與 ℓ_2 ，所稱物品的重量為 W_1 ，砝碼重量為 W_2 ，則有如下的關係存在：

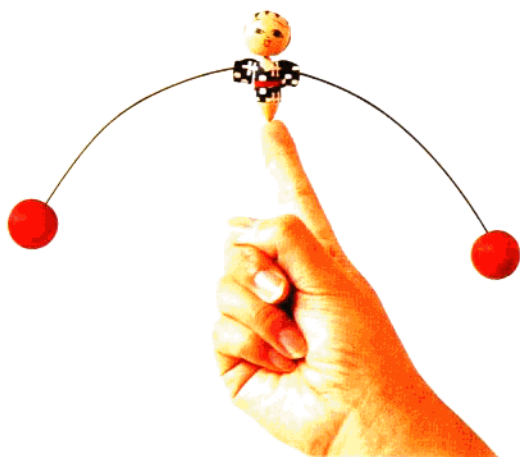
$$W_1 \times \ell_1 = W_2 \times \ell_2 \quad (\text{重量} \times \text{臂長})$$

這就是O點二端的力矩。只要仔細觀察，就可以知道上式是個反比例的公式，因此當O點至 W_2 間的距離較長時，不需要太重的砝碼即可使之平衡。我們都知道當二個人玩翹翹板遊戲時，若體重較重的一方不坐在靠近支點處，翹翹板就無法順利地一上一下了，這同樣是力矩的原理使然。

三力的平衡 通常要推或拉一件物體時，大體上都有三個或四個力在作用。但是，若我們採取合力(resultant force)的觀點，數力平衡的結果就和兩力平衡的情形一樣。現在，我們就針對三力的問題加以探討。

右邊的圖片中，利用金屬環連接三個彈簧秤，然後從三個方向加以拉引。此時，三個彈簧秤都指向同樣的刻度上，顯示三力呈平衡之勢。接著，改變三個彈簧秤的拉引方向

結果如下圖所顯示，當三者之間的角度各為一百二十度時，三個彈簧秤所指的刻度相同。這時，如圖①所示般，將三力的作用點當做O，三力的作用方向分別定為OA、OB、OC；為了表示三力的大小相等，三條射線OA、OB與OC的長度相等；然後在OA的反方向畫出同樣長度的OA'。由於OA和OB的長度相等，二射線間的角度為六十度，所以連接OA'B



平衡木偶：右側的力量和左側的力量平衡。



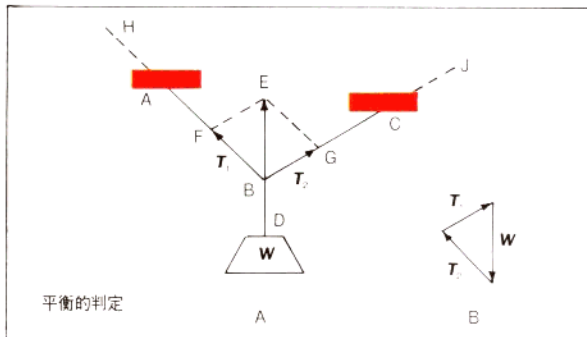
平衡吊飾是一種利用平衡原理製作的玩具，相當有趣。

即形成一正三角形。同樣地，連接 $OA'C$ 也可形成一正三角形。若是連接 $OBA'C$ ，則會形成一個平行四邊形。

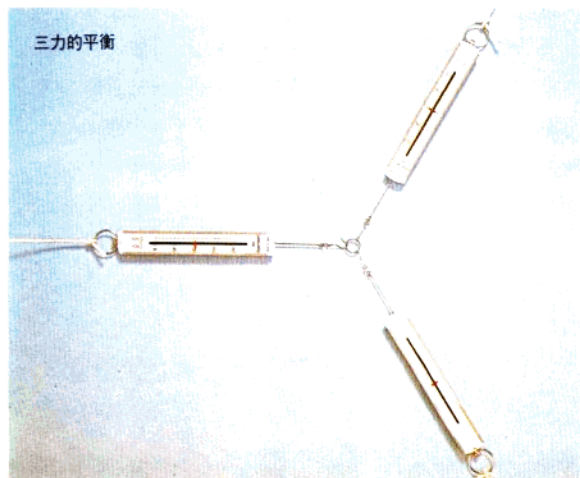
由於 OA 和 OA' 是大小相等而方向相反的三個力，因此得以平衡。此外， OB 、 OC 和 OA 也是保持平衡的三力，因此， OA' 可算替代了 OB 和 OC 的力量，而和 OA 達成平衡的狀態。在這裏，我們稱 OA' 是 OB 和 OC 二力的合力。

即使 OB 、 OC 和 OA 的長度並不相同，在平衡狀態時，同樣可以利用平行四邊形的方法來求 OB 和 OC 的合力。如圖 2 般，如果我們找出 F_1 和 F_2 的合力 F_3 時，就可以和 F_3 取得平衡了。現在，我們舉出一實際的例子來看看。用繩子綁一塊石頭分別由二個人來支撐。假定石頭的重量是 F_3 ，三個人的力量分別是 F_1 和 F_2 。由於 F_3 分別由 F_1 和 F_2 兩個力來支撐，所以稱 F_1 和 F_2 二力為 F_3 的分力 (component of force)。

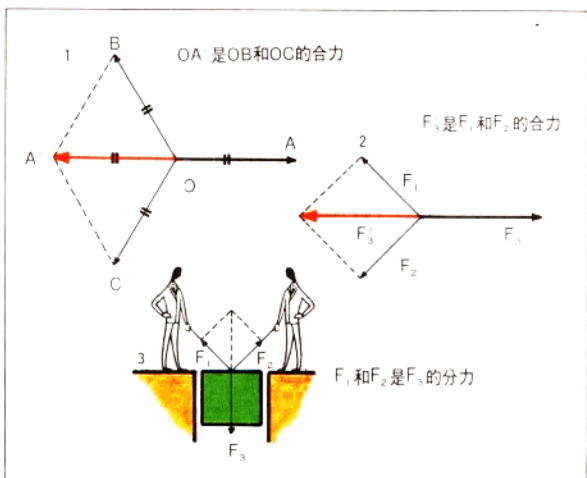
平衡的判別 下面有三個判定平衡的主要原則。分別是力之平行四邊形 (parallelogram of force)、作用與反作用以及力的可傳性 (transmissibility)，即如圖所示。所謂力的可傳性是指作用於物體的力沿著作用方向移動時，仍不改變其平衡。即 A 、 C 二物的位置移至 H 、 J 或 F 、 G 仍不改變 W 位置。



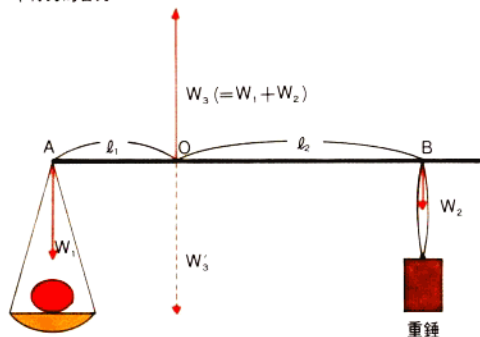
平衡的判定



三力的平衡



平行力的合力



重心與穩定性

平行二力的合力 如左圖般，桿秤的A端是欲測定的物體 W_1 ，B端是秤坵 W_2 ，O點為支點，此時，如果兩邊保持平衡，而且不將桿秤的重量考慮在內的話，便有 $W_3 = W_1 + W_2$ 的關係存在。因此，假定O點上有個大小和 W_3 相等而方向卻相反的力 W'_3 ，那麼，我們就可稱 W'_3 為 W_1 和 W_2 的合力。按照以上的方法，就可以求得平行二力的合力。

另外，由於 $W_1 \times OA = W_2 \times OB$ ，所以O的位置正是OA與OB間長度之比等於 W_2 與 W_1 間重量之比的關鍵點。

何謂重心 一枝鉛筆若能找到適當的點，即可不需扶持地將之平放在手指上。一本書如果能找出可支撐全部重量的那一點，也可以平穩地放在一隻手指上。實際上，每一件物品都可找出足以支撐其全部重量的點，這一點就是重心(center of gravity)。為什麼能如此呢？我們可依據平行力的合力來思考這個問題。

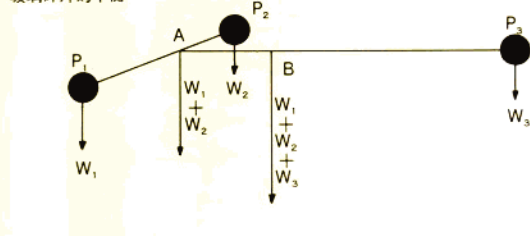
把一大塊玻璃分成 P_1 、 P_2 、 P_3 ……數小塊，並假設每一小塊的重量為 W_1 、 W_2 、 W_3 ……等。左邊第二圖中，假設 W_1 和 W_2 的合力($W_1 + W_2$)需施在A點上，而A點和 W_3 的合力($W_1 + W_2 + W_3$)需施在B點上……，以此類推，最後就可求得和整塊玻璃重量相等的合力，而此合力的施力點也就是整塊玻璃的重心。

既然整塊玻璃的全部重量都落在這個重心上，如果我們在玻璃邊稍微削去一小部分，那麼這塊小碎片是否就不具重量？假若將玻璃掉落地面摔碎了，就可以清楚地知道每一塊小碎片都有重量，也都各有重心。換句話說，玻璃破碎之前集結於重心的全重力，已經隨碎片數量而分成若干分力，並分散在各碎片的重心上。由此可知，物體的重心並非固定在某一特定之點，只要物體形狀稍有變化，重心也隨之改變。

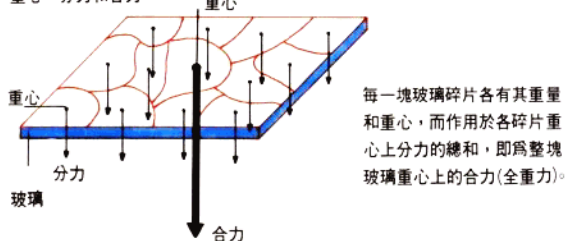
重心的求法 現在，我們來試求物體的重心。假定有一塊如左圖中所示般形狀不規則的木板，其重心在G點上。首先，用繩子穿過A點而將木板懸吊起來，木板就會如圖般往右移動，直至重心G點在A點的正下方才穩定下來。此時，如果我們從A點畫一條鉛垂線，G點必定在這條鉛垂線上。同樣地我們把繩子穿過B點而將木板懸吊起來，等到木板穩定下來，自B點引一條鉛垂線，重心G仍舊會在這一條鉛垂線上。由A、B二點分別所畫的鉛垂線之交點，正是此木板的重心G。

穩定性 我們生活週遭的各種物品中，有的穩若磐石，不輕易傾倒；有的卻非常不穩定，稍稍一碰就倒。

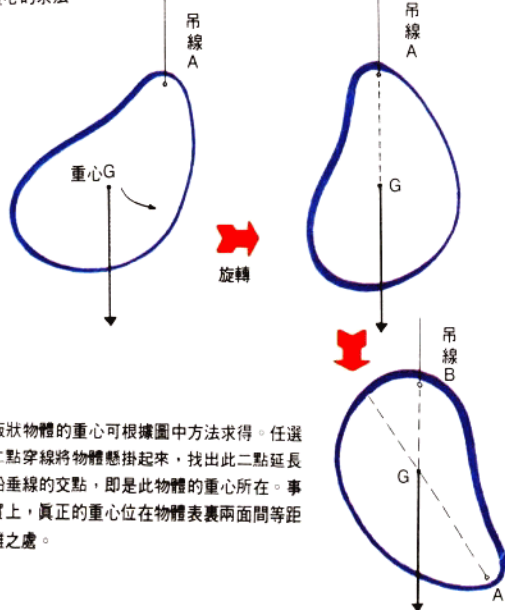
玻璃碎片的平衡



重心、分力和合力



重心的求法



板狀物體的重心可根據圖中方法求得。任選二點穿線將物體懸掛起來，找出此二點延長鉛垂線之交點，即是此物體的重心所在。事實上，真正的重心位在物體表裏兩面間等距離之處。

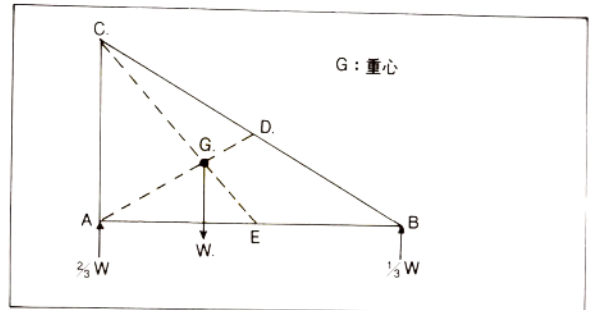
在此，我們且說明穩定性和重心的關係。首先，如圖①般先用鐵絲做一箱形的框，並在重心G處用線懸吊重物。為便於了解，我們從各種不同角度來看這個框。圖②中框的擺放位置和圖①相同，懸掛於重心G之下的重物正對著底邊fg的正中央。圖③中將框稍微傾斜，重物就會傾向g側。至於像圖④般傾斜，重物與水平面的垂直交點就會跑到g的外側。以圖③的位置來說，一旦鬆手，框就會以g為支點，而重物產生往左的作用力，很快地框就會恢復原來的位置(如圖②)。但是若以圖④的位置來說，重物產生往右的作用力，而使整個框倒下來。此時，如果我們把框放倒，使長邊為底，並如圖④般傾斜時，框就不容易倒下了。這是因為將框橫放時底面積變寬，重心也隨之降低的緣故。這麼一來，就不容易造成圖④般的情形了。換言之，若要使物體更加穩定，就得加寬物體的底面積，使重心下降。

要證明降低重心能使物體更加穩定，可如圖⑤般在框的

下方鑲上一塊木板。這麼一來，由於重心變得比原來的位置低，因此，就算將框如圖④般加以傾斜成圖⑥所示，重物的鉛垂線仍在底邊之上，鬆開手後，很快地便會恢復原狀。

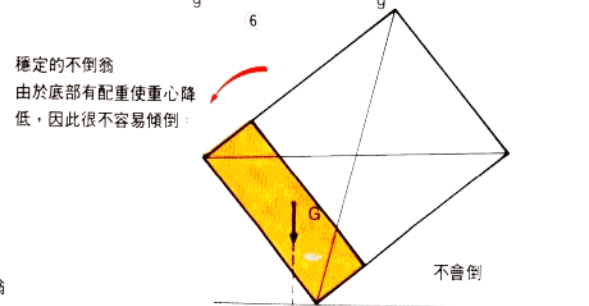
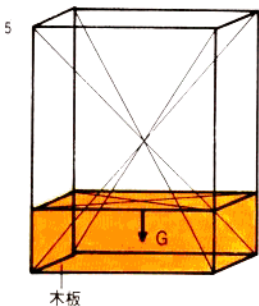
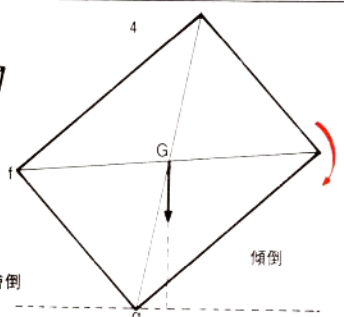
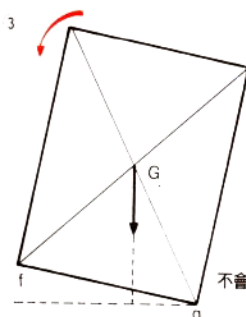
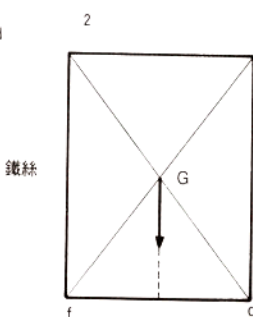
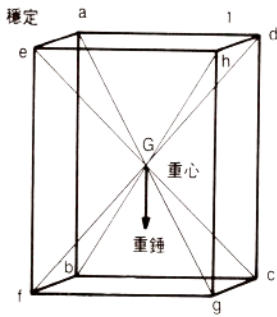
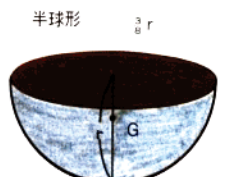
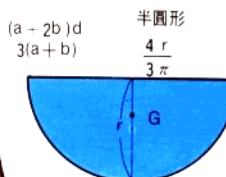
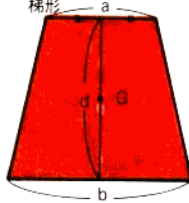
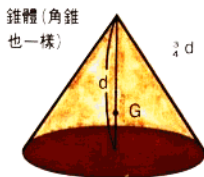
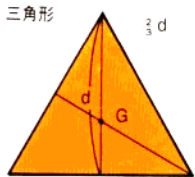
不倒翁的穩定性很強，無論如何推它，它都會屹立不倒，這是因為不倒翁的底部有配重，而使重心降得很低的緣故。

以三角形為例來求重心。畫出三角形ABC三邊的中線會於一點G，此即為三角形的重心。同時任一頂點到其對應邊中點的連線，G點恰將其分成二比一的比。



各種形狀物體的重心位置

- 1 以對角線的交叉點為重心的形狀 平行四邊形、正方形、具備數邊的正多角形……等。
- 2 以中心點為重心的形狀 圓、橢圓、球、甜甜餅形、橢圓體、正多面體、空心球……等。





電車爲了轉彎而減低速度時，速度和加速度都會產生變化。

速度和加速度

速率 「哇！那位選手只花十秒鐘就跑完一百公尺！」「因爲時速限制在四十公里，所以我才會遲到」。

日常生活中，我們常會談到類似的速率(speed)問題，前一句是花多少時間跑完一百公尺的定距離速率表示方法，後一句則是指在一個小時內跑完多少公里的定時間速率表示方法。那麼，以十秒鐘跑完一百公尺的速率和時速四十公里的速率，到底那一種比較快呢？一般人可能會認爲短跑健將花十秒鐘跑完一百公尺的速度較快；但事實上，只根據以上三句話所顯示的數字，是很難分出高下的。暫時撇開徑賽的特殊表示方法不談，一般在物理學中，大多使用後一句的方法來表示速率；亦即先定出時間，以在這段時間內所行進之距離來表示速率的大小。換言之，速率的單位是每秒多少公尺（公尺／秒）、每小時多少公里（公里／時）。

現在，我們就將上述賽跑選手和汽車的速率換算成同樣的單位來加以比較。

選手 $100\text{公尺} / 10\text{秒} = 10\text{公尺} / \text{秒}$

汽車 $40\text{公里} / 1\text{小時} = 40 \times 1000\text{公尺} / 60 \times 60\text{秒}$

$\approx 11.1\text{公尺} / \text{秒}$ (約每秒11.1公尺)

由此可知，我們感覺上比較慢的汽車，事實上卻比賽跑選手稍快。

沒有絕對的速率 當我們說「以十秒鐘跑完一百公尺」時，大前提是假定地球完全靜止。而實際上，地球一面自轉一面環繞著太陽公轉。對太陽來說，這也絕不是移動一百公尺的單純現象，因爲太陽本身也環繞著銀河系的中心運轉，甚至銀河系也和其他銀河做相對性的運轉。由此可知，在地球上並沒有絕對的速率可言。

速率和平均速率 通常速率是指平均速度的大小，而平均速率則是指在 Δt 時間內，所經的路徑長的平均值。我們考慮一簡單的例子：沿一封閉的曲線自某點出發，最後再回到該出發點，由於速度是與位移有關，而位移 P_1 與開始和終止的點有關，與所走之路線無關，因此其位移爲零，則其平均速度爲零。而其平均速率是其所經全部路線長除以時間，因此並不爲零，於是我們知道平均速度和平均速率並不相同。而只有當運動的方向在 Δt 的時間內始終保持不變的時候，位移 P_1 與路徑的值才會相等，因而這時平均速率等於平均速度的絕對值。

速度 安靜房間中毫無搖晃跡象的一杯水，和以一定速度做水平飛行的噴射客機中平穩的一杯水之間，只要不向飛機

窗外觀看，既無震動又聽不到聲音，兩者似乎沒有任何差別。

但是，一旦飛機改變方向，兩者之間的差別立刻就可以察覺。此時，噴射機的速率雖然沒有改變，但只要方向有了改變，我們立刻就會發現噴射機中的那杯水，實際上是處於運動的狀態中，也就是說，速率加方向才是真正的速度 (velocity)。例如：當我們從某一個地點往東跑一百公尺和往西跑一百公尺，儘管速率相同，速度卻不一致。

在日常生活中，我們常將速率和速度混為一談；但是，在物理學中我們必須清楚地加以區別。關於這一點，只要探討以下所述的加速度便很容易了解。

加速度 置身於以等速飛行的噴射機中，我們很難察覺出它的運動。但是，如果噴射機開始改變方向轉而向右飛行，我們的身體就會往左傾倒，杯子裏的水也會往左傾斜而且開始搖盪。如果噴射機突然加快速度，我們的身體就會往後傾倒，而杯子裏的水也會往後傾斜。

從以上的現象中，我們就可以體會到速度的變化。換言之，如果我們改變運動的方向，就算速率不變，速度也會有所不同，這也就是我們必須將速率和速度加以區別的理由。這種速度的變化率就稱為加速度 (acceleration)。在本章一開始時，我們曾提到力就是改變物體運動狀態的原因，不過如果我們想進一步探討物體運動和力的關係，加速度就成為關鍵性的問題。

加速度是單位時間內速度的變化率，也就是速度÷時間。由於速度=距離÷時間，所以，加速度又等於距離÷時間÷時間，也就是距離÷(時間×時間)。時間×時間=(時間)²，所以，加速度=距離÷(時間)²。

現在，假定某一物體正從事如右圖 1、2 所示般的運動。由於這個物體的位置 X 隨著時間而改變，因此位置是時間的函數 (function)。在時間 t 時，X(t) 的位置在 P 點；在時間 (t+Δt) 時，則 X(t+Δt) 的位置就會轉移至 Q，因而有下列的關係存在：

$$\text{速度} = \frac{\text{運動的距離}}{\text{時間}} = \frac{X(t + \Delta t) - X(t)}{\Delta t}$$

這就是 Δt 時間的平均速度。那麼，時間 t 的瞬時速度 (instantaneous velocity) 又是如何？我們只要將上式的 Δt 減到很小 (Δt→0) 就可求得，也因此需運用到微分數學。

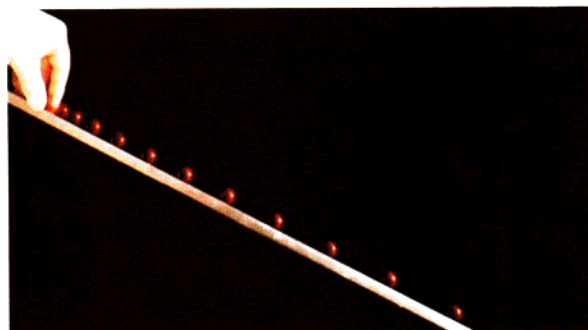
速度 v 是時間 t 的函數，因此，

$$\text{加速度} = \frac{\text{末速度} - \text{初速度}}{\text{時間}} = \frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t}$$

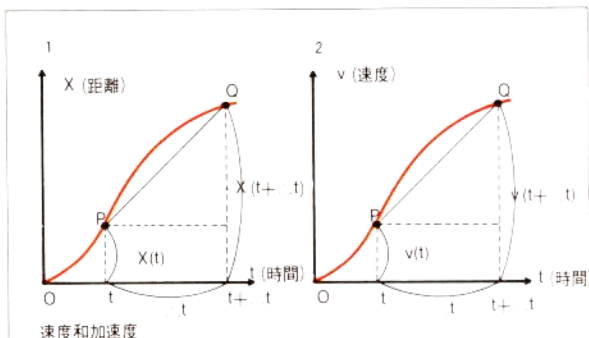
瞬時加速度則是當時間 Δt 小到趨近於零時的加速度。



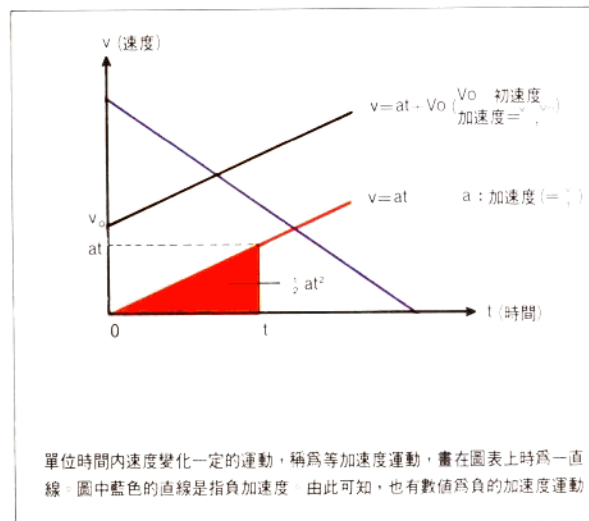
機車的速度表，由於沒有方向的表示，因此實際上只是指示速率的儀表。



斜面運動的球體。等加速度運動的範例。



速度和加速度



單位時間內速度變化一定的運動，稱為等加速度運動，畫在圖表上時為一直線。圖中藍色的直線是指負加速度。由此可知，也有數值為負的加速度運動。