

Fundamentals of Physics

物理學基本原理解

譯者

王唯明 農建

第 冊

東華書局印行

月126/03

物理學基本原理解

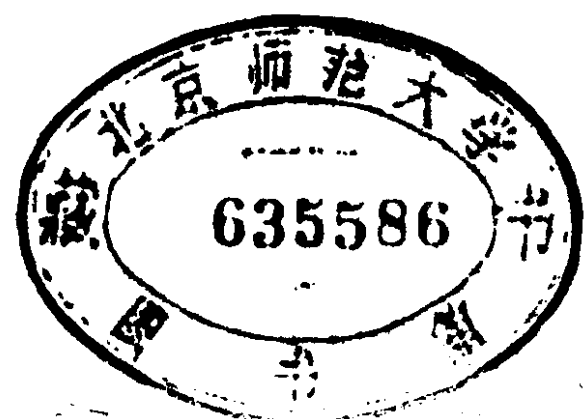
第一册

著者

雷士勒 霍立德
(R. Resnick) (D. Halliday)

譯者

王唯農 王明建



東華書局印行



版權所有·翻印必究

中華民國六十六年二月初版

中華民國六十八年三月二版

大學
用書 物理學基本原理

第一冊 定價新臺幣五十元整

(外埠酌加運費滙費)

原著者 雷士勒 霍立德

譯者 王唯農 王明建

發行人 卓 鑫 森

出版者 臺灣東華書局股份有限公司

臺北市博愛路一〇五號

電話：3819470 郵撥：6481

印刷者 中台印刷廠股份有限公司

(臺中市公園路三十七號)

行政院新聞局登記證 局版臺業字第零柒貳伍號

(66021)

物理常數

(參閱附錄A之附表, 該表較完整)

光速	c	3.00×10^8 米/秒 = 1.86×10^5 哩/秒
質量能量關係	$c^2 (=E/m)$	931 MeV/amu = 8.99×10^{16} 焦耳/仟克
重力常數	G	6.67×10^{-11} 牛頓米 ² /仟克 ²
普遍氣體常數	R	8.31 焦耳/摩爾 K° = 1.99 卡/摩爾 K° = 0.0823 升 atm/摩爾 K°
水的三相點	T_{tr}	273.16°K
導磁常數	μ_0	1.26×10^{-6} 亨利/米
容電常數	ϵ_0	8.85×10^{-12} 法拉/米
亞佛加德羅常數	N_0	6.02×10^{23} 分子/摩爾
波爾茲曼常數	k	1.38×10^{-23} 焦耳/分子 K°
蒲朗克常數	h	6.63×10^{-34} 焦耳秒
基本電荷	e	1.60×10^{-19} 庫倫
電子靜止質量	m_e	9.11×10^{-31} 仟克
電子荷質比	e/m_e	1.76×10^{11} 庫倫/仟克
質子靜止質量	m_p	1.67×10^{-27} 仟克
電子磁矩	μ_e	9.27×10^{-24} 焦耳/tesla

物 理 性 質

空氣密度(STP)	1.29 仟克/米 ³
水密度(20°C)	1.00 × 10 ³ 仟克/米 ³
水銀密度(20°C)	13.6 × 10 ³ 仟克/米 ³
乾燥空氣(STP)中之聲速	331 米/秒 = 1090 呎/秒
重力加速度(標準)	9.81 米/秒 ² = 32.2 呎/秒 ²
標準大氣壓力	1.01 × 10 ⁵ 牛頓/米 ² = 14.7 磅/吋 ² = 760 毫米水銀柱
地球平均半徑	6.37 × 10 ⁶ 米 = 3960 哩
地球-太陽平均距離	1.49 × 10 ⁸ 仟米 = 92.9 × 10 ⁶ 哩
地球-月球平均距離	3.80 × 10 ⁵ 仟米 = 2.39 × 10 ⁵ 哩
地球質量	5.98 × 10 ²⁴ 仟克
水的熔解熱(0°C, 1atm)	79.7 卡/克
水的汽化熱(100°C, 1atm)	539 卡/克
冰的熔點	0.00°C = 273.15°K
空氣(20°C)之比熱比(γ)	1.40
鈉光黃色雙線的波長	5892Å
水的折射率(@5892Å)	1.33
冕牌玻璃的折射率(@5892Å)	1.52

譯 本 序

在1960年霍立德與雷士勒合著 *Physics for Students of Science and Engineering* 一書問世，繼於1962及1966年兩度修訂，並更名爲物理學 (Physics)。全書對物理學的基本觀念，古典力學的適用範圍，及近代物理學的基本概念等，均深入闡釋及討論。數學方面全部用向量和微積分，程度較前大爲提高。且取材新穎，立論精闢，有甚多歷史敘述，發展經過及哲理解說，頗能適合教學的需要。故發行以來，已爲國內外大專院校普遍採用。爲便利國內大專學生修習此書時易於閱讀，使能徹底了解起見，曾經譯者等譯成中文，希望初次研讀原文書籍的讀者，能利用譯本以減少語文方面的困難。

近幾年來，各種學科採用科學方法處理問題的需要日增，許多科系對先修物理學基礎的要求增加，因而有甚多物理學教本編著問世。此類教本各有不同重點，爲適應各種程度的需要，內容深淺難易及取材範圍等有極大的差異。物理學原著者鑒於若干學校將理工學系應修習之普通物理學教學時間減縮，並爲配合各科系的後期課程，乃又從事修訂，精簡裁併，大量減少篇幅，略爲降低艱深程度，但未減少重要題材的闡明及範圍，而成物理學基本原理一書，較物理學簡易。就譯者執教經驗，可在一學年之內授完全部教材，頗適合國內一般理工科系採用。特再予譯述，冀能有助於研讀本書的學生。

全書譯文，以盡量接近原文字義，流暢通順爲原則，但在艱澀之處，則以淺近的中文句法表達，不失物理意義，並適國人閱讀爲主。因物理學標準譯名，雖經國立編譯館編譯，但尚未出版，故所有名詞翻譯，仍用物理學譯本的譯名。譯校本書，以時間短促，難免疏漏錯誤，尚祈教師及讀者隨時指正，以便修正。

本書篇幅仍多，譯述工作至爲艱鉅，幸承李敏璋、陳溢年、謝寧三位先生鼎力協助，使能順利完成，特表謝忱。

王唯農 王明建 謹識

修 訂 本 序

為應許多教師請在書中增加新習題的要求，故編訂物理學基本原理的修訂本。本書原有 1220 習題尚屬合用，仍然全部採用，現另增加 450 道新習題，約增百分之三十七。新習題平均分配在所有各章中，與原有習題散佈的情形大致相同。

同時根據教學獲致的經驗，趁此機會對原有習題予以甚多的改進；例如，使語句簡明扼要，添加提示和註解，列入有用的數據和參考資料，以及改正排印錯誤等。在這新訂本中，對課文也有數十處相似的修正。所有習題，更比以往側重於選用公制單位。

為便於讀者和教師組排及計算此大量習題，我們有幾項措施。第一，在每章中的習題按照節號依次組合，為能解出習題即須涉及該節內容。然後在與該節有關的習題中，按難度逐漸增加的順序編列習題。當然章節順序和艱難程度並非絕對者，解答某些習題常有不同的方法，且有不同的教學效果和感受。習題標號，例如 17(4)，意即這是本章的第十七習題，解此題時須瞭解本章第四節的內容。最後，在附圖之下已加註題號，並將單號習題的答案列在各題之末，不排在全書最後之處。

如上所述，雖然本書不止是原版的新更正本，但嚴格而論，並非新版本。我們認為主要是比原先版本更為合用的教學課本而已，故稱之為修訂本。我們現正着手編輯一套導論式的物理學新課本，並未計劃對本書編擬新版。

Farrell Edwards 和 John Merrill 二君協助編訂這本物理學基本原理的修訂本，賜助甚多，特表謝忱。

一九七四年元月

霍 立 德

賓州匹茲堡大學

雷 士 勒

紐約州壬色列理工學院

著 者 序

在過去幾年中，我們察覺以微積分為基礎的初等物理學，課程的性質在逐漸不斷的改變。有許多學校用於教學的時間比以前減少，有些學校對主要題材的詳盡解釋未如往日的關注，而最近理工科後期課程的改變亦顯示需要比物理學*較簡略的課本。

由於上述以及其他的理由，我們乃對先前的版本着手更改修訂，修改方式如下：一是將物理學書中大量的補充題材及若干附錄材料刪除，另外則將幾章課文予以精簡及合併，因此勢須謹慎重編，乃趁此機會將下冊中若干內容修訂。問題和習題也有變動，現增添甚多新習題，並將宜予刪減者刪除，不少新習題是屬於所謂「樹立信念」之類的。

這次修訂的作用是大量減少課本的篇幅，略為降低艱深程度而不損及對基本原理的廣泛包羅，故物理學基本原理實為物理學的既簡又易的修訂本。凡因為授課時數及學生程度所限制，不宜採用敘論較深和步驟較嚴的物理學一書者，當可用本書。

或許著者本人並非對原著從事刪簡的適當人選，但幸蒙猶他州立大學的 Farrell Edwards 和 John Merrill 兩教授對此工作的鼎力協助，這兩位教授在該大學中講授為期一學年的物理課程已有多數年，在達成我們的目標的方法上深具經驗。我們曾相互仔細討論應予刪除或精簡的題材，共同進行不少必需的重編和甚多新習題的撰寫工作，同時本書之能順利如期出版，亦賴他們的幫助，著者衷心銘感。

我們對 Wiley 公司的密切合作，尤其是物理學編輯 Donald Denck 先生對此改編事宜的精心策劃，Alfred 大學的 Richard Martin 先生對許多章中的新習題提供增添的內容，賜助良多，均表謝忱。

* 霍立德與雷士勒合著物理學 (David Halliday and Robert Resnick, Physics), 紐約 Wiley 公司 1966 年出版。

2 物理學基本原理

我們相信物理學基本原理一書適合於學生和課程的新趨勢，並希望對物理教學的改進有所貢獻。

一九七〇年元月

霍 立 德

賓州匹茲堡大學

雷 士 勒

紐約州以色列理工學院

物理學基本原理

第一冊 目次

第一章 量度	1~11
1-1 物理量、標準及單位	1-4 時間標準
1-2 參考座標系	1-5 單位制
1-3 長度標準	
第二章 向量	12~26
2-1 向量和純量	解析法
2-2 向量的加法, 幾何法	2-4 向量的乘法
2-3 向量的分解與相加,	
第三章 一維運動	27~48
3-1 力學	3-7 一維運動——變加速
3-2 質點運動學	度
3-3 平均速度	3-8 一維運動——等加速
3-4 瞬時速度	度
3-5 一維運動——變速度	3-9 單位和因次的一致
3-6 加速度	3-10 自由落體
第四章 平面運動	49~67
4-1 位移、速度和加速度	4-4 等速圓周運動
4-2 等加速度的平面運動	4-5 相對速度和加速度
4-3 拋射體運動	

第五章 質點動力學..... 68~111

- | | |
|------------------------|------------------------|
| 5-1 導論 | 5-8 力定律 |
| 5-2 古典力學 | 5-9 重量與質量 |
| 5-3 <u>牛頓</u> 第一定律 | 5-10 量度力的靜力步驟 |
| 5-4 力 | 5-11 <u>牛頓</u> 運動定律的應用 |
| 5-5 質量; <u>牛頓</u> 第二定律 | 5-12 摩擦力 |
| 5-6 <u>牛頓</u> 第三定律 | 5-13 等速圓周運動的動力學 |
| 5-7 力學單位制 | |

第六章 功與能112~128

- | | |
|----------------------|-------------------|
| 6-1 導論 | 二維情形 |
| 6-2 不變力所作的功 | 6-5 動能與功-能定理 |
| 6-3 變力所作的功——
一維情形 | 6-6 功-能定理的重要
性 |
| 6-4 變力所作的功—— | 6-7 功率 |

第七章 能量守恆129~158

- | | |
|--------------|---------------|
| 7-1 導論 | 7-6 二維和三維保守系統 |
| 7-2 保守力 | 7-7 非保守力 |
| 7-3 位能 | 7-8 能量守恆 |
| 7-4 一維保守系統 | 7-9 質量與能量 |
| 7-5 機械能和位能曲線 | |

第八章 線動量守恆159~180

- | | |
|-------------|-------------|
| 8-1 質量中心 | 8-4 質點組的線動量 |
| 8-2 質量中心的運動 | 8-5 線動量守恆 |
| 8-3 質點的線動量 | 8-6 動量原理的應用 |

第九章 碰撞181~204

- | | |
|--------------|-------------|
| 9-1 何謂碰撞？ | 9-5 二維與三維碰撞 |
| 9-2 衝量與動量 | 9-6 截面積 |
| 9-3 碰撞時的動量守恆 | 9-7 反應與衰變過程 |
| 9-4 一維碰撞 | |

第十章 轉動運動學.....205~215

- | | |
|----------------|---------------|
| 10-1 轉動 | 10-4 質點圓周運動時線 |
| 10-2 轉動運動學——變數 | 運動學與角運動學 |
| 10-3 等角加速的轉動 | 之關係 |

第十一章 轉動動力學及角動量守恆..... 216~246

- | | |
|----------------|----------------|
| 11-1 導論 | 量 |
| 11-2 作用於質點的轉矩 | 11-6 剛體的轉動動力學 |
| 11-3 質點的角動量 | 11-7 角動量守恆 |
| 11-4 質點組 | 11-8 轉動動力學——複習 |
| 11-5 轉動的動能與轉動慣 | |

第 一 章

量 度

(Measurement)

1-1 物理量、標準及單位

(Physical Quantities, Standards, and Units)

物理量是物理學的基石，用以表示種種物理定律。如力、時間、速度、密度、溫度、電荷、磁化率等等都是物理量。其中許多是日用語彙，如力和溫度等，這些日用語彙，其意義有時含混不清，或與科學含義不同。

爲了物理學的目的，基本量應予明確定義。有一種觀點是當已確定物理量的量度步驟時，該物理量即已予定義。這種觀點稱爲操作觀點 (operational point of view)，因爲這種定義是由一套實驗室的操作而導致一具有單位的數字，此操作可包括數學計算。

物理量常分爲**基本量** (fundamental quantities) 和**導出量** (derived quantities)。這是任意的分法，一量在某一組運算中可爲基本量，而在另一組運算中則爲導出量。定義導出量的操作手續，是以對其他物理量的量度爲根據，例如速度，加速度和體積等常認爲是導出量。基本量則不能以其他物理量定義之。基本量的數目，是對所有物理量有一致和明確的描述時，所需之最少數目。常視爲基本量者有長度和時間。基本量的操作定義包括二步驟：第一，**標準的選擇**；第二，**標準與被測的量之比較步驟的建立**，以使所得數字和單位爲量度結果。

理想標準有兩個主要特性：**易得** (accessible) 與**不變** (invariable)。這兩個要求常不相容，兩者之間應予協調。起初多著重於易得性。但由於科學與工藝上日增的需要，進而需要較高的不變性。例如熟悉的碼、呎和吋是直接由人的臂、足和拇指定出的標準，現在對這種粗略的長度

標準當然難以滿意，需用變動較少的標準，甚至犧牲其易得性。

假定我們已選定長度標準是一棒，定棒的長度為一米，以此棒直接與另一棒比較，斷定後者恰為前者的三倍，就稱第二棒長三米。但很少實施這種與原始標準的直接比較，通常需要步驟比較複雜的間接方法。這種間接量度的結果需要某些假設與直接量法相關聯。天體間的距離，諸如恆星與地球的距離，不能以直接方法測得。同樣，非常小的距離如分子中的距離，也要以間接方法量度。

1-2 參考坐標系 (Reference Frames)

同一物理量若由相互運動的諸觀察者測量時，會有不同的值。一列火車的速度，在地上的觀察者測得一值，在高速汽車上測得不同的值，而坐在火車上的觀察者測得其值為零。從各觀察者的觀點所測得的值同等“正確”；並無一值比其他值更具根本上的優點。讀者繼續研讀本書時當可明白這點。

概言之，物理量的測得值與觀察者作此量度的參考系有關，如上述的速度顯然為如是的物理量。其他物理量，如質點的位移，二事件間的時間間隔，電場或磁場等均如此，上列四例待講到相對論時，才能充分了解。

早期的物理學家相信有一特別的參考系存在，此參考系有超過所有其他參考系的基本優點，即所謂**絕對參考系** (absolute frame)。對此系中的靜止觀察者而言，物理量均有“真實”值或“絕對”值，數十年來以實驗尋求這種絕對參考系的努力均告失敗，故這種觀點現已放棄。

考慮相互以等速度運動，且均對固定恆星以等速度運動的參考系。這種參考系（不加速，不轉動）稱為**慣性參考系** (inertial reference frames)。實驗證明所有慣性系對於物理現象的解釋均相等。在不同系中的觀察者，能測得不同數值的物理量。但所測得諸量之間的關係，即物理定律，對所有的觀察者皆相同。

例如觀察者在不同慣性系中，測原子碰撞時各粒子的動量。測得各

粒子的動量和粒子組的總動量各有不同的數值，但是各觀察者發現不論所得的值爲何，碰撞前後粒子組的總動量相等。換言之，各觀察者將發現碰撞遵守動量守恆律；將在第八章詳細討論此定律。

可知在所有慣性系中物理定律相同，但物理量的測得值可能相同可能不同，故讀者常應徹底了解在解答問題時所用的參考系爲何。

1-3 長度標準* (Standard of Length)

第一具真正的國際長度標準是鉑銻合金棒，稱爲標準米，存於法國巴黎附近的國際度量衡局。棒的兩端各鑲一金塞，上刻細線，兩線間的距離定爲一米（在 0.00°C 且以規定方法支持之時）。本來米的定義爲由北極經巴黎的子午線至赤道距離的千萬分之一，但在標準米造成後，準確測量發現稍有差異（約 0.023%）。

因標準米不易取得，故有精確複製品送存世界各國的標準實驗室，這些副標準用以校驗其他較易取得的量尺。故所有的尺、測微儀或游標尺均經顯微鏡及劃分機以複雜的步驟與標準比較而取得法定效用。英語國家所用的碼也如此得來，自 1959 年來經國際協議訂定如下：

$$1 \text{ 碼 (yard)} = 0.9144 \text{ 米, 確切值,}$$

相當於

$$1 \text{ 吋} = 2.54 \text{ 厘米, 確切值。}$$

尚有反對以合金米棒爲原始長度標準的異議：如該棒在火災或戰爭中易遭毀損；不易精確複製；不易取得等。最重要者，用顯微鏡比較細線的技術，所作長度標準的準確性，已不能符合近代科學與工藝的要求。標準米所能獲得的最高準確度約爲 10^7 分之一，若導航迴旋儀鑽孔時有這樣大的誤差，則在作對月球瞄準發射時，誤差將達一千哩。

1864 年菲佐 (Hippolyte Louis Fizeau 1819–1896) 首先倡議以光

* 關於長度標準的精確討論，可參閱 H. Barrell 所著之 "The Metre"，刊於 Contemporary Physics 1962 年第 3 卷，415 頁。

4 物理學基本原理

波波長為長度標準，後來干涉儀（見第三十七章）的發展帶給科學家精密的光學儀器，能以光波為長度的比較標準。光波波長約 5×10^{-5} 厘米，用以測量數厘米長之棒的長度可準確至一波長的極小分數。以波長作長度比較可達 10^9 分之一的精確度。由於長度比較的精確度日增的需要，而力求最佳的光源。

1961 年國際協議採取長度的原子標準，選定以氪的特別同位素 (Kr^{86}) 電弧光中橘黃色輻射（以光譜記號 $2p_{10}-5d_5$ 鑑別之）在真空中的波長為標準。現定義此光之 1,650,763.73 個波長為一米，此波長

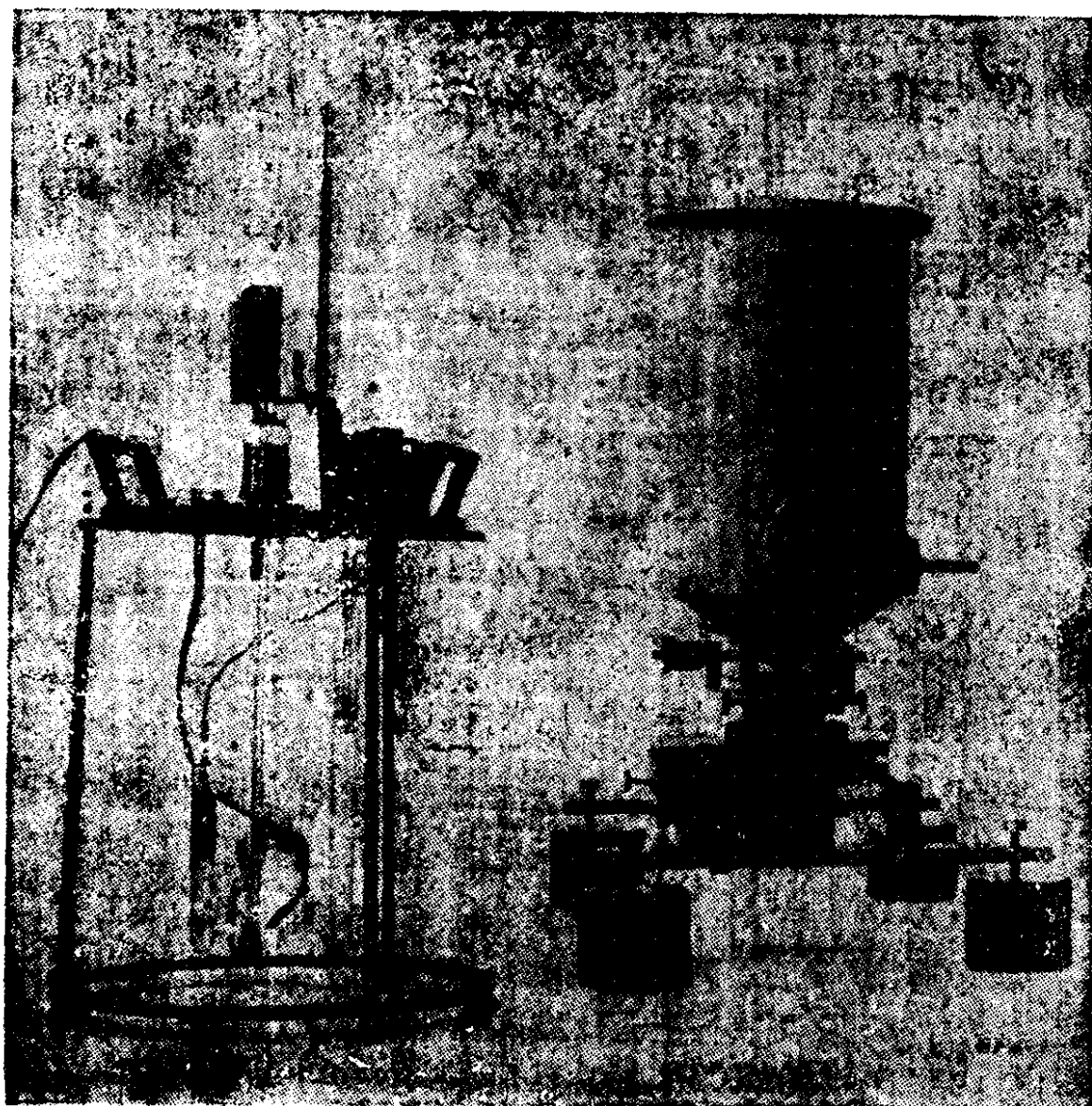


圖 1-1 由保護容器內取出的 Kr^{86} 光源，操作時以液態氮冷卻此燈。（英國 Teddington 國立物理實驗室提供）。

數是以此光波仔細測量標準米棒的長度而得者，並使以光波長為依據的新標準儘量與以合金米棒為依據的舊標準一致。圖 1-1 陳示用作長度標準的 Kr^{86} 光源。

選擇原子標準，除增加長度量度的精確度外，尚有其他優點：如產生光線的原子到處可獲得，且所有同種類的原子均相同，發射相同波長的光線，因此原子標準既易得又不變。所選擇之特別波長是 Kr^{86} 的唯一特徵波長，極其顯明確定，且高純度之 Kr^{86} 同位素容易取得而所費又不大。

表 1-1. 已測得的長度

	米
迄今(1964)所探測到的最遠的似星體*之距離	6×10^{25}
最近的星雲距離(仙女座星雲)	2×10^{23}
銀河半徑	6×10^{19}
最近的恆星距離(人馬星座)	4.3×10^{16}
最遠的行星(冥王星)之平均軌道半徑	5.9×10^{13}
太陽半徑	6.9×10^8
地球半徑	6.4×10^6
自由氣球所達之最大高度(1959年)	4.6×10^4
人的身長	1.8×10^0
本書一頁的厚度	1×10^{-4}
脊髓灰白質炎病毒的大小	1.2×10^{-8}
氫原子半徑	5.0×10^{-11}
質子的有效半徑	1.2×10^{-15}

* quasar—quasi-stellar radio source.

1.4 時間標準 (Standard of Time)

時間的量度有不同的兩方面：爲了日常生活及某些科學的目的，須要以日時定事件發生的次序；大部分科學工作中，須知道事件持續的久