

物理學精義

緒 說

§1. 物理學及物質。

物理學(physics; *Physik*)一科簡言之爲關於物質(matter; *Materie*)之學。今試先言物質。

[定義] 物質之存在,可用手之感觸以覺察之。

例如筆,墨,紙,硯,金,木,水,油等,皆爲物質。不問其形狀大小如何,則稱爲物質;若兼指其形狀大小而言,則須稱作物體(body; *Körper*)。換言之,物體者,若干量之物質,聚而成形之謂也。

§2. 物理學所研究之對象,爲物質所秉賦之屬性,及與物質有關係之種種變化。

與物質有關係之變化可由五官察及之者,通常稱之爲現象(phenomenon; *Phänomene*)。例如物體之運動,冷熱,擊之出聲,發而爲光等,皆爲現象。

§3. 若干種現象之中,常含有一共通之關係時,此關係即爲一種物理學定律(physical law; *Physikalisches Gesetz*)。物理學家之目的,在以極少數之簡單定律,解釋一切現象。

§4. 單位.

物理學上之議論概爲大小強弱間之關係,因而有種種之量(quantity; *Grösse*)。表示各種量之大小時,須就其同種類之中,擇一單位(unit; *Einheit*)以作標準,而定其爲單位量之若干倍。即以此倍數,表其量之大小。

§5. 物理學上所常用之各種量中,以長,重(物理上稱爲質量)時間,溫度,四種最爲重要,各定有便宜之單位,稱曰基本單位(fundamental units; *Grundeinheiten*)。茲將此四種單位最常用者略舉如下:——

長之單位用呎,呎,英呎,及其倍數或其分數等;

重量即質量之單位用斤,克,磅,及其倍數或其分數等;

時間之單位用日,時,分,秒等;

溫度之單位用攝氏度及華氏度等。

§6. 表其他各種量之單位時,無須任意另行選定,即用上列之四種基本單位,作爲基礎,擇其中與之有簡單關係者,定爲單位。例如長之單位若用尺,面積之單位即可定爲每邊一尺之正方形,即所謂平方尺;體積之單位即可定爲每邊一尺之正六面體,即所謂立方尺。又如長之單位用英哩,時間之單位用時,速度之單位即可定作一時間一英哩,即所謂[每時哩]。凡如此種由基本單位結合而成之單位,曰誘導單位(derived units; *abgeleitete Einheiten*)。

§7. C. G. S. 單位制.

物理學上通常以厘米作長之單位,克作質量之單位,秒作時間之單位,攝氏度作溫度之單位。此種單位之體系,稱為 C. G. S. 單位制。C 爲 centimeter (厘米) 之略字, G 爲 gram (克) 之略字, S 爲 second (秒) 之略字, 攝氏表雖未列出,然亦含在其中。

§8. 未曾指出單位之表示法.

算術中表矩形之面積,常用表其兩邊之長之數之乘積。如是而得之數字,其單位並未指出,須視其表長之單位如何,始能決定。如長之單位用尺,則所得者即爲平方尺;如長之單位爲呎,則所得者即爲平方呎。其他之量,亦復如是。如所論者爲若干種量間之關係,只須將誘導單位,按此方法選定,使其與基本單位相應,則不問其基本單位爲何,各量之數字間之關係,恒一定不變。例如“以速度 v 運動之物體,經過時間 t 後所到達之距離爲 vt ”之一定理中,其長之單位用尺,時間之單位用秒,速度之單位用每秒尺,固真;長之單位用哩,時間之單位用時,速度之單位用每時哩,亦真。

§9. 長之標準.

長之標準用法國所藏之國際米達原器,爲白金及鈹之合金作成之尺,其橫切面如圖 1。A 面上與兩端接近處,刻有兩線

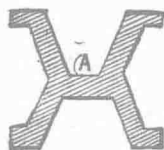


圖 1.

此兩線間之距離在攝氏 0.15 度時，表 1 呎。我國所定之營造尺，爲 1 呎之百分之三十二，故可由此換算而出。

原器因寒暖而有伸縮，故對於溫度，須加以一定之制限，方有準則。

§10. 副尺。

測一物之長，以其一端置於尺上之一線下，若其他端，恰能與尺上之他一線相重，此兩線間之距離，即所測之長。如他端不能恰與他一線相重，而在尺上所刻兩線之間，即其長有零數時，須用特別裝置以求之，此種裝置名曰副尺 (vernier; *Nonius*)。

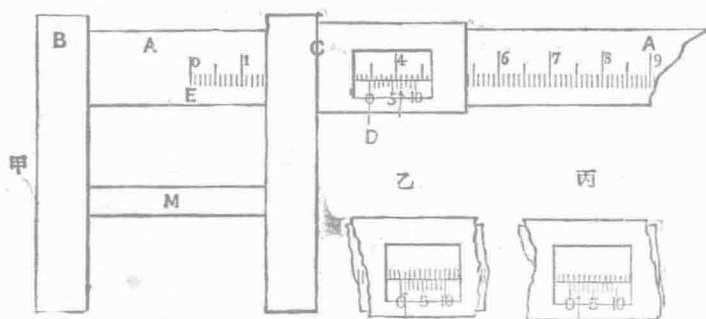


圖 2.

圖 2 爲工人測棒長時所用之器械。A 爲尺，其上刻有尺度，其一端有一 B 棒，固定於其上且與之垂直。另有一 C 棒，與 B 平行，套於 A 上，可以左右滑動。將 C 滑至左端，使其左

緣與B之右緣恰相重合。此時C上之D線，與A上所刻之零點即E線恰相重合。欲測M之長，即以之挾於B與C之間，C上之D線所指之尺度，即M之長。如圖上所示，則M之長除34耗而外，尚有零數。

C上之D線右側，亦刻有若干線，即所謂副尺是也。副尺上之十小格，恰與A之主尺上之九小格相等，故其一格，等於 $\frac{9}{10}$ 耗。每一格比主尺上之一格短 $\frac{1}{10}$ 耗。故D線若在A上之某一線之右端 $\frac{1}{10}$ 耗之位置時，D之次一線，即副尺上刻有1字之線恰與A上之次一線相重，如乙（圖中之箭即相重處）。如D線在A上之某一線之右端 $\frac{2}{10}$ 耗之位置時，D之第二線，即副尺上刻有2字之線，恰與A上之再次一線相重，如丙。甲所示之位置，副尺上刻有7字之線，與主尺上之線恰相一致，故D線較主尺上之34耗之線，尚多 $\frac{7}{10}$ 耗在其右邊。換言之，即所測之M棒共長34.7耗。

種種器械上皆備有副尺以測零數，其所測出之零數，並不限於 $\frac{1}{10}$ ，如上例然。便利上或分作 $\frac{1}{20}$ ，或作 $\frac{1}{30}$ ，其理則一。總而言之，欲測主尺上一格之 $\frac{1}{n}$ 時，即將主尺上之 $n-1$ 格，等分為 n 格，刻於副尺上。如此，副尺上之一格，等於主尺上一格之 $\frac{n-1}{n}$ ，兩者之差，適等於 $\frac{1}{n}$ 。故副尺每動 $\frac{1}{n}$ ，其前之一格即與主尺上之線相重。視其相重之處為第幾格，即知其零數為 n 分之幾。

又有一種副尺，其一格較之主尺上之一格，轉長 $\frac{1}{n}$ 者，其

理仍與上相同。不過副尺每向右進 $\frac{1}{n}$ ，則副尺之左邊，即有一線與主尺上之某一線相重。故若在副尺上將 1, 2, 3 等字，自右至左順次刻去即可。

§11. 欲測極小之長，如紙之厚薄，毛之粗細等，即副尺亦不爲功。須利用螺旋始可（參照 §193）。

§12. 質量之標準

物理學上所用之質量標準，爲法國所藏之原器，其質量定爲 1 尅。其千分之 37.301，我國定作庫秤一兩。

§13. 單位比較表

長及體積：

$$1 \text{ 呎} = 3.125 \text{ 營造尺},$$

$$1 \text{ 營造尺} = .32 \text{ 呎}$$

$$1 \text{ 厘} = \frac{1}{100} \text{ 呎},$$

$$1 \text{ 耗} = \frac{1}{1000} \text{ 呎}$$

$$1 \text{ 杆} = 1000 \text{ 呎} = (\text{約 } 1.8 \text{ 里})$$

$$1 \text{ 呎} = 0.98753 \text{ 營造尺} = 0.3048 \text{ 呎}$$

$$1 \text{ 吋} = \frac{1}{12} \text{ 呎},$$

$$1 \text{ 碼} = 3 \text{ 呎}$$

$$1 \text{ 哩} = 1760 \text{ 碼} = (\text{約 } 2.8 \text{ 里})$$

$$1 \text{ 升} = 1.0355 \text{ 呎},$$

$$1 \text{ 呎} = (\text{約}) 30.5 \text{ 立方寸}$$

質量：

$$1 \text{ 尅} = \text{庫秤 } 1 \text{ 斤 } 10 \text{ 兩 } 8 \text{ 錢}$$

$$\text{庫秤 } 1 \text{ 兩} = 37.316 \text{ 克}$$

$$1 \text{ 克} = \frac{1}{1000} \text{ 斤} = \text{庫秤 } 2.68 \text{ 分}, \quad 1 \text{ 斤} = \frac{1}{1000} \text{ 克}$$

$$1 \text{ 磅} = 0.4536 \text{ 斤}, \quad 1 \text{ 兩} = 12.16 \text{ 兩}$$

$$1 \text{ 溫司} = \frac{1}{16} \text{ 磅}; \quad 1 \text{ 格令} = \frac{1}{7000} \text{ 磅}; \quad 1 \text{ 噸} = 2240 \text{ 磅}$$

溫度:

$$32^{\circ} \text{ F.} = 0^{\circ} \text{ C.},$$

$$212^{\circ} \text{ F.} = 100^{\circ} \text{ C.}$$

$$\text{溫度之差 } 9^{\circ} \text{ F.} = 5^{\circ} \text{ C.}$$

$$\text{如 } t^{\circ} \text{ C.} = t'^{\circ} \text{ F.} \quad \text{則} \quad t' = t \frac{9}{5} + 32$$

由攝氏度數求華氏度數之簡便法如下。例如攝氏 37° ，以2乘之得74，以10除之得7.4。即由74減去7.4得66.6，再加32得98.6即華氏之度數。

第一編 物性

第一章 物質

§14. 物質。

物質之存在,可用手之感觸以覺察之(見§1)云者,即言物質占有立體的空間,非推開之,手決不能達於其所占據之空間之內。此種占有立體的空間之性質,稱為填充性(impenetrability; *Undurchdringlichkeit*)。又或着眼於二物質不能同時占據同一空間,而稱之為物質之不可入性。

§15. 注意(1)。空氣之類,以手觸之,確難察覺其存在。然如盛之於氣枕等類之中,自外壓之,即可見其不易壓縮。即空氣亦占有空間,其存在即可由此察覺而得。

(2) 通常下物質之定義,每謂“凡由五官可覺察之物,皆曰物質。”但耳所能聽之音,眼所能見之光,並非物質,僅物質中所起之作用或現象而已。其詳見後。

(3) 因上述“用手之感觸”一語,即有人謂:凡手不能及之地,如日,月,天體等類,皆不能稱為物質。事實上確如其言不經撫摩,何從斷定其為影為形。不過偶然見其並非時有

時滅,及由其他種種之事實,間接考察,始能斷定其爲物質耳。古書上載有三日並出,其中之二,全屬虛影,並非實地存在之物,故不能稱爲物質。由此可知,眼之觀察,亦並不足靠。

〔問〕 土及地面是否物質?

(答) 土爲物質,固不待論,地面乃指地球之表面而言,無所謂厚,故未嘗占有立體的空間,因亦不能稱爲物質。

〔問〕 顏料與色是否物質?

(答) 顏料可以獨立存在,當然可以稱爲物質,色則不能離卻顏料或其他之物質自存,故不能稱爲物質,只不過物質附隨之性質而已。

§16. 物質常住。

物質有一極重要之性質,即“無論受何種處理,生何種變化,其分量恒不變。”例如蠟燭燃燒後,雖似已消滅,然同時却有二氧化碳及水等發生,此等物質皆含於蠟燭之內。變化之前後,物質全體之分量,並不增減,故得一定律如下,通稱之曰物質常住(*conservation of matter; Erhaltung der Materie*)

〔定律〕 物質不能創生,亦不能消滅。

注意 化學上證明物質常住,每用其重量不因化學變化而有增減之實驗。此一實驗,可以表出兩種事實,一爲物質常住,一爲重力常住(見§35)

§17. 質量

通常謂重量爲若干斤,若干兩,或若干鈞,若干克,若干磅

等,皆指物質之量而言。物理上稱物質之量曰質量 (mass; *Masse*)。故斤,兩,鈞,克,磅等,皆質量之單位。

由上述之物質常住之定律觀之,1克之物體,無論經何種處置,在何種地方,其質量仍為1克。

注意 此處謂一克之物質,無論在何時何地,仍為一克之一語,似覺其為當然之結果,可以不言而喻。實則至為重要,欲確切了解質量之觀念以及斤,克,磅,等名稱之真義,非此不可。因物質之分量,與其輕重,頗易相混故也。詳見後§38。

§18. 密度

日常每謂“軟木為輕,鉛為重,”若正當解釋之,頗有語弊,因軟木雖輕,積多則重,鉛雖重,減少即輕。故須改作“就大小(體積)觀之,軟木分外覺其輕,鉛分外覺其重,”即取同一體積之部分,比較而言,軟木輕而鉛重。欲表明此種差別,僅言此輕彼重,殊不合理。在物理學上,則用密度(density; *Dichte*)一語以區別之,而曰鉛之密度大,軟木之密度小。密度之定義如下:

[定義] 就同一之體積而言,質量有大有小,表明此種

差別之量,稱曰密度,密度者,單位體積所有之質量也。

例如鉛之密度每一立方厘米為11.3克,軟木之密度每一立方厘米為0.24克。

注意(1) 曰輕曰重,皆對於重力(見§35)而言,密度則就

其質量而言，與重力無涉。

(2) 一切物質，莫不因溫度變化，生出體積上之變化（見第五篇第三章）。故密度亦隨溫度而變。例如體積若有增加，其全體之質量並不稍變，故其一單位體積所含之質量不得不減少，結果密度即減小。不過此種變化極微，通常大都略去不論。

§19. 水之密度，非加以特別之注意不可，其1立方厘之質量恰為1克。

注意 嚴密言之，須在攝氏4度時，始有此密度。若在其他之溫度，皆較此略小（見§424）。不過通常只須用“每1立方厘1克”即足。

〔問〕 水之密度若用尺與兩表之，當為若干？

〔答〕 1尺 = 32厘，1立方尺 = $(32)^3$ 立方厘。故1立方尺之水重 $(32)^3$ 克，即 $0,0268 \times (32)^3$ 兩，約 878 兩，即約 54 斤 14 兩。

§20. 比重

就同一體積而言，表物質之或輕或重時，通常多不用密度，而用比重（specific gravity; *spezifische Gewicht*），其定義如下：

〔定義〕 物質之密度，與攝氏4度之水之密度之比，稱為該物質之比重。

或作“任意體積之質量與等體積之攝氏4度之水之質量之比，稱為比重”亦可，第須注意“攝氏4度”之一語而已。例如

鉛之密度每立方糎爲 11.3 克,水則爲每立方糎 1 克。故鉛之密度爲水之密度之 11.3 倍。因得鉛之比重爲 11.3。

§21. 由此而得一定理如下:——

[定理] 用立方糎及克以表各物質之密度時,其數與其比重常相一致。

故若已知其物質之比重爲 s , 卽每立方糎之質量爲 s 克,故此物質之 v 體積所有之質量 m 克,可由下式求得:

$$m = sv$$

若不用克及糎作單位,卽不能得如是簡單之式。

§22. 各種物質之比重如下表:

物 質	比 重	物 質	比 重	物 質	比 重
白金	21.5	鐵	7.8	水	1.00
金	19.3	鋅	7.1	冰	0.92
水銀	13.6	金剛石	3.5	酒精	0.78
鉛	11.3	玻璃	3	乾桐	0.3
銀	10.5	岩石	3-2.5	軟木	0.24
銅	8.9	鎂	2.6		

注意 此等數字,不過大略如此。因同一名稱之物質,或種類不同,或製法有異,其密度遂亦有大小之別。卽屬完全同一之物質,因溫度變化,其密度亦不能不變。

§23. 例。直徑 1 耗之銅線，欲用 30 碼，問須購若干磅始足敷用？按 30 碼即 30×3 呎，又即 $30 \times 3 \times 0.3048$ 呎，又即 $30 \times 3 \times 0.3048 \times 100$ 厘。

直徑 1 耗之圓面積為 $(0.05)^2 \pi$ 即 $\frac{3.14 \times 0.25}{100}$ 平方厘。故體積當等於 $\frac{3.14 \times 0.25}{100} \times 30 \times 3 \times 0.3048 \times 100$ 立方厘。檢表知銅之比重為 8.9，故所要銅線之質量當為 $\frac{3.14 \times 0.25}{100} \times 30 \times 3 \times 0.3048 \times 100 \times 8.9$ 克。而 1 克 = $\frac{1}{0.4536} \times \frac{1}{1000}$ 磅。故得 $\frac{3.14 \times 0.25}{100} \times 30 \times 3 \times 0.3048 \times 100 \times 8.9 \times \frac{1}{0.4536 \times 1000}$

注意 此種計算之結果，只能自最初之數字算起，至第二位或第三位，即非截止不可。

[問] 1 磅銅造成直徑 $\frac{1}{64}$ 吋之銅線時，其長約有若干碼？

(答) $0.4536 \left| \times 1000 \right| \times \frac{1}{8.9} \left| \times \frac{12}{30.48} \right| \times \frac{1}{3.14 \times (0.05)^2} \left| \times \frac{1}{12} \right| \times \frac{1}{3} = 71$ 碼

磅
 克
 立方呎
 立方吋
 長爲吋
 呎
 碼

[問] 黃銅爲銅及鋅之合金。今若假定此兩種金屬混合時，不生體積上之變化，用 6 成銅，4 成鋅製成之黃銅，其比重應爲若干？

(答) 黃銅 1 呔之中含銅 600 克，鋅 400 克，未混合前兩種金屬之體積爲 $\frac{600}{8.9}$ 與 $\frac{400}{7.1}$ 立方厘，其和爲黃銅 1 呔之體積，故其比重當爲 $1000 \div \left(\frac{600}{8.9} + \frac{400}{7.1} \right) = 8.1$

§24. 比重之測定。

物質若無空隙，而又能成一有規則之形狀，例如一圓柱體，則可用尺測此圓柱之高及其直徑，更用秤以測其質量，即可由前法求得其比重。

§25. 測液體之比重,多用一種玻璃製之瓶,名曰比重瓶(pycnometer; *Pyknometer*)者以求之。瓶有塞,瓶內滿盛以欲測之液體,然後加塞,使瓶內除該液體,不留稍許餘地,則在瓶內之液體,即為一定之容積。

命空瓶之重為 w , 瓶內盛滿以水時之重為 W , 瓶內滿盛以欲測之液體時之重為 W' , 如是, $W - w$ 為水之質量, $W' - w$ 為同容積之液體之質量。故欲測之比重,當為 $\frac{W' - w}{W - w}$ 。

形狀無一定規則之小固體,入水後不生變化者,其比重亦可用比重瓶求之。命固體之重為 k , 瓶內滿盛水時之重為 W , 瓶內盛固體後再加水令滿,然後權之,其重設為 W' 。如此,則 $W' - k$ 為瓶內除去固體之體積而外,其餘之部分,滿盛以水時之重量。故知 $(W - W' + k)$ 當為與固體同體積之水重。由此可得 $\frac{k}{W - W' + k}$ 為固體之比重。

注意 用比重瓶作精密之觀測時,須識使用時之溫度。故於瓶塞上,附有一溫度計,如圖3。

§26. 求比重有時用液體浮力(見 §254)之方法見 §257, 258, 264, 266。

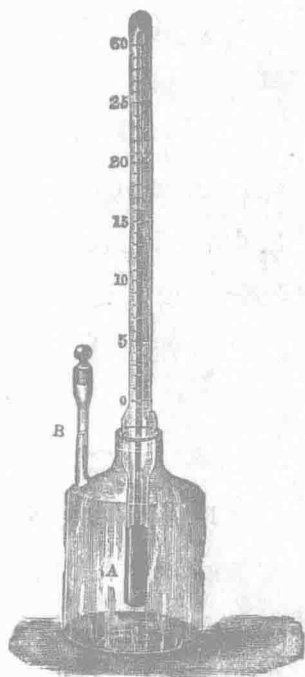


圖 3。

[問] 設有一比重瓶,空瓶之重爲30克,盛水時重80克,盛酒精時重70克,瓶之容積及酒精之比重各爲若干?

(答) 容積等於 $80-30=50$ 之水之容積,即50立方厘米,此酒精之比重爲 $\frac{70-30}{50}$ 即0.8。

[問] 上問之比重瓶中,盛15克之砂,然後加水令滿,權其重,得90克,問砂之體積及其比重各若干?

(答) 砂之體積,可由前問中滿盛以水時之80克減去 $90-15$ 克即與5克之水相同,即5厘米。比重則爲 $\frac{15}{5}$ 即3。

第二章 物質之力學的性質

§27. 運動。

運動(motion; *Bewegung*)爲物體變更位置之現象,各種現象中,當以運動現象爲最簡單,無論何種物質,皆能發生此種現象。換言之,即可動性(mobility; *Beweglichkeit*)當爲物質全體之通性。

§28. 力之概念。

以手推物,或以手曳物時,物理學謂爲“加力(force; *Kraft*)”或“施力”或“使力作用”於物體。或謂爲“物體受力之作用。”例如人面東立,用手推其前面之物體,則此物體即受一向東之力作用,若自西方曳之,物體上即有一向西之力作用。故在物體之西,以手推之,或在物體之東,以手曳之,其作用於物