

普通物理現象解釋

卷 上

萬縣 劉世楷 著

普通物理現象解釋

卷 上

(力學物性熱學之部)

萬 縣

劉 世 楷 著

1 9 2 6

序

本書所載，限於普通之物理現象，及關於物理學之常識問題。解釋雖避計算，間亦列入重要數式。全書分三卷，上卷屬於力學物性之部，中卷屬於音學光學之部，下卷屬於^{熱學}磁學電學之部。民國十二年三月始輯於魯南曹州，同年七月即行停止。

十四年冬，國內戰爭方烈，南北交通梗塞，著者適消寒於酷冷之松花江畔，耳聞身受，多不恰意。因出是書原稿，重加整理，裨略有所事，易於消遣時日。嗣有索此供參考者，乃貿然將上卷付印，實欲借以就正於師友，非敢自衒也。

著者識

民國十五年六月十五日

普通物理現象解釋(卷上)

目 錄

- 第一編 關於力學物性之現象……………P. 1—92
- 第一章 慣性現象……………共11條…P. 1—5
- 第二章 外力現象……………共12條…P. 5—10
- 第三章 正動與反動之現象……………共8條…P. 10—13
- 第四章 衝突現象……………共2條…P. 13—15
- 第五章 力及速度之分合現象……………共10條…P. 15—23
- 第六章 簡單機械之現象……………共16條…P. 23—33
- 第七章 分子力現象……………共7條…P. 33—36
- 第八章 表面張力現象(附細管現象)……………
……………共21條…P. 36—46
- 第九章 擴散及滲透之現象……………共5條…P. 46—48
- 第十章 液體壓力及浮力之現象…共18條…P. 48—56
- 第十一章 氣體壓力及浮力之現象…共22條…P. 56—66
- 第十二章 吸引力及重心之現象……………共16條…P. 66—79
- 第十三章 圓運動現象……………共11條…P. 79—84
- 第十四章 摩擦力現象……………共15條…P. 84—90
- 第十五章 氣體凝着及溶解之現象…共5條…P. 90—92
- 第二編 熱學之現象……………P. 93—172
- 第一章 溫度變差之現象……………共4條…P. 93—96

第二章	傳導現象	共35條	P. 96—108
第三章	對流現象	共12條	P.108—114
第四章	關於對流作用及大氣壓力之現象—風	共6條	P.114—129
第五章	輻射現象	共18條	P.129—136
第六章	比熱現象	共9條	P.136—139
第七章	融解現象	共8條	P.139—143
第八章	氣化現象	共12條	P.143—148
第九章	凝結現象	共18條	P.148—159
第十章	漲縮之現象	共20條	P.159—170
第十一章	熱與功用之現象	共3條	P.170—172

普通物理現象解釋

萬縣 劉世楷 著

第一編 關於力學及物性之現象

第一章 慣性現象

§. 1. 人立火車中，當車初開，每向後仰。抵站停車，則向前傾。

〔解釋〕 按慣性律，物體未受外力作用時，靜者恒靜，動者恒動。火車驟開，兩足與火車發生磨擦力，其方向與火車行向相反，大小則遠不如火車之動力，故兩足立時隨車前動（若無磨擦力，則火車雖行，亦不能將人帶走。）。但上身尚有靜立之慣性，不及隨車前進，故向後仰。反之，火車驟停，磨擦力勝過前動之力，兩足遂歸靜止。但上身尚保持隨車前進之慣性，故向前傾。

行船抵岸，乘客爲之前仆，沿坡下馳，不能立即停止，須順勢前跑數步，方免傾跌。此類現象，均由於慣性作用，解釋與上述相同。

§. 2 電車在前進中，若欲上車，須循車行方向疾馳數步（與車行速率相等），始可平安上車。下車時又須於着地後，隨車追跑數步，始可安然離去。

〔解釋〕 此亦順應慣性之理。若下車時驟然靜止，則上

身尚有前進之慣性，勢必向前傾跌，易生危險。上車時足先履車，驟隨車動，而上身尚有保持尋常狀態之慣性，勢必向後仰跌，亦足發生意外。故須先跑數步，使上身亦有向前運動之慣性，方可騰身於前進之車中。下車後循勢前跑，則在和緩上身前進之慣性，使漸歸靜止。

§. 3. 小刀把柄鬆動時，可倒叩刀柄於地，令其嵌緊。

〔解釋〕 急叩刀柄於地，則柄之運動停止，但刀身尚有繼續運動之慣性，故仍向前進，以嵌緊把柄。此現象亦可用反動力解釋，附記於次。

施力於某物體，某物體即發生等大反向之力，是曰反動力。倒叩刀柄於地，地面即對刀柄生等大之反動力，此力影響刀身，使刀身又反對地面之作用向地運動。結果因柄被手執，不能活動，刀身遂循反動力方向，向柄前進，以至嵌入頗緊。

§. 4. 棹面紙上置銅尺鎮紙一方，徐徐拖紙，尺隨紙動。若急抽此紙，則銅尺仍靜止於原有地位，不隨紙運動。

〔解釋〕 迅速拖紙，其運動之力不及傳至銅尺，故銅尺仍保持靜止之慣性，至紙雖抽去，亦不變位。此與本章§7同理，可互相參看。

§. 5. 木匠欲加減鉋刀位置時，並不直接擊動刀身，

僅用鎚輕叩鉋身木框兩端，即可令鉋刀嵌入或退出於木框。

〔解釋〕 鉋刀於未受外力時，常循慣性定律，保持靜止狀態。搗擊木框兩端，使向前或向後運動，則鉋刀反對木框運動之方向，而嵌入或退出於木框。

§. 6. 火車進行中，車內拋物，仍落原處，與火車靜止時無異。但自車外拋物下墜，則車在進行時，斜向下落，與靜止中之落體不同。

〔解釋〕 火車進行時，車內各物皆有隨同運動之慣性。拋物下落，其前進距離與火車前進之距離完全相等，故可仍落原處。但向窗外墜物，則因車外空氣不隨車前進之故，物體於下降中遂受空氣之抵抗，其前進運動較火車遲，故斜向後退。

§. 7. 演幻術者常取長二三尺之木竿一枝，橫置二杯上，杯各滿盛清水。持棒猛擊木竿中央，竿立折斷，水則平靜如故。或懸二紙圈於刀刃之上，橫懸木竿於紙圈中。持棒迅擊木竿中央，竿折而圈無損傷。

〔解釋〕 力之傳播須經一定時間。若太速，即不易生作用。木竿受擊甚速，擊力不及傳至杯上（或紙圈），竿即折斷。故杯仍循慣性定律，保持其靜立之常態。紙圈不損，亦同此理。

力之傳播須經一定時間，觀下式自明。

$$F = m \alpha = \frac{m(v - 0)}{t}, Ft = mv$$

F 代所加之力，m 代棒之質量， α 代棒之運動加速度。v 爲終速度，0 爲初速度(因原係靜止狀態)，t 爲施力之時間。上式表示運動量 mv 與 t 成正比例。可見 t 愈小，則運動量愈小，即力的作用愈微。

§. 8. 甌上灰塵可持棍撲擊，以逐去之。煙斗內之煙灰，可搞觸煙管，而令脫落。

〔解釋〕 甌驟受打擊，立起運動，其上塵埃尙保持靜止之慣性，未及隨甌而動。遂至與甌分離。煙管於運動中忽與他物相觸而停止，斗內煙灰遂本運動之慣性以躍出。但緊張甌面於地上。令受棍擊時不隨之而有顯著之運動，仍可力擊甌面使塵飛起。又固定煙管，使不運動，仍可叩擊管身，而令煙灰自斗內躍去。故本問題亦可用正動與反動之理解釋之，詳見第三章。

§. 9 火車將轉彎時，每故減其速率，鐵軌曲折處恒取迂緩之弓形。(本條與圓運動有關，可參看十三章第一條)

〔解釋〕 火車如前進太速，則於轉彎處不能立變其循原有方向而運動之慣性，至予其處鐵軌以甚猛之衝突，或竟演脫軌之險。故於未轉彎前，即須徐減其速率，使能平安變更方向。猶如吾人於迂迴道路，須緩步行走，不宜奮足

疾馳也。又軌道曲折處若取迂緩形式，各部方向之變化即不甚劇，火車循之改向自較容易，而由慣性發生之困難爲之減少矣。

§.10. 火車乍開，車上杯內水面向後擁起。車如驟停，水即向前傾盪。

〔解釋〕 此與車內乘客之後仰前俯同理，參看本章第一條自明。又若盛水於杯，持杯前動，水向後溢出；而持杯後退時，水向前溢出；均屬慣性現象，與在車中之關係完全相同。

§.11 車前進甚速時，向車尾而行較爲容易。走浪橋者亦須乘橋後退時，舉步前行。

〔解釋〕 若行走方向與車之前進相同，則人之上體恒有後仰之傾向，因脚部隨車前動故也。若行走方向與車之前進相反，則於行走中上體恒向前傾，舉步前移，恰能保持平衡，故覺行動反較容易。浪橋（即以繩橫懸巨木而振動之，令起伏如浪）上之行走與此相同，不贅釋。

第二章 外力現象

§. 1. 持箸徐擊玻璃，可使玻璃破裂，裂痕四布。放槍擊窗，玻上僅遺光滑之彈孔，毫無裂痕。

〔解釋〕 按牛頓運動第二律，物體受外力作用時，其運動量之變化，與外力大小及施力時間之相乘積成比例。令某物之質量爲 m ，外力爲 f ，施力時間爲 t ，某物原有速度

爲 v ，受外力後之速度爲 v' ，比例常數爲 K 。由此律得：—

$$mv' - mv = K.f.t,$$

$$\text{或 } v' - v = K \times \frac{f t}{m}, \dots\dots\dots(1)$$

(1)式之 t 愈小，則 $(v' - v)$ 愈小。 t 愈大，則 f 不甚小時， $(v' - v)$ 亦隨之而增大。又 t 不十分小時， f 之增減亦足使 $(v' - v)$ 隨之大小。 $(v' - v)$ 乃某物體速度之變化，故由其值之大小，可以覘外力對某物體所生之效果若何。

持箸徐擊，作用於玻璃之時間較長，即(1)式之 t 較大，又即擊力對玻璃效果較強較廣。反之，鎗彈以大速率進行，作用玻璃之時間較短，即(1)式之 t 較小， $(v' - v)$ 之值自微，故擊力對玻璃之效果較弱。除鎗彈直接衝過之處外，他部玻璃不及受其影響，故只遺下彈孔，別無裂痕。

§. 2 鐵軌上空車數輛，可合數人之力徐徐推動。若使人持一錘以擊車，則雖以同數之人，同時猛擊，亦不能使車移動。

〔解釋〕 徐用手推，施力之時間較長。執錘猛擊，時有斷歇，即作用之時間較短。故人雖如故，徒以施力有久暫之別，車受外力作用即有強弱之分，卒至推之易動，擊之難動。

§. 3. 人力無論巨細，均不能自舉其身。又置風扇於船上，雖鼓風頗巨，亦不能吹帆行船。

〔解釋〕 此因無外力作用之故。(1)式 f 爲零， $(v' - v)$ 自亦消滅，故無速度之變化可言。若以手抵地，或伸手攀樹，人力作用於地或樹，地或樹即以等大之力作用於人，（見三章正動反動定律）人身始賴以豎立或懸起，此地此樹之力外力也。故壯夫自握腰帶，盡力上提，以無外力之故，卒不能提起。小兒兩手抵地，兩足朝天，以有外力之作用，每可豎立地面。

§. 4. 立定跳遠，每不及奔馳而跳之遠。

〔解釋〕 牛頓第二律之末段，謂運動量之方向，恒循外力之方向。今向前直跑，順勢遠跳，一則作用之時間較長，全體有前動慣性。一則力之方向，運動於變化之方向。故此立定前跳之效果大。若不循直線前跑，迂曲奔馳，不唯不能遠跳，且有傾跌之虞矣。

§. 5. 拳術家運氣鼓腹，自持利刃迅速砍擊，皮肉毫無所損。但禁人持刀來回切割。

〔解釋〕 運氣至腹，腹可立時堅硬，但不能耐久。持刀速砍，一則恰當腹硬之時，一則施力之時間太短，故肉皮無損。若施力切割，則爲時較長，腹氣又漸漸洩去，故可致傷。

§. 6 鎗身愈短，則速度愈小，射程亦不遠。故手鎗不及長鎗之可射遠破堅。

〔解釋〕 物體運動時，其速度之變化，以外力爲主要原

因，已如前述。而力之大小一定時，其速度之變化，則與作用之時間成比例。鎗身愈短，則鎗彈與鎗身作用之時間愈暫，且彈丸之力又屬一定。故手鎗短銃不如長鎗速率之大。試以 m ， α ， t ，各代質量，加速度，時間。力之大小以 f 表之。按牛頓第二律得 $m\alpha = ft$ 。可見 t 愈小 α 亦愈弱。但 m 與 f 須一定不變，如鎗身質量與彈藥爆發力是也。

§. 7. 擔負重物之人，行動中難於驟變方向。轉變時須徐徐斜行，漸漸轉動。

〔解釋〕 所負物體愈重，則慣性愈著。運動中之運動量亦愈巨。故由 $m\alpha = ft$ 公式觀之，因 m 甚大，(即物體甚重) $m\alpha$ 亦隨同增加。欲所用之力不增，則 t 須加大，始能使 ft 與 $m\alpha$ 相等。故負重物而行，欲於轉變時省力，非費較長之時間，徐徐改變行動方向不可。

§. 8. 大人手持鐵釘，猛力錘木，不易深入。小孩執錘擊釘，易於深入木中。

〔解釋〕 以手錘木，速度甚小，持錘搗擊時速度較大，故運動量亦於用錘搗擊時較大。(運動量為質量與速度之乘積)且擊錘既速，錘與釘作用之時間即甚短促。故 $Mv = ft$ 式中， v 既大， M 又一定， t 又小，非 f 增大，不足使 Mv 與 ft 相等。即用錘擊釘，其擊力亦較用手者為大。此即釘易打入之故。

§. 9. 伸棒打球時，接球者須禦手套。且球到手中，急須向後稍伸。

〔解釋〕 運動量之變化一定，如時間延長，力之作用即減弱。蓋 $Mv - Mv = ft$ 式中 $Mv - Mv$ 爲一定時， t 如加大， f 非小不可也。又物體受外力後之變動方向，與外力一致。故接球於手，球尚有前進慣性，手即有隨同運動之勢，須因勢後移，使手與球共同運動之時間略長，以減弱其擊力，感痛自微。厚軟手套之功用，即取其能使擊力傳至手掌之時間略長，球與掌觸時，尚略有繼續前進之餘地，不至驟歸靜止，至使擊力加強。

§.10. 墜玻璃杯於棉絮上，可保不破。墜於木石等硬物上，則否。（玻璃磁器等物，搬運時須緊襯棉花稻草，）

〔解釋〕 棉花有無數空隙，隙內充滿空氣。空氣爲彈性體，可以壓縮或膨脹。故墜杯其上，尚可壓縮棉內空氣，至杯仍循慣性向下墜落少許，始歸靜止。即杯由運動狀態全歸靜止之經過時間，較觸於木石等硬物爲長。從而杯身所受之擊力較小，不至破裂。墜杯於硬石之上，則杯一觸石面即被阻止，故於運動中激急停止，所受擊力遂大，以至發生破裂現象。試就次式觀之， $m(v' - v) = ft$

墜體之速度的變化，即重力加速度，於一定時間爲一定值。上式在一定時間有 $m(v' - v) = ft = mg = K$ ，不變數）之意。若 t 甚小（即驟然靜止不動），則 f 勢必增大。反之

t 加大， f 隨之減小。其理與 §9 相似。

§.11. 由高處下跳，須脚尖先着地，始可減少痛苦。

〔解釋〕 脚尖着地以迄脚踵着地，其間至少亦須若干時間。故下墜速度不至驟然消滅，尙經片時之和緩，漸歸靜止，人體所受擊力賴以減少。若平足抵地，全身驟由運動狀態變爲靜止，擊力必大，痛苦自甚。此與§9及§10兩條同理。

§.12. 人力車，馬車，電車，等類物體，於車身與車軸間常有一彈性鐵弓。若無此物，顛動特甚。

〔解釋〕 車輪驟被激動，或行車於凸凹之地，車身易於顛動。軸上置有彈性鐵弓時，可使此種激動之力作用於車身之時間略爲增長。從而車身所受擊力較小，無急激之震動。

第三章 正動與反動之現象

§. 1. 毛氈上灰塵可用棍撲氈以逐去。或執氈振蕩，亦可去塵。又煙斗內之煙灰搗管即脫。

〔解釋〕 按牛頓運動第三律，謂正動力與反動力方向相反，而大小相等。加力於某物體，則此力對某物體爲正動力。同時某物生與正動力相反而等強之力，其力即反動力。持棍擊氈，氈即對棍反動，氈上灰塵遂隨此反動力而躍去。用力搗擊煙管，管亦發生與搗管之力等大反向之反動力，故煙灰受此反動力作用而脫出。刀柄鬆動，倒叩即緊

，其理同此，解見第一章§3，故本條現象亦可用慣性解釋之。

§. 2 禽類鼓翼可以上飛。人以手拍空，則立地如故
○……………(參觀第八章浮力現象)

〔解釋〕 鳥能上飛，其故有三。一因空氣有浮力。二因兩翼面積較全身各部特大。三因兩翼向下拍，空氣對翼發生等大向上之反動力。三者中尤以空氣反動力為主要原因。人類不能搖手上昇，其故有二。一因體量太重。二因手掌面積太小，以手下拍，空氣雖對之生反動力，而以體重下墜，掌受空氣反動力之面積又小，故上浮之力甚微，不能飛昇。高樓擲紙，可以浮遊甚久。以同大紙片捏成紙團，則一擲即下墜甚速。其故與吾人不能拍空上昇相似。

§. 3. 水平射擊時，炮身倒退甚微，子彈則前進頗遠。樹炮於地而放之，則見彈向上去，不見炮向後退。

〔解釋〕 由前節所述，正動力與反動力大小相同，方向則相反。由二力所生之運動量，亦有同樣關係，故得次式，

$$MV = -mv \dots \dots \dots (2)$$

(2)式 MV 為正動力所生運動量， $-mv$ 為反動力所生運動量。令 M, V 為炮彈之質量及速度。 m, v 為砲之質量及速度。因砲大於彈，故 $m > M$ ，及 $V < v$ 。此彈所行較為迅速，經路亦較遼遠。若樹炮於地，則砲與地連。 m 即變為砲身質量與地球質量之和。故被動時之 m 比 M 更為偉大，同

時 v 即隨之減小亦甚，以至砲身退後之遠不為吾人目力所能看出。

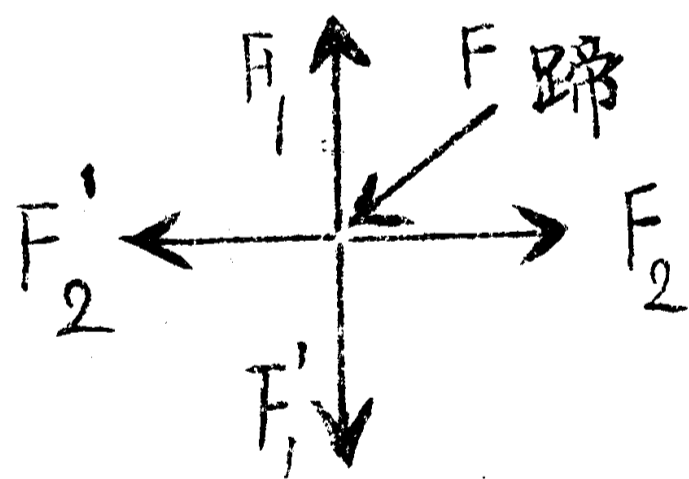
§. 4. 人立爛泥中，一足愈向上提，他足愈向下陷。

〔解釋〕 本題亦可以槓桿之理解說，參觀槓桿現象章自明。茲略為解釋如次。

足向上提，泥亦與以等大之反動力，但同時吾人方用力上提。故此向下之反動力，於上提之足不能發生作用；遂間接作用於直立之足，使向下陷。

§. 5. 馬用力挽車，車亦生等大之反動力，似永無挽車前進之理矣。然事實上，則推挽自如，何也？

〔解釋〕 馬蹄斜踏地面，施 F 力於地。 F 力分解為 F'_1



及 F'_2 二力。地面再對 F'_1 力生 F_1 之反動力，對 F'_2 力生 F_2 之反動力，此 F_2 亦即磨擦力。但 F_1 與馬重相消，故只餘前進之力 F_2 ，車因為之前動。

對此題有以磨擦力解釋之者。蓋車與地面之磨擦力為阻車前進之力。若牽引之力比磨擦力大，即可引車前進。

§. 6. 吾人用力抵足於地，可以離地上躍，但地毫不受其影響，至生運動。

〔解釋〕 立跳時人足先與地面以一定之力，地面應之而生反動，其時兩方之運動量相等。令 MV 為地球受此力後

之運動量， $m v$ 爲人體之運動量。則 $M V = -m v$ 。但地球質量 M 比人體質量 m 甚大，即 V 不得不比 v 甚小。實際 $\frac{m}{M}$ 可視爲零，故 V 與 v 之比亦可視爲零。此即見人動而不見地動之原因也。

§. 7. 大小二舟，同泛中流。若二舟間連一長繩，彼此用力牽引，則引力愈大(不論何方)，小舟愈向大舟迫近，終至合併。唯大舟不易向小舟運動。

〔解釋〕 小舟上之引力，與大舟對此力之反動力相等，方向相反。然以二舟質量懸殊之故，大舟向小舟之運動，遂遠不如小舟向大舟而行之速。此與前題相似。

§. 8. 用槳向後抵岸，使船前進之理。

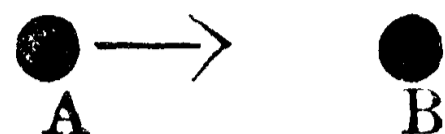
〔解釋〕 槳抵岸之力向後，岸反動於槳之力向前。而槳持人手。人在船內，故得賴岸之向前的反動力而進行。

第四章 衝突現象

§. 1 西洋力士有腹上擊鐵之戲。法置大鐵砧於力士腹上，砧上置鐵片若干。可任人持錘猛擊鐵片，力士仍安臥無恙。又日本有腹上搗餅之戲。術者平臥臺上，腹載石臼，可任人持杵搗餅於臼中。

〔解釋〕 欲釋此理，須先明固體衝突之原則。設有非彈性體 A, B 二球， A 之質量爲 m_1 ，挾 V_1 速度向 B 運動。 B 係靜止者，質量爲 m_2 。若 A 與 B 衝突後共以 V_2 速度運動

。則



A球運動量最初為 $= m_1 V_1$

兩球衝突後之運動量 $= (m_1 + m_2) V_2$

因兩球衝突後別無外力作用其間，故前後運動量應相等。

$$\therefore m_1 V_1 = (m_1 + m_2) V_2$$

$$V_2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \times V_1 \dots \dots \dots (3)$$

(3)式 $\frac{m_1}{m_1 + m_2}$ 愈小，則 V_2 亦愈小， m_2 愈比 m_1 大

，則 $\frac{m_1}{m_1 + m_2}$ 愈小。若 m_1 比 m_2 太小，雖 V_1 之值增加，亦不能令 V_2 變大。

本條之鐵砧與石臼，恰相當於B球。錘及杵則相當於A球。故砧比錘愈大，或臼比杵愈大，則打擊之力使砧或臼運動之速度愈小。即砧與臼受擊後與未擊時之狀態無甚變更。此所以腹上所載之砧臼必選甚大者。反之，若 m_2

為零，或與 m_1 相等，即 $v_2 = v_1$ ，或 $v_2 = \frac{v_1}{2}$ ，此時擊

力或發生完全之效果，或僅生半分之作用，要皆非柔弱腹部所能堪。所以腹上鐵砧石臼等物一旦撤去，力士雖強，亦不堪一擊也。

§. 2 試執鐵杖以擊犬，可一擊倒地，甚至於死。若

以小竹杖擊之，雖十擊而犬無大創。

〔解釋〕 此與前條同理。試就(3)式觀之，其 m_1 相當於鐵杖或竹杖之質量。 m_2 相當於犬之質量。若 m_2 不變，僅將 m_1 之大小變動，則 m_1 愈增大， v_2 之值亦愈見加大。至 m_1 大於 m_2 時， v_1 亦大於 v_2 矣。反之 m_1 比 m_2 為小，即與前條同理， v_2 之值力為減弱。故以同大之力擊犬，因持杖有輕重，所生創痛遂有巨細之分。若鐵杖比犬太重，即(3)式 m_1 比 m_2 太大，則 v_2 之值甚大。此時雖不持杖猛擊，僅擲杖墮犬身，亦足使生巨創。

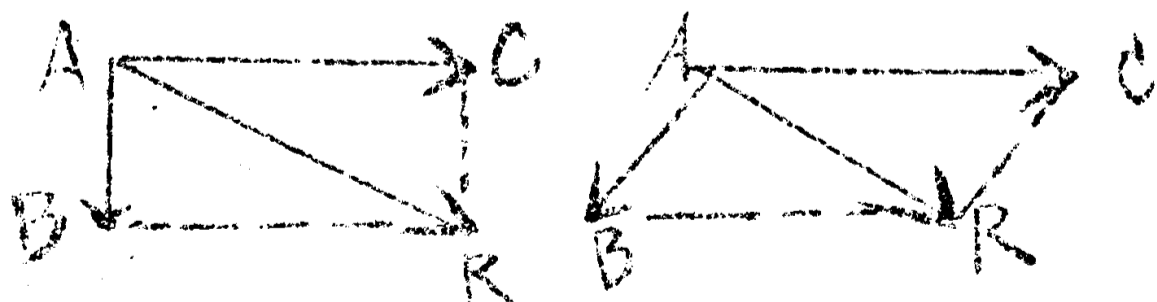
第五章 力及速度之分合現象(力之平衡附)

§. 1. 急流橫渡，每不能直達彼岸。船首雖正向對岸，航綫亦係斜割江面之直綫。

〔解釋〕 欲釋此理，須先明力學中合力原則。設 A 點受 B C 二力作用，則 A 點既不向 AB 方向以運動，又不向 A C 方向以運動，而循 AR 方向前進。此 AR 即平行四邊形

ABCR 之對角綫也。

故相會於一點之二力，其合力之大小方向，可以二力完成之平行四邊形的對角綫表



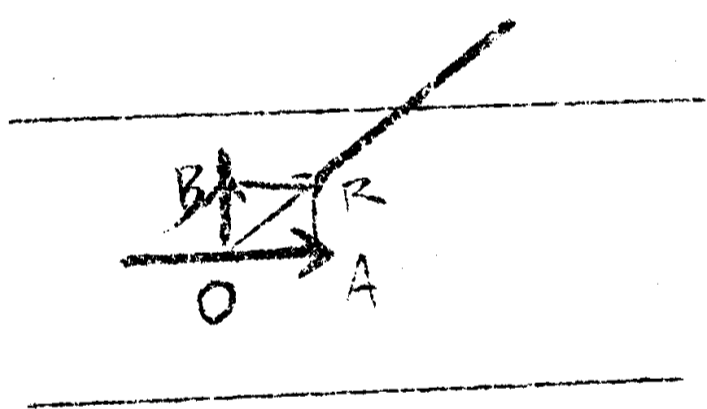
之。反之，AR 力可分解為 AB，AC 二力。由上圖觀之，可知平行四邊形之對角綫傾向於較長之邊，若 AC 較 A

B 大，則 AR 與 AB 之角度較大。

今以 A 爲船，AC 爲流水方向，AB 爲推船行進之力的方向。因流水愈急，則船受 AC 方向沖動之力愈大。人力有限，即船受 AC 方向推動之力較小。故按上述方法，若以 AC 表示流水速率與方向，AB 表示推船之人力的速率與方向。則因 $AC > AB$ ，合成之 ABCR 平行四邊形有傾向 AC 之對角綫 AR。故水流愈速，船之行逕愈與流水方向 AC 迫近。換言之，水愈急流，過渡之航綫愈斜。

§. 2. 舟子沿岸挽舟，舟不循繩抵岸，而沿岸前進。但同時船上人須時時持竿撐岸。

〔解釋〕 如圖 OR 表舟子挽舟之力，按上法，此 OR 力

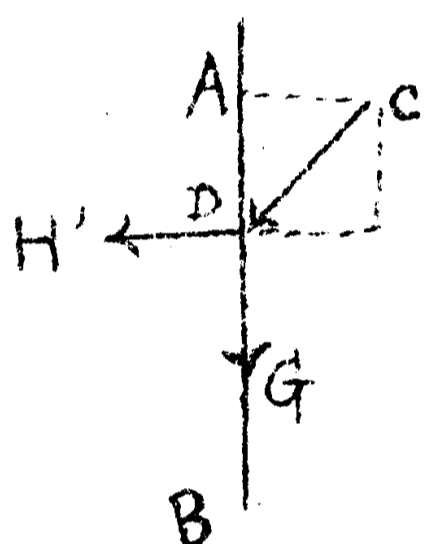
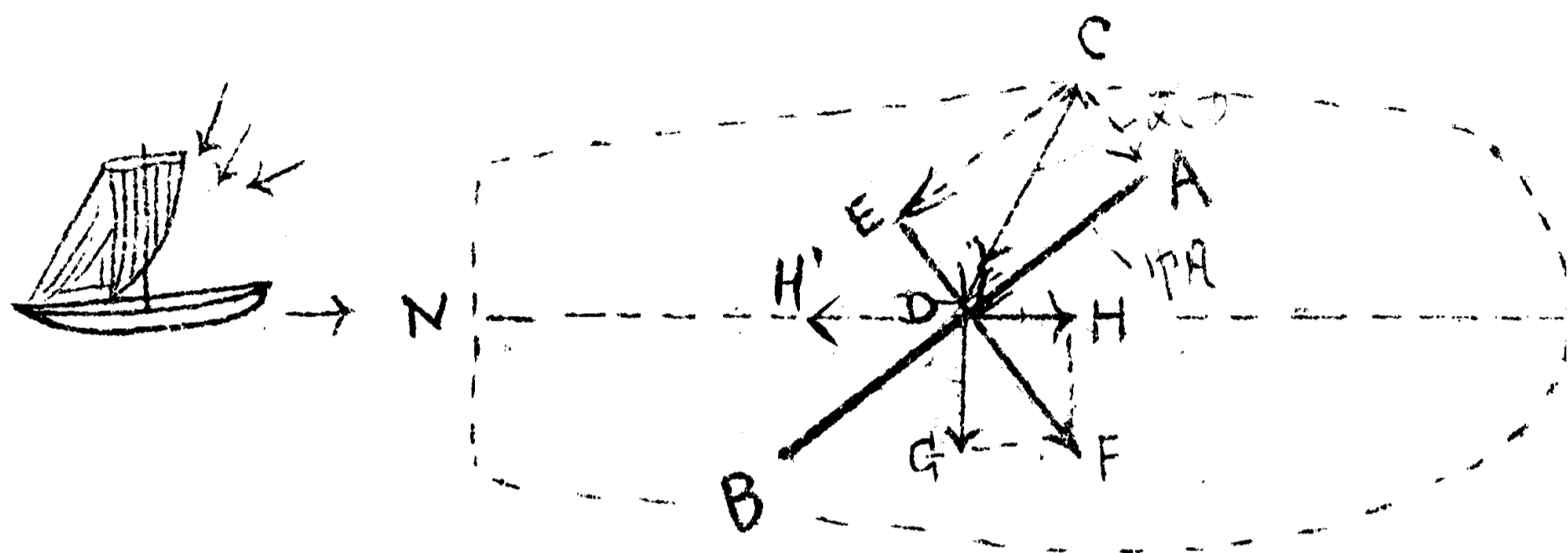


與由 OA, OB 二力合成無異。故岸上挽船之力顯分二種作用。一係迫船向岸 (OB)，一則推船前進 (OA)。故船上

人若時時持竿撐岸，加力於與船舷垂直之方向，則 OB 之力抵消。僅餘前進之 OA 力，船自沿岸前進，而無與岸衝突之虞矣。此所以挽舟前進時，船中仍須有人持竿撐岸也。

§. 3. 江上帆船不遇順風，亦可斜掛風帆，借側面風力以行船，至俗有船使八面風之說。

〔解釋〕



如圖，風以矢向吹帆，船仍向前進行。以 AB 示風帆方向， CD 為風力，斜吹帆布。M 為船頭，N 為船尾。由前述分力合力之理， CD 力作用於 D 時，與同時以 ED ，

AD 二力作用於 D 者相同。但 ED 垂直於 AB 時， AD 即平行於帆面而毫無作用。故風力 CD 吹帆於 D 時，與 ED 力垂直作用於 D 者無異。同理， ED 復可分解為二力，一與 MN 方向垂直，一與 MN 方向平行，如圖上 DG 與 DH 是也。此 DG 之力橫壓帆布，有吹船橫行之作用， DH 前推帆布，有吹船前進之作用。因船首尖瘦，船側平廣，至前進之阻力小，橫行之阻力甚大。故 DG 力難生效果，僅餘 DH 力吹船循 MN 方向而行動。

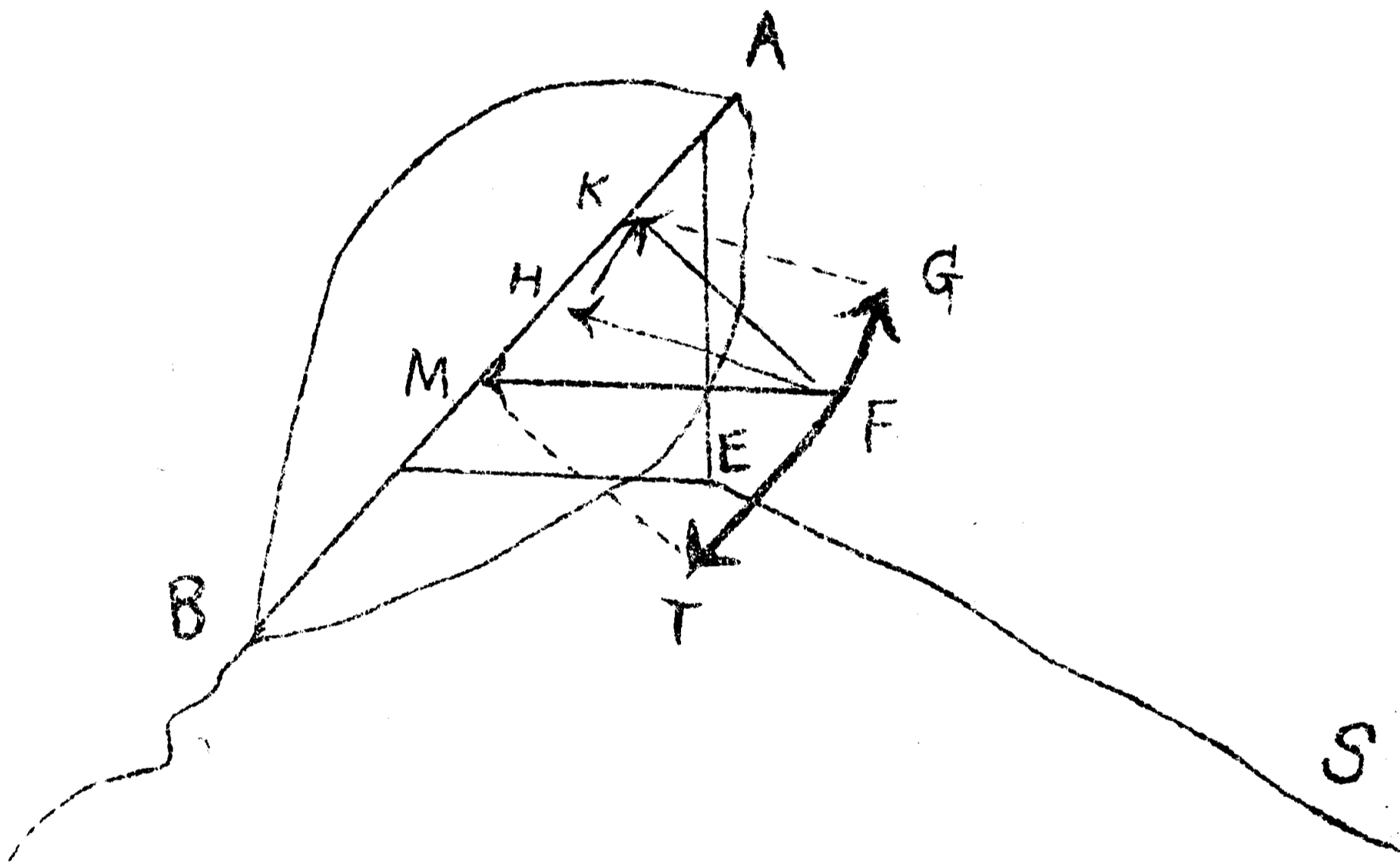
簡言之，斜吹船身之風力 CD 可斜掛風帆 AB ，使生「與船身平行，及與船身垂直」之二力。船即利用此種平

行於船身之分力而前進焉。

反之，若正掛風帆以受 CD 風力，亦可得垂直船身與平行船身之二分力。唯此平行船身之力方向直趨船尾，故發生倒退之作用，如圖中之 DH' 是也。

§. 4. 風箏受風，斜向上昇，既昇空際，有時可以停止昇降。若引線疾走，立即高昇。

〔解釋〕 如圖， AB 風箏以 ES 線牽住。風力 FM 作用



箏面於 M 處。按前述分力法， FM 可分為互相垂直之二力 FT 及 FK 。令 FT 與 AB 平行，則 FT 與 AB 無作用。故風力 FM 對風箏之作用猶如 FK 力之作用。此 FK 力復可分為 FG 及 FH 二力。風箏受重力影響，有向下之墜力，又受 ES 綫牽引，有循 ES 而斜落之傾向。但 FG 向上，與墜力恰相反對。 FH 斜向上方，與牽線之力 ES 亦相反

對。故風力愈大，則兩種向上之分力愈強，風箏自然愈易上昇。引線疾走，箏面所受空氣之抵抗力驟增， FH 及 FG 二方向之分力立即隨之加大。故線之長不增，風箏即須上昇，因圖上 FH 力被 ES 抵消，僅餘向上之 FG 力故也。

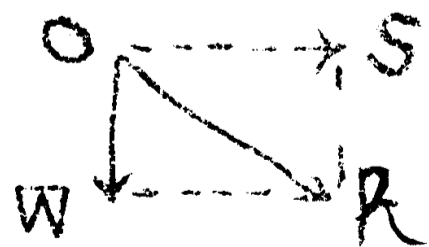
既昇空際，苟不驟加風力，聽其靜峙，則 FG ， FH ，兩力，與箏之墜力，及綫之牽引力相平衡，自可保持不昇不降之位置。

若風箏太輕，風力稍稍強時， FH 力與牽力相平衡，而箏之墜力比 FG 力太小，結果不易得一不昇不降之平衡位置。因此常於箏後繫一長尾，使重量增加，上昇後較為安定。

§. 5. 火車靜止時，人在車內見雨滴垂直下墜。然車既行動，則見雨由前方斜墜。

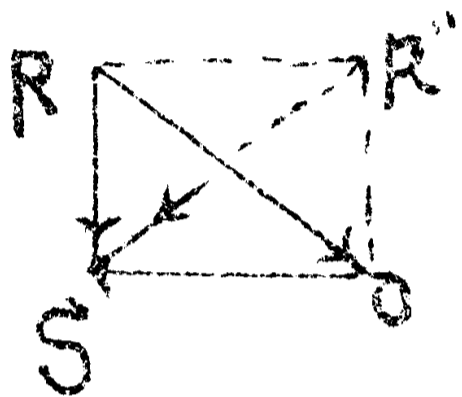
〔解釋〕 車行動中，車內人所見雨滴下降之速度與車前進之速度約成直角。故其合成速度不為垂直，而由前下斜。蓋速度之分解與合成，與力相同，亦可引用平行四邊形之分合法也。

如圖 OW 為雨滴下降之速度， OS 為車前進之速度。 $OWRS$ 平行四邊形之對角綫 OR 即行動所見之雨滴方向。



由圖可見車速愈大，雨滴傾斜愈甚。唯此種合成法，與二力作用於一點者究不同。實際火車循 O

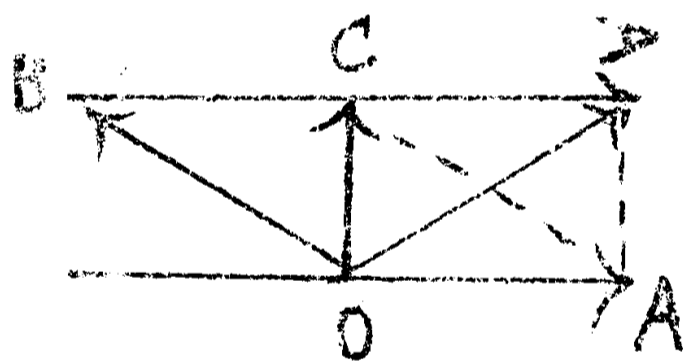
S 方向前進，雨滴垂直下降。每一瞬時，兩者之位置各有相對的變動。雖屬車向前逐，雨直墜未變，而車中人因隨車運動之故，不覺本身之動，形成雨滴迎車斜墜之現象。故合成速度之方向為 OR 而非 SR' 也。



按本條現象應純以關係運動 (Relative movement) 解釋，附此究屬勉強。

§. 6. 河內游泳時以斜向上泳，達彼岸之行徑始較短捷。若欲於短時間達對岸，又以游泳方向常與河流垂直為宜。

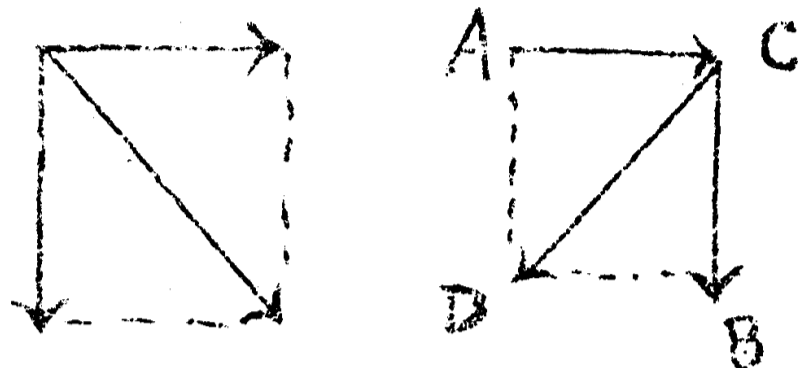
[解釋] 如圖 OA 流水速度，OB 為游泳方向。OC 與 OA 垂直。若 OB 與 OC 夾角適當，使 OB 與 OA 二速度依平行四邊形合成法有 OC 之合成速度。則因 OC 垂直於 OA，為橫渡河面之最短距離。



但以逆流游泳，費力既大，合成速度亦小，故經過之路程雖短，達彼岸之時間則甚長。然循 OC 方向游泳，則 OC 與 OA 之合成速度為 OD，而 OD 比 OC 大。即循 OC 游泳者其進行速度比循 OB 游泳者為快。

§. 7. 無風之日，疾走雨中，亦須傾傘向前，始可防雨。

[解釋] 吾人疾走時，每覺地面靜止諸物反對吾人進行方向而運動。本人反如在靜止不動中。雨中張傘須向前傾。



，與此相似。如圖，令 AC 爲人行速度，CB 爲雨滴下墜速度，按速度合成法，CD 爲二速度所合成。即疾走中之雨滴方向也。因無風時

雨滴係垂直下墜，人行地面，其方向恰與雨滴垂直，故 CD 之斜度視人行之快慢爲增減。此即雨中疾走，張傘愈斜也。

〔附〕 由人行速度與張傘斜度，可以推出雨滴下降速度，例如人在雨中行走，速度爲每小時二哩半，傘須前傾 30° 始可蔽雨。

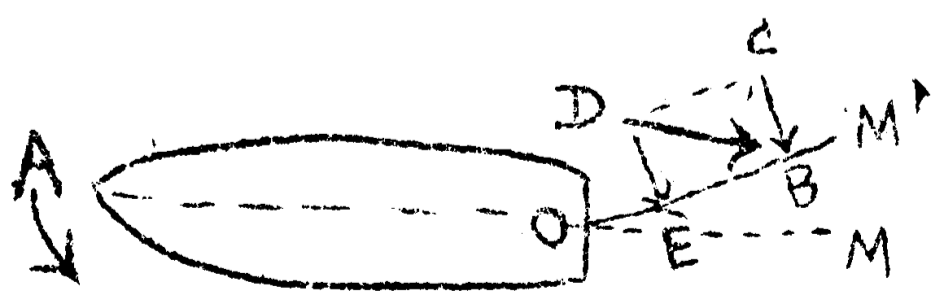
由上圖， $AC = 2.5$ ， $\widehat{CDB} = 90^\circ - \widehat{ADC} = 60^\circ$ ，

$$\text{Tan } \widehat{CDB} = \frac{CB}{DB} = \frac{CB}{AC} \therefore CB = \text{雨滴速度} = DB \times$$

$\text{Tan } 60^\circ$

即雨滴速度 = $2.5 \times \sqrt{3} = 4.33$ 時哩，

§. 8. 舵之作用爲舵板向右轉可使船頭向左轉。舵板向左，船頭向右。二者恰相反。



〔解釋〕 舵板向右傾斜，則水向左壓，舵既被人握固，船首不得不左移矣。舵板左轉時，作用相反

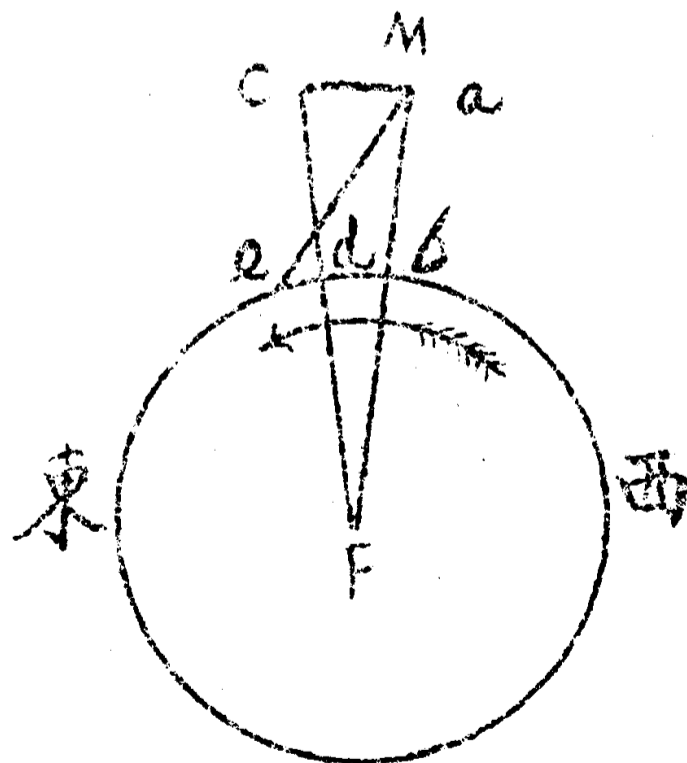
，船首自然右移。

船進行於 OA 方向時舵在 OM 位置。今轉至 OM'，其時水壓舵板之力 DB 可分為垂直於舵板與平行於舵板之二力 CB 與 EB。因舵板被人緊持，CB 分力與舵板抵抗力相消無作用。EB 分力則迫船依其方向以運動，故船首取矢向移動，以符合 EB 方向。

§. 9. 高處墜物常向東偏之故。

(如自塔頂對準塔基某點放落重物，恒見重物抵地之處在某點偏東，且赤道上偏斜最甚。)

[解釋] 地球以南北為軸，自西向東而轉，一晝夜恰轉一周。故地上諸物恒有隨地東轉之慣性。今設於 a 墜物 M，則 M 除向下(向地心)之重力而外，尚有由慣性而生之東轉之力。命此兩力所生之速度為 ab 與 ac，按合成法，得 ae 之合速度。ab 為 a 處之垂綫，ac 為指正東之處，bac 角為 90°，故 be = ac。即由 a 墜物時，物體恒落於偏東之 e 處。而 e 距 a 點直下處之遠 be，約等於自由落下 ab 距離所需之時間內，以 a 處地球自轉速度所行之遠。



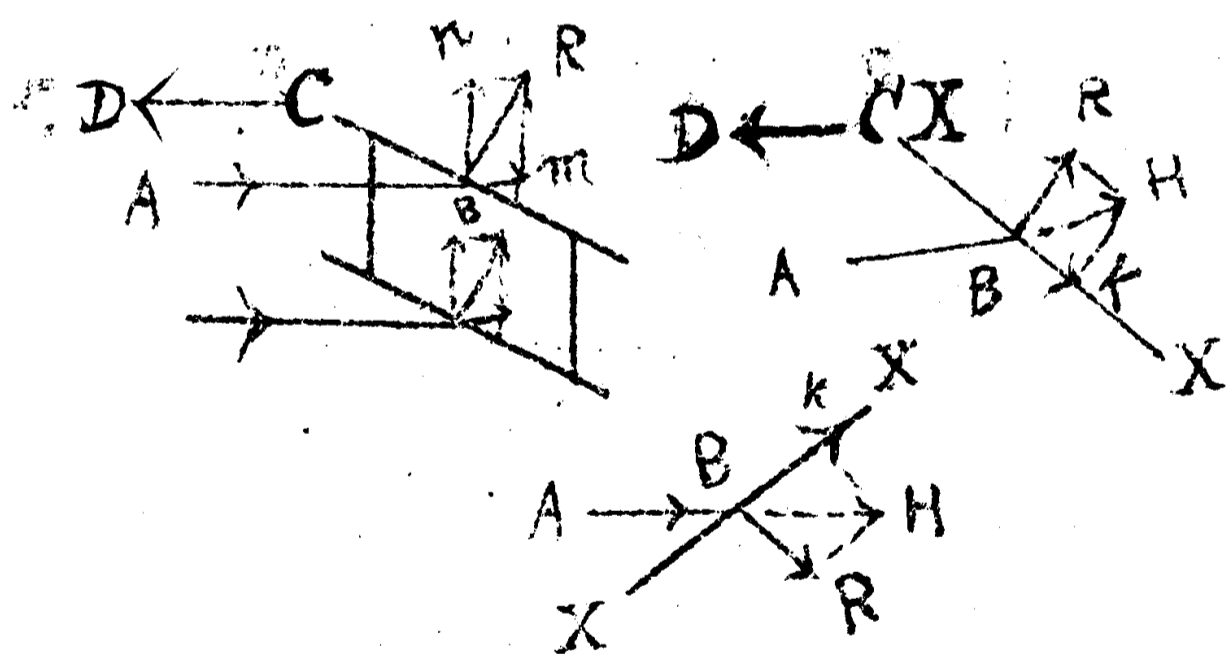
但地球自轉速度於兩極為零，於赤道最大，緯度愈高，其值愈減。赤道上自轉速度約為每秒 363 公

尺。緯度45度地方約為每秒328公尺。可知墜物偏東之程度與緯度有關係。於兩極墜物，殆皆向地心直落，無有偏斜。赤道上東偏之度最強，亦勢所必然。

§.10. 飛機上昇下降之故，

〔解釋〕 飛機由頭部附着之推進機(即前條之竹蜻蜓)押退空氣而前進。設其前進方向為 CD ，則機翼 xx 與空氣衝突而得之反動力或風即為 AB 。故飛機於前進中若揚其兩翼如圖所示，則有垂直作用於翼面之 BR 力，因 AB 分為 BR 與 BK ，而 $BK \parallel xx$ ，於 xx 面無作用故也。此 B

R 力再分為 Bm 與 Bn 二力。前者有反抗飛機前進之作用。後者則為使機上昇之力，於 CD 方向之速度愈大時作用愈着。因之欲機上昇時，僅微



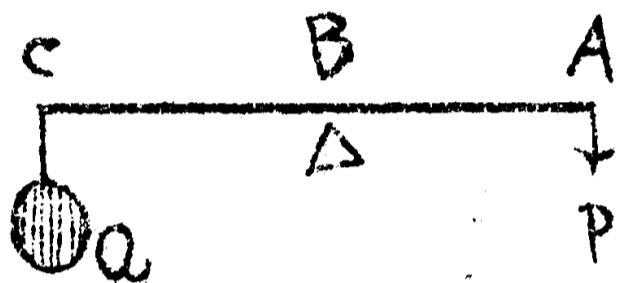
翼面向前上揚，即可。

反之將翼面向前斜押，則垂直於翼面之 BR 分力方向向下，有壓機下降之作用矣。

第六章 簡單機械之現象

§. 1. 試取火柴一根，遞次折為兩段，則愈短時折斷愈覺費力。

〔解釋〕 按槓桿定律，力與支點距離之乘積等於重與支點距離之乘積。如圖，支 AC 槓桿於 B 點，施 P 之力支住 Q 重物，則 $P \times AB = Q \times BC$ ，故欲施小力以支重物，須 A

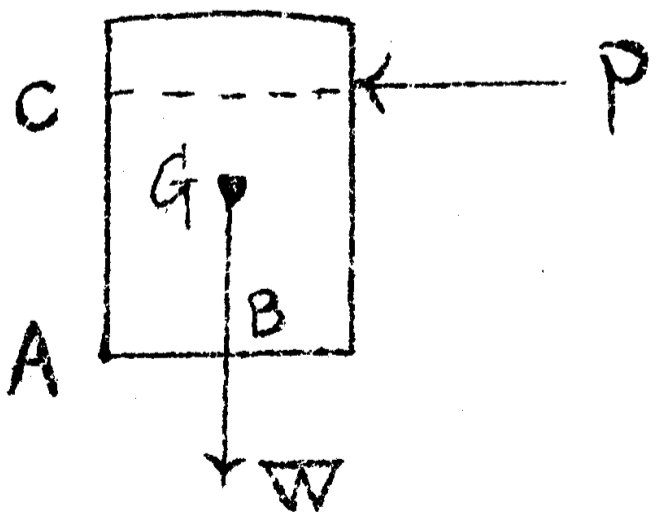


B 甚長始可。反之 AB 愈小，非 P 增大，不足以支住 Q 重。兩手持火柴而折斷之，其折點即槓桿之支點

。火柴兩端着力處即上圖槓桿之 A、C 兩點。故火柴愈短時，折斷愈難。蓋以 AC 為火柴，設 AC 甚短，即 AB 或 BC 甚短。欲 AC 自 B 點折斷，即 C 處重物 Q 與 A 處之 P 力均須十分加大。

§. 2. 棹上直立方柱一個，於柱側垂直方向施力推之。推柱之處愈高愈易動，愈低用力愈大。

〔解釋〕 如圖，P 為推柱之力，柱以 A 點為軸而迴轉。柱之重心為 G，其重為 W。柱底 AB 設為水平面。AC 為着力點距支點之距離。故 P 力對於 A 點之能率為 $P \times AC$ ，而柱重 W 之能率為 $W \times AB$ ，柱依 A 點轉動時，兩者方向雖異，大小須相等。

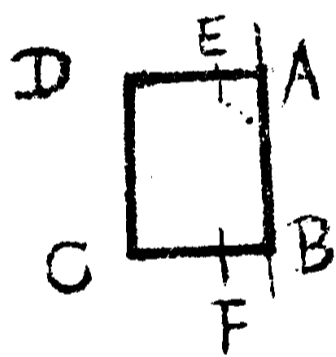


$$\therefore W \times AB = P \times AC, \quad P = \frac{AB}{AC} \times W$$

AB 為一定之值，W 亦係一定不變。故欲施較小之力 P 以推動柱體，非 AC 增長不可。即於柱體較高處推之，較易推動。低處推柱即 AC 之值減小，非 P 加大不可，故費力較巨。

§. 3. 開閉窗戶時，於門扇或窗板之外緣用力者較為輕鬆。若握手處逼近樞軸，則開閉均較為費力。

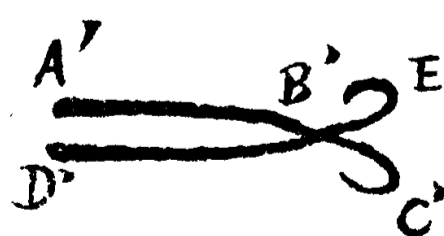
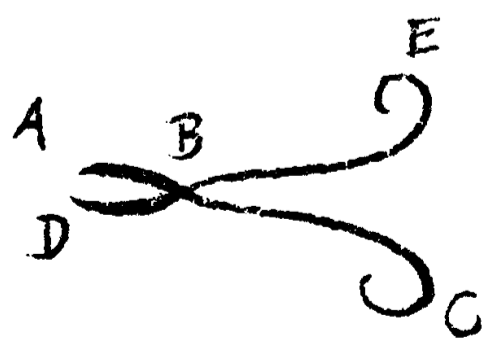
〔解釋〕 如圖，ABCD 為門扇，AB 為旋轉軸。握手板



緣時即於 DC 邊上用力，其着力點距支點(即 AB 上任何點)之距離較置手於逼近 AB 軸者為大。故依槓桿理，於 C 點或 D 點用力推動門板 ABCD 時，較用力於 E 或 F 等處以推此板者特為容易。

§. 4. 鐵匠所用鐵鉗上部較長，下部(鉗物之部)較短。裁縫所用大剪，上部較短，下部(剪刀刀身)較長。

〔解釋〕 鐵匠常以鐵鉗緊夾鐵器置砧上反覆錘擊，故鉗

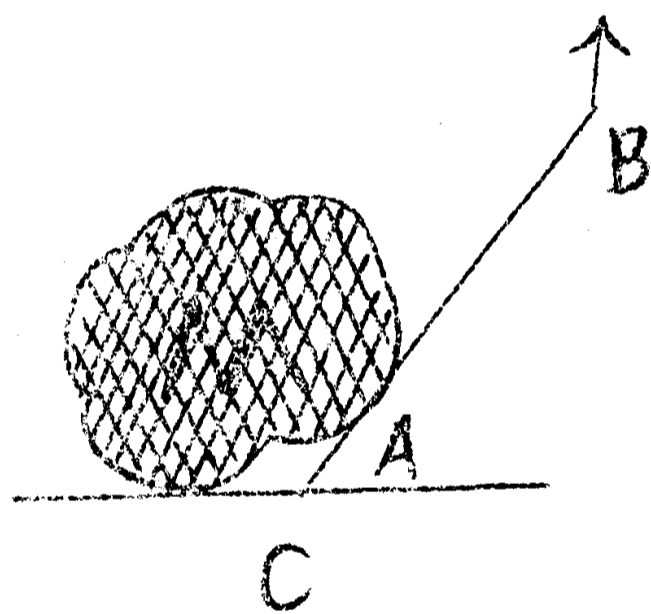


物之力須大始可。裁縫以剪刀剪布帛，無施大力之必要。蓋布帛既非十分堅韌之物，剪裁時又須細心徐作，與鐵匠之緊持猛擊

者不同，故剪刀不須大力，鐵鉗則恰相反。

剪刀鐵鉗均由兩個槓桿合成。如圖，B點為ABC與DBE兩槓桿之支點。E及C為握手用力處。A及D則為夾持重物之處。由槓桿定律，得 $AB \times \text{夾物之力} = BC \times \text{手上所施之力}$ ，BC愈長，則手上施力稍強即可緊夾重物。反之BC愈短，如上圖A'D'B'C'E'，其剪物之力不易十分加大。

§. 5. 大石手推不動，然以木棒一端墊石下，執他端上提，甚易推動。



〔解釋〕 如圖，M為大石，插木棒於其下，C點為棒端觸地之點，A點為棒與大石相觸之處。執手B端，用力上提。即石重於A點下壓，手力於B點上提，而C點則固着不動。故依槓桿理得

$AC \times \text{石塊重量} = BC \times \text{上提手力}$ 用棒愈長，BC比AC愈大，石重既為固定不變之值，故易於B處用力上提以移動此石塊。

設石重500斤，BC棒長一丈。AC長五寸，則

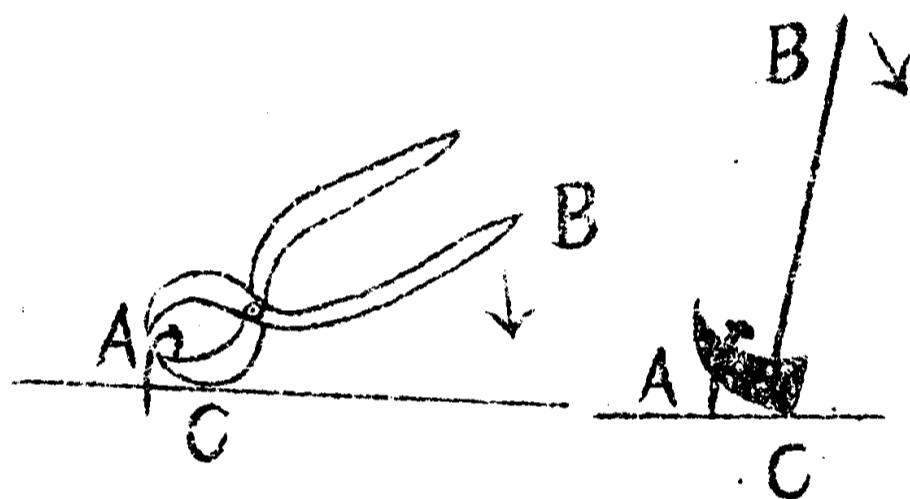
$$0.5 \times 500 = 10 \times \text{上提之力}$$

∴ 提力 = 25斤， 即用25斤之力可以移動500斤重之石塊也。

普通用木棒起重物時，多於重物旁邊墊一小物，作為支點，使棒端直抵重物，其效果略次於前述方法，因 BC 之長略減故也。唯物體太重，則插入棒端於其下面殊非易事。後法無此弊。

§. 6. 羊角釘鎚拔釘之理

〔解釋〕 如圖，夾釘頭於兩角之間 A 處。鎚頭以 C 點接



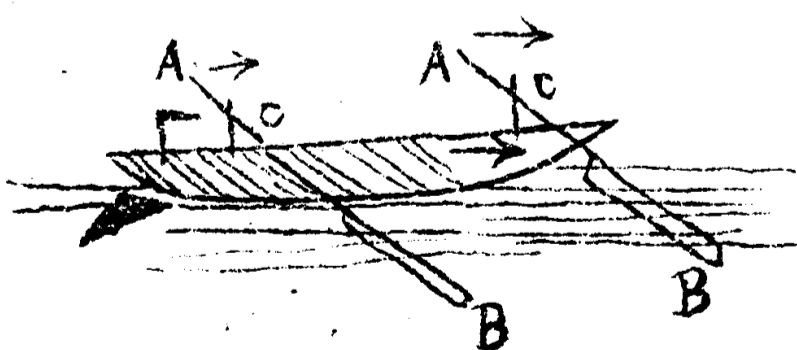
觸於固定之處，用力壓動 B 柄，釘即鬆動。故釘鎚亦槓桿之一，即 A 為重點， C 為支點， B 為力點。

普通釘鎚其把柄較鎚身甚

長。故與前述各條同理，施於 B 處之力可收較大效果。因 AC 比 BC 甚短，而釘之反抗力 $\times AC =$ 拔釘之力 $\times BC$ ，故 BC 愈長拔釘愈易也。

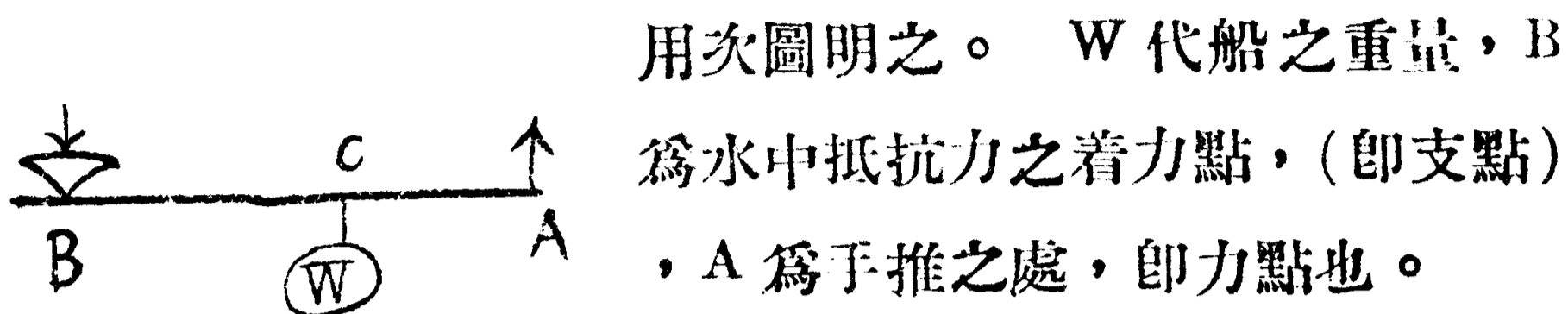
§. 7. 鼓槳行船之理

〔解釋〕 如圖 AB 為槳， C 為支槳之處，舟子握手 A 處。



設船進行於矢示方向，則於 A 處用力循矢向前推，槳之他部在水中者即以 C 為軸，向後壓迫。於時水呈反抗力，拒 B 之

後移。猶如支 AB 槓桿之 B 端於水，繫船之重量於 C 點，而於 A 處施力前推。故船身隨水內槳片之後押而前進。此可



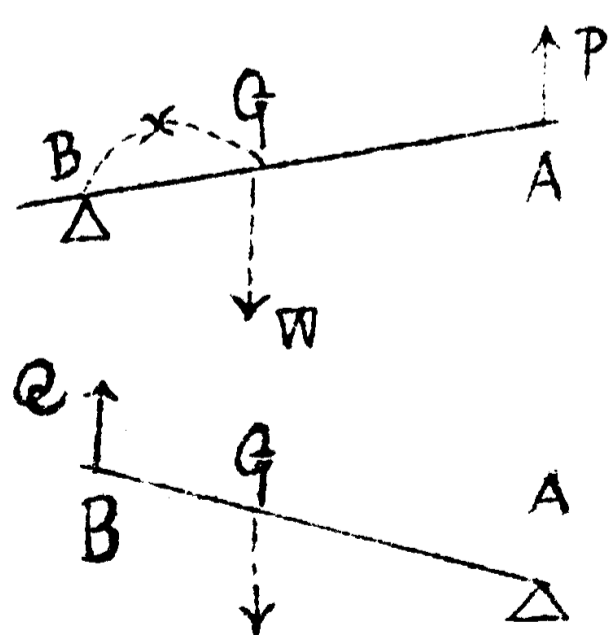
用次圖明之。 W 代船之重量， B 為水中抵抗力之着力點，(即支點)， A 為手推之處，即力點也。

§. 8. 吾人折斷薪柴或他種物體，每以兩手分執兩端，而以膝蓋緊抵柴棍中央，然後用力折之。

〔解釋〕 膝蓋接觸處為支點，兩手用力處為重點與力點。因膝蓋接觸處距兩手稍遠，折柴較易。若憑空用兩手折之，則必以兩手之任何指頭抵柴，作為支點，從而支點，力點及重點三者之距離太近。自然折柴較為費力。

§. 9. 樵夫量柴擔之重，每置其一頭柴捆於地面，以量他端之重，擔柴之棒並不卸下。次置已經量過之端於地，再量原置地上之一頭。如是所得兩種重量之和，即為全擔柴重。

〔解釋〕 令 W 為棒 AB 及兩端柴捆之重量， G 為其重心，



l 為棒長， x 為 BG 之遠。用 $A B$ 棒擔柴以權其重。設先置 B 端於地，量得 A 端柴重 P 斤。次置 A 端於地，量得 B 端柴重 Q 斤。依槓桿理得

$$P \times l = W \times x \quad \text{及}$$

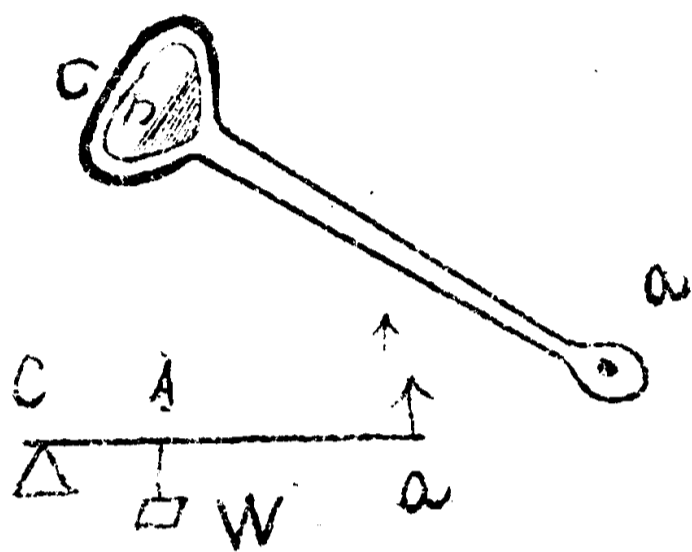
$$Q \times l = W(l - x)$$

兩式相加，得 $(P + Q)l = W \times l$

∴ $W = P + Q$ 即此法測得之重足示兩頭柴重之和

。不過木棒之重亦包括在內，

§.10. 瓶塞拔除器之理，



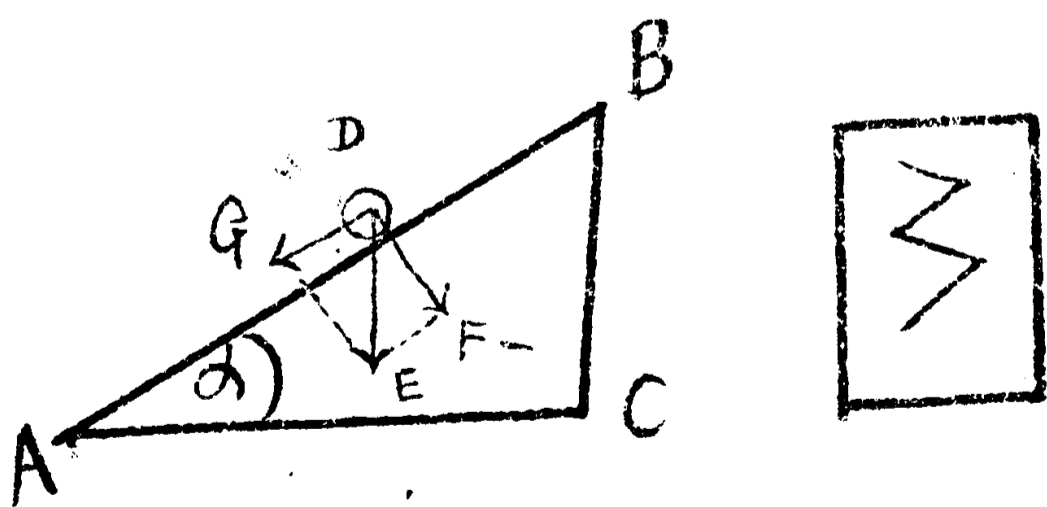
〔解釋〕 汽水瓶等拔塞器如左圖所示，套塞於bc間，施力a處即可提出瓶塞，此因ac為一槓桿，c為支點，b為重點，a為力點，設a處加f力，則

$ac \times f = bc \times w$ 而w為瓶塞緊着於瓶之力。

∴ $w = \frac{ac \times f}{bc}$ 因 $bc < ac$ ∴ $\frac{ac}{bc} > 1$ 即 $w > f$ 又

即用小於瓶塞反抗力之力亦可拔出瓶塞也，故用此器拔塞特易。

§.11 荷車行斜上道路時，須左右斜行盤旋而上，始覺省力。



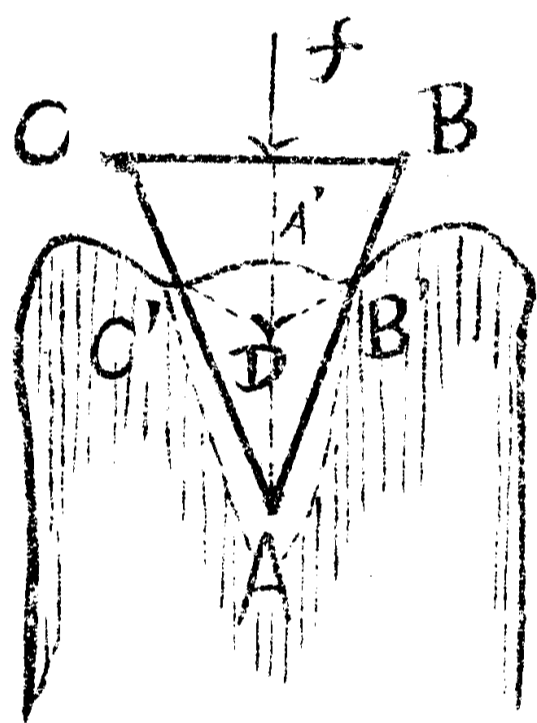
〔解釋〕 按斜面理。物體在斜面上時，其重力DE分解為與斜面平行及與斜面垂直之二分力，如圖之

DG及DF，而此DG分力即使物沿斜下行之力，若斜面傾斜愈甚，則DG分力愈大，故斜面與地面AC所成之角愈大，

則置於其上之物體D下墜之力愈強，此角大至 90° 時即完全成爲落體運動。準此理，載重荷車行於斜上道路時若沿道直上，則因道路斜角 α 較大，車向後退之力較強。反之徐徐左右斜行，盤行而上，則其經過之道路斜角 α 較小，故推車較爲省力。

§.12 刀斧之屬久用則鈍

〔解釋〕 刀斧均爲尖劈之一，用以擊物，猶如施力 f 於ABC尖劈之背，使生分裂抵抗物之效果。按分力法則， f 移至A'D，分解爲A'B'及A'C'二分力，各與接觸面垂直，則實際分裂抵抗物之力即此二個分力。



因 $\triangle A'DB' \sim \triangle ABC$; $\triangle A'DC' \sim \triangle ABC$,

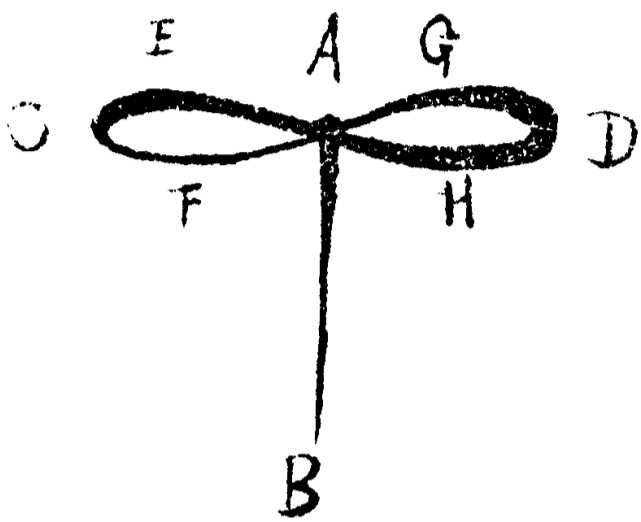
$\therefore A'D : A'B' = BC : AB$, $A'D : A'C' = BC : AC$

即 $\frac{\text{打劈之力 } f}{\text{尖劈分裂抵抗物之力}} = \frac{\text{尖劈之厚}}{\text{尖劈斜面之長}}$

故尖劈厚長之比值愈小，則劈物愈易。刀斧久用，鋒刃折損，背厚與斜長之比值較前增大，自覺劈物費力，而成鈍物矣。

§.13. 竹蜻蜓飛昇之理

〔解釋〕 竹蜻蜓爲吾國南方極普通之玩具，由來已久。



此物實爲今日飛機之小影，惜國人始終以玩具視之，未加研究耳。如圖，削竹成兩端橢圓，中間特細之厚背薄刃形小片。但竹片兩端之背脊，與薄刃各在反側。圖之 AEC 面較 AFC 部特厚，而 AGD 部則較

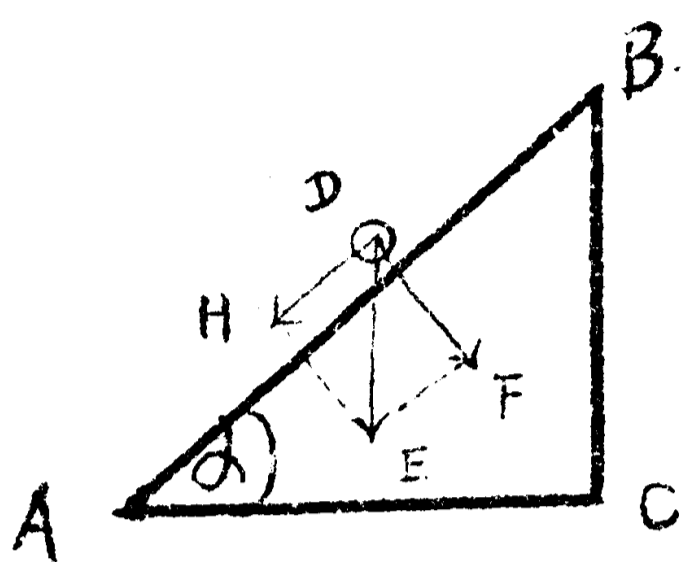
AHD 部特薄。於 A 處固定一細桿，用時合掌持桿，迅轉而放之，CD 竹片即挾 AB 木桿上昇數丈之高。

飛鳥上昇，乃利用空氣之反動力，已如前述。竹蜻蜓飛昇之理，亦極相似。蓋 CD 竹片迅速轉動時，由 AC 與 AD 兩部遞次壓迫空氣向下，故空氣之反動力托之上昇。此又可視空氣爲固定之陰螺旋，而旋轉之 CD 竹片則爲向前掃轉之陽螺旋，附於 CD 之 AB 桿，自然隨同上進。實際 CD 竹片旋轉時，其軌道因 AC，AD 兩端爲相反之斜面，而確成螺旋形勢，故持 AB 迅轉 CD，與掃陽螺旋無異。

按今日輪船飛機所用之推進機，即係木製之竹蜻蜓式槳棒，使槳疾轉之力或用蒸汽機關，或用電氣發動機，各有不同。

§.14. 河水上流湍急，下流較緩之理。

〔解釋〕 欲明此理，須先知河水所以下流之故。河川發



源高地，向低處而流，故河床實爲一斜面，河水沿此斜面而下流，與斜面上物體之滑落滾下者無異。試置重 W 之物體 D 於 ABC 斜面上，以 DE 之長表引 D 下墜之重力，次分 DE 爲互

相垂直之二分力 DF 及 DH ，而 $DF \perp AB$ ， $DH // AB$ 。即使 D 物沿 AB 斜面下落之力爲 DH 也。設斜面傾斜 α 角度，以 f 代 DH ， f' 代 DF 。則

$f = W \sin \alpha \dots \dots (1)$ 由(1)式可見物體沿斜面下落之力與斜角 α 之大小成比例。河水沿河床而下流，全與此理相同。令 D 物質量爲 m ，重力加速度爲 g 。則

$$W = mg, \quad \text{故(1)式爲：——}$$

$$f = mg \sin \alpha \quad \text{即} \quad \frac{f}{m} = g \sin \alpha \dots \dots (2)$$

由(2)式足見河水下流之加速度與河床傾斜度成比例。即河床傾斜爲河水流動之唯一原因也。

上流河床傾斜較急，且常有巨大岩石沉沒其間，流水因之加速。下流河床傾斜甚微，床底亦較平滑，所以水流和緩。又下流江面寬廣時，亦足爲和緩水流之原因。

§.15. 河內石塊上流特大，下流較細。

〔解釋〕 江河上遊，距河源不遠處之積原，其石塊形體

頗大，且多圭角，砂礫亦少。離水源愈遠，由中流而下流，石塊次第減小，且較爲圓滑，小砂亦多。河口地方則僅屬小砂，圓細之礫石亦少矣。此因水源地方之岩石被洪水及他之流水沖運而至河中，其搬運之際，衝突破壞，裂成大小不一之石塊及砂礫。而河水下流速度與河床傾斜度成比例，即往下流速度愈減。又即挾帶砂土石塊之力愈遠水源時愈爲減弱，故下流河床僅有較細之砂礫也。至石塊形狀愈近下遊愈爲圓滑之故，乃因石塊由上流下，受多次之摩擦沖擊，且石塊愈小，則互相摩擦之面積愈廣，故圭角消磨殆盡。

§.16. 河中大石漸向上流移動之故。

〔解釋〕 大石沿河上移，爲濱河居民所常道。此不特爲經驗之事實，亦有明晰之理解。蓋流水與巨大岩石衝突時，於衝突處逆捲上流，從而岩石基部之砂土爲之洗去少許，積時既久，砂土洗去愈多，岩石基部之凹隙愈大，終使岩石向凹隙方面顛覆。如是繼續迎流水方向而顛轉，積久即見其向上移動甚著。

第七章 分子現象

§. 1. 水可濡濕玻璃，水銀則否。

〔解釋〕 科學家考得各種物質全由各種分子組成。分子與分子間各有一定相吸之力，是曰分子力。數種物體互相接觸時，各種分子遂至互相吸引。此種吸引力，亦服從牛

頓之萬有引力律。即兩種分子間之相互吸引力與其距離之平方成反比例，而與兩種分子之質量相乘積成正比例。盛水於玻璃瓶，水分子與玻璃分子互相吸引，唯水分子與水分子之吸引力不及玻璃分子吸引水分子之力大。故與器壁接觸之水，有若干附着其上，至將玻璃濡濕。反之盛水銀於玻璃瓶，因水銀分子自相吸引之力大於玻璃分子吸引水銀分子之力，故傾出水銀，器壁不沾有微滴。

§. 2. 以白蠟接合金屬體時，須先用酸液清潔接合部分。

〔解釋〕 金屬久露空中，其表面一層多被氧化，或附有塵埃積垢，足以妨害二種金屬分子與白蠟分子之結合。故須用酸溶去此等物質，始能鐸接牢固。蓋鐸接之理，乃利用金屬分子與鐸藥分子之吸引力甚大，兩種金屬即賴鐸藥居間聯繫，得以嚴密結合。若金屬表面附有雜質，自然大減其效力。漿糊粘物之理亦與鐸藥相同。

§. 3. 普通漿糊可以粘合紙布，而不能粘合金屬器具。

〔解釋〕 金屬分子自相吸引之力甚強，故作用於金屬分子與漿糊分子之力較弱，兩種金屬接觸時自不能以漿糊為媒介而粘合之。反之，布帛紙片等物，其組成既較粗鬆，接觸面遂多凸凹微隙，漿糊分子與之吸引之力又較為強大，故可藉以粘合。又糊汁與紙之附着力特強，故糊紙甚固，不易脫落。(參看前條)

§. 4. 郵票貼用時須先潤濕，既已貼好，乘其未乾，尚易揭下，乾後即附着甚固，最難剝動。

〔解釋〕 分子力於分子間能生作用之範圍甚小。郵票乾時，雖緊壓紙上，亦難達到能生分子力作用之微小距離，故無粘性。（普通紙面視之雖甚光滑，然以放大鏡或顯微鏡視之，則凸凹甚多，極其粗糙。）若浸濕以水，即以水分為媒介，使郵票與紙面十分接觸，分子力得顯其作用，以粘合二者。水分既去，僅因遺留之膠質為居間物，兩者接近更甚，其分子力之作用亦愈強大，故難剝落。

§. 5. 麵粉可以用力捏成小團，米豆等粒狀物體則較困難。（粒愈大捏合愈不可能。）

〔解釋〕 麵粉研磨極細，一受大力壓迫，則由其中之濕氣水分為媒介，使分子力略生作用，可捏成小團。米豆等物顆粒甚大，雖用力壓迫，其各粒相觸處仍有頗大之空隙，故分子力毫無作用，隨外力之去而各自分離也。吾人所用之鉛筆，其黑心即由石墨粉末緊壓而成。唯施壓力係用機械操作，並非徒手捏成。若米之顆粒不甚大，又極潮濕，或經水洗浸過者，則猛力捏合亦能成團，理與麵粉相同。

§. 6. 玻璃棒燒溶後接觸於另一玻璃棒燒紅之端，冷後相合甚固。

〔解釋〕 此與前條同理，乘棒端融溶時兩相接合，使互

達於兩者分子力作用之範圍內，冷後合爲一體，自然牢固。

§. 7. 以濡濕之玻璃板二塊重合一處，每覺不易分開，而乾燥者獨否。

〔解釋〕 其故有二，一因兩板間無復空氣存在，外側之大氣壓力遂顯作用，因之不易分開。二因玻璃分子與水分子互相吸引之力(即水對玻璃之附着力)頗大，故玻片間之水，儼然爲兩片互相結合之媒介。而有漿糊或錫藥之功用焉，欲使分開，自較乾燥時困難。蓋乾燥之玻片雖相重合，其間不無微隙爲藏空氣之地，而又無水分爲其結合之媒介，分離自屬易事。然若玻片極其平滑潔淨，則乾燥時重合兩片，亦難分開，是則全由於空氣壓力之故。

第八章 表面張力現象(細管現象附)

§. 1. 磨墨時硯水逆流之理，

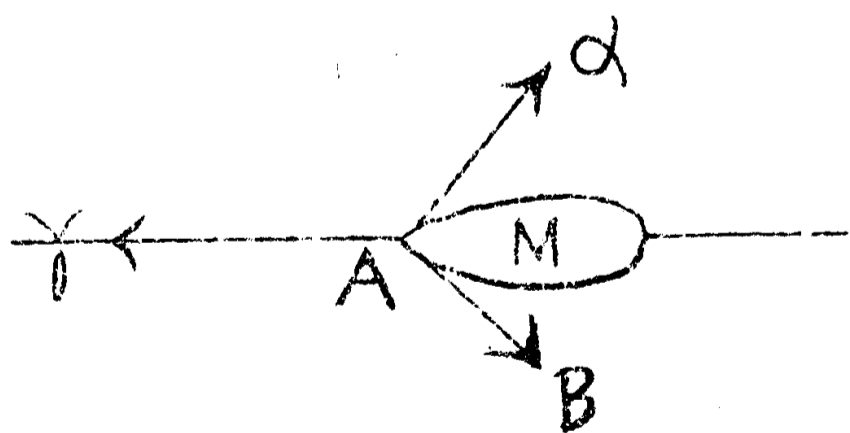
〔解釋〕 物質分子間有相互吸引之力，已如前述。今液體表面各分子，因上方爲空氣，其分子間互相吸引之力遂以周圍及直下諸方爲較強。因形成四面緊張及向內直壓之勢，其作用有如將一層橡皮薄膜緊張於液面，至有勉爲收縮之力者，普通稱其力曰表面張力。物理學家考得水之表面張力以清潔純粹者爲最大，水內混雜不純者次之。故墨汁稀淡部分表面張力較大，愈濃厚者其張力愈小。持墨研磨，墨下硯水(即墨錠磨過之處)較濃，兩旁隆起之硯水

較淡。從而磨墨時墨錠前後之硯水其表面張力較弱，兩旁隆起之部其張力較強，結果硯水向兩旁引去。研磨愈速，硯水濃淡之分愈著，終至激起向旁邊逆流之現象矣。

§. 2 石油滴水上，立即四向擴散。

〔解釋〕 石油之表面張力比水之表面張力小，故水上油滴四向擴散，不能團聚於一處。

詳言之，所謂表面張力乃固體與液體，或氣體與液體相接面所起之緊張作用。由實測得水與空氣間之表面張力，每公分約 31 功 (dyne)。石油與空氣間之表面張力每公分約 81.7 功，石油與水間之表面張力每公分約 27.8 功。命 M 為水面上石油珠，作用於 A 點之力有三，即石油與空氣間之表面張力 α ，石油與水間之表面張力 β ，及水與空氣間之表面張力 r 是也。若 A 點靜止不動，非 α, β, r 三力之合力為零不可。但如上述， $\alpha = 31.7$ 功， $\beta = 27.8$ 功， $r = 81$ 功，即 $r > \beta + \alpha$ ，故三力不相平衡，且 r 較 α 與 β 之合力尚大，結果 A 點遂循 r 方向而運動矣。同理 M 之其他各點均循水面而四散，不能保持原形。



§. 3. 洗毛筆於水中，筆毛為之散開。提筆出水，毛立集合下垂。

〔解釋〕 筆毛在水中所受各方水分子之吸引力殆各相等，互相抵消，儼如毫無作用者。故毛得本其固有之彈性而伸直，更因水之浮力而四向散開。提筆出水，筆毛飽濡水分，水之表面張力又常有向內緊縮之作用，故筆毛受其牽引，集合下垂。

§. 4. 投樟腦粉粒於水面，每起蠕動，如微小之生物然。

〔解釋〕 不純潔之水其表面張力較純水為小。樟腦於水內漸次溶解，因粉粒形狀不規則，各方溶解度遂有參差。從而各粒樟腦四圍水液之表面張力亦有大小之別。由此四圍不均之表面張力，乃促起各粒樟腦之蠕蠕運動。

§. 5. 燒鉛塊成液體，於高處流經篩孔，令下墜冷水中，即得球狀之鉛彈。

〔解釋〕 鉛既燒融成液，亦如他種液體之有表面張力，故經篩孔下墜之時，於途中自成球狀小粒，以墜於水。此因表面張力之作用，有收縮液滴面積為最小值之傾向。而球面積為同量物質占領空間之最小者，故液滴受其表面張力之作用，有力變成球之勢，鉛彈之成，其理應同。至墜彈於冷水，乃取其易於凝固耳。

§. 6 浮火柴二根於水，相隔約有一寸，以燒熱之針或銅絲急觸火柴中間之水面，火柴立即分離頗遠。

〔解釋〕 液體表面張力與溫度成反比例，愈熱其液，愈

減其表面張力。以熱銅絲驟觸火柴中間之水面，則被觸處之表面張力驟然減小，水遂向外圍表面張力較大之處移動。火柴浮於水面，自然隨之分離。

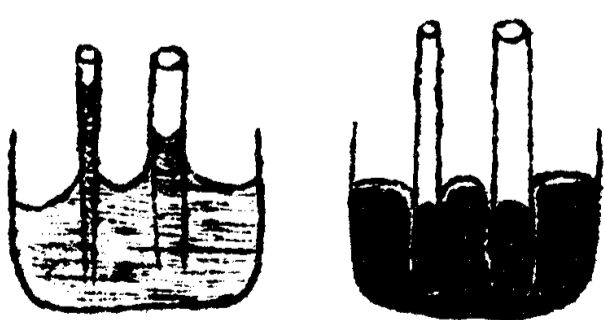
§. 7. 徐傾杯水外出，用玻棒接觸傾水處，水即外流甚易。否則水沿杯壁而後引，每有浸濕杯緣外壁之虞。

〔解釋〕 徐傾杯水，溢出杯緣之水受外壁吸引而略向後移（即向杯壁偏斜），更以表面張力之作用牽引他部流水，亦彎曲向後。若傾水之勢愈緩，其彎曲愈甚，終至沿杯壁而下流矣。但以玻棒觸傾水處，水一流出即與棒相觸。水分子與玻璃分子相吸之力既大，棒與流水之距離又較近杯壁之距流水，水自循棒流出無疑。

§. 8. 衣服如被蠟油等物所粘污，可置吸墨紙於污點上，以烙鐵或熨斗熨壓之，即除去污跡。

〔解釋〕 烙鐵熨壓紙上，蠟質即被溶解。而吸墨紙有無數細孔，與無數毛細管合併一處者無異。故溶融之蠟被其吸收。蠟油既去，則粘着之塵垢失其憑倚，可以刷拭清潔，無復污跡矣。

凡細管吸引液上昇(或下降)，稱毛細管現象。如圖，



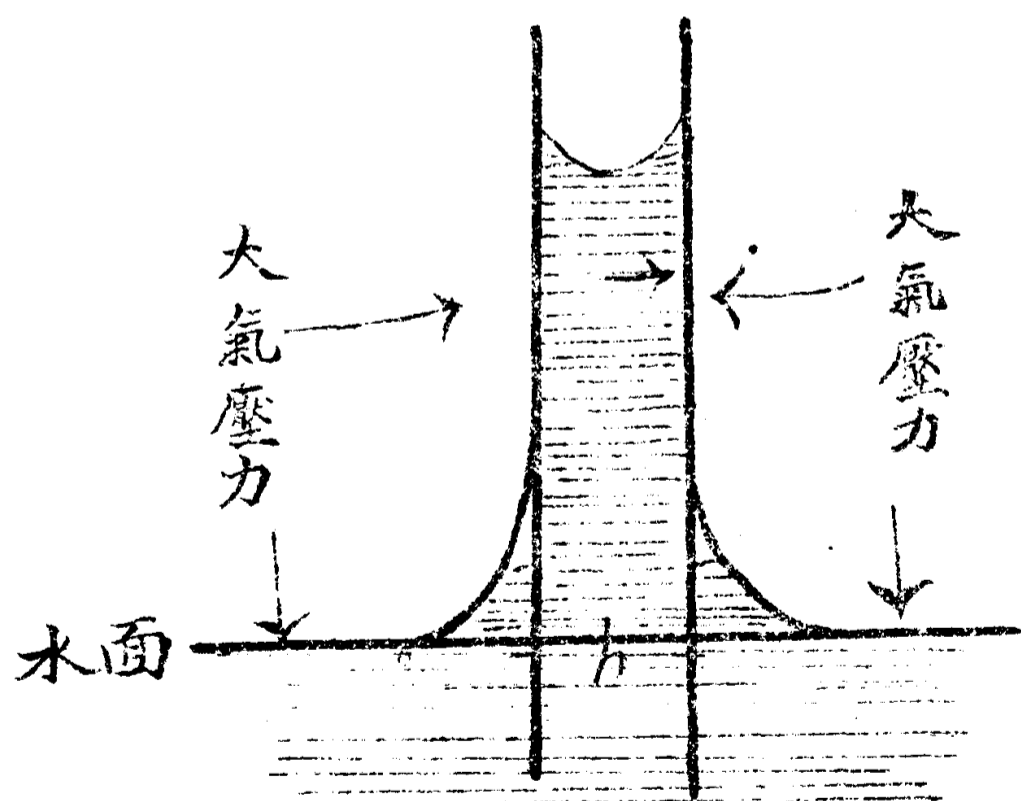
插細管於水中，水即於管內上昇。然插管水銀內，則現象相反。即水銀在管內下降。此因水銀分子自相吸引之力大於玻璃分子吸引水銀分

子之力，而水分子自相吸引之力則較玻璃分子引水之力為小。再益以兩者之表面張力，故一在管內下降，一在管內上昇也。

燈心吸油，亦細管現象之一。

§. 9. 取濡水之平面板(如玻璃之未塗油者)兩個，平行插入水中。若兩板間之距離極小，則水於兩板間上昇，且兩板同時互相牽引，漸至緊相密接。

〔解釋〕 兩板相距甚近時，其間空隙即微，自與細管同理，而能吸水上昇。蓋板既能濡濕，則近板之水被其吸引，再因表面張力之作用，將稍遠處之水亦連帶拖起，有如下圖所示。



如圖，板之外側所受垂直之壓力，為當時大氣壓力，水面亦然。而內側垂直作用於板面之壓力則較 b 點之壓力小。即板之內側的壓力較外側的壓力(當時氣壓)為小，兩板均如此，自然互相接近，終至密

着一處矣。此理又可由表面張力之作用推知。蓋兩板間之

水面由表面張力之作用，有向內緊縮之勢。水面以下之水分子亦對板壁有吸引之力，而板之外側更有垂直於板面之大氣壓力，自然逼板相合也。若兩板相距稍遠，則微小之表面張力不能吸引多量之水，即兩板間無顯著之水柱（指兩板露出水面部分），而板之兩面同受相等之大氣壓力，自然不能移動。

§.10. 水面浮遊物(如塵埃草木)每互相接近，叢集成團。

〔解釋〕 設易上條之兩板為水面浮遊二物，其自相合併更易，因可浮於水面之物均不甚重故也。解釋全與上條相同，不贅述。

§.11. 乾燥小針平置水面，可以浮起，但垂直（或斜向）放置之，即下沉。若針已濡濕，雖平置之，亦不能再浮。

〔解釋〕 針如不大，其重不能勝過水之表面張力，自可浮而不墜。試細視浮於水面之小針，可見水面被針下壓成一細槽。足証水賴表面張力之作用，至使水面儼成一層略有彈性之薄膜。若直放此針於水上，則針全身之重於觸水之端下壓，其處之壓力強度遂比橫臥時為大，水面不免被針端刺破。水面既被刺破，則復因表面張力之故，有於破處向四圍收縮之作用，而針之入水濡濕部分反因下墜愈速，不僅針之本身的重量促之沉落已也。

若針被濡濕，則臥針水上時，其周圍水面之水分子與針上水分子相吸而連成一體，針遂與沒於水之表面下無異。水面既因表面張力之作用有向內緊縮之勢，則蔽於其下之針反受有向下之壓迫矣，加以針之比重原大於水，其下沉自無疑義。

§.12. 取小段之燈心草(用於桐油及菜油燈)直立於水面，釋手觀之，草能自行遊動於水上，若被牽引然。

〔解釋〕 燈心草富有空隙，與一束之細管無異。立草水面，水立自接觸處上昇，故其下部爲之濡濕，而水面之水分子遂與濡濕部之水分子相吸而連成一體。故因表面張力之作用，燈心草受四圍各方之牽引，而有下沉之傾向；復以比重較水爲小，不能勝過水之浮力而實行下沉，又燈心草表面凸凹不平，其濡濕面積各方不盡相等，從而所受牽引之力失其平衡；結果，此物向牽引力較大之方轉動。且一經轉動，其四圍表面張力所起牽引作用之分配情形又有變更，而動轉之方向又須更改。此其所以遊動於水面，無一固定之方向也。

若燈草遊至器壁，即粘着於器壁，不復有行動。

不

§.13. 池沼昆蟲，能馳騁水面，

〔解釋〕 此與小針浮於水面同理。因蟲身既不甚重，其足又每生茸毛，不被水濡，賴表面張力而立於水上，自着行動無碍。

§.14. 於未塗蠟之中國連史紙上寫字，極易吸墨。洋連史紙，油紙，及普通塗有蠟質之西洋紙，均屬吸墨困難，乾燥費時。

〔解釋〕 中國連史紙未經壓緊，組織甚鬆，與吸墨紙相似，故未塗有蠟質時，吸墨甚易，蓋亦細管現象也。洋連史等之塗有蠟質者，表面光滑，細孔堵塞，吸墨既難，寫字後乾燥亦較費時。因乾燥作用乃水分蒸發散去之謂，而蒸發之速度，除去溫度壓力外，與其蒸發面之廣狹略成比例（詳見第二編）。粗鬆之中國連史紙，除善吸收水分或墨汁外，供字跡內水分蒸發之面積亦較廣（因非平滑故），乾燥自然較速。平滑之蠟紙其作用恰相反，乾燥固應略遲。且蠟分子引水分子之力頗弱，水不濡濕之，亦蠟紙不易吸墨之故。

至油紙則因油之表面張力較小，散於油面上之水（或較其表面張力略大之其他液體），能自結成球。稀薄墨汁於油紙上因亦成珠成團，不易浸入紙內，此與次條參看自明。

§.15. 玻璃平板（水平置之）若塗有油脂，滴水其上水即成珠。若拭擦玻板令極潔淨，則水滴其上，立即四散以濡濕玻面。但水銀能於玻面上成扁平體，不粘濡玻面。

〔解釋〕 水銀分子自相吸引之力甚強，玻璃分子與水銀分子相引之力則微。如水銀分量不多，即因表面張力之作

用成爲球形小珠，其故與第 5 條鉛彈之凝成球狀相同。若水銀太多，即由重力與表面張力兩者之作用而成一扁平體。水分子自相吸引之力較玻璃分子與水分子之引力略小。故滴水於玻面，則水由表面張力之故，雖有勉縮成球之傾向，而不敵玻璃分子四向牽引，及本身向下壓迫(重力)之二力。結果水不能團聚一處，遂四散以濡濕玻面矣。但玻璃上塗有油質時，水即不能直與玻璃相觸，中隔一層油分子。而油之表面張力弱於清水，油水兩種分子相引之力較水分子自相吸引之力爲弱，故水能自集成珠，理與玻上水銀成滴無別。

§.16. 滴少許水銀於棹上，水銀每成珠狀，珠小則爲球形，珠大即變扁平。滴水棹上，漸皆四散而濡濕棹面，但於棹面灑以石松子粉 (lycopodium)，則滴水其上，形狀與水銀相同，亦不濡濕棹面。

〔解釋〕 此與上條相同，所異者以木代玻璃，以石松子粉代油質耳。參看自明，茲不贅釋。

§.17. 雨衣避水之理

〔解釋〕 以布浸入樹膠之稀薄油液內，取出晒乾，令油蒸發，然後以熱金屬輾子壓之，樹膠即融解於布之纖維細毛上，再冷卻之，即爲製雨衣之材料。因水不濡濕樹膠，(水對樹膠之附着力小於水分子之凝聚力)，故雨滴落於雨衣上時，皆自成小珠，自雨衣轉墜地上，不至透入衣內。

§.18. 帆布帳幕於大雨時，若在帳內以指觸幕，雨即自指觸處下漏，成無數水滴穿出布下。

〔解釋〕 帆布分子與水分子之引力亦小，水不能濡濕帆布帳幕。故雨降其上均互相隔離，而爲小珠。若以指觸內幕，則隔離之水面相觸而集成大水滴，其時水之表面張力不能支其會集一處之水之重，故向布隙下墜。

§.19 爲預防黃熱病之傳染，恒於停滯之積水內潑以油質(如石油)，使蚊蟲不生，其効甚驗，

〔解釋〕 黃熱病之傳佈由於蚊蟲，而蚊常生活於滯水中。蚊之呼吸器官爲尾狀附屬物之細管，其上有毛三根，在水上游泳時，毛交叉於管口，以防水浸入管，呼吸時自水中突出其管狀附屬物，捲起其毛，懸於水面以開口呼吸空氣。故蚊之生存與水之表面張力的大小有關係。潑油水中，則水之表面張力減小，可以濡濕蚊體，妨碍其吸呼與游動，蚊自不能生存，而黃熱病之傳染的媒介絕矣。

§.20. 相傳術士有以細篩盛水不漏者。又『趣味的物理實驗法』中亦有鐵絲網阻水之實驗。

〔解釋〕 以金屬線作篩，令每寸內含網孔二十餘個。置篩於融解之白蠟中，提出揮之，令網孔中蠟質皆被除去，僅金屬線爲蠟層所包蔽。因水不濡濕蠟質，故若以紙置篩底，即可以盛水。且可將紙提出而水亦不漏。蓋水之表面張力於網孔間足以支持其內之水故也。

細鐵絲網可以阻止少量之水不下墜，其故亦由於網孔間之水的表面張力。詳情可參看「趣味的物理實驗法」。

§.21. 水面上樟腦屑之運動，可以手指稍抹頭髮後輕觸水面而停止之。

〔解釋〕 樟腦屑在水面因各方所受水之表面張力不平均，至起運動，已詳本章第四條。水面若有油質，水之表面張力可以減至與樟腦溶液之表面張力相等。而樟腦屑四圍作用之力無有參差，自不復運動。手指與頭髮相抹，粘其油膩，觸指水面，即移油於水，減小其表面張力之作用也。

第九章 擴散及滲透之現象

§. 1. 市間出售之輕氣球(兒童玩具)，雖束緊出氣之孔，久仍萎縮。

〔解釋〕 氣體或液體分子常運動不息，並非靜止不動，故數種流體相接近時，有自相混合之特性，因各流體之分子均運動不已，彼此遂交相錯雜，不能單獨分立也。此種作用曰擴散 (Diffusion)。物理學家考得氣體擴散之速度與其密度(或比重)成反比例。又氣體分子運動甚烈，其分子間互吸之力殆無作用。今充球以輕氣，則因輕氣密度甚小之故，其擴散之速度遂大，而球膜又係富有細孔之物，自不能阻止輕氣之透過膜壁而擴散。但輕氣向外擴散之速度既大，較重之空氣自不能以相同之速度相內擴散。故輕

氣外出量多於空氣內入之量，此所以經時稍久則球稍萎縮也。且空氣既重，即向內輸入之量加多，球雖不萎縮，亦頓增其重，不能飛昇如前矣。

§. 2 兩種液體混合一處時，若振盪其容器，可使立即混合均勻。如靜置之，費時頗長。

〔解釋〕 振盪兩種液體於一器(如瓶)之內，則兩液之接觸面增加，擴散較速，混合自易。

§. 3. 多食鹹物，即覺口渴。

〔解釋〕 兩種液體經過相隔之境界物而呈擴散作用者，曰滲透。以薄膜分隔二液，毫不妨碍其擴散者，稱此膜有滲透性。若溶媒能自由通過，而溶質不能通過，則稱此薄膜為半透膜，或謂其有半透性。

兩種濃淡不同之液體經過滲透膜而擴散時，較淡者滲入較濃者之內，以至兩者之濃度相同而後止。若用半透膜分隔兩液，則僅較淡者之溶媒滲入濃液內，亦至兩者濃度相同而後止。由生理學之研究，知人體細胞膜係半透膜。故食鹹物稍多，即胃內鹽分加多，胃容液體驟然濃厚，體內水分遂由胃壁細胞膜而滲入胃中，一時全身水分之需要大增，自然口渴思飲矣。

§. 4. 食物太多，亦思飲水，且不必為鹹物，即淡白之餅餌亦然。

〔解釋〕 食物既多，胃液分泌即盛，遊離之鹽酸遂隨同

加增，在胃內初經消化而成之糜狀物亦為量不少。結果使胃內容有液狀物之濃度變大，同前條理，體內水分由胃壁滲入，故思飲水。

§. 5. 浸豆於水內，豆漸膨大。浸豆於醬油（或濃鹽水），則反收縮。

〔解釋〕 植物細胞膜亦為半透性，故浸豆於水則水滲入豆內，因其原形質內之溶液較濃於清水也。醬油含鹽分甚多，濃度極大，浸豆其中，則原形質內之水分向外滲出，作用與在水內相反。故豆在水內因得水分而膨大，豆在醬油內因失水分而收縮，亦滲透現象也。

第十章 液體壓力及浮力之現象

〔附〕 關於壓力強弱之尋常現象：

(a) 壓鉛筆尖銳之端於手指，頗感痛楚。但以同大之力押並未削尖之端於指頭則否。

〔解釋〕 以同大之力壓鉛筆兩端於手指，則兩端之全壓力相等。但尖銳之端面積較小，即單位面積上所分配之壓力較大，故作用於指頭亦較強，因被刺痛。反之，鉛筆他端之面積較大，分配於單位面積上之壓力遂小，指頭自不感十分痛苦。

(b) 以釘頭觸木，雖力擊之，亦不易釘入木內。但令釘尖觸木，而擊釘頭，則入木甚易。

〔解釋〕 釘頭面積頗大，故釘尖單位面積上所受之擊力

縱強，於釘頭單位面積上所生之壓力則小。即釘頭面積愈廣，其壓力強度愈弱。此所以不易釘入木內也。且釘頭觸木之面既較寬廣，所受抵抗自較強大，亦足妨碍釘之入木。反之，釘尖觸木，釘頭受擊，則尖端壓力強度大於釘頭，且受木之抵抗亦較弱，自然容易釘入木內。

§. 1. 高大之水桶，其下方桶箍須特爲堅固，普通於桶底附近加多桶箍數層。

〔解釋〕 盛液體於器內，器壁器底即受一定之側壓力與下壓力，而此種壓力均與液柱之深度成正比例。故桶內盛有液體時，其近桶底處所受之側壓力特強，自應多加桶箍，以防破裂。桶愈高深，其下部之壓力愈強大，桶箍更應加多。

§. 2. 河堤下部建築特爲堅固，普通堤脚比堤面約厚一倍，故堤壁多呈梯形，鮮有上下同厚，壁立如削者。

〔解釋〕 此與前條同理。因河水愈深之處，對堤壁之壓力愈強，堤脚自須特爲加厚。

§. 3. 天然噴泉少有發現於高山者。

〔解釋〕 泉水自地上噴之理可以實驗說明之。

於漏斗下部連一橡皮管，橡皮管之他端連一短玻璃管。用指塞住玻璃管口，自漏斗繼續加水，去指水即由B上噴。此時噴水之高，幾與漏斗內水面相齊。如水不絕，即噴水不止。試取橡皮管最低點a論之，當水未由B上噴時，a



處所受兩方之壓力為高 h 及 H 之二水柱。因 $H > h$ ，故 a 處所受由左向右之壓力，大於由右向左之壓力者為 $(H-h)$ 高之水柱。(凡上所云之水柱其粗均與橡皮管相同) 故管內之水不得不由 B 上噴，高至 $(H-h)$ ，始保平衡。實際因管口磨擦及空氣抵抗之故，噴水之高略小於 $(H-h)$ 之數。

地層內自高地流下之水於較低處忽然露出地面，遂被壓上噴，成為噴泉，其噴水高度與水源及噴出地之高度差成比例，猶如上述 B 管噴水之高與 $(H-h)$ 成比例也。故發現於某高山之噴泉，必其水源較該山更高。又必由水源流至該處之途中毫無出露地面之機會，始無中道噴洩之虞。此皆非常遇之事實，故高地噴泉終居少數也。

自來水不能無限引用於高地，其理全同上述。

§. 4. 海水游泳較淡水易於浮起。

〔解釋〕 固體在液體內因四圍所受壓力互相消除，無復作用，僅上下兩方相反之下壓力與上壓力相消不盡，結果對此固體常有一種向上壓迫之力，是曰浮力。據亞基默德氏研究，固體在液體內所受浮力之大，與該固體同體積之液體的重量相等。海水溶有鹽分頗多，較淡水為重。故同一人體，在海水內所排去之海水重於同積之淡水。即在海

水內所受之浮力較在淡水內爲大也。是卽海水浴易於浮起之故。

§. 5. 銅，鐵，鋅，鉛，銀等金屬沉於水內，而能浮於水銀中。

〔解釋〕 銅鐵鉛銀等金屬比同體積之水銀皆輕，而重於同體積之水。故銅塊入水時按亞氏原理，所受浮力比本身之重量爲小，自然下沉。因下墜之重力大於上托之浮力也。銅銀等物在水銀內所受之浮力均大於本身之重力，自可浮起。

（附） 沉浮之意義， 物體自由下墜之力大於所受之浮力，至落降液底者曰沉。如浮力大於其下墜之力，至上昇液面者，曰浮。使物體向地心下墜之力曰重力，其大小以重量計之。由亞基默德原理可知體積愈大者所受浮力亦愈大，與其重量無關係也，

1cc純水之重 \doteq 1gr. 1cc水銀之重 \doteq 13.6 gr.

1cc銅之重 = 8.85gr. 1cc銀之重 \doteq 10.53gr.

1cc鉛之重 = 11.35gr. 1cc鐵之重 \doteq 7.79gr.

§. 6 鐵網均重於水，然航海巨輪，以至大小軍艦，類多用網鐵作船壳，並不沉沒。

〔解釋〕 鐵甲船艦重量固大，然其體積亦大，卽排水分量甚多。且僅船壳爲鐵，船體內部實多中空。故在水中排開之水量實重於船身全重。卽在水內所受之浮力較全船下

沉之重力爲大，故可浮遊無虞。

§. 7. 鐵甲巨艦一破卽沉，木製小舟雖翻亦浮。

〔解釋〕 鐵甲艦之所以不沉，全賴其排水分量之巨大，已詳前條。若一旦破壞，水入艦內，其排水之量驟減，鐵壳又極沉重，勢非下沉不可矣。蓋艦既破壞，則艦體內外皆水，與置鐵塊於水內無異。反之用木作舟，因木比同積之水爲輕，故舟雖翻轉，水入舟內，仍與投木於水內無異，自可浮起。但木舟內如載有重物，舟翻後重物不能與舟脫離，則舟仍可沉。

§. 8. 側臥茶杯(磁或玻)於水上，釋手卽沉。將杯仰置，勿令水入杯內，杯卽浮起。

〔解釋〕 茶杯無論磁製或玻製，其內容積如不甚小，則空杯之重，與此杯實心體同積之水重相較，以後者爲重。卽空杯在水中所受之浮力較杯之重力略大，故可浮起，但側臥杯身，釋手水入杯內，因玻璃及磁塊之比重均略大於水，（磁比重2至2.5，玻璃比重2.5至3.3）杯非下沉不可矣。仰置杯身，與鐵甲巨艦未破壞時無異。側臥杯身，致入水而沉，與艦破水入，不能復浮相同。

〔附〕 軍艦商輪之大小，常以排水量(噸計)定之。其故可由前二條及本條推知之。

§. 9. 入浴時，沒身水內，一指下抵盆底，可以支起全身。

〔解釋〕 人體平均比重約爲 1.07，按亞基默德原理，每 107 斤重之人體，在水內約受百斤之浮力，而使之下沉之有效的重力，則僅 7 斤。此所以沒身水盆內，一指輕抵盆底，即可托起全身也。

§.10. 魚類沉浮之理。

〔解釋〕 魚腹內有貯蓄定量空氣之小囊一個，稱魚鰾。由魚身筋肉之張弛，可使魚鰾應之而縮漲。因魚之比重大於水者無幾，故魚鰾膨漲，魚體稍大，所受浮力稍增，即可上浮水面，而魚鰾收縮，魚之體積稍減，所排去之水量略輕於魚身之重，即可下沉水底。

近世潛水艇完全根據此理作成。蓋艇內備有壓縮空氣室，及盛水櫃。艇欲下沉水內，則開水櫃之門，放水入艇，增加艇重至恰當程度而止。艇欲上浮水面，則引壓縮空氣入水櫃，開洩水機關，令空氣壓水外流，至適度而止。若再欲下沉，則用吸筒吸去水櫃內之空氣，如前注水入艇。故潛艇之水櫃與氣室其作用完全與魚鰾相同。

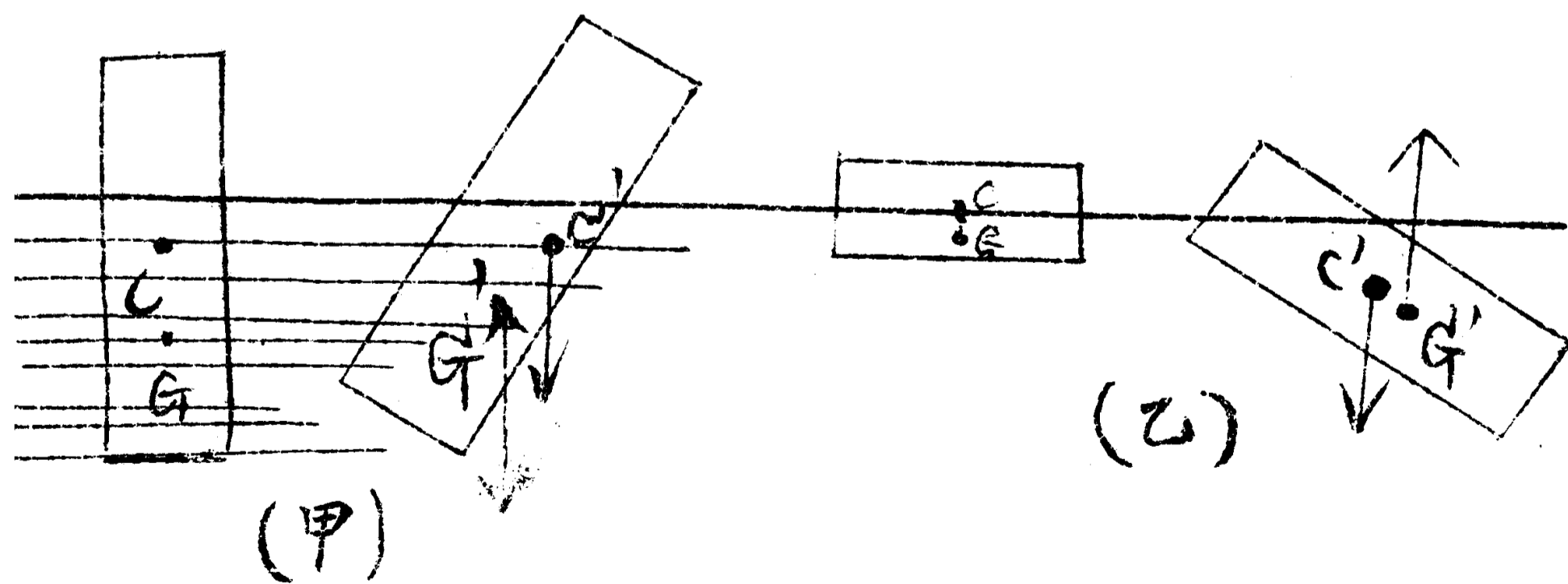
§.11. 鷄蛋於清水(雨水或井水)內下沉，但入鹽水。即漸次浮起。若於水內加鹽酸少許，蛋壳即附着小氣泡無數，亦漸漸上昇。如俟昇至水面，拂去壳外氣泡，蛋仍下沉，稍俟氣泡復集於蛋壳，蛋又上昇如前。

〔解釋〕 普通井水含礦物質甚少，雨水尤甚。故與蛋同體積之井水或雨水，其重量比蛋爲輕，因之蛋於其內不浮

而沉。鹽水重於清水，蛋在鹽水內所受之浮力較清水為大。如鹽水加濃，其浮力亦隨之加大。故蛋於適當濃度之鹽水內可以浮起。水內混有鹽酸時，蛋壳之碳酸鈣或石灰質與鹽酸作用，發生碳酸氣，此氣不溶於鹽酸水溶液，成氣泡附着於蛋壳。氣泡愈多，蛋在水內所排開之水量即增，又即所受之浮力變大，故可浮起。若拂去氣泡，則蛋所受之浮力等於與蛋同體積之鹽酸水溶液的重量，而水中加入鹽酸既甚少，其比重與清水相差無幾，自與在清水內下沈者無異。

§.12 同一木材，橫置水面較為安定，豎立則否。故長條木材苟一端不特為加重，必橫浮水面，不能直立。

〔解釋〕 設木材之重心為 C ，被木材排除之水柱的重心（即浮力中心）為 G 。如圖（甲），豎立木材於水中，稍有傾斜， G 即移至 G' ，而 C 則移至 C' 。此時作用 G' 之浮力與 C' 之重力恰相反對而成偶力，愈使木材向 C' 方面偏移，終使顛



覆，不能安穩豎立矣。反之如橫置木材於水面，其重心及浮心各爲 C 及 G 。壓其一側使偏斜如圖(乙)，其時 G 移至 G' ，而 C 移至 C' 。重力與浮力之作用與前相反，即由 G' 方面向上托起。終使木材仍復原有位置。但木材下端附有重物時，其重心 C 即移至 G 點以下，作用與橫臥時無異，亦能直浮水中。

§.13. 漁人拉網，於露出水面時每覺重量驟增，拖曳較爲費力。

〔解釋〕 網在水內依亞基默德原理，受與網同體積之水重之浮力。網出水面，浮力即失，自較沉重。此與水內運物省力，同一原故。

§.14. 刻舟權象之理

〔解釋〕 令空舟重 F ，載有各物重 W ，則浮舟水內時，必 $(F+W)$ 之重與被舟排開之水重相等。設象重 W ，空舟載象時，舟身入水之深爲 x 尺。次以磚石等重物與象交換，仍令舟身吃水 x 尺。則此時舟內磚石之重亦爲 W 。因舟之體積係一定不變者，吃水深度既同爲 x 尺，即所受之浮力同爲 W 與 F 之和，又即象石之重亦各爲 W 也。象身頗大，不便權量，石塊細物，其重易衡。故於空舟載象時刻畫舟舷，誌其吃水之深，象即牽去，乃權衡重物，移填舟內，俟水抵刻畫處，計所載之重，即得象重。

§.15. 墜水者初因吸水入腹而下沉，既已淹斃，經數

日屍體始上浮，腫漲甚大。又經若干日即復沉水底，永不再浮水面。

〔解釋〕 人體與同積之水其重相差無幾，已詳前條。今吸水入腹，全身重量驟增，自然下沉水底。死後屍體腐敗，發生一種氣體，全身漲大，受浮而起。但經時既久，血管破裂，水由諸竅入體內，復竄入血管中，全身重量變大，遂永不起矣。

§.16. 軍艦疾行中有吸引兩旁水雷艇之性質。

〔解釋〕 軍艦在水內所駛過處，水面略低，壓力較小，兩旁之水遂向之壓迫。浮於兩旁之物體自亦隨同流近，若被吸引，並不止水雷艇爲然。

第十一章 氣體壓力及浮力之現象

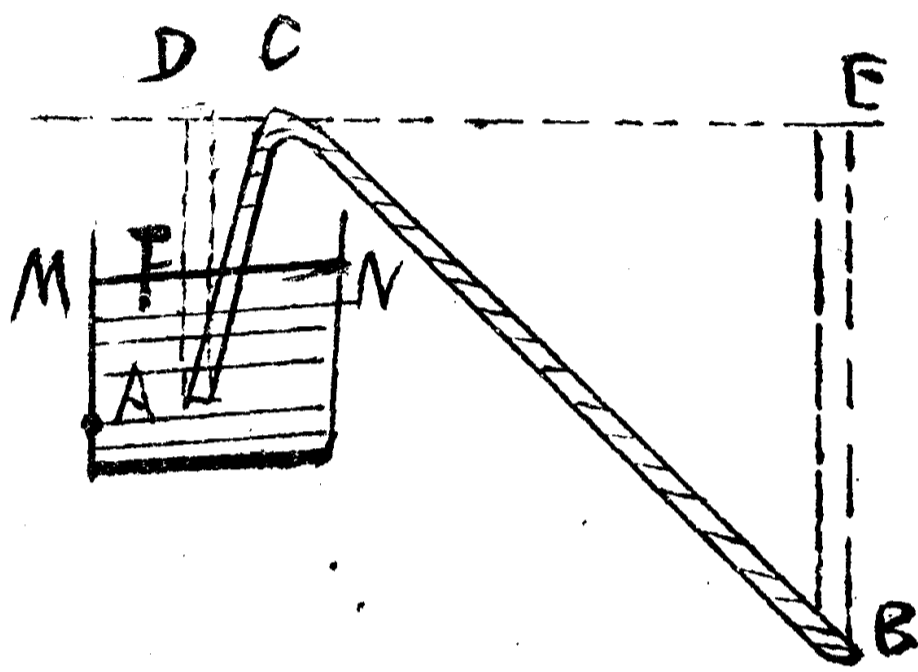
§. 1. 吾國酒桶蓋上均開小孔兩個。傾酒外出時兩孔均須張開，若塞其一孔，酒不能流出。

〔解釋〕 吾人棲息之空間，於距地面一定範圍內充有巨量之空氣。空氣亦流體之一，其貯於器或存於地面以上，對其下之人或物自有一定之壓力，是曰大氣壓力。海平面上每平方公分受大氣壓力之強度爲1033公分。即每平方英寸上之大氣壓力有15磅之巨。酒桶蓋上僅開小孔兩個，桶內外之交通即唯兩孔是賴。今僅一孔以傾桶出酒，因大氣壓力有如是之巨，對小孔所流出微量之酒重，自可迫其回流使不外出。若兩孔齊開，一孔備流酒外出，一孔與桶外

大氣相通。此時傾桶瀉，因壓於甲孔之大氣壓力與壓於乙孔之大氣壓力相抵消，故無阻酒外流之力，可自由傾瀉。

由吸管吸酒時亦須齊開兩孔，理同上述。

§. 2. 吸管吸水之理。



〔解釋〕 ABC曲管盛滿水後塞其兩端，而插較短之枝於水內，去 AB 兩口之塞，水即自 B 外流，直至水面低於 A 口而止，是為虹吸，或吸管。此亦利用大氣壓力之器械。

因 A 處所受由上向下之壓力 = [(AD 水柱) - (AF 水柱)]
之重 = FD 水柱之重。

B 處所受由上向下之壓力 = BE 水柱之重。

但 MN 水面及 B 管口均受有當時當地之大氣壓力，而大氣壓力能支持 1033.6 cm 高之水柱。故 F D 高度 \leq 1033.6 cm 時，水必由 A 經 C 自 B 流出。

蓋 A 處之上壓力 = (當時大氣壓力) - (FD 水柱之重)

B 處之上壓力 = (當時大氣壓力) - (BE 水柱之重)

而 $FD < BE$,

即 A 處之上壓力 $>$ B 處之上壓力，FD 既不比 1033.6 cm 大，即 AC 管內之水常能經過 C 點。故由 B 流出之水源源不

絕，直至 MN 水面落於 A 口以下，水源始斷。但 $FD > 103.6\text{cms}$ 時，即使 $BE > FD$ ，水亦不能外流，因 A 處之上壓力與下壓力相消爲零故也。

§. 3. 登高山或乘飛機上昇最高時，人畜皮膚或鼻唇等處常常流血。

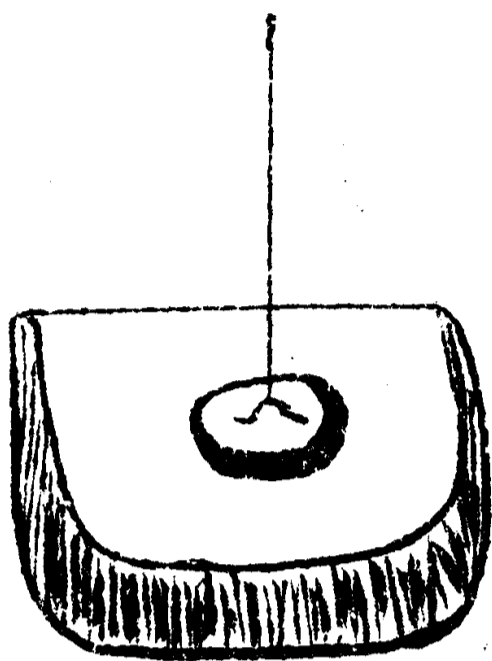
〔解釋〕 吾人全身面積平均以 1 平方公尺計，所受大氣壓力已有 15000 公斤（約合庫平 2 萬 5 千片）之巨。平時毫無所覺者，因體腔內之空氣與體外相通，其壓力內外恰恰相消，加以堅固之骨骼，亦略足爲抵抗外界壓力之助，自可安適於大氣積壓之下。然一旦離地上昇太高，體外大氣壓力驟然減小（因流體壓力與深成比例），體內原有之空氣勢必向外壓迫，以謀內外之平衡，血液遂隨之自毛孔鼻唇等處流出矣。試以口含手臂（皮膚薄弱處），用力吸之，可以吸出血液少許，因口腔內發生低氣壓之故，其理與昇高出血完全相同。

§. 4. 吾人體腔內外之壓力既恰相均，則飲水入內之故安在？

〔解釋〕 胸腔肺葉擴張，口部及胸部之空氣遂形稀薄，與外間氣壓略生大小之差，因可吸水入腹。其理與唧筒與吸水相似，肺葉之張縮，猶唧筒塞子之上下也。

§. 5. 於皮塊中央繫一繩，十分浸濕其皮。次置皮石上而緊壓之，隨即提繩上起，石可被皮吸住，並不墜落。

(但石塊不能太重)。



〔解釋〕 皮與石面密接，其間無復空氣存在。提繩上昇，皮塊中央爲之凸起，而凸起部因無空氣或空氣甚爲稀薄之故，其內之空氣壓力爲零或絕小，石下之空氣向壓力弱處逼迫，遂將石塊托起。蓋空氣亦如水之有側壓力與上壓力，

不僅垂直之下壓力已也。故亞基默德氏原理亦適用於空氣，即石塊受有與己同積之空氣之重的浮力。今皮塊內凸起部之下壓力爲零，（因凸起部既無空氣，又有提繩之力與皮外壓力相消。）石如不甚重大，空氣浮力之作用得顯，石自不至脫落。

§. 6 塵埃多係細微之土石，然能浮遊於空中，而稍大之土塊石粒皆難飛起。

〔解釋〕 圓形物之半徑爲 R ，其表面積與 R^2 成比例，其體積及重量則比例於 R^3 。在 R 非常小時，圓形物之重量與表面積之比亦非常小。而重量隨 R 減小之程度，比表面積隨 R 之減小特著。蓋 R 甚小時，其自乘次數愈多者其值愈小故也。塵埃微點可概以球形視之。故塵埃極小時，其重量比表面積之減小極甚。結果由其較大的表面積所受空氣之上浮力亦大，至足與其重量相當，而塵埃即可浮遊不墜矣。反之，石塊愈大，即不能以細微之圓球視之。其重量

與表面積無上述關係，自能服從重者下沉之常例。

§. 7. 氣球昇空之理。

〔解釋〕 此與木浮水中無異，因氣球內皆係較空氣為輕之氣體，球全體重量亦大於與球等積之空氣的重量，故服從亞基默德原理，能浮起空中。

§. 8. 盛液體之器具，如茶壺酒壺等類，為傾瀉方便計，每於器蓋開一小孔。

〔解釋〕 此與第 1 條同理，設器蓋無孔，則於閉蓋傾水之際，器內空氣隨水之外流而愈稀薄，結果壓於器內水面之空氣壓力較之壓於流水口之大氣壓力為弱，水遂停止外流。尋常水壺因壺蓋不十分密合，雖加蓋於壺，外間空氣仍可經壺蓋孔隙與壺內相通。故無傾水不出之虞，唯亦不如壺蓋開有小孔者之傾瀉疏暢。

§. 9. 水底氣泡於上昇途中，愈昇愈見膨大。

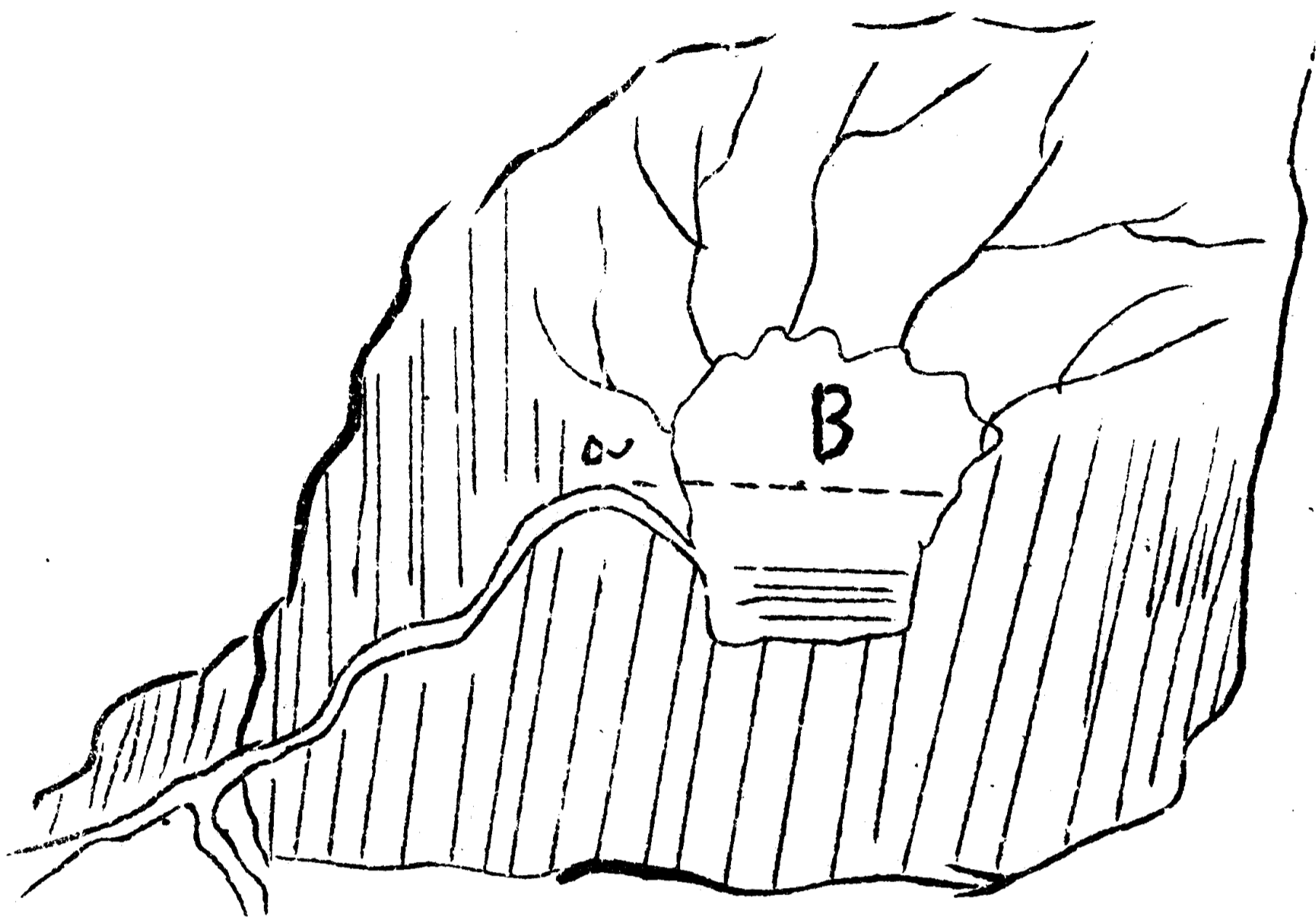
〔解釋〕 水中壓力與其深度成比例，已詳前述。可知氣泡在深處時所受壓力較大，愈向水面上昇，所受壓力愈小。每一氣泡內有一定分量之氣體，而水之溫度亦係定而未變者。則氣泡之體積應隨所受壓力之增減而有縮漲，明矣 (Boyle 定律)。由水底上昇時，既愈昇起愈減小其壓力，則氣泡之體積自然隨昇隨漲。此現象於清水內魚吐之氣泡，池水底部所生之氣泡，及深器煮水時器底發生之氣泡，均甚明顯。

§.10. 盛水於細頸獨口瓶，傾水出瓶時，每每斷續相間，不能如吸管之繼續不斷。

〔解釋〕 水於瓶口外流時，因受空氣之壓迫，須流出部分之水其重力與瓶內空氣壓於水面之力相加，其和能勝過瓶外空氣之壓力，水始能流出瓶外。但流出水量達一定程度時，瓶內空氣稀薄過甚，不能壓水外出（即其壓力與瓶口能流出之水的重力和，較外間空氣壓力為小），其時水即中止不流，俟瓶外空氣竄入瓶內，補充適當（至少須內外壓力相等），始能流出。而每次流水之中，空氣入瓶較難，自須遞次停止外流，俾瓶內空氣有補充機會，唯瓶若大，或傾水時水道並未塞滿瓶口，仍無斷續之虞，因瓶內外空氣之交通未斷故也。

§.11. 間歇泉為天然泉水之時流時止，有一定斷續關係者。亦有噴水與停止之時間漫無一定者。

〔解釋〕 如圖，岩石中空隙部分 B 蓄有之水向外流出，成泉水。唯 B 內水面須達一定高度，始能流出地面，未達此高度，則僅有蓄積作用，不能向外流出，此與吸管同理。本圖 B 內水面須與流水道路最高點 a 相齊，流水下墜之力始足勝過空氣壓力，而流出於地面。故 B 內蓄水面至虛線以上時，為噴流時期，流水既久，B 內水面低於虛線，即歇流時期。然隔若干時間，水面再漲至虛線以上，即又噴流泉水如故。



§.12. 火車奔馳方疾，乘客由窗外拋輕物直下，物向車底飛去，如受吸引然。

〔解釋〕 火車行絕速，車底空氣被激盪驅迫，壓力遂較兩旁為小，兩旁空氣因向之壓迫，而成流動之風，輕物被其挾帶，故有向車底飛去之現象也。

§.13. 吾國外科醫士，每燃紙竹筒內，趁熱緊叩瘡上，能吸拔膿血，是曰火罐。

〔解釋〕 筒內燃紙，空氣受熱離去大部，趁熱叩蓋瘡上，冷則筒內空氣稀薄，壓力減小，外面大氣壓力遂壓緊此筒，不至脫落。且筒口以外之人體均受較大之壓力，其作用不啻含瘡強吸，故瘡內膿血頓集於筒。

§.14. 晴天炊烟直上，陰雨之日則否。

〔解釋〕 由實測，乾燥空氣每公升(Liter)重 1.286 公分(Gram)，含水分5%的濕空氣每公升之重為 1.2625 公分。故乾燥空氣比潮濕空氣為重。晴天空氣乾燥，大氣壓力較大，其浮力亦較強。炊煙為雜有微粒炭末及熱的碳酸氣及水蒸汽等等之混合物，其比重較乾燥空氣為小，故能一直上昇。反之，在陰晦將雨(或方雨)之惡劣天氣，因空中水分增多，大氣壓力減小之故，炊煙或不易上昇，或竟不能昇高。蓋此時之潮濕空氣與炊煙之比重相差不遠也。

§.15. 罐頭不堅固者，每於乘沸密封後，冷而自呈凹扁之狀。

〔解釋〕 罐頭均留有餘隙少許，並非實滿食物於全罐者。煮沸時，其內之空氣或受熱膨漲，逸出大部，或被罐內水蒸汽所驅逐，所留無幾。但密封後漸漸冷卻，罐內殘餘之空氣變冷收縮，或罐內水蒸汽遇冷凝結，均使罐內壓力驟然減小。以至罐壁不能抵抗外面之大氣壓力，而凹縮，而陷扁，或竟至破裂焉。簡言之，罐內外之空氣壓力失其平衡，遂壓凹罐壁。

§.16. 注沸水於瓶內，未滿而密塞之，冷後拔塞甚為費力。

〔解釋〕 沸水入瓶，其水面以上為水蒸汽及較熱之空氣。密封後冷卻之，水汽凝為水，熱空氣亦體積縮小。故水面上之壓力比瓶外大氣壓力為小，以至瓶塞被壓緊嵌，難

於拔出。

§.17. 研墨時用毛筆筒吸取硯水之理。

〔解釋〕 浸兩端開口之小筒於水內，用姆指緊壓筒之上口，持筒出水，移置硯上，去姆指即有水自筒之下口流出。此為研墨不用硯匙之極尋常的現象，其理由亦為筒內外空氣壓力略有差異之故。蓋指壓筒口，筒內空氣與筒外之交通斷絕。提筒出水，則因筒內水面之下降（即筒內空氣之體積增加），有減小筒內空氣壓力之作用，故筒既出水面，尚有少量之水被外間空氣所壓迫，而留於筒內。其時筒內空氣壓力與水滴重力之和恰等於當時氣壓。去指則筒內外之空氣壓力相等，水自然下墜。

§.18. 各種風之成因。

〔解釋〕 大氣流動而成風。兩地大氣壓力如有參差，空氣即自高氣壓處流向低氣壓地方。故風可視為氣壓變化之現象。但兩地溫度有參差時，亦足發生交流之風。

詳見後編，茲不贅述。

§.19. 橡皮球富有彈性之故。

〔解釋〕 橡皮球內充滿空氣，與球外之交通斷絕。因一定之表面積所能包容之體積，以球體為最大。故橡皮球受壓迫或被打擊時，球內空氣以不復為球狀故（表面積仍舊），其體積驟小，壓力遂變大，（Boyle定律）。所以有恢復原形之努力，而促成返躍之彈性現象焉。

§.20. 同一紙片，緊壓成團而下墜之，與平張紙片而放落時，遲速各異。

〔解釋〕 紙片分量一定，則其下墜之重力亦屬一定。而壓紙成團，近於球狀，其表面積較之平張此紙時為小。從而紙團在空氣內所受之抗抵或上浮力亦小，下墜自然較速。此條可參觀次章重力現象之前兩條，

§.21. 以潔淨乾燥之平面鏡（尋常面鏡）緊壓小紙片於其下，提鏡上昇時，紙每粘着鏡面，隨之而起。或以寬平之戒方力迫案上紙片，紙片亦偶有粘隨戒方而上昇之時。

〔解釋〕 紙與鏡面間之空氣因被壓迫，驅除殆盡。提鏡上昇，大氣壓力遂壓於紙面外側，使緊貼鏡面，不至立即脫落。戒方擊紙，其理亦同，唯面較粗糙，發生此現象不如平面鏡之容易耳。

§.22. 置茶杯底部於手腕附近之掌肉肥厚處，緊壓而徐向手心移動，既至手心，杯即緊着不墜。

〔解釋〕 掌肉肥厚處略呈凸起形狀，杯底空隙被肉填充之部遂較掌心為大。即杯底空隙中之空氣於掌側所佔之容積較小，於掌心則佔有較大之容積，又即杯底在掌心之內部壓力比在掌側時為小也（Boyle定律）。而掌側之杯底內部壓力與當時大氣壓相同，故杯在掌心所受之壓力以外部之大氣壓力為較大，自然吸着於掌心，不至下墜，此與本

章13條同理。

第十二章 吸引力及重心之現象

§. 1. 簧秤稱物，隨所在地之高低而有差別。用天秤衡物，則各處均能一致。

〔解釋〕按牛頓萬有引力律，宇宙間任何二物體，彼此均有互相吸引之力。此力之大小，與二物質量相乘積成正比例，而與二物之距離的平方成反比例。地面上各種物體因與質量甚大之地球相吸之故，遂有向地心運動之力，是曰重力。故重力者，使地上諸物向地心運動，或直向地面下墜之力也。物體因恒欲下墜，遂予支持面以一定之壓迫，因使吾人有重量之感觸焉。蓋重物云者，支之之力必大，始能不令下墜之謂。即重物之重力必大，故某物之重量可視為某物之重力。但如上述，重力之大小與該物對地心距離之平方成反比例，而與其質量成正比例。故離地愈高者，其重力愈小，即重量愈減。可知同一物體在平地時與在高山之重量應不相等。簧秤權物，由秤內簧條伸長之度，以定重量之大小，今物重既隨地方之高低而有變化，則簧秤彈條之伸長，雖對同一物體，亦應隨地而不同，此所以用簧秤權物之重，平地與高山各異也。若用天秤衡物，則秤盤左右各受相等之重力而平均。雖所在地之高低生變化，物重有增減，然相當之秤碼的重量，亦有同一之增減。故天秤兩盤既平均後，不論移置何處，仍保原狀，無復

偏倚（此指秤所佔有之平面不變，僅變其所在地之高低者）。即用天秤衡物時，其得量不因地而有參差。不過所衡得者為物體內所含有之質量，而非重量，是須注意耳。

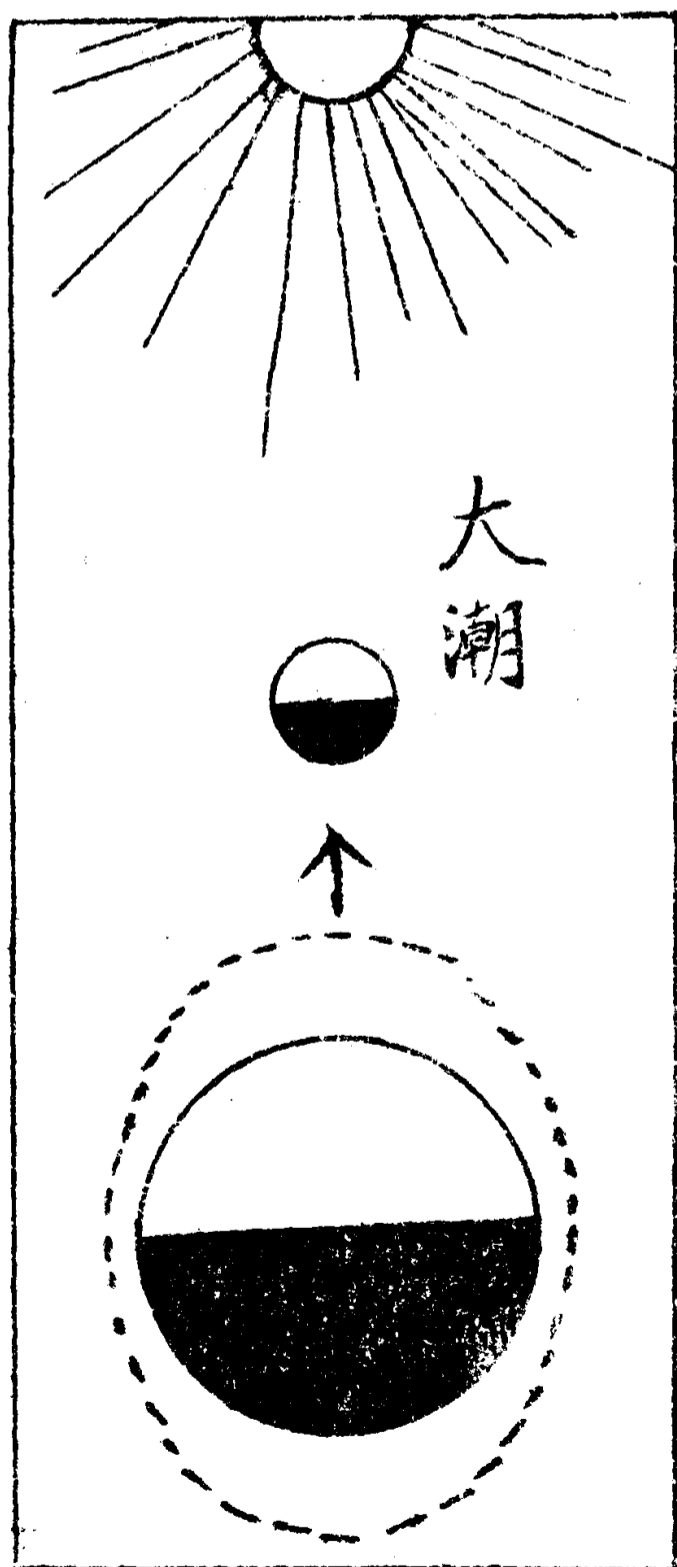
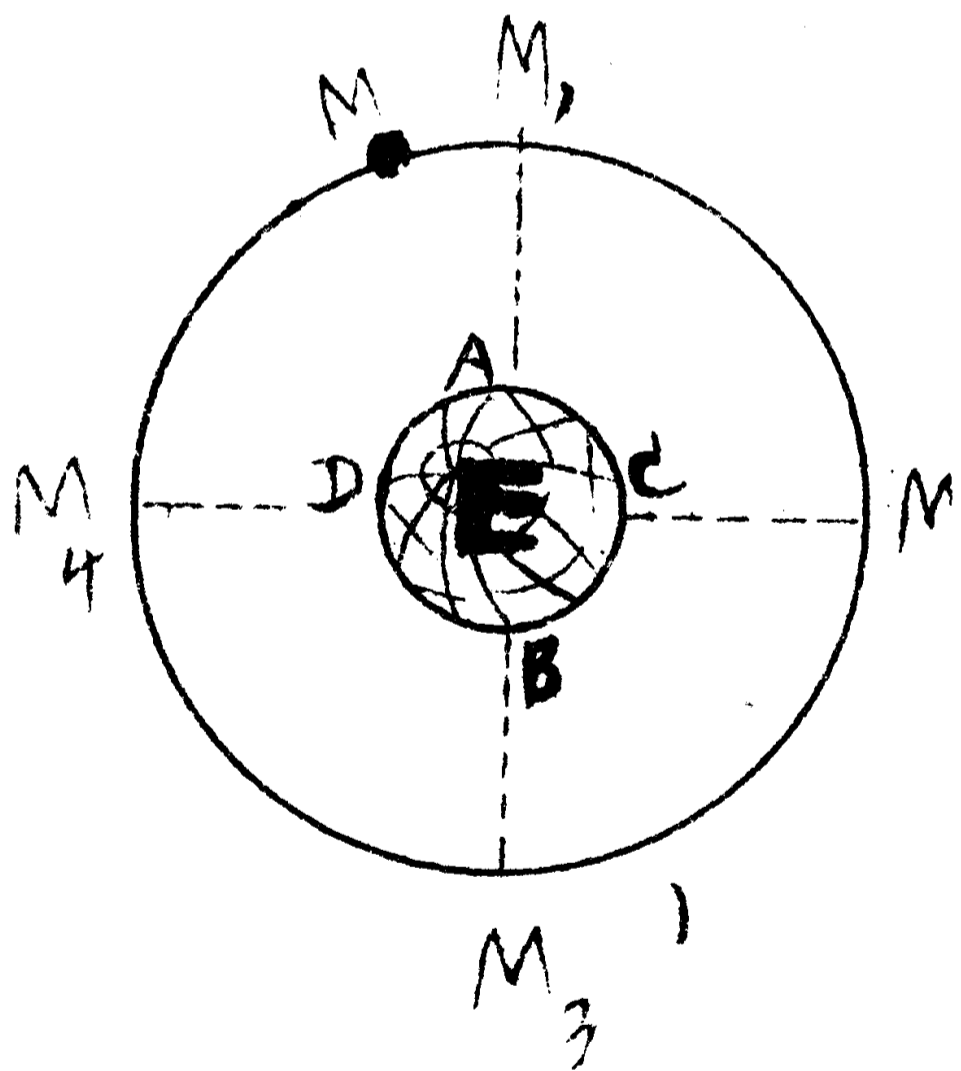
（注）計物體內所含物質之分量用質量，在一定地方之物體，其重量與質量成正比例，而兩者並不相等，顧尋常多混而為一，宜特別注意。

§. 2. 潮汐 海洋之水依一定週期而發生漲落之運動。是日潮汐。此種漲落現象一日各有二次，約以12小時26分為週期。即二十四小時52分內，同處之海水有兩漲兩落。第一次漲潮與第二次漲潮相隔時間約12小時又26分，而相鄰兩次之落潮亦恰距12小時又26分。普通稱早潮曰潮，晚潮曰汐。每逢朔望日潮漲特高，曰大潮。上下弦之潮頭較薄，曰小潮。

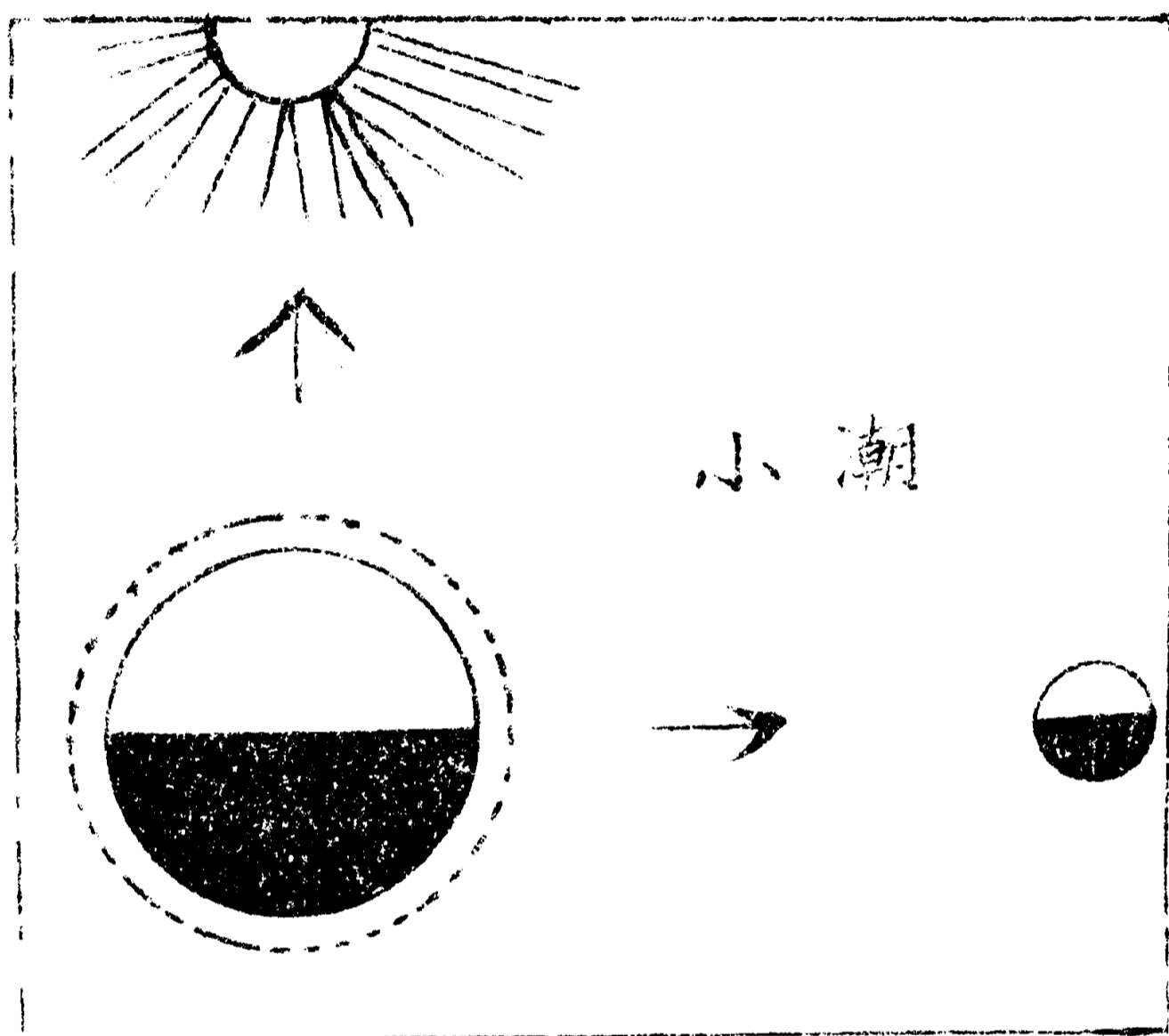
〔解釋〕 此係日月吸引力所引起之現象。如圖，E 為地球，M 為月。月行至 M_1 時，地球各處之海水雖均被其吸引，但因 AM_1 距離最短，故A 處所受吸力獨強，DC 兩處之吸力則較弱。於是水本其流動之性，漸向A 處聚集，遂使A處發生漲潮之現象。同時DC 兩處因有水向A 處流去之故，發生落潮現象。B處海水受月球吸引最弱，然以DC 兩處海水向A 微移以低降其水面，B處海水之質量遂較DC 兩處為大，地球為圓運動所生之離心力因於B 處特強，從而DBC 部分之水有移向B 處之勢（參看圓運動章）。結果

，與A正對之B處，雖受月球吸引之影響最弱，仍與A同時發生漲潮現象。

地球自轉，一太陰日(即月球繼續兩次中天之時間)之時間為24小時52分。故月球經6時13分至 M_2 ，同上述理，使CD兩處海水漲起，A與B兩處海水則降落。又經6時13分月行至 m_3 ，使B與A兩處生第二次之漲潮，而D與C則起第二次之落潮。再經6時13分，月行至 M_4 ，使A與B生第二次之落潮，而C與D則為第二次之漲潮。所以一定地方之海水(如A)，於24時52分內，有兩度之漲潮，有兩度之落潮。



此外太陽對海水亦有引潮力，不過距地太遠，其效力不及月球之巨耳。朔望日因地球與日月同在一直綫上，起潮力為日月兩方吸力之和，起漲潮特高而成大潮。

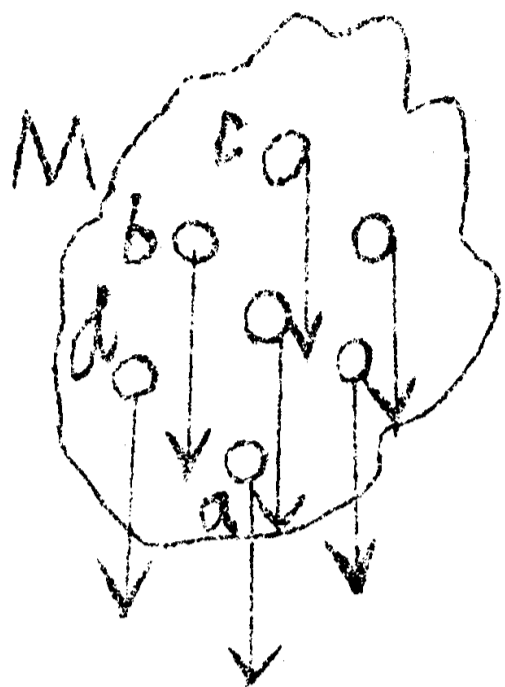


上下弦之月恰與日地連結綫成直角，故起潮力為日月兩方吸力之差，潮頭遂薄，成為小潮。

又俗有『三月三宜觀潮』之說，是因月行至春分時，距地球最近，其吸引力最強，漲潮特高。但月行至秋分之頃，其時大潮亦為全年中之最大者，因是時月地相距亦最近也。

§. 3. 羽毛等輕物較瓦石下墜特速。但以體積相同，重量懸殊之重球二個，自高地下墜，其落地時間，無大差異。

〔解釋〕 任何物體可視為若干分子合成，每一分子之質量各各相等。某物挾若干大之重力而下墜，可視為該物之各個分子各以等大之速度下落。地球半徑甚大，尋常一物



體內各個分子對地心之距離可視為完全相同，即各分子所受之重力亦大小相若。故下墜之速度 a 分子與 c 分子並無若何之差異，就全體 M 言之，其下墜之速亦同於 a 。倘 M 之

質量增大，即分子個數變多，其下墜之速度亦應如故，此就同種物質而言者也。若甲乙兩種物質，屬性各別，即甲之分子其質量與乙分子異，甲乙兩物下墜之速度似有不同，其實不然。蓋甲分子之質量雖不等於乙分子之質量，而甲分子之質量與地球質量之乘積，則可視為等於乙分子質量與地球質量之乘積。因地球質量太大，尋常物體之分子質量均係極小故也。某物所受重力之強度比例於地球質量與某物質量之乘積，故在同一地位之甲乙二物，其各個分子所受之重力完全相同，即甲乙兩種物體之下墜速度應仍相等。

但於同一高處墜落羽毛與石塊，恒見石先降地，羽毛居後。此因空氣浮力之故。蓋羽毛分子之下墜速度雖同於石塊各分子，而羽毛全體所受之重力，則較同體積之石塊為小。因之羽毛受浮力之影響石塊為大，此其所以有降地遲早之分也。試盛輕重懸殊之二物於真空管內，即可考出兩者下墜速度之完全一致。或以輕重不同而體積相等之金屬球數個，於高處自由下墜，亦可見數球之同時抵地。因

球之體積相等，在空氣內所受之浮力全同故也。若下墜途中無有空氣，即無浮力，則如上述，無論物體之大小輕重是否相同，其於同一地點之下墜速度均應相等，所以真空管內墜物無遲速之分。

§. 4. 兩足踏地，比一足孤立爲穩。

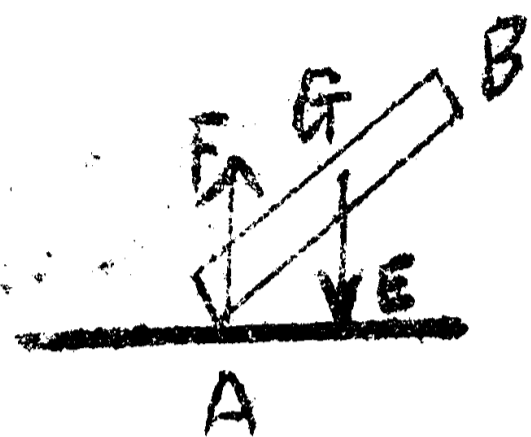
〔解釋〕 欲明此理，須先知重心之意義，及物體穩定之條件。

任取一物，多能於其上尋出一點，俾向上施力於此點而支住此物，不令偏墜。即該物向下之重力不啻完全集中於此點，至與該點向上之支力相平衡。又即任何物體可視其全體之重力爲零，僅於其物某點受有與該物重量相等之向下的壓力而已。各物各有一具此特性之定點，是謂重心。故某物之重心者，某物各部(質點)之重力之合力的着力點也。

物體於平面上所以能靜止者，因該物之重力與支物面之抵抗正相反對，按正動反動之理而互相平衡之故。可知物體穩定不動時，必通過該物重心之垂直線不出於支撐面⊗以外。是爲物體放置穩定之條件。因二力平衡時，非二力方向在同一直線上不可，故也。

吾人立足地面所以能靜止不動者，全身向下之重力，與足抵地面之反抗力恰相平衡耳。但一足觸地之面積不廣，稍一傾側，則過身體重心之垂直線已超出足地接觸面之

外。其時因重力方向向下，有使重心降落之作用、而足部



所受地面之反抗力，則有垂直上托之作用，與次圖AB棒受AF及GE二力之作用無異，故必橫身下倒，不能直立。反之，若用兩足立地，則足地之接觸面積

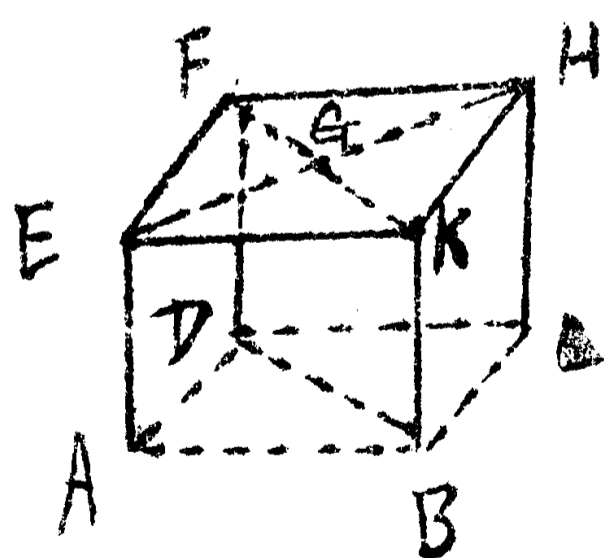
增廣，非有較大之傾側，不能使重心對地之射影*超出於該面積之外，自然不易傾倒，較為穩定。

* (注 1) 某點對某面之射影，即遇某點之垂直線與某面之交點。

⊙ (注 i i) 物體與所載物相觸接之各點用直線連結之，線所範圍之面為其支撐面。如三脚桌之支撐面為一三角形是也。

§. 5. 四脚棹机，若除去一脚，即易傾倒。

〔解釋〕 如圖，四脚棹机之支撐面為一平行四邊形。如



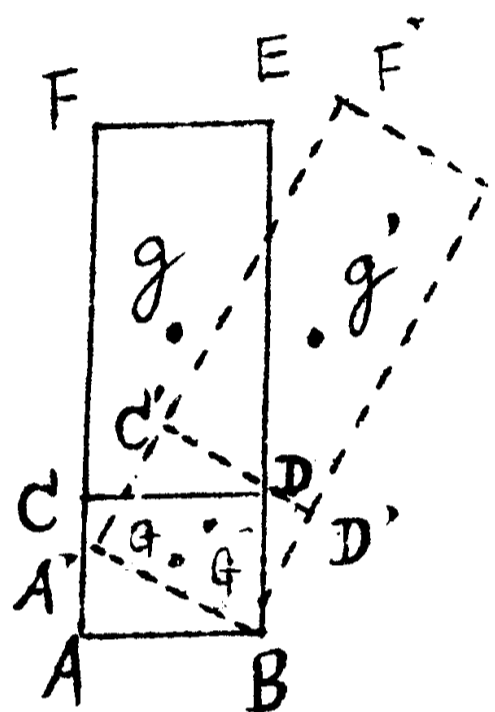
去一脚C，則支撐面恰減小一半，而為ABD三角形。棹面若厚薄相同，密度均等，則無論為正方形或長方形，其重心大約皆為兩對角綫之交點如上圖之G，棹之四脚不

甚偏倚時，G點對ABD面之射影大約在BD線上。故此時之三脚棹甚易傾倒，因稍一偏動，(向缺脚之方)G之射影即超出ABD面積以外也。唯於A脚上懸一重鎚，使重心G

向EFK內移動，仍可使棹安定。

§. 6. 舟車裝載鐵石等重物，比載同量之棉花枯草等輕物為穩定。

〔解釋〕 同量之物，比重大者體積小，比重小者體積大



。設有萬斤之鐵，在某車內堆積成 A B C D 柱體。則萬斤之棉花載於與某車等大之車內時，必積成較高之 A B E F 柱體。令 G 為鐵堆之重心，g 為棉花堆之重心，g 自高於 G，而支撐面則同為 A B。如車身傾動，車內鐵堆或棉花均隨之而

偏，令鐵堆偏至 A' B C' D' 位置，棉花堆偏至 A' B E' F' 位置，兩者之重心各變至 G' 與 g'。由圖可見 g' 之射影已超出 A B 支撐面以外，而 G' 則否。換言之，於同大支撐面之兩物體，其重心高者易於傾倒，重心低者較為穩定。此所以載多量輕物體之車，不若載同量重物體之較為穩定也。

§. 7. 吾人左手提重物，須傾身向右。右手提重物時，須傾身向左。

〔解釋〕 左手提重物，即全身重心偏向左方，有向左倒去之勢。但將上身向右傾斜時，足使全身重心偏向右方。兩作用同時並進，即使全身重心仍保穩定之位置，無有傾跌之虞。右手提重物時，其作用相反，上身左傾以保平衡，亦不使重心太偏於一方之理也。

§. 8 船底載有重物者(俗稱底載)，較少顛播之苦。空船航行，動盪特甚，風浪過大時且易出險。

〔解釋〕 此與本章第六條同理。底載重者，其重心低，空船重心較高。因重力作用常欲使物體之重心低降，重心較高之物體遂常有變低其位置，以謀重心下落之傾向。故空船受風浪壓迫而傾側時，更有本身之重力助長其偏動。唯賴浮力之抵抗，不至遽爾翻覆。倘風浪太大，船偏過甚，其重心之垂直線超出於船水接觸面以外，即不免有覆舟之險。

§. 9 生雞蛋用力振盪後，可以直立棹上。

〔解釋〕 蛋之蛋黃部分較重於蛋白。而蛋黃居中，蛋白在外，故其重心距兩端頗遠。若以一端為底而直立之，其重心距支撐面既高，支撐面又復狹小，自然不易立起。但持蛋而振動之，令蛋黃四散，不復聚於中央。此時以任一端為底而直立之，蛋黃即集於底端，至全蛋重心降低甚鉅。故易使直立不倒。

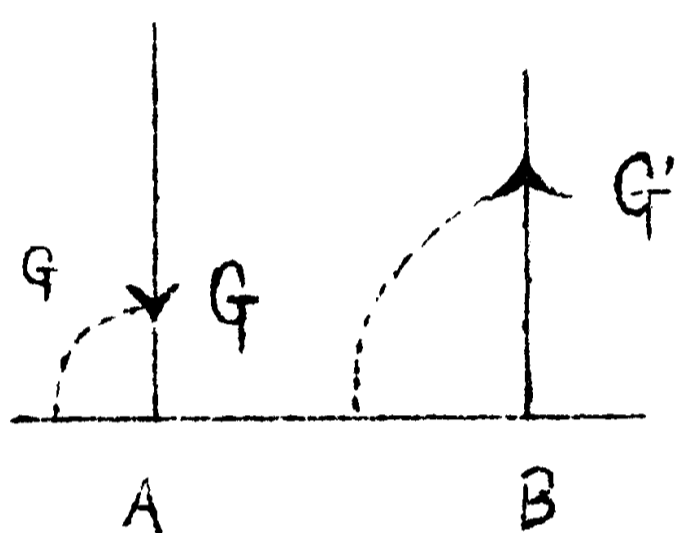
§.10. 吾國舊有之繩戲，在繩上行動者皆手持長竿，竿端各繫一砂包或其他重物。

〔解釋〕 人立繩上，因支撐面太小，如重心並未特別降低，傾倒極屬易事，行走更為難能矣。若兩手持竿下沉，因竿端砂包之重，使重心為之低降。身有偏倚時，又可酌向各方伸縮砂包之位置，使重心之垂直線不出足繩接觸面

積以外，自然可以立定繩上。唯此亦非常人所能率爾做作者，須經多日練習，始能運用砂包於婉轉如意之程度。

§.11. 小兒行走易倒之理，

〔解釋〕 物體重心高者，其過重心之垂直線固易超出支撐面以外，而放置不甚穩定。唯因同一地方之重力其大小



相等，重心較高之物其重心低降之弧線，比重心較低者為大，故須費較長之時間，始能完全倒臥。試直立寶劍於 AB 兩處，即可見 A 處之劍完全倒臥之時間較短於 B 處之劍

，因重心 G 降落之圓弧小於重心 G' 降落之圓弧故也。B 處之劍既須費較長之時間始能全體倒臥，則予吾人以匡正之機會較多。所以倒立寶劍於指頭，可酌量移動手指，令 G' 之垂直綫常勿超過支撐面太遠太久，劍亦可保不倒。不過是時寶劍之穩定情形，與靜置物不同，須常視劍之偏於何方，而移動支撐面以匡正之，要亦須有相當之練習，非粗心者所可隨意為之。

吾人以頭腦頗重之故，直立時全身重心約在丹田附近，距立足之點頗遠。舉步行走，軀體傾動，所以保持其重心於穩定位置者、須經相當之練習與注意，迨成習慣，即毫無不便矣。小孩軀體既短，其重心較成人為低，全身下倒於地之時間較成人為短，有如正立寶劍於上圖之 A，自

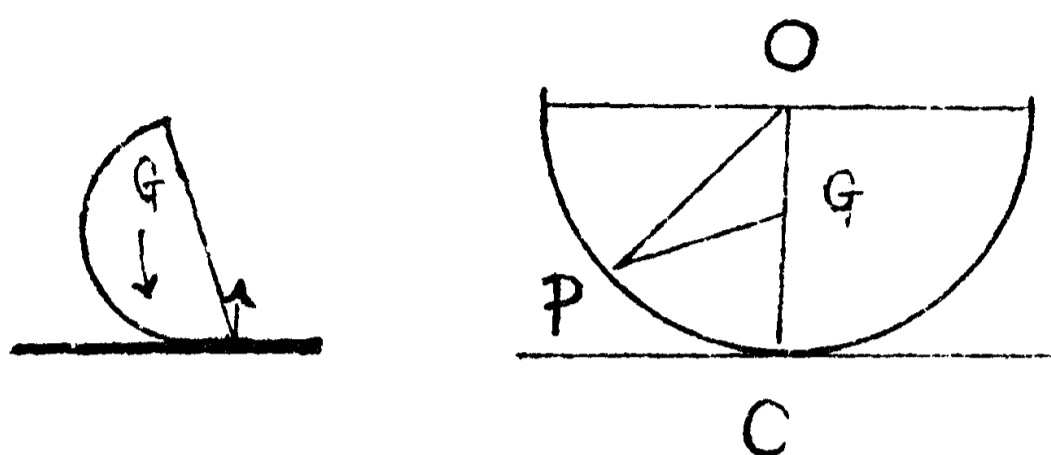
較成人易於跌倒。然此亦與經驗有關，倘經長久之練習，養成敏於保持穩定狀態之習慣，亦不如初次學步時之動輒跌倒也。故小孩行走易倒之原因實有二端；(一)軀短重心低，於傾側中供其匡正之時間較短，(二)年幼經驗少，所以保持其重心於穩定位置之習慣尙未養成。而二者中尤以第一原因居重要。蓋成年之株儒，究不如尋常壯夫之不易跌倒也。

§.12 扮演高蹠者，其足上附着之棒愈長，較易行走，如棒太短(如舊戲小旦之着高蹠細履)，反不能大步移動，較易跌倒。

〔解釋〕 此與上條同理，足下木棒愈長，則重心愈高，全身傾倒所需之時間較久，故於行動中得從容配置其足下木棒，不至跌倒。唯木棒如太短小，則因足地接觸面減小甚多，而全身重心昇高無幾，遂較平時難於穩定，須經多日之練習始可趨立行動。然若開步稍大，後足於上身前傾一申不及移前抵地，已一倒不可挽回，故須作敏捷之短步，且於直立中亦須交移兩足，常令保持平衡，絕不可靜峙不動，無論蹠足之高低皆然。

§.13. 蒸餾皿(或尋常炊爨用之鍋)置於水平面上，極難傾覆。其他之半球形容器或實物亦然。

〔解釋〕 茲就實體之半球言。O爲球心，G爲其重心，C爲與水平面接觸之點。則OG爲過G之垂直線，且OGC在



同一直綫上，故此半球適合於穩定之條件，可於 G 點靜置不動。次於半球面上任取一點 P，作 OPG 三角

形。

$$\because OP < OG + GP ; \quad OP = OC ;$$

$$\therefore OG + GC < OG + GP ,$$

即 $PG > GC$ 。又即 C 點以外，半球上任何點距其重心之距離皆大於 GC 也。

用力押動此半球體，其作用不過使支撐面離去 C 點，而於球面上另得一點，為其支撐面。但如上述，C 點以外諸點距重心 G 之遠皆比 GC 大，即此半球體之重心隨其偏動而升高也。故除去使之偏動之力，即因重力作用，使重心復降至極低之位置，而球仍回原狀矣。此為半球體於平面上極為穩定之故。

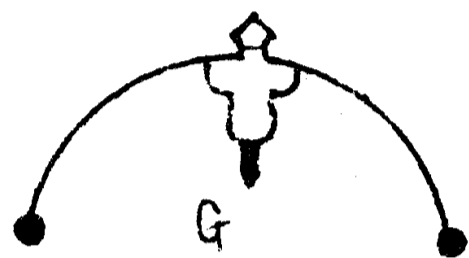
蒸發皿為一中空之半球體，皿內未盛物體時，其重心殆與上圖之 C 點相合。故稍一偏斜，即是升高其重心，自難傾覆。

§.14. 不倒翁恒能自行立起之故。

〔解釋〕 不倒翁係於下部作成一半球體，球內充以鉛塊，故重心即在直立時支撐面稍上處。其押倒後能自行立起

之理，與蒸發皿壓偏後能自行扶正之故全同，亦利用重心提高及重心降低兩作用而成者也。

不倒翁亦有作次圖形式者，其構造與上述略異。小人



兩旁各墜一重錘，獨足甚銳，全體重心即在足尖一點。持此物立於任何地方，因重心與支撐面相合為一之故，無論如何動搖，均無脫落墜倒之虞。

§.15. 電車行進中，車中人如不緊握車內固定物體，即須張開兩足，作勢而立。倘如尋常之並足直立，即易發生傾跌。

〔解釋〕 立於電車內之人，因慣性之作用，於電車速度有變化，或方向有更改時，上身為之傾側。張足而立，其支撐面較廣，過重心之垂直綫不易超出之，故頗穩定。倘並足而立，於身體發生傾側時，勢必猝然移動兩足，以求平穩，而傾倒之機會多矣。

§.16. 餐棹球台等四脚重物，推使翻轉尚易。但既已仰臥地上，則扶正直立時，較為費力。

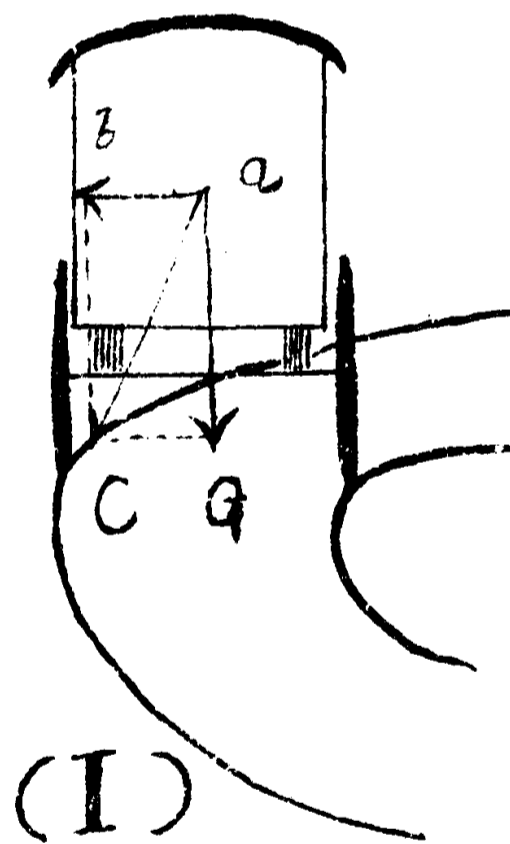
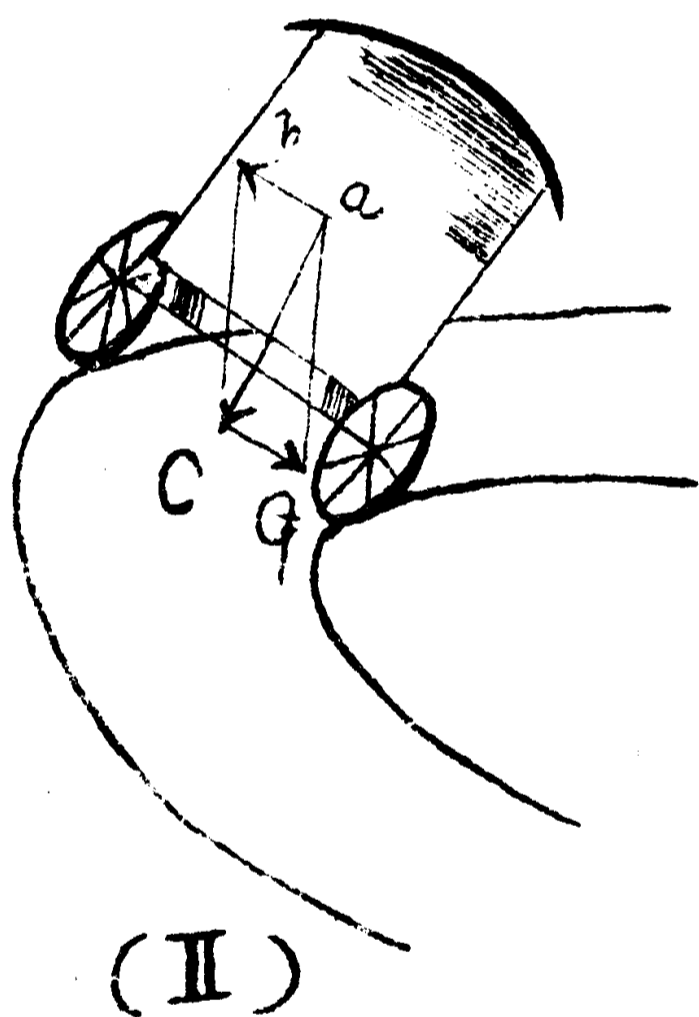
〔解釋〕 四脚棹之重心大約在棹面正中，故直立時因重心距地頗高之故，推倒尚不十分困難。若以棹面抵地而仰置之，則重心距地甚近，與不倒翁同理，易知其極為安定。倘欲翻正直立之，即使其重心由低變高，自須用較大之力，因不如推倒時之有棹身重力助其下墜故也。

第十三章 圓運動現象

§. 1 電車或火車之軌道，於彎曲處之外軌特為加高，

〔解釋〕 鐵軌彎曲部可視為圓周之一段。故電車及火車在彎曲部行動時，與在圓運動中無異。而物體在圓運動中常有離圓心而遠去之力，是為離心力。故車於圓運動中除

去重力作用外，尚因離心力之故，有脫出軌道之勢。命車之重心為 a ，以 ab 代離心力， aG 代重力，則二力之合力 ac 即車在彎曲處所實際受



作用之力也。又即車在彎曲處須斜向 ac 而外倒，足以發生危險。但如將彎曲處之外軌加高，則車行至該處即向內偏斜， ab 與 aG 之合力恰與地面垂直，如上圖之(ii)，自無倒車之虞。

又離心力之大小與運動體之速度(自乘)成比例。倘車行太速， ab 即增加甚巨，雖將彎曲處外軌加高，亦難免脫軌翻車之險。因車之重量一定，即 aG 不變， ab 如大增， ac 仍可向軌外而偏斜也。

§. 2. 用匙調杯內之水，如迴轉甚速，水面中心即行下降而成漩渦。

〔解釋〕 迴轉調匙，水起圓運動，故因離心力之故，中心之水悉迴旋四離，形成漩渦。

大氣中亦有類此之現象。如秋夏季之旋風，或一地之低氣壓。即因局部溫度之驟變，發生上昇氣流，至其處氣壓減低，四圍空氣急向之流動，促成圓運動。再因離心力之作用，其處空氣愈稀薄，而低氣壓賴以成立，旋風於是乎起，參看熱學篇旋風條自明。

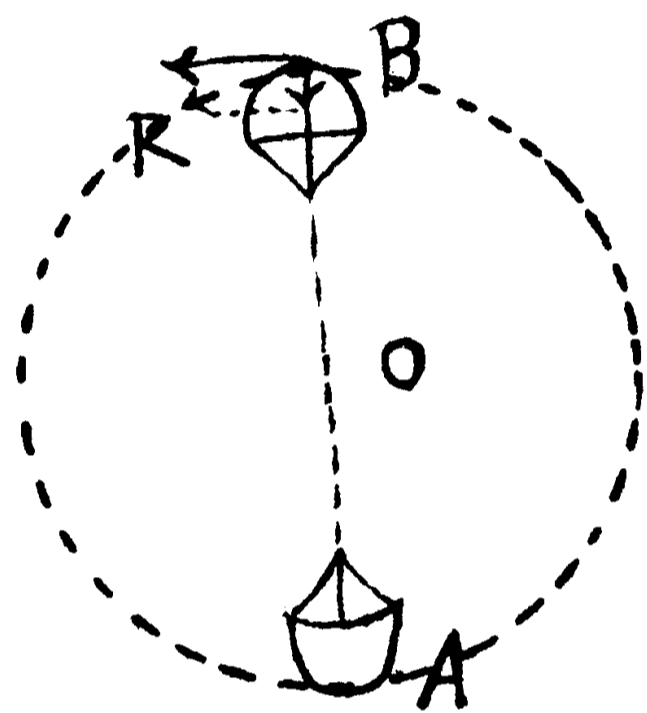
§. 3. 雨傘上雨滴，可持傘回轉以散去之。車輪上泥土，於疾馳中亦自行飛離。

〔解釋〕 以傘幹為軸而旋傘，則傘上各部皆起圓運動，故因離心力作用，雨滴為之飛散。但圓運動體脫離圓周軌道時，其進行之方向（因慣性作用）常為出發點之切綫。故雨滴飛散之方向各與傘幹垂直，無有向上升起者。車輪疾轉，即輪周各部之圓運動速度甚大，故附着輪上之泥土，受離心力作用亦循輪之切綫方向飛去。

§. 4. 以繩懸碗，盛水碗內。執繩迅速轉令繞手作圓

運動，則碗雖向下倒懸，水亦不至流出。

〔解釋〕 水因隨碗爲圓運動故，各分子受重力，碗底壓力（即向繩的張力），及離心力之作用，恰保持其平衡，不至流出碗外。此就水之質點平衡情形而言者也。若就水分子之運動狀態言，則又不同。蓋B處之水乃由A循圓周軌



道運動而來。故其時水分子循圓之切綫，有一定之運動量，而有循其方向飛去之勢。同時繩之張力傳於碗底，成爲壓力。此壓力與重力同作用於水，又有迫水向圓心O而運動之勢，總稱其力曰求心力。循B

點切綫方向之運動，與循此求心力之運動，合成BR之運動，恰與碗之運動一致。故水與碗共成調和之運動，無趨前落後之虞，至無溢出碗外之事矣。

§. 5. 用機器乾衣之法，爲置濕衣於細孔極多之圓筒內，用力迴轉圓筒，衣即自乾。

〔解釋〕 迴轉圓筒時，衣與水分亦隨同爲圓運動，因得一定之離心力。轉筒愈速，此離心力愈大，終至大於水之附着力，即因慣性作用，循筒之切綫方向，自細孔飛出。轉筒稍久，水分離去自多，衣即漸漸乾燥矣。

§. 6 繞圓形軌道奔馳時，人體恒向圓心之方偏斜。演馬戲者於跑圓圈時，人馬亦向內傾，驟視如將翻倒。

〔解釋〕 吾人奔馳中，因慣性作用，嘗有**一直前進之勢**，而最難於時變其方向。今欲循圓形軌道爲圓運動，勢必於各瞬時加以相當之**求心力**，始可抵制此種直進之慣性。身體向圓心內傾，即外足常用較大之力抵地。故由外足觸地所受之反動力特大，常有壓迫身軀向內之勢，而成圓運動所必需之**求心力**矣，騎馬循圓場馳騁，同理亦必偏其軀體，斜向場內，因人馬皆須如此，其偏斜度遂較徒步時爲甚。且速度愈大，則所需之**求心力**亦愈巨，而偏斜度亦愈甚。若於靜止中依此種最大傾斜度徐偏其體，即易翻倒在地矣。

§. 7. 取銅元一枚，向上拋之，銅元面於運動中翻變頗甚。但依迴轉運動而上拋，則銅元面可保不變。（如擲鐵餅之迴身而擲，餅面無有翻轉。

〔解釋〕 迴轉體有圍繞其面之垂直軸而迴轉之慣性。如運動中無有打破此種慣性之原因，即不至變其迴轉面之最初的方向。使銅元迴轉上拋，其面不至翻變者，亦此理也。如將銅元直向上拋，不使迴轉。則或因各部受力之不均，或因銅元上行之面有傾斜，至各部所受空氣之抵抗大小相殊，而銅元本身又無保持其面有一定方向之慣性，翻轉無疑矣。

§. 8. 腳踏車疾行甚穩，漫走反易翻倒。

〔解釋〕 車輪迴轉時，輪上各部亦繞迴轉軸而爲圓運動

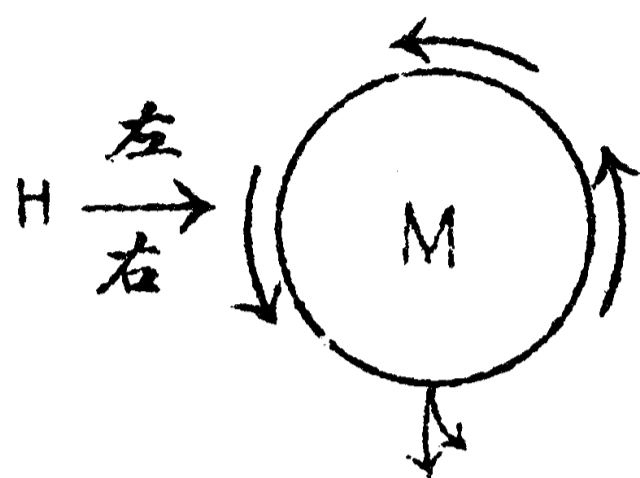
。此軸之方向如不變，輪上各部運動之方向亦不變。反之，車輪依一定方向而迴轉時，有保持其迴轉軸一定不變之慣性。故腳踏車既經運動，則運動中有反抗輪之任意傾側，而保一定方向之迴轉軸以迴輪之慣性。此慣性於車行速度愈大時，作用愈著。故車愈迅行，愈不易倒，因車向側倒之作用，適與輪向前轉之慣性相反故也。但車轉如太慢，此種慣性即減弱，車之重心稍有偏倚，即足引車下倒。

§. 9 物體重量於赤道較輕，兩極較重。

〔解釋〕 按重力與地心距離之自乘成反比例計算之，在赤道上一公斤之重物，在兩極應重1.0015 公斤。但實測在赤道上一公斤之重物，於極地確重1.005 公斤，理論與實驗相差至0.0035 公斤之巨。此因地球自轉，地面各物隨之而起圓運動之故。蓋由圓運動而得之離心力，其作用與吸物向地心之重力恰相反，離心力愈大，重力愈被減弱。地球以24小時自轉一週，地上各物即以一晝夜行一圓圈。此圓圈以赤道為最大，兩極為最小(為零)。故赤道地方之自轉速度極大，離心力極強，重力極弱，兩極反之，重力極強。除地球半徑外，此即物體在赤道與極地時重量不同之故。

§.10 網球或棒球迴轉前進時，其進路每可彎曲不直。

〔解釋〕 如圖，M球以II方向前進，本身又在迴轉運動



。因球前進中常受空氣後壓之低抵抗力，故球之右側空氣被此種抵抗力所抑制，不能隨球迴轉。而球之左側的空氣，因迴轉方向與前方空氣抵抗相同，無礙其迴轉運動，且因有向後作用之抵抗力故，左側球近空氣之受因離心力作用而循球的切線方向以飛去之勢更強。因之球體左側空氣壓力特別減小，右側空氣遂向之壓迫，而球之進路向左曲折矣。

§.11 巨鷹盤空作圓圈飛行時，身軀恒取偏斜形式，在圈內之翼略向下斜，在圈外之翼則稍上揚。

〔解釋〕 此與本章第§6所述相同，茲不贅釋。

第十四章 摩擦力現象

§. 1. 機關車(火車頭)如太輕，即不宜於拖動列車之用。

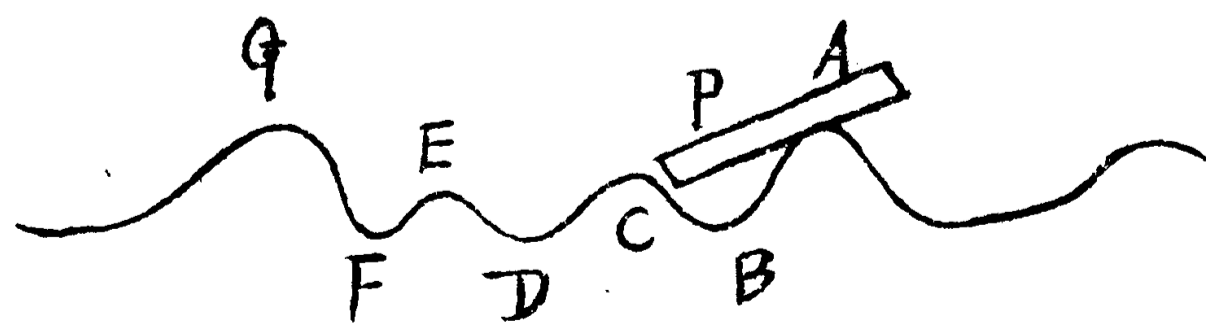
〔解釋〕 機關車輪與軌道間之摩擦力，如大於列車全體車輪與軌道間之摩擦力，則機關車前進之力即足拖動列車。因車頭汽機鼓動車輪自前向後轉動，軌道與車輪間之抵抗力則自後向前以動於輪，車始賴以前進。故機關車之前進力，即為其輪與軌道間之摩擦力，因而列車全體車輪與軌道間之摩擦力不能較之稍大，或相等。蓋列車不如車頭有鼓輪轉動之原動力，其所以能前進者，完全由於機關車

之牽引，苟引之力與阻車運動之摩擦力相等，或後者較大，均不能使列車前進，其理甚明。但摩擦力之大小與直壓力成比例。故欲機關車對列車有較大之牽引力，不可不增加其直壓力，即機關車之重量須加大。若機關車太輕，則對輪軌接觸面之直壓力小，而輪軌間之摩擦力亦隨之減小，即不適於拖動載重之列車。

〔附〕 摩擦力之性質 靜置甲物於乙物之上，須加一定之力，始能使甲物循乙物表面而運動。此種阻碍物體發生運動之力，稱為靜摩擦力。甲物既已運動，則在運動中常須得有一定之力，始可保持其等速度運動，不至靜止。此種使物體在水平面上常保等速運動所需之力(至小限度)，為動摩擦力。動摩擦較靜摩擦為小。但摩擦力均有一定限度，兩種物體之性質(包重量在內)一定時，其摩擦力之最大值，亦恒一定，稱為最大摩擦力。最大摩擦力正比例於兩物體間之直壓力，其大小與二物性質有關，於摩擦面之廣狹無與。是為毛霖氏定律。

§. 2. 於粗糙表面上拖動物體，較光滑之面費力。

〔解釋〕 如圖，P物置於凸凹不平之AG表面上。因重力



作用，P物常有向下壓迫其支持面之力，向前拖動P物時，其前

端因之下陷於BD等凹隙處，而受CE等凸起部之阻礙，拖P之力勢必加大始可。實際各物表面皆係凸凹不平，P物表面自亦有突出之部，此突出部與支持面之凹下處相啣合時，阻P前進之力更大矣。反之運物於光滑之平面上，若毫無上述作用，則妨碍此物前進之力僅其本身之重，費力自然較小。不過普通所謂之平滑表面，實際亦屬粗糙之至，試用擴大鏡視之，即甚了了，此亦摩擦力難於除去之故。

§. 3. 擦油質於兩物接觸面，可使兩物之相摩活動較為容易。(如機械擦油)若代油以水，其減少摩擦之效即大減。

〔解釋〕 物體表面塗有油質時，其凹陷處被油填平，接觸面較前光滑，抵抗物體運動之力自然較小。水雖能填平凹陷處所，而因表面張力較大，易與他物濡濕而生粘着力之故，其減小物體摩擦之效遂微。此即普通拭擦機械轉動部用油質，而不用水之故也。

§. 4. 機關車有時因輪太光滑，不能出發，須於軌道上撒佈砂粒，始可助之前進。

〔解釋〕 軌道上撒佈砂粒，則輪軌接觸面較前粗糙，而摩擦力為之增加。如第一條所述，車前進反為容易矣。

§. 5. 用絲繩(或絹帕)作結，較棉繩(或布帕)作結容易解開。

〔解釋〕 此因絲繩(或絹帕)表面較棉繩(或布帕)爲光滑之故。

§. 6. 於砂漠或沼地內行走，較硬地費力。

〔解釋〕 此因砂泥與足面間之摩擦力較弱之故，蓋阻礙物體運動之摩擦力，不特與接觸面之粗糙程度有關，亦與支持運動體之物體的堅固程度有關。砂泥受足之踏壓而下陷，其對足之反作用遂減弱（參觀第二章外力與時間之關係），即是砂間之摩擦力減小，故前進反爲費力。

§. 7. 張繩爲拔河之戲，或引繩向前拉物，若引張之力加強，則握繩之力亦須加大。

〔解釋〕 此因引繩之力若強，則繩與手之摩擦力亦必加大。而摩擦力與直壓力成比例，握繩之力自不得不隨同增加矣。

§. 8 螺旋釘比普通尖頭釘釘物牢固之故。

〔解釋〕 螺旋釘與釘入物之接觸面爲凹凸互見之螺紋，摩擦力最大。普通鐵釘因釘面光滑，其與釘着之物接觸面亦頗光滑，摩擦力遂較螺釘爲小，此即二者釘之牢固程度所以有不同也。

§. 9. 挽車前進之理。

〔解釋〕 挽車之力與車之反作用相等，本不能使車前進。唯車夫足地間之摩擦力較車輪與地面之迴轉摩擦力爲大，故循人行方向而前進。

§.10. 河水流動，中央較速，兩旁及河底均較和緩。

〔解釋〕 液體分子間有相吸之力，已詳前數章，此種吸引力，有妨碍液體流動之作用，是爲液體分子間之摩擦。河岸及河底之土石與流水之摩擦，較水之分子的摩擦爲大，故河底及近岸兩旁之水，受其妨碍，速率大減。河心表面之水，因僅有分子間之摩擦，流動速率，自較兩旁及河底爲大。

§.11. 運動重物前進時，若於其下置數圓柱，即可省力。

〔解釋〕 用力前挽重物，或自後推之，均須人足與地面之摩擦力大於重物與地面之摩擦力，始能前進。於重物下墊以圓柱，則柱與地之接觸面較前平滑，其間之迴轉摩擦力自然較小，重物前進，亦遂容易。若重物與地面之摩擦力甚強，勢必加大足地間之摩擦力，即須力抵地面，緊挽重物，使足上之直壓力增加。故墊有圓柱時，因減小重物摩擦力之故，動物之力亦隨之稍省。

§.12. 自行車(腳踏車)軸周圍有鋼製小球多個，去之即轉動費力，頓失靈巧，

〔解釋〕 此亦因迴轉體之摩擦較弱之故。蓋車輪之迴轉由於足踏，車身之前進由於輪與地面間之摩擦。而妨碍車輪之迴轉，間接減弱車身前進之力者，則爲輪軸間之摩擦力，此種摩擦因發生於車之本身，無助車前進之効，故須

設法減小。置網球於輪軸之間，即利用迴轉摩擦較弱之故，以達到此種目的也。

§.13. 工人施力握物，農夫把鋤掘地，皆喜擦掌於地，令手上微積砂土，或向手哈氣，甚至向手微唾，令掌潮濕。

〔解釋〕 手掌粘有砂土時，表面愈為粗糙，用以把持物體，自能生較大之摩擦力，即持物較易穩固、用力略省也。手掌用唾液潤濕時，亦因錯雜不均之少許粘性唾液，有增加接觸面摩擦力之効，握物略為省力。但掌上水分如太多，即有減小摩擦力之作用，把持物體反覺光滑費力矣。

§.14. 同立冰上之二人，如冰面甚為光滑（無有積土，……），則二人互推之結果，無論用力孰大，各皆分離滑動，不能如地面互推時之力大者可以靜立原處也。

〔解釋〕 冰面光滑，足冰接觸面之摩擦力即甚微弱，甲用力推乙，同時甲亦受乙之反動力的作用，有後退之勢。今立足處之摩擦力既弱，不能抵抗推人所得之反作用，自唯與被推者取相反之方向而分離。若在尋常地面，甲用力推乙時，同時甲足即增加其垂直下壓（或斜向後壓）之力，而足地間之摩擦力遂隨之增加，對乙之反作用的抵抗力亦強，不易後退，有時竟可仍立原處矣。同理兩人用力互推時，於光滑之冰面各不能抵抗所受對方之反作用，遂呈分離現象。而於尋常地面則因互推之反作用各被地面摩擦力

所抵消，力小者遂隨大力之方向而運動，力大者有時竟可保持原立地面。

§.15. 鐘錶以及各種大小機械，洗刷上油後，極為靈活。但經歷多日，即有膩凝不靈之病，而前所上之油並未消耗盡也。

〔解釋〕 兩物接觸面塗擦油質時，可以減小磨擦力，故新上油之機械較為靈活。但經歷多日，難免塵埃粘積油上，成爲膩垢，塗油處之表面，因有膩垢之故，反較前粗糙，從而摩擦力加大，機械運轉不靈矣。此時機械上所附之油質並未減少太多，所苦者在粘着之塵土，故須設法除去膩垢，並非前次所用油質之增減的問題也。

§.16. 冰鞋底面恒取刀稜式，或附以轉輪。運動員之賽跑鞋底，則多附有尖銳之小釘。

〔解釋〕 冰鞋取其易於滑動，故底面務須光滑。小輪轉動時之迴轉摩擦較屬微小，故亦利於滑冰。人在地面行走，由於用力後登，借地面之反抗力而前進。故地面愈光滑，行走反覺費力，快跑更易跌倒。（但冰上之滑動與此不同，須注意）。運動鞋底面附有小釘，即足地接觸面甚爲不平，既無滑倒之虞，又可增加其摩擦，以得較大之反抗力，而便於前進。故冰鞋與運動鞋兩者之作用恰相反。

第十五章 氣體凝着及溶解之現象

§. 1. 痰盂內如置木炭粉末，可減少臭氣。

〔解釋〕 各種固體有吸引氣體，使附着於其表面之性質。因附着於固體之氣體並未深入固體內部以均勻分佈於各處，故與吸收於液體以成溶液者不同。前項作用特稱吸着 (adsorption)，以與普通之吸收作用 (absorption) 相別。

固體凝着氣體之分量，與其表面積之大小成比例，而與溫度之高低成反比例。且氣體愈易液化者，愈易凝着於固體。但此所謂表面積之大小，係就固體表面積與其重量之比較言。故同重之固體，其凝着氣體之表面，以粉末（或多孔隙者）為最大，整塊（或少孔隙者）為最小。

木炭之孔隙最多，其凝着氣體之表面遂廣。據一實測，黃楊木炭能凝着自己體積90倍之礮精氣，或35倍之炭酸氣。故痰盂內發生之臭氣易為炭末所吸收。

§. 2. 置銀元一枚於新磨之金屬板或鏡面上，經數時後，取去銀元，噓氣吹之，即現出銀元痕跡，章紋甚顯。

〔解釋〕 固體表面之新經磨擦者，其在空氣中凝着之氣體（如水蒸氣，空氣等）甚少，或竟無有。故以曝於空中之銀元載於新經磨擦之鏡面上，則凝着於銀元之氣體，有一部分移於鏡面。取去銀元時，鏡面與銀元接觸之部，與他部鏡面所凝着之氣體，分量各有不同。若向之吹氣，則水蒸氣凝着於各部之程度亦不一致，因而區劃顯然，章紋畢露。

§. 3. 玻璃板拭擦清潔後，以指觸之，去指尚無痕跡

。但向該處噓氣吹之，指紋立顯。

〔解釋〕 玻璃板接觸指頭之部，因粘有指上脂肪質，故水蒸氣凝集之量，較他部之無有脂肪者為小，因之襯出指紋。

§. 4. 汽水瓶塞初拔，瓶內若沸騰，噴沫頗盛。

〔解釋〕 在溫度一定時，氣體溶解於液體之量與壓力成正比例。汽水製成時或用大壓力令溶解多量之碳酸氣，或於瓶內置化學藥品令盛發碳酸氣，再緊塞瓶口。要皆於瓶塞施高壓力，令溶解碳酸氣多量。故拔去瓶塞，則瓶內壓力驟減，原先溶有之氣體遂激急逃出，恰似沸騰，因成噴沫現象。

§. 5. 汽水瓶宜置冷處，飲汽水時每噦氣作哽。

〔解釋〕 在一定壓力下之氣體，其溶解於液體內之分量，與溫度成反比例。即溫度增高時，足以減少氣體之溶解量。汽水因溶有多量碳酸氣之故，若置熱處，即使汽水之溫度加高。其原先溶有之氣體，勢必放出一部。因有沖開瓶塞，或漲破瓶壁之趨勢，故宜放置冷處，以免此弊。

人飲汽水入腹，因體內溫度較汽水甚高，故汽水於體內急將溶有之碳酸氣放出若干。結果令腹部驟增氣體若干，勢必上行以逸出體外，於是噦氣作哽矣。

第二編 熱學之現象

第一章 溫度變差之現象

§. 1. 冷熱之意義，

〔解釋〕 爲便於解答本編各問題起見，先說明尋常對於物體及時地之冷熱的意義。

(一) 吾人尋常所感得物體之冷熱，多係以本身體溫爲標準，與他物相觸而比較之。若物體溫度低於體溫，則覺其涼，而物體溫度高於體溫時，又覺其熱。對於同時多數物體之冷熱，亦以各物與體溫相差之程度判定之。又因吾人常爲空氣所包圍，設某物溫度低於所在處空氣之溫度，則吾人觸手此物時，亦覺其冷。此時不啻先以手觸空氣，再以手觸某物，由兩方溫度對體溫相差之程度，顯出某物之較冷。故吾人本身之溫度(以後簡稱體溫)，與四圍空氣之溫度(以後簡稱氣溫)，爲尋常與他物比較冷熱之標準。但此兩種溫度均係時有變遷，且比較之次序如有先後，其冷熱之感覺亦有強弱。例如先沒手冰雪中，次移觸木片上，即覺木片頗暖。若先觸木片，次沒入冰雪中，則僅覺冰雪之甚冷，而於木片溫暖之程度即不如最先所感覺者之甚。故精密言之，苟欲正確比較物體之冷熱程度，絕不能以吾人之觸覺爲根據，無論如何，均須以寒暖計所測得之溫度爲標準。

(二) 吾人常謂某地某時熱，或某地某時冷，其意乃指某時某地表面之近地空氣的冷熱而言。如謂熱帶夏季甚熱，意即夏季熱帶地面空氣之溫度甚高。不過常人習慣，僅據置身其間所感得之冷熱，以斷定其時其地之寒暖，未曾詳叙範圍之若何。若細究之，則同時同地之氣溫，亦隨觀測人地位之高低而有差異。如赤道極熱之區，同時其處直上之高空，則極寒冷。大約由地面上昇以測空氣溫度，愈高昇，愈益寒冷，每上昇百公尺，氣溫略低降 0.7°C 。故地面酷熱之時，其直上六七千公尺處之高空且有冰針存在(卷雲或卷層雲)。兩極奇寒之地，若穴地深入，亦可達到甚熱之處，因地內甚熱之故(參看第三條)。故尋常所謂某地某時之冷熱，其範圍實屬有限，不過是時該處地上數公尺以內之空氣層而已。

§. 2. 新由深井汲出之水，夏日覺其涼，冬日覺其暖。

〔解釋〕 井水深藏地下，受地面冷熱之影響頗微。於夏季，則地面熱力尙未完全傳到，於冬季，則夏季所蓄之熱力尙未放散罄盡。因而井水溫度在夏日略較井外氣溫爲低，在冬日則微高於井外之氣溫。夏日氣溫甚高，吾人時有煩熱之感，故驟與稍冷於當時空氣之井水相觸，——此指新汲出之井水言，若久置空氣內，兩方溫度即漸次調和，終至相同。——即由各方比較而起涼爽之感。冬日氣候嚴

寒，若於冷空氣內忽與溫度略高於當時氣溫之井水相觸，自當感覺其暖。在寒帶地方，冬日井水上層結冰，下層悉為攝氏四度之冷水，而當時氣溫或已在零下若干度。其時井水溫度與氣溫相差甚巨，上述現象尤為顯著。

§. 3. 深洞幽燧，夏涼冬暖。迄今鑛穴工人及穴居者尚盛稱之。

〔解釋〕 此與井水夏涼冬暖略同理由。冬日洞外涼空氣不易流入洞內，洞壁又微蓄夏季所餘熱力，更有人體在洞內所放出之熱，其內溫度遂較洞外氣溫為高。人由洞外涼空氣之比較，因覺洞內特為暖和。夏日與此相反，故覺其涼。但垂直入地太深，即無此種現象。據氣象學家研究，地面日受太陽熱力，夜向空間放散，然一部分之熱仍向地內傳佈，至距地面一定深度之處，保持一定不變之溫度，是曰不變溫度層。此層距地面之遠近，隨地而異，在巴黎約為28至30公尺云。在不變溫度層以下，每深入30公尺或40公尺，約增加溫度 1°C 。若由地面直下太深，則無論冬夏，皆有愈深愈熱之勢，尋常山洞多向岩壁斜掘，垂直入地不遠，故有夏涼冬暖之作用。

§. 4. 冬日呵手覺暖，夏日揮扇覺涼。

〔解釋〕 人體溫度普通皆在 36°C 內外，冬日天氣嚴寒，空氣溫度去此甚遠。故手觸體內呵出之氣，頓覺其暖，因體腔內之氣體，其溫度亦與體溫略等也。夏日揮扇覺涼，

除一部原因爲蒸發外，亦因附體空氣受體溫影響，比較四圍之空氣爲熱，一旦揮扇逐去此種熱空氣，他處之冷空氣遂趁勢集觸於人體，因覺其涼。

此條可參看氣化現象第3第12兩條，及傳導現象第18條。

第二章 傳導現象

§. 1. 新棉衣較舊棉衣爲暖。

〔解釋〕 空氣不善於傳熱，若不使流動，則物體賴其包被，退冷極難。棉衣新時，甚爲鬆漲，其纖維間有無數空隙，悉充滿空氣。此種空氣因棉花纖維之層層交蔽，及衣料之蒙障於外，不能自由流動。故吾人身着棉衣，與以停滯之空氣層圍繞體外者無異，體上熱力因而不易散去，以至發生暖和之感。但舊棉衣因穿着日久，漸被壓緊，棉內空氣亦隨之減少，體熱之保存遂不如新時之善，故覺溫暖之度遠遜於新棉衣。

§. 2. 舊棉衣及絮被等物，於日光中曝曬後，可使較前溫暖。

〔解釋〕 物體久曝日光中，因吸收太陽熱力，溫度升高，自然較前暖和。唯衣服等物於晒後放置令冷，取着身體上，亦較未晒時爲暖。此則因棉絮受熱(日光)膨漲，纖維間之空隙增大，外間空氣乘機竄入。結果，絮中含有空氣之量加多，故較未晒時爲暖，蓋亦利用空氣對熱之傳導率

極小之理也。

§. 3. 冬日手觸鐵器，甚覺其冷。改觸木具則否。即冬日依觸覺之判斷，鐵器較木具爲冷。

〔解釋〕 銅鐵等金屬對熱之傳導率較大，木類甚小。冬日空氣溫度低於人體，而露置之器具，其溫度又大抵與當時空氣相同。故冬日鐵器多冷於人體，一旦與手相觸，則體上熱量由以傳去者實屬不少，因起寒冷之感。若觸手於木具，則因木類不善傳熱之故，由手上移於木具之熱量頗微，其感得寒冷之程度遂不如鐵器之甚。

§. 4. 蚊香臥置木板上，仍可燃燒無碍。但臥香於鐵板或石塊之上，不久即熄。

〔解釋〕 物體燃燒時，除須供給充分之養氣或空氣外，更須保持一定之溫度（燃點），二者如缺其一，均不能繼續燃燒（此就尋常意義言，精密言之並不如此，詳見化學理論）。但物體於燃燒中常放出一定熱量，使其溫度在燃點以上。故物體既已開始燃燒，苟無減少其熱量，或斷絕其空氣之作用，不必另外加熱，亦可繼續燃燒。木類對熱之傳導率極微，事實上可視爲不能由以傳去熱力。故蚊香點燃後，雖平置於木板上，其熱量之被木板傳去者幾等於零。而香於燃燒中又繼續放出熱量不已，故得常保燃點之溫度，於板上燃燒無碍。反之，鐵石對熱之傳導率大，即單位時間內鐵石傳去其上香頭之熱量多。由燃香而生之熱量

遂不及積留香頭，以增高其溫度。結果，使燃燒部之溫度低至燃點以下，香遂熄而不燃。

§. 5. 熨斗銅鍋之類，把柄悉用木製。

〔解釋〕 利用木質不善熱之性，使熨斗或銅鍋之熱力不至傳於柄端，以便把持。其作用與吾人穿衣擁被之保持體溫者相反。蓋皆利用熱之不良導體，而此則賴以阻止外界熱力之傳入於人體也。

§. 6. 夏日蓄冰，須外裹鋸屑，或被以棉布，掩以稻草，始不至迅速融化。

〔解釋〕 夏日空氣溫度均在冰點以上，冰塊若露置空中，自即完全融化。若以熱之不良導體包圍冰塊，則空氣熱力不易傳入，冰塊之保存時間自然較久。鋸屑，棉布，稻草等物，或因本身不善傳熱，或因附有停滯之空氣，均有不良導體之作用，持以包蔽冰塊，自可減小融化之速度。

§. 7. 寒地建築，門窗皆作夾層。壁厚，中空，內實鋸屑。

〔解釋〕 夾層門窗，因中蓄空氣一層，室內熱力不易由以傳於室外。厚壁內實鋸屑，亦取其為熱之不良導體，足以阻碍室內熱力之外散。此等建築，不特冬可禦寒，即盛夏炎熱之時，受室外影響亦較微弱。

§. 8. 毛織衣服比棉布衣服為暖。

〔解釋〕 毛布表面有極多之細毛，其間滯留之空氣頗為

不少。棉布表面較爲光滑，僅棉線空隙中蓄有空氣，而毛線之空隙並不較棉線爲少，故合全體觀之，滯附於毛布表裏之空氣，實多於棉布。此卽毛織物較棉布和暖之故。

§. 9. 觸接冷室內之金屬物體(或玻璃磁器)，恒感其較棹面布幃等處爲冷。但於比體溫爲高之暖室(如浴室)內，則覺金屬物品較熱。

〔解釋〕 冷室空氣溫度低於體溫，而室內各物之溫度與室內空氣相同。木與布均屬熱之不良導體，故覺其較金屬物體爲暖。此理已詳第三條。但室內溫度如比體溫爲高，則室內各物均較人體爲暖，觸手於棹面布幃及金屬物體，雖然同感其熱，而由良導體之金屬物傳入於人手之熱量則較不良導體爲多。故覺金屬物品爲較熱者，棹面布幃次之。

§.10. 冬季寒地農人用蘘草棉花之類裹纏幼弱之花、木。

〔解釋〕 蘘草中空，內蓄不易流動之空氣，且本身對熱之傳導率亦小，用以纏縛花木枝幹，可使不至退冷過鉅，而凍毀其組織。苞芽含有水分較富，尤懼冷凍。蘘草束縛不密，故多有採用棉花者。要皆利用不良導體以保持花木本身熱力之不外散而已。

§.11. 水晶與玻璃之簡單辨別法，爲舌觸水晶時比觸玻璃爲涼。

〔解釋〕 水晶對熱之傳導率大於玻璃，故舌觸水晶恒覺涼於玻璃。

§.12 於嚴寒地方，以濡濕手指觸接金屬面，指即凝着其上。觸手於木片時獨否。

〔解釋〕 手指與金屬片相觸接時，指上熱量急被傳去頗多，由指上蒸發而出之水分，因受冷卻，遂凝凍為冰，使指頭與金屬面互相固結。木為熱之不良導體，手指於木片上被傳散之熱量極微，指頭與木片相觸處，既無急劇之冷卻，故難起凝凍之現象。

§.13. 炭塊燒紅後埋沒灰內，可以保持多時不滅。露置熾熱之炭於空氣中，反易燒盡，或不久自熄。

〔解釋〕 此亦因灰為熱之不良導體，能使燒紅之炭於灰內保其原有之溫度。雖因積灰阻碍空氣之交通，不能令炭如露置時之燃燒，而由灰內取炭出外時，以溫度未在燃點以下，仍可繼續燃燒，不至於熄。若露置熾熱之炭塊於空中，因四圍空氣能自由流動之故，炭塊之熱量易於散失，如當冷風吹盪之際，尤易令炭塊溫度冷至燃點以下，以至滅熄。但於空氣較為沉靜，四圍溫度不十分低下時，炭之燃燒旺盛，又不久而成灰燼矣。

§.14. 添着夾衫一件，其暖和程度有不如重着單衫兩件之時。

〔解釋〕 此指以相同之衣料作夾衫與單衫者而言。夾衫

雖由兩層衣料作成，而表裏之間因線縫身壓之故，空隙頗小，蓄留空氣不多。單衫兩件重着一身，其間之空隙反較夾衫爲大，兩衫間蓄留之空氣層亦略微較厚。保持體溫之力，因有強弱之分，遂覺其暖於夾衫矣。

§.15. 紗麻絹綢等物，常作夏季衣料，棉布毛呢等物，則用於冬服。

〔解釋〕 紗麻絹綢，表面均甚光滑，既少附着之茸毛，本身空隙又大，不足阻止附體空氣之流動，故不宜用以遏止體熱之外散。且表面光滑者，對日光略有反射之作用，禦絹紗衣服者不特體熱外散容易，身外之輻射熱的侵入亦略被減殺，無怪其宜於夏季(參觀輻射現象)。棉布毛呢等物因羈留空氣層之不善傳熱，表面又粗糙不平，其作用與絹綢紗麻等物相反，故宜作冬服，理與第八條相同。

§.16. 炎熱時作河水浴者，恒覺河面之水較其下層之水爲熱，河底最涼。

〔解釋〕 水爲熱之不良導體，故水面雖受日光之照射而變熱，其下層之水尙未受其影響，至呈上熱下涼之現象。此與木棒一端已經點燃，他端毫不炎手者相同。

§.17. 搖手於熱水內，比沒手不動時爲熱。

〔解釋〕 此亦因水爲熱之不良導體之故。沒手熱水內，如靜止不動，則僅與手觸接之水能傳熱於手。若搖手水內，則與手觸接之水量加增，即傳入手內之熱量加多，遂覺

較熱於靜止之時。蓋溫度不同之二物體互相觸接時，熱量由較熱之物流入於較冷之物，至兩物溫度相同而止。水熱於手，則與手觸接之熱水移一部分之熱量於手上，至手與其處之溫度相等而止。相鄰而未直相觸接之熱水，因屬不良導體故，遠移熱量於手之速度至小，故暫時無增熱之可能，必須搖手四動，始有增熱於手之機會也。

§.18. 有風時比無風時爲冷。

〔解釋〕 空氣流動而成風，無風時吾人四圍皆暫時停滯之空氣層，體熱無大散失，自覺其暖。風起而附身之溫空氣隨之流去，涼空氣移補其缺，體熱遞受散失，故覺其冷。

§.19. 以紙裹鋼筆入火中燒之，稍留取出，則木幹外之紙已焦，鐵筒外之紙尙完好如故。或以紙條分裹銅元與木片，一同入火燒之，即見木片外之紙條先燃，銅元外之紙條發火最遲。

〔解釋〕 此亦因銅鐵爲熱之良導體，紙條上之熱易被傳去，故紙條一時驟難達到燃點之溫度。木爲熱之不良導體，木片外之紙條在火焰內所受之熱無從散去，故易於達到紙之燃點而發火燃燒。

§.20. 北歐挪威等處，有所謂無火竈，爲內實鋸屑，法蘭絨，等物之木箱。食物先於鍋內煮沸，趁熱移鍋箱內，加蓋嚴閉，久即自熟。（箱蓋亦襯以法蘭絨，毛皮等

物)。

〔解釋〕 吾人煮物使熟，不外加以甚高溫度之熱力。而習慣上之加水煮物，其最高溫度仍與當時水之沸點（詳見蒸發沸騰各章）相同，不能再為升高。故食物既經煮沸，苟能於去火後設法常保其沸點之溫度，與加火續煮無異。無火竈因四圍皆屬熱之不良導體（法蘭絨之傳導率比鋸屑尚小），故移沸熱食物於竈內，食物能保持其原有之溫度頗久，與繼續加火使沸者相同，食物因之自熟，可賴以節省燃料。

§.21. 添煤於鍋爐之火夫，有無分冬夏皆着絨衣者，因夏感其涼，冬亦不至過於煩熱之故。

〔解釋〕 鍋爐近旁，因逼近炭火，溫度極高，冬夏皆然。絨衣細毛間停蓄空氣頗多，能妨碍熱量之傳入或外散。人類體溫平均約為 37°C ，無論何時，均低於鍋爐近旁之溫度，故火夫所苦者在外圍之大熱。絨衣着身，恰能阻止外圍熱量之傳入體內，故夏覺其涼，冬亦不以太熱為苦。

§.22. 以手觸爐上之麵包烘盤，較觸麵包更為燙手，然二者之溫度固相等也。

〔解釋〕 此因烘盤為金屬作成，對熱之傳導率比麵包為大。手與盤觸，則單位時間內由盤移手之熱量較麵包為多。故覺其比麵包更熱。

§.23. 製冰吉淋 (Ice Cream) 之器，其外桶用厚木，

內部則爲薄鐵罐。

〔解釋〕 冰吉淋由牛乳與鷄蛋混合後，加糖冷凝而成。製造原理在利用低溫度之寒劑奪去牛乳等物之熱量，使發生凝凍之現象。普通於鐵罐內盛牛乳鷄蛋等混合物，置罐木桶內，而於木桶內壁與鐵罐外壁之間滿貯寒劑（冰屑與食鹽）。故外桶須用厚木，防桶外熱量之流入至減小寒劑之效用也。內桶須用薄鐵，取其易將牛乳等物之熱量外移於寒劑之內，以增加退冷之功效也。

§.24. 冰吉淋裝入紙袋內時，其溶化並不甚速，故市間有紙包冰吉淋出售。

〔解釋〕 此因紙亦不善傳熱，加以袋內封閉之空氣，愈有妨碍袋外熱量傳入袋內之効。故短時間內，冰吉淋於紙袋中溶化極少。

§.25. 夏季赤足步行於烈日所照之石塊或砂中，甚感灼熱之苦。於草木上行走則否。

〔解釋〕 此因砂與石之熱的傳導率皆大於草木之故

§.26. 化學器具多用薄玻璃作成。厚玻璃器內驟注熱水時，每有破裂之虞。

〔解釋〕 玻璃亦不善於傳熱，若一部突然受熱，每不能立時傳及於稍遠之他部。玻璃器壁如太厚，則驟遇熱水時，其內壁之溫度雖因直觸熱水而變高，外壁溫度即因遠隔內壁而未及隨同變化。結果內外壁冷煖懸殊，漲縮之程度

參差不齊，遂至破裂。故化學室常注熱水之玻璃器具大抵甚薄，取其熱量之分佈易均也。關於此類現象，另詳膨脹章。

§.27. 牆厚相同之屋，用石建者，不如用磚建者之暖。寒地築室，石牆每比磚牆加厚。

〔解釋〕 磚對熱之傳導率比石塊為小，即磚牆防熱外散之力大於同厚之石牆，室內冷暖情形因而不同。故寒地築室，石牆非特別加厚不可。（木比磚之傳導率更小，故寒地宜於木屋）

§.28 鳥獸裸體，能耐寒冷。

〔解釋〕 鳥獸外皮與羽毛間含有一層空氣，與吾人衣棉擁裘無異，故能保持其體溫不至十分低降。但亦與習慣有關，如吾人頭面自幼露出，亦無須蓋被之物。

§.29. 冬日自來水管之露出地面者，常用藁草包裹。

〔解釋〕 恐溫度低至攝氏零度下，至水凍裂也。草及所含之空氣均為熱之不良導體，有防止物體散熱退冷之效，故宜用以包裹水管。

§.30. 農家每於冬季故意撒布落葉於庭園田畦，謂可減少霜害，利於來春農作。

〔解釋〕 落葉遮蔽地面，有妨碍地熱放散之效。且積葉多空隙，停滯空氣不少，保持地溫之力更為加大。因此，凡落葉積佈之地，早晚溫度無過急之低降，空中水分遂不

能驟凝爲霜。

§.31. 雪兆豐年之說，不特吾國倡言已久，東西各國亦多類此之俗諺，經驗上均甚可靠。

〔解釋〕 雪爲豐年之兆，其故有三。(一)雪多，則來年化雪爲水，地收潤澤之利，且可調和地溫之驟降。(二)下雪前，空氣溫度甚低；下雪後，空氣甚爲乾燥；積雪溶化中天氣亦頗寒冷，凡此均不宜於病菌及植物害蟲之生存與繁殖。(三)雪本身爲熱之不良導體，故雪積地面，有防止地熱放散之效。若植物被雪掩蓋，亦有保護幼芽不受凍傷之效。三種功用尤以最後所述居重要。因植物之生長發育均須一定之熱力。若地無積雪掩蓋，退熱過甚，凍裂深及地下。入春雖能驅害蟲，講水利，播種終難萌芽，收獲無豐滿之望矣。試觀高山退冷較甚之區，多不宜於植物之生長，即知保存地熱之必要。又植物無雪掩蓋時，亦難平安渡過寒冬。孱弱者入春即難復活。蓋雪之溫度不過攝氏零度，然因本身不善傳熱之故，蔽於其下之植物即無冷至零下之虞，而尋常植物於零度左右之溫度，尙無大害。故積雪下之植物反能賴以平安過冬。

§.32. 冷水溫度雖與當時空氣溫度相等，然浸手其內，仍覺其涼。

〔解釋〕 此因空氣對熱之傳導率較水爲小，故手在空氣內所傳去或傳入之熱量，均比同時間浸手水中者略少。而

尋常所論冷水，其溫度皆低於體溫，故浸手其中，覺其微涼於當時之空氣，實則兩方溫度常略相等。

§.33. 化學實驗，於燒瓶內徐熱藥物時，每置瓶鐵絲網上，自網下點火熱瓶。且於加熱之始，須移動火焰，遍熱瓶底各部，不能靜燒一處。

〔解釋〕 鐵之熱的傳導率頗大。自火焰內逃至鐵絲網上方之氣體，及鐵絲網直觸火焰之處，因熱力已被鐵絲網傳散一部，其溫度恒較網下火焰為低。故置瓶網上，瓶底受熱不猛，實驗時較為平安。又因玻璃之傳導率頗小，傳熱甚緩。若驟熱玻瓶底部一處，他處尙未變熱，可以引起局部之膨漲，瓶必破裂。故須活動火焰，使瓶底各部一同受熱，始可無虞。

§.34. 安全燈之火焰，四圍皆用鐵絲網圍繞之。持以入鑛穴，可免引燃穴內沼氣。

〔解釋〕 如上條所述，因鐵絲網善於傳熱之故，在安全燈以內（即鐵絲網以內）之火焰，其溫度恒較鐵絲網外面為高。若洞內發生沼氣，必先於燈內發火燃燒，使燈焰變淡，火勢猛增，示人以趨避之警告，可急速提燈出洞，不至發生危險。蓋各種物體各須熱至其燃點之溫度，始能發火燃燒。安全燈鐵絲網之外面溫度，去沼氣燃點尙遠，故燈外沼氣不至被網引燃。

§.35. 投生米於保溫瓶內，注入沸水後密塞瓶口，靜

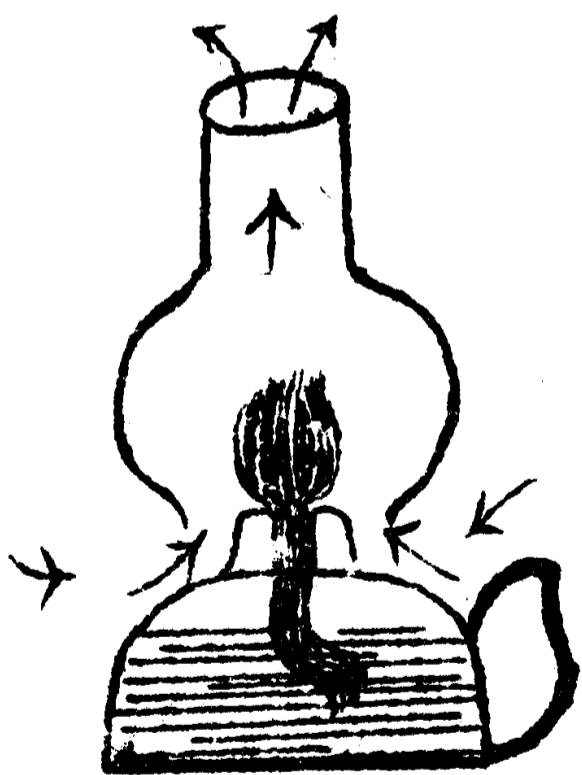
置數小時，即得爛熟之稀粥，此為旅行家熟知之事實。

〔解釋〕 此因保溫瓶由真空之複壁合成，不易傳散其熱。故瓶中沸水能持其沸點左右之溫度頗久。米在瓶中與於沸水內久煮無大差異，自可爛熟成粥。（參看本章第20條及輻射熱現象第18條），

第三章 對流現象

§. 1. 洋燈去罩，黑烟盛發，光亮亦弱。籠罩時可上下燈心，令不發烟，光亮亦隨之變強。

〔解釋〕 據光學研究，火焰光亮之程度，隨焰旁之溫度而生差異。同一蠟燭，置冰箱中則火光暗淡，置溫暖處即較明亮。燈罩上有敞口，下立於篩狀板。燈心於罩內燃燒時，焰旁空氣漸次受熱膨脹，輕而上升，遂自燈罩上口逃



出。同時燈外冷空氣自罩底篩孔流入罩內，但於焰旁受熱後又漸次膨脹上升，以讓罩外較冷之空氣流入。如是循環不已，遂成對流現象。然焰旁空氣為燈罩所範圍，須熱至一定程度，始能逃出罩外；且上升

出罩之空氣，常為焰旁熱空氣之一部，並非一齊逃盡。故罩外冷空氣流入罩內時，因焰旁尚有殘餘之熱空氣，混合後之溫度仍比罩外略高。即燈罩之功用有二，（一）促起燈罩內外氣體之對流作用，充分供給新鮮空氣於罩內，使得

燃燒旺盛。(二)保持燈焰周圍之溫度頗高，以增加燈焰之光亮。

點燈加罩，上下燈心至適宜程度，則由燈心吸上之油質得完全燃燒於罩內，其分解而出之炭質悉燃成炭酸氣體。罩內因少遊離存在之炭粒，遂無黑煙可睹。並因焰旁溫度頗高，又倍覺光亮矣。反之去罩點燈，焰旁空氣因毫無範圍之故，略被溫熱即行散去，他處之冷空氣亦逼近較驟，焰旁溫度遂不能常保一定，於是光亮減弱，燃燒亦復不盛。結果使焰中炭質不及充分燃燒，形成遊離之小粒，而黑煙起矣。

§. 2 有爐礮之煤竈，燃燒時可以掩閉火門。無爐礮之柴竈則須常時張開火門。

〔解釋〕 爐礮為竈底固定之數根平行鐵條。竈外空氣可由鐵條間之空隙流入竈內，其作用與燈罩下之篩狀板無異。無論煤竈柴竈，均有煙突一個，其作用與燈罩之向上開口相同。煤竈之火門如被關閉，竈內外氣體之對流自若，僅須隨時用火鈎入爐礮內擾動，勿使爐礮空隙為炭渣所填塞，竈內燃燒即無妨碍。柴竈因無爐礮，空氣流入竈內之道路唯有一火門處，故不能如煤竈之隨意啓閉。要之，物體如於一定容器內燃燒，必使器內外氣體對流無碍，始可，煙突，火門以及爐礮等設備，莫不依據此理。

§. 3. 銅壁鐵牆，雖稱堅固，而建屋者反少採用。迄

今十之七八皆用磚築室。

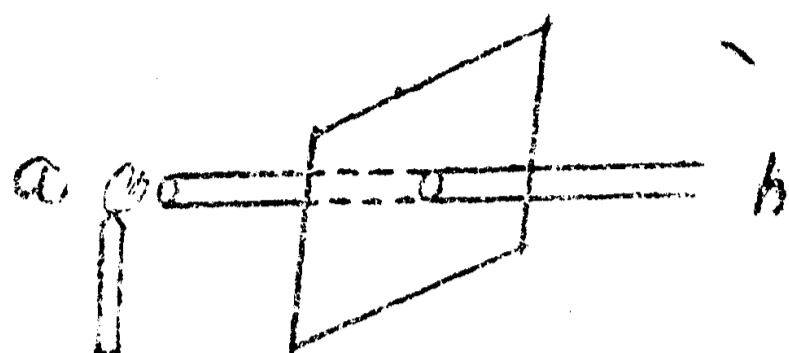
〔解釋〕 除銅鐵善於傳熱，易使室內溫度發生鉅變而外，又不利於室內外氣體之對流，故住宅如用銅鐵作成，甚不適於衛生。尋常房屋皆有窗戶，足為室內外空氣對流之孔道。——暖空氣自窗戶上部流出或流入，冷空氣自窗戶下部流入或流出——但窗戶既閉，則非四壁縫隙（或特設之氣孔）仍有換氣之功用不可。火磚乾燥者，空隙甚多，故磚建房屋，雖門窗暫閉，並未特留氣孔，亦無碍其換氣。理論上之銅鐵等金屬，雖亦有孔隙，唯實際不足供換氣之用，此建屋者之所以多用磚瓦，少用銅鐵也。

§. 4. 潮濕房屋，住人易病。

〔解釋〕 此問題之一部屬於醫化學範圍，他部可引住宅通氣不良之說解答之。蓋房屋潮濕，牆壁亦必飽含水分，從而由牆壁換氣之道被阻。門戶一閉，內外空氣即不能流通，久住其中者，自易發生疾病。至幽閉潮濕房屋內之空氣，何以不適宜於衛生，則不外養氣減少，炭酸氣及他種有害氣體加多，與乎病菌易繁殖於濕處之故，茲不贅述。

濕牆不易通氣，可由實驗證明之：

取乾燥火磚一塊，兩面各以鐵板夾蔽。鐵板各有一小孔，小孔之位置須於磚之兩面恰相正對。次以小管兩枝，分插於鐵板小孔內，如上圖之ab。燃燭於a管前，連b管於打氣筒，向磚鼓氣，當見a前燭焰離a動搖，如被風吹



可證明 b 管之氣已經過火磚，自 a 逃出。又連 b 於煤氣發生器，可於 a 口用火點燃，更足證明火磚之善於通氣。然若將此

磚用水浸濕，如前試驗，a 前之燭焰毫不搖動，b 與煤氣發生器連結時，亦不能於 a 管點燃。可見濕磚毫無通氣之效。

§. 5. 用汽管或熱水管煖室者，皆置鍋爐或燒水器於室之最低處。

〔解釋〕 此種煖室法，可以次圖說明之。ab 兩瓶以 cd 管連結之，a 盛紅水，b 則盛清水，如左圖裝置。



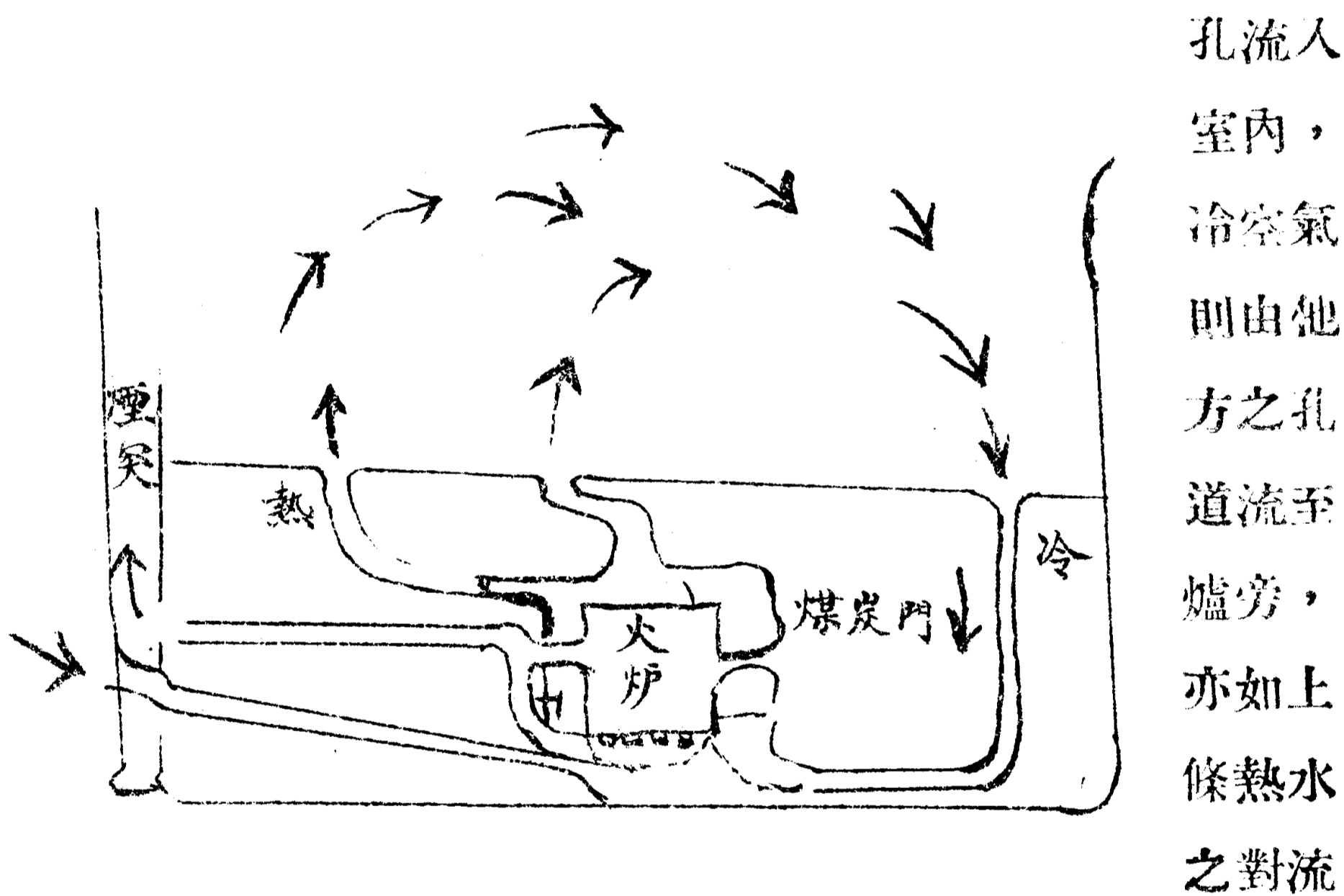
次於 b 瓶加熱，即見紅水自 d 下流於 b，清水自 c 上流於 a。此因 b 瓶受熱，清水膨漲上行，較冷之紅水乃流補其缺，恰成對流作用。熱水煖室之裝置，其原理與此無異。b 即其鍋爐或燒水處，cd 管則為盤旋各室之放熱管。a 為最高處之水槽，專為貯留鍋爐內受熱膨漲後所溢出之水，即所謂安全水槽也。汽管煖室法之裝置亦與此無大差異，不過鍋爐內蓄水略少，含發生

蒸汽，用管引於各室，管內凝結之水仍回流於鍋爐，如 a 之由 d 流 b 兩種煖室法既皆為對流作用，則鍋爐位置自以全室最低處為宜矣。蓋物體熱則膨漲，輕即上

昇，冷者向熱處下流，置熱源於低下處，不特順自然之勢，熱管通過之道路較長，煖溫之範圍亦較廣也。

§. 6. 燃爐於地板下，或牆壁後，別開氣道數處，室中已煖，而煙火毫無，是為熱氣煖室法。

〔解釋〕 如圖裝置，火爐周圍之熱空氣自屋角或地板氣



。煙由壁上煙突外通，室外冷空氣則自壁下孔道流於爐底，一方供給火爐燃燒之用，一方於爐旁受熱後流入室內，以與陳舊之空氣交換。

§. 7 冬季開窗，常覺涼氣流入甚速。夏季則否。

〔解釋〕 冬季室內外溫度相差甚鉅，開窗即起頗強之對流作用。室外冷空氣由窗口下部流入頗速，若伸手試探窗口上方，即覺熱氣亦向外流。不過吾人坐立時之位置多不

甚高，且室外空氣較室內爲冷，故易感涼風之掩入，同時外流之熱氣遂不及查。夏季室內外溫度相差不如冬季之甚，開窗時雖亦微起對流作用，而爲勢既弱，溫度又相差不遠，故不易感出。

§. 8. 無風時，火災場近旁獨有風起，且火勢愈猛，風亦愈大。

〔解釋〕 大火之處，空氣溫度甚高，遂至膨漲上昇，四圍較冷之空氣，立即湊補其缺，成爲風。火勢愈大，則上昇之氣流進行愈猛，而四圍湊集之風力亦愈強矣，蓋亦對流現象也。

§. 9. 中元聚燒冥錢紙包，偶有旋風突起，捲起紙灰紙片頗高者。

〔解釋〕 此因燃燒紙包處溫度較高，發生上昇氣流，四圍湊集之空氣遂激成旋風。又因其處空氣已成圓運動，中心氣體愈益離去，低氣壓中心賴以暫時成立。故此種小旋風亦得成立於短時間內。

§.10. 向手張口哈氣，每覺其煖，縮嘴吹之，則覺其涼。

〔解釋〕 向手張口哈氣，因出氣之道寬廣，氣流速度遂小，由體內而出之暖氣，因得暫時附加於近手空氣之上，自當覺其煖和。向手縮嘴吹氣，因出氣之道窄狹，氣流速度大增。由體內沖出之氣，反將近手之空氣吹散一部，而

被吹處遂發生低氣壓。四圍空氣因向之流動，以補其缺，但隨集隨被吹散，恰成一局部之對流作用。故手於吹氣處不受蔽於停滯之空氣，反有隨風耗散其熱量之害，以至有冷涼之感。

關於吹手生涼之解說，亦有謂其因氣流甚速，觸手飛散，大部之熱量消耗於運動工作之中，至有涼爽之感。又有謂手上水分之蒸發作用隨疾吹而加甚，熱之耗用於蒸發者頗多。向手哈氣時體內濕熱之氣體觸接於手而凝結為水，同時放出熱量不少。故前者感其涼，後者覺其熱。

§.11. 浴池內之水(或於浴盆齊放冷水與熱水後試之)，細審其上面與下底兩部，每覺底面較冷。

〔解釋〕 此亦因水之較熱者上浮，較冷者下沉，在全體溫度未能均一時，略有對流作用故也。

§.12 火盆上方恒比四圍側面為熱。

〔解釋〕 盆中炭火，除因輻射作用，四圍均等放熱外，又由對流作用，於火盆上方有直昇之熱空氣，於四圍有交集之冷空氣，故火盆上方比側面為熱。

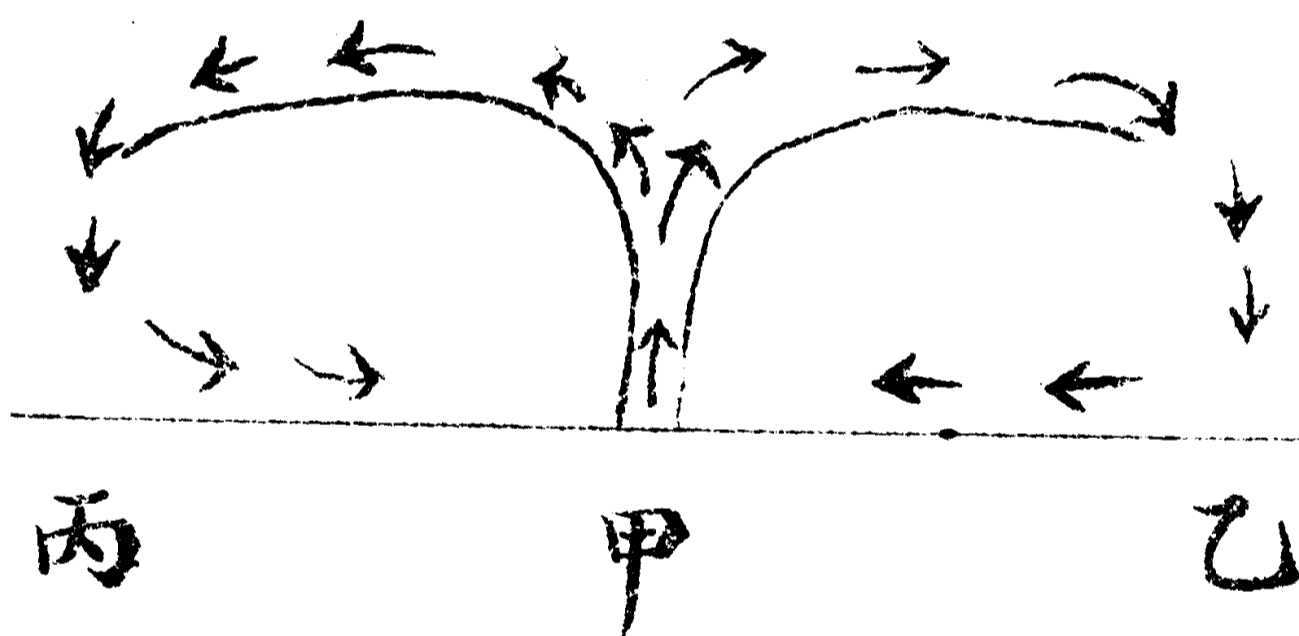
第四章 關於對流作用及大氣壓力之現象

§. 1 風之成因，

〔解釋〕 起風之因有二，即兩地氣溫之差異，與兩地氣壓之變動是也。

設甲地放熱頗甚，近地空氣溫度變高，因而膨脹上昇

。此種上昇之熱空氣，其溫度亦漸次低減。然上層空氣已因之增濃，又有向下降落之勢，同時該處繼續上昇之氣流則有阻止上層空氣下墜之作用。故甲地如放熱不止，則其上方之空氣，以濃厚之故，迫而四散，於甲地附近無上昇氣流之乙丙等處(或空氣上昇之勢弱於甲地者)下墜。結果為甲地有上昇之氣流，溫度較低於甲之乙丙等地則有下降之氣流。又即較熱之甲地，其處空氣上濃下疎。較冷之乙地空氣，則下濃而上疎。蓋大氣之一般狀況，均屬下密上



稀，乙地上方雖有甲地移去之空氣，但稍為濃密即行下墜，故一方增加不已，一方亦下降不已，

結果仍是下密於上。

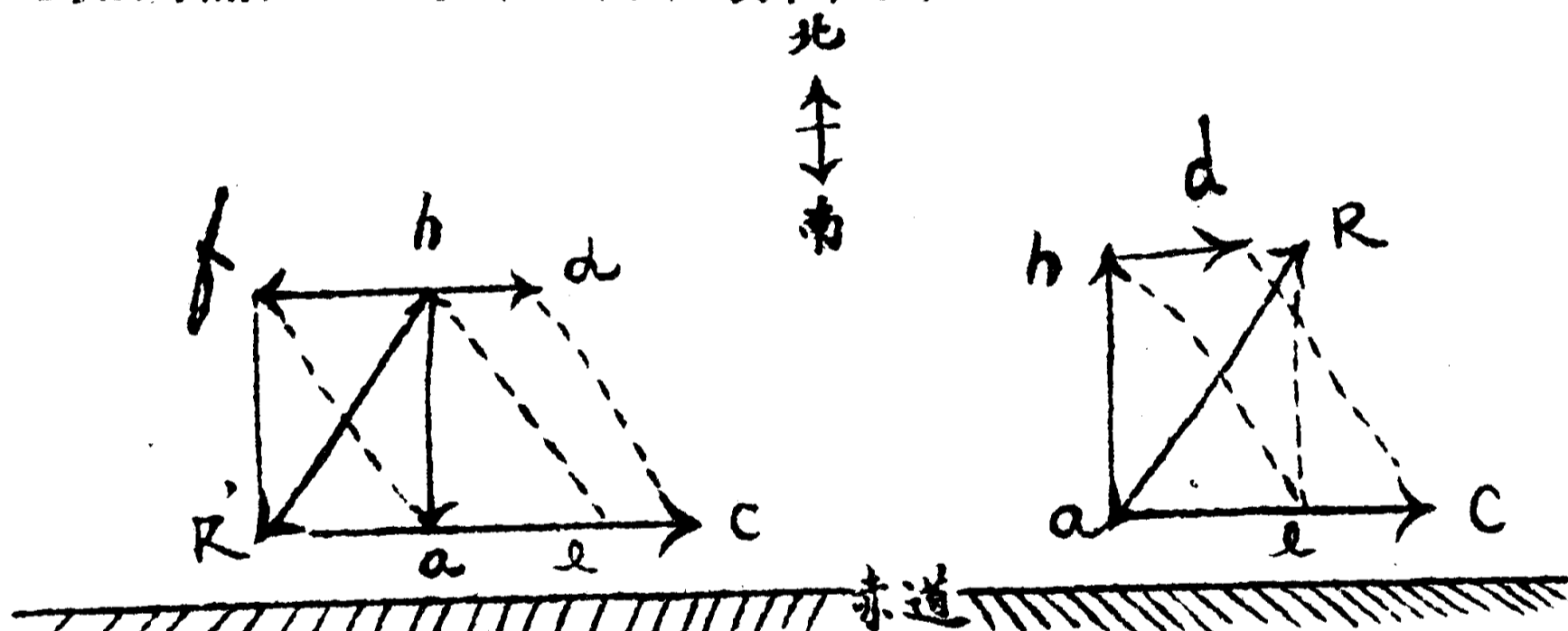
某處之空氣密，即該處空氣每單位體積內之質量多。某處空氣疎，即該處單位體積內空氣之質量較少。故以密度言，上例之甲地空氣為下小上大。而乙地空氣之密度，則為下大上小。流體壓力既如前編所述，其大小與密度成正比例。則甲乙兩地之大氣壓力，在甲為上方大，下方小，在乙為下方大，上方小。於是空氣自壓力較大處流向壓力較小之處，甲地上方遂有吹向乙地上方之風，而乙地下

方則有平吹向甲之風矣。

略言之，同時兩地之溫度如有差異，則兩處大氣壓力亦有增減，從而空氣之流動(垂直與水平的兩種)發生，因成爲風，要亦熱之對流現象也。

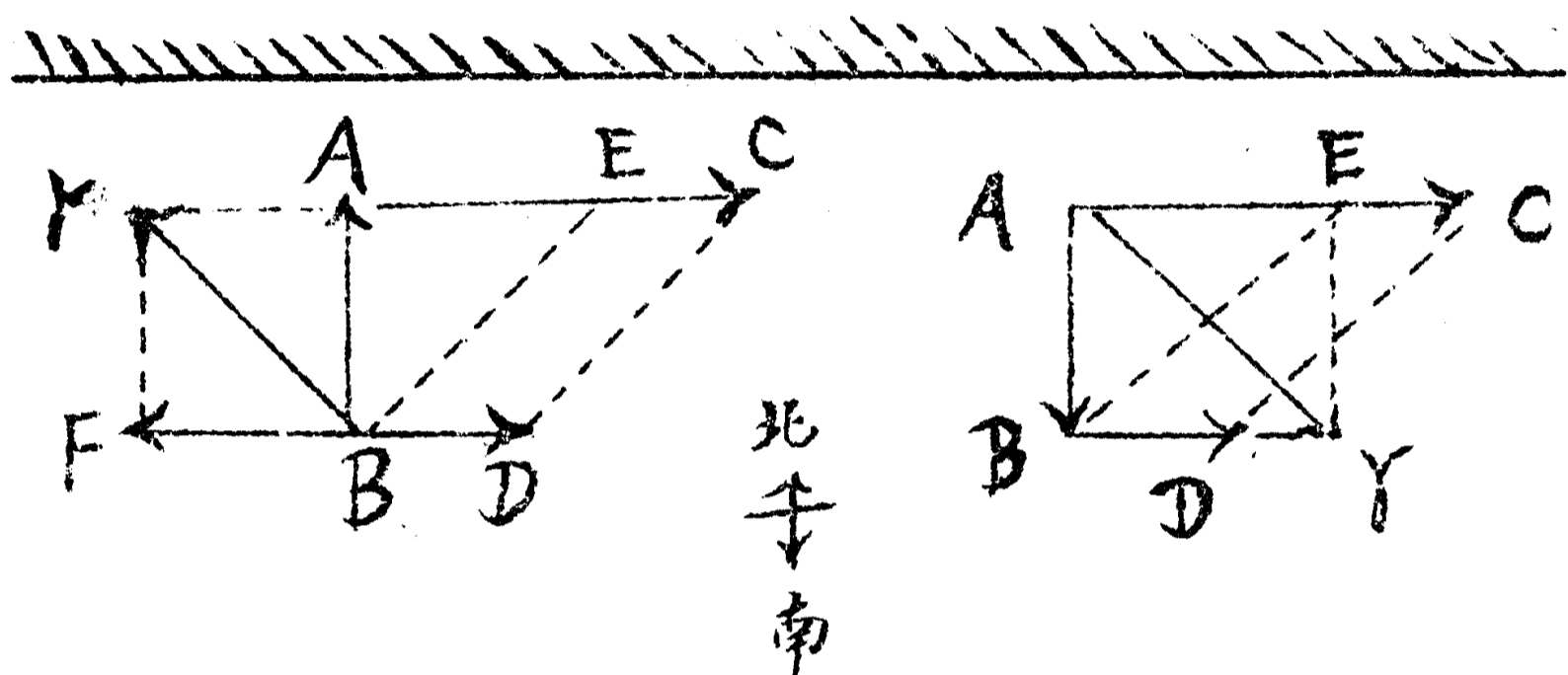
⊙(附) 地球自轉對於風向之影響

地球以南北爲軸，由西向東而自轉，地面物體隨之運行，其速度以赤道爲最大，愈近兩極愈小。風由地面空氣之流動而成，其受地轉影響因亦甚大。



如圖， a 爲赤道以北一點， b 爲 a 之正北一點。兩地 ab 因距離赤道遠近不同，其自轉速度亦異。設 a 處地球自轉速度爲 ac ， b 處爲 bd ，而 bd 小於 ac 。今設有自 a 向 b ，以 ba 爲其速度之風，因對於 b 有 ae (即 $ac - bd$)之由西向東的速度，故風依 ab 與 ae 之合速度 aR 方向而吹。反之，如有風以 ab 速度，自 b 向 a 而吹，則因對 a 有 $(bd - ac)$ 之由東向西的速度〔此因 $bd < ac$ ，故 $bd - ac = -ae$ 而 ae 係由西向東的，故 $-ae$ 有由東向西之方向〕，故風依 ba 與 bf ($bf = -ae$)之合速度 bR' 方向而吹。

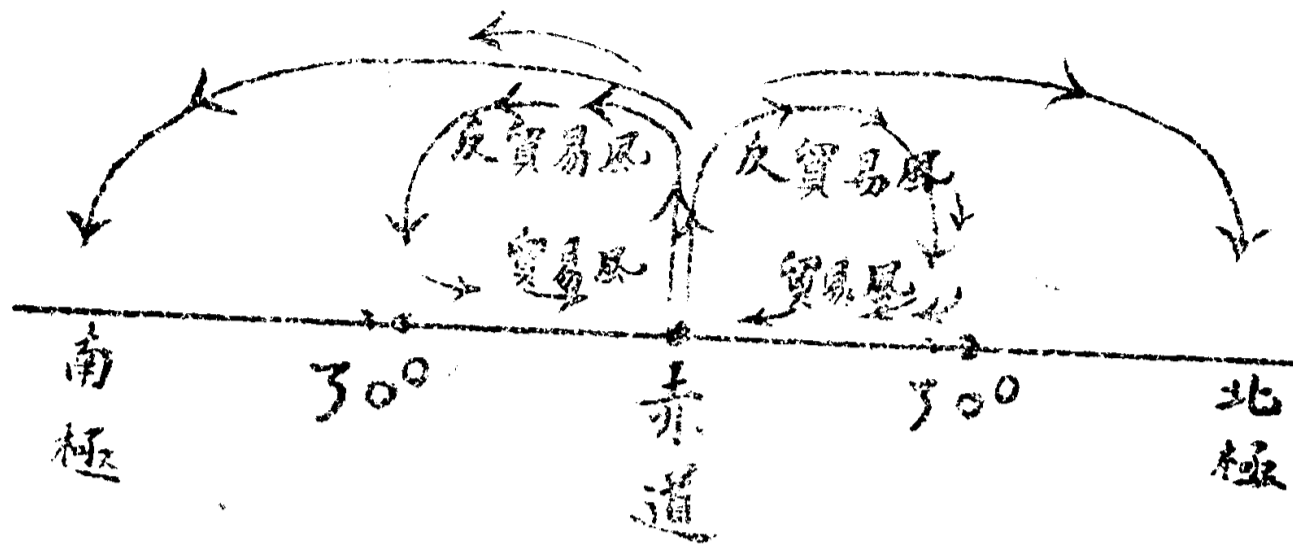
同理，在赤道以南之AB兩地點，如以AB速度自A向B而吹，其實際風向為AY。若係自B向A而吹，則實際風向為BY。



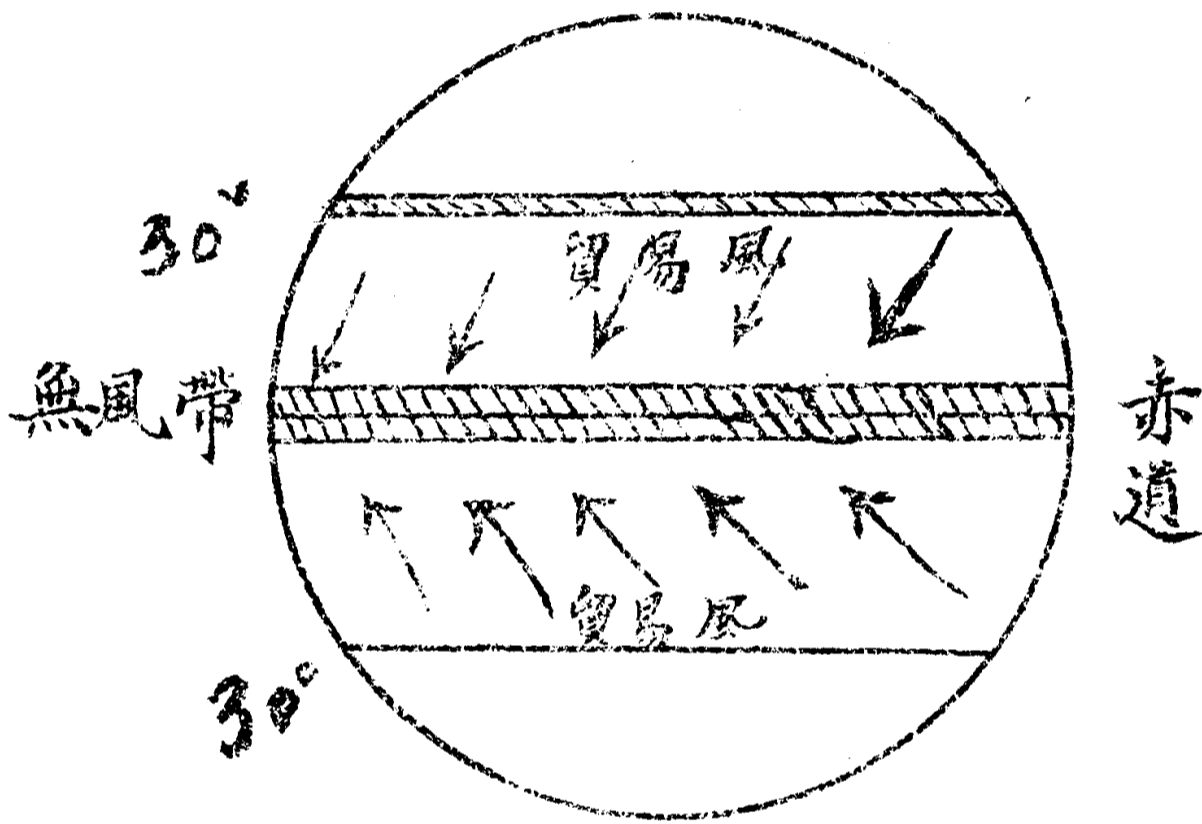
一般言之，因地球自轉之影響，北半球之風其進路恒較原向偏右，南半球之風，其進路恒較原向偏左。

§. 2. 貿易風 在赤道南北三十度緯度以內之海上，常有一定之風，稱為貿易風。貿易風之在南半球者為東南風，在北半球者為東北風，

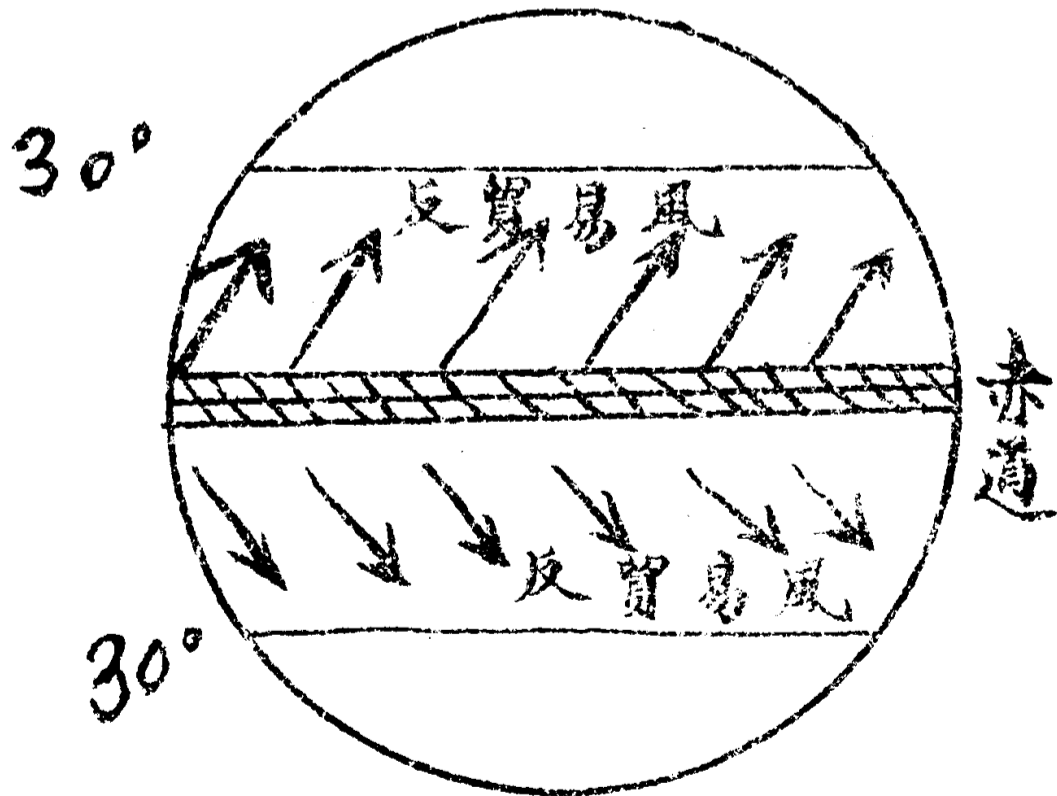
〔解釋〕 赤道地方常受太陽之直射，近地空氣溫度甚高，因而膨脹上昇，發生向上之氣流。此種熱氣漸昇漸冷，其上層空氣漸積漸濃，以地面熱氣上昇不已，不克直墜地面，遂離赤道而四流，直至南北緯30度附近始一部下降地面，一部向兩極流去。赤道地方之下層空氣，因膨脹上昇之故，其氣壓甚低。南北緯30度附近之下層空氣，則因承受自赤道分離而至之下降氣流，其氣壓甚高。故下層近地之空氣，恒自南北緯30度附近流向赤道，遂成貿易風。



北



南
北 (下層氣流)



南
(下層氣流)

次因地
球以兩極為
軸，向東自
轉，地上各
物隨之運動
，其速度以
赤道為最大
，兩極為最
小。故由南
北緯30度附
近正向赤道
而吹之風，
亦因隨地球
自轉之故，
將方向變斜
。(參前條
附注) 由北

半球向赤道吹去之正北風，遂變爲東北貿易風。而由南半球直向赤道吹去之正南風，則變爲東南貿易風。反之赤道上層空氣之向南北分流者，亦變爲西南（北半球）與西北（南半球）兩種風，別稱反貿易風。

赤道附近，因南北半球貿易風之聚合，地面空氣無橫流之現象，僅有熱空氣上昇之作用，遂覺平靜無風，特稱赤道無風帶。而南北緯 30° 附近地面正當上層氣流下降之處，因氣壓甚高，兩旁無復向該處而吹之風，亦成一無風區域，稱南北回歸綫無風帶。故貿易風爲南北回歸綫無風帶與赤道無風帶間之定向的水平氣流。

§. 3. 季候風 沿海地方夏季有由海吹陸之風，冬季有由陸吹海之風。此種由季節而變更之風，稱季候風，或信風。如印度及印度洋夏間不吹東北貿易風，而吹西南季候風，吾國東南海沿岸夏季亦吹東南或西南之季候風，冬季反之。

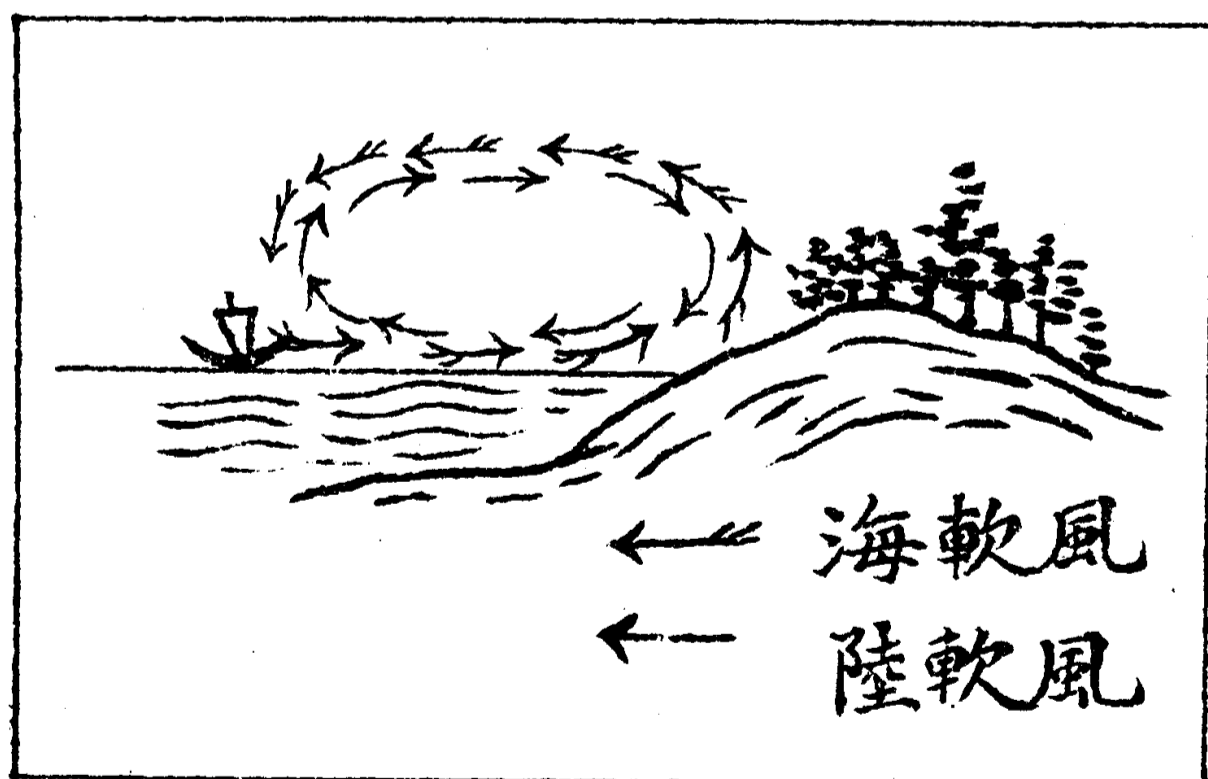
〔解釋〕 海水因比熱甚大之故，不易變熱，但既熱亦難退冷，從而海上氣候之變化。遠不如大陸之酷烈（詳比熱現象章）。故夏季陸地氣溫高於同緯度之海上空氣，而冬季之海上空氣，則恒暖於陸地。此即夏季陸地氣壓比海面爲低，冬季海面氣壓比陸地爲低。所以夏有由海面吹向陸地之風，冬有由陸地吹向海上之風。

印度冬季之季候風爲東北風，與貿易風相合，有相互

助長之勢，吾國東南濱海一帶亦然，但風力皆較夏季為小，亞洲東南部夏季之季候風力獨強，與相反之貿易風消除以後，為勢尚不甚弱。此因夏季之氣溫海陸相差最甚（指 45° 緯度以下之同緯度海陸地方言），氣壓之強弱懸殊，故所成之季候風力特為強大。且亞洲冬季之最冷地方偏於西北，距東南大洋甚遠，而夏季較熱之部則偏於南方。即夏季之低氣壓中心距海洋較近，而冬季之高氣壓中心則遠離大洋。是即季候風力夏強冬弱之故。

§. 4. 晝夜風 沿海地方，晝間常有海風吹向陸地，夜間則有由陸吹海之風。前者曰海軟風(Sea Breeze)，後者曰陸軟風(Land Breeze)，風力均弱。

〔解釋〕 此因白晝陸地氣溫較海面為高，其處氣壓即較



海面為低，而高層空氣則因上昇熱氣之補充，漸次濃厚。故沿海地方白晝之空氣壓力下層較弱，上層較強，海面下層冷空氣遂向陸地氣壓較小之

處流動，即成海軟風。反之，夜間陸地退冷速，海水放熱

緩，其時陸地氣溫低於海面，而氣壓則較海面稍高，其作用恰與白晝相反。於是沿海陸地之下層冷空氣遂流於海面，因成爲陸軟風。但因兩方氣壓相差不巨，兩種風力遂屬微弱。如就各層空氣言之，則白晝下層之風由海吹陸，而上層之風又爲由陸吹海。夜間與此恰反。要之同時發生上下兩層之風，方向適相反對。

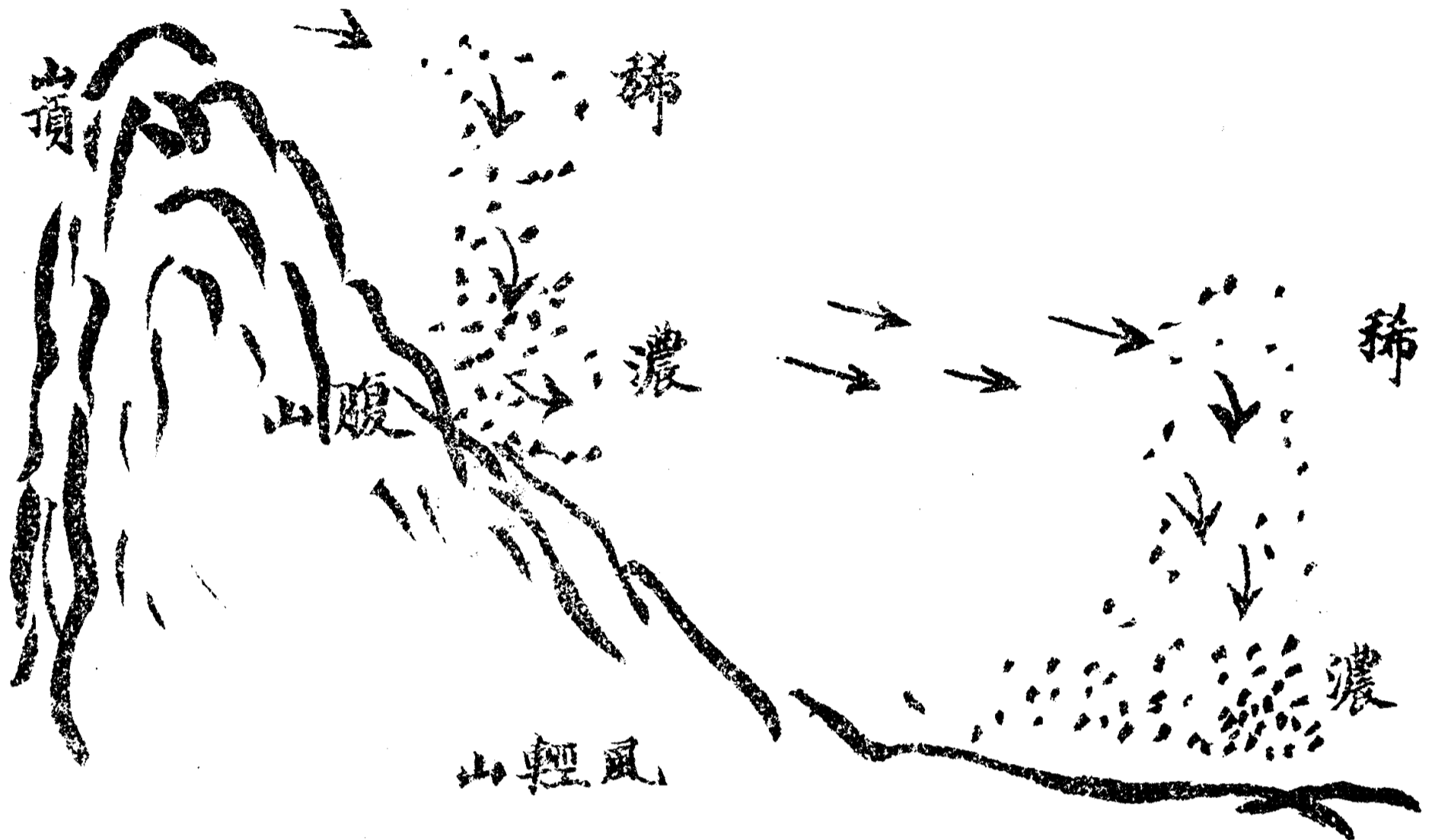
在海陸兩風相互交代之際，有早晚兩時之穩靜期。其時海陸氣溫相差無幾，或直相等，氣壓之大小遂亦約略相同，故得暫時無風。

§. 5. 山風 山間白晝多有由低處向山嶺而吹之風，夜間相反，風由山嶺吹向低處。

〔解釋〕 平地與山腰同受日光照臨，附近空氣亦同行膨

漲上昇，各使其直上之高層空氣變濃。故與平地上層濃厚氣層同高之山腰，因下層空氣壓力減弱之故，平地之高層





空氣遂向之流動。同理，與山腰上層濃厚空氣同高之山嶺，其下層空氣亦受熱(日光)膨漲而稀薄，山腰之高層空氣向之流動，即成由低地吹向山嶺之風(谷輕風)。

夜間地面散熱退冷，附近空氣隨之收縮，上層漸次稀薄。但與平地上層稀薄空氣同高之山腰，退冷較平地更甚(參看輻射現象之高山冷於平地條)，其附近空氣收縮變濃之程度遂較平地為大。故與平地上層稀薄空氣同高之山腰，及更高處之山嶺，其氣壓均略大於平地。所以山嶺及山腰附近之空氣向低地流動，成為山輕風。

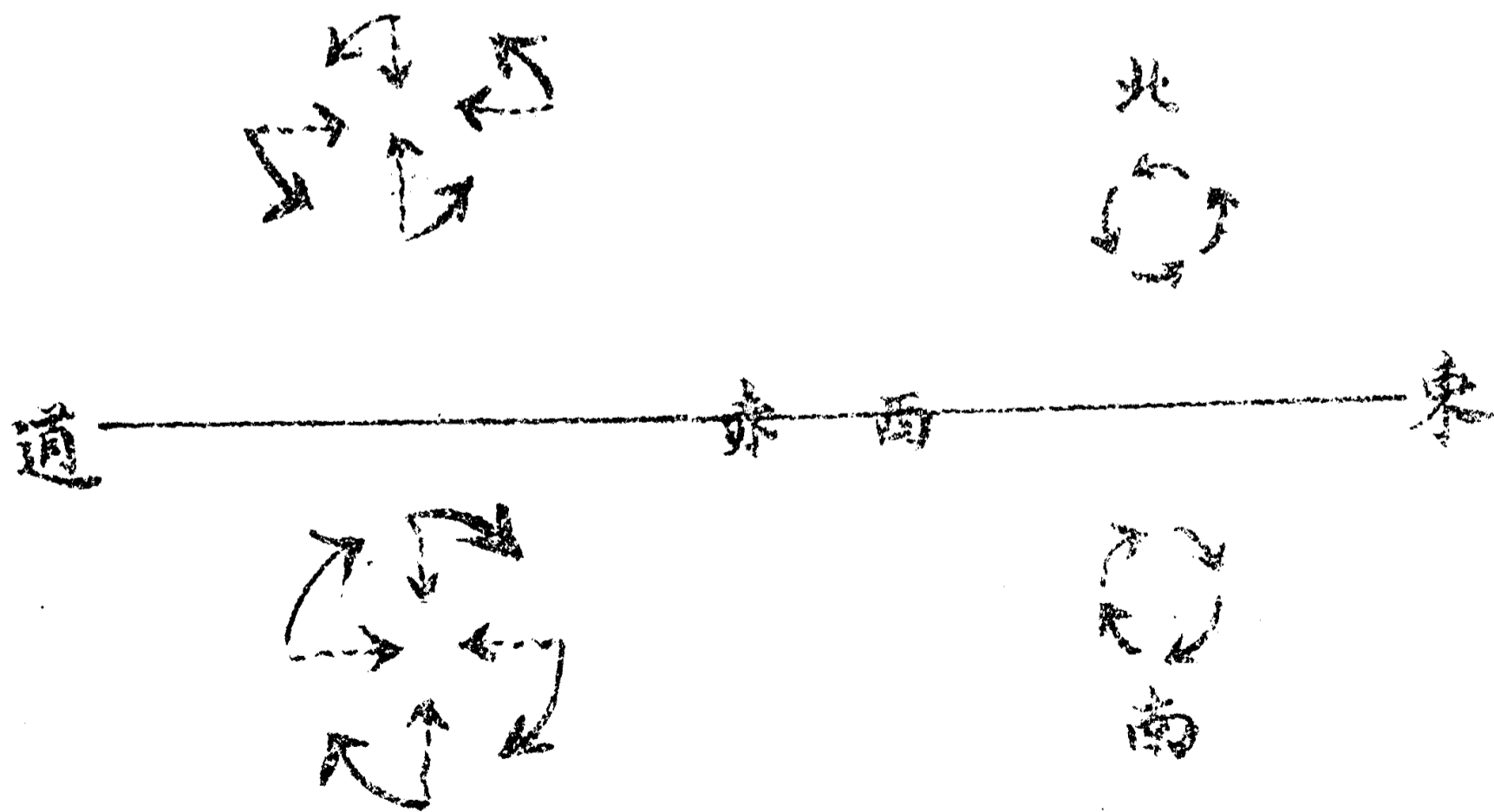
§. 6. 旋風 熱帶諸地，空氣常有旋渦運動，是曰旋風。在中國海及日本海者稱颶風(Cyclone)。旋風起時四圍空氣以某點為中心，由四面螺迴湊集，故四圍風力雖

大，中心則頗平靜。旋風之在北半球者，其旋轉方向與時計之針相反，在南半球者與時針方向相同。

旋風大者，飛砂走石，傾屋拔樹，為害甚鉅。

〔解釋〕 旋風發生之原因，其說不一，較合理者為熱源說與力源說，茲分述之。

(a) 熱源說 此說大意謂空氣潮濕而平靜之地，一旦氣溫較周圍地點為高，則發生一低氣壓，四圍空氣即湊集其處。此低氣壓之發生，由於其處空氣被熱上昇，而四圍湊集之氣流，其速度比例於此種上昇運動之強弱。又因地球自轉之影響，在北半球由北向南之風恒偏向西方（即成東北風），由南向北之風則偏於東方（即成南東風）。對低氣壓自西向東之風，遂受偏西氣流之牽掣，略向南偏。



而自東向西以吹於低氣壓之風，又受鄰近偏東氣流之牽掣

略向北偏。結果在北半球向低氣壓處湊集之空氣，恰成一與時針反對之迴旋的圓運動。同理，在南半球對低氣壓處湊集之風向，亦因地轉影響，促成旋迴運動，但旋轉方向則與時針相同，蓋南半球之風向均偏於左方也。（參看第一條附注）

由熱處發生低氣壓，其周圍空氣終成旋迴運動，其運動又因四圍空氣之強逼而亦上昇。又因空氣潮濕，低氣壓中心上昇氣流之水汽凝結放熱，退冷遂微，因而在高空成一較周圍為暖之氣柱。上昇空氣既能於高空保持較周圍為暖之熱度，則其上昇運動自可賴以久存，從而其所引起之迴旋運動——旋風——亦能保存於相當時間之內矣。故旋風發生多於熱帶靜風區及海面上，蓋其處空氣較濕，低氣壓之保存容易，旋風之壽命因亦較長也。反之，若一處之空氣既甚乾燥，又極不平靜。則縱有兩地點溫度之變差，可因空氣之流通而平均，旋風發生極難。即偶成旋風，亦因上昇氣流之退冷甚易，不久又將低氣壓消滅，而旋風存在之時間仍甚短促矣。

(b) 力源說 此說謂旋風之迴轉運動猶如兩速度不同之水流相混而生旋渦。旋風之低氣壓軸為垂直的，先生於高空，次下降於地面。其發生也蓋由於大氣中相隔兩氣層速度之不同，初與地面無若何之關係，其存在與發生均在高空云。

氣象學家由雲之觀測，證明大氣中嘗有相疊或相附兩氣壓，其運行，溫度，及濕度均絕對相反。故此等氣層如相磨而混合，必有穩固與不穩固之分。設相混後動擾不寧，混合之區域既廣，動擾愈益猛烈，終於某部發生低氣壓，再受地球自轉之影響，遂成旋迴運動，又因離心力作用，其圓運動中心氣壓愈低，而旋風於以成立，於以保存矣。

按熱源說於熱帶靜風區之旋風自屬適宜，但於中緯度地方冬季發生之旋風，則難解說。蓋地面之熱中心既少，濕度亦小也。故力源說亦有相當之價值。

§. 7. 龍捲(即捲風) 近地大氣發生旋渦運動，下吸海水或砂土以上騰空際，遠望若龍尾下垂，故稱龍捲。龍捲上部為濃黑之雷雨雲，雲下垂若漏斗，水柱(或挾帶砂土之氣柱)乃自海面(或地面)突接成一體。

〔解釋〕 龍捲可視為旋風之小者，唯發生之原因不能以熱源說解釋之。蓋龍捲多發生於陰天，又其上部有甚厚之雷雨雲，且龍捲之始點亦多係雷雨雲，故知地面之冷熱於龍捲無直接之關係。又龍捲之軸不直而斜；遠望連於龍捲之雷雨雲，其上端常為積濃雲，無甚變象，亦無旋渦運動；即龍捲發生之原地必不過高。故引力源說而謂此種旋迴運動——捲風——生於高空，亦與龍捲實情不甚符合。

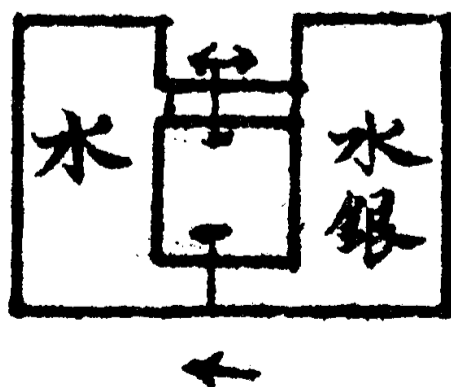
故龍捲之發生，可謂其由於兩層氣流速度不同，混合

時發生旋渦運動，唯其發生處不在高空，而在雷雨雲（約高一二千公尺）之底下。此種運動之速率愈大，其中心氣壓愈減，四圍空氣壓挾海水或砂土而上騰，乃成龍尾狀之柱體。若其處空氣頗為潮濕，低氣壓因濕空氣之凝結放熱，賴以暫存不滅，則懸垂之柱體亦可保持稍久。

§. 8. 海流 海底深處之水不甚流動，但海面之水則運行頗有常規，是為海流。全球海流大體與空氣流行之方向相同。

〔解釋〕 海流發生之原因，其說不一，大體不外次列三種：

(a) 海水溫度之差異 熱帶海水受太陽熱力較強，因之膨漲而減小其比重。近兩極之海水因寒冷之故，縮小其體積，而比重遂較為加大。比重較大之海水下沉於底，漸向熱帶海水下方流去，熱帶海面之熱水遂分向兩極流去，以成海流。此與熱帶地方上層空氣向兩極流去，而南北緯度 30° 附近之下層冷空氣則向赤道而流者，其理相同。又如以水銀與水各盛管內，另以附有活塞之小管二枝，分連於水銀管與水管之間，如次圖所示。則將小管活塞同時啓



開，當見水銀自下方向水內流去，而水則自上方流入於水銀表面。故謂海水因溫度有差異，其比重遂大小不同，因而促起流動，尚無牽強之處。不過事實上海流方向

與氣流相同，謂其發生原因毫與大氣無關，亦非精密之論。

(b) 海水表面高低之不同 海水因溫度不一致，熱帶海水遂特為膨漲，其處海面較兩極附近之海面為高，遵循由高就低之例，海流於以發生。

此說理由不甚充足，由連通管內流體平衡之理觀之，若兩種流體比重不同，則兩流體之表面可以不在同一水平面上，而兩方之高度與其比重成反比例，故連通管內水銀柱比水柱之高約小13倍時，兩方之流動可以停止。海水雖因冷暖不同，漲縮之度各不相等，水面至有高低之差，而水面較高之熱海水，其比重却較冷海水為小，何能僅以其表面略高，遽決定其必起流動。故此說仍須加入流體比重變化所生之影響，始較圓滿，竟可與(a)說合併為一。

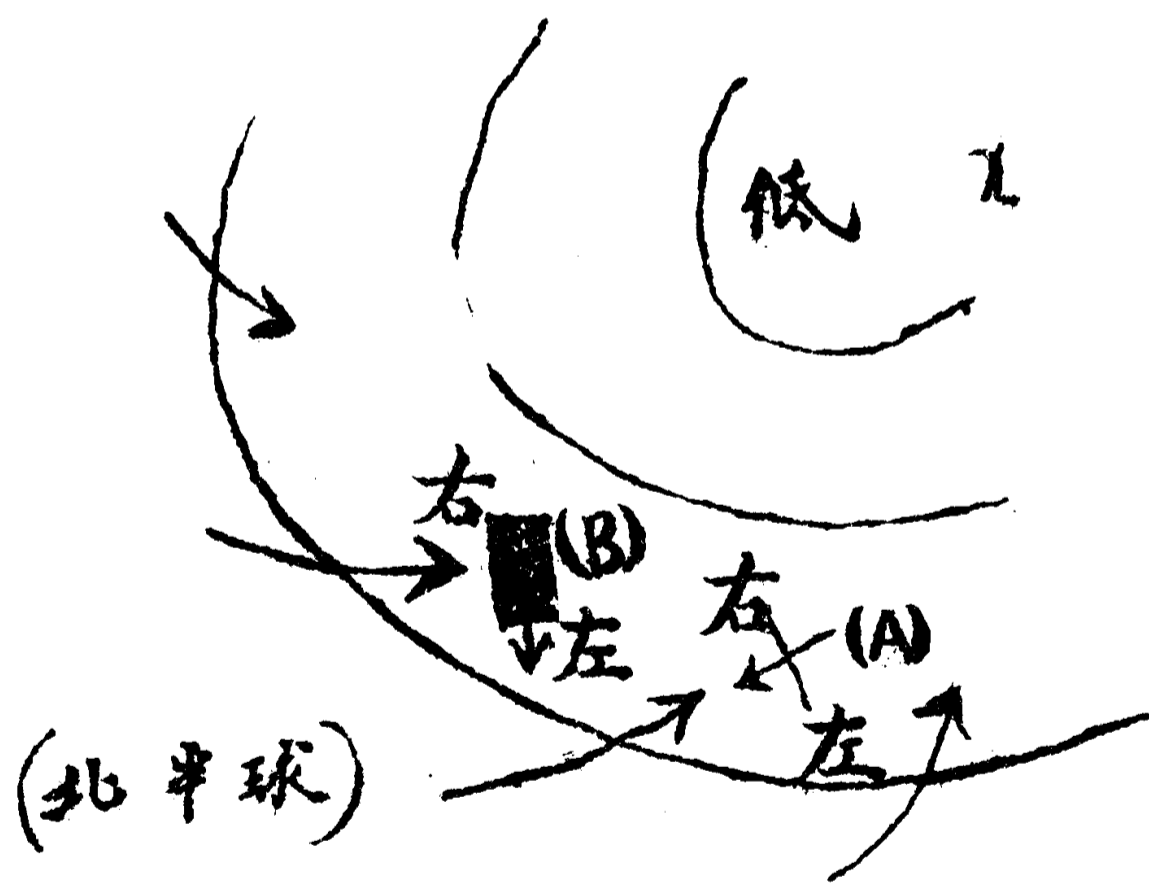
(c) 空氣流行時之摩擦 下層空氣流經海面，與海水日相摩擦，作用之時間既久，風力遂挾之流行，因促成與風同向之海流。

此說雖大體與事實相合，但海水所受溫度之影響亦巨，不能棄置不顧，且起風之原因亦以溫度之變差為主要。故海流之發生，宜以熱力與風力同為主因，不必有所偏重。

§. 9. 航行於熱帶者，凡遇氣壓突然下降甚巨，天空陰暗，風力強大，疑旋風(或颶風，暴風)將至，即須使船

切風而行，在北半球者令其右舷受風（在南半球者以左舷受風），迅速行駛，以避大難。

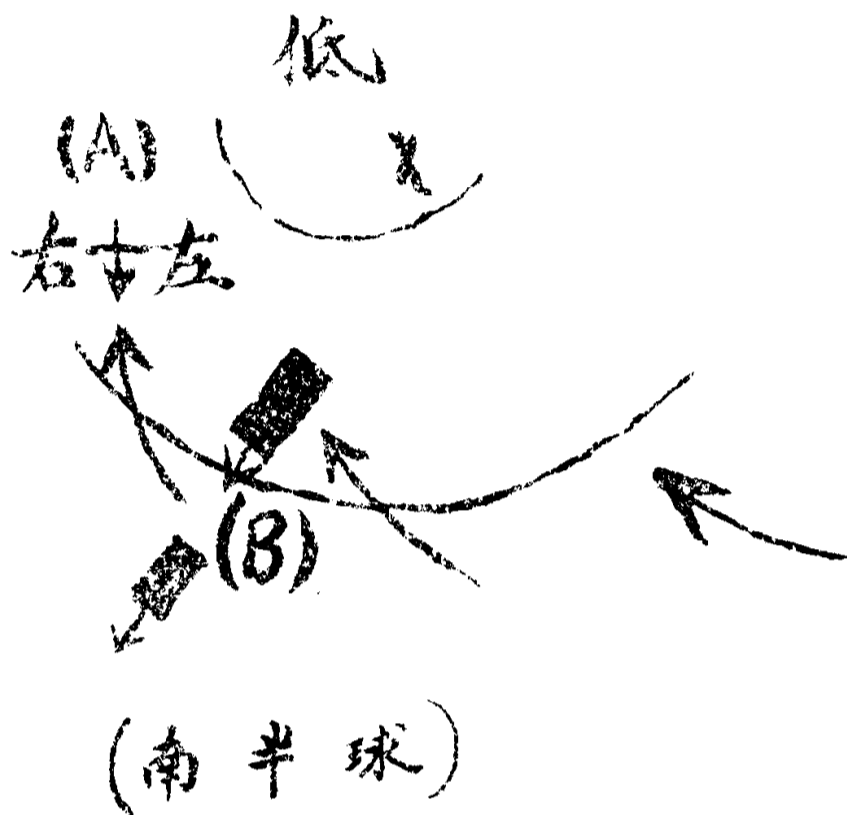
〔解釋〕 無論旋風或颶風，均有一低氣壓，在低氣中心近旁之風力特為強大。故航行時須力求遠離此種低氣壓中心，始可幸保平安。按第七條所述，北半球之旋風，其旋轉方向——即周圍低氣壓中心之風向——與時針相反，南半球之旋風，則循時針方向而旋轉。故人若對風而立，則北半球旋風的低氣壓中心在其右方稍後之處，而南半球旋風之低氣壓中心則在左方稍前之處，是為北依巴洛公例。



故遇旋風之來，不難引用北依巴洛公例，以決低氣壓中心之方向，而勿向之駛行。但低氣壓所在之處，風皆向之猛

吹，若順風航船，勢必陷入低氣壓中心。若逆風而行，又苦於阻力太大，且離低氣壓中心亦近。故於北半球唯有以右舷當風，於南半球唯有以左舷當風，如是切風疾駛，較

易與低氣壓中心遠離，容可脫出危險區域。如圖，在北半球



之人依 (A) 之方向迎風而立，決定低氣壓所在之處大約為 X，次乃轉其船如 (B)，令右舷向風，背 X 而行，即可脫出危險。

在南球時，其趨避法如 (ii) 圖所示，不再贅述。

第五章 輻射現象

§. 1. 熱物體置空氣中不久即冷。

〔解釋〕 熱物體因周圍之空氣發生對流作用，至散失其一部分熱量，同時該物又向外直射放熱，愈使其熱量減少。至該物溫度與四圍空氣一致時，始不再冷。

熱自熱源向各方直射外散時，稱其作用曰熱之輻射，由輻射而至之熱稱輻射熱。輻射熱不需物質作媒介，亦能傳播自如，故太陽熱力可經過真空以達於地球。輻射熱達於他物表面時，或反射而變其播熱之徑路，或透入而屈折其熱綫之方向，或被吸收以增高其物之溫度，均隨物體之

性質而有不同。熱之直進，反射，屈折，以及分解諸作用，均與光綫相類似，可參看光學現象篇。至熱物體之輻射作用的強弱(即放射熱量的多寡)，雖與該物溫度成比例。但亦因其表面之性質與狀態而有差異。據實測，熱物表面為煤煙或鉛白時，射出熱量最多，金屬概少。而金屬表面之磨光者，其放射熱量皆較未磨光者為少。

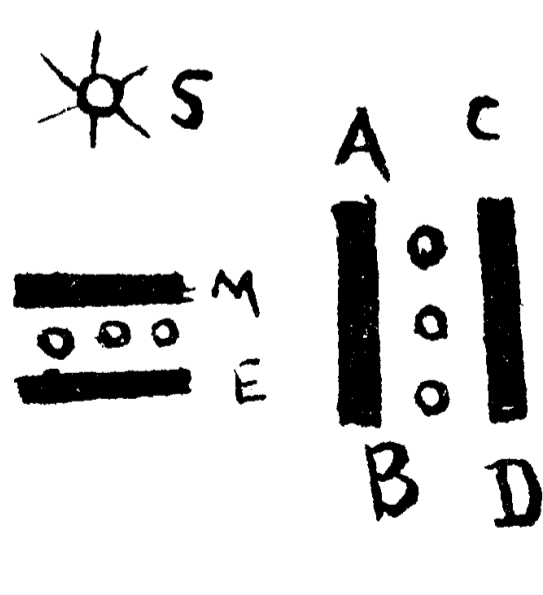
§. 2. 冬衣尚黑，夏衣宜白，

〔解釋〕 輻射熱遇黑色物體即被吸收，而使其物溫度升高。冬衣尚黑，取其能吸收太陽熱力，較為暖和也。白色物能反射輻射熱，其吸熱之量極微(可視為零)。故夏衣宜取白色，因在日光下能反射太陽熱力於體外，較為涼爽也。

§. 3. 畦(種菜亦然)多取南北方向，鮮有東西橫列者。

〔解釋〕 太陽之視運動乃自東向西，並略偏於南。今向

南北方向開畦，如次圖，AB及CD為畦埂(即凸起之土堤)，於兩埂間種花(或菜)，則花受日光照臨之時間較長，即受太陽之輻射熱量較多，因不為畦埂陰影所遮蔽故也。若畦硬東西橫列如ME



，則太陽S之光綫於斜射時，每使(畦硬)生由南迤北之陰影，種於畦內之花草受其蔭被，而取得太陽輻射熱之分量

遂被減少，發育因不旺盛，或成熟特爲遲緩：故須南向開畦。

§. 4. 溫室皆向南方安置玻璃。

〔解釋〕 玻璃能透過太陽之輻射熱，並微能吸收之，故日光經玻璃入室，有增加室內溫度之効。且暗熱綫（不發光之熱物體所放出之輻射熱綫）難於通過玻璃，既入室內之輻射熱被室內各物吸收後，雖亦於低溫度復將其熱放出，而不能通過玻璃以散失於室外。故室內溫度賴玻璃透入太陽輻射熱以昇高於前，又賴玻璃阻止暗熱綫之透出，以保持不遽退冷於後。至窻之向南安置，則與花畦之南北併列相同，因太陽略向南偏，又係自東轉西也。

§. 5. 每日最熱之時不爲正午，而在午後一時至三時之間。（多在午後二時左右）

〔解釋〕 空氣能透過輻射熱，而不能吸收之。地面空氣之所以有冷熱者，全由地面吸收太陽熱力後，向空放熱，使近地空氣起對流作用，因得漸漸變暖。且近地空氣因雜有塵埃水汽，等物，亦略能吸收輻射熱。物體放熱（輻射作用）之強弱與其吸收輻射熱之多少成比例。正午日光直射地面，地面吸熱最強，放熱亦甚。但無論何時，地面所受之熱均增於已受之熱力上，故正午地面受熱之量大於放熱之量，空氣溫度尙有再昇之勢。過正午以訖日沒，地面受熱之量漸減，必有一時爲所受之熱等於所散之熱，而空氣溫度不能再昇，即成一日之最高溫度。吾人遂於最高溫

度發生之際，覺其爲一日最熱之時。

§. 6 每日最冷之時不在夜半，而在黎明。太陽方昇之前，卽一日溫度最低之時也。

〔解釋〕 如上條所述，地面受熱之量自正午起，漸漸減小，迨過某點而氣溫漸低。至翌晨太陽初昇，地面始又漸增熱量，氣溫復行上昇。故黎明太陽將出地平之時，空氣溫度降至極點，成一日之最低溫度。蓋太陽一出地平，空氣溫度隨之漸昇。而太陽既入地平，則溫度隨之降落。兩種昇降相反之作用，於某兩點爲區分之界限，遂成一日之最高與最低兩溫度。

§. 7. 樹木豐富之庭院，室內特爲涼爽。

〔解釋〕 此有兩種原因。(一)樹木枝葉遮蔽日光，阻碍輻射熱之侵入室內，及射於地上。室內受烈日影響較微，溫度不至過於升高，比較無樹木蔭蔽之房屋，自覺特爲涼爽。(二)由樹木葉部之蒸發，能使林內空氣增加水蒸氣少許。水蒸氣有吸收熱力之效，故室內溫度受其影響略爲減低。

此兩者之中，以第一原因爲最重要，因輻射熱生效最速之故。

§. 8 積雪之純潔者，雖受日光照射，亦不易即時融化。然雪中雜有塵土泥垢時，融化較爲容易。

〔解釋〕 此因純潔之白雪能將太陽之輻射熱反射於空氣

中，而泥土等雜質，則極易吸收輻射熱（色黑者尤甚）。故雪堆中之雜質因吸收太陽熱力而昇高其溫度，有助雪融化之效。而雪之純潔者反不能利用太陽之輻射熱，如空氣溫度不到攝氏零度以上，即不能於日光中融化。

§. 9. 冬日室外空氣溫度若恰為 0°C ，或尚在 0°C 稍下，雪堆當日光之面仍能融化，且融化之遺留物恒呈蜂窩狀。

〔解釋〕 此指含有泥土雜質之雪堆言。其時空氣溫度雖為攝氏零度或比 0°C 稍下，但黑色之泥土於吸收太陽熱後，可熱至零度以上，故與此等雜質相接觸之積雪為之融化。又因雪內雜質多少不勻，亦有毫無黑色泥土之部，融雪遂有廣狹深淺之分，並有毫未融解者，結果乃成蜂窩狀。蓋雪融化時，由外及內之徑略，皆循日光投射之方向，故遺留之凹隙空洞齊向一面，略如蜂窩形狀也。

§.10. 測室外溫度之寒暖計，須置於空氣流通之百葉箱內。無有露置空中者。

〔解釋〕 吾人尋常所謂某地某時之溫度，均指其地其時之空氣溫度而言。若露置寒暖計於日光下，則因直受輻射熱之故，所示溫度較當時氣溫為高。（若以測當時太陽之輻射熱，又覺較低，須另用塗有煤煙之太陽光熱計。）百葉箱四圍之空氣與箱內空氣交流不息，雖箱之外壁亦吸收太陽熱力，仍不能使箱內空氣溫度與箱外空氣略有差別。

故置寒暖計於箱內，可避太陽輻射熱之影響，實測空氣之溫度。

§.11. 冬季晴夜寒冷較甚，陰夜反較暖和。

〔解釋〕 晴夜無雲，地面放熱無阻，退冷甚速，故較寒冷。陰夜多雲，地面輻射熱之放散受其阻碍，退冷遂緩，溫度無巨大之變差，故較晴夜爲暖。（爐火四圍有物遮蔽時，特覺其暖。若移空敞之地，即否。理同本條。）

§.12. 夏日打傘，較赤首露晒者爲涼。室外日光下則比室內或陰處爲熱。

〔解釋〕 傘與屋頂有遮斷太陽輻射熱之效，故覺其涼。室外直受日光之曝晒，故覺其熱，均輻射熱之作用也。

§.13 高山比平地寒冷。

〔解釋〕 高處空氣比近地空氣清潔，含有塵埃水蒸氣等雜質較少，從而吸收太陽輻射熱之分量既極微弱，對於高山地方放出之輻射熱亦難吸收保存。且四圍高山之空氣，因距平地遠，本身又不能吸熱，其溫度常較平地空氣爲低。即有由平地對流而至之熱空氣，亦已退冷頗甚，遠不如初離地面時之熱。故高山地方之空氣溫度不特難於升高，即已甚熱，退冷亦較平地爲易，因四圍均係冷空氣也。

或由高處空氣之水蒸氣較少，壓力較小，兩端考之，亦易知空氣溫度隨高度而減低。蓋空氣愈乾燥，愈不能吸收或保存輻射熱。而近地空氣於上昇時，又因自行膨漲之

故(氣體壓力小，則體積大)，耗費其熱力之一部於膨漲之工作中。離地愈高，空氣愈乾燥，壓力愈減小，上昇空氣之退冷自當更甚。大約每上升一百零一公尺，溫度約低降攝氏表一度。然則高山不特冷於平地而已，且其寒冷之程度略與其高度成比例矣，

§.14. 用金屬作成之水壺酒壺等物，其表面均須磨光。

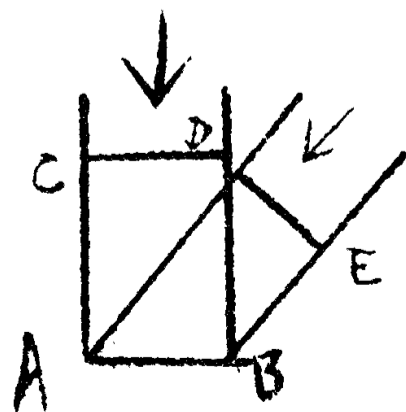
〔解釋〕 此因金屬表面之粗糙者，放出輻射熱量較多。將表面磨光，則放熱量減少，壺內物體退冷不至甚速。

§.15. 冬日孤立空曠處日光下，不如於墻下(或壁角)曝曬之暖和，雖無風時亦然。

〔解釋〕 此於白粉墻最顯著。因太陽之輻射熱經墻壁反射，其附近遂特為溫暖。

§.16. 老光鏡對日光所得之光點，可使尚有灰燼之紙筒再燃。

〔解釋〕 此因太陽之熱綫透過玻鏡而屈折，屈折後交於一點，熱力遂強，因可點燃紙筒餘燼。本條及前條各與光綫之屈折反射相同，參看第四編各章自明。



§.17. 夏季溫度高於冬季之故。

〔解釋〕 冬季日光斜射地面，夏季日光與地面之傾斜角較小。且夏季之日照時數亦較長於冬季，(每日太陽實際照

臨地面之時數稱日照時數)。故地面所受太陽之輻射熱量於夏季較多，冬季較少。因而夏季比冬季為熱。如圖，A B 面所受熱量以熱線垂直投射時之 C D 為最多。以後無論熱線左傾或右斜，A B 面上所受熱量均較 C D 為小。

§.18. 精良之保溫瓶，其復壁外層之內面，及內層之外面，均須鍍銀。

〔解釋〕 保溫瓶(即溫水瓶)為一圓筒狀之複壁瓶，兩壁之間係真空。瓶內熱力不能由傳導及對流兩作用外散。但能由瓶壁放出輻射熱。金屬之磨光表面，其放射能最小，銀質尤甚。故於保溫瓶複壁之內外兩面須各鍍以銀，始能保持瓶內熱量不至外散。

第六章 比熱現象

§. 1. 難熱之物體(如水)，冷卻亦難。易熱之物體(如銅，鐵，…)，冷卻亦易。

〔解釋〕 使一公分之物體溫度升高攝氏表一度，所需之熱量，於各種物體各有其一定，是為各物之比熱。物體難於變熱者，即其比熱較大，須吸入多量之熱始能將溫度升高。故比熱較大之物體既已變熱，必其含有之熱量頗多，從而向外放熱之時間自長，即冷卻不易也。反之，物體易於變熱者，必其比熱甚小。而比熱較小之物體雖已變熱(即溫度頗高)，其含有之熱量則不甚多，從而向外放熱之時間不能延長，故冷卻較易。

§. 2 大陸氣候，變化酷烈，海洋氣候，多屬平和，無過熱過冷之虞。

〔解釋〕 海水比熱較陸地各固體物質爲大，故海水在夏日不如陸地之易於變熱，在冬日亦不如陸地之易於退冷（晝夜亦有同樣關係），海面氣溫之變化遂較地面氣溫之變化爲小，因之海洋氣候夏不如大陸之熱，冬不如大陸之冷。

§. 3. 旅行撒哈拉大沙漠者，皆知白晝雖極感灼熱之苦，入夜仍須以草藁等物遮蔽盛水之土器，否則水結爲冰，容器將被漲破。

〔解釋〕 沙漠地方，水草甚少，空氣極爲乾燥。因砂礫等固體物質之比熱極小，故沙漠地面白晝易於吸收太陽之輻射熱以增高其溫度，同時亦向空輻射，使地面空氣變熱。入夜則以放熱太甚，退冷過速，乾燥空氣又無吸熱保溫之作用，其時氣溫遂驟然低降。且土器內之水，因當地空氣太乾燥，亦由器壁小孔自行蒸發，於蒸發中消耗熱量一部，亦足使水之溫度略爲低降，再受當時寒冷影響，不難凝結爲冰。故須用草藁等不良導體遮蔽土器，使器內之水散熱不易，器外寒冷影響不至深及器內，始可保無凍裂之虞。

§. 4. 森林草澤之地，比赤堦之區，氣候較爲調和，少激鉅變化。

〔解釋〕 各種草木均有供給當地空氣水分之力，因植物有蒸發作用，能於葉面放出水蒸氣故也。叢林密葉，雨水賴以保留者不少，故森林地面又較無樹木之區為潤濕。乾燥空氣之吸收熱力，全賴其中含有塵埃，而塵埃與砂礫土石等固體物質之比熱均屬微小。故赤堽乾燥之區，變熱與退冷，皆較潮濕空氣及潤澤地面為容易，此即草木豐盛之地，所以氣候較為調和也。

§. 5. 落花生須與細砂混置鍋中，加熱炒之，始能均勻脆熟。

〔解釋〕 砂粒比熱小，於熱鍋內極易全體變熱。落花生雜沒砂內，受各方熱砂之包蔽，即每顆落花生之各部分同時受熱，其熟脆之程度因而較為均勻。若單獨置落花生於熱鍋內炒之，則與鍋面相觸者較熱，其未觸鍋面較冷，即每顆各部分受熱之程度亦參差不齊。結果必至生熟焦脆兼而有之。炒米及砂豆必於細砂中舉行，理與此同。

§. 6. 作化學實驗者，常置燒瓶於砂盤上，再於盤底生火，使燒瓶間接受熱。

〔解釋〕 此有兩種原因；(一)，先熱砂盤，燒瓶底部無驟然受熱之虞，局部膨漲所引起之破裂，可以免除。(二)，砂粒易熱，於砂盤底部加熱，不久即使燒瓶亦間接受熱。唯燒瓶底部埋入砂中，其受熱面積較為增大，是其益處。且瓶底與火焰斷絕，受熱之勢究不如直接加火之猛烈，

因大熱而起之危險，較難發生，又其優點。

§. 7. 寒地冬季窗壁上之銅鐵釘頭，易生白霜。木釘則否。

〔解釋〕 金屬之比熱均甚微小，故釘頭(銅或鐵)退冷特爲容易，一旦冷至攝氏表零度以下，則含有水蒸氣之空氣即於其上凝結爲霜。木質之比熱較銅鐵等物爲大，故退冷比釘頭爲緩，結霜遂亦較難。

§. 8 湯婆子皆用熱水之故。

〔解釋〕 用銅或錫作瓶，盛熱水其中，置衾中暖足，是爲湯婆子。水之比熱大，其退冷頗緩。湯婆子之注以熱水，即取其放熱時間較長，足供終宵享受也。

§. 9. 砂漠地方不宜耕種。

〔解釋〕 砂地易熱易冷，溫度變化較大，又不能停蓄水分，於植物之發育成長均多窒礙，故砂漠地方難於耕種。

第七章 融解現象

§. 1. 取冰兩塊，相重緊壓，釋手視之，已凝合爲一。

〔解釋〕 固體融解點之高低，與所受壓力之大小略成反比例(此指由液態凝固時膨大其體積者言)。壓力愈大，融解點愈低，即融解愈易。冰塊相合緊壓時，其相互接觸處之冰，因驟受大壓力，融解點爲之低降，遂有一部分融解爲零度之水。然一釋手，壓力忽減，與未壓時無異，故零

度之水復結爲冰，使兩冰塊凝合爲一。

§. 2 冰川——高山寒地積雪太厚，終年不消，其下部漸漸融化，流成綿延凍結之冰塊，充谷填澗，有婉轉數十百里者，是曰冰川。

〔解釋〕 積雪或積冰既厚，底部之雪或冰塊，所受壓力遂大，因而降低其融解點，化爲零度之水。此種在大壓力下融化而成之零度的水，一經流出積雪或積冰之範圍，即因壓力驟減，復行結冰。如是，積雪或積冰下部，因受大壓力而遞次融解，隨復凝結，再助以溪谷之峻斜，此累次凝結而成之冰遂互相排擠，向下移動，終成河川形式。

§. 3 大雪時，兒童壘雪作像，甚易完成。如天氣太冷，即隨壘隨散，塑像反不容易。

〔解釋〕 如天氣不甚寒冷，雪之溫度去攝氏表零度不遠。以手捏雪塑像，雪即隨手之壓迫而融解，繼又於鬆手減壓之頃復行結冰，故塑像甚易成功，因結冰作用可增長散雪之團結也。若天氣太冷，雪之溫度去攝氏表零度尚遠，僅僅手掌握拍之力，不足使雪之融解點低至當時氣溫以下，因無融解及復冰兩現象，雪遂極形渙散，不易塑成雪像。

§. 4. 投冰塊於沸水中煮之，水之沸騰立止。稍俟取出殘餘之冰塊，每見其分量雖減，而溫度則毫未升高，寒冷如故。

〔解釋〕 固體於受熱融解中，無論如何加熱，仍保其融解點之溫度不變。必全體皆已融解為液，始隨所加熱量而升高其溫度。蓋此時外加之熱力，悉為反抗分子力之作用，使由固體狀態變成分子運動較為活潑之液體，不及對外為熱的表現也。故以冰塊(頗大的)投沸水中，於短時間內冰尚未全體融化，取出殘餘之冰塊驗之，其溫度仍為攝氏表零度(冰之融解點)，不能較前更熱，因在沸水內所受之熱力已對冰塊分子作相當之工作，不能同時使未融化之冰塊升高其溫度也。又冰於融解中吸入水內之熱甚多 \odot ，且此種吸熱作用，於冰未完全融化之際，極積進行不已，水內熱量之消耗亦遂隨之加多，故冰塊投入沸水後，可以停止其沸騰。

\odot 據實測，使一公分之冰全融為 0°C 之水，需熱量80加路里 (Calorie)。而每一加路里之熱，足使一公分之水，升高溫度 1°C 。

§. 5. 化雪之際，天氣並不覺暖，有時且覺其較化雪以前為冷。

〔解釋〕 固體融解為液時，須吸入一定之熱量(供其分子變更狀態之用)，為其融解熱。雪於融化中因亦自空氣內吸入融解熱，遂使當時氣溫為之稍低。且化雪天氣多係晴朗無雲，於地面之放熱退冷，毫無所阻，亦足增加寒冷之程度。故積雪融化中，並不覺暖，訓至比未化雪時為

冷。

§. 6. 冬日空氣溫度雖已升至 0°C 以上，地面積雪仍不能即時化盡。

〔解釋〕 雪於融化中須自空氣內吸入多量之融解熱，故溫度略高於 0°C 之熱力，尚不足使積雪一時全化。此於人生頗有益處；若積雪一時完全融化，則雪多之地勢必發生水災，為患殊烈。

§. 7. 積雪未消，若灑以鹽水而翻動之，即使融化為水。

〔解釋〕 純粹物質之融解點比混有雜質者為高，即數種物質相互混合時，較單獨之各物易於融解。此因甲物與乙物互相攪混時，甲乙兩種分子間之吸引力各有反抗其本體分子自相團結之作用。而固體之融解，實由其分子運動速度之受熱增大，至各分子自相團結之力為之減弱，以變成分子運動較為活潑之液體。故含有異種物質之固體，融解較為容易，即融解點降低。食鹽與冰混合，其融解點可降至攝氏表零下22度，雪中混入鹽水，亦同理低降其融解點甚鉅，足使雪化為水。

§. 8. 煤氣管之入口，滅火箱之門扣，及阻火簾之捲線，皆易觸火融解。有封阻煤氣管，張開滅火箱門及放下阻火簾等作用。足以防止火險。

〔解釋〕 利用前條所述低降物體融解點之理，工業上製

出極易融解之合金(由數種金屬混合溶化而成)，稱爲融金(Fusible metal)。煤氣管之入口部分，滅火箱之門扣，及阻火簾(用石棉等耐火物質作成)之捲線，均用溶金作成，故一遇火起，立即融化，有封阻管口，張開箱門，放下火簾等功用。附記融金之配合量於次：

(一) 伍赤融金(Wood's metal)

銻 4 份：鉛 2 份，錫 1 份，
鎘 1 份。

此種融金之融解點爲 60.5°C ，故於熱水內亦可融化。

(二) 羅司融金(Rose's metal)

銻 2 份；鉛 1 份，錫 1 份，

此種融金之融解點爲 93.75°C ，

(三) 牛頓融金(Newton's metal)

銻 8 份，鉛 5 份，錫 3 份，

此種融金之融解點爲 94.5°C ，與第二種溶金同可融化於沸水內。

第八章 氣化現象

§. 1. 夏日用濕布拭體，拭處甚覺清涼。

〔解釋〕 用濕布擦拭身體，拭處皮膚沾有水分，而夏季氣溫頗高，足使水分盛行蒸發(氣化作用進行於液體表面者曰蒸發)。液體變爲氣體時，須自外間吸入熱量爲其改

變分子狀態之用，是爲蒸發熱。故皮膚上水分之蒸發，有由人體及附近空氣吸入若干熱量之功效，因而發生涼爽之感。若用濕布拭體後當風而立(或揮扇)，尤覺涼快，蓋蒸發作用因風力而加速進行，所需之蒸發熱亦加速吸取於人體也。

§. 2 夏日灑水地面，頓覺涼爽。

〔解釋〕 此亦因水分蒸發時，由地面及空氣吸入若干之熱量，以作蒸發熱，遂使氣溫暫時略爲減低，吾人因有涼爽之感。但時間稍久，水分蒸發淨盡，即無若何之效果。

§. 3. 大風之日，晒衣易乾。陰晦將雨之際，濕衣晾乾較難。

〔解釋〕 蒸發作用，乃液體分子運動激烈，逸出液體範圍以外之謂。此種運動既隨溫度之昇降而有強弱，亦因四圍空氣之動靜而生遲速之差別。如液外空氣流動成風，則運動至液面之液體分子自易受其挾帶，隨之遠飛，變成蒸氣。故有風時，液體蒸發特爲迅速。晒衣令乾，無非離去其水分，大風中之濕衣，水分蒸發甚速，無怪其容易乾燥。又，水於空氣中蒸發之程度，或空氣內含有水蒸氣之分量，在一定溫度恒有一最大限度。既達此限度，水即停止蒸發(實際並非停止，乃由液體氣化之速度與蒸氣復凝爲液之速度相等)。將雨之際空氣內含有水蒸氣之分量已極近此種最大限度，故濕衣上之水分不易蒸發，乾燥遂形

困難。

§. 4. 手濡酒精或以脫 (Ether) 後，移觸赤熱之鐵板，或於融化之鐵汁內迅速出入，均無傷害。（參觀趣味的物理實驗法第三編二十六及二十七兩節）

〔解釋〕 欲釋此事，須先說明球狀態之現象。滴水於赤熱之金屬板（如鐵）上，水成球體而運動，是曰球狀態。考金屬板之赤熱溫度多在 100°C 以上，水於其上並不沸騰而成球體以運動者，實因水滴與板面有蒸氣一層夾存其中。水滴被蒸氣托住，不能直觸板面，故其溫度尚不到沸騰程度。若金屬板之溫度稍降，則水滴與板面間之蒸氣驟減，板面直觸水滴，可見其迅速沸騰，瞬即氣化罄盡。

酒精及以脫，均為極易氣化之液體，手塗此物以觸赤熱之鐵板，則酒精或以脫迅速氣化，手與鐵板間遂有一層蒸氣隔住，鐵雖甚熱，不能直接傳熱至手，故不感痛苦。然若為時稍久，則酒精全體氣化，手與鐵板直相接觸，即可發生傷害。塗以脫於手，探手於溶鐵（或他種高溫度湯汁）中，迅速出入數次，亦無損害，理與上同。

§. 5. 手濡火酒（或以脫），比浸濕冷水為涼。

〔解釋〕 氣化之難易，隨液種類而不同。火酒比水易於氣化，手濡此物，僅以體溫及空氣之熱力已足促其迅速氣化。因其蒸發熱之一部奪自手中之故，手上溫度遂被低降，至有寒冷之感。

§. 6. 高山煮物，不如平地之易熟。(去蓋煮物亦不如閉蓋之易熟)

〔解釋〕 液體氣化猛烈，於液內發生氣泡以逃出液外，至液面擾動，激急噴沫者，曰沸騰。在沸騰中之液體亦如蒸發時之吸入熱力。若外部壓力不變，液內亦未新加其他物質，則沸騰中之液體恒保其開始沸騰之溫度(即沸點)，不隨繼續之加熱而升降其溫度。但壓力加大則氣化困難，須熱至更高之溫度，始能沸騰(既沸騰，仍於沸騰中保持其新沸點之溫度)。又壓力若減小，則氣化容易，沸騰時之溫度亦隨之降低，但於沸騰中仍保其新沸點而不再降。故液體受熱後本身溫度之升高恒隨液面壓力之大小而有一最大之限度，即對此壓力之沸點溫度也。

高山氣壓比平地為小，煮物時液面之壓力較在平地時為弱，因之沸點低降，液體之溫度雖繼續加熱，仍不能及在平地之沸點溫度，從而液內之食物亦不如在平地時之易熟。

煮物時加上鍋蓋，有阻止蒸氣外散，間接增加液面壓力之效，故加蓋時液體沸點為之提高，而液體溫度遂亦增長。自然較去蓋煮物之易熟。

§. 7. 曾沾油腥之手，若觸玻璃燈罩，每能引起破裂。

〔解釋〕 此必由於油腥物質在燈罩上揮發或融解，因吸

入蒸發熱或融解熱之故，燈罩一部驟然退冷，起不均之收縮，以至破裂。

唯脂肪油類氣化溫度頗高，而融點則低，此種現象當由於某種脂肪質之凝着燈罩，繼而受熱融解，終因局部溫度之變化，引起破裂。但魚類之脂肪質多係未飽和的炭輕化物，融點極低，既融以後，又復易於揮發。故手沾魚腥中之揮發性油質時，其引起燈罩破裂之故，當亦由於氣化中之退冷的作用。

§. 8. 衣物之脂膩污迹，可用揮發油濡濕除去。

〔解釋〕 揮發油極易氣化，又能溶解脂肪。故污迹中之脂肪被揮發油溶解後，隨同揮發罄盡，足使污迹消除，若有附着之塵土，則因無油脂粘結之故，不難刷去。

§. 9. 以紙製小箱，盛水其中，加熱使沸，紙尚不焦。

〔解釋〕 水沸騰時須吸入多量之氣化熱，故紙箱雖受大熱，本身溫度並不升高（所有熱量悉用為水之氣化熱），自無焦燃之虞。

§.10. 以同溫度之水分盛於玻璃器及素燒器（瓦器）內，不久即可測知前者較後者為熱。

〔解釋〕 素燒器壁有細孔無數，水分自孔隙蒸發，其蒸發熱奪自器內之水，故水溫低降少許。玻璃無此作用，故器內之水溫較高。

§.11. 盛夏驟雨之前，常感悶熱之苦，雨後即覺清涼逾常。

〔解釋〕 吾人身體常須有適量之水分向外蒸發，以調節體溫。驟雨前空氣之濕度忽增，身體蒸發緩慢，放熱既少，體溫遂高，因感悶熱之苦。驟雨既過，空氣濕度大減，地面及人體水分之蒸發遂盛，故令人有涼爽之感，實際氣溫亦下降少許也。

§.12 熱水用口吹之，可使變冷較速。

〔解釋〕 此因水面空氣之鼓盪，足以助長蒸發速度，遂至略有吸熱退冷效果。

揮扇取涼，略同此理。蓋衣膚上之水分(如汗)的蒸發作用，亦隨空氣之扇動而加速，吸熱退涼之效遂顯。不過扇去附體之熱空氣，招致四圍之冷空氣，亦其取涼原因之一。

第九章 凝結現象

§. 1. 花窖放置水桶，可減輕植物凍損之害。

〔解釋〕 植物受凍至 0°C 以下，始蒙顯著之損害。花窖內溫度降至 0°C 時，水先結冰，而液體於凝固中恒放出一定之熱量，稱凝固熱，(與其固體之融解熱等量)。故桶內之水，於結冰時放出熱量頗多(一公分之水結冰時約放出 80 Cals. 之熱)，花窖溫度因得賴以維持，不至遽然下降太甚，凍損之害，遂被減輕。

§. 2. 下雪時天氣並不甚冷。而寒地經驗每可於酷寒中天氣驟然暖和時，預知不久即將下雪。

〔解釋〕 空中水蒸氣遇冷凝結，隨冷却之程度不同，或成雨或成雪，種類亦異。然當凝結時皆須放出一定熱量，成爲液化熱或凝固熱，其使氣溫略昇則均相似。但水蒸氣凝固成雪時，其放出之凝固熱，較液化熱爲多。故下雪時，或空中水蒸氣正在凝固成冰之時，皆有昇高當時氣溫若干度之作用。且下雪時空中密雲四佈，有阻碍地面退冷之効。所以雪花飛舞中，天氣反不十分寒冷。而將下雪之前，空中水蒸氣正從事凝結亦足使氣溫驟然上升，爲下雪之先兆。

§. 3. 吾國舊有「礎潤而雨」之說，徵之事實，頗有効驗。又有所謂汗玉者，能於雨前潤濕如出汗然。

〔解釋〕 此因石之比熱小，屋角牆陰及柱下之石塊，其溫度遂易低降。將雨之時，空氣濕度大增，溫度亦漸漸逼近露點。故較當時空氣略冷之石塊，易於達到露點之溫度，濕空氣與石面相觸，遂至凝生露珠，使石面潮潤。

§. 4. 雲雨露霧等之成因。

〔解釋〕 空氣中水蒸氣存在之分量，與當時氣溫有一定之關係。即溫度一定時，空氣能含水蒸氣之分量有一最大限度。水蒸氣之分量如過此限度，即凝結爲水點或冰塊。故此限度隨溫度之升降而有變更，大概溫度愈高，則能含

水蒸氣之分量愈多。普通稱某溫度下之空氣，含有水蒸氣之量達到最大限度者，爲其時之水蒸氣處於飽和的狀態。空氣中水蒸氣已經飽和時，溫度如稍低降，立即發生凝結現象，或水蒸氣雖未飽和，而溫度十分降下，終至降下於當時空氣之露點，亦足促起凝結。所謂露點者，即當時空氣中之水蒸氣在飽和狀態時之相當的溫度也。雲雨霧露，不外由空氣中之水分凝結而成。茲述空中水分之三種凝結法於次：——

a 直接退冷之凝結 空氣由熱處流至較冷之處，而直接退冷，所含水蒸氣遂凝爲水點。如天氣晴朗之夜，常見河上湖上及草澤濕地，霧氣騰騰。即因地面放熱較速，空氣退冷較緩，含水分之空氣下觸地面或水面，凝結其水蒸氣爲小水滴，遂成低霧。若草木土石等突起部，因夜間退冷太鉅，空氣中之水蒸氣觸之凝結，遂於其表面附生水珠者，即名爲露。

b. 上昇退冷之凝結 氣體驟然受壓，立即放熱，此易於打氣筒之經驗知之。反之若驟減壓力，令氣體自行膨脹，則必吸入若干熱量，至使溫度降低。近地空氣受熱膨脹而上昇，但上昇愈高，氣壓愈小，即於上昇途中自行膨脹不已，其溫亦遞降不已。故空氣上昇時，其所含水蒸氣不免受冷凝結，或爲水滴，或爲冰片，悉視所在處之溫度在 0°C 以上或在 0°C 以下而定。熱帶地方之多雨，即由於

此種上昇氣流之退冷凝結。浮雲之由此種作用生成者亦屬不少。

C. 混合退冷之凝結 若兩種氣層或氣流均各含水蒸氣甚富，迫近飽和狀態。則一旦相遇而混合，其新成之氣流含水蒸氣必更多，溫度稍降即足促起凝結作用。但此種凝結多不成雨，而成雲或霧，因其水分究屬不多也。

§. 5. 雲之消散，及雲形變幻之故。(夏雲多奇峯)

〔解釋〕 地面水分受熱蒸發，含有此水蒸氣之上昇氣流，因膨漲退冷，遂至凝成極小水滴，或冰片，而浮遊於空中。日光投射於此種水滴或冰片，因反射屈折等作用，呈灰白等色，有時並呈黑色，是為各種之雲。

按水重於空氣，水滴所以能浮遊不墜者，實大有故。蓋水點雖微，仍有重量，亦向下墜落。唯下墜時空氣對之亦生相當之抵抗，且下墜愈速，空氣之抵抗亦愈強。但球狀運動體在空氣中所受阻力之大小，與球半徑之平方成比例，而球體重量又與球半徑之立方成正比例。故空氣對水滴之抵抗 R ，與水滴重量 W 及水滴半徑 r 之關係為：——

$$R \propto r^2 ; \quad W \propto r^3 ;$$

$$\frac{R}{W} \propto \frac{1}{r} \quad \text{即} \quad \frac{R}{W} = K \frac{1}{r}$$

即水滴之半徑愈小，則空氣之抵抗 R 比水滴重量 W 愈大。故水滴愈小，則下墜速度亦愈小，因所受空氣之抵抗

增大也。據Kaemtz, Assuanm及Dines諸氏之測算結果，成雲水點之半徑，平均約爲 0.02 mm ，且此種水點皆爲實心的。(若係中空，則用細管現象之理，可證明其內部壓力甚大，必致崩裂)若取 r 之值爲 0.02 mm ，依上述推算水滴下降速度，可知其僅爲每秒行數公分(Cm)之速度。此種水點距地既遠，以如是小速度下落，吾人由地仰視，自難覺出。且由高空下墜之水滴，又可遇熱再行蒸騰。故空中水分實時時變化不已，不過難用人目察出耳。冰片亦較空氣爲重，所以能浮於高空成高層雲者，其故亦由於水點之受空氣的抵抗。

水滴冰片因微小而浮遊空中，既如上述，設浮托此物之空氣發生動搖或運行時，又將如何。此可以流水浮木喻之。蓋水點或冰片之隨空氣而流動，猶如浮木之逐波東流。故高空之雲隨風運行，東併西合，迄少寧時。且兩氣流相遇混合時，更因溫度之昇降，影響於雲量之增減興滅(如有燥熱之氣流吹入雲中，即使雲中水點復行蒸發，而雲量爲之減少，或竟全消)。

夏季溫度高，濕熱之上昇氣流較盛。故夏季雲量既較多，雲狀變化亦較詭奇。

§. 6. 晴夜多露。陰晦及大風之夜，露反稀少。

〔解釋〕 地面及地上固體物質退冷較速，空氣退冷較緩，兩方溫度遂有差異。一旦較暖之空氣觸於地面及地上冷

物，即凝結爲水，而附着其上，是爲露水（冷物之溫度須爲當時空氣之露點）。晴夜無雲，地面放熱特易，地上固體之退冷亦甚，空氣自易觸之生露。陰夜多雲，空中爲之覆蓋（雲之高度自晨昇至晚，夜間復行低降），地面散熱不易，地上各物與空氣之較差不巨，生露遂難。若雲量雖小，而風速甚大，則地面散熱雖巨，因空氣流動之故，結露亦難。蓋空氣接觸冷物，亦須經過一定時間，方能被冷至開始凝結之程度，大風之夜，空氣不能久停，其接觸冷物之時間既短，在未抵開始凝結之程度即被吹去，自然無從結露。故晴朗之夜最易結露，而陰晦狂風之夜獨否。但晴夜微風，反增露量。因微風過處，使水蒸氣已經凝結一次之空氣離去冷物，而易以較濕之新空氣，使遞次觸冷物而凝結，露量遂增。

〔附〕 舊說露之發生原因有二，其於附生植物上之露，解說如次：——

(i) 空氣中水蒸氣觸於植物已冷之葉，因之凝縮而生露。
(ii) 由植物之葉放出水蒸氣以觸於冷空氣，因之於葉上凝生露水。

兩說全相反，主第二說者謂夜間植物之平均溫度較空氣之平均溫度略高，故空氣不應爲植物所冷。而植物蒸發作用在夜間猶繼續進行，向空中放出水分不已，其被冷空氣所冷凝，甚爲近情云。主第一說者則謂夜間空氣之平均

溫度，比植物及土壤之平均溫度為高。葉上露水實由接觸葉面之空氣，被葉所冷卻，以至發生凝結現象云。

據實測結果，生露之時夜，空氣溫度有高於植物者。且空氣溫度恒隨地面溫度為變化（因地面放出輻射熱，空氣始變暖。地面退冷以後，空氣始絕其生熱之源而隨之退冷。），其退冷也亦必在地面退冷以後。故晴夜空氣溫度應略微高於地面及植物。第一說似較合理。

§. 7. 平地結露多於山頂。山谷結露早於山腰。地面之草，其生露亦較高樹之葉為早。

〔解釋〕 空氣與高處散熱物體接觸時，被冷收縮，雖未至水蒸氣開始凝結之溫度，已因重下墜。低處空處雖處同一境況，而無下墜之餘地，故地面草石附近之空氣因觸冷物而愈益墜集於冷物之上，結果受冷之時間愈長，其結露之機會愈佳。此所以露之生成，均係平地多於山巔；而山谷及地面草石之結露，較早於高地草木或高樹枝葉也。

§. 8. 結露之量以秋季為最多，春秋次之，冬季最少。

〔解釋〕 夏季天氣炎熱，水分蒸甚盛，空中水蒸氣固多。唯因晝長夜短，而散熱作用又以夜間為最，故夏季地面受熱雖巨，而以入夜散熱之時間較短，空氣與地面及草石等物之溫度相差遂不太大，因之生露反不甚多。春季晝夜時間相差無幾，散熱之時間較夏季為長，故結露之量（寒

帶當然除外) 反較夏季略多。冬季夜間雖為時甚長，而空氣太乾燥，且一日中溫度之變差甚微，故結露之量最少。獨秋季之空氣既含水分甚富，夜間為時又較春夏為長，故結露之量為四季之最。

§. 9. 幼小植物多遇霜而凋敗，遇露則轉能茂長。

(解釋) 霜露均係空中水蒸氣觸冷物而凝結者，唯露為液態之水，霜為固體之冰，略有不同耳。霜之成，因土石草木等物體散熱太甚，其溫度低至零度 (0°C) 以下，而空氣溫度則在 0°C 以上。空氣與此種冷物接觸稍久，亦冷至 0°C ，其含有之水分即凝結成小點之冰於其上。由此可知降霜之夜，植物與地面諸固體物均散熱太甚，冷至 0°C 。而植物冷至 0°C 時，其組織內細胞中之水分亦隨之結冰，體積遂漲(水結冰均膨大其體積)，而細胞為之破裂矣。此所以霜夜不利於植物也。然非霜之直接加害於植物，乃結霜以前之退冷作用有以致之，不可不知。又霜生於植物時，其組織之水分亦相伴結晶，而出為霜之一部，故急被日光照射，則由組織內流出之水不復歸於原處，悉蒸發散去，亦足使植物凋萎。

露既為小水點，其附着之物尚未退至零度。故植物遇露，不啻薄受灌溉，自可助其茂長。

§.10. 農家因防止幼小植物之霜災，或於晴朗風靜之夜間酌加覆蔽物體，或燃燒稻草枯枝等物以生濃煙，令恰

足遮蔽其植物，歷試多有成效。

〔解釋〕 植物覆於濃烟(或他種遮蔽物)之下，可以減殺其散熱作用，退冷不至過甚，植物細胞自無結冰脹裂之虞。

按霜之生，多在無風之夜，因空氣沉靜，下層之空氣始易受冷物影響也(與晴夜生露同理，參看 §. 6.) 濃煙亦利於無風，始能靜蔽一處。故春秋兩季，每當天色晴明，四無風起之夜，農家即燃柴發煙，或以蓆草等物蓋蔽幼小植物。植花者更以稻草束縛各花木身幹，以減殺其放熱之勢。

§.11. 冬季易於噓氣成白煙，夏季則否。

〔解釋〕 自人體內吐出之氣含水分頗多，冬季空氣溫度較低，足使當時空氣飽和之水蒸氣，為量遂小。故寒冷之際，噓氣即成白霧，因其中之水分已凝成小水珠也。夏季氣溫高，使當時空氣含水汽至飽和程度頗難，從而凝生水點亦遂不易。

§.12 驟雨多起於晴日午後。熱帶驟雨多於溫帶，高地驟雨多於平原。

〔解釋〕 午前水蒸氣上騰雖盛，上層空氣之水蒸氣則未飽和，而上昇中之水蒸氣亦未達到高處，故不即凝結。午後空氣含有之水蒸氣既已增多，上昇之水蒸氣亦已達到高空，故遇冷即易凝結為水點，水點漸集漸大，即下降為雨

滴。且下降中之雨滴經過下層空氣時，亦足引起其處之水蒸氣凝結，至雨滴爲之加大，下墜愈速，終呈驟雨之現象。（來至高空之雨滴，其溫度較下層空氣低，故與雨滴相觸之濕空氣即於其上凝生小水點，而將雨滴加大。）

熱帶地方，天氣炎熱，地面水分之蒸發旺盛，空中水蒸氣特爲豐富，驟雨次數因而特多。高處空氣溫度恒較平原爲低。就同量之水蒸氣對同量之空氣而言，則使高處空氣飽和較易，因水蒸氣之最大張力與溫度成比例也。故平原低地之驟雨次數常較高地爲少。

§.13. 天旱成災，俗有求雨之舉。或向空鳴炮，或結衆遊行，或焚物播烟，其法不一，間亦略收微效。

〔解釋〕 空中水蒸氣凝結之難易，與所含微塵有關係。試以二瓶各盛水蒸氣，一瓶雜有塵埃，一瓶十分清潔。次將兩瓶一同冷卻，則見含有塵埃之瓶凝生水珠特速，而清潔無塵者反較困難。科學家考得空中小水點之個數與微塵等固體物之個數約等，一水點內必有一固體物存於其中云。此說雖不必盡然，但空中固體物質之存在，足使水蒸氣凝結較易，則屬定論。

乞雨時無論方法若何，其揚塵播烟則大概相同，故於空中水蒸氣之凝結，應有若干功效。黑雲佈空，雨滯而不下。對雲鳴砲（吾國舊式多煙之大砲），不啻送入煙塵於空中，自然凝結較速。結衆舞蹈（南方求雨有結衆遊行，沿

途舞弄水龍者)，亦間接增加空中之塵土。偶爾乞雨收效，當不外此種煙塵之力。然下雨之重要條件為空中水蒸氣與溫度之變化。若空中水蒸太少，上升氣流退冷不巨，雖千方乞雨亦難獲一滴下降。可見乞雨之效究微，不足恃也。

§.14 冰山周圍常有濃霧。夏季盛冰之薄玻璃器，其外壁易生露珠。冰塊稍大者，每有白霧自其表面發散，恰如濕熱物體之蒸騰水汽（夏季早晨之運送冰塊者多能見此現象）。

〔解釋〕 冰山附近之空氣，其溫度甚低，含有多量水蒸氣之空氣自他方流來時，受冷液化，遂成薄霧。盛冰之容器，其四壁溫度恒較空氣溫度略低，空中水蒸氣分量如多，自易觸之而凝結。夏季空氣甚濕，早晨濕度又為一日中之較大者，故晨間冰塊周圍之空氣易觸冰塊而凝生小水珠，望之如白霧。

§.15. 朝霧不逾午即消散。

〔解釋〕 空氣中水蒸氣達飽和程度時，始能凝結為霧。然日出後，空氣溫度漸漸升高，水蒸氣之飽和量亦隨之加增。故拂曉時之飽和水蒸氣，愈近正午，逾遠於飽和程度，不能繼續凝結，已成之霧亦蒸散為汽。

§.16. 冬日窗玻常生暈霧，寒地且有凝成凸起之花紋狀冰層者，但皆於室內一面凝結，室外一面獨否。

〔解釋〕 室內空氣因住人(呼吸)之故，其濕度較室外略大。故在室外氣溫驟低，室內濕空氣即觸玻窗而凝生暈霧或露珠。若氣溫低至攝氏表零度以下，即由水以凝固成冰。再由坡面之高低不平，結冰時各部之膨漲不均，遂形成種種花紋。玻璃在室外之面，所接觸者為室外空氣。且因受室內影響，其面之溫度絕不至低於室外氣溫，僅微高於室外氣溫者居多數。因之，窗玻生霧或冰之面恒在室內。

§.17. 寒地嚴冬之季，室內門扣鐵釘等物表面常於晨間發現白霜，

〔解釋〕 金屬物退冷甚鉅，入夜室內溫度下降，較室外濕度略大之空氣與相接觸，遂起凝結作用。在氣溫冷至零度以下時，即成白霜。

§.18 梅雨 中國東南濱海各地，每於四五月之間發生霖雨，特稱梅雨，因梅子適於是時成熟也。

〔解釋〕 吾國東南沿海地方，冬季之季候風為西北入海之風，而夏季之季候風則係自東南海面吹入陸地。初夏四五月之間為兩種季候風交替方畢之時。濕熱之東南風驟入尚未大熱之區，遂於當時凝結成雨，即所謂梅雨也。

第十章 漲縮之現象

§. 1. 厚玻璃杯注入沸水時，往往破裂。然燒瓶試管等薄玻璃器則否。

〔解釋〕 於厚玻璃杯內驟注沸水。則杯之內壁觸沸水而

受熱膨漲。因玻璃不善傳熱，杯壁又厚，其外壁於內側已經膨漲之瞬間，不及受熱(由內傳外之熱)以共同膨漲。結果，於此一瞬間，杯之內側驟然漲大，而外壁則靜止如故(或亦略微膨漲，但遠不及內側之甚)，各部所受漲大之力失其平衡，遂至炸裂矣。至於燒瓶試管，玻璃甚薄，注入沸水時內外傳熱平均，膨漲之勢相均，自無炸裂之虞。

§. 2. 水晶管赤熱後投於冷水內，亦不破裂。赤熱之玻璃球一入冷水，即碎成細塊。

〔解釋〕 水晶(融解後)之長膨漲率為 0.0000007，殆等於零。故水晶管於赤熱時投入冷水，亦無多大之收縮，自不破裂。玻璃之長膨漲率較大，約為 0.0000084，於赤熱後遇冷水，收縮頗甚。此驟然之收縮，與猛受外部之打擊無異，因而碎成細塊。

§. 3. 鐵絲融入玻璃，每使玻璃破裂。白金絲融入玻璃獨否，

〔解釋〕 鐵之長膨漲率為 0.000012，大於玻璃者甚巨。故玻璃與鐵絲雖同被燒紅，而溶入後漲縮之程度各不相同，足使玻璃破裂。白金之長膨漲率為 0.0000089，與玻璃相差甚微，故二者雖融合一處，亦無破裂之虞。

$$\begin{aligned} & (\text{白金長膨漲率}) - (\text{玻璃長膨漲率}) \\ & = 0.0000089 - 0.0000084 = 0.0000005 \text{ (○)} \end{aligned}$$

§. 4. 瓶塞緊嚴，拔出不易。若以繩或布捲瓶頸而摩

擦之（或直以火微熱瓶頸週圍），即使瓶塞鬆動，便於拔出。

〔解釋〕 此因瓶頸受磨擦而溫度升高，瓶頸周圍遂略為膨漲。然瓶口雖稍稍擴大，瓶塞則未及受熱的影響，因之可以輕輕拔出。

§. 5. 鐵軌接頭處每留間隙少許。

〔解釋〕 鐵軌受日光之照射，及車輪之磨擦，膨漲頗巨。接頭處若緊觸無隙，則鐵軌受熱脹長之際，必相擠上凸，足以妨害車輪之轉動。如於冬季 -5°C 氣溫中之鐵軌，長30丈，則在夏季 35°C 氣溫中之長度已變為30.0144丈。蓋鐵之長膨脹率為0.000012，而 35°C 時之鐵軌長度 = (-5°C 時之長度) \times $\{1 + 0.000012(35 + 5)\}$ 也。

§. 6. 單擺振子時計所示之時間，夏季較遲，冬季較早，故精密之時計恒用補正擺。

〔解釋〕 令 T 為單擺往復振動一次之時間，則

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \text{。式中 } l \text{ 為擺桿之長， } g \text{ 為當地之重力加}$$

速度。擺桿多由金屬物質作成，夏季溫度高，擺桿為之脹長，冬季溫度低，擺桿又隨之縮短。而上式之 T 與 \sqrt{l} 成比例。故 l 增長時 T 值加大，即此擺振動變緩，其時計所表示之時刻遂亦較遲。 l 縮短時 T 值減小，即此擺振動變速，其時計之時刻遂較實際為早。

〔附〕 設有一記秒之擺，由一甚細之黃銅棒與一白金球合成。當 0°C 時恰能記秒不悞（即往復擺動一次之時間恰為二秒）。若溫度高至 10°C ，一星期所差之秒數，可由次法算出。

令 0°C 時擺長為 l ，振動週期為 T 。則記秒擺是時之 $T=2$ 秒。因黃銅膨漲率為 $1.9 \times 10^{-5} = 0.000019$ ，則溫度升至 10°C 時之擺長 $l' = l(1 + 0.000019 \times 10)$ 。

設 N 為 0°C 時此擺在一星期內之擺動次數，

$$\text{則 } N = \frac{\text{一星期內之秒數}}{0^{\circ}\text{C時擺之週期}} = \frac{7 \times 24 \times 60 \times 60}{2} = 302400 \text{ 次}$$

次命溫度為 10°C 時，一星期內之擺動次數為 N' ，

$$\text{則 } N' = \frac{\text{一星期內之秒數}}{10^{\circ}\text{C時擺之週期}} = \frac{7 \times 24 \times 60 \times 60}{2\pi \sqrt{\frac{l'}{g}}}$$

$$= \frac{302400}{\pi} \times \sqrt{\frac{g}{l(1 + 0.000019 \times 10)}}$$

$$= \frac{302400}{\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \sqrt{\frac{1}{1 + 0.00019}}$$

$$\text{但 } 0^{\circ}\text{C時 } T = 2, \text{ 即 } 2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \therefore \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} = 1,$$

$$\therefore N' = 302400 \times \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \sqrt{\frac{1}{1 + 0.00019}}$$

$$= 302400 \sqrt{\frac{1}{1.00019}}$$

$$\approx 302400(1-0.000095)$$

故溫度由 0°C 變為 10°C 時，一星期內擺動次數之差為：

$$N-N' = 302400 - 302400(1-0.000095)$$

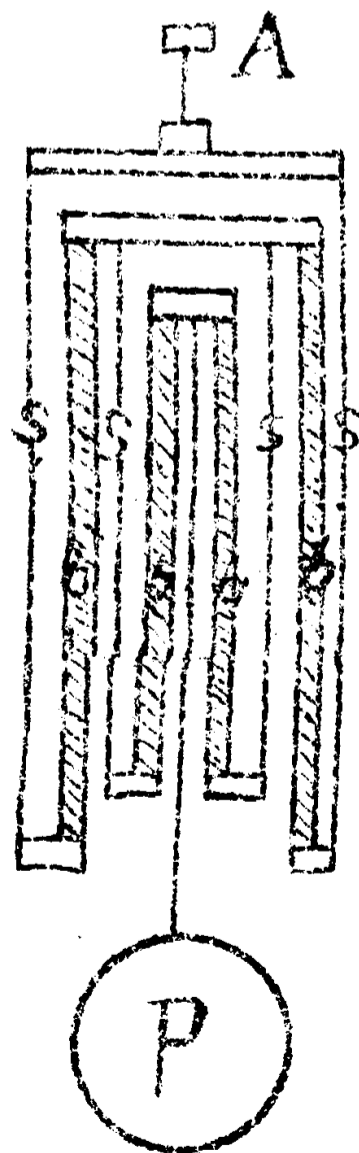
$$\approx 28.7 \text{ 次}$$

每完全擺動一次之時間為2秒，28.7次合57.4秒。故此擺在一星期內約遲57.4秒。

由此可見溫度變化影響於單擺之振動週期者甚巨，故用金屬製擺以調節時計之遲速時，有加補正之必要。應此要求以矯正金屬擺之漲縮差誤而製出特種之擺以專用時計者，曰補正擺。

補正擺之種類不一，茲略較普通者於次。

取鐵棒與黃銅棒相間連接之，如圖，s為鐵棒，b為黃銅棒，s棒亦有用鋼者。當溫度增高，金屬棒應之膨漲時



，鐵棒有下降P鍾之效，銅棒則有上提P鍾之效。故兩種金屬棒之長短配合恰當時，可令此二種相反之升降運動恰相抵消，不至影響於P鍾之位置。即以A為懸點，P為擺鍾時，其擺長（即A與P之重心的距離）不受溫度影響足為補正擺之用。

令 L_s 及 L_b 各代鐵銅二棒之（漲縮有效的）長度。 α_s 及 α_b 各代二種金屬之長膨漲率。則兩種金屬棒之膨漲效果恰相抵消的條件

爲：——

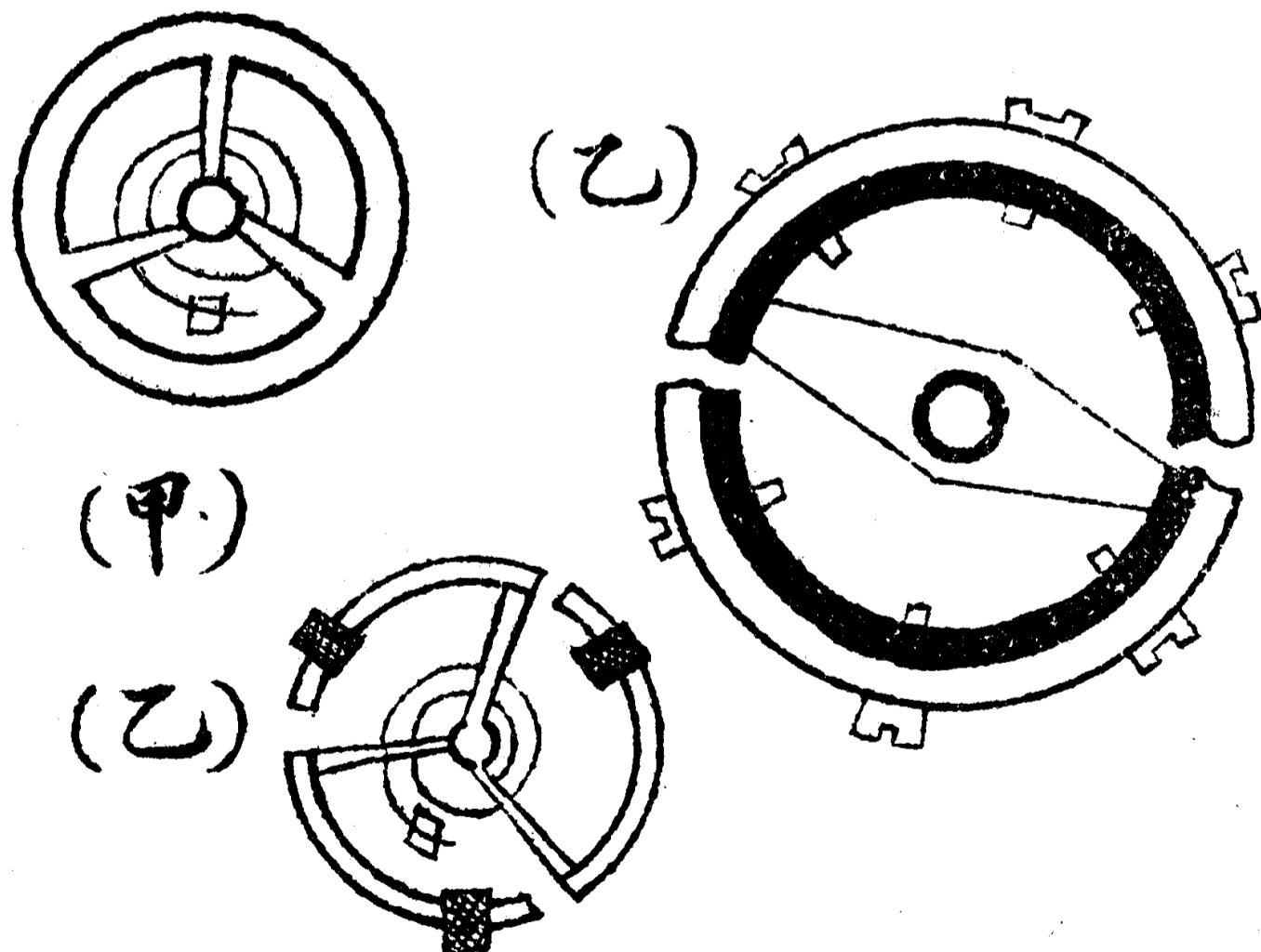
$$\alpha_s L_s(t_2 - t_1) = \alpha_b L_b(t_2 - t_1)$$

上式之意即 $\frac{L_s}{L_b} = \frac{\alpha_b}{\alpha_s}$ 時兩棒始能互消其膨漲之影

響。t₂ 及 t₁ 代表任何二溫度。故兩種棒之長度按其膨漲率之反比配合之，即可適用。

懷中時計及小鐘不能用重錘作擺者，其調節錶針運動之時間，用旋轉輪。

懷表旋轉輪之構造如甲圖，以彈條之力代重力，溫度如有增減，其輪周隨之有大小之差，從而旋轉一次之時間亦有長短之異，表針所示之時間遂快慢不一。補正法如乙圖，分輪周爲數部分，令各不相屬。一端各附一重錘，他



端各用一直棒連於旋轉軸上。各部分輪周皆用膨漲率不同之二種金屬合成，輪周內面之金屬

其膨漲率較小，輪周外部爲膨漲率較大之金屬。當溫度上昇時，旋轉輪所起之變化如次：

1. 因輪周與軸上直棒膨漲之故，其長既增，周上重錘與旋轉軸之位置遂較前遠離。

ii. 因輪周兩面物質膨漲率不同之故，溫度上昇時，外面膨漲率較大之金屬條遂較內面金屬條增長爲巨。結果使輪周各部向內彎曲，從而輪上重錘亦較前接近於旋轉軸。

此(i)(ii)兩項變化，其作用恰恰相反。若輪周兩面之金屬其膨漲率配合適宜，可使重錘接近旋轉軸之作用與重錘遠離旋轉軸之作用相消。如是，則溫度雖變化，輪上重錘仍與旋轉軸保持一定之距離，其擺動週期亦爲一常數，足爲調節時計之用矣。

§. 7. 溫度計(即寒暑表)插入熱水時，先見水銀柱下降，稍俟始行上昇。

[解釋] 溫度計初入熱水之瞬時，其玻璃球直接受熱膨漲，球內水銀則未及受熱的影響。故水銀柱因玻璃管之漲大而下降少許。然片時以後，熱已傳至水銀，而水銀之膨漲率大於玻璃者甚巨，水銀柱遂迅速上昇矣。(水銀之體膨漲率 = 0.00018；玻璃之體膨漲率 = 0.0000252)

§. 8. 池水結冰，先從水面開始。若積水稍深，水底可以不結冰。

[解釋] 水有一種特別性質，即於 4°C 時體積最小，密度最大。過此溫度以上昇，其體積漸漲，由此以退冷亦然。迫近 0°C 時，其水之體積極大。故 4°C 時之水最重，常下

沉於水底。0°C 時之水最輕，遂浮於水面而結冰，不至再往下沉。且 0°C 時之水，結冰後其體膨漲更甚，大約 100cc 之 0°C 的水，結冰後有 110cc。故積水稍深，水面距水底之距離頗遠，水之全體溫度未達 0°C 時水面已結冰頗厚，因而對流停止，水底溫即可保持 4°C 左右之溫度而不結冰。如水太淺，則嚴寒時全體可以冷至 0°C，不問水面與水底，皆一同結冰矣。

§. 9. 嚴寒之際，常見油之凝結自下而上，皆係底部先凍。

〔解釋〕尋常物質，均隨溫度之下降而收縮其體積。同量之物質，體積既小，比重即增。故天氣愈冷，油之寒冷部分愈往下沉，底部較暖者則向上浮。結果下層溫度恒較上層為低，自然凝凍先從底部開始。

§.10. 自行車之膠皮輪於打氣甚滿後，不宜露置日光下，否則易於破裂。同一足球，於暖熱之日，恒比寒冷之日為硬。

〔解釋〕因膠皮輪帶內之空氣易於受熱膨漲，故於帶內空氣充滿後再晒之，即足引起過度之漲大，而將皮帶漲破。足球於暖日變硬，亦係球內空氣受熱膨漲之故。

§.11 冬日之岩石，及自來水管花瓶等物，常因蓄水而破裂。

〔解釋〕如第 8 條所述，水凝結為同溫度之冰時，其體

積約增加原體積之 $\frac{1}{10}$ 。故岩石罅隙中之水，及自來水管中之水，當受冷結冰之際，均能呈破壞作用。

§.12. 吾國西南各省有所謂孔明燈者，係以硬紙作半球形，球頂開一小孔，球下懸一燈（或以油浸紙捻代之）。點燃後稍俟數分鐘釋手放之，紙球即冉冉上昇，直至火熄而止。（但燈不宜太重，並須焰火甚旺）。

〔解釋〕 此與初發明之氣球⊗同一原理，不外利用燃燒時之熱空氣以上騰。蓋空氣受熱膨漲，紙球內圍繞燈火之空氣，比球外空氣遂輕，因而載球上昇。現時之氣球係充滿輕氣或氫氣於球內，至上昇之原理，仍與孔明燈相同。即球內氣體與球皮及附件之重量總和，較同積（與球同積）之空氣為輕（或相等）時，球可浮起不墜。而孔明燈之上昇，亦因燈內熱空氣與燈身重量之總和，較同積（指與紙球所範圍之立體同積）之冷空氣略輕。故兩者昇空之原理無異，僅構造上有精粗大小之不同耳。（本條可與流體浮力章各條參看）

附注 ⊗Mongolfier 氏兄弟發明之氣球，係以球囊收集燃燒藁草時之熱空氣及煙而成。

§.13. 吾國又有所謂走馬燈者，燃燈即使燈壁所貼紙人馬迴轉。

燈之構造係以紙作平頂圓筒，筒無下底，而固着上頂

中點於一直立之軸上。直軸下端尖銳，立於凹下之小坑內，甚易迴轉，並另有障碍物阻其上動。燈火置直軸近旁，紙人馬則分貼紙筒四壁。

〔解釋〕 燃燈後，筒內空氣漸漸受熱膨漲，發生上昇運動，此上昇之熱空氣遂衝觸於紙筒之上頂。因筒頂固着於正中之直軸，此軸又僅能迴轉而不能離原地以上昇，筒頂遂因熱空氣之沖擊而隨軸迴轉，紙筒全體聯同運動，四壁之紙人馬因亦循迴往來。此與孔明燈之原理全同，筒頂亦須開一小孔，以備熱空氣之外逸。

§.14. 爲增加抵抗火藥爆發力起見，大砲筒管之外每加套外筒數層，愈近後膛套筒愈多。但製砲時，此套筒均係乘熱加上。

〔解釋〕 平時彈藥未發，各套筒須與砲管緊貼，射擊時溫度驟增，砲管略漲，又須套筒能滑動於砲管之上。故製砲時須乘熱加上套筒。否則，因套筒內徑恰與砲管外徑相等，難於套入，即勉強套上，亦難使緊密適當。

§.15. 車輪之鐵圈，恒乘熱嵌上。始無脫落之虞。

〔解釋〕 馬車人力車等之木輪，其外圍所嵌鐵圈須十分嚴緊，否即易於鬆脫。故須預製較木輪微小之鐵圈，加熱令其漲大，乘勢嵌於輪上，冷即借收縮之力緊嵌輪上，不至脫落。

§.16. 鐵窗柱之上下兩端，每酌留隙地，令可稍爲鬆

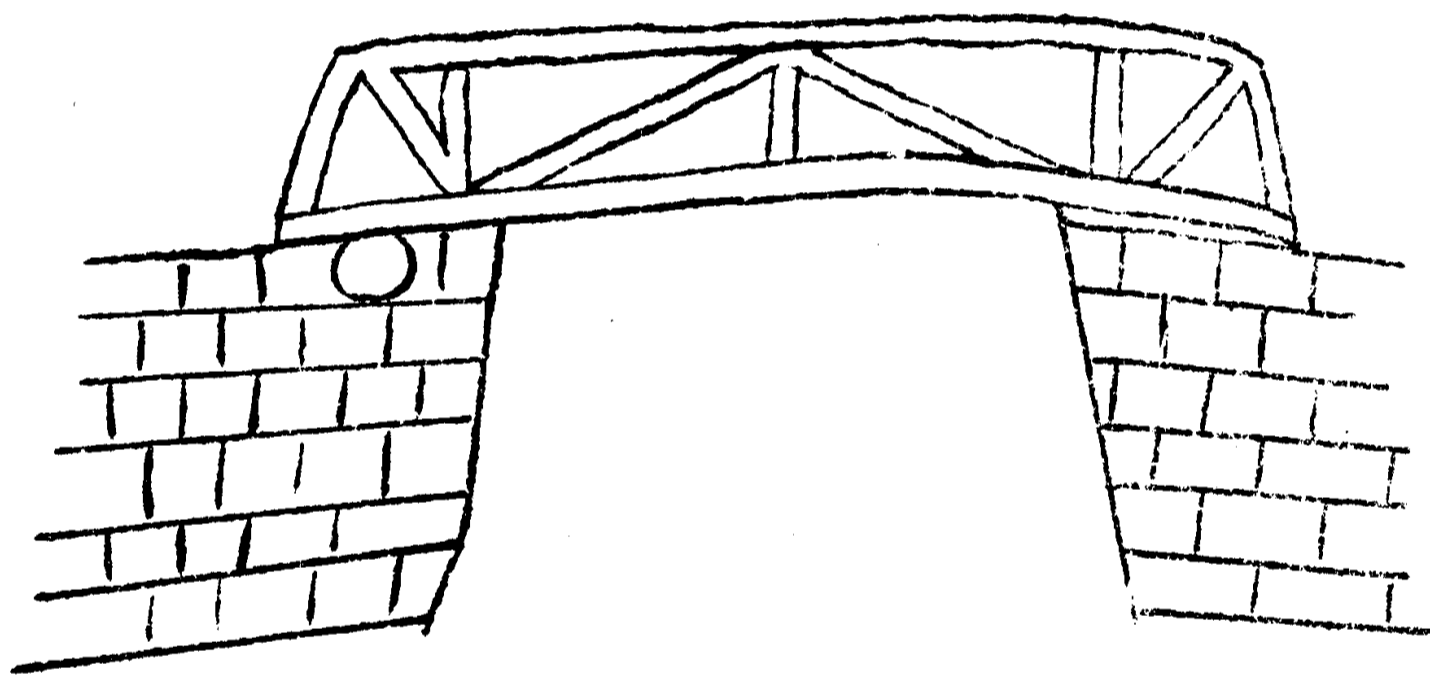
動，

〔解釋〕 鐵之膨漲率頗大，爲防鐵窗柱偶有漲縮而生彎曲起見，其上下兩端自然不可十分密觸於窗。或固定其上下端，而於上端酌留隙地，亦可免除漲縮所生之影響。

§.17. 鐵橋恒固定一端，他端枕以圓鋼柱，並酌留空隙少許。

〔解釋〕 若固定鐵橋之兩端，則盛夏嚴冬之溫度變化，

足使橋伸縮，而崩壞其梁柱台基。故僅能固定一端，於他端下墊圓柱，使溫度即



有升降，而橋長之漲縮運動得賴圓柱之滾轉，及特留隙地之緩衝，不至發生破壞作用。

§.18. 熱水管之接頭，恒用含接法。鐵板之接合，則用騎馬釘。

〔解釋〕 用小管含於較大之管口內，以相接合者，謂之含接。熱水管因常起漲縮之故，接頭處不得不酌留餘隙，始無破裂之虞。騎馬釘爲常用以釘接鐵板之物，因係兩端各有粗頭，亦稱兩頭釘。用時乘熱貫入鐵板含接部，使兩

端露出板外，乘熱鎚之，令各生釘頭而固着。如此，冷後鐵釘收縮，板被收縮之力壓迫甚緊。故前者乃防管之漲裂，後者乃利用鐵釘之收縮也。

§.19. 竹麥稿桿，燃燒時常拍拍作聲。

〔解釋〕 此因竹麥莖幹皆係中空，各節之間蓄有空氣少許。燃燒此等莖桿，則節內空氣受熱膨漲，壓力驟增，終至漲破莖桿，爆裂作聲。

§.20. 埋蛋於灰內而熱之，或直以熱灰掩蛋，均足使蛋裂破。但投蛋於水內煮之，雖蛋熟以後，蛋壳亦可不裂。

〔解釋〕 埋蛋灰內，則蛋之出氣小孔悉被阻塞，故驟然受熱，即因蛋內氣體與液體之膨漲而破裂。煮蛋於水，則蛋內氣體能由蛋壳細孔逃出，液體受熱膨漲之度又不甚大，自無漲破蛋殼之事。（熱之稍久，蛋白即凝固，且微減其體積）。

第十一章 熱與功用之現象

§. 1. 打氣筒經多次抽動活塞後，筒壁每發劇熱。

〔解釋〕 物理學家考得熱係能力之一，而非物質。由物質間之運動可以發生熱量，由熱量之增減，可以促起運動。Joule氏更求得功用與熱量之關係如次：

$$\frac{\text{消耗之功用}}{\text{發生之熱量}} = \frac{\text{完成之功用}}{\text{消耗之熱量}} = \frac{W}{H}$$

$$= J = 426.75m. \text{ Kilogr. per calorie}$$

此J係一定值，稱熱之機械當量。意即使一公分(1cc)之水溫度升高 1°C 時，其熱能與舉426.75公斤之重物上升一公尺時之能力相當。

抽動打氣筒之活塞，其作用有三：(a)活塞對筒壁之摩擦力而作功。(b)筒內氣體分子因受活塞之衝擊而增大其運動速度，氣體溫度隨之上升。蓋據氣體動力說推之，氣體溫度與其分子運動速度成正比例也。(c)活塞對筒內氣體之張力而作功，

上列三種作用，均足發生熱量，故打氣筒於多次抽動後，發熱頗劇。

§. 2 陽歷每年八月中旬，及十一月十五以後，夜間每見流星頗多，於疾行中有發火燃燒者，是謂流火。二月與五月亦間有此現象。

〔解釋〕 此因大空中圍繞太陽者有二氣環，與黃道斜交，環軌作橢圓形，橢率甚大，全環由無量數星塵合成。二五兩月，地球繞行環後，至八月與十一月，則地球行入環與太陽之間。地上空氣與環體接觸時，其星塵因摩擦而燃燒。蓋星團速率甚大，每秒約行30至40公里，故與空氣摩擦時，發熱極劇，遂生一種易燃氣體而燃成流火。

§. 3. 小槍大砲，均忌於長時間內繼續施放。步槍除加套筒一層外，更於握手處附木板一段。大砲所加套筒恒

不止一層。

〔解釋〕 無論砲彈或槍彈，施放時，均以極大速度經狹長之砲管或槍身而射出。其時對砲管或槍身四壁之磨擦既甚激烈，所發熱量遂亦不少。且彈藥炸燃時，亦於槍砲後膛發生熱量。故施放槍砲如繼續不停，則所有熱量不及散去，砲管槍身愈益變熱，結果可以發生炸裂槍筒或砲管之危險矣。

步槍彈頭與槍口內徑恰和密合，平時且不能直由槍口以納入彈頭。槍管內又有螺線。彈藥炸燃後，彈頭微微漲大，以大速率依螺線而旋行於槍管之內。其對槍管四壁之摩擦實太猛烈，極易使槍身變熱。故尋常步槍多加一層套筒，手握處更附木板一段，一以增加管壁之抵抗力，一則備槍熱時便於拿動也。

砲管因彈藥分量較多，彈速亦大，發熱更劇，故所加套筒不止一層。

趣味的化學實驗法

一冊定價一元

九折

萬縣 劉世楷編譯

發行所 北京師範大學號房

北京 晨報館

北京 教育用品公司

北京 海王商店

普通物理現象解釋

卷中一冊
卷下一冊

中卷定於民國十六年正月出版，下卷定於

十六年七月出版。

民國十五年七月初版

普通物理現象解釋

卷上 一冊 定價銀洋伍角伍分

著者 萬縣 劉世楷

印刷者 吉東印刷社

發行者 劉仲則

發行所 北京海王商店

北京師範大學號房

北京京華教育用品公司

吉林吉東印刷社

板權所有米禁止翻印

