

密爾根 蓋爾

實用物理學

PRACTICAL PHYSICS

MILLIKAN AND GALE

上海商務印書館出版

實用物理學

第一章 計量

基本單位

1. 緒言

常遇常見之事物，其知識之一部，入於吾人範圍者，爲時甚早，石之墜，氣球之升，火息則沸止，電話以電流而傳，吾人均於日常生活上不知不覺中習知之。物理學之目的，即更進而求此所遭遇事實之“如何”及“爲何” (How and Why)，且示人以未見未聞之事物。

自然現象之精確知識，多以精確之計量 (Measurement) 而得。計量之基礎爲長，質量，時間三種，凡百計量，皆可歸原於此。故物理學上第一問題，即在明此單位；全物理界之一切知識，皆可由此等單位表而出之。

2. 標準長度之沿革

文明各國均有計長單位，而其命名之義，殆皆與英之呎 (足) 相仿，可知此單位之始，實緣足長。在英國設立

單位“碼”(此或為英王亨利第一之臂長用作單位)以後,以此為標準,定其三分之一為呎,觀此起源,足不同大,各國各異其單位量者,理所當然。

3. 各種長單位之關係.

一國之中,常用單位,亦復種種,如“吋”(Inch),“手”(Hand),“呎”(Foot),“尋”(Fathom),“杆”(Rod),“哩”(Mile).其起原或由人體各部而定,或以種種他長為衡,其後乃結合其關係,多為冗繁倍數,呎為12吋,碼為3呎,杆為 $5\frac{1}{2}$ 碼,哩為1760碼。

4. 長面積體積質量種種單位之關係.

長(Length)之單位,對於面積(Area)容量(Volume),質量(Mass)之單位,關係更為複雜.例如一平方杆為 $272\frac{1}{4}$ 平方呎,一夸(Quart)為 $57\frac{3}{4}$ 立方吋,而一桶(Barrel)為 $31\frac{1}{2}$ 加侖(Gallon),更如質量單位之磅,既非指定一立方吋或一立方呎之水,亦非做他種尋常物質而言,乃以形量極不便之鉑圓柱之質量為準則.此柱現存英京倫敦.

5. 十進制原始.

法國革命時代,度量權衡,甚為分歧,各處各立標準,時起糾紛,法國國會鑒乎此,乃舉定委員立合理之法制。

現今十進制(Metric system),即其結果也。十進制在法始於一七九三年,其他多數文明國除英,美外俱採用之。即在英美科學方面,實際上皆已通用。此次大戰結果,益速其採用。

6. 標準尺

十進制長之單位爲尺(公尺,米突,邁當),係一鉑銻棒(Platinum-iridium)上所刻二平行線間在 0°C 之距離。原器現貯巴黎之色佛爾(Sèvres)地方的國際度量衡局。此兩刻線間之距離,約合39.37吋,適等於我國營造尺之3.1496。其外形見圖1。創此制者,懼一時遺失,乃取巴

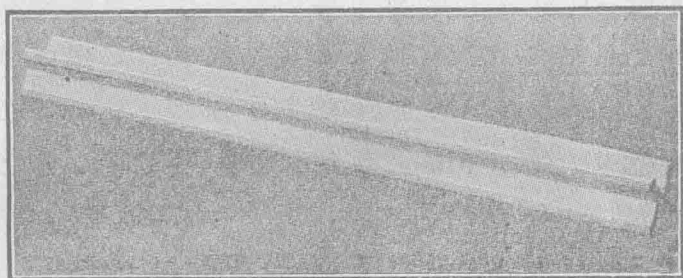


圖1. 標準尺

黎子午線,自地球之赤道至北極,分爲一千萬分,取其一分爲尺之準則,以備仿造。後世實測,知前之測法不無可疑,故不復以地球上象限(即圓四分之一)之命分數爲尺;而以上述鉑銻棒上刻畫之距離爲準(適等我國營造尺

之 3.1496).

7. 容量之十進制標準.

十進制容量之標準單位,名曰珩(Liter,公升,立特),爲每邊等於一呎之十分之一(約爲4吋)之立方體積,等於1,000立方糶,等於1.057夸,故珩與夸大約相等.

8. 質量之十進制標準.

爾時法國度量委員,欲建立長之單位與質量之單位之關係,爰令法國學士院之委員會 (Committee of the French Academy) 製一鉑圓柱,其重量與一珩水於密度最大時(4°C 或 39°F)之重量適等.此圓柱體與標準糶,現皆貯於色佛爾,爲今十進制質量之標準,名之曰標準珩 (Standard kilogram),等於2.2磅,其千分之一,爲質量之基本單位,名之曰克 (Gram,公分,克蘭姆).實用上,一克之量,可視爲一立方糶水之質量.

9. 其他之十進單位.

呎,珩,克三單位,其關係皆十進倍數或約數,是以長度,體積,質量各種單位,與各次高級,皆以一定之公倍關連之,且爲最簡式之公倍,即十進法是也.至其命名,悉與呎相同,皆以十進.

1 哩 = 5280 呎
1 呎 = 39.37 吋

1 碼 = 3 呎

1 呎 = 30.48 釐 1 吋 = 2.54 釐

第一章 計量

5

料(公尺) dekameter = 10 呎 粉(公寸) decimeter = $\frac{1}{10}$ 呎

秬(公引) hectometer = 100 呎 釐(公分) centimeter = $\frac{1}{100}$ 呎

杆(公里) k.lometer = 1000 呎 耗(公釐) millimeter = $\frac{1}{1000}$ 呎

料,秬等爲吾國舊譯,括弧中者爲部類名稱。原文之義,則公倍取於希臘語頭 deka (十), hecto (百), kilo (千); 約取於拉丁語頭 deci (十分之一), centi (百分之一), mili (千分之一)。

以上單位中其最通用者皆有一定之減寫如次:

呎(m.)	耗(mm.)	克(g.)
杆(km.)	砵(l.)	尅(kg.)
釐(cm.)	立方釐(cc.)	銜(mg.)

10. 英國度量與十進制單位比較

下列之表,係英國常用度量與十進制單位之比較:

一吋(in.)	= 2.54 釐	一釐	= .3937 吋
一呎(ft.)	= 30.48 釐	一呎	= 1.094 碼 = 39.37 吋
一哩(mi.)	= 1.609 杆	一杆	= .6214 哩
一格令	= 64.8 銜	一克	= 15.44 格令
一溫司	= 28.35 克	一克	= .0353 溫司
一磅	= 4536 銜	一尅	= 2.204 磅

上列關係中,1 吋 = 2.54 釐,1 呎 = 39.37 吋,1 尅 = 2.2 磅,1 杆 = .62 哩,當記憶之,其他部分之關係,示如圖 2。



圖 2. 厘與吋之比較

茲將中法等式列表於後以資參考。

	營造尺		漕平兩
一杆	= 3149.68	一炷	= 27.288
一箱	= 414.968	一剋	= 2.7288
一料	= 31.4968	一釐	= .27288
一枳	= 3.14968	一克	= .02729
一粉	= .314968	一毫	= .00273
一厘	= .031497	一厘	= .00027
一耗	= .003150	一毫	= .00003

11. 時間之標準單位

文明各國俱用秒(Seconds)為時間之標準單位，即自午至午時間之 $\frac{1}{86400}$ 。

12. 三基本單位

面積體積二者之度量，俱可化為長之度量，因面積為二長相乘之積，體積為三長相乘之積，故面積體積之單位，為誘導單位(Derived units)，由一基本，即長之單位而得者也，不獨面積體積如此，任測何量，不論其為汽鍋壓

力,火車速度,電燈電量,磁石磁量,及其他種種測量,俱可化之爲長,質量與時間之測量,故厘,克,秒三者作爲三基本單位 (Fundamental units). 無論何量,以厘,克,秒計者,簡稱曰表以 C. G. S. (Centimeter-Gram-Second) 系單位.

13. 長之計量法.

測長之法,不過將其長與貯於國際度量衡局中米之長作比較而已.欲求便捷,故仿標準米,製出無數之米,以普遍全球,即吾人常用之米也.一米間更分成 10, 100 或 1000 等分,製時必慎使各等分無差異,至其用法,人盡知之,可不待贅.

14. 質量計量法.

測質量法,與前相同,即將其物之質量與標準砵之質量相比而已.爲便利計,更仿此標準砵,製出無數同質物體,令其質量適爲此標準砵質量之 $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{1000}$ 等數,成爲一系,即所謂一組砵碼 (A set of weights) 是也.

藉此種砵碼組,可以求得未知物體之質量.即先將物體置於天平 A 盤 (圖 3),用鉛子或紙片衡於彼盤.衡定之後,將物體取出,而以若干砵碼代之,直至指針回歸 0 處.於是盤內標準砵碼之和適等該物體之質量.此種衡法,最爲準確,亦名替代法 (Method of substitution). 若秤器精

緻，衡時祇須將未知體置於天平一盤，而以砝碼加入第二盤內，求其指針歸回 O 點之時，所需之砝碼之重量。此實通常衡法，然其準確自有制限，即 C 鋒稜所支之處適在盤之二

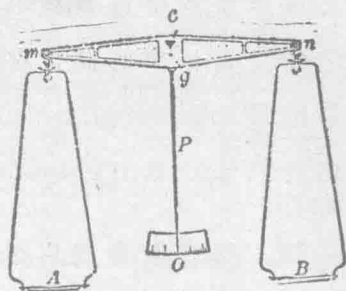


圖 3. 簡單天平

支點 m 與 n 之正中，方可準確無差。至於替代法，則與鋒稜位置無關。

物體之質量，如上述決定者，恆視爲其物所含物質之數量。

問題

1. 萬國運動會之 200 呎賽跑，與鄉間競走之 220 碼相當，其距離孰長？且長幾何？
2. 法國之 75 耗炮其口徑合若干吋？
3. 廿世紀從紐約到芝加哥 (967 哩) 須 20 時間，其平均速度每時合若干哩？
4. 十進制比英制之優長處何在？試列舉之，究覺有其他不便否？
5. 有箱一，其長、深、寬皆表以呎，如何始能知其容積爲若干呎？如爲呎，又將如何求其加侖之數？
6. 試求 6 杆合若干耗？又 4 哩合若干吋？二者孰難孰易？
7. 某飛行船從紐芬蘭直飛至愛爾蘭，(1890 哩) 費 15 時 57 分。一時間飛若干哩，合若干杆？
8. 有箱一，長 0.5 呎，寬 20 櫃，深 100 耗，其容積若干？

密 度

15. 密度之定義

鉛、木、鐵、土各異質，照前法衡之，雖體積相同，而質量大殊，於是有“密度” (Density) 一語以表 單位體積物質之質量。

以英制言之，則立方呎為體積單位，磅為質量單位。一立方呎水重 62.4 磅，故按英制，水之密度每立方呎為 62.4 磅。

若依 C. G. S. 系，則以立方厘米為體積之單位，以克為質量之單位，故按此系，則水之密度每立方厘米為一克；因一克之重，適等一立方厘米水之質量，通常若不特別註明，僅言密度者，皆指 C. G. S. 系單位而言，即為物體一立方厘米之克數質量，例如生鐵一塊，寬 3 厘米，長 8 厘米，厚 1 厘米，重 177.6 克，是其全塊為 24 立方厘米，而其 1 立方厘米質量當為 $\frac{177.6}{24} = 7.4$ 克，即其密度，尋常物質之密度，例如下表：

各固體之密度

克立方厘米(每立方厘米中之克數)			
鉛	2.58	鉛	11.3
黃銅	8.5	鎳	8.9
銅	8.9	橡樹	.8
橡木皮	.24	松樹	.5
玻璃	2.6	鉑	21.4

金	19.3	銀	10.5
鑄鐵	7.4	錫	7.3
鎢	19.6	鋅	7.1

各液體之密度

克立方厘米(每立方厘米中克數)

酒精	.79	鹽酸	1.29
二硫化碳	12.9	銻	13.6
甘油	1.26	汽油	.75

16. 質量體積密度之關係。

物體之質量，既為其所含之克數，而其體積又為其所占之立方厘米數，是則 1 cc. 所有之質量，必等於體積除總質量之數，固自明甚。故 100 cc. 之鐵設為 740 克，則鐵之密度必等於 $740 \div 100 = 7.4$ ，即 1 cc. 為 7.4 克。試以方程式表之：設 M 為物體之質量，即其總克數； V 為其體積，即其總立方厘米數； D 為其密度，即 1 立方厘米中之克數；則得

$$D = \frac{M}{V}. \quad (1)$$

此式不過以代數式述密度之定義而已。

17. 密度與比重之分別。

某物體之重與其同體積之水之重之比，謂之比重

① 現在“重量”與“質量”兩名詞可以互用，重量與質量雖數字相同，實則大異，此義詳第 73 節，重非質量，實則力耳。

(Specific gravity). 如鐵片之重較水重 7.4 倍, 則鐵之比重即為 7.4. 然按 C. G. S. 系單位, 水之密度為 1 cc. 中之克數, 通為 1. 在此系中, 鐵之密度亦為 7.4. 故在 C. G. S. 系, 密度與比重之數字, 恰彼此相同.

物體之比重, 既係同體積之物體與水之比, 故無論用何種單位制, 比重恆同. 至於密度, 乃為每單位體積之質量, 故因所用之單位各異其值. 例如英制, 鐵之密度每立方呎為 462 (7.4×62.4) 磅, 因水每立方呎重 62.4 磅, 而鐵較其同體積之水重 7.4 倍故也。^①

問 題^②

1. 1 妍之牛乳重 1032 g., 其密度及比重為何?
2. 有紗球, 壓其體積至原形之 $\frac{1}{4}$ 時, 對於質量, 容積, 密度生何影響?
3. 有木條為 $30 \times 20 \times 500$ cm., 質量 150 kg., 其密度為何?
4. 君自思能帶一拍克 (Peck) 之金塊還家否? (一拍克約等 8 妍, 參照前表, 第 10 頁.)
5. 一妍之酒精之質量為何?
6. 黃銅塊一, 重 34g., 其容積有若干 cc.?
7. 各邊 2 m. 之鉛塊, 其重合若干十進噸 (Metric ton) (1 十進噸等於 1000 kg. = 2200 lb.)?
8. 有鉛重 45.5 kg., 試求其容積之妍數.

① 測長, 質量, 密度之實習, 當與此節相隨. 參照著者所著實驗教程中之 1, 2, 3 三實驗.

② 本節及其他各補習問題均詳後附錄.

9. 1 kg. 之酒精注入圓筒器內, 深為 8 cm., 試求圓筒之斷面面積。
10. 鉛條之直徑為 1 cm., 重為 1 kg., 試求其長。

第二章 液體之壓力

自由表面下之液體壓力

18. 液體表面下之力

將舉一物，必用力使其向上，爲吾人經驗所習知；並由此經驗，得知所舉物愈大，則所需之力亦愈大，表此力之數字，與表其所舉物之質量之數字必相等，名曰力之重力計量 (The weight measure of a force)，無論爲推爲拉，其所用之力，若與支 1 克質量時所需之力相等者，即稱爲 1 克之力。

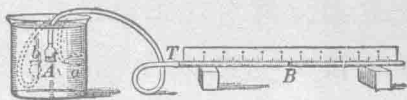


圖 4. 液體壓力計量器

若欲詳究液面下力之性質，可取一壓力計，如圖 4 所示：設以指輕按其漏斗管 A 口所張之橡皮薄膜，則見 T 管內之墨水滴 B 向前移動，去指則滴仍返原處；增指之壓力，則滴前行益遠。故察墨水滴運動之遠近，可以測膜上壓力之大小。今以 A 端按入液面之下，次第至 2 釐，4 釐，8 釐等深，觀 B 滴之運動，可知壓力隨深度而增。

於實驗室中仔細測量，即可知力之增加與深度爲正比。

今設此 A 膜(圖 4)降至水面下 10 釐，將墨水滴所在之處記出，再將膜橫向，使膜面成垂直，如圖中 a，而膜之中心適在

10 厘米處；易言之，平均深度正合 10 厘米時，此墨水滴亦一仍其舊。

又將膜面轉向上方，如圖中 b ，檢液下 10 厘米深處之向下壓力，墨水滴之位置仍如前不變。

由此得一結論，即液體在一定深度之向上向下向旁之壓力皆相等。

19. 力之大小

如圖 5 所示之器，若充滿液體，則其向底之壓力，等於底面所支全液柱之重，當不待言。今設其力為 F 克，底面積為 A 平方厘米，深為 h 厘米，密度為 d 克/立方厘米，即得下式：



圖 5.

$$F = Ahd. \quad (1)$$

然由前節試驗，得知在同一深度之任何方向所受之壓力皆相等，故得一般定律如下：

液體對任何方向之面所施之壓力，皆等於其面之面積與平均深度及其密度三者之相乘積。

此處所謂之平均深度，係指自由水平面與所論面積之中心間之垂直距離而言。

20. 液體中之壓力

以上所述者，皆就液體施於某面上之總壓力 (Total

pressure) 而言,通常將其面分爲若干平方呎,只究其各平方呎面積上所受之力,尤覺便利,物理學上之“壓力”(Pressure)即專指單位面積上所受之力而言。故壓力乃作用於表面上之力之強度 (Intensity of force),決不與其全面積相關,是以欲求液體之壓力,須依 19 節 $F = Ahd$, 及壓力之定義,今令 p 表單位面積上之力,則得:

$$p = \frac{F}{A} = hd. \quad (2)$$

故在密度之等於 d 之液體表面下, h 呎深處之面上所受之壓力,爲每平方呎 hd 克。

如高之單位用呎,密度之單位用每立方呎之磅數,則 hd 所示之壓力爲每平方呎上之磅數。以 144 除之,即得每平方吋上之磅數。

21. 連通器內液體之平面

注水於壺,壺頸之水與壺腹之水齊平,此爲日常所習見之現象。將水傾入連通器 (Communicating vessel) 內,如圖 6 所示,則各器中之水面,同在一平面上。今就圖 7 而論:由前 18

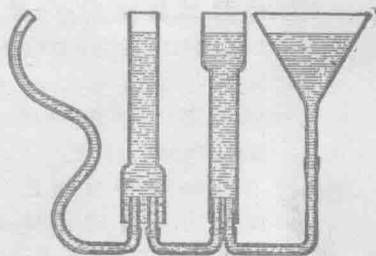


圖 6. 連通器內之水平面

節之實驗，得知 c 點之壓力，等於液之密度乘深度 cg ； o 點之壓力，方向與 c 點之壓力相反，大小則相等，因器中液體並無左右移動之傾向故也。

由此可知 o 點之壓力，當爲其密度之 ks 倍。

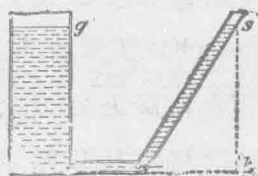


圖 7. 水成同一水平面之理

如自 s 處傾水入器內，使 ks 加深，則 o 點所受由右向左之壓力，大於 c 點所受由左向右之壓力，故管內液體，當被推向左方而起流動，直至兩管液面同高爲止。

由上述連通管之實驗，可知液體表面下之壓力，僅與其深度相關，而與器之形狀大小無涉。

問 題

1. 海底測量，常用一種壓力計沉入水中求之。今假設上述之壓力爲 1.3kg./cm^2 。其深爲何？（海水密度等於 1.026 ）
2. 燈用石油重於水 0.8 倍（水每立方呎重 62.4 磅）。今以之貯於油池，其深爲 30 呎，試求其底面上每平方呎及每平方吋之壓力。
3. 紐約之某屋高 780 呎，須若干壓力方可使水達其頂？試以 lb./in^2 計之。
4. 有一 50 呎平方游泳池其深爲 5 呎，試求其底上所受之力，及其側面所受之力。
5. 假設圖 8 之 (1) 及 (2) 中之 AB 面積相同，各自 D 注水入之，使兩器內 AB 面上之水，其高相等，其時 (2) 之 AB 面上所受力如何？試與 (1) 較；又所得之答數，試用一