

萬 有 文 庫

第 二 集 七 百 種

王 雲 五 主 編

科 學 方 法 論

(五)

魏 斯 特 惠 著

徐 韋 曼 譯

商 務 印 書 館 發 行

論法方學科

(五)

著惠特斯魏

譯曼韋徐

著名界世譯漢

第二十四章 計量 (Measurement)

第一節 準確計量爲科學之基礎

科學之最後鵠的，乃將自然界之複雜現象，化爲基本之原素，而將各原素間之關係，用準確及定量之方法以記述之。任何科學之中，準確計量之方法愈多，則進步愈速。此物理化學之所以較植物及地質之進步爲速之故也。吾人對於面積及重量之概念，較諸聰慧或勇敢爲清晰者，因前者之量可計，而後者則不能。科學中之第一要點，爲能將各種現象作準確定量，是以每種新科學儀器之應用，往往能使知識界有顯著之進步。現時所有之儀器，較之查爾登 (Chaldeans) 時代所用者，其可測之量，至少可小百萬倍。

物理科學之各問題，大半複雜，每種研究，常有若干步驟，而任何步驟，均可發生附屬之研究。新

發生之問題，恆變幻莫測，雖偶然有次序可循，然不能立一指導之規則以統轄之。例如，欲研究食鹽在水中溶解一問題。其首先發生之問題爲：食鹽之溶解，是否因溫度而異？或繼續再問：所溶解之容量，因溫度而增或減乎？其變率之程度如何？變率有定律乎？如有之，應如何乎？不同之鹽類，有不同之結果乎？溶解性亦因壓力之變遷而異乎？倘有他種鹽類之存在，亦影響其結果乎？不同之溶劑，發生相同或不同之結果乎？各種問題繼續發生，而每一步中，必須作準確之計量以決定之。

第二節 標準與單位

每種實際計量之直接結果，每與吾人以一種純粹數字比例，即所測事物之量，及某種可以定爲標準單位或標準量之比例也。

如標準單位，較所欲計量者爲大，吾人常將單位剖分，至與所欲計量者相等爲止。例如，測一微小之事物時，則用測微螺旋，將英寸或公分剖分之。但有時亦須將單位倍增，至與所欲計量者之量相等爲止，例如普通所用之尺及測鏈等。

有時將所欲計量者之量，剖分之或倍增之，使其易與單位相比較。例如測定墜體之速度，可使物體由一斜板滾下，以減其速度是也。

第三種方法，乃將用以比較之兩事物之量，同時倍增，至兩者之倍數近於相等爲止。此種重複之方法，當然須用之於可以重複之量而不至錯誤者。例如，鐘擺之擺動，其重複可至無限，而地球之引力無時或止，則擺動亦不停息。故用相同之擺，以比較鑛井上下之引力，乃得成功；加以得電鐘信號之助，其結果異常準確。愛雷 (Airy) 在哈登 (Hutton) 煤鑛之實驗，測得鑛上鑛下每二十四小時內擺動之總差僅 2.24 秒，其誤差僅百分之一秒，或爲全日中 8,640,000 分之一。

準確之定量定律，卽不用儀器測量，偶然亦可得之。例如，同時發生之鐘聲，在遠處聽之，亦至和諧，故知聲浪音節之速度必相等，若聲浪遲速不同，決不能如是。

極大極小之數量，爲知識能力所不能及，可用間接測定方法以實驗之。法雷台 (Faraday) 卽用間接方法以量金葉之厚薄，彼取每張 $\frac{1}{100}$ 英寸見方之金葉二千張而稱之，得三百八十四公分。由已知之金之比重而計算每張金葉之平均厚度，而知其爲少於一英寸之二萬五十分之一。

規模較大而有系統之計量，常須作多數之單獨檢定，故須注意於方法之選擇，務使其起始時之錯誤減至最微，即有之，亦不至影響以後之測量。例如，用三角測量法，以測量一區域，其基線必須充分準確，否則困難必然叢生。主要之三角網正確測定之後，則各重要地點之比較距離及地位，方得固定。然後用前測之各要點，再測副三角網，以定各村鎮及主要山丘之地位，再用副點為根據，以填入詳細之地形。又如測定各種氣體之比重，均用一定之溫度及壓力之空氣為根據；而對於所有之液體，均用水為根據。故水及空氣之密度，必須先行準確測定，然後可以用之以檢定他種物質之比較密度也。

任何計量之準確程度，鮮有超過數字六位以上者；即六位之程度，亦難企及。時間之測算，至近年始能有最準確之估計。天文家能測定中太陽及恆星日之比例，至小數點八位，即百兆分之一。三十年前，此為科學界中最準確之測算。但今日重量之檢定，似居首位，因現有之天秤，已有能偵出至少二百五十兆分之一之重量者也。長度之檢定，用現有之尺，錯誤殊大。三角測量法中之基線，雖極求其準確，亦有六萬分之一之誤差，即每英里差一寸也。但魏脫華史（Whitworth）爵士（用一種

特殊轉動之螺旋，能察出棍尺大小之改變至一兆分之一英寸。現代用電計量，其準確程度，更足驚人。

第三節 經驗公式

定量實驗時，吾人常設法以求兩種量數之價值；其一可任意使之變動，其一則因前量之變動而亦變動。前者名之曰變量 (Variable)，後者曰被變量 (Variant)。變量為被變量事前之條件。當研究物體因熱而漲時，熱為變量，長度為被變量。倘將一物質加以壓力，以視其所生之熱量，則壓力為變量，熱為被變量。由若干實驗，既得若干變量之價值，及若干被變量之價值，乃得設法以檢定被變量對於變量之數學函數。故普通必先知被變量及變量間是否有一定之關係，然後再立一經驗公式以表明兩者之關係。此公式或可作為合理公式之引導，可用以表明自然定律。

物理科學中之定量研究之特性，當然祇求其近似。照普通之規則，一函數可用各量之和以表明之，而各種之價值，則視變量各級之乘方而異。設 y 為 x 之函數，則有

$$y = A + Bx + Bx^2 + Dx^8 + Ex^4 + \dots$$

在此方程式中，各項之數或可為無限，或可成爲毫無價值。A, B, C, D, 等係數，爲各種價值之固定量，但可爲零數或負數。x 當然爲變量，今設舉一特殊之例，而同時以 x 及 y 代表長度；再假定一英寸之 $\frac{1}{10000}$ ，爲吾人所能測之極限。是以，若 x 爲一英寸之 $\frac{1}{100}$ ， $x^2 = \frac{1}{10000}$ 一英寸，倘 C 小於一，則 Cx^2 一項，已成爲難知之數，因少於能測之數也。除非 D, E, 等量爲極大之數量，則其餘各數，亦同爲不可感覺之數，因 x 之乘方，按幾何之比例，愈變愈小也。故若將 x 變小，則 y 之數目應等於下列之方程式 $y = A + Bx$ 。倘 x 變成更小，例如減爲 $\frac{1}{100000}$ 英寸，而 B 之數亦不甚大，則 y 可等於固定量 A，似不因 x 之變而變也。若 x 變大，設爲 $\frac{1}{10}$ 英寸，而 C 並不甚小，則 Cx^2 一項，成爲可知之數，則此定律，方形複雜。

倘取一弧，以研究其一部分，而此部分適爲連續不斷者，則可用一方程式代表其形式之性質，如：

$$y = A + Bx + Cx^2 + Dx^8 + \dots$$

倘僅注意於此弧之一小部分，則視線不能分其為直線抑為一弧；換言之， Cx^2 一項，以吾人之目光而論，無可感覺之價值。此種情形 $y = A + Bx$ 。

倘視弧之大部分，則曲度立即顯明，或可畫成一拋物線或橢圓，而使此弧似與所繪之拋物線或橢圓一部分相符。倘再將弧之曲度擴大，則假定其為弧之第三第四或再高之度數；即等於有第三第四或以上之乘方之公式之變量。

抽象之數學理論，謂可求得絕對之真理者，因其用無限小數也。而物理科學則反是，因最小之量數，亦須為感官所能感覺者；若所量之各種結果，實為微小，則任何聯合之結果，亦可變成不能感覺者。例如對於固體之膨脹，吾知立方之膨脹，大於直線之膨脹三倍。今膨脹之係數異常之小，且未充分檢定，故當漲 $(1 + a)^3$ 時吾人不得不將 a 之第二第三乘方之微數，完全放棄。因 a 為極小之分數，其二方已不可覺，何況更大之乘方乎。

欲立一經驗公式，常先假定其定量與下列形式之定律相近。

$$y = A + Bx + Cx^2$$

在此公式中， x 爲變量， y 爲被變量。由用實驗求得之變量 x 及被變量 y 之相當價值，列成一表，然後選擇三對，以之代方程式中之各數，而計算其結果，乃得固定數 A ， B ，及 C 之價值，然後將經驗公式筆錄之。由此種公式所得之數，常有可得與表中其餘之各數，異常相近。

今用皮樂特 (Perot) 檢定飽和氣體之密度之實驗，以爲例。皮氏方法所用之原則，乃將一定容量之特種飽和氣體，用隔離及秤量之方法以檢定之。檢定以太之結果，如下表：

以太氣之比重以立方公分爲標準

實 驗	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
溫 度	28.4	30.0	31.7	31.9	57.9	85.5	110.5
比 容	426.2	400	375.1	373	168	77.77	43.14

今任選其中之三項結果，(b)(d)及(e)而代之於方程式 $A + Bx + Bx^2 = y$ 中之各數則爲

$$\left. \begin{array}{l} A + 30B + 900C = 400 \\ A + 31.9B + 1017.61C = 373 \\ A + 57.9B + 3352.41C = 168 \end{array} \right\}$$

用普通之方法計算，則 $A = 1043.27$; $B = -28.24$; $C = .227$ ，故經驗公式爲

$$V = 1043.27 - 28.24t + .227t^2$$

第二步須考察所得之經驗公式，是否與其餘之實驗結果相符。計算之後，知與 (a) 及 (c) 相符。故此公式可以應用於 (a) (b) (c) (d) 及 (e) 五項事例。但試之於 (f) 及 (g) 兩例非但失敗，且相差過遠，推原其故，或爲實驗之不準確，或因根本之定律，較所立之公式爲複雜也。最好方法，應更選三例而計算之，若取 (a) (e) 及 (g) 三例，則得

$$V = 802.62 - 15.47t + .079t^2$$

與餘例相符。此新公式，不比其他公式爲滿意。故須再立含有更大乘方之變量；然計算公式時，用至六或七個未知量，實爲可驚之工作。實驗結果之錯誤，乃常有之事，或出於難以約束，或出於不知不覺也。例如所述之實驗爲水氣而非以太，則溫度不能增至一百度以上，因在高溫時，水蒸汽對於玻璃有溶解作用也。

變量之平方，有時爲非必要者。雷諾脫 (Regnault) 所研究水蒸汽在各種壓力下之潛熱，下列

之公式足以代表之

$$Q = 606.5 + 0.305t,$$

Q 爲水蒸汽之總熱量， t 爲溫度。

有時變量之立方爲必要者，如液體膨脹，物理學家假定其定律之形式爲

$$\delta = at + bt^2 + ct^3$$

彼等乃用觀察所得之價值 a ， b ，及 c ，以計算其結果，而 a ， b ，及 c ，常爲極小之量。例如水，科布 (Kopp) 則用

$$V = 1 - at + bt^2 - ct^3$$

以代表物體在任何溫度所占據之在零點之單位容量。至於在沸點溫度以上之液體，赫恩 (Hirn) 氏乃擴大其公式，而用 Δ 以代表之

$$\Delta = at + bt^2 + ct^3 + at^4$$

是以，以水爲例，假使其容量等於在零度之單位，則在任何溫度由攝氏一百至二百度間之 θ 時，其

結果爲

$$V = 1 + 0.00010837875\theta + 0.0000030073653\theta^2 \\ + 0.0000000028730422\theta^3 - 0.0000000000066457031\theta^4$$

依學說而言，經驗公式，可至任何準確程度；在此公式中，吾人可用更大之乘方。週期之變量，亦可用含有角之正弦餘弦及其倍數之公式以計算之，以達其所欲達之準確程度。

第四節 合理公式

前節所述之經驗公式，實不與自然定律相符，而僅與自然定律之結果相近而已，蓋此種公式之所以成立，乃根據近似之普通原則也。吾人並不由之而得變量對於被變量之函數，但在觀察範圍之內，能得一種與其價值相近之函數而已。

設以投石爲例，而假定其爲垂直墜下。今共觀察五次，所得之結果如下：——

發出後之秒數	2	3	$3\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{4}$	6
發出後所墜之尺數	88	180	270	504	608

若用普通之公式 $S = a + bt + ct^2$ 而用上列之第一、三、五次之結果以代之，則得

$$\left. \begin{aligned} a + 2b + 4c &= 88 \\ 16a + 60b + 225c &= 4320 \\ a + 6b + 36c &= 648 \end{aligned} \right\}$$

計算後 $a = 0$, $b = 12$, $c = 16$ 再用之以代入公式，則爲

$$S = 12t = 16t^2$$

此公式當可立認其物體墜落時，連接時間與定間之公式（此例 a 之價值爲 82 而 12 當然代表投擲之初期速度。）

上述之數目，並非得之於實驗，自無待言，但爲前有之知識所組成，而用之以說明者。實際實驗，

不論如何慎重，所得結果，亦不過近於準確，而由之而得之經驗公式，未必能得合理公式 $y = \frac{1}{x^2}$ 之端緒。但此種特別關係，早已超過經驗時期，而吾人對於引力作用之知識，非但能使吾人成立各種關係，且可知此關係中之理由。

經驗公式之曲線，乃為近於真弧之弧，但不能表示真弧之準確性質。所得之弧，實為全弧之極小部分，而絕難表見原因量及結果量間之關係者也。

吾人所求者為合理公式或函數，用之以表現連接各現象各定律之實在性質，及其起端者也。先有各量數，然後求其函數，量數為函數之價值。發明此種函數，常為極困難之事，有時竟有絕對不能越出經驗定律一步者。

合理函數，當然可由偶然之試驗發見之，因吾人有創造任何所好之數學公式之自由，然後為未知之固定量選擇其價值，以試其是否能得所求之結果。但此法成功之機會甚少，因可能函數之數目，實無限度，即比較簡單之函數之數目，亦異常之多，欲觸機得一準確者，豈不難哉。

較善之方法，必常注意於量數變異之普通性質，特選數種可得相同變異之函數而試驗之。考

察數目，常能知其應屬於何種定律之概念，若能繪成曲線，得益更多。用此法，吾人可知此弧之性質之蓋然性，視其是否回復原位，抑為無限之分支；抑為漸近線（Asymptotic）；抑為對數之性質，或為三角性質。此法須憶前人研究之結果，方可行之，而諳習各種弧之性質，亦為不可少之知識也。所需之定律應屬於何類函數，一旦發見之後，則成功之機會，增加不少，因吾人之工作範圍，不論其為任意偶然之試驗與否，亦縮小不少矣。但除非能將弧之大部分明白表現，亦難斷定其確實性質；因任何性質之弧之小部分，能使之與任何種弧相符合也。欲得一函數之準確形式，必須具有鑑別能力及數學之知識，殊為顯然；但一旦得之，其餘之工作，除未知之固定量已測定外，不過為選擇實驗之結果，用前述之方法，加以計算而已。是以吾人得函數之本身，然後按照前法，用之以測驗其餘之實驗結果，以觀其是否充分準確。

由是可知，欲發見最似適合之函數，必須充分利用以前之知識，及類似推理，至為顯然。現象之普通性質，常能表現其定律應屬於直接之簡單比例，抑屬於指數形式；等等。僅知識與鑑別能力，能保證成功也。

重要科學之中，常有無法研得其確實定律者，因之不能知其合理公式之爲何。例如飽和之蒸汽，在各種溫度下之壓力，曾用極縝密之實驗以測定之，但不能立一絕對無疑之普遍定律。各種公式，均經建議，而無一可謂能與實驗之結果近於符合者。近世之大科學家，有竭無窮之力以發空中折光之普通定律者，然無一成功者也。

第五節 簡單比例之變異

從事定量研究時，吾人似常有一種印象，即一量常因他量之變異而變異，故遵從 $y = mx + n$ 之定律，實與事例相合。例如摩擦所生之熱，與所吸收之機械能力成正比；電力變成動力，亦爲簡單之比例。實則一物不過爲他一物之變相，其定律吾人可得而知也。但此種事例之爲真或假，則有區別之必要。例如任何弧之小部分，視之若一直線，若計量之方法不精，則不能察知其爲弧。客不勸屢欲發明折光之定律，因察得當投射角與折光角之度數微小時，互相有一定之比例；因若角度甚小，當然因其正弦而變異也。

第六節 學說及實驗結果

科學家所記錄之數量事實，大都未經學說方法之整理，其結果不過爲經驗者而已。一種現象可以設法測計之，至於何以其有特種量數，或何以能用學說以與他種量數相聯，尙無相當之解釋。物理化學書中之數字表格，天文臺之記錄，氣象觀察之數字表格，大都僅爲經驗性質之結果，或因學說之不完備，或因計算及比較之工作過於繁重，未能整理也。純粹之經驗計量，當然可有直接實用價值；例如，比重表及材料強弱力，可作工程學家之資助；各種玻璃之折光率之知識，可助光學家以造成消色鏡；但此皆實用之應用，而非科學之應用也。

若所利用之學說，非但可預測現象之性質，亦可指出現象之量數，則吾人有絕好之試驗，以測定論理之蓋然真理。牛頓最初試欲證實其引力之學說，卽用此法。彼已知地面上墜體所發生之大概速度；倘距離反平方之定律爲真實，而推想之月球之距離爲可靠，彼可推論月球向地球墜落之速度，爲每分鐘十五尺。今月球實際偏離其軌道切線之量，每分鐘似僅十三尺。此二尺之差別，使牛

頓「暫時放棄對於此事之推測。」事歷數年，彼方得較準確之材料，由之可以計算月球軌道之大小，而知所差之數甚微，無足輕重者。故其引力學說，對於月球，可謂證實。此不過為彼之演繹計算中之發端，其後屢次試驗，均得證實。

由一種定量之實驗，及一正確之學說，有時能檢定絕對不能測計之現象之數量，或不能準確證實之學說所成之預測之數量。例如，空氣之比熱，以直接實驗為根據，皆信為 0.2669，但實驗之方法常有錯誤。冷金 (Rankine) 於一八五〇年，用熱之機械等量及其他熱力學之根據，其測算之數應為 0.2378。此數雖未證實，然為當時所承認。其後芮諾脫 (Regnault) 用直接之實驗，得 0.2377，證明冷金之估計，確有根據。

欲證實數量問題，不過為蓋然程度之不同。若干數量，係用學說根據所指定，不能十分準確。金葉之厚度，大海之平均深度，恆星向地球行動之速度，皆其例也。物理學家能測計光波，亦知光線行動之速度；倘依此估計，則吾人之眼簾，每秒鐘應接受 600,000,000,000 光波。若用直接計算法，如何能證實此數乎？

第七節 學說及直接計量之異趨

所採用之學說及直接計量之結果，常有異趨之弊。其所以然之原因甚多：直接計量或可錯誤；對於一定定律之學說或爲準確，但固定數之中，或其他用之以作計算之數量，或不準確；學說或爲虛偽（即假定用以表明定律之公式之不準確）；學說及有關之數量或祇近於準確；但此外尚有各種未知原因之影響，此種差異，可稱之謂餘剩之結果，或即代表新現象者也。

此種困難，不能立一定之規則爲研究者所遵循，必須憑藉個人之鑑別能力及知識也。例如，增加實驗之次數，必要時可改用他種儀器，或增減所用之材料；或完全用他種方法以探討之。且須繼續變更研究之情形，以期錯誤之原因可以表現，或須完全放棄其臆說，而採用一新臆說，然非較原有者爲準確，決不能引起研究者之注意也。

第二十五章 錯誤及其改正

第一節 準確計算爲事實所不許

由實驗研究所得之知識，顯然皆爲近似之性質；欲得一絕對真實之定律，事實上爲絕無僅有之事。例如，一般人士均以爲行星軌道爲橢圓形爲業已證明之事實；但「證明」軌道爲橢圓，實非吾人之能力所能及；所能爲者，不過表示不變動之行星之軌道，甚近於橢圓形耳。但謂軌道果係橢圓，則超乎吾人根據之外，而爲不用觀察以證明之假定矣。以事實而論，行星之軌道，無一爲整齊之橢圓者，行星間之互相擾動，已足使橢圓軌道偏斜。

即使有完整之圓形或拋物線之運動存在，亦無法證明之。圓形爲橢圓形之特例，而橢圓之離心率 (Eccentricity) 等於零；但行星之軌道若爲圓形，決不能證其完全無離心率；所能爲者，不過

知其不圓之程度，爲不能感覺者耳。又吾人可以想像彗星之行動而認之爲拋物線式；但因拋物線所占之限度在橢圓與雙曲線之間，故絕不能證明彗星之行動必如是也。

第二節 科學之假定

科學研究所立假定之廣泛，頗難使人盡信，故吾人之知識，大都偏於理論，或爲近似之性質。所有之計算，恆根據所假定之堅硬不撓之棍棒，不可伸展之線，巨點，一致之物質，純粹之液體及氣體等之存在；但因此類事物，或竟爲宇宙所無，則雖用最精良之儀器，亦不能完全精確測定，故所有之問題不能有最後之解決也。測量之垂準線，恆被假定爲垂直者，但因高山之吸引，及地面之不平，未必卽爲絕對垂直。水銀面常被假定爲純粹平面，然每五吋之寬度，則可與真平面相差一英吋之百萬分之十；扭轉天秤中之細絲之扭轉，常被假定爲與扭轉角成比例，但須無限小之角度，方爲真實。卽以擺而論——最準確之儀器，亦非理論的完全，除非其擺動爲無限小也。

自然界之定律，當然無不準確，其所以不準確者，乃吾人之根據及資料之不可靠也。結果之中，

凡含有假定者，均不正確。由資料之保證，有時吾人似能假定一種準確定律之存在，毋甯舍數字之資料而不用，蓋數字之資料，不過近是而已。陶爾頓 (Dolton) 之化合比例定律，始終未經正式證實者，而化學家則用之以表示分子之化合；似乎每一分子中有不變量之原子之說，爲一種不容置疑之事實。故化學家實超出其根據之外，放棄真實之實驗數量，貿然作此假定，而將所有之差異，歸咎於實驗之錯誤。

第三節 各種妨礙原因

最簡單之實驗，亦常有若干錯誤之原因，以使其結果不能十分準確。例如，試驗博爾 (Boyle) 定律之真理，吾人不得不顧及(1)由水銀傳與氣體之氣壓之變遷；(2)水銀之壓縮，可使水銀柱之密度不同；(3)全水銀柱之溫度；(4)氣體之溫度往往不能使之不變；(5)裝氣之玻璃管之膨脹。雷諾脫 (Regnault) 試驗此定律時，雖將上列各種情形，加以注意，然不能謂其已將所有不準確之來源完全除盡。

若欲計量至最精確之程度，實爲精細而困難之工作，而其困難，大都由於不能每次測定一種結果也。若欲測定液體因熱之膨脹，必須觀察液體在小玻璃管中逐漸上升之情形。但液體熱時，玻璃管亦同時受熱，故所觀察之變遷，實爲兩種膨脹間之差異耳。詳細之研究，則知更有其他之影響，雜乎其間；例如，液體之壓力及存貯液體之玻璃泡，能因柱之加高而膨脹。氣壓表之變化，亦爲複雜之結果，一部分因大氣之氣壓，而一部由於水銀柱之因熱而脹也。

因實驗之目的，爲測定單獨之結果，故常設法以避免各種妨礙物之影響；倘不能將妨礙之影響完全除盡，亦必須將其減至最小數，是以採用刪除妨礙原因之方法，實至重要。所應注意者，乃一事例中之所謂錯誤，在他事例則可爲重要現象；而所謂「刪除錯誤」實即隔離某種現象，使之不爲妨礙原因所影響也。刪除錯誤之法甚多，今當特闢一節以詳論之。

第四節 刪除錯誤

第一，吾人或可設計一種實驗或觀察之機會，務使避免錯誤，或使錯誤不能感覺。例如，一天文

學家，不能得一滿意之空中折射；故彼始終避免觀察近於水平之物體，而待其達於每日最高之一點。天文學家亦將其主要標準時計，置之於地窖，或其他之處所，務使溫度之變遷異常之小，使之不致影響鐘擺之長度也。

錯誤之存在，有時無法盡免，以致所作之實驗，毫無價值。例如，傅可脫 (Foucault) 表明地球自動之實驗，絕非精確之測計；因無法使擺不略作偏側之行動；其結果爲一橢圓行徑及橢圓軸之前進行動，此種變相之行動，由於地球之自動也。

第二，有時所測之現象，所有觀察之錯誤，幾完全相同。欲求不同數量之差異，可以應用此法，然不能用之以求絕對之數量也。雷士理 (Leslie) 之示差寒暑表 (Differential thermometer)，卽其例之一，當空氣溫度變遷時，玻璃泡所受之影響相同，則儀器之分度不生變化。除非有意將熱加之於玻璃泡之一，方能發生影響。

第三法名爲修正法。凡實驗之結果，受妨礙原因之影響，其數量爲可計算者，則可將此數量加之或減之。「所謂修正觀察」者，卽刪除所有由意外原因而來之錯誤也。例如，氣壓表高度之變更，

半因溫度之變遷，但水銀絕對膨脹之係數，既已確知，則修正溫度，乃為簡單之工作。

若用更精確之儀器，則所有微細之錯誤，亦須預防。例如，若為一寒熱表分度，則直立者與平置者可以不同，因平置時玻璃泡所受水銀柱之壓力，已經減少也。倘寒暑表事前曾受高於平常之溫度，或置於真空器中，或玻璃管與玻璃泡所受之熱不同，均可發生差異。對於此類微細之錯誤，吾人須用繁複之方法以修正之。又如，測定熱之數量，為極困難之事，因無一物能不受熱之影響者。欲修正實驗之錯誤，常使物理學家耗費無限之精神；其情形甚似在多孔之器皿中測量液體也。

第四方法為補充法(Compensation)此法乃使妨礙之各原因中和，用確實相等而相反之原因使之均衡。例如稱一物體，除非將該物體所排擠之空氣重量，亦加修正，絕難精確。化學家常用大玻璃球以之量氣體之重量，為避免錯誤及免除修正之工作起見，乃將一同量之封口玻璃球，置之於天秤之他端以均衡之。無定位電流計，亦為表明此方法之一例。

第五為中數法。倘得兩種實驗之結果，其一之過大，等於他一之過小，其差異則等於差異之半數，而其真結果，實為兩假結果之中數(Mean)。今當討論「中數之方法。」

第五節 中數之方法

人之用極精確之科學儀器，用公正之態度，以記錄歷次之觀察者，所得之結果，常為不同。惟疏忽者，方以為所有彼之觀察完全相符。觀察愈精確，則微細之錯誤愈覺顯明。實則錯誤之存在，可視為正當之事。實驗之結果，過於相近者，反足引起疑竇。倘吾人不能得兩次相同之結果，然則將如何可以求得真理乎？若一種現象之量，有若干不同之數，其中祇能有一數為真者，或全為偽者，至為明顯。由常識而知吾人須取其中數，更由數學之推理而知中數實近於真理。

中數之種數甚多。其最普通者為算學中數 (Arithmetic mean) 常簡稱之曰「中數」。若干數量之算學中數，當然為諸數之和，用數量之數目以除之。倘 a 及 b 為兩數，其算學中數為 $\frac{a+b}{2}$ 。幾何中數為 \sqrt{ab} 。

幾何中數之用處，亦甚多。若估計一種力量所作之工作，而此力量乃隨一定點之距離之反平方而改變，則此力之中數，為力量之起始及中止間之幾何中數。欲刪除一不準確之天秤之差異，乃

用高斯 (Gauss) 之方法，先在一盤秤之，然後再用他一盤秤之，則真重量爲兩假重量之幾何中數。一種中數結果，有時僅代表若干數量之普通大小。此種數量有時稱之曰假中數或平均結果。然普通用法，中數與平均數爲同意歧詞；而在科學中，有時亦不加以分別。若平均數之意義，乃用以代表假中數者，則不能代表任何存在之數量，然在科學中則甚重要，蓋可使吾人想像一種已經概括成簡單結果之瑣細數量也。例如，物體之重量，爲無數微細組織之總重，其活動之地位，雖各不同，然可視爲集中於一點者——重心，而物體全部之行爲，可用想像之重點以代表之。大地之引力，爲近於平行之力量，重心不過爲更普遍之平行力之中心之一特例耳。

吾人須將有固定中心與無固定中心之事例，予以分別。嚴格論之，固無所謂固定之重心。按照普通規則，一種物體有平行力時，乃得有固定之中心，而引力之動作，從未有絕對平行線者。吾人常論及磁極。但以嚴格而論，所謂極者，並非磁力之端，亦非其中固定之一點，而爲磁力之中心；其力實非真爲平行者，而其中心，則因所吸物體之比較地位而變更也。

中數結果之用法，有時與對消法相同，物理科學中，應用頗廣。用北極星以爲測一地緯度之標

準，即其例也。倘一周極星行經子午線，而測其較高及較底之高度，則兩高度之和之半爲北極，亦即等於該地之緯度。此種恆星之最高時，在北極之上，最低時在北極之下，故其中數當然爲北極之高度，可以無疑，除非有偶然之錯誤也。

有時可用純粹機械方法，而得中數之結果。例如，每日溫度之變動，在地面下一二寸即不可覺，若將寒暑表之泡置之地下，可得近於真確之每日溫度中數。

檢定確實之零點，常甚困難，然用相等分歧量 (Equal diverging quantities) 之平均數以檢定之，有時較直接觀察爲準確。例如，用一化學天秤，以作精密之秤量，所須知者，乃秤桿之停止點，但有時宜使秤桿搖動，而觀察其搖動之兩終點。兩次相聯之終點地位之中數，幾可指明停止之地位；因受空氣摩擦及阻力之影響，其搖動可逐漸減少也。故吾人觀察與第一擺同方向之第三終點，而推想之：設總計向右擺爲 125 ，而向左擺之兩次爲 63 及 69 ， 63 及 69 之中數爲 66 ，即若針向右擺之回點爲 125 ，則向左擺之回點爲 66 。 125 及 66 之中數爲 95.5 ，故可假定其爲針之停止點。倘願以 120 爲回點之標準以觀察之，則另有一系之數量。如此進行，則將檢定若干停止點之

結果各停止點之中數，爲甚準確之眞停止地位。

第六節 錯誤定律

本章所用之錯誤一詞，其意義不過謂不一致耳，而不一之原因，則尙未知。可以發生錯誤之原因甚多；或因自然定律之中，有爲觀察者所未知者；或爲觀察者感官之不完全；或爲觀察者之個人天性不同，（即特殊習慣或性情）使其所用之觀察方法與他人不同；或爲所用儀器之不完備，——例如分度之金屬儀器，能因溫度之變遷，而有每日之伸縮。故未知觀察者之性質，及所用之儀器之性質之前，不能謂一種觀察所得之結果，較他一種爲眞確也。當一種觀察之錯誤，較眞事實爲大，則名之曰正錯誤；若較小，則名之曰負錯誤。錯誤既有正負之分，是以必須先用同等之態度，以預測正負錯誤；由此而知中數實爲若干不一致之觀察之最蓋然結果。若正錯誤之數量等於負錯誤之數量，則其和或可不致錯誤。此種假定，本身雖不可靠，然較之其他假定，則似勝一籌。今若作百次之觀察，不論其觀察之和之錯誤如何，其平均數，或總和之百分之一，僅含有百分之一之錯誤；此種

平均數，近於真理之機會，較任何一次之觀察為多也。

事實上，數學家已立有「錯誤之定律」，此種定律非但能使吾人將不一致之結果，使之近於真理，且可舉示近於結論之蓋然性之程度。數學家以為觀察所得之不一致結果之數量中，中數或最近於真理，且能盡量減小錯誤平方之和也。但此種問題，過於精深，非本書所能論及，今僅略述其大意耳。

第七節 定律之由來

數學家用不同之方法，以得此定律。高斯賴於假定者為多，侯息爾則用幾何之方法，拉撥拉斯 (Laplace) 及奎脫雷 (Quetelet) 則謂此律實為組合法 (Combination) 之學理所進化。最後之方法，哲瑪氏曾用簡單之方法以說明之。今將其說明，刪繁就簡，書之以供參考。

設有一特別之觀察，有六種錯誤之機會，而每次所發生之錯誤，可將其結果加一寸。每種錯誤，自須認其與餘者無關，故吾人可用蓋然性之學說以舉示其比較蓋然性，及每種錯誤之次數。今設

以 0 至 6 爲 \bigcirc \times 中之 X 之各種價值，則可知祇有一種爲不發生錯誤者；錯誤一寸，發生六次，錯誤二、三、四、五、六寸者爲十五、二十、十五、六及一次，如下表：

錯誤之寸數	0	1	2	3	4	5	6
錯誤之次數	1	6	15	20	15	6	1

最易於發生之錯誤者，顯然爲三寸，歷久之後，可於六十六次中發生二十次。錯二寸及四寸者，機會相同，但次數較少；錯一寸及六寸者，次數更少；而絕無錯誤，及祇錯一次者，實居最少數。

今再假定一種雙方錯誤之例。故有三種正錯誤，及三種負錯誤，今可將各數之錯誤次數，列表如下：

錯誤之寸數	3	2	1	0	1	2	3
錯誤之次數	1	6	15	20	15	6	1
	正	錯	誤		負	錯	誤

由此表，可以斷定在所假設情形之下之錯誤數量之蓋然性。錯一寸之正錯誤蓋然性爲 $\frac{15}{66}$ ，在此

分數中，分子爲發生一寸之正錯誤之組合數，而分母則爲各種錯誤之總數。將適當之數相加，則能得不過某數量之錯誤蓋然性。是以，小於二寸之錯誤蓋然性爲 $(6+15+20+15+6)/64$ 卽 $62/64$ 。由此可見，小數量之錯誤，較大數之錯誤爲多；例如，超過二寸之錯誤，其次數不過爲 $2/62$ 卽 $1/31$ 。

錯誤定律之最要原則，卽認中數結果爲最可靠；倘僅有一種變量，則中數可用算術方法以求得之。「中數方法」可認爲普通事例之特別應用，卽所謂「最小平方方法」(Method of least squares)也。

第八節 結果之蓋然錯誤

倘討論重要之事件，不能卽以簡單之中數爲滿足，而以之爲真；必須斷定吾人對於此中數之信任程度。蓋中數或可近於正確；有時則毫無價值也。利用錯誤定律，可使吾人斷定對於任何事例之信任程度，因遇數量有與中數相異者，可用此律以計算其蓋然性，由此可以斷定所論之中數與

真數相差之限度。數學家之所謂蓋然錯誤乃一種限度，真理即存於此限度之中。是以，倘所有測驗地球密度之中數為 5.45 而蓋然錯誤約為 $\cdot 20$ 其意即云，地球之真確密度在 5.25 與 5.65 之間之蓋然性為 $\frac{1}{2}$ 。

蓋然性之工作，有下列之數規則，以作計算之根據。

- (1) 求各種觀察結果之中數。
- (2) 求中數與觀察結果之差數，即錯誤。
- (3) 求此數錯誤之平方之和。
- (4) 用觀察次數減一以除之。此即中數錯誤之平方。
- (5) 求上數之平方根；即為一次觀察之中數錯誤。
- (6) 用觀察之次數之平方根除之；此即中數結果之中數錯誤。
- (7) 用自然固定數 0.6745 乘之；即為中數結果之蓋然錯誤。

齊瑪用下例以說明之。設測一山之高度五次，其結果為 $293, 301, 306, 307$ 及 313 尺，而欲

知其中數之蓋然錯誤。

(1) 中數爲 304。

(2) 中數與測量結果之差數（即錯誤）爲 11, 3, 2, 3 及 9。

(3) 此種錯誤之平方爲 121, 9, 4, 9, 及 81, 其和爲 224。

(4) 用 5 減 1, 即 4 以除之, 得 56, 即中數錯誤之平方。

(5) 故每次觀察之中數錯誤爲 $\sqrt{56} = 7.48$

(6) 用 0.6745 乘之, 得 2.259, 即中數之蓋然錯誤（約爲 $2\frac{1}{2}$ ）。

其意即謂山之真確高度, 在 $301\frac{3}{4}$ 及 $304\frac{1}{2}$ 之蓋然性爲 $\frac{1}{2}$ 。故吾人可以實測中數結果之信任程度。

在此計算中, 其目的不過在求信任程度之概念, 而用之以判斷中數; 故無求其精確必要。吾人所須注意者, 乃蓋然錯誤, 並非一種固定向一方面之錯誤, 歷久之後, 正負兩方, 均不能免。故真確之結果, 或未必即在此限制之內, 因此外尚有爲吾人所不知之錯誤也。歷次觀察之中數, 須將所不知

之反對之原因，置之不論，方能近於真理。而選擇中數，全賴一種蓋然性，即假定未知之錯誤原因，歷久之後，雙方均有，故可使之互相均衡。

第九節 最小平方方法

如有兩種或兩種以上之未知量，不能用中數方法分別之者，可用最小平方方法以求其最蓋然之價值。侯息爾所舉之簡單例證，足以說明其原則。

如有一人用手鎗盡量向牆上之小紙塊射擊。所有彈痕當然必羣聚而以小紙塊為中心，而其密度則與中心之距離成反比例。假定將中心記號之小紙取去，所能見者不過牆上佈滿之彈痕；若使人猜度中心之所在，則甚困難。倘祇射擊一次，則常識可使吾人假設此點即中心（當然不足恃）。若有兩彈痕，則可取兩者之間之一點為中心。但有三點以上之彈痕，則常識已無力決定之。然終須設法選擇適中之一點，而無法以作較準確之檢定，蓋慣常可靠之算學平均法，此處似不適用。最小平方方法，可以指導選擇此點，而可使所有彈痕與此點之距離之平均之和，異常之小。

此種問題，在實用上可以稱之爲彈痕之「重心」，所有均以同等重量視之。此種中心，實爲所有彈痕之平均數，如求若干點之重心所構成之簡單幾何形體所說明者然。

錯誤定律及最小平方方法，爲絕對不同之兩事，不可將其混合者也。錯誤定律者，爲準確決定事實之具體記事；在相當準確範圍之中，舉示錯誤發現之次數。故爲屬於蓋然科學者。最小平方方法，則非科學意義之所謂定律，不過爲一種規則或南針耳。其功用不過指導吾人以探求多數之錯誤而已。兩者雖迥然不同，然其中當然有相當關係。

第十節 曲線法

曲線法亦至有用，今當簡述之。——每一方程式，必有兩變量，似一平面曲線；而每一平面曲線，可用一方程式以代表之。在實驗研究中，吾人可得若干被變量之價值，及相等之變量價值。以被變量作爲曲線之縱線；而以變量爲橫線。倘經過各點，或縱線之端，畫一曲線，或可表現一種不規則之屈折，因有錯誤影響其數量也。但結果增多，則可見何種結果之差異爲多；再由「繼續知識」之指

導，則能在各點間得一線，其結果較各點爲可靠。所畫之曲線，「並非經過觀察之各點，乃過經各點之間也。」

曲線法之價值，在於能使次序及規則一覽無遺，實較他法爲勝。而且推論數量之結果，亦較由直接實驗所得之數量爲不易錯誤。且曲線之形式，有時能表明所得之結果，應屬於何種函數。

第三卷 科學名人與其方法

第二十六章 懷脫 (White of Selborne)

懷脫 (Gilbert White) 氏乃 Hampshire 之副牧師，著有塞爾彭教區之自然歷史。其著作之種類甚多，均用函牘格式，作為致予研究博物之同志者。懷脫之觀察能力異常敏銳，下選數節，可以見之。

第二十七函。吾之田園中，產刺猬甚多。其食植物根也，甚為奇特：用其上嘴，掘土至根底，然後由下而上，盡食其根，而不損及植物之上部。由一方面視之，刺猬實為有用之動物，因能根本剷除可厭之野草，然掘小圓孔，每使人行小道毀壞也。甲蟲似亦為其重要食物之一種。上年六月，余獲得新產之小刺猬四五，與初生之小犬相似，均盲而不能視者。初生時，刺亦柔軟，但不久即臻堅硬；因持之不

慎，則背部及側部之刺，甚易刺破皮膚而流血也。在此時期，刺作白色，且有兩小耳，懸於其旁，此爲長成之刺猬所無。且能將皮膚伸展以覆其面；但不能如長成者之能捲其體，成圓球形以自衛耳。其所以幼時不能捲縮者，余意以爲管理此種伸縮之筋肉，尙未十分發育也。刺猬用樹葉及泥苔築一深而且暖之避冬處，以備冬季之蟄伏；然余未見其如其餘獸類之貯有食品，以作冬季之用。

第三十五函。偶訪鄰居之孔雀，覺其所謂屏者，實非孔雀之尾；此種長羽，並非生於臀部，而長於背部。臀部之短而堅之羽，方爲真尾，其長約六寸，而以之作屏之支柱，因雀屏之羽長而且重，展開時不得不有支撐之物也。當孔雀開屏時，由前面觀之，除頭頸外，其餘皆不能見，如長羽生於臀部者，決非如此，而必如火雞之高張其尾然矣。由於一種筋肉之顫動，孔雀能使長羽之幹，格格作聲，如舞劍者之劍聲然。

第十六函。五月中旬，如天氣晴朗，飛燕乃思築一行宮，以居其族。其巢之殼，似爲泥土所成，而用短草和之，使之堅實。因此種鳥巢，均築於直立之牆壁，而無凸出之棚架，故其基礎必須十分穩固，方能載其上部之建築而無危險。是以，從事建築基礎時，燕子非但將兩爪懸於牆壁，而且將尾部支之

以自固，然後方逐步將材料泥墁牆上。但因泥土柔軟易於墜落，故小心翼翼，不使工作過於迅速，將土黏至相當程度，卽行停止；是以恆利用清晨爲工作時間，而其餘時間則用以取食及娛樂，以待泥土之乾燥；大約每日所築者，不過半英寸，故其進步甚爲遲緩，蓋恐其根基不固，易致傾覆也。如是者十日或十二日，乃成一半球形之巢，上有小口，以便出入，內部堅實溫暖，足應其需要。但巢成之後，偶有爲麻雀所占，且改變之以適其用。巢殼之外部，恆甚粗糙，內部亦然；但用柴草羽毛，或加以泥苔，使之柔軟而溫暖，以適於孵雛之用也。

第二十七章 華來思（生於一八二三年）

華來思博士 (Alfred Russel Wallace) 與達爾文爲友者二十五年，爲現代最大之自然科學家。彼爲宇宙間人之地，位達爾文主義及其他標準著作之作者。彼對於種痘之意見及唯靈論之意見，爲多人所不喜，但因其所引援之證據充足，及推理之健全，終能使人承認。下列一文，選自彼最後之著作生物世界者，著此書時，年已八十七矣。彼所主張之事實與推理之分別，應注意之。

一百四十八至一百五十二頁。——鳥類遷移問題，西彭 (Mr. Seeborn) 氏之觀察，甚爲詳盡，今在離開本題之前，余尙擬簡述世界最可驚奇之遷移現象——卽海利哥蘭 (Heligoland) 小島之情形；此島離愛爾白 (Elbe) 河口約四十英里，而與史卡波羅 (Scarborough) 之緯度約相等。大多數斯堪帝那維亞及歐洲北極之季鳥，均行過德國之海岸，而以海利哥蘭島之燈塔爲嚮導，且在氣候不佳之日，卽以此島爲避藏所。一八七五年之九月間，西彭氏費一月之光陰以觀察此種情形，其所述之現象殊有興趣；余所以簡述之者，蓋欲用之以更正葛凱 (Herr Gatzke) 氏在彼所記述

之「一種奇特事實之原因。」葛凱氏居此島者五十年，在此五十年中，每遇春秋二季，均精密觀察及記錄鳥類之遷移，並隨時採集鳥類標本，其收藏之富，歐洲之其餘各站，無可與之比擬者。葛凱氏以五十年來所積之經驗，作一結論，謂多種鳥類，在其秋季遷移之時，本年之幼鳥（即本年六七月間在北方所孵之雛鳥，故到秋季，距產生不過三四個月）均先到海利哥蘭島，而無老鳥與之爲伴，老鳥須於一二星期後，方始出現。因其爲慣見，故即成爲一種事實，五十年來均如是，而海利哥蘭島之居民無不知之，西彭氏亦信之不疑。由此事實，乃加以推論（葛凱氏及海利哥蘭全數居民之推論，全歐之鳥學家，似均承認其說）謂此類幼鳥，先其父母單獨遷移，每年如是，實非偶然——故彼等均信爲一種一定不移之事實，且爲鳥類遷移神祕之事實。西彭氏及莫根教授（Prof. Lloyd Morgan）（在其習慣與天性書中記述之）對於此種事實及推論，均未表明懷疑。然余意此兩事爲絕對不同者，余固承認所觀察之事實，但完全反對其推論（假定其亦爲事實）蓋其絕無直接之證據以證明之也。余不信英國之觀察者，曾有一種記載，謂夏冬遷移之鳥，在秋季均結隊成羣，先其父母而南遷；美國之觀察者，則謂美國之遷移鳥並非如此；余意以海利哥蘭島之情形而論，亦無須

乎用此種推論，以解釋此事實也。今再觀其餘之事實。

來至海利哥蘭島休息之遷移鳥，常在黑夜，其數不可計，有時數百萬，有時一星期中僅少數之離羣者漂泊至此，故其時期並非繼續不斷，實爲間歇者也。西彭氏敘述此種夜景如下：——

「行至燈塔，可見此絕妙之奇觀。燈光所及之處，但見飛鳥往來如梭，在此黝黑之夜，除燈塔之光線內充滿以飛鳥外，他無可見。由東方黑暗之處，飛鳥湧入加潮；其中之少數，則徜徉中途，似爲燈光所震恐，然不久仍隨其大隊向西飛逝。在一二小時之中，余敢冒險估計，其數當在數十萬；但迷路之鳥，爲燈塔之人所捕獲者，爲數幾三百。」

西彭氏並云：在海利哥蘭島上，一夜之間有捕一萬五千雲雀者；而飛經海利哥蘭島之無限數飛鳥可得目覩者，不過爲真正總數之極小部分，蓋大多數行經高空，爲吾人所不能見也。此種事實，可用他種事實以說明之，倘一黑夜忽然清明，明月高懸，則鳥羣立即不見；或在島民所謂「良夜」來此休息之鳥，似由天空忽焉落下。此外西彭氏尙述一事實。在每年遷移季之前一二星期，常見有少數離羣之鳥；此類皆爲老鳥，常爲殘廢者，或折其腿，或羽毛零落，或斷其趾，或缺其半尾，或有其他

之殘廢。或有假定其爲無伴之鳥，或其幼鳥已被摧殘者。氣候如爲適宜（對鳥而言）鳥類則繼續遷移，爲時約爲六星期，其大部分在海利哥蘭島雖不能見，有時或可聞得其聲。

既有上述之種種補充事實，則每季幼鳥先一星期到海利哥蘭島之事，甚易解釋。回思秋季遷移之隊中，大部分之老鳥與生存之幼鳥同時飛行，而幼鳥之數，當佔半數或三分之二。但幼鳥之力尙未充分長成，而繼續長途飛行之經驗又少，故於第一次經過大海之長途飛行時，窺見燈光或知其下可以獲得食物，或因過於疲勞，大部分乃飛集島上。老鳥及強壯者，則行經高空，直飛至荷蘭之海岸爲止，有時飛至英國之東岸爲止。鳥類之飛經陸地愈久者，幼鳥之損失愈多，蓋爲食肉鳥或其他之敵人所蹂躪也。故最早之鳥羣，其幼鳥之比例，常較後者爲多。較早之羣，因其時間充裕，可以從容選擇良好之天氣，飛過陸地，故僅有幼鳥及易於疲倦者，不能高飛，而反須飛至陸地休息。入後每遇陰雨氣候，逼迫老幼之鳥至陸上暫求隱蔽或休息。是以所有之事實，均可解釋，不必假定幼鳥羣之遷移，爲單獨行動，先於其父母或引導者一星期也。

第二十八章 達爾文（一八〇九——一八八二年）

「世界著名之自然科學家達爾文（Charles Robert Darwin）可稱爲十九世紀英國最偉大之人物，亦爲促進近代思想功績最大之人物。所有著作之中，以物種由來爲最著名。達氏之觀察才能，世所希有，而所蒐集各類事實之豐富，使人難信。二個人之臆說，苟不爲觀察之事實所容許，則其不偏不倚之精神，及其愛好真理天性，可立使之放棄。」下述之摘要，乃節自達氏所著植物器菌及蚯蚓一書（十九至二十六頁）可以作爲應用簡單實驗以觀察之例。

蠕蟲對於光之感覺

蠕蟲皆無目，余初以爲其對於光毫無感覺，因蠕蟲之被幽閉者，晚間用燭光或燈光以照之，雖極怯，絕不驚慌。他人亦曾用同法以察之，結果亦同。

然郝甫梅斯透（Hoffmeister）氏云：除極少數之蠕蟲外，餘者對光均有極靈敏之感覺；但大多數須經相當時間方能生效。因此之故，使余費數夜之工作以試驗之。先置蟲於罐內，罐上蓋以玻璃，以防空氣流動之影響，然後輕步近之，蓋恐地板之震動也。在此種情形之下，將蓋有紅綠玻璃之

牛眼提燈以照之，因紅綠色之關係，光線極微，較望月之光略強，時間雖長，蠕蟲均不覺之。紅色與綠色似無分別。若用燭光或強光之石蠟燈以照之，初時並無影響，即將燈光時明時滅，亦不感覺。然其中亦偶有越乎常規者，蓋有時一見燈光，立即縮入穴內。其不退縮者，亦必舉其體之前端離地，似乎引起其注意，或受驚者然；或搖擺其體，如尋物者然。蠕蟲似乎畏光，但余頗疑之，因有二次於退縮入穴之後，尙留體之前端之小部於穴口者久之，此種地位，實爲預備立即縮入穴中之姿勢。

若將廓大鏡以聚燭光，而照於蟲體之前端，普通均立退縮；試驗六次之中，僅失敗一次。

若將凝聚之光照一置於盆中之蠕蟲，蟲見光即退入穴中。所有上述之情形，光線照射時間之長短，分別殊大，（除非極微之光；）用石蠟燈或蠟燭以照之，五分鐘至十五分鐘內，蟲必退入穴中；若在落暮蠕蟲未出穴之先，置光於罐旁，則均不出穴。

由上述之事實觀之，光線之強弱，及照射時間之長短，所發生之影響不同，殊爲顯明。且體之前端爲腦神經球之所在，故蟲能受光之影響，如郝甫梅斯透氏所言者然，如余歷次所觀察者然。如將蟲體之前端遮蓋，將光照蟲體之餘部，則毫無動作。因蠕蟲無目，吾人不能不假定光從皮膚經過，而

激刺其腦神經球。各次實驗結果之不同，似乎因皮膚伸張程度之不同，而變更其透明性，故影響於光之透射，此種推測，或至近情，否則或爲光之偶然特殊情形；然余始終未發見有如此之關係。但有一事殊爲顯著，大凡蠕蟲之忙於拖曳樹葉入穴，或食物之時，以及工作後短時期之休息期間中，每不覺光之照射，或竟忽視之；卽使用聚光以照之，亦不之覺。

蠕蟲忽然被光照射，必竄入穴中，其速如兔——用一友人句法——吾人起初必以爲此種舉動爲反射作用。腦神經被光激刺，一部分筋肉之收縮，似乎在所不免，且其動作，與動物之意志及意識絕不相關，頗似一種自動機能。但蠕蟲忙於工作之時，其全體筋肉與腦神經球均在應用，常不注意及光線之事實，以及歷次所得不同之結果，實爲反對簡單反射作用說之強有力之證據。高等動物之注意一種事件者，常不覺其他事件之將降臨；吾人謂之爲「精神貫注」；而注意一事，乃默示精神之所在。獵人均知之，野獸正在食草，戰鬪，或求偶時，較其他時候易於走近。高等動物之神經狀態，各時不同，例如馬有時易於受驚，有時則不然。以下等動物如蚯蚓之動作，與高等動物相比較，似乎不類；蓋如此則認蠕蟲亦有注意力或智力矣，然余以爲此種比較，並非不近情理。

蠕蟲雖無視力，但其對於光之感覺能使之辨別日夜；蓋如此方可避免白晝食蟲動物襲擾之危險。日間避入穴中之舉動，似乎已成爲一種習慣，因蟲之置於罐中者，若罐上蓋以玻璃及黑紙而置之於東北窗前，亦日伏夜出；試驗一星期之結果均相同。玻璃及黑紙間固有微光透入，但由以前用顏色玻璃試驗得知蠕蟲對於微光，殊不覺之。

蠕蟲對於溫和之熱放射之感覺，似不若強烈光線之甚。余曾將燒熱之鐵棒，引近蟲體，其結果殊不相同；其中之一，毫不注意，其一則縮進穴中，但不甚速，第三第四則較速，第五則十分迅速，用聚光鏡所聚集之燭光，若掩以玻璃以阻其熱度而照之，其退縮之速度普通較之用燒熱之鐵棒爲速。蠕蟲對於低溫之感覺甚爲靈敏，蓋霜後卽不出穴矣。

第二十九章 愛浮波雷爵士 (1834—1913)

愛浮波雷爵士 (Lord Avebury) 名羅博克 (John Lubbock) 爲著名之自然科學家，銀行家，及政治家，而且長於事務才能。所著之英國野花，蟻蜜蜂及黃蜂，動物之知覺，天性及靈性諸書，可作自然科學教師參考之處甚多。下述摘要，(蟻蜜蜂及黃蜂第一七六頁至一八一頁) 亦爲自然科學家應用簡單實驗之一種方法，讀者應與上章比較之。

蟻之通訊能力

冬寒之日，蟻之出巢者甚少，余於自亞吉利亞 (Algeria) 攜歸之蟻巢中，選出一蟻 (*Atta tenebrosa*) 以作試驗。此蟻適出外覓食，離家約六尺，余乃置一死蠅於其前，彼立即拖之回巢。又取一死蠅，用針釘於一軟木上，將軟木置一小盒中，蟻須攀緣至盒上，方能見之。此蟻覓得死蠅後，即盡力拖曳，先向一方，繼又更換方向，然無法動之，其後似知獨力難勝，結果空手回穴。此時或有他蟻在外覓食，但在十五分鐘內，並無他蟻出穴。此蟻入穴後，並未停留，不及一分鐘，即偕七蟻同出，此爲

余向未見者。此蟻與奮過度，先向前行，未能顧及其同伴，而其同伴則甚從容自若，不甚踴躍，均似沈睡初醒者。第一蟻既離其伴，直達死蠅，而餘蟻則紆緩其行，盡入歧途，二十分鐘後尚未到達，此蟻不得已又獨自盡力，然仍無效，乃又回穴，途中未遇一友。入穴未及一分鐘，又偕八蟻同出，趕向死蠅而行，此隊之精神，更不如第一隊，因追隨嚮道不及，各自回家。第一隊中之數蟻，此時已覓得死蠅之所在，其中之一，折斷蠅之一腿，凱旋而回，又帶四五蟻同出。此隊之中，除一蟻外，其餘均不願追趕，相繼還巢。此次之試驗，余實不引以爲異，蓋有蠅腿以示其伴，故有數蟻隨出以助之；但前二次之情形，實足以表示蟻有通訊能力也。

因恐此種結果，乃出之偶然，故余決再試之。次日，余取一大死蠅，釘於軟木上，置於前日同類之蟻前。此蟻試之十分鐘，無法移動，乃回家呼援。此時巢外僅有二蟻。此蟻回家後不及數秒鐘，即率十二蟻而出。其情與前相仿，彼獨向前行，餘者徐徐隨之，而所取之路不相同，經二十分鐘之久，方抵死蠅。第一蟻獨自努力，經過一刻鐘，其伴仍未至，彼不耐久待，又復回穴。途中遇一友，略與談話，繼續向巢進發，但僅行尺餘，忽又改變宗旨，偕其友同返至死蠅之所在。工作數分鐘後，餘蟻亦陸續降臨；其

中之一獲得一腿，帶之回家，立又率六蟻同來，其中之一，似能率領餘衆，頗爲奇異，余意，彼或辨別嗅味，追蹤而行也。余於是去其針，羣蟻曳死蠅得勝而歸。

一八七八年六月十五日，與前同種之一蟻，於巢外不遠，覓得一死蜘蛛。余將蜘蛛如法固釘。此蟻盡其畢生之力，試之十二分鐘，無法動之，廢然而返。在此一刻鐘內，未見一蟻離其巢，然此蟻一入，卽率十蟻而出。十蟻之態度甚爲安逸，與以前試驗之情形相同。第一蟻鼓勇前行，先達蜘蛛，繼續工作，其時餘者正四散遨遊，似覓物者然，彼覺他蟻未來協助，乃又還家。此次停留頗久，約三刻鐘，借十五蟻同來，行動雖較前數次爲速，然仍紆緩。羣蟻相繼到達，羣策羣力，堅忍不撓，卒將蜘蛛扯成細塊，運之而去。七月一日余擇大頭蟻 (*Pheidole megacephala*) 以試之。彼獨力拖曳死蠅至十五分鐘之久，然後回穴，偕六蟻來助，其情形與前相同。

次日三時，余又釘一死蠅於軟木，置於褐蟻 (*Tornica fusca*) 之前。彼無法攜之以去，乃繞之而轉，四面力拖，試三點三刻之久，失望而回。不久卽有三蟻同出，一居其前，二在其後，然均未發見死蠅，略事徘徊，各自回巢。此蟻先到，繼續工作，約四十分鐘之久，取得蠅頭，攜之回穴，不久卽偕五蟻同

出，均達死蠅，其一得蠅腹，拖之而去，以其餘之工作畀之於其伴。

上述數次之試驗，似實表現蟻類有類似語言之能力。第一蟻空手回穴而能率領其友以助之，決非僅賴其動作而隨之以行也。對於此種事實，不得不使吾人自問蟻類之自主能力究屬如何？其智力又屬如何？蟻穴之中，居有數千勤勉之居民，營室、穿隧、修路、守衛、積糧、撫幼，以及飼養家畜等等，分工合作，各盡其能，絲毫不亂，不能不謂其無天賦之理智，而所作之實驗，更可證實蟻類之有智力，而其智力之所以異於人者，不在程度之不同，而為種類之不同也。（愛氏用白漆點於蟻背以資識別。）

第二十章 哈未氏 (1578—1657)

今當舉一注重實驗之例。哈未 (William Harvey) 氏畢業於劍橋之後，即在柏道 (Pain) 研究醫學，年二十四，得醫學博士學位，不久即任巴沙羅廟醫院之醫師。其後爲英皇吉姆斯第一及查利第一之御醫。一六二八年，發表血液循環之巨著。哈未氏所用之方法，可認爲用完善而無疵之方法，以解決生理學上最基本而困難問題也。今僅擇其第二章，但全文印有廉價之版本，學者應購而讀之。

血液之循環

節自第九章——由經驗或由實驗而假定，當左心房擴張，其所容血液之容量爲二兩，三兩及一兩半——在死體中，余發見有能容二兩以上者。若再假定，心臟收縮時所含血量，較之擴張時少若干，及每一次收縮時，射入大動脈之量又若干；——由於瓣膜之構造，心臟收縮時，必有血液射出；今若假定每次收縮，射入動脈之血液爲四分之一，五分之一，六分之一，甚至於少至八分之一，如此則每次收縮，射出之數量爲半兩，或三述克碼 (Drachm) 或一述克碼，因動脈底部之瓣膜之構造

如是，已射出者，不能再回至心房，今心臟於半小時內，約搏動千餘次，甚至於二千三千或四千次。將射出之述克碼數，與搏動之次數相乘，則可得一千個半兩，或一千乘三述克碼，視吾人所假定之每次射入動脈之血量而異；但每次所得血量之總數，較之人體中所有者為大；犬羊亦然。今若假定犬羊之心臟搏動一次，射入動脈之血量為一史可波 (Scruple)，在半小時內所射入者為一千史可波，即約三磅半，但犬羊全身之血液，均在四磅以下，此為余所證明之事實。

故由此種之假定，可知全身之血液，均必經過心臟。

節自第十章——若將一蛇之腹剖開，可見其心臟收縮時，血色較淡，擴張時則較深；所有種種情形，與余前所述者相彷彿，惟較迂緩而清晰耳。靜脈管由下部引入心臟，而動脈管則與其上部相連接；若將鑷子或手指將靜脈鉗夾，將心臟下部之血液阻滯，則可見手指夾處及心臟間之血液，由於心臟之動作，立被吸空，心臟雖在擴張時期，其顏色仍為慘淡，因其缺少血液之故，容積亦較小，搏動亦漸遲緩，最後似將死者然。若將血液流通之阻礙移去，心臟之顏色及大小，均立即回復原狀。

反之，若將動脈壓緊或束縛，則被束縛處及心臟間之地位，及心臟本身，立即非常膨脹，色變深

紫或竟黝黑，若持之過久，則血液之壓迫異高，似乎窒閉；但俟束縛一除，各部立可回復其原有狀態——心臟之顏色，大小，搏動等等。

由此可見，死之原因有二：（一）血液不足及（二）血液過多而悶死。今兩種原因均已證明，而其情形亦殊顯著，吾人可目擊其實情，而排除各種疑問也。

（第十一章中血管縛線之實驗，及第十三章中靜脈瓣之功用之表演，均為有條理之探討之佳例。）

第三十一章 威爾斯氏 (1758—1818)

威爾斯博士 (William Charles Wells) 爲倫敦之醫師，發見露之學說，於一八一四年發表於世。其論文之立意明顯，條理井然，得以盡量發揮其學說，而不爲後之非難者所推翻，且可作爲對於一種問題之深切研究及科學方法之模範。此種研究之成功，大半由於審慎應用類同及差異兩方法，在各種不同情況之下，用預先設計之論理方法，逐步試驗也。全文計一百六十頁，書肆中尙偶可得之。

威爾斯氏之試驗地點，爲守流花園，離倫敦南部之鬧市約一英里許。園廣約半英畝，全部平坦。園之一端爲一住宅，他端爲一列矮屋；一邊爲一排高樹，他邊與鄰園接壤，而有短籬爲界。園中有小果樹數株。全園除一端有六十二英尺長及十六英尺寬之草地一方，舖以淺草外，其餘均種蔬菜。所有此種情形，雖似無甚重要，與吾之試驗均有影響。威爾斯氏所作實驗之一部分，係用羊毛數小束，以聚集露水。羊毛乾時，每束約重十英釐。

所置處所之不同，影響水之發生。

今當敘述各種處所之不同，能影響露水之發生之各種情形。

關於處所之一普通事實如此：受露之事物，露天愈多者，所受之露水愈多，隱蔽部分愈大者，所受之露水愈少。

高架板上之試驗——在數晴靜之夜，余置十英釐之羊毛於漆板之中央，板長四英尺半，寬二英寸，厚一英尺，用瘦小之木支柱四根支架之，離地約四英尺；同時並將鬆羊毛十英釐黏於板下之中央，如此則兩束羊毛之距離，僅一英寸，而均顯露於流動空氣之作用，第一夜試驗之結果，板上之羊毛重量增加十四英釐，但板下者僅加四英釐。第二夜在同一地位，羊毛所受之溼度為十九英釐及六英釐；第三夜為十一及二；第四夜為二十及四；板上羊毛所得之水分，皆比板下者為多。

彎曲紙板上之試驗——將一紙板彎成屋頂形，作成九十度之角，兩端均不遮蓋，余於夜間，置之於草地上，脊向上，而與風向相平行。於是置十英釐之羊毛於草地上，蓋之以此屋脊，再置同量之羊毛於附近之草地上，完全露天。次晨驗之，則被遮蓋之羊毛僅加重二英釐，而露天者加十六英釐。上述二種試驗之中，羊毛之完全不露天者，則所發生之露水亦少；如略露天，則水分亦增。是以如置十英釐之羊毛於木板下中央之草地上，使天可斜照及之，則三夜所得之水分為七、九及十二；

而置於附近草地上完全露天之羊毛，其所增之水量爲十、十六及二十英釐。

任何水分，其行爲如同空中所落之雨者，在平靜之夜，決不能到達成露較少之羊毛所置之處所，因之可以推想，木板及紙板，可以機械的阻止水分之進路。然則何以隱蔽之處所，及板下草地之中央，亦有露水；此又爲上說所不能解釋者矣。以下之各種試驗，更可作爲推翻此種推想之強有力之證明。

用空圓柱之試驗——余以一瓦製圓柱，直立於草地上；柱高爲二英尺半，直徑一英尺。然後於被圓柱所圍之草地上置羊毛十英釐。在此種處所，即使無風而有雨，羊毛所受之雨量，應當與完全露天之羊毛所受者相同。但據此項試驗所得，圓柱所圍之羊毛，僅得二英釐之水分，而完全露天者，則得十六英釐。此次試驗適與紙板下得二英釐水分者爲同一夜。

其餘處所之變遷——然而，即使用同一之事物，同樣顯露於空中，因其所處之地點之不同，所發生之露量亦異。

(一) 欲其發生多量之露水，第一條件須將吸收露水之物質，置於較大而穩固之物體平面上。

是以十英釐之羊毛，置於高架板上，所得之水量爲二十英釐，而同量之羊毛，懸於空中，離地五尺半者，僅加十一英釐，不論其顯露於空中之表面，較之置於板上者爲多也。又一夜，在板上者加十九英釐，而懸於相同高度者僅得半英釐。

(二) 第二；同量之羊毛，同時露天，而均置於穩固之平面上，因其他情形之不同其所吸收之露量，相差亦甚大。例如，十英釐之羊毛於多露之夜，置於(一)草地上；十英釐置於(二)石子砌成之小路上（在草地之旁）；再以十英釐置於(三)花園之泥土上（與路相聯）；及至次晨，草上之羊毛，得十六英釐，石子小路上者，僅得九英釐，泥土上者，得八英釐。又一夜，草上者得二英釐半，泥土上者，僅得半英釐，而小路上者，一無增加。

用羊毛以作試驗，其準確程度之可受批評者有二。(一) 置羊毛草地上，除本身所成之露水外，可因纖維毛管之吸收作用，以吸草上已成之露水。對於此點，余可解釋，蓋羊毛置於瓷盤中，再將瓷盤置於草上，其結果與直接置羊毛於草上者相同。(二) 第二，羊毛所加重量之一部分，或爲一種溼氣物質，黏染於羊毛之本身者。此點余不否認，蓋確有些少之重量，由此種原因加之於羊毛者，但其量

至微，不足以影響大體也。因在多雲之夜，似乎爲最適宜於增加溼氣物質於羊毛之時，然置羊毛於高架板上，經過若干小時，所增極微，或竟無增加；且在倫敦，余曾置十英釐之羊毛於窗外，全夜所加之重量，不及半英釐。如羊毛之重量增加者，氣候必晴靜，若多風多雲，則所加之重量極微。至於窗之地位，大部分不直接顯露於天空。

羊毛吸受露水之能力雖大，若置於石子或泥土上，則其量減少，此種事實，更可舉一例以證明之。當余於旭日方升之時，由作試驗之處返至倫敦，若天氣晴朗，余從未見公路及其旁之側道爲露水所潮潤，而路旁房屋之門窗，則常潮溼。若爲多霧之晨，即使前一日之天氣晴靜無雨，而街道亦乾燥，即倫敦之街道，亦必潮溼。若干處所之不發生露水，由於外來之情形者多，而由於所在地物體本身之性質者少也；因河沙之性質與石子雖然相同，若將河沙置於木板或草地上，吸收之露量亦殊多。

(三) 同一物質，同樣顯露於空中，其所得露量之多寡，視其對於地面之位置而異。在晴靜之夜，物體之置於離地數尺之平板者，所得之露量，較之置於草面上者爲多。

(四)置於同一平板上之兩物體，其所得之結果亦不同，置於下風一端者，普通較之上風一端者所得之露量爲多。

此書爲地位所限，不能多事節錄，甚願讀者能得其全書而讀之。威爾斯氏對於變換環境，以求事實，從不厭倦。例如應用金屬以試驗露水之成因，彼變換金屬之種類，金屬之大小及厚薄，及其對於地面之地位關係；又將一種金屬單獨露之空中，或將其緊黏他種物體之上；有時用乾燥之金屬，有時則有意潮潤之，而一夜之中，屢將金屬之地位搬動；諸如此類，其方法似乎無窮也。彼每次僅變換一種情形，若探得異點，卽成立一臆說，然後立刻再用其他之試驗以校核之。

第三十二章 白勒克 (1728—1799)

現再舉數例，以示各名化學家之實驗探討；但化學史中之名人過多，選擇頗難適當，今選錄白勒克、普利史脫雷、蓋羅若及台維諸氏之著述，當可以代表之。

白勒克 (Joseph Black) 氏，自一七六六年至一七九七年在愛丁堡大學爲化學教授；彼於一七五四年在該校畢業後，卽能表現其研究及發明之天才。鹼之有苛性，當時認爲係吸收一種想像的火素名「燃素」(Phlogiston) 者所成，此說後爲白氏所推翻。例如，白氏證明「生石灰」燒後所得之苛性，係由於排出一種「重氣」——石炭酸——彼卽名之爲固定空氣；其意謂此氣非但在液體中得之，而且固着於固體之內者也。此文在一七五五年發表，總題爲「亞爾巴鎂鹽、生石灰，及其鹼類之試驗」(Experiment upon Magnesia Alba, Quicklime and other Alkaline Substances)，可爲應用歸納法以作科學實驗之佳例。本篇係節自該文之第二部，並略加刪改。

石灰及鹼中之固定空氣

由以前之實驗，可知鈣質土之原質，以及普通狀況下之鹼與鎂鹽（卽亞爾巴鎂）（譯者註：此

爲醫用名辭，其成分爲 $3MgCO_3$, $Mg(OH)_2$, $3H_2O$ ，均含有巨量之固定空氣，至爲明顯，而此種空氣與之結合力亦異常之強，蓋欲使固定空氣脫離鎂鹽，非用烈火燒之不可，而最烈之火，且不足以使之完全脫離鹼類，卽使用烈火燒過之鹼類，若遇鹽酸，仍然發泡，可見其不能除盡也。

臆說——此種情形，使余作下述之結論：固定空氣與鹼類之關係，與酸類與鹼類之關係相同；因鈣質土及鹼類吸收酸類之能力既甚強，而可與之結合至飽和程度，是以亦能吸收固定空氣，而在普通狀態之下與之飽和；當將一種酸類與鈣質土或鹼類混合時，空氣卽被放出，而爆炸極猛；因吸收空氣之能力，較之與酸類結合之能力爲弱，而酸及空氣，不能在鹼類中同時存在也。

進一步說之臆說——余曾推想，當鈣質土被烈火燒過之後，變成生石灰，除失去少量之水及固定空氣外，一無變化。經過此種手續之後，石灰之苛性，並非因火力而增加任何物質，而爲另外吸收他物以助其腐蝕及溶化之能力；如固定空氣未排出時，其吸收他物之能力爲不可覺，而空氣分出後，此種性質立即顯出。

此種假定係根據化學中物質化合之普通現象而成立。通常兩種物質未化合以前之苛性甚

強者，一待接觸之後，其對於他物之苛性可以減少，或竟消滅；若再將此二物分離，其苛性可立恢復。中性鹽類，爲酸及鹼化合而成，然均無酸及鹼之苛性；對於金屬既不發生任何影響，與易燃體亦不能化合，亦不能使動物或植物腐壞，且易自水中分出；是以酸鹼對於上述數事之苛性，似乎停頓，須俟兩物重行分離，再行恢復也。

故石灰原料（卽石灰石）可視爲特種苛性土，因與固定空氣化合，故其性中和；而生石灰則爲同樣之土，不過已將固定空氣排出，故有吸收水及易燃物質與腐爛生物之苛性。

討論普通之理論——按照吾人之理論，鈣質土與空氣及水之關係，甚似此土與硫酸，及植物酸之關係。例如堊之吸收硫酸力，比吸收植物酸力爲大，與硫酸化合者，較之與植物酸化合者，難於溶化也。堊質吸收固定空氣之能力，亦比吸水之能力爲大，如與空氣化合而飽和者，較之與水化合者更難於溶化。

鈣質除去固定空氣，卽成生石灰，吸收水分之力量異常之強，而且易於溶解於水而成熟石灰；但熟石灰一遇空氣，可與水分分離而與固定空氣相合，因兩者之吸力較大也。吸收空氣之後，可以

回復其原有之中和性，且不能溶化於水。

將熟石灰與水相混合，水中固定之空氣，可與石灰相結合，且一部分可至飽和程度，不能溶化，而其他部分則被溶化而成石灰水。

若將石灰水露天放置，則近於水面之生石灰顆粒，逐漸吸收浮於大氣中之固定空氣而飽和，而恢復其原有之中和性，以至不能溶化於水。此種變化，必發生於表面，逐漸聚集，而成一層淡而無味之鈣質硬殼，浮於石灰水之表面。

如將生石灰放置於流通空氣中，同時可以吸收其力量所能達到之水及固定空氣。因空中水分較多，故大部變為熟石灰；其餘則恢復其原狀。若時期較大，全部分可以逐漸為固定空氣所飽和，水分則被擠出。

若將生石灰與鹼液相混合，即可將鹼中之固定空氣奪去，自成中和，以使鹼更增其腐蝕能力，而恢復其對於水，易燃物，及生物之苛性；可見石灰吸收固定空氣之能力，較鹼為強。鹼與固定空氣化合時，此種苛性可以大減。揮發鹼與固定空氣結合時，其揮發性略被抑制，如與酸類相遇者然，一

俟空氣除去，立即恢復其天然揮發性。

理論之結果——上述實驗之結果，由外表視之，甚為簡單，並可藉以解決若干現象，但若略加深究，則覺其為新穎而別致，使人對於由此產生之原則，發生懷疑。

因之余決用特種方法，加以探討，知其大部分可歸納成下列諸原則：

原則一——若於石灰與鹼中僅分出一定分量之固定空氣，石灰與鹼則失去一部分之重量，但可受同等分量之酸類之飽和，而飽和工作進行時，並不起泡沫。

原則二——若生石灰確為鈣質土內除去固定空氣之產物，而其吸收固定空氣之力量比鹼為大，則於生石灰中加以相當分量之鹼，生石灰可吸收其所需要之固定空氣，而恢復其原有之重量及質性。石灰水中，加以以鹼，其所分出鈣質土，即為溶化於水中之石灰，不過此時回復其原有之溫和而成不溶解之形狀也。

由上述諸原則，此為當然之結論。余更用試驗方法以證明其為真確。試驗之結果如下。

所得結果，證明其與理論相符合——欲知鈣質土能吸收之酸量，及溶化時被排出之固定空

氣量，余將一百二十英釐之白堊，加以淡鹽酸；計用二十一英釐之鹽酸，始完全融化，而石堊失去空氣四十八英釐。

此試驗爲下述試驗之必要之初步，而下述之試驗，乃用以證明第一原則者。

一百二十英釐之白堊，完全變成生石灰，因被火燒之故，重量失去五十二英釐。將此生石灰溶化於一兩之水內，然後加以以淡鹽酸；計用四一四英釐之酸始完成其飽和，既未發泡沫，亦未失重量。

由此可知，用鹽酸加之於生石灰，並無固定空氣排出，而白堊變成生石灰後，可用同量之酸類以飽和之。

對於第二原則，余用下述之試驗：

由一百二十英釐白堊製成之完全生石灰，重六十八英釐，碾成細末，加之於瀘過之一兩固定鹼鹽及二兩水之溶液中。略事攪和，即將粉末洗淨，然後乾之，每次所得，均爲普通之白堊末，可見其所得之固定空氣，乃得之於鹼。

將六十英釐之純韃鞢鹽（碳酸鉀）溶化於十四磅之石灰水中，即有粉末之沈澱，當心收聚而乾燥之，得一五〇英釐。再用烈火燒之，可變成生石灰，而且有鈣質土之各種特性。

第二十三章 普里斯脫雷 (Joseph Priestley) (1733—1804)

普里斯脫雷氏，雖非科學專家，然甚努力於化學一科，而對於氣體性質之貢獻甚大。彼於一七七四年發見氧氣。對於各種空氣之研究，後人亦均認爲有推進解決當時各問題之糾紛之功，彼之成就全賴幸運，而非基於所用之方法。蓋彼曾倡言，所有之發見，皆可於偶然得之。普氏聰明絕頂，所得之各種結果，亦殊重要，惜不知所有之科學試驗，均須有強有力之證明也。在利德市 (Leeds)，彼與一釀酒廠爲鄰，而以實驗廠中所發生之固定空氣 (CO_2) 爲娛樂。彼之研究工作，即自此始。其著作頗值一讀。由下述摘要，可知其方法之大概。

固定空氣

因偶與釀酒廠爲鄰，使余作固定空氣之實驗，蓋當酒發酵時，其上層之固定空氣量，異常之大，普通約深九寸，故任何物體均可以置於其中以作試驗；然在釀酒期間，固定空氣常繼續與普通空氣相混合，不甚純潔，但新鮮者，不斷發出，尙可用之以作試驗。

不知固定空氣之性質者，常以爲其能消滅火焰爲奇；若將燭火或着火之木片置於正在發酵

之酒上，火焰立即被滅，烟亦與之相結合，而絕不能逃至籠罩其上之普通空氣中。尤可奇者，漂浮此氣中之烟之上面，界限清晰而平坦，而下面則起伏不平，有時且倒懸而下，下端成球形，賴一小線與上面之平層相連，一若懸掛其上者。

若將固定空氣攪動，烟之平面變成波浪形；若因攪動過劇，固定空氣可溢出釀酒缸外；與之相混合之烟，亦隨之落至地上，其性質甚似水之流動，蓋固定空氣重於普通空氣也。

燒紅之木塊，放於此氣中，立即被滅，但余未見燒紅之火棒，立被致冷者。

固定空氣不能立與普通空氣相混合。兩物如極易混合者，則不能於酒之上面得之矣。放一蠟燭於大玻璃罩之下，浸入於固定空氣之最深處，燭光尚不至立被撲滅。但任何器皿，有一極小之孔，若將口向下，置於固定空氣中，則器中之普通空氣終必與之相混合。

水與固定空氣之親和力甚強，若將水一杯，放於釀酒之酵母附近，定可吸收其固定空氣，而得潘孟德汽水 (Pymont) 與他種醫用礦水之主要特性。

用此方法，余曾製成一種飲料，其味微酸而可口，與潘孟德水相似。最易之方法，乃取玻璃杯二，

將其一滿裝清水，然後在酵母之傍繼續互相傾注，用此法，余曾於二三分鐘內，製成美味之汽水，與潘孟德水殊難分別。

使固定空氣浸染於水中之最有效方法，乃將水一杯置於一裝滿純粹固定空氣之罐中。此種純粹氣體，乃用白堊與淡硫酸所製成。用此方法，余於兩日中可使清水吸收等量之固定空氣，而其味則遠勝於任何進口之潘孟德水。

製造此種汽水之最方便方法，乃將水攪動，使大部分水面顯露而吸收固定空氣，如此則同量之固定空氣，可於數分鐘內，浸染於巨量之水。

含有固定空氣之水，極易溶化鐵質；是以若將少量之鐵屑加於其中，立可變成最溫和最可口之含鐵飲料。

余曾提倡用白堊及硫酸以製固定空氣，蓋取其價最廉，而且為最適當之原料。但用此方法，有人疑及硫酸可以揮發。據余用各種化學方法之考察，知如此造成之汽水，並不含有硫酸質在內。

若將含有固定空氣之水，放在一瓶沸水內，氣體即被逐出；但須在半小時以上，方能完全其工

作。

人造潘孟德水，既已成功，余思或可使冰亦得同樣之性質；蓋「冷」可促進水之吸收固定空氣之能力也。但余之推想完全錯誤。余曾將冰數塊置於固定空氣中，經兩日夜之久，未見其吸收。於是再取濃厚之人造潘孟德水，裝於玻璃瓶中，瓶口裝一氣泡，然後將瓶置於裝滿雪及鹽之缸內，則瓶邊之水，立即冰凍，固定空氣亦立被放出，而集於氣泡內。

大氣之壓力，幫助水之保持其所吸收之固定空氣；因在真空中，潘孟德水，因壓力減少之故，幾至沸騰，蓋巨量之固定空氣，完全被排出也。普通汽水及皮酒在真空器中之發泡，其理亦同。是以，若有凝縮機器之幫助，水之吸收能力，必可更強，可以無疑。

昆蟲及呼吸極微之動物，在固定空氣中不至立即悶死。蒼蠅及蝴蝶置於發酵之酒上，麻痺如死，但再置之於新鮮空氣中，可以復活。但時期之久暫，與蒼蠅之種類，反應殊各不相同。取一大田雞，放在此種空氣中六分鐘，則見其全身膨脹，似近於死，若再置於普通空氣中，即可復活。用同法以處置蝸牛，則立死。

植物在固定空氣中不能生活。薄荷之嫩枝，生於水中，放於發酵之酒上，一日卽死；即使再置於新鮮空氣中，亦不能復活。據他人所作之試驗，余聞他種植物較此爲耐久。

第二十四章 蓋羅若 (1778—1850)

蓋羅若 (Joseph Louis Gay-Lussac) 氏爲法國之著名理化學家。自一八〇二年至一八三二年，爲蘇邦 (Sorbonne) 之物理教授，其後又爲 Jardin des plantes 之化學教授。彼之工作，非但範圍廣闊，而其本身之價值，敘述之清楚，實驗之機敏，推論之健全，無一不足使人欽仰。每見化學中之氣體量之定律，溫度與氣體變化之定律，碘及碲之研究，以及其他之分析方法，無有不見蓋氏之名者。下述之摘要，爲蓋氏於一八〇八年在費羅美昔學會 (Philomathic) 所宣讀者。

氣體物質之化合

所有之物質，不論其爲固體、液體、或氣體，均有與內黏力無關之性質，但均具有似乎由內黏力變態之他種性質，而且不服從任何有規則之定律。同樣之壓力，應用於固體或液體，均發生縮小容量之結果，但每次各不相同，然施之於所有之彈性液體，則均相等。熱可使各種物質膨脹，但固體與液體之脹度，向不守一定之規則，惟有彈性液體則有定律，然不同之氣體，又各不相同。推其理由，實

爲固體及液體內部分子之吸引，致使其特性變態也；由此觀之，須將分子之吸引力完全破壞，（如各種氣體然，）則在同等情形下之物體，可以遵守相同之規律。余之用意，至少欲證明數種氣體所具之有規則之特性，而且表明各種氣體彼此間之化合，亦有極簡單之比例。

此問題之本身，即甚重要。化學家中討論之者亦甚多，蓋均欲知各種化合物之是否爲各種一定比例所成者。潑勞史脫（*M. Proust*），氏最初即注意此問題，而彼之意見，似謂金屬祇可有兩種氧化作用，一爲最小，一爲最大；因受此種學說之引誘，彼不得不接受一種違背物理之原則，庶可將所有之金屬歸納於其原則中。反之，波梳勒（*M. Bertholot*），氏之主張，則謂所有化合物，除非爲特種原因所決定（如結晶，不溶解，或彈性，）均可有各種不同之比例。最後，道爾頓（*Dalton*）氏則謂，化合物之形成，乃由一物之原子與他物之一、二、三、或多數之原子相連合。用此種觀念以視化合物，則可成繼續不斷之化合物，若將全套之化合物之中間各階段刪除，則道爾頓氏之說，與潑勞史脫氏者相彷彿，但波梳勒氏則絕端反對之，然實際上，亦不盡確。據余所知，目前對於此問題之討論情形如此，但距解決尚甚遠。余希望此文能貢獻一種事實以闡明之，蓋此事實，尙未爲化學家所注意。

及也。

經漢波爾(Humbolt)氏與余之檢定，知水爲一〇〇份氧及二〇〇份氫所組成，因之思及其他氣體或亦由此種簡單之比例而成化合物，故作下述之實驗——取氟硼酸氣(Fluoboric)鹽，酸氣，及碳酸氣三種，使之各與銻相化合。(一)一〇〇份之鹽酸氣，適可飽和一〇〇份之銻，不論何者之量爲多，皆可使之中和。(二)反之，氟硼酸氣與銻之化合，有兩種比例。如先置酸氣於刻度之玻璃管中，然後將銻氣加入，則同量之兩種氣體，可以凝聚成一種中性鹽。若先將銻氣放入管內，然後將氟硼酸氣逐漸加入，則銻氣之量，多於氟硼酸氣；所得之鹽類，近於基性，含有一〇〇份氟硼酸及二〇〇份之銻氣。(三)若將碳酸氣與銻氣相接觸，不論加入次序之先後，常成一種亞碳酸鹽，含有碳酸氣一〇〇份，及銻氣二〇〇份。第三種試驗之結果雖如此，然而含有同量酸鹼之中性碳酸銻，亦可設法證明之。波梳勒氏曾通碳酸氣於亞碳酸鹽，而得中性之碳酸銻；分析之後，以重量計，知其中含有碳酸氣七三·三四份，及銻氣二六·六六份。若假定中性碳酸銻含有同量之兩種氣體，由已知之比重計算，則應含碳酸氣七一·八一份，及銻氣二八·一九份（均以重量計），其比例與

前所述者相差無幾。

若欲由碳酸氣及銻氣直接製成中性碳酸銻，而欲使兩者互相吸收之量亦相同，則非賴水之媒介不可。可知水與碳酸氣之親和力，強於銻氣也。

由是可知，鹽酸、氟硼酸、及碳酸各氣，均能與同量之銻氣相化合，而成中性鹽，而後二者又能與兩倍之銻相化合成亞鹽類。三種絕對不同之酸類，均能中和同量之銻，亦屬奇觀，因之吾人可以推論，若所有之酸類及鹼類，均能變成氣體，則同量酸鹼化合時，均可得中性之鹽類。不論所成者為中性鹽或亞鹽，其成分均可成簡單之比例，亦屬奇事。假定承認皮奧脫 (Pérot) 氏與余所定之酸鹽之比重，與皮氏與亞拉哥 (Arago) 氏所定之碳酸與銻之比重為準確者，則鹽酸銻之成分為銻一〇〇份，與鹽酸一六〇·七份（即百分之三八·三五比百分之六一·六五）此比例與波梳勒氏所定者（即銻一〇〇與酸二二三之比）相差甚遠。

用同一方法，知亞碳酸銻含有銻一〇〇份及碳酸氣一二七·三份（即百分之四三·九八與百分之五六·〇二之比）；中性碳酸鹽，含銻一〇〇份及碳酸氣二五四·六份（即百分之二

八·一九與七一·八一之比。

由上述之結果，氟硼酸、鹽酸及碳酸三種氣體，均可飽和同量之銨，故欲知其能力之比例，較爲容易，蓋適與密度成反比例也。（以除盡鹽酸中之水分計算。）

吾人現可作一結論，即各氣體間之化合，有一簡單之比例。今可再加數例以證實之。

按照波梳勒氏之試驗，銨爲氮一〇〇份與氫三〇〇份（以容量計）所組成。硫酸爲亞硫酸（Sulphurous gas）一〇〇份與氧五〇份所組成。

取氧五十份與氧化炭相混合而燃燒之，兩氣均被毀而成碳酸氣一〇〇份。故碳酸氣可認爲含有氧化炭一〇〇份及氧五〇份。

台維氏分析各種氮與氧之化合物，而得下列之比例（以重量計）

氧化低氮……氮七三·三〇比氧三六·七〇，

亞硝酸……氮四四·〇五比氧五五·九五，

硝酸……氮二九·五〇比氧七〇·五〇，

將此種比例變成容量，則爲一〇〇比四九·五；一〇〇比一〇八·九；及一〇〇比二〇四·七。三種之中，首尾兩種與一〇〇比五〇，及一〇〇比二〇〇，相差不遠；惟第二種與一〇〇比一〇〇，相差略多。然余認爲此種差數並不甚大，蓋爲實驗中所不可免者；

是以，氮氧化合物，以容量計算，可有下列之比例：氧化低氮爲氧一〇〇比氮五〇；亞硝氣爲一〇〇比一〇〇；硝酸爲一〇〇比二〇〇。

氣體化合，有一定之簡單比例，余認爲至爲明顯。從上述各種例證，化合之比例，至少可有一比一，一比二，與一比三，三種。

第二十五章 台維 (1778—1829)

台維 (Sir Humphrey Davy) 氏常人祇知其以發明安全燈著名，實則彼之聲譽，大半由於發明電解化學。一八〇二年，台氏被任爲皇家學院之教授，該院供給台維氏以一極強之電池之設備，彼乃得專誠研究，結果發見鉀與鈉。一八〇九年證明氧化鹽酸 (Oxymuriatic acid) 爲單純之原質，因名之曰氯，又證明鹽酸 (Muriatic acid) 爲氯與氫之化合物。在上世紀初葉，氯之性質，爲化學界辯論之焦點，本章所節，即台維氏之原文。

台維氏對於試驗工作，迅速而有條理，而對於科學方法，知之甚深。在二十一歲以前彼即云：「僅有製成學說，然後以與事實相比較，始能發見宇宙間之真體系。」

氧化鹽酸，究含氧否？

余對於分解氯氣，曾作多次之試驗，但均無結果；現時學者，均信氯中有氧之存在，但余亦未能得些少之證據以證明之。

余使硫化鉛與氯相熔解，經過若干時期，其結果爲氯化鉛與湯姆孫水 Sulphurane (Dr.

Thomson's liquor)；在此實驗之中，並無硫酸鉛發生，如有氧之存在者，必然發生此物也。

余再將氯化鉛加入亞硫酸氣中熱之，其後又在碳酸氣中熱之，未見發生任何變化；氣中如有氧，或與鉛相合者，則在此實驗之後，必可造成硫酸鉛或碳酸鉛。

或謂鹽酸與銻相化合，則發生少量之水分，余今不加以討論；在緊閉之器皿中，兩氣所成之氯化銻，既未經蒸溜，余深信開明公正之學者，均必認此種之水分極微，常散佈於鹽酸與銻氣之中，而非氣體存在之必要條件，亦非與此種氣體成化學之化合也。

余希望於氣中分出氧，故於首數次之試驗中，以銻與氯化合，其結果僅有氯化銻與氮，而無水；以最乾之氯化銻與鉀混合而熱之，即成氯化鉀，如氧化鹽酸中有氧者，決不至有此結果，因若在發生氯化鹽時有水分分出，則組成水分之氧之部分，必來自剩留而成中性鹽之一部分。

倘氮與銻化合時，確有水分發生，其結果至為重要；蓋此種結果，可以證明兩事，非氮為化合物，即氮為一種化合物，而含有氧，或者兩者均含有氧，但不能證明銻中之氮在化合時不生變化之前，決不能證明氣中含氧。

學者之中，尚有對於此問題懷疑者，且對於氯不能再被化分之說，要求更充分之證據。此種證據無法提出，但用任何方法，均不能分解之。此種現象，與金銀及氫氧相符合。

若強謂氯中含氧，可用相同之推論，氯中亦含有他種之原質；照此擴充，各種現象，均可滿意解釋。簡言之，鹽酸為氯一分與氫一分所組成。若照氯中含氧之臆說，則氯中之氧，與氫化合而成水，而此水分則與一種不知名之物或乾鹽酸相聯合而發生氣體。若謂氯中含氮、氧，及此不知名之物，吾人可說，氫與氮化合時，因氮、氧、氫與氫之親和力極大，必互相合併，而成四合化合物。

上世紀中葉之化學家，均有一種意見，謂所有易燃物體，均含有火質或氫。幸拉瓦錫 (Lavoisier) 氏應用其論理之思想，主張任何原則未經察得證據，不宜成立臆斷。

近代之化學家，則以為易燃物及可製成酸類之物質，均含氧；但易燃物之種類甚多，則組成易燃物之原質，亦必非一種；而可成酸類之物質，似亦甚多，如氫在酸類中地位之重要，與氧幾相同，而硫化氫、鹽酸及氫酸三種均含氫而不含氧。大氣中有氧存在，及其在宇宙間經濟地位之重要，當然引起化學家之注意。其地位之重要與其不斷之工作，毋怪大部分之現象，皆歸功於氧也。

由此種之意見，余因敢斷言氧，氮及氟，均尙不能稱之爲原質，不過現時尙無法以分解之耳。

第二十六章 波易爾氏 (1627—1691)

波易爾 (Robert Boyle) 氏爲皇家學會創辦人之一，亦爲致力研究「新機關」之原則之一人。彼之工作力量，完全在於探討及觀察事實之忍耐心。而其全部工作之中，以「氣體容量與壓力關係之定律」爲最著名。此外尙有空氣彈性之試驗及靜水力論，亦殊饒興趣。今擇一篇以示其方法。空氣之壓力，古人不知之；及加立利倭氏試驗普通唧筒時，見吸水至相當高度，不再上升，始覺察之。此前之學者，以爲水之能在唧筒中上升者，因宇宙不願有真空，是以使水上升，以補充被吸去之空氣之地位。加立利倭氏當時雖知此種現象之真因，然直至一六四二年，其徒陶立雪利 (Torricelli) 氏始用水銀以代水，作成滿意之表演。對於陶氏之發見，當時辯駁頗多，再後柏斯可 (Pascal) 氏始提議一種徹底的試驗。柏氏以爲，倘若水銀在玻璃管中之高度，因空氣壓力而變者，則在高山之上，水銀柱必減低。一六四七年柏氏至 *Puy de Dome* 山頂試之，此問題始完全解決。波易爾氏之論文，於一六六四年在皇家學會宣讀。文中可見當時之「宇宙厭惡真空」之舊觀念，尙未完全消滅。

論文第十一——虹吸中水之上升之原因，及在其中的流動，不必依賴「宇宙厭惡真空」

之說以解釋之。

所有之哲學家與數學家，每論及虹吸中之水之流動，常承認宇宙厭惡真空之說；即近代人物之承認有真空者，每不詳細解釋此現象，或用不可靠之觀念以解釋之；余以為柏斯可氏對於此困難問題之發見，實足以使吾人欽佩而感謝者。對於水在虹吸中流動之說明，似與靜水力學之原則完全相符，余認為毋須加以修改。但彼所提議用以證明其推論之實驗，常人恐無法實行之。因除需要巨量之水銀及特種之十五至二十尺長之虹吸外，尚須將裝水銀之器皿，置於六七碼深之水內。此種深度余恐非精於潛水者，不能觀察其試驗之進行也。

因此，余乃思用

他法以替代之。

取一寬玻璃罐 A B

C D，深約半碼，再預

備一兩脚虹吸 F K 與 K G，虹吸之上端，再接一管 E K，而使管口與虹吸相通。虹吸之兩脚，各結一

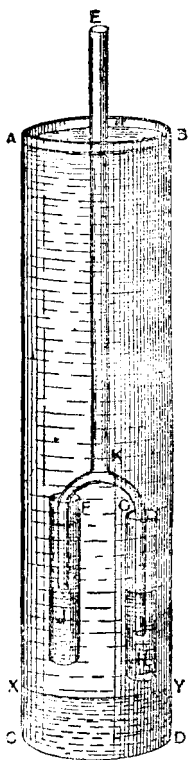


圖 三 第

玻璃管 J 與 H 管之一端封密，中注以水，而將虹吸之兩脚插入管中，達至水面之下。因虹吸之脚一長一短，是以插短脚 K F 之 J 管中之水，須略高於 H 管（即較近於 K 或 A B）；如此則高處之水可以流至低處，如普通之虹吸然。

諸事俱備之後；將長管 E K 結穩，勿使搖動，然後將松節油注於 A B C D 大罐中，至較高於虹吸 F K G 爲度（同時可將虹吸之口 E 用指封閉之，以後再放開，）於是油可壓水使之升入虹吸脚內，並使之由 J 管流至 H 管；倘若 J 管中能再供給以水，則水之流動，尙能繼續。

由此種之試驗，可知吾人可使水自較高之器皿流至較低之器皿中，而虹吸之頂尙有一 K 孔，空氣可自由從 E K 管直達虹吸之兩脚，是以無真空之恐懼；可知水之流動，非恐懼真空所致也。是以吾人勢必尋覓其他理由。

吾人若略加注意，即可知水之上升，一部分爲油之壓力，一部分爲器皿位置之設計。因油之地位較 K 爲高，施壓於 J H 兩管內之水，而不能達於虹吸脚內，使之升至 K，是以水之上升，必由於此種之壓力可知。

虹吸中之水，最初同時上升，及升至K，兩方發生衝突，今再視其何方戰勝。

倘若認爲J及H兩管中之水，所受之壓力之大小與壓在水面之油之高度爲正比例，則虹吸中之水，似應由H流入J。蓋若假定短脚未浸入水之部分爲六寸，而長脚未浸入水之部分爲七寸，則因J器中之水面較H管中者高一寸，則H管中之油壓，多於J管者一寸，如是則水應由H流至K，不應由J流至K也。

G脚中向下流動之水，雖較他脚多一寸油之阻力，但管之水則較F脚多一寸，又因水較油爲重，故阻力雖略多，仍不能阻其流出。是以通盤籌算，水之流動，仍由較高之器皿，流入較低者之中。

虹吸所發生之情形，應用上述之實驗以說明之，已甚明顯。因在虹吸中之水，既已流動，則短脚所浸入之水面，受空氣之壓力，而虹吸中之水，不受空氣之影響；是以較低地位之水面，所受氣壓雖略大，而長脚中之水之重量則更大，是以水即自此流出。外界空氣之壓力，所能使水上升之高度（如唧筒然），較之短脚爲高，故水源不斷，虹吸中之水，可以繼續流通。倘若短脚之垂直高度，高於三十四或三十五尺，則水不能流動，蓋外界空氣之力量，止於此也。若在虹吸之頂，鑽一小孔，水流亦

止，因虹吸內外同時均受空氣之壓力，而兩脚中之水，賴本身之重量，各自分別流出。

上述之現象，雖可由靜水力學之原則演繹得之，但據余所知，尙無人作此實驗以證明之。余乃製虹吸二，一爲錫製，一爲玻璃者，而於上面之彎曲處，各鑽一小孔；如此余可任意用手指以作開關。水在虹吸中流動，如余將手指移開孔口，水則各由兩脚流出。如虹吸兩脚之長度相差甚大，則當水在其中流動時，蓋於小孔之手指，微覺受外界空氣之壓力。

因此之故，余乃另作一種試驗，以視孔之大小是否亦有關係。將虹吸上之小孔，用油紙緊貼，其中之水，可以自由流動。若將針頭在紙上刺一小孔，其口雖極小，空氣亦能通入，而使虹吸失其效用。若再將針頭插入孔中，使另一人，在長腳一端將水吸出，水流亦可恢復，將針移去，水又停止。余用最速之方法，將針刺破油紙，立再插入，亦不能維持其功用。

第二十七章 牛頓 (1642—1727)

牛頓 (Sir Isaac Newton) 氏爲世界最著名之數理學家之一，一六六七年被舉爲劍橋大學之研究員，一六七二年被舉爲皇家學會之會員。彼之著作，以「原則」一書爲最著名。彼雖具有偉大的能力，及透澈之智力，然其誠樸而謙遜。於彼逝世之前不久，曾云：「余自覺似一兒童在海邊尋覓此普通光滑而美麗之石子爲娛，而在吾前面之大洋中之真理，均尙未發見也。」

牛頓氏之人格，無程可擊，但關於微積分問題，彼對賴白尼之態度，可知其亦有防衛其權利之能力。本章之內容，乃節自「光學」第一卷者；牛頓氏對於光學有重要之發見。

組成日光之各光線，折光各不相同。用實驗以證明之。

實驗第一——於一暗室之百葉窗上，開一三分之一寸之小孔，孔前置一三稜鏡，如此則由孔中透入之日光，均被折而向上，照至對面之牆上，而成日光之色影。此次及以後之實驗，三稜鏡之軸，均與投射之光線成直角。余將三稜鏡繞軸徐徐旋轉，則見牆上折光，或日光之色影，先降後升。在升

降之間，有一地位，色影似不變動，余乃將鏡停止，使之固定。因在此地位，光之投射角與折射角適相等。此後之試驗；若余使兩角相等者，則將三稜鏡轉至此地位，使之穩固。各次之實驗均如此，除非有特別之聲明。三稜鏡之位置既定，余乃使折射光，垂直照於對牆之白紙上，以視察其形像，與光影之大小。此影為長方形，而非橢圓形，有兩平行直線邊及半圓形之兩端。兩邊之界限明晰，兩端則甚模糊，光之強度逐漸轉淡。影之闊度，包抱半陰影在內，為二又八分之一英寸，等於太陽之直徑。因光影與三稜鏡之距離為十八英寸半，在此種距離，若將此寬度減去百葉窗上小孔之直徑，（即四分之一英寸，）則三稜鏡之角度，約伸半度，適為太陽之視直徑。但光影之長度約為十英寸又四分之一，直線邊之長度約為八英寸；而造成此長度之三稜鏡折光角為六十四度。角度愈小，影長愈減，但寬度則仍然。若將三稜鏡繞軸而轉，使三稜鏡第二折光面所射出之光線更斜，則可使光影伸

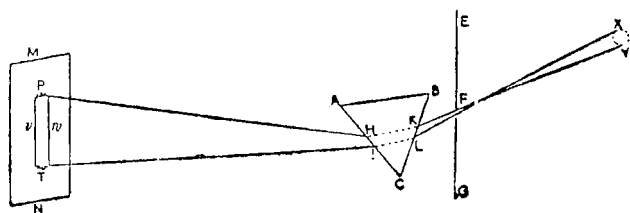


圖 四 第

長一二寸；若將三稜鏡反一方面旋轉，使投射於第一折光面之光線更斜，則光影可縮短一二寸。是以余作此種試驗，常盡量設法將三稜鏡置於上述之地位，使投射角與折光角相等。余所用之鏡內，有與軸相平行之細紋，此可使日光散佈成不規則形，但對分光景之長度，影響甚微，因余用他鏡試之，其效果相同。

百葉窗孔之大小，三稜鏡之厚度，三稜鏡對於水平之斜度，對於光影之長度，不發生可覺之影響。三稜鏡之性質亦無關係，因余曾用磨光之玻璃片黏成一三稜鏡，中裝以水以試驗之，其功效相同。今應注意者，光線自三稜鏡射至光影時，各色之間，造成斜角，是以光影始有此長度。而其斜度則超過二度半。然照普通承認之光學定律，彼此之間，不應有如此之斜度。

令 E G 代表百葉窗，F 代表小孔，日光由此透入暗室，A B C 為三稜鏡之剖面，適在光線經過處切開。又令 X Y 為太陽，M N 為白紙，日光影或分光景即投射其上，P T 為分光景，V W 為平行直線邊，P T 為平圓形之兩端。Y K H P 及 X L I T 為兩光線，前者來自太陽之下面，以達分光景之上端，由三稜鏡中 K H 兩點折射；後者來自太陽之上面，投射於光影之下端，在 L 及 I 兩點折射。因

三稜鏡兩面之折射角爲相同，即K點之折射等於I點，L點者等於H點，是以在K及L兩處投射光線之總折光，應等於H及I兩點之總折光；用相同之理由，K及H兩點之總折光，應等於I及L兩點之總折光，如此則兩光線同時投射，同時折射，彼此間之斜度，不應超過原有之斜度，（即不能超過半度，）以符太陽之直徑。如其然者，則光影P T之長度，照普通光學規則，與三稜鏡祇應成半度之斜角，如光影之寬度V W然，結果應成圓形。如X L I T及Y K H P以及其他造成P W T V之光影之光線爲同等折射者，情形應如此。然由經驗得知，光影不成圓形，而長度五倍於寬度。光線之照於光影上端P點者，折光最大，除非此種不規則之折光爲偶然者，則必比照至T端之光線爲易於折射。

分光景P T，爲有色者，折角最小者爲紅色，在T點；最大者爲紫色，在P點；黃綠藍等色介於其間。此種情形，與不同顏色有不同之折光之建議，甚爲相符。

可見相等之投射，可成不相等之折射。至於此種不相等之情形，從何發生；抑投射之光線，有多折者，有少折者；抑爲定理或偶然；抑爲同一光線因折射而被擾亂，膨脹，以及分散成輻射之光線，均

可於第二實驗中見之。

實驗第二——照以前之實驗，若認光影之變成長方形，係由於每一光線之伸展，或出於折射之偶然不同，則將此影加以第二次之橫斜折射，長方形之寬度，應亦可伸展，余乃試第二次折射後之結果。因是之故，余使第一三稜鏡之位置及其他情形與前次者相同，然後置第二三稜鏡緊靠第一三稜鏡之後，但與之成直角位置，如此則自第一三稜鏡折出之光，可自此受橫斜折射：第一次之折射係向上，第二次則向側邊射出。試驗之結果，由第二三稜鏡射出之光影，寬度並未增加，而其上邊，在第一三稜鏡受折最大者，（即紫及藍色，）折角亦最大，下邊之紅黃色受折亦最小。

設以S代表太陽，F為窗孔，A B C為第一三稜鏡，D H為第二三稜鏡，Y為兩鏡撤去時，日光直射之圓影，P T為日光經過第一三

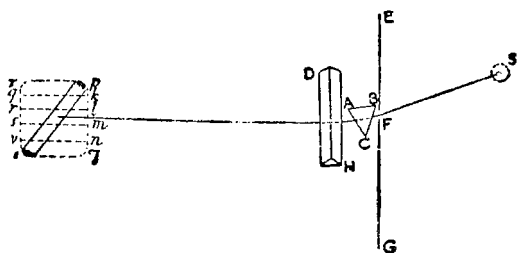


圖 五 第

稜鏡時之長方影， P_t 爲兩交互三稜鏡所成之光影。若原擬直折至圓影 Y 之各光線，因第一鏡之折射各自伸展而散佈，則不能從一單獨之直線，照至單獨一點，但太陽每線之光均被分裂，自折射點向外歧分，成一平面（即投射及折射角所成之平面）而歧分之長度即等於光影中 P_t 間之長度；若此所成之光影爲長方形，則經過第二鏡折射之後， P_t 間之各光線，亦應伸展而散佈，並向側面折射，以成四方形之光影如 πr 然。

欲使此種理由更爲明瞭，可將光影 P_t ，分爲五格， PQK ， KQR ， LRM ， MNV 及 NVT 。如直射於 Y 之圓影，經過第一三稜鏡，能伸展而成 P_t ，則等於 Y 光大小之 PQK 光線，經過第二三稜鏡，亦應伸展而成 πqk 影；而 KQR 則成 kqr 之長方形；餘者亦然；而此各長方形聯合組成四方之光影 πr 。如每一光線因受折光而伸展者，其結果應如是，但事實則不然。光影 P_t ，不因第二三稜鏡之折射而增加其寬度，而僅變成斜轉如 P_t 然，其上端之 T ，被第二次折射後，其距離較下端 T 更遠。是以經過第二三稜鏡後， P 點所受之折光，較之 T 點爲強，即藍紫兩色之折光較紅黃爲大也。

余有時於第二三稜鏡之後置第三鏡，有時於第三鏡之後更置第四鏡；凡在第一三稜鏡折射最強之光線，仍較餘者為強，絕無向側面伸展之現象。

假定折光相同之光線，真能照成一圓影如 Y 然，則此種現象更易明瞭。是以，設以 A G 代表太陽光中最易折光之光線，單獨所成之圓形，照於牆上；E L 為最難折光之光線，單獨所成之圓影；B H, C I, D K 為其間各光線所成之圓影，依序排列照於牆上（此外當然尚有無數其他光線，互相重複，為便利計，此處僅作五圓影。）若每種光線各自單獨由太陽光中射出，則每線成一圓影，依次排列。如各種光線同時從太陽中射出，則可成無數圓影，亦按照其折光之程度排列而成分光景 P T，如實驗第一中所述者然。若未經折光之太陽光影 Y，經過第一三稜鏡，因為伸展或折射不整一之關係，而成長方分光景 P T，則此分光景中之 A G, B H, 等圓影，經過第二三稜鏡後，每一圓影亦可伸展，而成一長方形之光影，則 P T 之寬度，應變與其長度相等，而

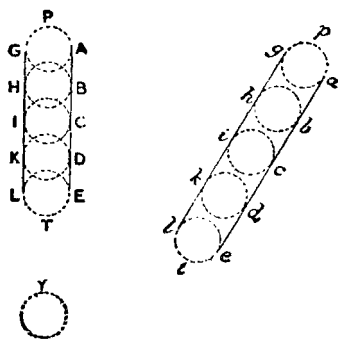


圖 六 第

成 $P \pi t \tau$ ，如余前所述者然。因分光景 $P T$ 之寬度向側面折射之後，並未增加，可知各光線實未因折射而歧分，伸展或散亂，但每一圓影，由有規則而整一之折射，完全移動其地位；如 $A G$ 之折光最大，移至 $a g$ ， $B H$ 最小，移至 $b h$ ；餘者亦同；如此所成之新分光景，與原有之 $P T$ ，成一斜度；而所成之圓影之大小，與未經第二次折射者亦相同，蓋分光景 $Y, P T$ ，與 $p t$ 與兩三稜鏡之距離相等，故寬度亦相等。

實驗第三——在兩薄板之中，各鑽一小孔，直徑約三分之一寸，又在百葉窗上作一較大之孔，以使大量之太陽光可以射入暗室。余於窗後置一三稜鏡，如此則折光可以照至對牆，而在三稜鏡之後，置一木板，使折光之中部，穿過板上小孔，其餘部分，則為板所阻。離此板十二尺，置第二木板，使穿過第一板之折光之中部，穿過第二板之小孔，餘者被阻而照於板上。在第二板之後，余又置一三稜鏡，以折射透過第二板之光。佈置完竣之後，余乃將第一三稜鏡繞軸旋轉使照於第二板上之光影上下移動，如此可以依次穿過第二板之小孔，而達於第二三稜鏡。余同時注意經過第二鏡後之光線照於對牆上之位置；因位置之不同，余知在第一三稜鏡折光最大，而在光影之藍色一端者，經

過第二鏡後，仍較到達紅色一端之光之折射為大，不論兩三稜鏡之軸為平行與否，或與地平所成之角度如何，其結果均相同。

設以 F 為百葉窗上之大孔，H 光由此經過而達第一三稜鏡 A B C，由三稜鏡折出之光，照於 D E 板之中間，而此光之中部，適照於木板中部之小孔。由第一木板透過之光，照於第二板 d e 之中間，成一長方形之光景，如第一實驗所成者然。若將三稜鏡 A B C 徐徐繞軸上下轉動，則此光影亦可在 d e 板上上下下移動，如此則可使光影之各部分，依次透過第二木板中間之小孔 g。同時 g 孔之後有一三稜鏡，用以折射透過之光。然後余於光影所照之對牆上，作 M 及 N 之記號，因知如兩木板及第二三稜鏡均不動，僅將第一三稜鏡旋轉，光之地位常在變動。因照於第二板 d e 之光影之下端，若令之透過 g 孔，則照於牆上之 M 點；而光影上端之光，透過同一小孔，則照於 N 點；而中間之光線，則照於 M 及 N 間之各地位。兩板

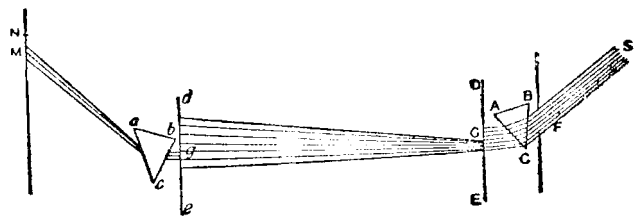


圖 七 第

上小孔之地位不變，則投射於第二三稜鏡之光雖皆相同，但一相同之投射，而仍得不同之折射。在第一三稜鏡折光最強之光線，在第二三稜鏡，仍爲最強，是以此種現象爲不變者，故較易折射者，可名之曰強折射性。

用此方法，牛頓氏最後加以概括，謂日光非單純之組織，而爲折射性不同之各種光線所組成。

第三十八章 法雷第(1791—1867)

法雷第(Michael Faraday)氏於一八一三年被任爲皇家學院之助理以助台維氏，一八二五年卽任該院之實驗館主任，一八三三年任化學教授。當時之數學，除算術外，均尙不發達，法氏竟能表現其非常之實驗及概括能力，造成與牛頓並駕齊驅之聲譽。「彼之靈敏之思想，副以操作之技能；悟性之敏捷又副以動作之迅速，乃能有此成功。」懷斯博士(Dr. Bence Jones) 丁台爾教授(Prof. Tyndall) 及格拉得史東博士(Dr. Gladstone) 均記載其可愛之性情，及其高尚之品格，並常提及其研究之天才。彼之電之研究，實爲不朽之作。本章所錄者，係節自第二卷第十八節。

水及蒸汽與他物摩擦所生之電

二〇七五 兩年前，亞姆斯曲龍(Mr. Armstrong) 氏等，曾敍及一實驗；謂高壓下之蒸汽，衝入空氣中，能發生巨量之電。電之來源未能確定，但假定其爲來自蒸發，或爲水自液體變至氣體時之結果，而且與大氣之電有直接關係。自去年五月以後，余對於此問題，加以研究，所得之結論，今茲

宣佈，皇家學會或認為有注意之價值也。

二〇七六 所用之儀器，不足以供給高壓蒸氣，但已足供余之使用，蓋余欲考察其原因及結果，不必增加所發生之電量也。余所用之鍋爐，可容水十加倫。鍋爐上裝一管，長四尺半，管之他端，有一大活栓（A）及一金屬球（B），球之容量為三十二立方英寸，余名之曰蒸汽球，在此球之他端，裝一管嘴（C），以便裝置其他之儀器，以作蒸氣之洩孔。如此則（a）一軟木可在（c）處裝於蒸汽球上，以作實驗時蒸汽之出口；或（b）一木管可以螺旋其上；或（C）可將一小金屬管或玻璃管插於軟木上，而將軟木螺旋其上。如此則與鍋爐相接之（D）管及蒸汽球之地位甚大，可以認為鍋爐之一部分，而盡頭之裝置（自C起）可作為障礙物，以限制蒸汽之噴出量，使之發生極大之摩擦。

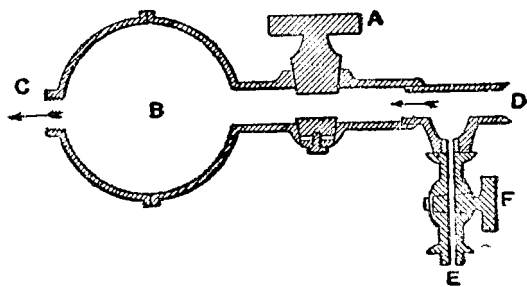


圖 八 第

二〇七七 另有一種蒸汽出口裝置（螺旋於C上）為一金屬管（G），其端有一金屬漏斗（H）及一金屬錐（J），用一螺旋釘（K）旋入漏斗，如此則當蒸汽噴出時，衝擊於此錐上；而此錐與漏斗及鍋爐可作電氣之聯接，或絕緣。

二〇七八 此外尚有一

噴口設備為一管（L），管上有活栓（M）及一給料器（N），由此給料器液體可以注入噴口，以便被蒸汽帶去。（給料器為

玻璃管或一蒸溜器之頸，裝於軟木上，而穿入活栓。）

二〇七九 第三種噴口為一圓柱形之小筒（P），其中可裝各種不同之液體，如此則當活栓開放時，蒸汽由蒸汽球流出，必經此小筒，將裝於筒中之物質攜去而達最後之噴口（Q）。如將前述

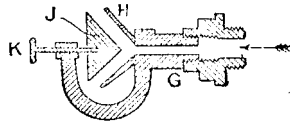


圖 九 第

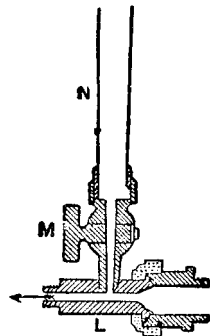


圖 十 第

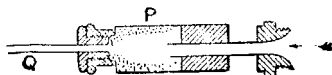


圖 一 十 第

之錐形設備，加於其上者，則蒸汽可與錐相衝擊。

二〇八〇 余所用蒸汽之壓力，約等於水銀柱八寸至十三寸，向未超過十三寸，大約等於五分之二氣壓。

二〇八一 用三塊膠質，使鍋爐與他物絕緣。而絕緣之情形至佳，蓋於鍋爐裝一金葉測電器。及有意使之通電，則雖有大火焰之存在，或因燃燒之結果而有巨量之發洩，金葉之分歧，均無變動。

二〇八二 當發洩之蒸汽發生電氣時，有兩法可以測驗其結果；或測驗絕緣之鍋爐，或視察其蒸汽，但此兩事常呈相反之現象。余於鍋爐上裝一金葉測電器及一放電器；前者除火星外，可測通電，後者則可用以計算在一定時間內之火星數，可測所發之電量。觀察蒸汽之情形，可使蒸汽由一絕緣之寬管洩出，管中裝一銅絲網作為蒸汽之放電器；或將蒸汽在放電器附近急噴，使之受感應；或於噴出蒸汽之道中放一傳導性物質之線或片，以使之放電。考察鍋爐之情形，及蒸汽衝激之物體，較之研究蒸汽本身所發生之電為便利，是以本篇除有特別之聲明外，均注重於前者。

二〇八三 在考察衝激之原因之前，余已知發電之原因，並非來自蒸發或凝結。當蒸汽有充

分之壓力時，若活栓突然揭開而取去，蒸發雖烈，鍋爐中並不發電。若於揭開活栓之前，用受激之樹脂以使鍋爐通電，則揭開活栓時，雖有蒸發，亦不影響於所通之電。既已造成各種可以發生正負及中性之噴口之後（二一〇二，二一一〇，二一一七）余遂逐一將其裝於蒸汽口，如蒸發之情形完全相同，則可隨意使鍋爐成正負或中性；是以電之發生，與蒸發及液體變相（成氣體）無關，至為明顯。

二〇八四 蒸汽單獨噴出，不能生電。欲說明此點，余認錐形設備為最好之衝激器；浸溼之黃楊木管，旋於蒸汽球上者亦然。若裝有此二種設備之一，而蒸汽球中無水，僅作為承接凝聚蒸汽之水之用，且儀器發熱，則經過開始之現象後（見二〇八九）所噴出之蒸汽不生電；但若蒸汽球中所裝之水至一定程度，使由蒸汽凝結之水被蒸汽帶走，則發生巨量之電。若再將蒸汽球中之水放出，電即停，再裝之至相當高度，電又恢復原狀。若用給料器，如蒸汽導管中無水則無電，若將水自給水器內放入，電可立生。

二〇八五 電之發生，完全由於水之微粒之摩擦；蒸汽帶有此種微粒，向前流動，與導管四周

固體物質相衝激，或與有意裝置之錐形器相衝激，故有此結果；是以，其性質與普通摩擦生電相同也。極小量之水，與阻礙物相摩擦，可以發生可感覺之電，余將於後章詳言之。

二〇八六 影響發電之若干情形之中，余應提出一二種討論之。壓力增加，可增加其效果，蓋兩種衝激物質摩擦更烈也。增加壓力，有時可將導管之正性變為負性；此種現象，並非力量之本身可使導管之正性變為負性，乃將發生正性電之物質帶去也。（參閱二一〇八）據余所知，增加壓力，不能將導管之負性變為正性。

二〇八七 衝激導管之形狀，有極大之影響；大約以能與水相接觸而使水點分離之固體物質為最宜。

二〇八八 如蒸汽與水點混合經過一管或活栓，（二〇七六）則發生勻靜之噹噹聲，或粗糙之響聲；如用錐形器，此種情形交互發生。如為勻靜之聲，則不發生電；即有之，量亦極微，如為響聲，發電甚多。響聲與帶不整齊為粗糙之震動發生時，則水點與物質之衝激，更為劇烈。余曾將導管之端，變成汽笛，但無甚影響。

二〇八九 如蒸汽球內無水，而將蒸汽活栓開放，開始之現象，甚為奇特；先發大量之電，但不久即停止。此乃由於凝聚於冷導管之水，被蒸汽帶去，與導管相摩擦也。是以，如導管為一活栓而冷，最初發生之電，恆疑其為蒸汽所發生者，但至活栓發熱，電亦立止。故當蒸汽噴出時，用一絕緣之水套，包於導管外，電又發生。如在蒸汽噴出之先，用酒精燈將導管燒熱，最初之現象，可以免除。

二〇九〇 水之微點，藉蒸汽流之力與其他物體摩擦而生電，已甚明瞭。作此種實驗，應用純淨之水。用給料器時（二〇七八）若注入者為蒸溜水，發生之電量甚巨；若於水中加硫酸鈉或食鹽少許，電即立停。若再用蒸溜水，電又發現；若用倫敦普通之自來水，亦不發電。

二〇九一 若用蒸汽球與黃楊木管（二〇七六）如經過管內之蒸汽，帶有由鍋爐凝結之水點，即可生電，如加少許硫酸鈉，食鹽，硝之結晶，或少許之硫酸於水中，則儀器完全失其效用；如將水放出，代以蒸溜水，電又立生，再加少許此種物質，電又停；再換純水，電又恢復。

二〇九二 蒸汽球中之普通水，無力生電，加鹼少許於蒸溜水，可以消滅其力量；加以任何鹽質，凡可使水具傳導性者，無不皆然。

二〇九三 此種結果，顯然將水變爲絕好之傳導性體，將其與金屬或其他物摩擦所生之電放出，一如吾人以溼絨布摩擦樹脂或硫磺者然，無法使之生電也。是以摩擦之結果，乃由於水，而非所經過之蒸汽也。

二〇九四 如水中加鈉，所增加傳導性甚微，余以爲其不至使水失去其摩擦生電之能力。因之加少許於蒸汽球中，果不出余所料，蒸汽雖尙能使試驗紙變紅，尙能照樣生電。但若加少許之硫酸，使之變成硫酸鈉，效力立失。

二〇九五 在任何上述之各種情形之下，蒸汽球中所含之水，不能生電，若將鍋爐與蒸汽球間之洩水活栓開放（此栓乃用以放洩未入蒸汽球前管中之水）電亦發生；然再過數寸，發電力卽失，因兩處之水性略有不同也。

二〇九六 如用木質或金屬管爲導管，而在管之外端略加各種鹽類之溶液，不至影響其發電力。但若用錐形器，而在錐上潤以溶液，當蒸汽開始噴出時不生電，及至溶液沖去後，可以恢復原狀；發電能力可至極高。

二〇九七 已經察知水及其純潔程度爲生電之必要條件後，今當再考察水及蒸汽所摩擦之物質與生電之關係。因此，余先用各種物質造成之錐形器（絕緣或否）以試之，知黃銅、黃楊木、象牙、蘇布、白絲、硫磺、橡皮、油綢、熔化之象皮及樹脂等，均成負性，而使蒸汽流及水流成爲正性。所用之布，均伸張於黃楊木製或蘇製之錐面上，而樹脂錐，乃將蘇布錐浸於酒精樹脂之溶液中，使之乾燥，然後用之。浸於松節油之木錐，及浸溼橄欖油之錐，開始時不甚活動，但逐漸變成負性，此時之被蒸汽所衝及之松節油及橄欖油，均已沖盡。羊毛布錐浸於酒精樹脂溶液數次者，發生之現象甚不整齊，正性負性交互發生，初視之，殊不可解，但略加研究，即可明瞭（二一一三）。

二〇九八 若將松香所製之棒，置於蒸汽流片刻，然後持近金葉測電器，證爲負性。硫磺片亦然。

二〇九九 考察被擦之物質之另一方法，係用裝於一絕緣柄上之絲線，或碎片，置於噴口，同時再與金葉測電器相聯絡。用此法所研究之物質，均成負性，但其程度不同。此種顯然不同之程度，非但有賴於變成負性之特別趨向，而且須視物質本身之傳導能力以通電於測電器；且亦靠受溼

之趨向（傳導性因之受影響）與其大小及形狀。

二一〇〇 因欲防止水在試驗物質上凝聚，余用一絕緣之伏而太電池，將白金絲燒至赤熱，然後置之噴口，因受蒸汽之故，白金絲之溫度立減至二一二度爲止；自始至終，結果不變，發生負電。

二一〇一 余所用之線，係張於一硬鐵絲所製之叉上，而將線之中部置於噴口，如線適在噴口之中間，則甚平定，但若略向蒸汽流軸之左右移動，即發生震動或旋轉，成一圓圈，而以蒸汽流軸爲切線，最可奇者，如線隨蒸汽流之推進而旋轉時，則不生電，即有之，亦極微，若爲固定，可生巨量之電，此可證明爲摩擦之結果也。

二一〇二 所用各物之性質（二〇九九）可與噴口以有價值之力量。如用金屬玻璃或木質管爲蒸汽出口導管，則鍋爐變成負性而蒸汽成正性；若用翹翹管或象牙管，則鍋爐無電，而蒸汽亦爲中性。此種結果，非但幫助證明電之發生並非由於蒸發，而且於試驗工作有極大之價值，蓋以上各種試驗，均用此種中性噴口，方能得可靠之結果也。

二一〇三 是以試驗之物質，可以置於象牙製之中性噴口或木質製或金屬製之正性噴口；

但對於正性噴口，不加以考察，頗易發生誤會。若將一絕緣之銅絲，置於由玻璃或金屬噴口噴出之蒸汽前半英寸，不見生電；如略向前移，則生正電，再略向噴口移動，則生負電。此種理由，至爲簡單，因近管之處，蒸汽噴出之力大，故發生摩擦而使之成負性，而更增蒸汽與水之正性，但向遠移至汽流略靜之處，則銅絲不過成爲放電器，以放導管所已成之電，故與之成同性。白金、銅線、絲、木、石墨，均可依照其在噴口前之地位而成正負性；翻翎、象牙及熊毛則不能。一片細銅絲網，置於噴口之前，結果更屬明顯；離開中性地位八分之一英寸，即可使之變性。

二一〇四 用同上之法，但將噴口改爲象牙管，而使之成中性，則不能使各物質具有正負兩性。此類物質或可使之摩擦而成負性（二〇九九），但無論在何種距離，均不能使之成放電器，或成正性。

二一〇五 吾人已知之，若水中加以少許之鹽類，可使水得傳導性，壓力雖高，亦均失其發電力（二〇九〇等）；今當設法證明是否所有物體受蒸汽摩擦後，均屬如此，或其間尚有程度不同之別。余於是再將各種物質複試。一次，余用二英釐之硫酸鈉加於四兩水中（此爲蒸汽球中常備

之量；) 又一次，加半英釐硫酸；所有被擦之物質，完全中性。如增加極大之壓力，或可發生影響。

二一〇六 加淡硫酸於蒸汽球中，其程從最淡至相當酸味，再用鋅製錐形器，但不見其生電。化學作用與蒸汽摩擦生電，似乎不生關係。

二一〇七 既已說明蒸汽與水摩擦其他物質而生電之結果，余可聲明，在任何情形之下，水均成正性。其地位或者超過任何物質，甚至超過貓皮與草酸鈣。吾人已有法可使噴出之蒸汽不成正性（用象牙管，）或減少其本身之力量（用木質，金屬，玻璃等，）是否尚有法可使之成負性，尚為一未解決之問題。

法氏研究其他部分，讀者應參考其原書。簡言之，法氏照下述方法進行！

二一〇八——二一二二 各種不同之物質即（松節油，橄欖油等）由給料器（二〇七八）或柱形管（二〇七九）加入，以視除水之外，其他物體之微點，被蒸汽帶去之行爲如何。

二一二三——二一二八 理論之推究。

二一二九——二一三七 用高壓空氣以代蒸汽。

二一三八——二一四〇 用空氣及乾料以作試驗。

二一四一——二一四三 關於摩擦生電之註釋。

法雷第氏對於此種之試驗，作下述之結論：余可謂關閉於鍋爐之蒸汽之發電原因，不由於蒸發，因其為摩擦所生，故不能發生大氣中之普通電，且與之無關：據余所作試驗之結果，純粹蒸汽，若不與液體或固體之微點相混合，雖與他物相衝激，亦不能生電。

法雷第氏之研究著作，幾無不引人入勝。作者認為最有興趣者，為法氏發見引力及電之關係之企試。——見研究第三卷，二七〇二至二七一七節。

第三十九章 其他研究者及作家

因篇幅之限制，不能多錄其他研究者之著作，讀者若參考下表所列諸作家之著作，定可開卷得益也。

(1) 佛倫克林 (Benjamin Franklin) (一七〇六至一七九〇年) 可認為彼之時代之最著名之美國政治家及哲學家。彼為證明閃電與電氣為同物之第一人。所著之電之觀察及新實驗 (Observation and New Experiments on Electricity) 充滿以科學方法，讀之甚饒興趣。

(2) 卡文笛虛 (Henry Cavendish) (一七三一——一八一〇年) 為理化學家。彼之研究成績之偉大，使化學一科之基礎得臻鞏固。亞倫比克會誌 (Alembic Club Reprints) 中，載有卡氏之論文二種，空氣之試驗及電氣研究，後者計有六九六篇，由馬克思威爾氏編輯。此卷中最值得注意者，為著名之卡文笛虛實驗 (Cavendish Experiment)，有時附有皮奧脫氏之名 (二一八

至二二一節。)

(3) 台維氏 (一七七八——一八二九年)——見本書第三十五章——台氏於一八一八年所著之安全燈及火焰之研究，亦為研究之模範，全體僅一四八頁。

(4) 白魯史透 (Sir David Brewster) 氏 (一七八一——一八六八年) 為一準確之觀察者，彼之普通方法為經驗的，而非數學的。所著之光學論叢 (Treatise on Optics) 為光學之普通著作，但多數之結果，為白氏自作之考察，讀者可特別參考極光一章 (第一五七至二四三頁)。

(5) 克爾文 (Lord Kelvin, William Thomson) 氏 (一八二四至一九〇七年) 居格拉斯哥大學自然哲學之教授者，五十三年，公認為當時最大之物理學家，彼所發表之創作，不下數百種，物理科學各門，幾盡被包括在內。彼之論文，大半難讀；但下列數種，可作為科學研究之例：(1) 靜電與磁，論文中之「大氣電」(一九二至二三六頁)；(2) Atmospheric Electricity in Papers on Electrostatics and Magnetism (2)；(3) 數理論文中之彈性 (Elasticity in Mathematical and Physical Papers) (第三至八十四頁)。

(6) 李斯透 (Lord Lister) 氏 (一八二七——一九一二年) 爲著名之外科醫師，年二十五即爲皇家外科學院之研究員，三十二歲被舉爲皇家學會會員，一八八三年授男爵，一八九七年升爲貴族，而且爲 Order of Merit 之發起會員之一。自一八六〇年至一八七七年任事於格拉斯哥與愛丁堡兩大學，其後即至倫敦。自從早年執業以來，即覺經外科手術後之死亡率過大，彼即決意從事研究其理由。由裴史德 (Pasteur) 氏工作之暗示，加以彼之聰穎及忍耐，使彼之研究逐漸縮小，僅研究如何保護傷口，使有害之微生物不至侵入，其主要之結果，載於「李斯透男爵叢書」 (The Collected Papers of Joseph, Baron Lister) 下列數文可作爲讀者之參考。卷一關於節制動脈收縮之神經系之研究 (An enquiry regarding the parts of the nerve system which regulate the contraction of arteries) (二十七至四十七頁)；靜水力學及水力學之知識，對於實用醫學之價值 (On the appreciation of a knowledge of hydrostatics and hydraulics to practical medicine) (一八六至一八八頁)；卷二結紮動脈與防腐方法之觀察 (Observations on ligature of arteries on antiseptic system) (八六至一〇一頁)；外科防腐之原理

(On the principles of antiseptic surgery) (三四〇——八頁)。

(7) 孟德里夫 (D. I. Mendeleeff) 氏 (生於一八三四年) 一八六四年被任爲聖彼得堡大學之化學教授。彼之創作，範圍甚廣，應用化學及理論化學與物理無不有之。讀者可擇讀一八八九年彼在皇家學院宣讀之「化學原質之周期律」(The Periodic Law of Chemical Elements) (見化學大綱第二卷，第四八九至五〇八頁) 及一九〇二年所著之「對於以太之化學概念之嘗試」(同書五〇九至五二九頁)。

(8) 雷賴 (Lord Rayleigh) 氏 (生於一八四二年) 一八六五年考中數學考試最優第一名，一八七九年繼馬克斯威爾氏爲卡文笛虛物理教授，一八八七年被任爲皇家學院之自然哲學教授。彼之工作，以絕對準確著。彼「合有數學之天才及精細實驗之技能。」所著之聲學教科書，爲科學著作中最好之例。與藍西 (Sir W. Ramsay) 氏合作，發見氫。此種發見，爲長時準確稱量，及精細試驗，以測定氮之比較密度之結果，蓋欲知此氣之原子量也。雷賴氏之科學著作，合刊四大冊。其中有極專門者，其普通而有興趣者爲 (a) 和諧回聲 (第一卷一八八——九頁) (b) 黑平面；

用燒熱之銅絲，在多塵之空氣中造成（第二卷一五一——四百）及（c）泡沫（第三卷，三五一——六二頁）此外尚有其他論文，值得閱讀者。氮之密度及氫之論文，載在第四卷第一九七、二〇一、二一〇、二一四、二一五、二一八、及二一九等節。專習物理科學者，不可不讀其全書。

此外之科學名人，不勝記載，大半由於所得之結果而著名，而非由於其所用之方法也。翻閱皇家學會之論文專刊，欲知各作者所用方法之內容，頗非易事。牛頓與法雷第之著作，絕少紀錄其詳細工作方法；篇幅之限制，固爲一因，但此種論文，大半供專家之參考，載有普通之過程及所得之結果，已足明瞭，毋須過於注重細節也。

然而青年之教師，必須能分別普通編輯之教科書，與公認之專門權威所著之教科書。後者著作人知識之充足，及其對於本問題內容之熟悉，使其作法完全不同，而又加以千數與本文相關之知識，隨意穿插其中，爲普通之編輯者所意想不到者也。

今再選科學名人數則，以作讀者之參考。據作者之意見，所選各名人之方法，大半爲推論法，爲闡明原則，讀時宜少注意於其結果，而多注意於其普通程序、例證、論理之舒展及佈置、論理之證據。

及論理之結論等等。

(9) 馬克斯威爾 (J. Clerk, Maxwell) 氏 (一八三一——七九年) 爲劍橋大學實驗物理教授之第一人，在彼之指導之下，卡文笛虛實驗館之計劃，得以進行。彼所著之「電及磁」推特教授 (Prof. Tait) 稱之謂「一人獨創之紀念碑中之最佳者」。讀者可讀其論文之第一部第一章「現象之記述」 (Description of Phenomena) (三一至六七頁) 第二章「靜電之數學理論綱要」 (Elementary Mathematical Theory of Statical Electricity) (六八至九五頁) 第二部第四章之「電解」 (三四五至三五五頁) 及「電解極光」 (三五六——六六頁)。

(10) 丁台爾 (John Tyndall) 氏 (一八二〇——九三年) 爲法雷第氏在皇家學院之同事，一八五四年被任爲自然哲學教授。一八六七年，法雷第逝世，彼繼之爲館長。丁氏之著作，能使不學者讀之而生興趣，因是著名，而此種能力，實遠勝其同輩；惜其謹慎不如法雷第，而深思不如馬克斯威爾耳。下列各文，均饒興趣：「輻射熱」數章中之熱，一種動的方法，(二六九——四二三頁)；「天空之蔚藍」(四六八——九五頁)；「聲」大氣之助聲透明與霧標幟問題之關係 (二八四——

三五八頁)科學零片,卷一,「灰塵與疾病」(一三一——九三頁);卷二「自然孳生」(二九二——三三六頁)。

(11)赫胥黎(T. H. Huxley)氏(一八二五——九五)與其友丁台爾氏相似,有意外之透澈解釋能力。彼之思想爲「清爽,冷淨而論理之機器」。華來史博士云,赫氏之智力,實勝於達爾文。彼所著之「生物界現象之原因」中之達爾文學說(三〇三——四七五頁)及「太晤時盆地地質學」中之地文學(二七二——九八頁)均可熟讀。

(12)普利史頓(Thomas Preston)氏與作者同事頗久,惜壽命短促,未能竟其全功。所著之熱之理論及光之理論,均爲標準工作。

此外尚有無數科學界之作者,應包括在本篇之內,但上列諸名人,已足代表之。

(16) 將漂白粉化於水中，加以淡硫酸， Cl_2 發生。故酸似可將漂白粉之 Cl_2 逐出。

(17) 放漂白粉於水中搖之，將清潔部分傾出。將有色布浸入其中，然後再浸於淡酸內。布被漂白。

漂白似為 Cl_2 及 OH_2 之共同作用。 Cl_2 既然發生，而加 H_2SO_4

則 $CaSO_4$ 必然沈澱，下列之公式，或可代表其反應——



參考圖書館中各書——

(18) 大部分之有機化合物，謂均無色，而此類化合物之分子，常甚複雜。有色化合物之分子中，略起化學變化，影響及於分子中之一二原子，定可成爲無色物質。是以若 Cl_2 與水中之 H 相合，而放出 O ，而此 O 可氧化有色化合物（並非毀壞之），使之成爲無色化合物。

(19) 一書謂乾 Cl_2 有時可漂白。 Cl_2 與顏料中之 H 相合，將顏料變成無色化合物。但余曾將

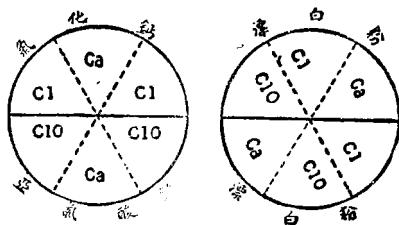


圖 六 十 第

許多顏色布在乾 Cl_2 中試之，無此結果。

(20) 另一書云：所謂 Cl_2 之漂白作用，幾全為次亞氯酸 (HClO) 之氧化作用。當 Cl_2 溶化於水中， Cl_2 之小部分，與一小部分水起交互之反應：——



但所發生之 HCl 及 HClO 之量極微，而此種變化立即停頓，而有顛倒之反應。 HCl 與 HClO 之反應更烈，又成 Cl_2 及 HO_2 。若將此溶液在日光中曬之， HClO 分解， O 即發生。將 HClO 取去，可防止顛倒之反應，而使正式之反應繼續完畢。

(21) 取置於散光下之 Cl_2 水少許，與 H_2S 混合而搖之以試 HClO 。一種略褐而白之沈澱發生。將此沈澱加淡 HCl 熱之，略褐之部分似乎被溶化；而餘留之白沈澱為氯化低汞。被溶化之褐色沈澱，表示 HClO 之存在，但是不多，故余不敢確信。但余不知有其他之證明法。

(22) O 雖證明為漂白作用之主動者，此 O 似非為 Cl_2 與 H_2O 之且化合而生，而為 Cl_2 與 OH_2 所發生之 HClO 與 HCl 所發生者，亦至可能之事。

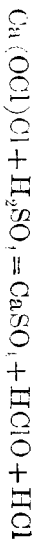


如其然者，則不必考慮「初發」氧之意義，蓋無人能明瞭其意義也。認 HClO 爲強烈之氧化劑，較之認 Cl 與水所發生之氧原子爲佳。

(23) 由第十七實驗，已知於漂白粉中加酸，可放出 Cl_2 ，其反應之公式如下：——



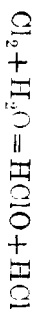
一書云，漂白之發生，乃由於 Cl 浸入溼布之纖維中，使水中之 O 放出。但自以上之試驗，真正之反應，爲酸類使 HClO 放出：——



大部分之 HClO ，暫時與 HCl 成反應：——



但因 HClO 之某部分放出 O ，可成相反之作用：——



此種程度，繼續進行，直至 Cl_2 用完；同時 HClO 放出 O ，以氧化有色布。

是以，若謂漂白作用為 Cl_2 之效力，實為錯誤，毋寧謂出於 HCl 之力也。

此次實驗，實不止於此。結晶及透折之實驗，相繼進行，以證明漂白粉究為「混合物」抑為「化合物」。但此二種實驗，均為學生程度所不逮，或參考之書不充足。至少均未有結果，但知乾漂白粉為化合物，而其溶液則與氯化物及次亞氯化物相混合。

五 物理實驗之實例

作此實驗之兒童，繪有若干圖解，以作說明，但本節不全載之。此兒童對於電學，磁力學及熱力學，以及無機化學，曾作較深之工作，但於靜水力學，乃賴三年前作密度試驗時所得之少許知識。

「實驗虹吸氣壓表」(1)管孔是否須全部一律；(2)是否須置於垂直地位；(3)是否可用不規則之管；(4)若將鐵一小塊放在水銀井上，是否影響水銀柱之高度；(5)(a)若在一封閉之房

內，或（b）將水銀井封閉，僅留一針孔，氣壓表之記錄是否準確；及（6）如何校正刻度，使氣壓表之直接記錄準確。盡量用第一原則，證明每種實驗。可以參考任何書籍，但不可承認著作人之假定；亦不可用以前所得之知識，作為假定。」

（1）液體以裝盛器皿之形為形，如傾之於一平面，則可流佈於此平面；液性愈完全，流動愈快。例如水之流動，快於甘油。此為普通觀察之事實。如有所謂真正之完全液體，對於變形，一部分可在另一部分上流動，絕無阻礙。液體既屈服於極小力量，靜止之液體，對於接觸面，不發生阻力，或切線力。故靜止液體之壓力，係垂直於接觸面（原則第一）。

（2）用一玻璃球以作實驗（a）球上有一頸，頸中裝一活塞；（b）球之上下四周均有小孔——球中裝滿以水，而加壓力於活塞。則由噴口所射出之水，可知傳遞於各方之壓力，適為相等。

（3）用一四頸之玻璃球，每頸上裝一軟木塞，軟木塞內再裝以半寸玻璃管；然後用水柱法以試驗球之頂，底，邊及中心之壓力。一球中裝滿以水，再由一頸內將水加入，以增加壓力。其結果證明水能將其壓力，相等的傳導於各方向。

(4) 上述二實驗之結論爲：若將壓力加之於液體之任何部分，則可相等的傳導於各方面，而不增加其強度（原則第二）。

(5) 又可謂：若加壓力於任何單位面積，則其餘各單位面積均感覺之，但不變其強度（原則第三）。是以一裝滿水而有兩活塞 A 及 B 之封閉器皿，B 之面積 X 倍於 A，若以單位力量加之於 A，則必須加 X 單位於 B，始不至於被擠出。

(6) 若一磚疊於他一磚之上，則第一磚受第二磚之壓力。如加第三磚，則第一磚受二磚之壓力，而中間之磚受一磚之壓力。如加第四磚，則底磚受三磚之壓力，以此類推。由此種之事實，吾人可以推論，水之深度愈加，其底部所受之壓力亦愈大。

(7) 用 $12\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$ 之玻璃管以作實驗，管之兩端均不封閉——用一金屬圓盤，作爲活動底，以之緊貼於一端，然後將全部徐徐垂直放入水中。此圓盤能維持其地位，吾人可以推論，水有向上之壓力。

(8) 用線結於圓盤上，然後將線穿過全管，結之天平之秤盤上，而於他一秤盤中加以砝碼，使

之均衡。在第二秤盤上，加以各種不同之砝碼，每次在管中加水，至圓盤脫落爲止。每次砝碼之重量與所加之水之高度成一定之比例。

(9) 照上法使活動圓盤與第二秤盤均衡，再照實驗第七，將管及圓盤浸入水中。然後在管中加水，每次加至與外器皿中之水相平時，圓盤卽行脫落。是以器皿之水，向上施壓於圓盤，圓盤愈深受壓愈大。

(10) 用赫爾教授(Prof. Hall)之壓力計(一多刺之漏斗，上蓋薄膜，而用橡皮管以與含有液體標準液之橫玻璃管相連接)以試一大貯水器中各部分及方向之壓力。

上述諸試驗之推論——

(11) 液體之壓力與深度成正比例(原則第四)。

(12) 每點之壓力，向各方向之強度相同(原則第五)。

(13) 在同一水平面，所有各點之壓力相等(原則第六)。

(14) 用裴史格氏瓶(Pascal's vases)以作實驗。各瓶底之面積相等，但瓶之形式各不相同。

——任用何瓶，在秤盤上所加之砝碼使之相同，當水升至一定之水平時，圓盤即行下落。此足以證明：——

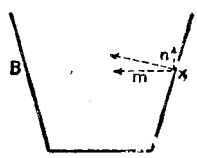
(15) 器皿底部所受之壓力，專賴底之上面之液體之高度（原則第七。）壓力與瓶之形式及瓶中之水量無關。

(16) 無論瓶之式樣如何，瓶底之壓力等於圓柱形水柱之重量；此水柱之底之面積等於瓶底之面積，而其高度等於所裝之水之高度（原則第八。）

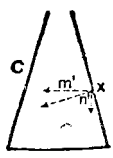
(17) 如瓶為圓柱形如 A，則原則第八之真相至易明瞭。如瓶形如 B，其結果可如此解釋：任何點 X 之壓力，垂直於邊（原則第一，）而發生同等強度之反動力，但方向相反。將此力分解成垂直及水平兩分力 m 及 n ，則可見水平分力，毫無力量，而垂直分力，有向



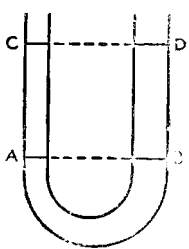
圖七十第



圖八十第



圖九十第



圖十二第

上之壓力，以維持斜邊上之水。是以瓶底所受之壓力，少於瓶中水之總重，其差數被斜邊所托也。

(18) 如瓶之形式如 C，則分力 n' 向下用力，是以增加瓶底之壓力，是以瓶底所受之壓力，多於液體之總重。

(如此所生之壓力，切不可認作器皿及容器對於桌面之壓力。)

(19) 由 17 及 18 兩實驗，可知瓶底之面積增加，載於其上之壓力亦增加。

(20) 由觀察得知，液體常從高處流至低處（原則第九。)

(21) 用各種形式之瓶實驗之結果，知平衡時，液體之平面，常為水平（原則第十。)

(22) 所有液體，均尋求水平（原則第十一。)

(23) 是以在一 U 形管中之水，不論其兩股之剖面相等與否，均維持同一水平。

(24) U 形管 C A B D 之右股 D B 之剖面面積（二十圖）大於左股 C A 四倍。將水銀注入管中，至 A B 線為止。如將水由 C A 股傾入，則 A 面所受之壓力，可以相等的傳至 B，如水銀欲在 D B 股中，維持原有之水平，則必須於 D B 管內傾入四倍於傾入於 C A 股之水（原則第二及第三。)

實驗之實情如此；而兩股中之水，達到C D水平。

(25) 若將兩種不同之液體，分別傾入兩股，而一種液體之密度，一倍於他一種；如欲水銀維持其原有之水面，則較爲稀薄之液體柱，應較較濃者高一倍。

(26) 用比重瓶測驗，知酒精之比較密度爲0.8，將水傾入U形管之C A股，而將酒精注入D B股，至水銀恢復其原有之水平爲止。水柱高度，與酒精柱高度之比例，適爲4:3，與吾人所推測者無異。是以測量U形管兩股中，水銀上面兩種液體之高度，即可知此兩液體之比較密度。

(27) 如兩種液體不能混合者，則可完全不用水銀，僅須從兩液分離處之平面，測量其高度。

(28) 用倒置之U形管（海亞計 *Hare's apparatus*）及水與酒精以作實驗。——照下列各情形變換實驗方法：(a) 管孔相同之直立管；(b) 管孔不同之直立管；(c) 管孔不同之斜立管；(d) 管孔不同之不規則管；(e) 兩玻璃杯中之液體水平相等；(f) 液體之水平不同；(g) 玻璃杯不放置於同一水平上。實驗之結果，完全相同；由杯中液體平面量起，水柱與酒精柱之比例，均爲4:3。管之大小，形式，及地位以及玻璃杯之地位，杯中液體之水平，絕對不影響其結果。照以上各實

驗所得之原則，此種結果爲可以預料者。是以此種儀器可用以檢定液體之密度。

(29) 大氣之壓力，可不計及，蓋對於兩柱之影響相同也。管內兩柱所減之壓力，完全相同；而杯中液體上所受之壓力，亦幾相同，蓋兩杯之不在同一水平者，其相差之氣壓甚微，無從測計也。

(30) 是以論及液體，外界之氣壓，被液體柱之壓力加以變成稀薄之空氣之壓力所平衡。故一液體柱，可與他一液體柱相平衡；或一單位面積所成之壓力，等於他一單位面積所成之壓力。

(31) 關於氣壓表之各問題，現在可以答復：

氣壓表爲儀器之一種，用以傳遞大氣之壓力者，而此壓力傳於水銀柱，以記載其高度。此實爲一極長之U形管，其一股爲空氣柱，由地而以達於大氣之表面，而他一股則含水銀。是以，凡可應用於普通含有平衡柱之U形管之原則，均可應用於氣壓表。

(32) 管之孔不必相同。壓力僅賴水銀柱之垂直高度。由以前之實驗，知管之形狀，地位及有規則與否，均與水銀柱之垂直高度，不發生影響（見原則第二，四，七及八。）

(33) 在氣壓表之水銀井中，浮一小鐵塊，則水銀向管中上升。此爲當然之事，蓋在此情形之下，

水銀柱有大氣之壓力加以鐵塊之重量也。

由上述之事實，浮鐵既重於平衡力，則在輪形氣壓表中，其所減少之氣壓，少於此兩力之差數者，不足以舉起此浮鐵，結果所減之壓力，不能在針盤上表現。若僅因有此種理由，輪形氣壓表，即不可靠。

(34) 若將氣壓表置於封閉之屋內，絕對不與外面空氣相通，則不能有外界氣壓之準確記錄。然而不論門窗如何緊閉，空氣可自門窗、地板及屋頂之罅隙透入，而氣壓表仍能準確記錄外面空氣之氣壓。

(35) 有一針洞，即足以供大氣使用其全力。孔洞之大小，絕無關係。此為裴斯格氏瓶（第十九圖）之極端應用。

(36) 氣壓之高度，最好用兩法取記之，即記載U形管兩股中水銀之高度，及兩者之差數。但可照下述方法，以作直接分度。——假定不封閉股之剖面面積，十倍於封閉之一股，則當管中（封閉之一股）水銀上升一寸，則水銀井（不封閉之一股）內之水銀，下降十分之一寸。即水銀兩平面

之差數增加 $\frac{1}{10}$ 寸。是以分度上實際僅加一寸時，須刻爲 $\frac{1}{10}$ 寸，餘可照比例類推。

如水銀管及井之剖面無簡單之比例，則須加以試驗，方能得其分度。

此實驗之結果，頗多可受指摘之處。例如，所成立之若干原則，大半未曾應用，而且假定應用於液體之壓力，亦可應用於氣體；而各種「液體」之壓力，亦未區分。然出於一兒童之手，不能不認爲滿意。此問題比較困難，而教科書中，絕少有充分之敘述。「在一點之壓力」一語，頗足使初步靜水力學發生誤會。

