

# 物理現象集解

杜華谷編

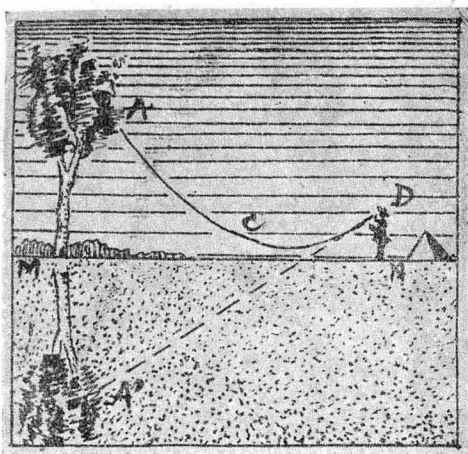
北平著者書店出版

1 9 3 4



# 物理現象集解

杜華谷編



北平著者書店出版

# 物理現象集解

每冊定價六角

民國二十三年十一月初版

所 有	版 權
--------	--------

編者

杜華谷

出版者

著者書店

發行者

著者書店

發行所

北平著者書店

北平宣外後河沿西頭路南廿號

## 序

近數年來，物理學之進步，大有一日千里之勢。雖其研究之目的，原在闡明真理，然吾人了解自然之知識愈深，利用自然之方法愈廣。故物理學進步之結果，不惟一切學術思想，隨起變革，即尋常生活起居，亦大受影響。在科學發達之歐美諸國，通俗之物理書報，久已汗牛充棟，今尙續出不已者，亦無非此種急迫之要求，有以使之然也。且此類書籍，不惟普及斯學已有之收穫，使普通人士，對於神秘之自然，皆具相當之認識，因而生活上得莫大之便利，且後進者得所啟迪，較之教室中所得尤爲多焉。我國科學遠不如人，在科學中稱爲至難之物理學尤瞠乎其後。是雖由人才寥落，設備幼稚，然重要之因，實在基本教育不得其道，試觀現在中學師資之不齊，教本之不適，可以供初學者參考之書籍之全付闕如，從可知已。杜華谷君有鑒及此，歷年教學之餘，收合無數直接由經驗得來之材料，著爲物理現象集解一書，出以示余。受而讀之，見其意匠經

營，與抄譯外國書而毫不加鍛鍊者，迥然不同。且解釋詳切，條理分明，初學者苟就此書中所舉諸現象，一一先自思索，再觀解說，不知不覺之間，得益當非淺鮮。在教本不完全，參考書正缺乏之今日，此書誠止渴救急之一良劑也。爰述所感，因以爲序。

民國二十三年七月 文元模

## 輯 編 大 意

1. 本書係編者歷來教授物理學時，常常以習見習聞的事實，作為引證，以解釋較難的定理，並引起學者研究興趣，日積月累，爰集成幀，茲又加以董理，付諸梨棗，用作中小學教員和高中師範學生參考之用。
2. 本書的編制，係將日常卑近的現象，分為五章，曰力學現象，熱學現象，光學現象，聲學現象，電學現象，至於磁學現象，本書從略，蓋磁學中僅有磁針指南北，磁石吸鐵等事，為日常所習見者，材料過少，不值另列專章之故。
3. 本書每章下，復分若干節，每節下又臚列同類的事實若干，各以最簡明的文字，詳為解說，若非僅用文字所能說明者，則繪圖或用數學式以解釋之，務使讀者能以深切瞭然。
4. 本書各章材料的分配，不求平均的編制，蓋以各類現象，多寡不同之故，但各類舉例，總以詳盡有趣為目的。

5. 本書材料的搜集，雖在務求詳盡無遺，然以編者一己之經驗，罅漏之處知所難免，尙望海內明達及讀者諸君，予以原諒，加之補正。

#### 編者識

本書的能以出世，多賴王海涵，劉孟真，劉潔甫諸先生的指導，和魏同仁君的製圖，特此鳴謝。

#### 編者附識



# 目次

## 第一章

### 力學現象

#### 第一節 惰性現象

- 現象1. 火車初開時，車中的旅客必向後仰。
- 現象2. 已開駛火車中的旅客，手持銅元，放手後，則銅元落於足下，絕不落於身後。
- 現象3. 吾人手持一物，令其自由落下，雖地球有自轉公轉，但其着地之位置，恒在足前。
- 現象4. 飛機拋置炸彈，炸彈下落，並不依垂直方向，故不易命中。
- 現象5. 鐵路軌道，轉灣之處，外軌常較高。
- 現象6. 自行車轉灣時，人身必向內方稍傾，方可不跌。
- 現象7. 轉動的陀螺不倒。
- 現象8. 轉動的銅元不倒。

現象9. 以繩轉動兩端重量不同的空竹——兒童玩具，河南俗名曰牛——則空竹不易倒下。

現象10. 迅速飛行的自行車不易倒。

現象11. 河中漩渦，外邊水面，常較內邊為高。

現象12. 籃中盛物，迅速將籃輪轉，物不落地。

## 第二節 動量現象

現象1. 登的愈高，跌的愈重。

現象2. 以手接落下的物體，手向下運動時，感覺苦痛為較少。

現象3. 毆子上昇時，雞毛恒在下，下降時，雞毛恒在上。

現象4. 箭桿尾端，每裝以羽毛。

現象5. 吾人作揮臂運動時，其速度有一定的極限，若大小石塊，均能以極限的速度拋出，即二者出手的速度相同，則大石塊進行的距離較遠。

現象6. 拋擲羽毛，則進行不遠。

現象7. 雲為細小的水滴所構成，其重量雖較空氣為重，亦能浮遊空中，不降落下，但較大的水滴，常常落下。

現象8. 起風時能飛砂走石，大的土塊和石塊，則不易吹起。

(附註)本節七，八兩現象，非關於動量的題目，惟其中道

理，在解釋本節現象 5 時，已經談過，故將二現象列入本節。

### 第三節 反作用現象

- 現象1. 吾人前進，足須向後用力，後退足須向前用力，上跳足須向下用力。
- 現象2. 人如陷於泥內，欲拔出其右足，則左足陷入泥內益深。
- 現象3. 刀與柄離開，只須以柄之下端，撞於石上，柄即固着於刀上矣。
- 現象4. 鄉人所用之竹烟管，倒煙灰時，只須以煙鍋敲地，煙灰自出。
- 現象5. 以錢撞石，錢常能反躍若干距離。
- 現象6. 鳥飛須鼓動其翼，魚游須鼓動其鰭。
- 現象7. 船舵，飛機舵為改變進行方向的裝置。
- 現象8. 鳥魚轉動時，須鼓動其尾。

### 第四節 速度變化甚急的運動現象

- 現象1. 於桌上置一紙片，其上載一銅元，徐徐抽出紙片，則銅元於紙片一同運動，若將紙片迅速抽去，則銅元依然留於原處。

- 現象2. 以手杖橫掃草莖時，用力猛則草莖折，遲則否。
- 現象3. 以同粗之線兩條，分別繫於重固體的上下兩端，以上端之線懸重固體，此時以手曳下端之線，若用和緩之力，則上端之線斷，若用猛力，則下端之線斷。
- 現象4. 手拋彈丸撞玻璃片，則玻璃片損壞之部分大，若彈丸從鎗口射出，則玻璃片被穿處成一小孔，他處均不損壞。
- 現象5. 滿盛以水的二碗間架以竹箸，用以猛切竹箸，則竹箸兩斷，而水並不外溢。

### 第五節 分子力的現象

- 現象1. 星辰地球等均為球體。
- 現象2. 葉上的露常為珠狀。
- 現象3. 造彈丸時，用溶解的鉛汁，滴於水中，即得鉛丸。
- 現象4. 院中所搭的布棚，當布未濕時，雖大雨淋漓，棚不透水，當布既濕後，雖紛紛小雨，也能透過。
- 現象5. 布上塗油，常能防水的通過，如雨衣，雨傘，雨鞋等是。
- 現象6. 菜油一滴，滴於水中，則呈珠狀而不散，以石油試之，立即四向擴散，成一薄層。

- 現象7. 沙地的表面着水後，常較粘土地的表面易乾，而內部則反是。
- 現象8. 鋤過的土地，田禾不易旱死。
- 現象9. 農夫播種後，常用器械或以足壓土壤，使之稍為堅實，以防種子之乾死。
- 現象10. 吾人鋪路，往往用小石子或沙土。
- 現象11. 已斷的鐵絲，用火燒後，始能固着為一塊。
- 現象12. 疎鬆散渙的粘土，可壓成塊狀。
- 現象13. 疎鬆散渙的粘土，和水為泥，製成塊狀，乾後堅硬如磚。
- 現象14. 食鹽等固體，能溶於水，金銀等則否。

### 第六節 液體壓力現象

- 現象1. 毛筆入水，即四向張開，出水後即聚為一束。
- 現象2. 以木棒投入水中，木棒常橫浮於水面。
- 現象3. 靜止液體的自由表面，常與地心引力方向成垂直。
- 現象4. 水平面為球面的一部分，非真正的平面。
- 現象5. 壺嘴水面與壺內水面，必在一水平面上。
- 現象6. 吾人掘井，掘至相當深處，則有水湧出。
- 現象7. 掘成的井，若井底有砂，小石等物質，則井水甚旺。

- 現象8. 自流井的噴水。
- 現象9. 吾人掘井，若以竹管或鐵管插入井底下若干深度，雖減少井筒的深度也可得水。

### 第七節 氣體壓力現象

- 現象1. 以口向筆帽內吸氣，筆帽即固着於唇上。
- 現象2. 皮膚上扣火罐，則筋肉常被火罐吸起，且被吸的皮膚，常呈紅紫色。
- 現象3. 吾人登山，鼻孔往往冒血，由高山乍至平地，鼻孔亦常常冒血。
- 現象4. 噴霧器的噴霧。
- 現象5. 以漏斗管的廣口，置於紙上，自細口用力向紙上吸氣，紙即固着於其上。
- 現象6. 鍋爐上置有煙囪，則燃料燃燒甚盛，且煙囪愈高，其效愈著。
- 現象7. 以洋鐵筒置於爐上，火力即行大增。
- 現象8. 洋油燈上，加以燈罩，則光亮大增。
- 現象9. 壺蓋上有小孔，則壺出水甚利。
- 現象10. 雨天氣壓常小，(風天氣壓亦小，惟解釋甚易故不錄)。
-

- 現象11. 一端封閉的玻璃管內，滿盛以水，而倒置之；若管孔甚大，水即流出。若管孔甚小，水不流出。
- 現象12. 覆厚紙於盛水的杯上而倒置之，放手後水不流出，此時去厚紙水即落下。

### 第八節 重心穩度等現象

- 現象1. 立整姿勢，兩足開展的角度爲六十度。
- 現象2. 載貨的車，常置重物於下方，置輕物於上方。
- 現象3. 吾人登高，身必前俯，由高崗下降，身必後仰。
- 現象4. 吾人負重，身必前傾。
- 現象5. 繩妓走繩時，常持有木棒或傘等物，以免傾倒。
- 現象6. 以手指頂棒的一端，若重端在上，甚易使棒直立不倒。
- 
- 現象7. 小孩較成人易於傾倒。

- 現象8. 扮演高蹺戲者，其足上所着的木棒愈長行走愈易。
- 現象9. 風箏的尾巴，爲使風箏不易傾倒的裝置。

### 第九節 力矩槓桿現象

- 現象1. 手推直立的物體，倘力點愈高者愈易傾倒，
- 現象2. 磨椽上，常嵌入兩個鐵圈。
- 現象3. 桿秤能測物質質量的多寡。

現象4. 常用的桿秤，多繫以兩個秤紐。

現象5. 鐵鉗將物挾住，常較手握牢固。

現象9. 以剪斷布，常較以刀斷布爲易。

現象7. 拔釘時常用鐵鉗。

現象8. 軟木塞壓榨器，常能將木塞壓小。

現象9. 以鋤斷草，常較以刀斷草爲易。

## 第二章 熱學現象

### 第一節 熱的傳導現象

現象1. 空中的鐵塊和木板以手觸之，則覺木板較鐵塊爲溫暖。

現象2. 以舌尖觸眼鏡片，即可鑑別其爲玻璃片，抑爲水晶片。

現象3. 衣服可以禦寒。

現象4. 吾人持灼熱之物，常常襯以手巾。

現象5. 夏日之冰裹以稻草，雖置烈日之下，亦可經久而不融解。

現象6. 烈日下的鐵塊和木板，以手觸之，常覺鐵塊較木板爲熱。

### 第二節 物體的熱脹冷縮現象



- 現象1. 將倒塌的樓房，以鐵柱斜支之，以火熱鐵柱，可以將傾歛的牆壁扶正。
- 現象2. 紅熱之鍋，驟注以冷水，則鍋往往破壞。
- 現象3. 烈日下的石塊，驟遇冷雨，常有炸烈現象。
- 現象4. 燃竹或麥稈時，每聞有爆烈的聲音。
- 現象5. 瓦屋上活置的瓦塊，年深日久，常能自行落下。
- 現象6. 注開水於玻璃杯內，厚者較易破裂。
- 現象7. 以火熱香桿，或木條，則呈彎曲現象。
- 現象8. 由黃銅與鐵釘合而為一棒熱之，雖二者受等量之熱，亦呈彎曲現象。

### 第三節 氣候寒暖的現象

- 現象1. 日午較朝夕為暖。
- 現象2. 一日內午後三時許最暖。
- 現象3. 一年內夏至後五來復許最熱。
- 現象4. 薄暮氣候，暖於黎明。
- 現象5. 海洋氣候寒暑的變遷，不若大陸氣候的劇烈。

### 第四節 蒸發的諸種現象

- 現象1. 沸騰正烈的水壺，壺底不覺甚熱。
- 現象2. 地面潑水，頗覺涼爽。

- 現象3. 吾人沐浴後，即覺爽快。
- 現象4. 鍋內盛水，水未蒸發完時，雖加大火，鍋亦不至紅熱。
- 現象5. 吾人揮扇，即覺涼快。
- 現象6. 吾人運動後，常常出汗，否則體溫略較平時為高。
- 現象7. 呵氣於手則覺熱，吹氣於手則覺冷。
- 現象8. 杯中盛熱水，只須以口向杯內吹氣，則水自涼。
- 現象9. 杯內的熱水，若另取一杯交替傾注之，則水即涼。
- 現象10. 在高山上煮雞子，常不易熟。
- 現象11. 鍋蓋上壓以重物，則食物煮熟較易。

### 第五節 液化的諸種現象

- 現象1. 冬日噓氣，常呈霧狀，而夏日則否。
- 現象2. 冬日井水，常冒霧氣，夏日則否。
- 現象3. 冬日廚房的玻璃上，常有水滴凝集。
- 現象4. 冬日走進廚房，眼鏡片上常凝有許多水滴，蒙蔽視線，停一二分鐘後，則水滴又行蒸發，不復遮當眼光。
- 現象5. 露之成因。
- 現象6. 陰天或有風之天，生露較少。
- 現象7. 植物葉上生露，較土石上為多。

現象8. 以砲擊空，每易致雨。

現象9. 大氣中濕度稍大，常易生霧。

## 第六節 凝固的諸種現象

現象1. 水凝固時，體積脹大。

現象2. 春季土壤，常較冬季疎鬆。

現象3. 水的凍結，常能使巖石破裂。

現象4. 鑄製活字，常用鉛，錫，銅之齊。

現象5. 深水結冰常較淺水爲難。

現象6. 鹽水凍結較難。

現象7. 海中不凍港的成因。

現象8. 雪，霜，雹，霰，的成因。

現象9. 下雪天不甚冷，化雪天較冷。

現象10. 冬日菜倉中，常置水桶幾個，以防菜凍。

## 第三章 光學現象

### 第一節 光的直進現象

現象1. 物體與人眼相連接的直線上，置以手則不能看見物體。

現象2. 日光下電線桿有影，電線無影。

現象3. 手持鉛筆於日光之下，距地面近則生影，遠則無影。

- 現象4. 燭光與牆壁的中間，置有孔的薄板，若孔甚小，則牆壁上現鮮明的燄影，若孔稍大，則現孔的現狀。
- 現象5. 在樹葉密佈的林中，見由葉隙間透過的日光，射至地面皆成圓形。

## 第二節 光的反射全反射現象

- 現象1. 晝間日光不甚直接射入室內，而室內亦能明亮。
- 現象2. 光線射入稍暗的室內，在光的通路上，看着甚為明瞭。
- 現象3. 壁為白色，則室內較為明亮。
- 現象4. 夏日宜着白衣，冬日宜着黑衣。
- 現象5. 雪白於冰。
- 現象6. 將空試管斜插盛水的玻璃杯內，則見光輝如鏡，若注以水，則光輝立減。
- 現象7. 青樹葉置於水中，則現光輝。
- 現象8. 玻璃杯內盛水，自下方斜望杯內，若視線與水面法線所成的角，比臨界角大，則見水面如鏡而不透明。
- 現象<sup>9</sup>. 以手觸於穿衣鏡的鏡面上，則可測知玻璃厚薄。
- 現象10. 穿衣鏡高為人高之半，即可看出全身像。
- 現象11. 照面鏡之長和寬，各為人面之長和寬的一半，即可照見人面的全部。

### 第三節 光的屈折現象

- 現象1. 盛水於器，則見器底浮近水面。
- 現象2. 竹箸斜插水中，則見其水面處作折狀。
- 現象3. 置銅元於杯底令其壁恰將銅元遮住，然後注水於杯內，銅元立可復見。
- 現象4. 欲捕水中之魚，當自所見魚的位置的較深處着手。
- 現象5. 炭火燃燒正盛時，常見其上方的空氣作動搖狀態。
- 現象6. 有風之日，常見空氣作動搖狀態。
- 現象7. 有風時，常見星辰閃爍不定。
- 現象8. 蜃樓現象。
- 現象9. 玻璃缸中的魚，常見其較原物爲大。

### 第四節 視覺的現象

- 現象1. 門上垂一竹簾，觀察者在室內，則能見簾外之物，觀察者在室外，則不能見簾內之物。
- 現象2. 夜間由燈光輝煌的地方驟至暗處，則不能發生視覺。
- 現象3. 夜間由黑暗地方乍至燈光輝煌之處，每覺恍眼。
- 現象4. 貓眼的瞳孔，夜半則成圓形，正午則成線狀。
- 現象5. 迅速旋轉火棒，見成輪狀。
- 現象6. 落下的雨滴，常呈線狀。

- 現象7. 隔轉動的電扇，能看見扇後之物。
- 現象8. 由影戲機映出的人物，舉止動作，一如真人。
- 現象9. 物體近則覺其大，遠則覺其小。
- 現象10. 太陽的體積遠大於月球，但吾人望之，見其大小相若。
- 現象11. 吾人見鐵軌遠處狹，近處寬。
- 現象12. 太陽距地球甚遠，月球距地球較近，但吾人望覺其遠近相若。

### 第五節 天空中的光學現象

- 現象1. 虹的成因和虹在朝夕發現的理由。
- 現象2. 虹多現於夏季，冬日絕少。
- 現象3. 天色蔚藍。
- 現象4. 朝霞與夕霞均現紅色。
- 現象5. 朝夕太陽現紅色。
- 現象6. 朝夕太陽較午時為大。

### 第六節 物體的顏色現象

- 現象1. 物各具有特色。
- 現象2. 深水常呈綠色。
- 現象3. 遠山則為藍色。

- 現象4. 炊煙常爲藍色。
- 現象5. 電力小，則電燈爲紅色，電力大則爲白色。
- 現象6. 在石油燈下，黃色與白色物體，不能判別清楚。
- 現象7. 紙浸以水或油，則透光較易。
- 現象8. 窗紙塗以油滴，自窗外觀察，則見油點處較暗。  
自窗內觀察，則見油滴處較明。
- 現象9. 有色之布浸濕後，則其色較亮。
- 現象10. 白布浸濕後，其白色較減。

## 第四章 音學現象

### 節一節 音的速度，傳播，反射， 共鳴，干涉，強弱等現象

- 現象1. 在軍事學上，測知見砲發火後，至聞砲聲時的時間，即可推知人與砲的距離。
- 現象2. 印度人帖耳於地，能聞馬蹄之聲。
- 現象3. 室內談話，常覺其聲音較室外爲亮。
- 現象4. 用喇叭筒送話，則其音較亮。
- 現象5. 用聽筒聞聲，較爲清晰。
- 現象6. 用聽診器，可以聽到脈搏跳動的聲音。
- 現象7. 講演台後的斜上方，多備有凹形的建築物。

- 現象8. 動物的耳殼。
- 現象9. 吾人在露天聽講演，或聽戲時，張傘於身後，則覺聲音較亮。
- 現象10. 夜間聲音較白晝爲亮。
- 現象11. 置音叉於桌上，則其音較亮。
- 現象12. 胡琴，三弦等的下端，常附有一端有薄膜或兩端有薄膜的圓筒。
- 現象13. 小鐘發音無昇沈現象，大鐘發音有昇沈現象。
- 現象14. 已發音的物體，以手觸之，則其音頓小。
- 現象15. 鐘懸空中擊之則音較強。

## 第二節 音的高低現象

- 現象1. 乾燥的鼓，其音較高。
- 現象2. 彈三弦時，只須上下其手，即可得各種音調。
- 現象3. 胡琴上有粗細弦各一根，細弦音較高。
- 現象4. 奏弦樂時，必先調理弦的張力。
- 現象5. 管樂上常鑿有許多小孔，吹時開上邊之孔，則其音高。
- 現象6. 奏管樂時，若任開某孔，如第一孔，緊閉其餘，只須猛烈吹氣，立得較高之音。

## 第五章 電學現象



## 第一節 摩擦生電現象

- 現象1. 以鉛筆桿與桌腿相摩擦，則鉛筆即固着於其上，若用有稜的鉛筆桿，其作用更爲顯著。
- 現象2. 乾燥之日，以手拂貓，則生火星。
- 現象3. 冬日所着的新皮袍，與絲褲相摩擦，常軋軋作聲。
- 現象4. 乾燥的雞毛，被毛布摩擦後，接近手指，則雞毛常爲手指所吸引，此現象以秋冬爲最著。
- 現象5. 樹脂質的紙烟嘴，經摩擦後，則可吸引碎紙。
- 現象6. 以樹脂質的櫛梳，梳髮時，櫛梳常能將髮吸起。

## 第二節 空中雷電現象

- 現象1. 雷電常發生於有雲之日。
- 現象2. 冬季雷電絕少，夏季最多。
- 現象3. 大樹高房煙囪之下最易落雷。
- 現象4. 落雷時樹木常常脫皮。

# 第一章

## 力學現象

### 第一節 惰性現象

現象 1 火車初開時，車中的旅客必向後仰。

〔解釋〕 在惰形定律中，言不加外力，靜止的物體常靜止，運動的物體常運動，且不改變其運動的方向，和速度。但運動與靜止，皆對標準而言，如學生在教室內聽講，若以地球為標準體，則學生對於地球的相對位置，無變動，故學生對於地球為靜止。若以太陽為標準體，則地球有自轉，公轉，人隨地球轉動，故學生對於太陽為運動。火車未開時，火車對於地球為靜止，旅客對於地球亦為靜止，火車初開時，火車對於地球開始運動，人的足部，因與車板接觸，隨火車前進，人的頭部，乃以未受外力，仍是靜止，此時足進而頭未進，故向後仰。

火車停止時，旅客向前俯，應用上理可以說明。

**現象 2** 已開馳火車中的旅客，手持銅元，放手後，則銅元落於足下，絕不落於身後。

〔解釋〕 因火車對於地球為動體，旅客和旅客手持的銅元對於地球亦為動體，旅客放手後，銅元受地心吸力而落下，但其前進之速，因慣性關係，（動者恒動，不改變其方向和速度）仍與火車相同，所以銅元落於旅客足下。若謂銅元不與火車俱進，則銅元由手落地需要相當時間，在此期間，火車同旅客當前進若干距離，銅元勢必落後數步，徵諸事實，絕無其事。又如旅客持銅元向車窗外放手，則銅元下落之際，雖仍隨車前進，但因車外空氣有抵抗，（車內空氣對地球為動體，與車同速故無抵抗，車外空氣係靜體因有抵抗）前進速度恒較車速為小，故當銅元着地時，必在車後，但較原放手處前進若干距離矣。

**現象 3** 吾人手持一物體令其自由落下，雖地球有自轉公轉，但其着地之位置，恒在前

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

**現象 4** 飛機拋擲炸彈，炸彈下落並不依垂直方向，故不易命中。

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

### 現象 5 鐵路軌道轉灣之處，外軌常較高。

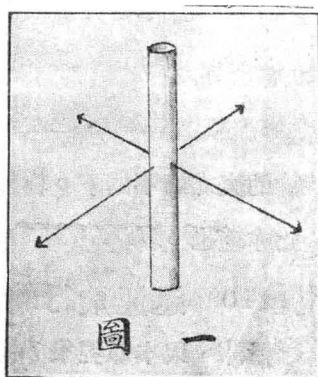
〔解釋〕 火車馳行時，因惰性關係，常有循一直綫繼續前進的傾向，當轉灣之際，此項傾向，並不消滅，若於此處路的兩軌，完全相平，其結果火車必致逸出軌外，而生危險。凡一物體由直線運動，改爲圓運動時常有將物體仍牽向直綫方向運動之力，是爲離心力。故離心力的發生，是發生於惰性，外軌加高，正所以抑制離心力，而保火車之安全也。

### 現象 6 自行車轉灣時，人身必向內方稍傾，方可不跌。

〔解釋〕 與本節現象 5 同。

### 現象 7 轉動的陀螺不倒。

〔解釋〕 有一圓柱於此，設其周圍以繩牽引之，則圓柱不倒。若使圓柱旋轉，則圓柱周圍的各部分，均生離心力，如圖 1，與以繩同時向各方牽引之關係同，故圓柱不倒。

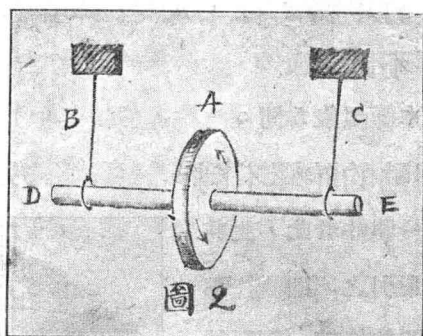


現象 8 轉動的銅元不倒。

〔解釋〕 與本節現象 7 同。

現象 9 以繩轉動兩端重量不同的空竹——兒童玩具，河南俗名曰牛，——則空竹不易掉下。

〔解釋〕 如圖 2, A 爲能轉動之輪, DE 爲其軸, 以 B, C 二繩支持之, 使 A 輪轉動, 達一定速度時, 設用力將 C 繩割斷, 則 A 輪由圓運動周圍所生之離心力常能勝過輪的重力作用, 以保



持輪的直立而不倒下。旋轉兩端重量不等的竹空, 而不倒下者, 此亦理也。

現象 10 迅速飛行的自行車不易倒。

〔解釋〕 與本節現象 7 同。

現象11 河中漩渦，外邊水面，常較內邊爲高。

【解釋】水流作圓運動而迴旋，則成漩渦，漩渦中的水分子，因離心力的關係，有向四周飛去的趨勢，故其外邊水面轉較內邊爲高。

現象12 籃中盛物，迅速將籃輪轉，物不落地。

【解釋】當輪轉之際，雖有時籃底在上，籃口在下，而圓運動所生的離心力，常能勝過物所受的地心引力，以其餘力，（離心力減去物的重力），以壓籃底而不落下。

## 第二節 動量現象

現象1 登的愈高，跌的愈重。

【解釋】運動之物體，常以同一速度，作直線之運動，是即物體之惰性。故物體必受外力的作用，其速度或運動的方向始能改變，由是知力的作用能反抗物體之惰性，改變其運動狀況。但質量相同的物體，速度大者，用力使之靜止時，較小者爲難。例如彈丸由鎗口射出時，常能穿過數寸鐵板，若以手拋擲彈丸，極薄的鐵板，亦難透過，故動量與速度正比。又速度相同的物體，質量大者，使之靜止，較質量小者爲難，故動量與質量正比。由以上的關係得動量定義如下。

物體運動之量數謂之動量，動量的大小，恒以其撞擊作用的大小測之，撞擊作用之大小，恒以質量與速度之相乘積測之，茲得公式如下。

$$\text{動量} \propto \text{質量} \times \text{速度}$$

$$\text{或動量} = \text{質量} \times \text{速度}$$

物體落下，是一種加速運動，物體愈高着地時之速度愈大，其撞地的作用亦愈大，由反作用的關係，故吾人感覺的苦痛較大。

**現象 2** 以手接落下的物體，手向下運動時，感覺苦痛為較少。

〔解釋〕 物撞擊手的作用量，與物和手的相對速度為正比。

設物的速度為 $V_1$ ，手運動的速度為 $V_2$ ，若手與物的運動為同方向，則物撞擊手的作用正比於 $(V_1 - V_2)$ ，若手於物的運動為相逆的方向，則物撞擊手的作用正比於 $(V_1 + V_2)$ 。若手無運動，則物撞擊手的作用正比於 $V_1$ 。

$$\text{因 } V_1 - V_2 < V_1,$$

$$V_1 - V_2 < V_1 + V_2,$$

故以手接下落的物體，手向下運動時，感覺痛苦為較少。

**現象 3** 毆子上昇時，雞毛在下，下降時，鷄毛

在上。

〔解釋〕 脚踢毬子，毬子初離脚時，則毬子的全體，（即毬子的制錢部分與雞毛部分）得有相等的速度，因制錢之質量大於雞毛，故制錢的動量亦大於雞毛。動量大的物不易制止其運動，故毬子離脚後，制錢與雞毛，雖同受空氣抵抗，但制錢速度之減少率遠遜於雞毛，即制錢上升之速大於雞毛，故制錢在上，雞毛在下。

毬子下降時，制錢與雞毛應得有相同之加速，但受空氣阻力後，則制錢下落之速，應比雞毛為大，故制錢在下，雞毛在上。

現象 4 箭桿尾端，每裝以羽毛。

〔解釋〕 箭桿前端鑲有鐵製的箭頭，尾端鑲有羽毛，故前端重而後端輕，箭射出時，重端常在前，輕端常在後，而不倒轉，其理與本節現象 3 同。

現象 5 吾人作揮臂運動時，其速度有一定的極限，若大小石塊，均能以極限的速度拋出，即二者出手的速度相同，則大石塊進行的距離為遠。

〔解釋〕 為釋說方便起見，設大小石塊均為正立方體，大石



塊每邊長 $a$ ，小石塊每邊長 $b$ 。

大石塊的體積 $=a^3$

小石塊的體積 $=b^3$

又設石塊每單位體積的質量為 $m$ 。

則大石塊的質量 $=a^3m$

小石塊的質量 $=b^3m$

∴大小石塊出手的速度相等，設同為 $V$ 。

∴二者出手後動量為 $a^3mV$ 與 $b^3mV$ 。

又空氣抵抗正比於物體受抵抗的面的面積。

大石塊受抵抗的面的面積 $=a^2$

小石塊受抵抗的面的面積 $=b^2$

設每單位面積所受的抵抗為 $f$

則大石塊所受的抵抗 $=a^2f$

小石塊所受的抵抗 $=b^2f$

∴大石塊經單位時後剩餘動量

$$=a^3mV-a^2f$$

$$=a^2(amV-f)$$

小石塊經單位時後剩餘動量

$$=b^3mV-b^2f$$

$$=b^2(bmV-f)。$$

$$\because a > b$$

$$\therefore a^2(amV-f) > b^2(bmV-f)$$

$\therefore$  經空氣抵抗後，大石塊的動量仍比小石塊為大，故大石塊進行的距離較遠。

上述之理由，又可以水流衝物之例說明之。

設一立方糶的正方石塊與1000立方糶的正方石塊同置於水流中，水對於1平方糶的面積的衝力為2克力，又設每立方糶石塊的質量，反抗水衝的惰性極限亦為2克力。

則水衝1立方糶石塊之力為2克力。

水衝1000立方糶石塊之力為200克力。

因其被水衝的表面各為1平方糶與100平方糶故也。

1立方糶石塊抗水衝的惰性為2克力。

1000立方糶石塊抗水衝的惰性為200克力。

故小石塊較大石塊被水衝動為較易。

設上述二石塊得有同速逆流上進則水流阻止小石塊之運動必較大石為易，其理正與拋物相同。

**現象 6** 拋擲羽毛則進行不遠。

〔解釋〕 詳於本節現象 5 的解釋內。

現象 7 雲爲細小的水滴，其重量能較空氣爲重，亦能浮游空中不降下來，但較大的水滴，常常降落。

〔解釋〕 詳於本節現象 5 的解釋內。

現象 8 起風時常能飛沙走石，大的土塊和石塊則不易吹起。

〔解釋〕 與本節現象 7 同。

(附註) 本節 7.8 兩現象，非關於動量的題目，惟此種道理，在解釋本節現象 5 時，已經談過，故將此二現象列入本節。

### 第三節 反作用現象

現象 1 吾人前進，足須向後用力，後退足須向前用力，上跳足須向下用力。

〔解釋〕 A、B 爲同質同大的鋼球，今將 A 移至 C 之位置，然後令其落下以擊 B 球，衝突後 A 球之速度，完全消失，而 B 球則可升至 D 處，與 C 處之高度相等。A 球擊 B 球，則 B 球受有 A 球之推力而上昇曰作用力，同時 A 球受有 B 球之推力，失去其速而靜止曰反作用力，又 C 處與 D 處同高。

，推知B球所得速度，與A球所失速度相等，故作用力等

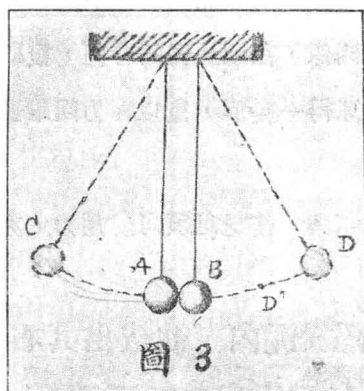


圖 3

於反作用力。且A球作用於B球的方向，與B球作用於A球的方向相反，故作用力與反作用力方向相反。

若B球之質量大於A球，將A球移至C之位置以擊B球，此時B球受A球之作用力而至D'，A球受有B球之反作用力而靜止。B球至D'後，復以地心吸力和動能的關係回擊A球，則A球復向C處運動，設B球之質量過大，則B球升高之度當甚小，其回擊A球所需時間當極短促，由吾人觀察，則見為B球不動，A球擊B球後，A球立即反躍矣，在此種情形之下，為便於記憶起見，普通謂A撞B的力為作用力，A反躍之力為反作用力。

吾人向上跳躍時，足須向下用猛力以壓地球，地球的質量甚大，可得一爲吾人所不能見的極小速度，向下運行，同時天體引力的關係，在極短促的時間，復回擊吾人，或足壓地球時，地球得一變形，復以彈力回擊吾人，二者均可使人躍起。

前進足須向後用力，後退足須向前用力，亦所以利用反作用也。

**現象 2** 人如陷於泥內，欲拔出其右足，則其左足陷入泥內益深。

〔解釋〕 所以至此的理由，非以其全身之重，僅用左足承之已也，實則欲將右足拔出時，非有一大力引之使上不可，既有此力，即必有其反作用，此反作用即右足施於右邊之腰部股部使之向下之力，腰部股部既下降，故左足入泥益深。

**現象 3** 刀與柄離開，只須以柄之下端撞於石上，柄即固着於刀上矣。

〔解釋〕 柄的下端撞於石上時，得有反作用的力而上躍，此時刀未受外力，因惰性的關係，仍然向下運動。柄上而刀下，故二者的距離，逐漸接近，柄遂固着於刀上矣。

現象 4 鄉人所用之竹煙管，倒煙灰時，只須以煙鍋敲地，煙灰自出。

〔解釋〕 與本節現象 3 同。

現象 5 以錢撞石，錢常常反躍若干距離。

〔解釋〕 利用反作用。

現象 6 鳥飛須鼓動其翼，魚游須鼓動其鰭。

〔解釋〕 鳥翼向下運動時，空氣即與翼以反作用之力而使其上飛，魚鰭向後運動時，水即與鰭以反作用之力，而使之前進，總之動物的活動無一不借重反作用者。

現象 7 船舵，飛機舵，為改變進行方向的裝置

〔解釋〕 船或飛機航行時，使舵向左方轉動，則水或空氣與舵以反作用之力，使船尾或飛機尾向右方移動，船首或飛機首，遂轉向左方進行矣，故船或飛機轉動的方向，與舵轉動的方向相反，又飛機除左右轉動之舵外，復裝有上下轉動之舵。

現象 8 鳥魚轉動時，須鼓動其尾。

〔解釋〕 與本節現象 7 同。

#### 第四節 速度變化甚急的運動現象

現象 1 於桌上置一紙片，其上載一銅元，徐徐

抽出紙片，則銅元與紙片一同運動，若將紙片迅速抽出，則銅元依然留於原處。

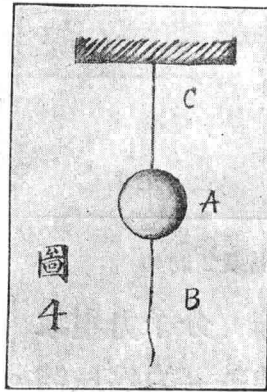
〔解釋〕 將紙片徐徐抽去時，紙片與銅元間之摩擦力，將銅元曳住，使與紙片同時運動。但摩擦力有極限值，故紙片攜帶銅元的力亦有一定限制；若用大力迅速將紙片抽去，則此力勝過紙片與銅元間的摩擦極限，故銅元脫離紙片留於原處。

現象 2 以手杖橫掃草莖時，用力猛則草莖折，遲則否。

〔解釋〕 杖之運動遲緩，即莖與杖相接觸的部分，僅受較小的力，若此力在能使草莖屈撓，不致折斷的範圍內，則草莖不斷。若杖的運動甚速，則莖上與杖接觸的部分，必隨之運動。同時該部分亦必以極大的力曳其上下部分，隨之運動。但此力甚大，已勝過草莖的韌性，故折。

現象 3 以同粗之線兩條分別繫於重固體的上下兩端，以上端之綫懸重固體，此時以手曳下端之綫，若用和緩之力，則上端之線斷，若用猛力，則下端之線斷。

〔解釋〕 A 爲重球，C、B 爲同質同粗之線，繫於 A 上，以和緩之力曳 B 線，至線不能支持時，則 C 線斷，因 B 線只受人力牽引，C 線除人力牽引外，尚受 B 球重力的牽引故也



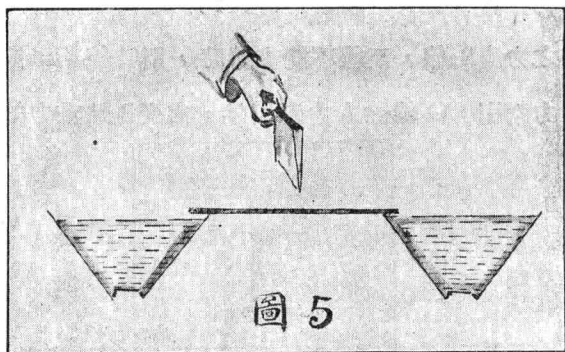
若以猛力牽 B 線，則 B 線斷，因用力過猛，力尙未傳至 C 處，而 B 已斷故也。

現象 4 手拋彈丸撞玻璃片，則玻璃片損壞之部分大，若彈丸從鎗口射出，則玻璃片被穿處成一小孔，他處均不損壞。

〔解釋〕 與本節現 2 同。

現象 5 滿盛水的兩碗間，架以竹箸，用力猛切竹箸，則竹箸兩斷，而碗水並不外溢，如圖 5。





〔解釋〕 與本節現象 2 同。

### 第五節 分子力現象

#### 現象 1 星辰地球等均為球體。

〔解釋〕 不受重力作用的液體滴，均為球體，因液體表面的分子，有互相牽引的力，即表面張力，此力有使液面收縮為最小限度的趨勢，在幾何學上，體積不變，表面面積最小的形體為球形，故不受重力作用的液體滴，當為球形，可無疑意。

地球等生成沿革，是由氣體變為液體，再由液體變為固體，當變為液體時，因表面作用，形成球狀，凝固為固體時，無外力使之變形，故仍為球形。

#### 現象 2 葉上的露常為珠狀。

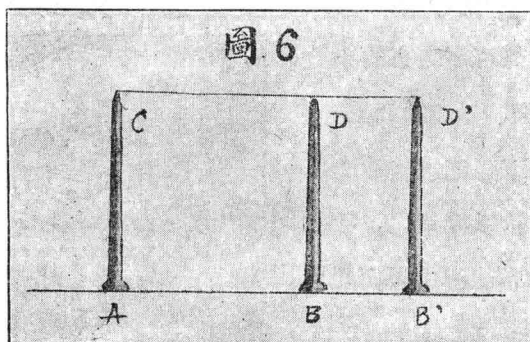
〔解釋〕 與本節現象 1 同。

現象 3 造彈丸時，用熔解的鉛汁，滴於水中，即得鉛丸。

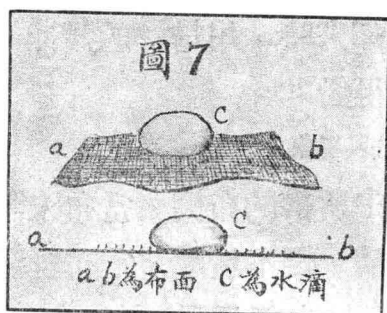
〔解釋〕 理由與現象 1 同。

現象 4 院中所搭的布棚，當布未濕時，雖大雨淋漓，棚不透水，當布既濕後，雖紛紛小雨，也能透過。

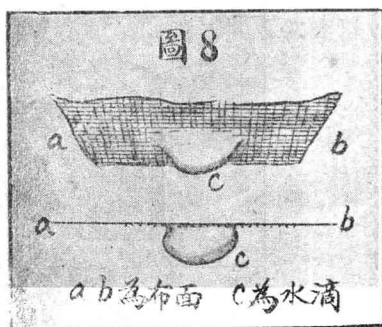
〔解釋〕 嵌 A、B 二洋釘於桌上，繫 CD 線，以手壓 CD，使之中斷，驗其抗力的大小，再將 B 釘移至 B' 的位置，使二釘的距離較前為大，再將前用的線繫於二釘上，以手壓線，使之中斷，驗其抗力的大小。則知前者的中斷，不如後者之易，其理由於距力的關係，茲不贅述。



雨滴落於乾布上，當布未濕時，雨滴在布上，因表面張力



作用，當呈珠狀，如圖 7。此時雨滴雖受重力作用，有透過布的小孔，下落的趨勢，但因布孔甚小，水的重力作用，勝不過表面張力，（其理由與上述的 A. B 二釘，距離近者，線不易中斷同）故再不透過。待若干時後，由布的毛細管作用，布漸浸濕，雨滴落在布上，雨滴與濕布的水，合為一體，此時其最下表面不能在布的上方，由重力作用，故可穿過布的小孔而下垂，如圖 8。若雨繼續下降則水滴愈大，且無物以棚架之，故其重力常能勝過表面張力而下落。

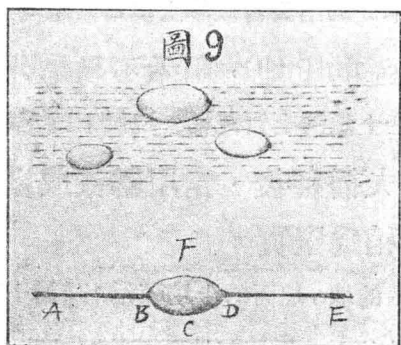


**現象 5** 布上塗油常能防水的透過，如雨衣，雨傘，雨鞋等是。

〔解釋〕 油與水間的附着力，勝不過二者的凝聚力，故二者不能沾着，布上塗油，雖油布上仍有小孔，但水着其上，即為球狀，容易滑去，故油布常乾而不透水，雨衣，雨傘，雨鞋等均本此理而造成。

**現象 6** 菜油一滴，散於水中，則呈珠狀而不散，以石油試之，立即四向擴散成一薄層

〔解釋〕 如圖9, ABCDE 為水面，BCDF 為油滴，油滴的邊沿部分B, 受水面AB的表面張力，曳之向BA 的方向，同時又受油面BF 的表面張力，與油和水間的表面BC 的表面張



力，曳之向BF 和BC的方向，在菜油方面，BF, BC方向的

表面張力，恰能抵抗 B A 的表面張力，故油滴不至曳開，在石油方面，則不足以抵抗，故立即四散。

**現象 7** 沙地的表面着水後，常較粘土地的表面易乾，而內部則反是。

〔解釋〕 土地表面的水分，受到太陽光與熱，則逐漸蒸發，表面下的水分，由土壤微管作用，浸潤而上，以濕潤地面，復由地面蒸發之，如此繼續不已，則地面和地面下若干深度的土壤，均可乾燥。不過地面直接受到日光，乾燥的程度較大而已。沙地的土質疎鬆，表面下的水分，上昇不易，故表面易乾，下部較難，粘土地的質較密，表面的水分蒸發後，仍有下方水分的不絕供給，故表面乾燥較難，但其下方水分的消失當較沙土地為多也。

**現象 8** 鋤過的土地，田禾不易旱死。

〔解釋〕 鋤過土地的土質較鬆，地面下的土壤不易乾燥故也

**現象 9** 農夫播種後，常用器械或以足壓土壤使之稍為堅實。

〔解釋〕 犁過的地，地面的土壤疎鬆，疎鬆土壤的深度約 5 寸許，播種於其上，種子在地面下約 2 寸許，再深則種子發芽後，即不能露出地面，此時種子既在疎鬆土壤的中間，

不能得地面 5 寸下的水分的供給，常易旱死，若用器械或足壓土壤，使之堅實，則地面下的水分可由微管作用而上昇，以濕潤種子矣。

現象10 吾人鋪路往往用小石子或沙土。

〔解釋〕表面易乾故也。

現象11 已斷的鐵絲用火燒後始固着爲一體。

〔解釋〕鐵絲不易曳斷，因分子與分子有互相吸引的力，吾人所用的牽曳力勝不過其分子力故也。但分子間的距離大，其分子力的作用小，距離近，分子力的作用大，未斷的鐵絲，其分子距離甚小，故固着力很大，待中斷後，雖再由其斷口密接之，但因斷口的不平，其分子距離當比以前爲大，即分子的作用較前爲小，以是不能固着一體。若用火燒之直到紅熱程度，再接其斷口，因鐵的可軟化，可壓迫其分子，使之距離縮小，故可接爲一體。

現象12 疎鬆散渙的粘土，可壓成塊狀。

〔解釋〕使分子距離變小，增加其分子力的作用，故可以成爲塊狀。

現象13 疎鬆散渙的粘土，和水爲泥，製爲塊狀，乾後堅硬如磚。

〔解釋〕 散渙的粘土，均為小土塊，土塊間的距離甚大，分子力的作用，不甚顯著，因以彼此不能固着，但着水後，小土塊變為軟泥，再用壓力，使彼此間的分子距離縮小，故乾後其性堅硬。

現象14 食鹽，糖等固體能溶於水，金銀等則否。

〔解釋〕 固體的表面分子常有飛去的趨向，其所以不能逸出者，實因體內的隣近分子，有引力作用，且引力較大，故足以阻止其飛去。若將固體投入水中，則水分子有助固體表面分子的飛去的引力。

設固體表面分子飛去的力 =  $a$ ,

固體內部分子的引力 =  $b$ ,

水分子的引力 =  $c$ ,

則  $b - a =$  固體分子的殘餘的引力

設  $b - a > c$ ,

則固體分子不能向水中飛散，即不溶於水，如金銀等是。

設  $b - a < c$

則固體分子能向水中飛散，即可溶於水，如食鹽，糖

等是。

### 第六節 液體壓力現象

現象 1 毛筆入水即四向張開，出水後即聚為一束。

〔解釋〕毛輕於水，毛筆入水後，因浮力作用，毛即四向張開，又水與毛之間，有附着力，毛筆出水後，由水的附着力的作用，將毛筆粘為一束。

現象 2 以木棒投入水中，木棒常橫浮於水面。

〔解釋〕液體對於物體所起浮力的作用點，叫做浮心，浮心的位置，即物體沉入液體部分的同一形狀液體的重心。

物體浮在液面時，浮心須與重心在同一鉛直線上，始可穩定，但重心的位置永不變動，浮心的位置，則因物體沉入液體部分的形狀而定，如圖10， $G$ 為物體的重心， $C$ 為浮心，當浮體由平衡位置(a)斜至(b)時，其浮心亦由 $C$ 移至 $C'$ 浮力的方向 $C'F$ ，與重力的方向 $Gg$ 成一偶力，效應在使恢復原來位置。

重心 $G$ 與浮心 $C$ 的聯結線 $GC$ 和 $C'F$ 的交點 $N$ ，叫做異心，

異心在重心之上，浮體為穩平衡。當浮體由(c)移至(d)時，則異心在重心之下，偶力效應在使其傾倒，故成不穩平衡



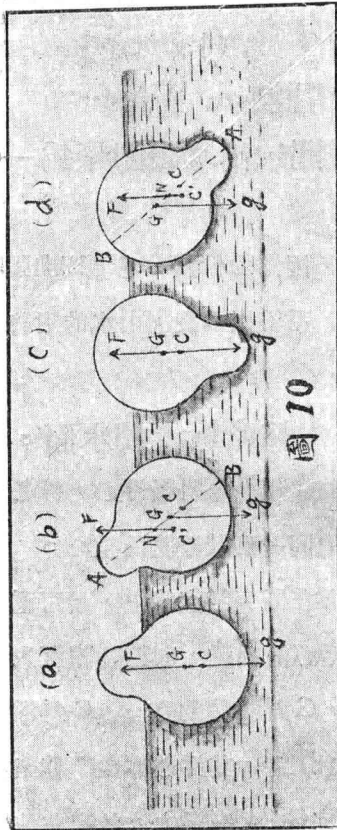


圖 10

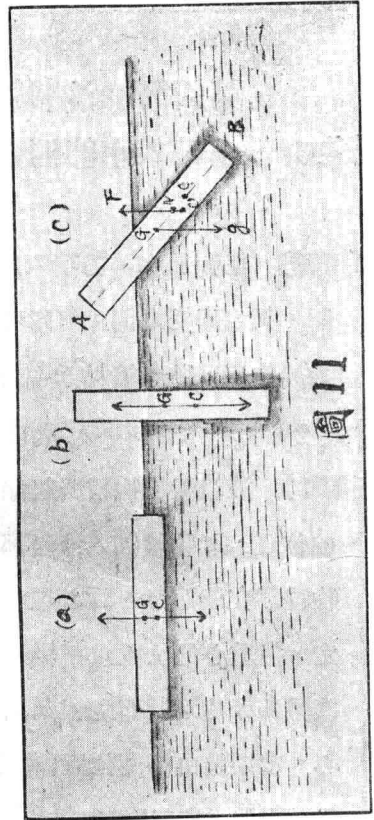


圖 11

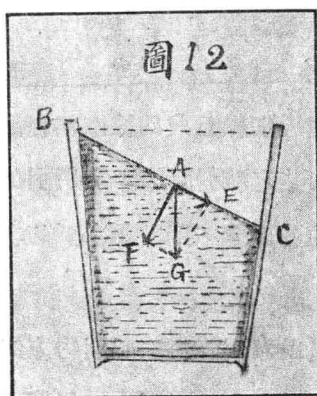
木棒在水中，其穩定位置只有兩個，如圖11中之(a)與(b)；因其重心G 浮心C，在同一鉛直綫上故也。設將(b)斜至(c)時，則異心N 在重心之下，由偶力作用，B端向上方轉動。由木棒在水中穩定位置，只有(a)(b)兩種形狀，

現 (c) 既不能恢復 (b) 的形狀，故轉動後，必如 (a) 的形狀，始能平衡，投木棒於水中時，恰如 (b) 形狀的機會絕少，故必轉動橫浮水面，如 (a) 的狀態。

**現象 3 靜止液體的自由表面常與地心引力方向成垂直。**

〔解釋〕 液體的通性，壓縮甚難，滑動甚易，故有一定的量，無一定的形，明乎此則可以解釋上題矣。

如圖12，設 BC 為器皿內液體的表面，A 為表面上的微小水滴，AG 為 A 水滴的重力方向，AF, AE, 為垂直於 BC 與平行於 BC 的二分力。因液體不易壓縮，故 AF 力的作用甚小，液體易滑動，故 AE 力的作用甚大。以是 A



沿  $AE$  方滑動，故  $B$  端水面漸低， $C$  端水面漸高。至  $BC \perp AG$  時，則  $AG$  無分力可平行於  $BC$ ，故能靜止。

#### 現象 4 水面為球面的一部分，非真正的平面。

〔解釋〕 如圖13,  $O$  為圓心， $AB$  為弧，弧上各點切線必垂直於切點與圓心的連結線，以極限論之，即弧之各小部分均垂於其半徑。

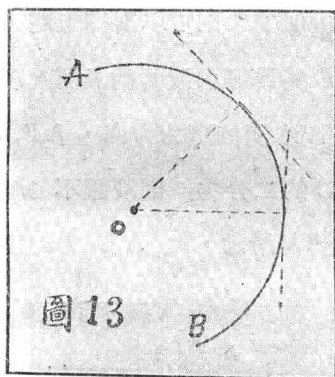


圖 13

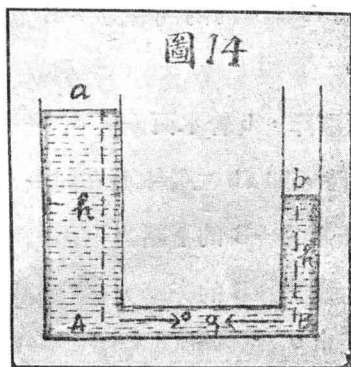
以弧之小部分漸近切線且與切線漸相合故也。反之，設由某線之各部分向某定點引直線，若所引的各直線，均能分別垂直於某線的各部分，則某線必為以某定點為圓心之弧甚明。

液體靜止時，自由表面既與地心引力方向垂直，則此表面，亦必為以地心為球心的弧面，可無疑意，不過弧面灣度

與半徑反變，地球之半徑甚大，液面灣度極小，漸近平面，故通常以平面稱之罷了。

### 現象 5 壺嘴水面與壺內水面必在一水平面上。

〔解釋〕 如圖 14， $ab$  為連通器的二水管， $A$  為  $a$  管中之一



點， $B$  為  $b$  管中的一點，且  $A, B$  在同一水平面上。

$A$  的深度  $= h$

$B$  的深度  $= h'$

$\therefore A$  的下壓力  $\propto h$

$B$  的下壓力  $\propto h'$

(液體單位面積上的壓力叫做壓力強度，簡稱為壓力，上述  $A$  的下壓力，即指在  $A$  點地方單位面積上的壓力而言餘倣此)

設  $h > h'$

即 A 的下壓力  $>$  B 的下壓力。

即 A 的旁壓力  $>$  B 的旁壓力。

(在同深的地方其上下旁壓力均相等)

∴ A 管水向 AO 方向的流動力  $>$  B 管水向 BO 方向的流動力。

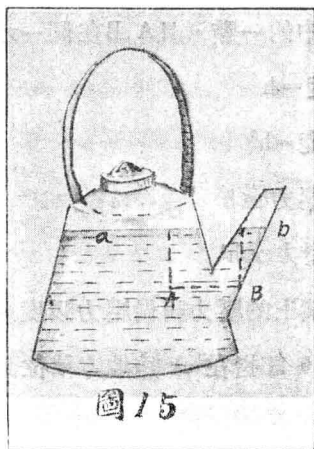
∴ a 管水面漸降，b 管水面漸昇。

待  $h = h'$  時，即 ab 二管水面在同一水平面時，

則 A 的下壓力 = B 的下壓力

即 A 的旁壓力 = B 的旁壓力

故流動停止。



水壺爲連通器之一種，如圖 15，A, B 爲同在一水平面上之兩點，A, B 兩點的旁壓力平衡時，須 A 在 a 面下的深度與 B 在 b 面下的深度相等，即 a, b 二水面在同一水平面上。

討論 在圖 14 裏邊，a 管大於 b 管，即 a 管水的重量大於 b 管水的重量，即 a 管的總壓力大於 b 管的總壓力，待二者平衡時，似應 b 管水面高於 a 管水面，方爲合理，此種誤解，可由巴斯克原理闡之如下。

設 b 管管口的面積 = 1 平方糎

a 管管口的面積 = 2 平方糎

水的密度 =  $d$

則在 AB 平面上，b 管中水的重量 =  $1 \times h' \times d = h' \times d$

在 AB 平面上，a 管中水的重量 =  $2 \times h \times d$

根據巴斯克原理，在 b 管中  $h' \times d$  的總壓力，能與 a 管中  $2h \times d$  的總壓力平衡。

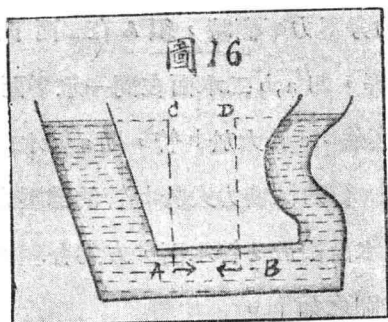
設  $2h'd < 2hd$  即  $h' < h$  則 a 管水下降。

$2h'd > 2hd$  即  $h' > h$  則 a 管水上升。

$2h'd = 2hd$  即  $h' = h$  則 a 管水昇不降。

又根據液體定律某面積上的壓力，等於以其面爲底，以其面的深度爲高的液柱的重量，與容器的形狀，和水量無關

如圖16。



設 A、B 在同一水平面上，且  $C A = B D$ 。

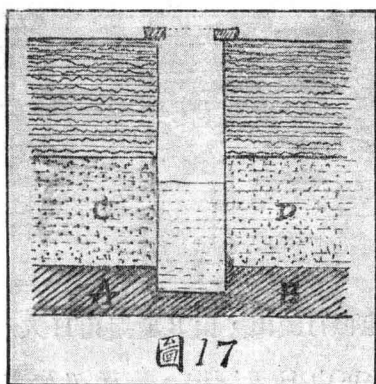
則 A、B 的旁壓力相等，不再發生流動現象，由上可知，壺嘴水面，與壺內水面，必在一水平面上，與壺嘴的容積大小和形狀無關。

**現象 6** 吾人掘井，掘至相當深處，則有水湧出。

〔解釋〕 降於山上或地面的雨，一部分滲入地內，一部分蒸發，滲入地內的水，漸滲漸深，直至不能滲透的粘土層而止，（水能滲透的地層，叫做滲透層，不能滲透的地層，叫做不滲透層，）故粘土層的上部，常有飽和的水存在，雨量增加，飽和水分的範圍向上伸展。如向地下掘孔，入於水飽和的地層內，則孔的低部，充滿以水，而成爲井。

**現象 7** 掘成的井，若水底有砂小石等物質，則井水甚旺。

〔解釋〕 如圖 17, AB 爲不滲透層，CD 爲水的飽和部分，



若 CD 層含砂小石等物，則水流通甚易，井水被汲去後，CD 層稍遠處的水能隨時流入以補其缺，故水不易汲完。

若 CD 層爲平常的土壤，稍遠處的水供給頗緩，井水被汲後，非有相當時間，不能復原。

**現象 8** 自流井的噴水。

〔解釋〕 如圖 18, A 爲高地，B 爲平地，CDEF 爲水不易滲透的粘土層，設 G 處爲水易滲透的土壤所構成，CD 與 EF 之間爲小石子層。由 G 處吸取地面的水，入於石子



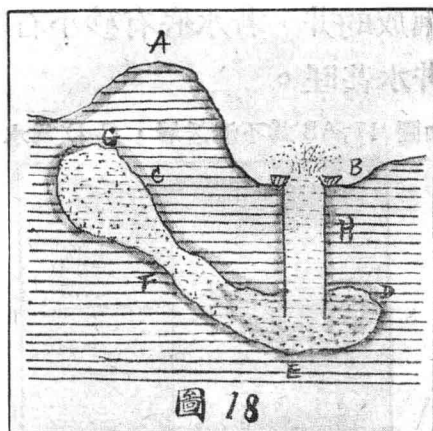
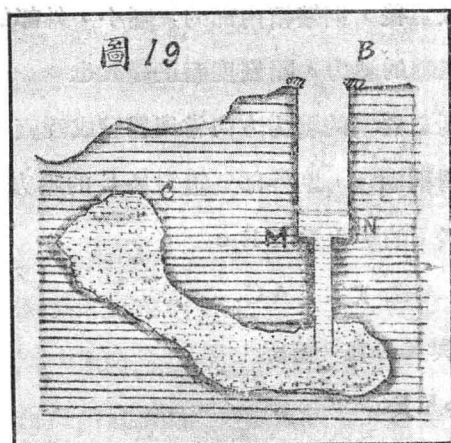


圖 18

層，且不能再行流出，由 B 處掘孔 H 入石子層，若 C 高於 B，則水可由 H 孔壓出。若 H 孔係天然的，則成一自湧泉。

現象 1 吾人掘井，若以竹管或鐵管，插入井底下若干深度，雖減少井筒的深度，也可得水。

〔解釋〕 如圖 19 所示，設 C 不高於 B，C 高於 N。則將井底掘至 N 下 M 處，再插入竹管，使其下端達於石子層，上端在 N 處，則水可由竹管壓入井底，此例的目的，在節省人工。

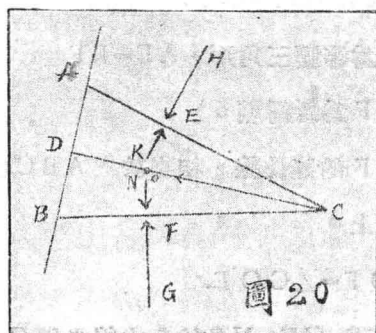


### 第七節 氣體壓力現象

現象 1 以口向筆帽內吸氣，筆帽即固着於唇上。

○

〔解釋〕 如圖 20, A B 爲唇，A B C 爲筆帽，以口向筆帽內



吸氣後，則筆帽內部的氣壓小，外部的氣壓大，因  
氣體的壓力，隨密度而正變故也。

又流動對於器壁的壓力方向常與器壁成垂直，設  $E F$  爲筆帽上的對稱兩點，則外部氣體對於  $E$  的壓力  $H E$ ，內部氣體對於  $E$  的壓力爲  $K E$ 。

$\therefore H E \perp A C, K E \perp A C.$

且  $H E$  與  $K E$  在一直線上。

又  $\therefore H K > K E.$

$\therefore E$  必受有  $H E - K E$  之壓力，其方向爲  $H E$  的方向，  
同理  $F$  必受有  $G F - N F$  之壓力，其方向爲  $G F$  之方向。

$\therefore H E = G F, K E = N F.$

$\therefore H E - K E = G F - N F.$

又  $\therefore \triangle A B C$  爲等腰三角形， $A E = B F$

( $\therefore E$  與  $F$  爲對稱點。)

$\therefore H E, G F$  的延長線，相交於  $\triangle A B C$  的中垂線  $C D$  上的  $O$  點上。

且  $\angle C O F = \angle C O E.$

$\therefore H E - K E, G F - N F$  的合力線必與  $C D$  相合，其方向

如圖所示，即壓筆帽於 A B 唇的方向。

同理可證明其他對稱點的壓力的合力方向，均與 C D 線相合，均有壓筆帽於唇上的作用，故筆帽不脫落。

**現象 2** 皮膚上扣火罐，則筋肉常被火罐吸起，且被吸的皮膚常呈紅紫色。

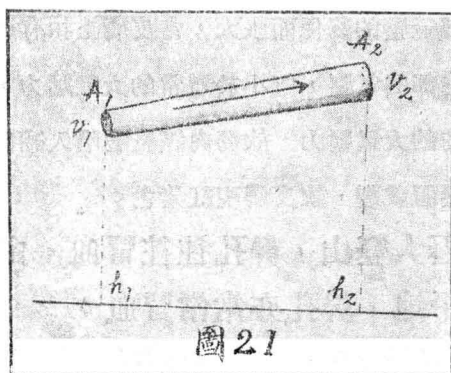
〔解釋〕 燃紙於火罐內，火罐內的空氣，因熱而膨脹，逸於罐外，此時罐扣於皮膚上，罐內是因氧的缺乏而熄滅，罐內氣體的溫度因以降下，罐內氣體的壓力頓形減下，勝不過罐外的大氣壓力遂固着於皮膚上。吾人皮以內，如筋肉，血管等，均有空氣存在，在平常情形，皮膚內的氣體壓力，常等於大氣壓力，故筋肉血管等不因外部氣壓的關係而縮小，不因內部氣壓的關係而脹大，當皮膚上扣有火罐時，火罐內部的氣壓，既小於通常的大氣壓力，即小於皮膚內的大氣壓力，故筋肉等被壓陷入罐內，小血管被壓而破裂，故皮膚現紅紫色。

**3** 吾人登山，鼻孔往往冒血，由高山乍至平地，鼻孔亦常常冒血。

〔解釋〕 吾人在平地時，體內的氣壓，常等於平地的大氣壓

力，故身體無甚痛苦。驟登高山，則以大氣壓力減小之故，體內氣壓迫血管皮身飽而膨脹，體頓感痛苦，鼻孔內的表皮，和微血管的管膜極為嫩薄，常能因膨脹而破裂，鼻孔因以出血。又皮膚多小孔，可以滲透空氣，登高山後，因體內氣壓大，體外氣壓小的關係，在某定時內，體內氣體逸於外的分子數，當較體外氣體滲入體內的分子數為多，新體內氣壓漸減，待至與體外氣壓相等時，體內體外氣體分子，雖仍有滲透現象，但因雙方分子數相同的關係，故體內氣壓不致再生變化。設此時乍至平地，體內氣壓又以勝不過體外氣壓的原因，筋肉血管被迫而縮，鼻孔內的血管亦易破裂出血。

#### 現象 4 噴霧器噴霧的理由。



〔解釋〕 伯奴利定理 (Bernoulli's Theorem) 設想一細小的定流管，如圖 21， $A_1, A_2$  表其兩端直切口的面積； $V_1, V_2$  表在兩端的液體速度，設為完全液體，不受壓縮，故其密度  $d$  為不變數。在單位時間內，由  $A_1$  流入的液體量為  $A_1 V_1 d$  在  $A_2$  流出的液體量為  $A_2 V_2 d$ 。在定流中兩者應相等。即

$$A_1 V_1 d = A_2 V_2 d$$

$$\text{或 } A_1 V_1 = A_2 V_2$$

即在一定流管內，液體的速度，與直切口的面積為反比。  $d_1, d_2$  表兩端的壓力，即壓水使之流動的力，在極短時間  $t$  內，由  $A_1$  流入的水量 =  $A_1 V_1 dt$ 。

其動能應等於  $\frac{1}{2} (A_1 V_1 dt) V_1^2$ 。

又在壓力  $d_1$  對於流入液體所作的功應等於  $d_1 A_1 V_1 t$ 。

故由  $A_1$  傳入能的和 =  $\frac{1}{2} A_1 V_1^2 dt + d_1 A_1 V_1 t = A_1 V_1 t (\frac{1}{2} d V_1^2 + d_1)$

同理由  $A_2$  傳出能的和 =  $A_2 V_2 t (\frac{1}{2} d v_2^2 + d_2)$  設  $A_1$  的位置底於  $A_2$  的位置，故由  $A_1$  進入的能，特由  $A_2$  傳出時因重力而減少。

命  $h_1, h_2$  為由任意水平面水管兩端的高。

則水量  $A_1, V_1 dt$  由  $A_1$  到  $A_2$  所失的能等於  $AV dt (h_2 - h_1) g$ .

$$\therefore A_1 V_1 t \left( \frac{1}{2} dV_1^2 + d_1 \right) - A_2 V_2 t \left( \frac{1}{2} dV_2^2 + d_2 \right) = A_1 V_1 dt (h_2 - h_1) g.$$

此式所表的關係稱為伯奴利定理。

設  $A_1$  與  $A_2$  同高。

$$\text{則 } A_1 V_1 t \left( \frac{1}{2} dV_1^2 + d_1 \right) - A_2 V_2 t \left( \frac{1}{2} dV_2^2 + d_2 \right) = 0$$

$$\text{即 } A_1 V_1 t \left( \frac{1}{2} dV_1^2 + d_1 \right) = A_2 V_2 t \left( \frac{1}{2} dV_2^2 + d_2 \right)$$

$$\therefore A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1$$

$$\therefore d_1 - d_2 = \frac{1}{2} d (V_2^2 - V_1^2)$$

$$= \frac{1}{2} d \left( \frac{A_1}{A_2} V_1^2 - V_1^2 \right)$$

$$= \frac{1}{2} d V_1^2 \left( \frac{A_1^2}{A_2^2} - 1 \right).$$

$\therefore \frac{1}{2} dV_1^2$  為正數。

$$\therefore \frac{A_1^2}{A_2^2} > 1, \text{ 即 } \frac{A_1}{A_2} > 1, \text{ 即 } \frac{V_2}{V_1} > 1,$$

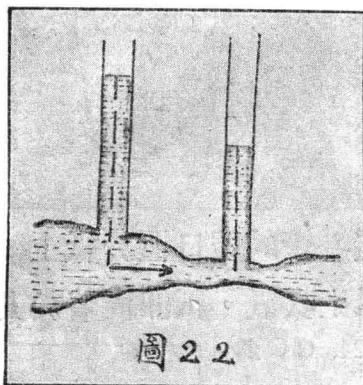
即  $V_1 < V_2$  則  $d_1 - d_2$  為正數。

$$\frac{A_1^2}{A_2^2} < 1, \text{ 即 } \frac{A_1}{A_2} < 1, \text{ 即 } \frac{V_2}{V_1} < 1,$$

即  $V_1 > V_2$  則  $d_1 - d_2$  為負。

即管徑寬處壓力大，管徑狹處壓力小，速度小處壓力大，速度大處壓力小。

如圖 22 所示，寬處的側管水面較高，狹處的側管水面較低。



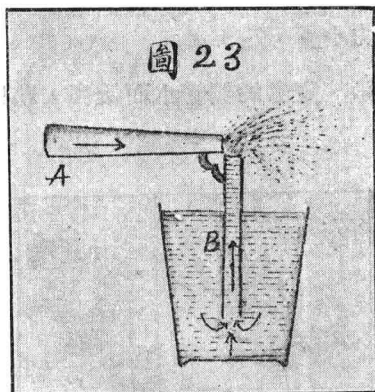
對於本題的解釋

氣體的容積由壓力與溫度而變更，故壓力與速度的關係，較為複雜，但在氣壓不甚大的範圍內，氣體仍與液體的情形相似，伯奴利定理仍可應用，即在通常的氣體內，速度大處壓力小，速度小處壓力大。

圖 23, 為噴霧器的原理，空氣由 A 管吹出時，流線為矢所示，出口愈遠速度愈小，最後始與大氣壓力相等。管口近

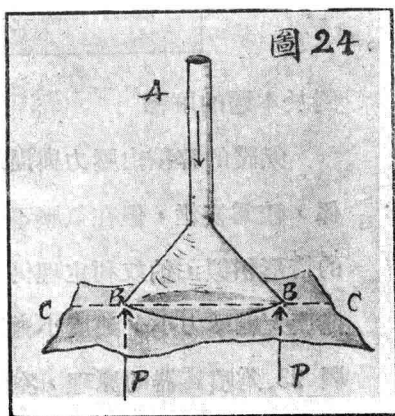


處壓力較小，液體被吸由B管昇起，隨同氣流，散作細霧噴去。家用的噴水壺，醫學上治喉痛的器具，概屬此理。



現象 5 以漏斗管的廣口置於紙上，自細口用力向紙上吹氣，紙即固着於其上。

〔解釋〕 如圖 24, CC 爲紙片，BB 爲漏斗管的邊緣，BB 與 CC 間有狹小的空隙，此時空氣以極大的速度，由此空隙吹出，故其處壓力甚小，（伯奴利定理）以是紙片被下方的大氣壓

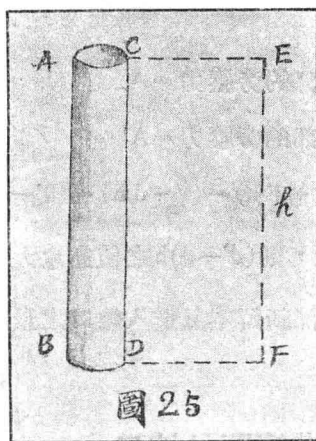


力  $P$  壓上，不得落下。

現象 6 鍋爐上置有烟鹵，則燃料燃燒甚盛，且烟鹵愈高，其效愈著。

〔解釋〕 如圖 25,  $AB$  為烟鹵，其高為  $h$  裡，烟鹵上端的壓力為  $P \frac{\text{克}}{\text{平方裡}}$ ，烟鹵內氣體密度，為  $d \frac{\text{克}}{\text{立方裡}}$ ，則烟鹵

下端的壓力為  $(P + dh) \frac{\text{克}}{\text{平方裡}}$ ，



即烟鹵下端的旁壓力為  $(P + dh) \frac{\text{克}}{\text{平方裡}}$ 。

又命烟鹵外的氣體柱  $CDEF$ ，其高與烟鹵等，其密度為

$d' \frac{\text{克}}{\text{平方裡}}$ 。

故 C D E F 氣體柱下端的壓力為  $(P + d' h) \frac{\text{克}}{\text{平方糎}}$  即烟鹵

下端外部的旁壓力 =  $(P + d h) \frac{\text{克}}{\text{平方糎}}$  因烟鹵內氣體密度

，以溫度較高的關係，常較外部氣體為小，即  $d < d'$  。

∴  $P + d' h > P + d h$ 。

即烟鹵外部氣體的旁壓力  $>$  烟鹵內部的旁壓力。故外部的氣體被壓由爐口進於烟鹵，供給燃料以新鮮的空氣，而助其燃燒。

又命烟鹵下端內部的旁壓力 =  $A$ ，

烟鹵下端外部的旁壓力 =  $A'$

則  $A' - A = (P + d' h) - (P + d h) = (d' - d) h$

設  $h$  之值愈大，則  $(d' - d) h$  之值亦愈大。即內外旁壓力之差亦愈大，外部新鮮空氣進入爐口之量亦因之增多，故其效愈著。

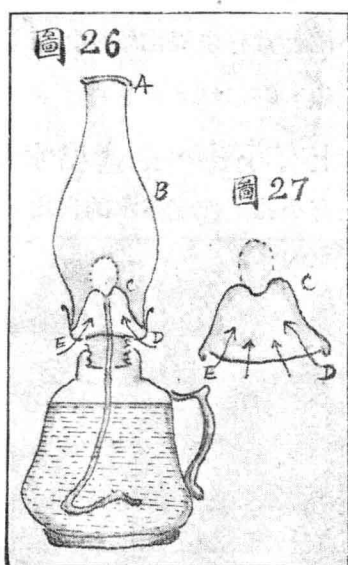
**現象 7** 以洋鐵筒置於爐口上，則火力即行大增。

〔解釋〕 與本節現象的理由同。

**現象 8** 洋油燈上，加以燈帽，則光亮大增。

〔解釋〕 如圖 26, A B 爲燈罩, C 爲燈帽, D E 爲燈帽下的有孔金屬板。

燈罩的功用： 使罩內外氣體起對流作用，供給火焰以源源不絕的新鮮空氣，與烟鹵的作用同。



燈罩的 B 處稍寬，其用意在於防燈罩的因熱而破裂。

附言 燈帽的功用： 如圖 27, 由 D E 金屬板的小孔流入的空氣，緣燈帽的內壁上昇，全部經過火焰，以供燃燒。

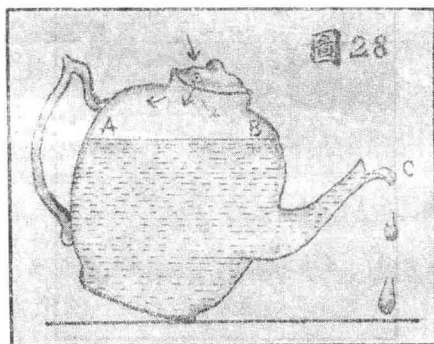
燈煙 燈油爲炭氫化合物，燈心點着火後，則煤油先化

爲油的氣體，再分解爲碳與氫的單體，碳，氫與氧化合生光與熱，此熱再將未經化學變化的小碳粒，灼爲白熱，故其光倍亮。

設無燈罩或無燈帽，或二者俱無，則以空氣供給不充分的緣故，碳的小粒，常有未經化學變化而飛散者，此種飛散的小碳粒的流線，叫做煙。

### 現象 9 壺蓋上有小孔，則壺出水甚利。

〔解釋〕 壺蓋上有小孔，使壺內水的自由表面，



與大氣相通，設將壺傾斜，如 29 圖所示，則 A B 面高於 C 面，故壺嘴流水。

設壺蓋上無孔，壺嘴流出極微量的水後，A B 面因以下降，壺內氣壓隨之減小。此時 A B 面雖高於 C 面，但以壺內稍高之水壓力與壺內氣壓之和，仍以勝不過壺嘴水面的大

氣壓力的原因，而壺不流水。

現象10 雨天氣壓常小，（風天氣壓亦小，惟解釋甚易，故不錄）

〔解釋〕 水蒸氣輕於空氣，其計算如下。

$4 \text{ N}_2 + \text{O}_2$  的體積 =  $5 \text{ H}_2 \text{ O}$ （氣體）的體積。

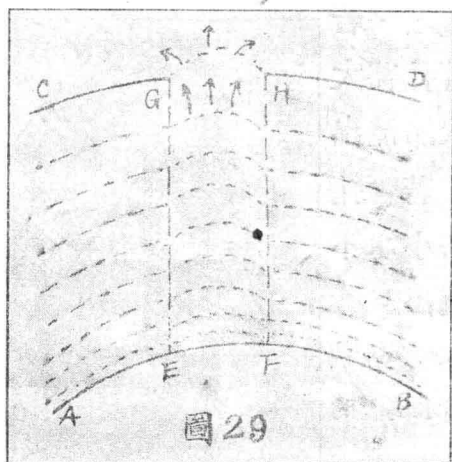
$4 \text{ N}_2 + \text{O}_2$  的重量 =  $4 \times 28 + 32 = 144$ 。

$5 \text{ H}_2 \text{ O}$  的重 =  $5 \times 18 = 90$ 。

$\therefore 4 \text{ N}_2 + \text{O}_2$  的重  $>$   $5 \text{ H}_2 \text{ O}$  的重。

即空氣重於水氣。

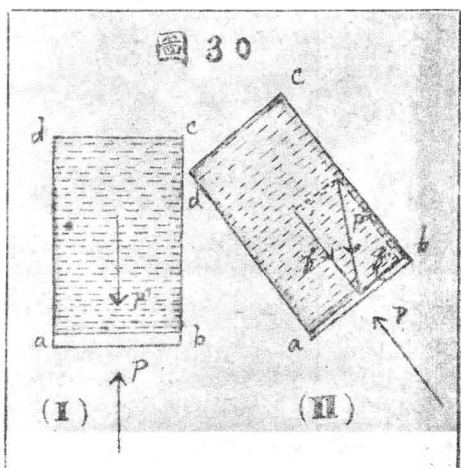
如圖 29, 設 AB 表地球表面，CD 表空氣的自由表面，又



設 EF 地面有大批水氣蒸氣而上昇，則 E F G H 柱的空氣，必有被壓迫或撞擊而上昇者，F F G H 空氣柱的自由表面，當亦因之增高，此高出的空氣部分，當必四向擴散，如圖所示，此時 E F 地面的氣壓，當較無水蒸氣時為小，因其表面上的空氣被水氣置換故也，所以雨天的氣壓小。設全地面均有大批的水氣蒸發，則全地面的空氣層均行增高，水蒸氣不復能置換空氣矣。氣壓反以多水氣的緣故，而加大，但此為理想的假定，徵諸實際，全世界絕無同時均行降雨之可能。

現象11 一端封閉的玻璃管內，滿盛以水，而倒置之，若管孔甚大水即流出，若管孔甚小水不流出。

〔解釋〕 如圖 30, a b c d 為盛水倒置的玻璃管，設管的下



口平面  $ab$  恰在水平位置，如圖 (I) 所示，則水的重力  $P' \perp ab$

空氣的壓力  $P \perp ab$  …………… (大氣壓力方向常與物體的接觸面垂直)

故  $P$  與  $P'$  的方向相反，其合力等於二者之差。

$\therefore P > P'$  …………… (大氣壓力 = 34 呎水柱之重，管內水柱之長較 34 呎為小)

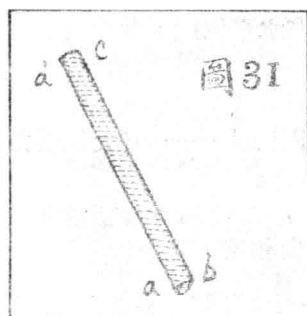
$\therefore$  水不下落。

設管的下口平面  $ab$  不為水平位置，如圖 (II) 所示，雖空氣的壓力  $P$  仍垂直於  $ab$ ，但水的動  $P'$  不復與  $ab$  垂直，命  $f, f'$  為  $P'$  的二分力，且  $f \perp ab, f' \parallel ab$ 。

則  $f$  與  $P$  的方向相反， $f$  因小於  $P$  的緣故，失其效應。 $f'$  與  $P$  垂直，故  $f'$  不受  $P$  的影響，而顯作用，所以管口的水，向  $a$  方滑動而流出，同時由  $b$  方和其近旁：進入空氣以補其缺，如此繼續不已，則管中水可全數流出。在通常情形，倒置玻璃管下端的管口平面，不易恰為水平位置，故水常流出。

若管孔甚小，則由  $f'$  的作用向  $a$  方滑動的水量當甚微，故流至  $a$  方的水，常以其重力勝不過表面張力的緣故，成球





狀面附於 a 而不下落，如圖所示。

現象12 覆厚紙於盛水的杯上而倒置之，放手後，水不流出，此時去厚紙，水即落下。

〔解釋〕 於本節現象 11 圖 (II) 中，於 ab 處覆以厚紙。  
 $\therefore P > f$  故厚紙固着於杯口上。

又水向 a 方滑動之力，常有使厚紙離開 a 方的趨勢，但此趨勢仍以勝不過  $P - f$  的力的緣故，不顯作用，故水不流出，去厚紙後，水即流出，與本節現象 11 同。

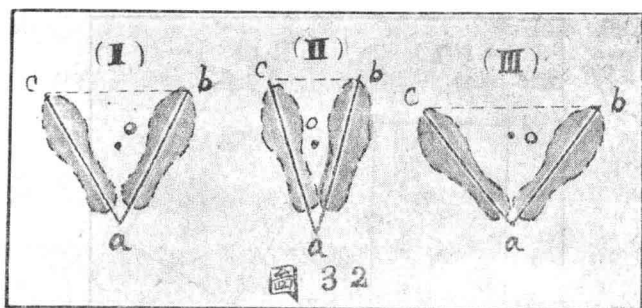
### 第八節 重心穩度等現象

現， 1 立整姿勢，兩足開張的角度為六十度。

〔解釋〕 如圖 32, ac, ab 為兩足。

$\triangle abc$  為人體在表面上的底基。

設  $\angle bac = 60^\circ$  如圖 (I) 所示。



則  $\angle abc$  爲等邊三角形。

$\therefore (ab=ac, \therefore \angle c = \angle b = 60^\circ)$

$\therefore$  等邊三角形之重心  $O$ , 在正中位置。

$\therefore$  前後左右均不易倒。

設  $\angle bac < 60^\circ$  如圖 (II) 所示。

則重心  $O$  距  $ab, ac$  近, 故左右易倒。

設  $\angle bac > 60^\circ$  如圖 (III) 所示。

則重心  $O$  距  $bc$  近, 故前後易倒。

現象 2 載貨的車, 常置重物于下方, 置輕物于上方。

〔解釋〕 如圖 33,  $abcb$  爲物體, 設其位置如圖 (I) 所示, 無論其重心爲  $g$  或爲  $g'$  則物體不傾倒, 因其重心的重力的方向, 均射在支持面  $ab$  以內故也。

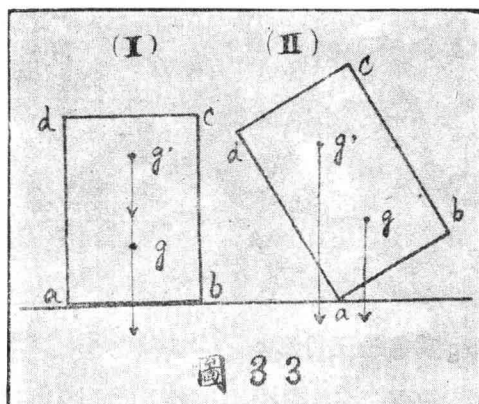


圖 3 3

設將物體的位置改變，如圖 (II) 所示，設重心在  $g$  處，則物體仍可恢復 (I) 的位置，因重心的重力方向射在支持點  $a$  之右方故也。

設重心在  $g'$  處，則物傾倒，不復恢復其原來位置，因重心的重力方向射在支持點  $a$  之左方故也，茲得結果如下：底基（即支持面）同大的物體，重心高者穩度小，重心底者穩度大。

載重之車，重物常置下方者，意在使重心降底，以增加其穩度也。

現象 3 吾人登高，身必前俯，由高岡下降：身必後仰。

〔解釋〕 吾人登高，身向前俯，意在使身體重心的重力方向，射在支持面以內，防止身體的傾倒。

由高崗下降，身必後仰，理與上同。

#### 現象 4 吾人負重，身必前傾。

〔解釋〕 負重物時，人體與重物二者的共有重心，當在人體單獨重心之後；故身向前稍傾，使其共有重心的重力方向，射在兩足以內，以防傾倒。

#### 現象 5 繩妓走繩時，常持有棒或傘等物，以免傾倒。

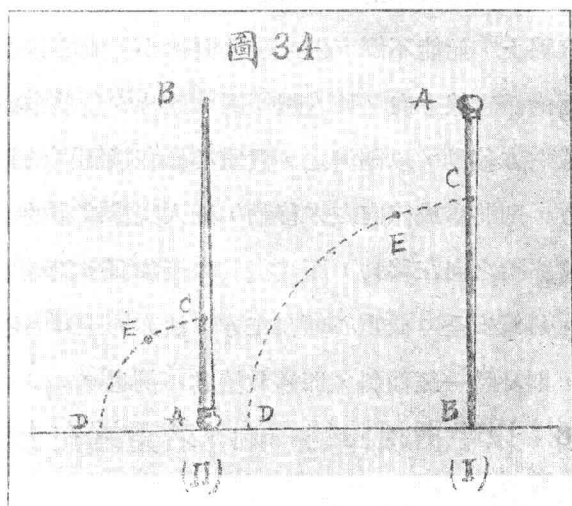
〔解釋〕 人與棒或傘的共有重心，須在人足與繩的接觸面的鉛直線上，始能不倒，但此接觸面甚小，重心常能離開接觸面的鉛直線方向，使人體傾倒，此時宜急將傘或棒向左方或右方移動，以調濟之，設重心傾在接觸面的鉛直線的右方，則將傘或棒向左方移動，則人與棒或傘的共有重心，當亦隨之向左移動，而恢復其在接觸面上鉛直方向的位置，以策安全。設重心傾在左方，法亦同上。若不持棒和傘，則身體一經傾斜，即難救濟其不倒也。

#### 現象 6 以手指頂棒的一端，若重端在上，甚易使棒直立不倒。

〔解釋〕 物體的重心愈高，則物易傾覆，重心愈低，則傾覆較難，此理固屬甚確，但重心高的相體傾倒時，重心經過的弧線大，即其斜度的變更率較緩，常易救濟，使之不倒。

如圖 34, AB 為棒，A 為較重之端，C 為重心，物體傾倒時，其重心所經過的路線為  $\widehat{CD}$  設物體在傾倒進程中，其重心由 C 到 E, 設  $\widehat{CE}$  約為五吋。

在圖 (I) 重心離開鉛直線的斜勢，遠遜於圖 (II)，此時急將手指向左方移動，以救濟其傾倒，則在圖 (I) 甚易，在圖 (II) 甚形困難也。



現象 7 小孩較成人易於傾倒。

〔解釋〕 小孩較成人易於傾倒的原因有二。

一關於生理的，即成人身體構造為健全，故步履甚易，傾倒甚難。一關於物理的，理由如本節現象 6 所談。

現象 8 扮演高蹺戲者，其足上所着的木棒愈長，行走愈易。

〔解釋〕 理由與本節現象 6 同。

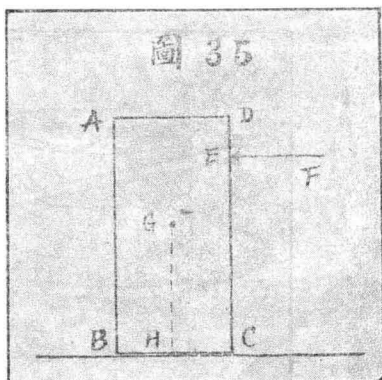
現象 9 風箏的尾巴，為使風箏不易傾倒的裝置。

〔解釋〕 風箏的支點，在風箏上的繫牽引繩的地方，風箏綴以尾巴，則其重心在支點之下，故不傾倒。

### 第九節 力距槓桿等現象，

現象 1 手推直立的物體，着力點愈高者愈易傾倒。

〔解釋〕 如圖 35,  $ABCD$  為直立的物體，其重量為  $W$ ，其重心為  $G$ 。設用力



推物體，則物體以 B 點為軸而轉動，其力距 =  $F \times EC$ 。

又物體以重力的關係，亦以 B 點為軸，有轉動的能以恢復舊位，其力距 =  $W \times BH$ 。設二者恰能平衡，須  $F \times EC = W \times BH$ 。

$$\therefore F = \frac{W \times BH}{EC} = \frac{1}{EC} \times W \times BH.$$

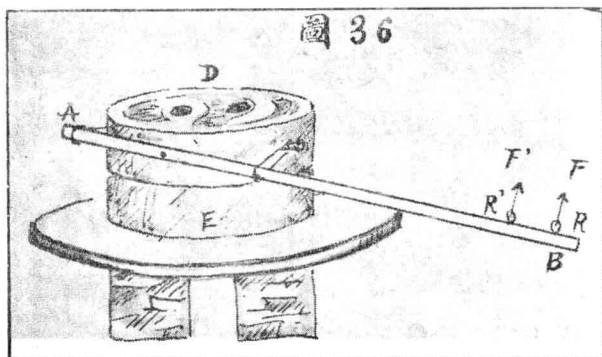
即  $F > \frac{1}{EC} \times W \times BH$  時，則物體傾倒。

$\therefore W \times BH = \text{常數}。$

$\therefore EC$  愈大，則  $F$  需要之值愈小，即着力點愈高，愈可以小力推倒之。

## 現象 2 磨椽上常嵌入兩個鐵圈。

〔解釋〕 如圖 36,  $DE$  為磨， $AB$  為磨椽，即曳磨轉動所用的桿子，磨椽所嵌的鐵圈  $R, R'$  即畜牲曳磨時的着力點，



C 爲由磨中心的軸，向 B 作垂直綫與 AB 的交點。F, F' 爲畜牲曳磨時所用的力，其着力點分別在 R, R'。

則  $F \times CR =$  由 R 圈曳磨的力距。

$F' \times CR' =$  由 R' 圈曳磨的力距。

設磨恰能轉動。

則  $F \times CR = F' \times CR'$ 。

$$\therefore \frac{F}{F'} = \frac{CR'}{CR}$$

$$\therefore CR' < CR$$

$$\therefore F < F'$$

即着力點距轉軸近者須用大力。

着力點距轉軸遠者，須用小力。

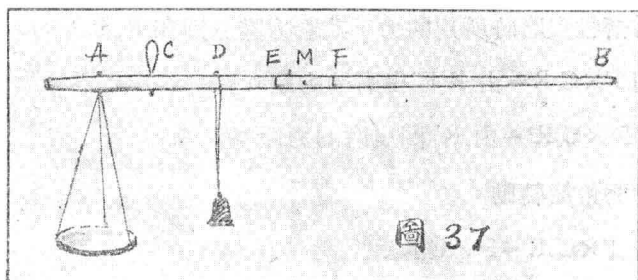
惟由 R' 圈曳磨，雖須用較大的力，但使磨轉動一周，所需的時間較短，（因路線短）故工率較大，強有力的蓄牲宜用之。由 R 圈曳磨，雖工率較小，但只用小力亦可使磨轉動，軟弱力小的牲畜宜用之，磨椽上常嵌入兩個鐵圈者，其用意宜於各種牲畜之用。

### 現象 3 桿秤能測物質質量的多寡。

〔解釋〕 如圖 37, A B 爲秤的桿，A 處結以秤盤，其重爲  $Q_1$ , C 處結以秤紐，D 處爲秤錘，其重量爲  $Q_2$ ,  $Q_3$  爲秤



桿的重量，其重心在M處。



設空盤時，秤錘在D處恰能平衡，則D點為秤星的起點，此際兩方力距相等，其式如下：

$$Q_1 \times AC = Q_2 \times CD + Q_3 \times CM$$

次置重W的物體於秤盤，移秤錘於E處，若亦能平衡，則

$$(Q_1 + W) \times AC = Q_2 \times (CD + DE) + Q_3 \times CM.$$

$$\text{即 } Q_1 \times AC + W \times AC = Q_2 \times CD + Q_3 \times CM + Q_2 \times DE.$$

$$\therefore W \times AC = Q_2 \times DE \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{即 } W = \frac{Q_2 \times DE}{AC}, \text{ 亦即 } W = \frac{Q_2}{AC} \times DE.$$

$$\text{因 } \frac{Q_2}{AC} = \text{常數} \circ$$

$$\therefore W \propto DE$$

即秤桿的度數，各部均應等長，設秤錘在E處，稱得物體

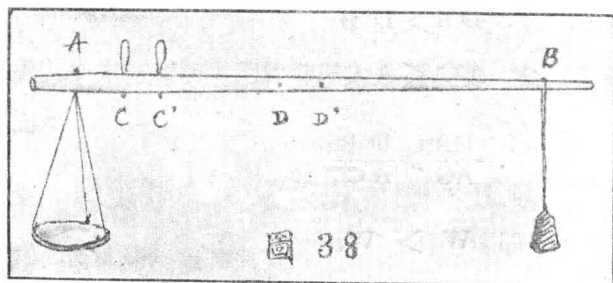
的質量爲一斤，則於E之右方取F點，令 $EF = DE$ ，則錘在F處稱得物體的質量應爲2斤也。故釘秤星時，只須用標準秤，將1斤之秤星找出，其他秤星如四兩，半斤，二斤，三斤等均可用比例求得之。

附註 桿秤爲稱質量的裝置，利用重量與質量爲正比的原理，由重量以測質量。

**現象 4** 常用的桿秤，多繫以兩個秤紐。

〔解釋〕 支點的位置不同，力矩亦因之而異。

如圖 38. C, C' 爲二秤紐，D 爲用 C 紐時的秤星起點，D' 爲用 C' 紐時的秤星起點。



∴ C 在 C' 的左方。

∴ D 在 D' 的左方。

置秤錘於 B 處，且命秤錘的重 = Q。

設置重物 W 於盤，用 C 紐恰可平衡。

置重物  $W_1$  於盤，用  $C'$  紐恰可平衡。  
則由本節現象 3, (I) 式所得的結果，即

物重  $\times$  支點與重力的距離

$=$  秤錘重  $\times$  秤星起點與錘的距離

$$\therefore W \times AC = Q \times DB$$

$$W_1 \times AC' = Q \times D'B$$

$$\therefore W = Q \times \frac{DB}{AC}$$

$$W_1 = Q \times \frac{D'B}{AC'}$$

$$\therefore DB > D'B$$

$$AC < AC'$$

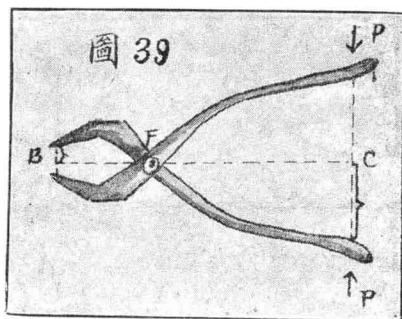
$$\therefore \frac{DB}{AC} > \frac{D'B}{AC'}$$

$$\text{即 } W > W_1$$

故用  $C$  紐能稱重物，用  $C'$  紐能稱輕物。

**現象 5** 鐵鉗將物夾住常較手握牢固。

〔解釋〕 設手加於鉗柄上下兩方的力各為  $P$ ，物的兩面所受的  
挾力各為  $Q$ 。



$$\text{則 } P \times CF = Q \times FB,$$

$$\text{即 } P : Q = FB : CF,$$

$$\because FB > CF,$$

$$\therefore P < Q,$$

故手以小力壓鉗柄，則鉗即以大力而挾物，是以常較手握牢固。

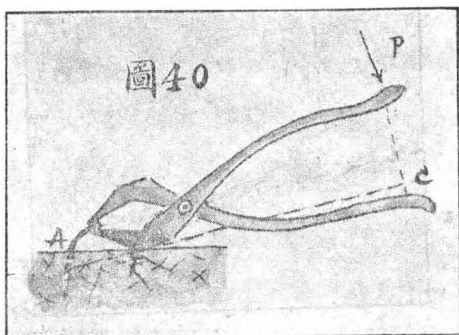
現象 6 以剪斷布，常較以刀斷布為易。

〔解釋〕 與本節現象 5 同。

現象 7 拔釘時常用鐵鉗。

〔解釋〕 如圖 40，先以鉗力將鐵釘挾緊，再以  $P$  壓鉗柄向下

運動，則釘所受的拔力  $Q$  即等於  $P \times \frac{CF}{AF}$ 。



$$\therefore \frac{CF}{AF} > 1$$

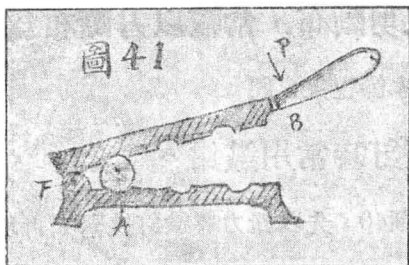
$$\therefore Q > P$$

即釘受拔的力大於人施於鉗柄的壓力，故釘易拔出。

現象 8 軟木塞榨器，常能將木塞壓小。

〔解釋〕 圖 41 為壓榨器，F 為轉軸，A 為軟木塞，以壓力

P 使壓器之柄向下運動，其力矩 =  $P \times BF$ 。



A 木塞受作用所起的抵抗力 Q，壓棒向上運動，其力矩

$$=Q \times AF,$$

$$\therefore P \times BF = Q \times AF.$$

$$\therefore Q = P \times \frac{BF}{AF} \quad \text{且} \quad BF > AF,$$

$$\therefore \frac{BF}{AF} > 1 \quad \therefore Q > P,$$

$\therefore$  木塞的抵抗力 = 木塞所受的壓力

$\therefore$  木塞所受的壓力應為手加的力的  $\frac{BF}{AF}$  倍。

$\therefore$  易將木塞壓小。

現象 9 以鋤斷草常較以刀斷草為易。

〔解釋〕 與本節現象 8 同。

## 第二章

### 熱學現象

#### 第一節 熱的傳導現象

現象 1 室中的鐵塊和木板，以手觸之，則覺木板較鐵塊為溫暖。

〔解釋〕 室中鐵塊和木板的溫度，均較吾人體溫為低，以手觸之，則吾人手指之熱，必傳導於鐵塊或木板上，惟鐵塊為良導體，與手指接觸的部分，得有熱量後，遂傳於各部分，故溫度升高較難，木為不良導體，與手指接觸的部分，得有熱量後，不傳於各部分，故溫度升高較易。

現象 2 以舌尖觸眼鏡片，即可鑑別其為玻璃片，抑為水晶片。

〔解釋〕 以舌尖觸眼鏡片，覺暖者為玻璃片，覺涼者為水晶片，因水晶較玻璃為易傳熱，是以吾人感覺水晶較玻璃為溫度低。

### 現象 3 衣服可以禦寒。

〔解釋〕 人體溫度無論寒暑常為  $37^{\circ}\text{C}$ ，過與不及，皆為病態，隆冬嚴寒，外界溫度較體溫為低，皮膚的熱往往散逸於外，故宜着不傳熱之衣服以維護之，使體熱不散於外，故常覺溫暖。獸皮絨絮，中蓄空氣，傳熱最難，故服之亦最暖。

### 現象 4 吾人持灼熱之物，常常襯以手巾。

〔解釋〕 因手巾不易傳熱的緣故。

### 現象 5 夏日之冰裹以稻草，雖置烈日下亦可經久而不融解。

〔解釋〕 稻草不易傳熱，日光的熱為稻草隔住，不能傳於冰上，故冰不融解。

### 現象 6 烈日下的鐵塊和木板，以手觸之，常覺鐵塊較木板為熱。

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

## 第二節 物體的熱脹冷縮現象

### 現象 1 將倒塌之樓房，以鐵柱斜支之，以火熱鐵柱，可以將傾欹之牆壁扶正。

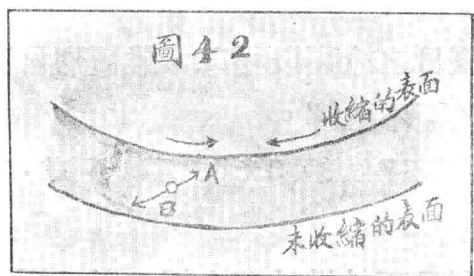
〔解釋〕 鐵柱熱則膨脹，其膨脹之力極大，故可將傾斜的樓



房扶正。

**現象 2** 紅熱之鐵鍋驟注以冷水，則鍋往往破裂。

〔解釋〕 紅熱之鐵鍋驟遇冷水，則與冷水接觸的表面，極烈收縮，要遇冷水接觸的表面，當此時間，未受水的影響，不會收縮，而表面中間的分子，因分子引力的關係，受有相反的二力，如圖42。



分子集團 C 受有表面分子的引力，其方向如 A 矢所示，同時受有另一表面的引力，其方向如 B 矢所示，因收縮的劇烈和收縮力量較大的原故，C 常能離開收縮表面的分子；或未受收縮表面分子而炸裂。

**現象 3** 烈日下的石塊驟遇猛雨常有炸裂現象。

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

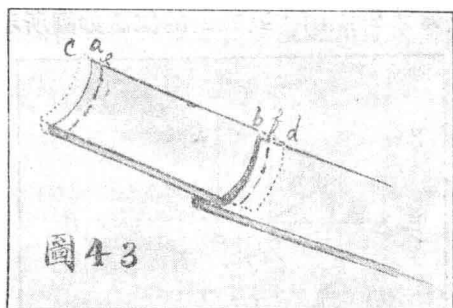
### 現象 4 燃竹或麥桿時，每聞有暴烈的聲音。

〔解釋〕 因竹及麥桿皆為中空而有節者，當燃燒時，兩節中之空氣膨脹，壓力增加，結果遂將莖桿破裂而發聲。

### 現象 5 瓦屋上活置的瓦塊，年深日久，常能自行落下。

〔解釋〕 其原因雖不一而足，但在熱學上的解釋如下：

屋頂為上高下低的斜面，其上活置的瓦片  $ab$ ，因日光關係，晝間脹大，如圖  $cd$ ，夜間縮小，當縮小時，受動的影響， $d$  端不回自  $b$  而至  $f$ ， $c$  端超過  $a$  而至  $e$ ；是  $ef$  較  $ab$  下降若干距離矣。日復一日，故瓦片常能落下。



### 現象 6 注開水於玻璃內，厚者較易破裂。

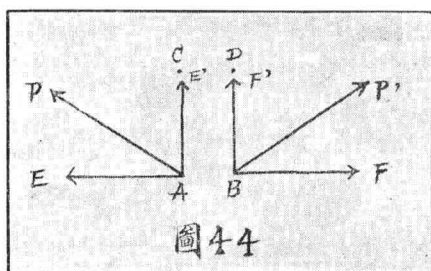
〔解釋〕 注開水於厚玻璃杯內，與開水接觸的表面的溫度，應遠高於不會與水不會接觸的表面。因玻璃為不良導熱的

物體，且杯壁較厚，導熱更當困難也。此時兩表面的溫度既大有差別，其雙方膨脹之度，亦應大異，故易發生破裂現象。若為薄杯，則熱之傳導於外表面，應較厚者為易，即內外兩表面溫度之差，較厚者為少，故炸裂較難。

**現象 7** 以火熱香桿，或木條，則呈灣曲現象。

〔解釋〕 以香桿或木條橫置於火上熱之，則香桿或木條的上下兩面，受熱之量不等，其膨脹之度亦異。膨脹度較大的分子，一方向外膨大，同時受鄰近膨脹度較小分子的吸引作用，遂呈灣曲現象。

如圖 44, A, B 為膨脹度較大的分子。C, D 為膨脹度較小的分子。當未受熱前，其相對的位置如圖所示，及受熱後



，A, B 向外膨脹，其方向為 A E, B F. 同時 C, D 以膨脹度較小的原因，不能與之同一膨脹而落後；又以 A E', B F' 之力吸之，（分子力）故結果，A 的膨脹方向不為 A E 而

爲 $AE, AE'$ 的合力 $AP, B$ 的膨脹方向不爲 $BF$ , 而爲 $BF, B$   
 $F'$ 的合力 $BP'$ , 故 $AB$ 表面遂呈灣曲現象。

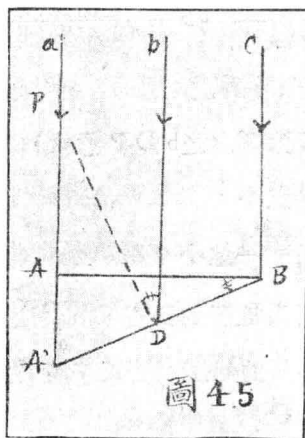
**現象 8** 由黃銅與鐵，釘合而爲一棒，熱之，雖二者受等量之熱，亦呈灣曲現象。

〔解釋〕 黃銅的膨脹係數，較鐵爲大，故呈灣曲現象，此時曲線之外緣爲黃銅。若將上棒埋於雪中，則黃銅收縮之度較鐵爲大，故亦呈灣曲現象，此時曲線之外緣爲鐵。

### 第三節 氣候的寒暖現象

**現象 1** 日午較朝夕爲暖。

〔解釋〕 地面的冷熱，因日光射入角而異。射入角者，乃射入地面的光線與地面垂直線所成之角度也。如圖 45, a, b, c



爲射入地面的光線。設  $AB$ ,  $A'B$  爲不同的地面。  $AB$  與光線  $a, b, c$  等成直角；  $A'B$  與光線  $a, b, c$  等成斜角。作  $DP \perp A'B$ 。則  $AB$  面上每一單位面積所受的光量爲

$\frac{AB \text{ 所受光的總量}}{AB \text{ 面積}} \cdot A'B \text{ 面上每單位面積所受的光量}$   
 爲  $\frac{A'B \text{ 所受光的總量}}{A'B \text{ 面積}}$ 。

$$\begin{aligned} \therefore AB \text{ 面積} &= A'B \text{ 面積} \times \cos \angle ABA' \\ &= A'B \text{ 面積} \times \cos \angle BDP \end{aligned}$$

且  $\angle bDP > 0^\circ$  即  $\cos \angle bDP < 1$

$\therefore AB \text{ 面積} < A'B \text{ 面積}$ 。

又因  $AB$  所受光總量 =  $A'B$  面積所受光總量，

$$\therefore \frac{AB \text{ 所受光的總量}}{AB \text{ 面積}} > \frac{A'B \text{ 所受光的總量}}{A'B \text{ 面積}}$$

$\therefore$  正照時較斜照時爲暖。

又  $\angle bDP$  愈近  $90^\circ$ , ( $\angle bDP$  愈大)

即  $\cos \angle bDP$  愈小，

即  $\frac{A'B \text{ 面所受光量}}{A'B \text{ 面積}}$  愈小。

$\angle bDP$  即光射入地面的斜度，故斜度愈大，熱量愈小。

朝夕日光射入地面的斜度，較正午時爲大，故正午時爲較

暖。

## 現象 2 一日內午後三時許最暖。

〔解釋〕 地面寒暖既因日光照射之斜度而定，則早夕較爲寒冷，自是當然。而正午時，日光幾同直射，一日內似應以此時爲最暖；而竟不然者，良以地面一方受熱，一方放熱，上午受多於放，至日中而達極點，嗣後受熱雖不如正午時爲多，然仍較放散的熱最爲大，故地面溫度，仍爲繼續增高。及至受散相等，即爲最熱之時，約在午後三時許。

## 現象 3 一年內夏至後五來復許最熱。

〔解釋〕 地面的冷熱，既由晝夜長短，和太陽經過其午線時之高度而定，晝長則受熱較多，高度愈大，則光愈正照，則地面受熱亦當較多。在北半球夏至日之白晝最長，太陽高度亦最大，似應以此時爲一年內最熱之日，而實際上竟不然者，蓋愈近夏至，則地面所受之熱較夜間所放者爲愈多，故每日得積蓄若干熱量，至夏至而達極點。夏至後日間所收熱量，仍較夜間所放者爲多，故仍日熱一日，迨至日所收與夜間所放適均相等時，即爲一年內最熱之時，此時約在夏至後五來復許。

## 現象 4 薄暮氣候暖於黎明。

〔解釋〕 太陽溫度全恃地表面中放射之熱與反射之熱而定，

白晝水土木石吸收太陽之熱，漸漸散於空中，空氣因以溫暖。及至日沒以後，雖無熱吸收，猶有餘熱繼續放散於空中，故氣溫仍不甚低。迨至拂曉，地面餘熱放散迨盡，地殼亦較冷卻，故此時氣溫甚低也。

### 現象 5 海洋氣候寒暑的變遷，不若大陸氣候的劇烈。

〔解釋〕 水的比熱較其他物質為大，即同重同溫的水與其他物質，與以相等的熱量，水溫度的昇高，不若其他物之甚；減去相等之熱量，水溫之降低，亦不若其他物質之甚。海濱之地多水，故空氣中所含水氣為多，日光照之，地面與空氣溫度的增加；當不若大陸地方的劇烈，故海洋地方白晝溫度不甚高。及至夜間，地面水與空氣中水氣徐徐放熱，因比熱關係其溫降低，當亦不若大陸地方之甚，故夜間不甚冷，此其理由 1。

又海洋地方的水，日間蒸發，蒸發則須吸收熱量，故大氣溫度不易昇高。夜間液化，液化時放熱於大氣中，故氣候不至甚冷，此其理由 2。

在海洋氣候，一日內寒暑變遷，不甚劇烈理由，如上所述，冬夏寒暑不甚懸殊之理，亦與上同。

## 第四節 蒸發的諸種現象

現象 1 沸騰正烈的鐵水壺，壺底不覺甚熱。

〔解釋〕 火爐上放置的水壺，火熱壺底，壺底傳熱於水，則水的溫度逐漸升高。到沸騰時，則壺底上當有大批的水變為氣泡，故需熱量亦多。此時使水壺離開火爐，則壺底的熱大部為壺底上的水，蒸發所吸收，以手觸之故不覺甚熱。迨水停止沸騰時，此時水的溫度，仍近於百度，復傳熱於壺底，其溫度當較前為高，以手觸之，頓覺苦痛矣。

現象 2 地面潑水，頓覺涼爽。

〔解釋〕 地面潑水後，則繼續吸收地面和空氣中的熱量而蒸發，故感覺涼爽。

現象 3 吾人沐浴後即覺爽快。

〔解釋〕 沐浴後，身上的水分，要吸取身上的熱量而蒸發，故感覺爽快。

現象 4 鍋內盛水，水未蒸發完時，雖加大火，鍋亦不至紅熱。

〔解釋〕 理由與本節現象 1 同。

現象 5 吾人揮扇，即覺涼爽。

〔解釋〕 吾人身上的汗液，常常繼續不斷的蒸發着，雖嚴冬



之日，體內也要排洩汗液而蒸發。已蒸發的汗蒸氣，散布於皮膚的周圍，有減小汗液蒸發速率的趨勢。若用扇將此等汗蒸氣扇去，則汗液蒸發的速率，自當較前為大，由蒸發作用吸去體內的熱量，亦當較前為多，因以感覺涼爽。

**現象 6** 吾人運動後，常常出汗，否則體溫必較平時為高。

〔解釋〕 運動後，因血液流通較快的關係，體溫加高。由生理的自然妙用，分泌出大批汗液以供蒸發，發散體內的熱量，使人不至生病。

**現象 7** 呵氣於手則覺熱，吹氣於手則覺冷。

〔解釋〕 呵氣於手時，氣流緩，氣與手接觸之時間長，且氣的溫度較手溫為高，故覺暖。吹氣於手時，氣流急，與手接觸的時間甚暫，氣熱之傳於手者甚少，且此時手上的汗蒸氣，被口吹去，故汗液蒸發，應較前為速，所吸的熱量，亦較前為多，故覺冷。

**現象 8** 杯中盛熱水，只須以口向杯內吹氣，則水自涼。

〔解釋〕 以口向杯內吹氣者，所以促進杯水蒸發的速度，以

吸收其熱量也。

現象 9 杯內的熱水，若另取一杯，交替傾注之，則水即涼。

〔解釋〕 蒸發現象的發生，發生於液體的表面，若表面增大，其蒸發之量自多，交替傾注熱水於兩杯內者，所以擴大蒸發表面以促進蒸發之速度也。

現象 10 在高山上煮鷄子，常不易熟。

〔解釋〕 沸騰與蒸發不同，蒸發為自由液面的氣化，沸騰則為液面及液體內部的分子，同時皆起氣化。液體當沸騰時，其內部有大批氣泡發生，使液體氣化時所失的熱量，適等於由火中所得的熱量，故溫度不得再行升高。惟氣泡之能發生於液內，必為泡內的蒸氣壓力，稍過於液面上的大氣壓力，否則泡必立潰，若液面上氣壓加大，氣泡發生必較通常為難，沸點因以升高，是以沸點因外壓的不同，而有變化。

高山上的氣壓小，是以水的沸點，常在  $100^{\circ}\text{C}$ . 以下，以  $100^{\circ}\text{C}$ . 下的水煮鷄子，不若  $100^{\circ}\text{C}$ . 水之易於煮熟也。（在平地，水的沸點為  $100^{\circ}\text{C}$ .）。

現象 11 鍋蓋上壓以重物，則食物煮熟較易。

〔解釋〕 鍋蓋上壓以重物，以火熱鍋中之水，則水氣逐漸逸於水面上鍋蓋下的空間內，不能逸於鍋外，是以水面上的氣壓漸漸加大，直至蒸氣壓力勝過蓋上物重與蓋上大壓力之和，始能沖開鍋蓋而外逸；即此時鍋內氣壓較大氣壓力為大，故沸點較通常為高，食物之易於煮熟者，即此理也。

### 第五節 液化的諸種現象

現象1 冬日噓氣，常呈霧狀，而夏日則否。

〔解釋〕 吾人所呼之氣，含有多量的水蒸氣。冬日氣候寒冷，自口中呼出的水蒸氣凝為小水滴，頓成霧狀，夏日氣候甚暖，呼出之水蒸氣不曾液化，故不見有霧。

現象2 冬日井水常冒霧氣，夏日則否。

〔解釋〕 地面上氣候的變遷，較地面下為劇烈，夏日地面水當較井水溫度高，冬日井水當較地面水溫度高。但冬日井水仍較夏日井水溫度為低，唯其差不若冬日地面水的溫度之遠低於夏日地面水也。所以常冒霧氣者，因其水蒸氣遇冷空，液化的原故。夏日氣候甚暖，井水上之蒸氣，不能液化，故不能見有霧，非其溫度低於冬日井水也。

現象 8 冬日廚房之玻璃窗上，常有水滴凝集。

〔解釋〕 廚房內的空氣，富含水蒸氣，此水蒸氣不能在廚房內桌凳上液化，因廚房溫度頗高故也。廚房之玻璃窗，與窗外冷空氣接觸，其溫度當較房內棹凳等物為低，水蒸氣與此冷玻璃接觸，遂致液化而附着於其上，若房中水蒸氣多，則玻璃窗上的水滴，愈集愈大，常能沿壁下流，若將窗牖洞開，使房外的冷空氣與房內的熱空氣，互相調和，則玻璃兩面的氣溫，大略相等，故玻璃上不致有水滴凝集其間，容或有之，亦很微小，不甚可辨。

現象 4 冬日走進廚房，眼鏡片上常凝集有許多水滴，蒙蔽視線，停一二分鐘，則水滴自行蒸發，不復遮當眼光。

〔解釋〕 吾人在房外時，鏡片的溫度，當與房外氣溫同高，當較房內氣溫為低。初進房內，與冷鏡片接觸的水氣，當液化而附着於其上。停一二分鐘，鏡片溫度逐漸增高，直至於與房內氣溫相等而後止。此時鏡片溫度當在房內水氣露點以上，故鏡片上之水滴復行氣化。

現象 5 露之成因。

〔解釋〕 由夕刻至夜中，地面的溫度逐漸降低，地面上各種物體的溫度亦逐漸低。唯木石等物放熱較空氣為速，故木

石等當較大氣溫度爲尤低。與木石等接觸之水氣即液化而附着於其上，是即爲露。

### 現象 6 陰天或有風之天生露甚少。

〔解釋〕 陰天由地面發出之輻射熱爲雲所蔽，不易散出，而與地面上物體相接觸之水蒸氣，不能冷至露點以下，故不凝露。又有風時，木石等附近之水氣，受木石等溫度低下的影響，其溫度雖亦降低。但偶一冷卻，即被風吹至溫度較高之大氣中，不能凝結爲露。

### 現象 7 植物葉上生露較土石上爲多。

〔解釋〕 植物葉上有小氣孔，常由此散出水蒸氣。當冷至露點以下，則此蒸氣遂液化而爲露。又當空氣非常濕潤時，有時由小孔直接流水者。故植物葉上之水蒸氣，當較土石周圍之處爲多，是故結露較易。

### 現象 8 以砲擊空每易致雨。

〔解釋〕 空氣與土塵較，冷卻頗難，天空塵埃多時，則塵埃周圍的水空氣，因塵埃溫度低下的原故，遂液化而附着於其上，是爲小水滴。小水滴與小水滴遇，成較大的水滴勝過空氣抵抗，降而爲雨。設空中塵埃極少，水蒸氣很難液化，生雲降雨，當非易易，鄉人祈雨時，常以砲擊空，砲

鳴後每能振起多數塵埃於氣中，故降雨較易。若謂爲所禱之效，則誤矣。

### 現象 9 大氣中濕度稍大，常易生霧。

〔解釋〕 大氣中濕度稍大，其露點必較高，是以由夕刻至夜中，地面逐漸散熱，不獨草木等冷體周圍之蒸氣，先超過飽和狀態而凝結；即浮游於大氣中的塵埃，其周圍的蒸氣，亦可達到露點而凝結，是爲霧。

## 第六節 凝固的諸種現象

### 現象 1 水凝固時，體積脹大。

〔解釋〕 由冰塊常浮於水面，和結冰時，常可使盛水的瓶破裂種種事實，可知水凝固時，其體積脹大。但考諸固體分子，常較液體分子密集之說，則因凝固而生膨脹的現象，似覺可疑。詎知水凝結時，其分子均集爲六出的晶體，各晶體之間，有相當的空隙，故個體分子，雖較前爲密，而由個體分子合成的集團，所佔的體積，則較前爲大。

### 現象 2 春季土壤，常較冬季疎鬆。

〔解釋〕 滲入土壤中之水分，自冬季凝結而膨脹，土壤中分子間的距離，因以加大，待轉入春季，水分復行融解，後又漸漸蒸發，土壤因以疎鬆。

### 現象 3 水的凍結，常能使巖石崩裂。

〔解釋〕 水滲入巖石內，因水的凝結膨脹，常可使巖石崩裂。

能使巖石崩裂的因子不一，但水因凝結而膨脹，爲其主要因子。

### 現象 4 鑄製活字，常用鉛錫銅之齊。

〔解釋〕 大多數晶體凝固時，體積均起收縮。水，錫，鈹，鑄鐵，及少數含錫鈹之齊，皆爲例外。至於水，錫等晶體，因凝結而膨脹的理由，本節現象 1 中，業已談過，茲不贅。鑄製活字，必須凝結時起膨脹的物質，方認得筆畫清楚的字體。鉛，錫，銅之齊，即滿足此條件。

### 現象 5 深水結冰常較淺水爲難。

〔解釋〕 由實驗測知，在  $4^{\circ}\text{C}$ . 時水的密度最大，即在  $4^{\circ}\text{C}$ . 以上，溫度愈高，體積愈大，在  $4^{\circ}\text{C}$ . 以下，溫度愈低，體積愈大。湖中之水，在未凍結以前，其溫度皆在  $4^{\circ}\text{C}$ . 以上。表面之一層，先冷而收縮，因此較其下層爲重，故即沉下。而較溫之水，乃由下昇上以代之，如是昇沉交替，進行不已，直至全體之水，俱達  $4^{\circ}\text{C}$ . 而後已。嗣後表面再冷，轉較其下層爲輕不復沉下，留於其表面，可以繼續冷

却，以致凍結，故表面在剛凍結尚未凍結之時，其最下一層之溫度，亦必冷至 $4^{\circ}\text{C}$ 。在深水方面，須有較冷之氣候，使水起長時間的昇沉交替，始能使全部水達到 $4^{\circ}\text{C}$ 。故結冰較難。又一切凍結的湖水，或河流，僅表面的冰，和與冰相接近之一小部分的水，其溫度在 $4^{\circ}\text{C}$ 以下，其下方大部的水，概為 $4^{\circ}\text{C}$ 。此種事實對於維持魚類，和水草的生活，至為重要。

### 現象 6 鹽水凍結較難。

〔解釋〕 用冷劑將鹽水凍結，則見所結之冰，純為水的凝固，其中并不含鹽，蓋水有一定之晶形，水凍結時，其分子的凝聚排列，有一定的步驟和部位，鹽分子不得參與其間也。

使液體的溫度降低，以達於冰點，不外減少其分子之平均速度，致使液體的凝聚力勝過分子運動力，牽合分子而成晶體。鹽水中的鹽分子，有吸引水分子的力，以反抗水分子的凝聚。故鹽水凍結時，水的凝聚力，必須勝過鹽分子的引力，和其分子的運動力，始可成功。唯水的凝聚力的大小無甚變動，水分子的運動力，因溫度而正變。設在某溫度，凝聚力剛可勝過分子運動力，在純水則可結冰，若



在鹽水，加以鹽分的引力，則不能結冰。必須溫度繼續降低，使其分子運動力大減，直至鹽分子的引力，與水分子運動力的和，小於凝聚力，始可凍結。故鹽水的冰點，較純水為低。

### 現象 7 海中不凍港的成因。

〔解釋〕 海中不凍港的成因甚多，但海水多鹽，凍結較難實為其主要原因之一。

### 現象 8 雪，霜，雹，霰的成因。

〔解釋〕 在與地面若干尺以上的大氣，其溫度常有變動。如有熱空氣驟入冷境，或冷空氣驟然流入熱空氣中。設此時溫度，低於熱氣流中露點時的溫度，則水氣即附於浮塵周圍而凝結，是為雲。若溫度甚低，足以使空氣中多量水氣凝結，則雲中水滴逐漸加大，即降而為雨。如雨未達地面以前，遇冷凍結，是為霰。如遇暴風，雨滴輾轉結合，復行凍結降下，是為雹。多數之雹，外邊為冰，內部為水，落地破裂，成為中空之冰殼。又天空中水氣開始凝結時的溫度，已在冰點以下，則結為雪花。地面上草木周圍水氣開始凝結的溫度已在冰點以下，則附於草木，凝結為霜。

### 現象 9 下雪天不甚冷，化雪天較冷。

〔解釋〕 水凍結時常放出多量的熱。下雪天，天空中有多量的水變為雪花，當放出多量的熱於大氣中，故不甚冷。雪融化時，當向大氣中吸取多量的熱故覺冷。

現象10 冬日菜倉中常置水桶幾個，以防菜凍。

〔解釋〕 菜凍時的溫度，常較攝氏溫度計零度時為低。倉內有水，溫度下降時，水當先凝結為冰，放出許多熱量，可使倉內溫度，不如倉外溫度之低，故菜凍較難。

# 第三章

## 光學現象

### 第一節 光的直進現象

現象 1 物體與人眼相連結的直線上，置以手則不能見物體。

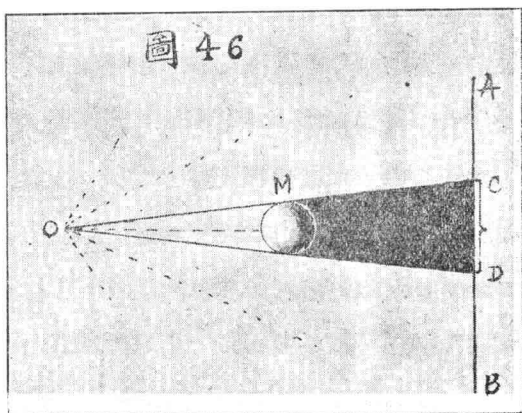
〔解釋〕 由物體反射傳來的光，依直線而進行，故置以手，

則光為手所遮

，不能達於人

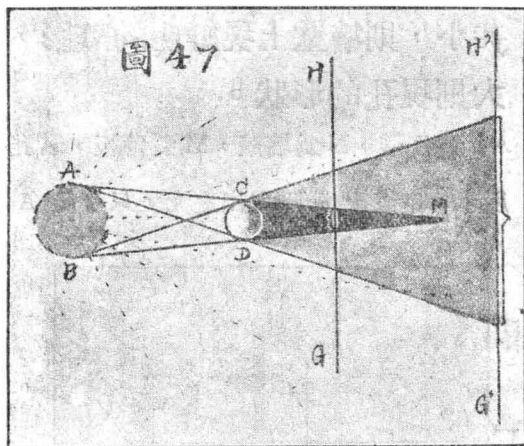
眼。

現象 2 日光下的電線桿有影，



## 電線無影。

〔解釋〕 光源以不透明體遮之，其背後生黑暗，稱為影。置另一物體  $AB$ ，於物體  $M$  之後，如圖 46，則  $AB$  物體上的  $CD$  部分黑暗，即是  $M$  物體在  $AB$  物體上所顯之影。但此係光源甚小時，所呈的現象。若光源較大，如圖 47 所示， $AB$  為光源， $CD$  為物體，則極黑暗部分的近旁，尚有半明半暗的部分，此極黑暗部分稱為本影，半明半暗部分



稱為半影。以另一屏壁置於  $HG$  位置，則物體顯有本影和半影。若置於  $H'G'$  位置，則只有半影，明乎此，則可以解釋本題矣。

電桿較粗，為日光照時，所生的本影較大，故達於地面而

生影，電線甚細，故其本影甚短，不能達於地面，此時達於地面者，只有半影，惟半影不甚黑暗，不易辨出，故不覺有影。

**現象 3** 手持鉛筆置於日光之下，距地面近則生影，遠則無影。

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

**現象 4** 燭光與牆壁的中間置有孔的薄板，若孔甚小，則牆壁上現鮮明的燄影，若孔稍大則現孔的形狀。

〔解釋〕 AB 為燭燄，N 為牆壁，M 為薄板，若孔甚小，如

圖 48 所示，則燄上 A 點發出之光，只有將 A 點與小孔

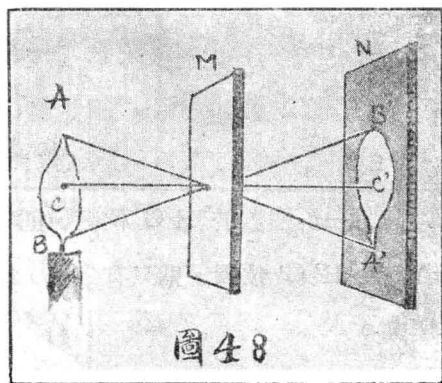
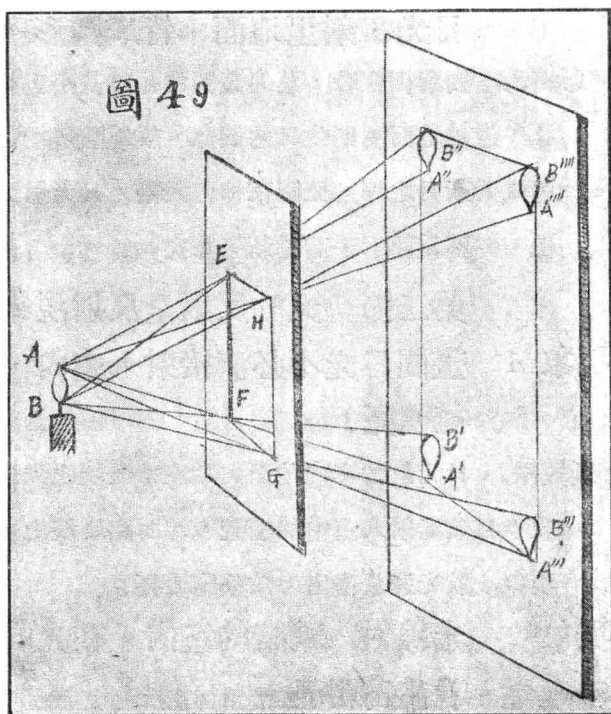


圖 48

連成一直線者，方能透過，射到牆壁上A'點。壁上他部分的光由小孔透過，射到牆壁上，同理，亦應有相當的地點，而不與A'點相混合。如B點的光射在B'點，C點之光射在C'點等，故壁上由各光點集合而成鮮明燭燄的倒像。若孔稍大，則壁上所現的像不為燭燄的倒像。若孔稍大，則壁上所現的像不為燭燄形而為孔的形狀矣，設孔為長方形，

如圖49所示。則長方形EF GH孔內，由F點透過的光，則成倒像A' B'。由E點成



A'' B'' 像。由 G 點成 A'' B'' 像。由 H 點成 A''' B''' 像。此四像合爲一長方形。E F G H 長方孔內，除上述四點以外的各點，透過的光，亦當在壁上顯相當的像。但其結果的地點，均當在上述四像的內邊，故由各點成的像，彼此相重，成一長方形，與孔的形狀相同。

**現象 5** 在樹葉密佈的林中，見由葉隙間透過的日光，射至地面，皆成圓形。

〔解釋〕 樹葉稠密時，葉與葉間的孔隙甚小，日光通此等小孔，達於地面，則生日的倒像，故爲圓形。當日蝕時，太陽成爲新月之形，此時在林內觀察，日光射至地面所成之像，即不爲圓形，而爲新月形矣。

## 第二節 光的反射全反射現象

**現象 1** 晝間日光不必直接射入室內，而室內亦能明亮。

〔解釋〕 日光射於室內地面，和空中塵埃上，則生亂反射現象。其散光射入室中的牆壁，地面和塵埃上，復起亂反射現象，散光達於全室，故全室通亮。

**現象 2** 光線射入稍暗的室內，在光的通路上看着甚爲明亮。

〔解釋〕 光線通路上的塵埃，遇光起亂反射現象，散光達於人目，此光較室內他部分之光亮為強，故覺明亮。若室內明亮，則光線通路上以外的部分的亮度，與通路上亮度幾相等，區別不易，因是光的通路，甚難看出。

### 現象 3 壁為白色，則室內較為明亮。

〔解釋〕 光射到白色物體上，反射的量最多，射至其他色的物體上，反射的量較少，至於黑色物體則幾無反光性。白壁遇光，行亂反射，且光量最多，故室內較為明亮。

### 現象 4 夏日宜着白衣，冬日宜着黑衣。

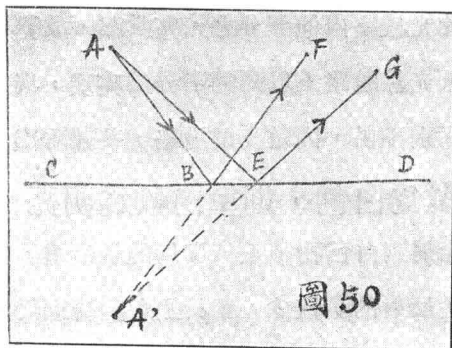
〔解釋〕 日光射至白衣上，多被反射不為白所吸收，故着之不覺過熱，黑衣吸收日光之力甚強，冬日着之，可以甚暖。

### 現象 5 雪白於冰。

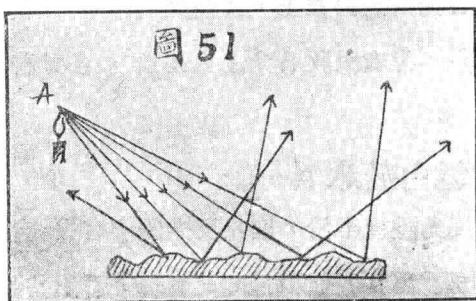
〔解釋〕 反光體極平滑，則見反光體中有發光體之像，而反光體不易看出。表面粗糙的反光體，看出甚易，不復見發光體之像矣。如圖 50, A 為光源，CD 為平滑的反光面，光源射至 CD 面上的光，如 AB, AE 等，則起反射作用，其反射之光如 BF, EG 等。BF, GE 等的交點在 A' 點，人目受此等光的刺激，故覺光源在 A' 點，即 A' 處有光



源的像。



若光射至極粗糙的平面上，各小部分皆反其所受之光於不同的方向，如圖 51 所示，正與反光體的各點，皆向各方



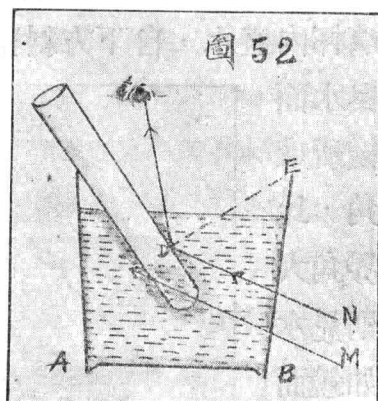
射出光線的狀況相同。人目受此等光的刺激，可看見粗糙物體的外形，不能見發光體的像。冰為表面平滑的透明體，光照其上，大部透過，不復入於人目；少部分反射，此反射光達於人目後，則可看出發光體的像，而冰的本身，

不易看出。雪乃細微小冰塊的集合體，內混空氣，光照其上反射的光，交叉錯亂，達於人目，故可看出雪片的存在。由表面透過的光，由彼下層的雪片所反射，亦可達於人目，因是雪片更爲明析可見，不復透明矣。

**現象 6** 將空試管斜插盛水的玻璃杯中，則見光輝如鏡，若注以水，則光輝立減。

〔解釋〕 光由密媒體入疎媒體中，其屈折角爲  $90^\circ$  時，則投射角稱爲臨界角。

按光學原理： 投射角  $<$  臨界角時，則光一部分透射，一部分反射。



投射角  $>$  臨界角時，則光全部反射，此現象稱爲全反射。如圖 52, A B 爲盛水的玻璃杯，中置試管，上部分無水，

下部有水，射於管的光  $M$ ，因管的下部有水，故光可進入管內，而管呈透明狀態，射於管的光  $N$ ，因管的上部無水，故光不進入管內空氣之中，而起全反射現象。因是自上方觀之，則管壁有光輝而不透明。

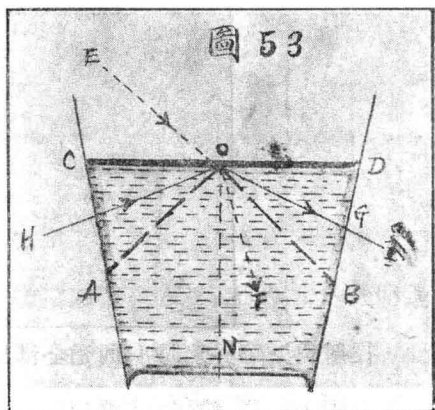
附註 光由水進入空氣的臨界角為  $48^\circ.5$ 。試管斜插水中時，如圖 52 所示，則  $\angle NDE$  往往大於  $48^\circ.5$ ，故呈全反射現象。

現象 7 青樹葉置於水中，則現光輝。

〔解釋〕 樹葉上常附有氣泡，光由氣泡起全反射現象，以是發生光輝，理由與本節現象 6 同。

現象 8 玻璃杯內盛水，自下方斜望杯內，若視線與水面法綫所成的角，比臨界角大，則見水面如鏡而不透明。

〔解釋〕 如圖 53,  $CD$



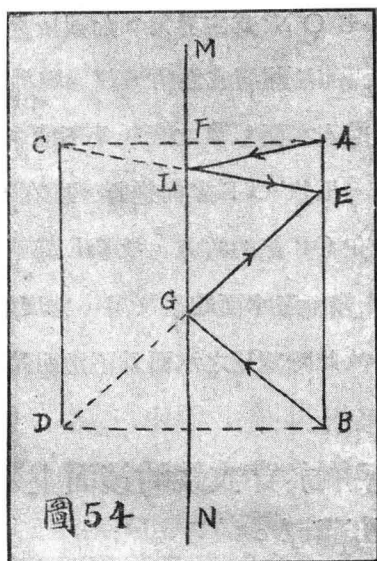
爲水面， $\angle BON$  爲臨界角。如觀望之方向傾斜，即視線與  $CD$  面的法線所成之角，超過臨界時，如圖所示。則由水面上進入水面  $CD$  之光，全不能入於目，（如  $E$  光入水面後，則依  $OF$  方向進行，應在  $OB$  線的左方，觀察者之目在  $OB$  線的右方，故  $OF$  線不能射到眼內，）只有  $HO$  等光綫，達水面起全反射，其反射光如  $OG$  等，始能望見。故此時望見之水面爲不透明體，與磨光的鏡面完全相同。

### 現象 9 以手觸於穿衣鏡的鏡面上，即可測知玻璃的薄厚。

〔解釋〕 由平面鏡結像的定律，知物與像同大；且物與鏡的距離，等於像與鏡的距離。唯物，像與鏡的距離，係指物，像與鏡的反射光面，上塗有水銀之面而言。以手與穿衣鏡接觸，則物與鏡的距離，即爲玻璃之厚，像與鏡的距離，亦應等於玻璃之厚。故物與像的距離，適爲玻璃厚之二倍。吾人既可見到物與像的距離，即可推知玻璃之厚薄矣。

### 現象 10 穿衣鏡高爲人高之半，即可看見全身像。

〔解釋〕  $AB$  爲人之高， $MN$  爲穿衣鏡。依光學原理，則結像  $CD$  於鏡後。



且  $AF=CF$ ,  $AB=CD$ .

設人目在  $E$ , 連接  $EC, ED$ ; 各交  $MN$  於  $L, G$  即鏡高為  $LG$  時, 即可看見全身之像。

$\therefore AB \parallel MN \parallel CD$ .

且  $AF=CF$ .

$\therefore CL=LE, EG=GD$ .

在  $\triangle ECD$  內, 可推知  $LG = \frac{1}{2} CD$ ,

即  $LG = \frac{1}{2} AB$ .

故鏡高爲人高之半，即可看全身像，與人與鏡距離的遠近無關。

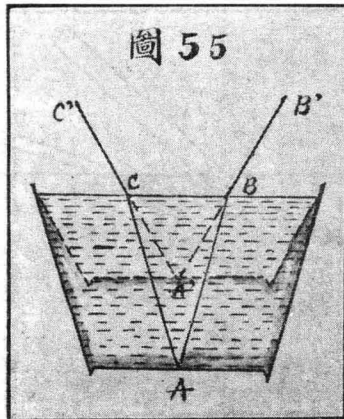
**現象11** 照面鏡之長和寬，各爲人面之長和寬的一半，即可照見人面的全部。

〔解釋〕 與本現象 10 同。

### 第三節 光的屈折現象

**現象 1** 盛水於器，則見器底浮近水面。

〔解釋〕 光線自器底反射入目，此等反射光線，因由密媒體水進入疎媒體空氣中，則改變其原來的方向，而呈屈折現象。如圖A爲器底上的某點，AB, AC爲A點因反射發出

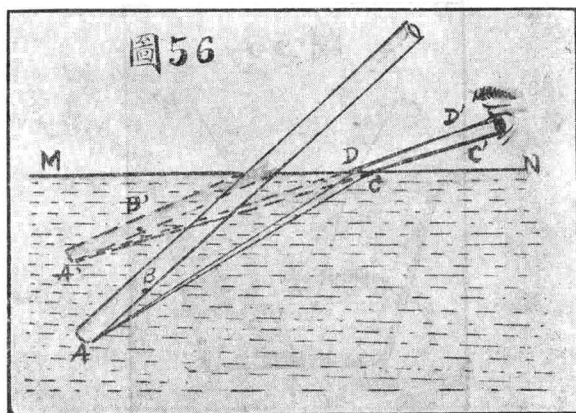


之光線。AB 達水面時，則射出之光線離法線而屈折，射

入空氣後其方向爲  $B'B'$ 。AC 射入空氣後方向爲  $C'C'$ 。吾人自器的上部觀察，視神經受  $B'B'$ 、 $C'C'$  等光的刺激，追尋其物，宛覺 A 點在  $A'$  位置，此  $A'$  點即延長  $B'B'$ 、 $C'C'$  二線的交點也。

現象 2 竹箸斜插水中，則見水面處作折狀。

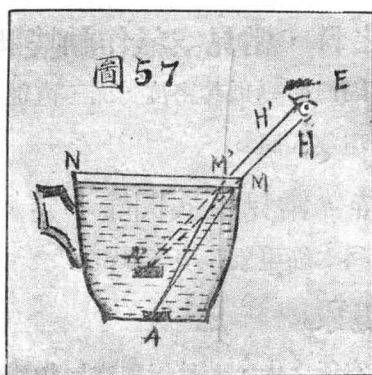
〔解釋〕 由竹箸下端 A 點射出之光，如 AC、AD 等，進入空氣中，則改變其方向如  $C'C'$ 、 $D'D'$  等是。吾人在水面上觀察，視神經受  $C'C'$ 、 $D'D'$  等光的刺激，則見 A 點宛如  $A'$  的位置。同理 B 點宛如在  $B'$  位置，箸上其他各點，亦應按上所述的關係而上浮，故箸在水面處作折狀。



現象 3 置銅元於杯底，令其壁恰將銅元遮住，

然後注水於杯內，銅元立可復見。

〔解釋〕 如圖 57, 置銅元於杯底, 人目在 E 的位置, 無水時,  $AM, AM'$  光不能達於 E, 故不見銅元, 若注以水, 則



$AM, AM'$  光出水後, 依  $MH, M'H'$  方向進行, 能達於目, 是以銅元立見, 宛如在  $A'$  位置。

現象4 欲捕水中之魚, 當自所見魚的位置的較深處着手。

〔解釋〕 水中物體, 常見其在實在物體位置之上, 故捕魚者, 當自所見位置之較深處着手。

現象5 炭火燃燒正盛時, 常見其上方的空氣作動搖球狀態。

〔解釋〕 炭火上的空氣, 因熱時常變更其密度, 空氣中塵埃



上反射之光，亦應時常變更其方向不能直進，故見塵埃呈動搖狀態。空氣爲不可見物，吾人所見炭火上動搖的空氣。即動搖的塵埃也。

### 現象6 有風之日，常見空氣作動搖狀態。

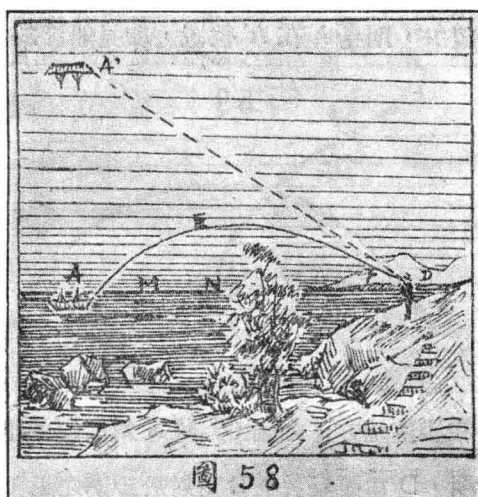
〔解釋〕 空氣因風而變更其密度，光不直進，故呈動搖狀，理由與本節現象5同。

### 現象7 有風時，常見星辰閃爍不定。

〔解釋〕 理由與本節現象5 現象6同。

### 現象8 蜃樓現象。

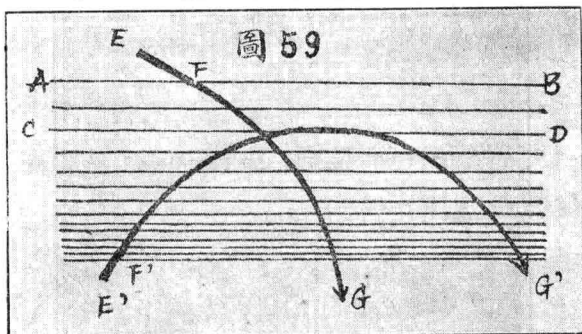
〔解釋〕 同一空氣之中，若疎層與密層相接觸，光達於此種疎密層的境界面，亦起屈折現象。實際上大氣中密度，雖無在一定突然發生變化者，但密度逐漸變去，則屈折亦逐見顯出，密度之變化緩，則光線之方向，變化亦緩。變化的結果，本爲直射之光線，遂呈灣曲之狀態。故於此時射入眼之光之方向，與實際光源之方向，大不相同，而同時眼中所見物體之位置與物體實際之位置，亦自有異。大氣因疎密排列的不同，光受其影響，屈折入於眼內，而呈一種特殊的現象，曰蜃樓，其發生方法，有不同之處，茲分述於下：



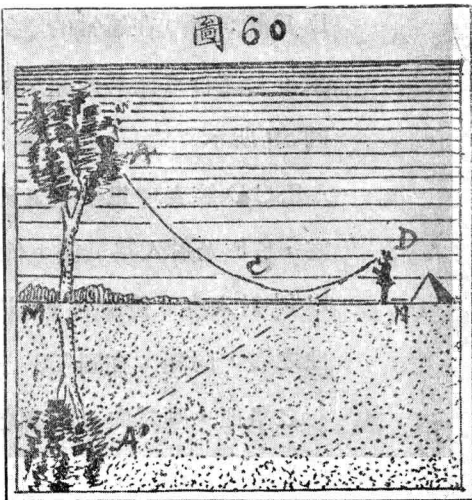
(A) 在海面者 如圖 58,  $MN$  為海面,  $A$  為海中之船,  $D$  為觀察者。在通常的空氣上疎下密, 故呈屈折現象, 光進行路徑為曲線形, 且始終應向下彎曲, 如圖 59 所示。

$AB, CD$  等表理想中空氣疎密層的接觸面, 上疎下密,  $EF$  光射入空氣後, 依屈折原理為  $FG$  曲線,  $E'F'$  射入空氣後應為  $F'G'$  曲線, 二者均為向下彎曲之綫, 同理, 在圖 58 上, 由  $A$  發出之光, 其進行之路徑, 應為向下彎曲之曲綫, 如  $AEF$ . 設  $AEF$  光射入人目一瞬間之方向為  $FD$ , 觀察者沿  $DF$  方

望去，則見 A 在 A' 位置，即見船浮於空中。



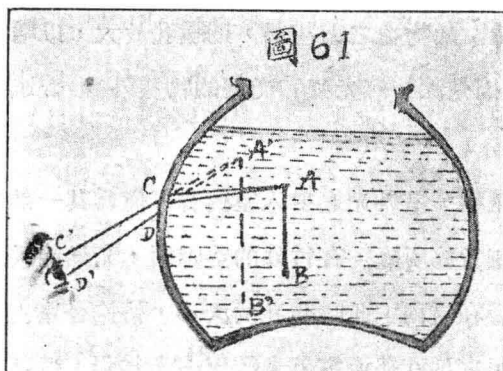
- (B) 在沙漠地方 如圖 60, MN 為沙漠的地面, A 為高樹, D 為觀察者。日光射於沙漠之上, 則沙土的温度為之大增, 因之接近地面的空氣層温度升高, 密度減小, 距地面較遠的空氣温度低, 故密度較大, 與上述之一例, 恰相反對, 故光線始終應向上彎曲。



故由 A 發出之光，沿 A C D 曲線以達於觀察者 D 之眼中，在觀察者 D 之眼中觀去，則見 A 樹現於地面下 A' 處。

### 現象9 玻璃缸中的魚，常見其較原物為大。

〔解釋〕 如圖 61, A B, 為玻璃缸中之魚，自魚頭 A 點發出之光，如 A C, A D 等出缸後應折為 D D' C' 等方向，人自缸外觀察，則見魚頭 A 在 A' 處，同理魚尾 B 應在 B' 處，故比原來之魚為大。



### 第四節 視覺的現象

現象1 門上垂一竹簾，觀察者在室內，則能見簾外之物，觀察者在室外，則不能見簾內之物。

〔解釋〕 物體之光，瞳孔射入眼內，達於網膜，網膜上密佈有神經的末梢，網膜受光的刺激，由視神經報告大腦，遂發生看見的感覺。但刺激網膜發生視覺的光的強度，有一定界限。光的強度在此界限之內者，視神經起作用，若光太弱，其刺激力不足感動視神經，若光太强，則視神經又以刺激過度的原因而麻木，故二者均不發生視覺。

瞳孔為光入眼內的門戶，能縮小能放大，有調劑射入眼中的光量的功用。如物體發強光，則瞳孔縮小，以減少光入眼的量；如物體之光甚弱，則瞳孔放大，以增加光入眼之量。因是除特殊光強和光弱的物體外，普通物體均可看見。

門上垂簾，室外光之射入室內者，僅為其一部分；因一部分被細竹條所隔，在竹條的空隙間，光始能透過故也。設觀察者在室內，此時瞳孔的大小，恰適合室內光進眼內發生視覺之度。普通室外光較室內光為強，待其射入室內，其強度應與室內光相差無幾，因射入室內只為其光之一部分故也。是以觀察者可看見室外之物。若觀察者在室外，則瞳孔必須縮小，看室外物體方為合適。室內光之射於室外者，因簾子的阻隔，亦為其一部分，此一部分之弱光，

由縮小的瞳孔射入眼內，當不發生現覺，故不能見室內之物。中國古時，已有簾子，此物初到海外，莫不驚爲奇寶，亦云趣矣。

**現象 2** 夜間由燈光輝煌的地方，驟至暗處，則不能發生視覺。

〔解釋〕 燈光輝煌之處，光線甚強，瞳孔必須縮小，視神經方不致受過度的刺激，而失其知覺。此時驟至暗處，則瞳孔逐漸放大，以增加光線進入眼中之量。待放大到一定程度，由瞳孔射入之光始可以感動神經而生視覺。但在瞳孔未放大之前之短時間內，不能看見物體。

**現象 3** 夜間由黑暗地方乍至燈光輝煌之處，每覺恍眼。

〔解釋〕 在暗處瞳孔放大，乍至燈光輝煌之處。則網膜因多受光線，刺激過度，故覺恍眼。

**現象 4** 貓眼的瞳孔，夜半則成圓形，正午則成線狀。

〔解釋〕 夜半光弱，故瞳孔放大爲圓形，正午光強，故縮小成線狀。

**現象 5** 迅速旋轉火棒，見成輪狀。

〔解釋〕映像於網膜，物雖去而像不與之同消滅，約保留十分之一秒之時間。火棒旋轉一周，所需的時間常比十分之一秒為小，故見有火處的各點相連續而成輪狀。

### 現象 6 落下的雨滴常成線狀。

〔解釋〕雨滴本為球形，自空中降下的速度甚大，雨滴在某點間映給吾人眼中的像，尚殘留未滅時，而此雨滴早已落下若干距離。在進行期間，雨滴在各位置所反之光，皆映給吾人眼中以相當的像，此等像互相連續，遂成一直線之形，然此等現象之發生，皆在白晝，若在夜間，借閃電觀之，則為滴狀，因閃電瞬間消滅，在此瞬息之間，雨滴落下的距離，幾等於零，故見雨為滴狀。

### 現象 7 隔轉動的電扇，能看見扇後之物。

〔解釋〕由扇翼孔隙間映給吾人眼中之像，轉動時扇翼雖能遮蔽物體，但為時極短，而像不消滅。因是前後之像，得連續生感覺於眼中，故能看見扇後之物。

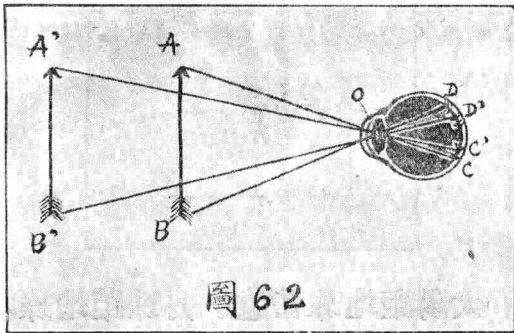
### 現象 8 由影戲機映出的人物，舉止動作一如真人。

〔解釋〕對於運動中的物體，約每隔十六秒之一的時間，為之照一像片，各片連成一條，是為影片，將影片裝入影戲

機內，自後用強光照之，擴大後在幕上現其像，仍以同一之速度，即每隔十六秒之一的時間，換一相片。在網膜上所映之像，前者未去，後者已來，遂不覺其間斷，融成連續的動作矣。

### 現象 9 物體近則覺其大，遠則覺其小。

〔解釋〕 眼中所見的物體，其大小通常與實物并不一致。如圖 62,  $A B, A' B'$  為大小相等的物體，但因遠近不同，故在網膜上造成之像，長短亦異。  $A B$  較近，在網膜上結像



$CD$ , 故覺其大,  $A'B'$  較遠, 在網膜上結像,  $C'D'$ , 故覺其小。一物與眼的夾角, 如  $\angle AOB, \angle A'OB'$ , 稱為視角, 即視角大者, 感覺物體大, 視角小者, 感覺物體小。

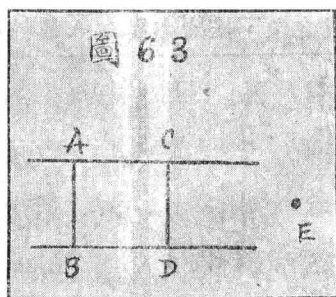
現象10 太陽的體積遠大於月球，但吾人望之，見其大小相若。



〔解釋〕 太陽距地球遠，雖體積甚大，映於眼中的像却不甚大。月球距地球近，雖體積遠小於太陽，但映於眼中的像却不甚小，故吾人見其大小相若。

現象11 吾人見鐵軌遠處狹近處寬。

〔解釋〕 如圖 63, A B, C D 爲鐵軌間的距離。設觀察者在 E 處，因 A B 線距 E 較遠，故覺其短，C D 線距 E 較近，故覺其長。



現象12 太陽距地球甚遠，月球距地球較近，但吾人望之，覺其遠近相若。

〔解釋〕 對於物體遠近的識別，全賴左右兩眼，如圖 64, A 及 B 對兩眼的黃斑所夾之角，如  $\angle P A P'$ ,  $\angle P B P'$  各不相同，此項角稱爲光角。物體之遠近，即由光之大小決定之；光角小即覺其遠，大即覺其近。又在近處移動某物體

，使之由近而遠，吾人可以判別出來，因光角的變化甚大故也。設在很遠處移動某物體，亦使之由近而遠，吾人判別不出，因光角變化極小，物體移動前後的光角，無甚差別故也。

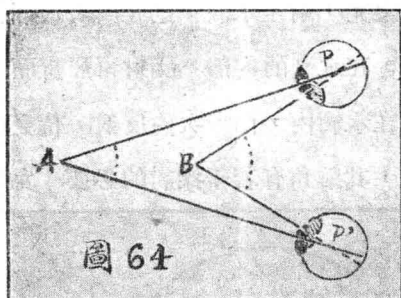


圖 64

●球對於人目的光角，微乎其微，幾近於零，太陽距地球的距離雖尤遠大，但其對於人目的光角，較之月球的光角，所小的數，更是微乎其微，故二者的光角幾相近似，是以吾人望之，見其遠近相若。

現象13 遠望四五十里處村莊，與七十里處的村莊，遠近相若。

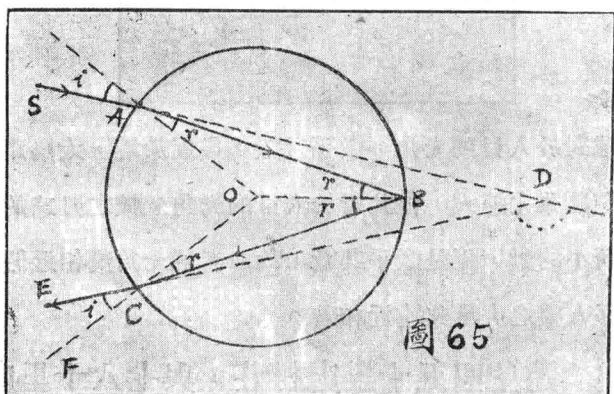
〔解釋〕 理由與本節現象 12 同。

### 第五節 天空中的光學現象

現象 1 虹的成因和虹在朝夕發現的理由。

〔解釋〕 虹乃大氣中浮游的水滴，由日光之反射屈折，而生的光帶現象，呈弧狀懸於天空；其外環為赤色，橙色次之，黃綠青等色又次之，紫色在最內環者，稱為正虹。其外環為紫色，赤色在最內環者，稱為副虹。茲分述於後：

正虹 太陽之光，射至水滴，則在其表面屈折而射入水滴之中，在水滴的內部，反射再屈折而入於空氣中，即光在水滴內，作一次內反射，惟光經一次內反射之後，其離角有若干探討的必要，如圖 65, S A 為



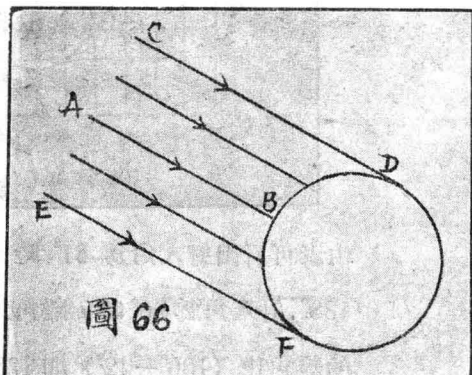
由空氣中射至水滴表面的光，O A 為水滴的半徑，與光射至水滴表面射入角為  $i$ 。S A 進入水滴內，其方向為 AB。r 為屈折角 r 角的大小，應由  $\text{Sin } r = \frac{\text{Sin } i}{1.33}$  推出之。A B 光至 B 後，則依 B C 方向反

射，在  $\angle OAB$  內， $\because OA=OB \therefore \angle OAB = \angle OBA = \gamma$ ，在  $\triangle OCB$  內， $\therefore OC=OB \therefore \angle OCB = \angle OBC = \gamma$ 。BC 光出水面後則折向 CE， $\because \angle OCB = \gamma \therefore \angle ECF = i$ 。將 SA, EC 延長之則得離角 D。 $\because$  SA 與 AB 的離角為  $i - \gamma$ ，AB 與 BC 的離角為  $180^\circ - 2\gamma$ ，BC 與 CE 的離角為  $i - \gamma$ ， $\therefore$  SA 與 EC 的離角  $D = (i - \gamma) + (180^\circ - 2\gamma) + (i - \gamma)$ 。

即  $D = 180^\circ + 2i - 4\gamma$ 。

設平行光線射到球面，則 AB 直向球心，如圖 66，其投射角應為零。CD, EF 二光射於球面，其投射角應為  $90^\circ$ 。在 AB 與 CD 間，和 AB 與 EF 間的光，其投射

角應在  $0^\circ$  與  $90^\circ$  之間，即平行光線射到球面，其投射角，應含有  $0^\circ$  與



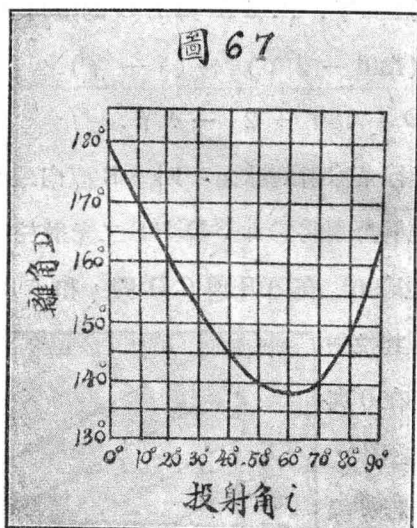
90° 間的各种角度。

令  $i = 0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, \dots, 90^\circ$  等。

則由  $\sin \gamma = \frac{\sin i}{1.33}$ ，可計算出與  $i$  相當的屈折角  $\gamma$ ，

由  $D = 180^\circ + 2i - 4\gamma$ ，可計算出與  $i$  相當的離角  $D$ 。

茲由計算結果，列表於下，橫座標表投射角  $i$ ，縱座標表離角  $D$ 。

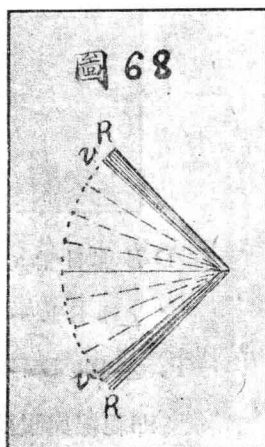


由表可看出射入角為  $61^\circ$  時，離角為最小，其值為  $138^\circ$ 。射入角為  $90^\circ$  時，離角為  $164^\circ$ 。因為無有光線的離角比  $(180^\circ - 42^\circ)$  即  $138^\circ$  再小的緣故，可推出

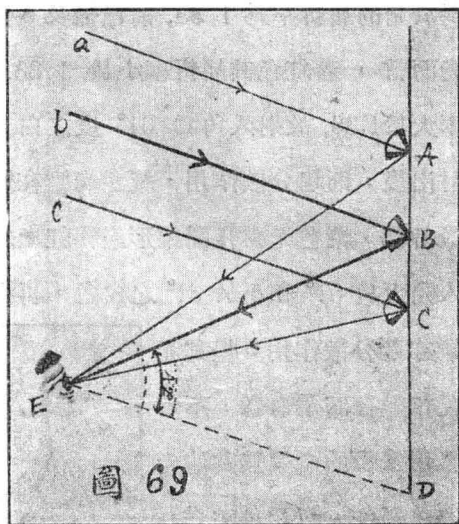
，由水滴射出的許多光，應為一圓錐形，其立角之半，為  $42^\circ$ 。射入角為  $61^\circ$  之光，經水滴一次的內反射，再為水滴射出後，應為此圓錐形的邊緣。射入角大於  $61^\circ$  之光，再由水滴射出後，應在圓錐形邊緣之內。

水對於光的屈折率為 1.33，前已提及。但此數係對白光而言，若紅色其屈折率小於 1.33，紫光其屈折率大於 1.33，故射入角為  $61^\circ$  度之白光，再由水滴射出後，則起分散作用，紅色光應在圓錐形邊緣之最外部，紫色光應在圓錐形邊緣紅光之內。

射入角大於  $61^\circ$  和小於  $61^\circ$  之白色，再由水滴射後，雖亦起分散作用。但其光帶互相疊合而為白色，不若圓錐形邊緣的光帶無其他光帶與之疊合，而七色獨為鮮明也。圖 68，為光經水滴一次內反射，光由水滴射出後，所成之圓錐形；R 為紅色光，V 為紫色光，V 以內為



白色光，日光射入各個水滴，再由水滴射出後，均可成邊緣有色的如圓錐體，如圖 69, A, B, C 等是。設觀察者在 E, B 圓錐體邊緣的光帶，能達於觀察者之目，若 A 則太高，則光不能入目，C 則太低，其光之達於目者，係內部之白色，故不見有色。



作 DE 與日光 a A, b B, c C, 等平行。

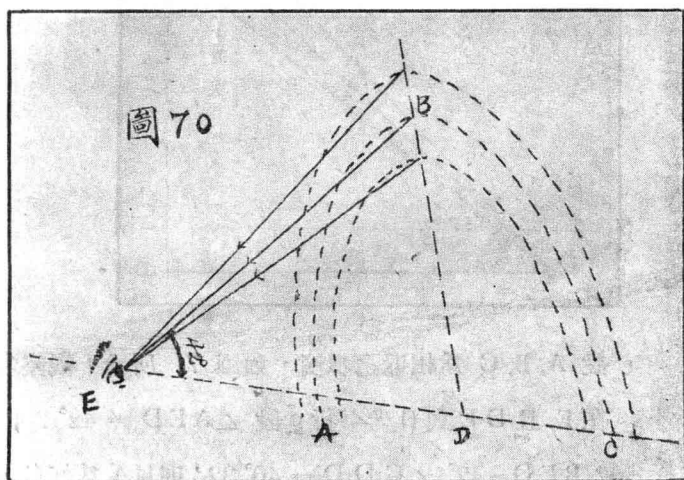
$\therefore \angle b B E = 42^\circ$  (前已說明)

$\therefore \angle B E D = 42^\circ$  (同位角相等)

即視線與眼及太陽中心連接的直綫成  $42^\circ$  之處的水

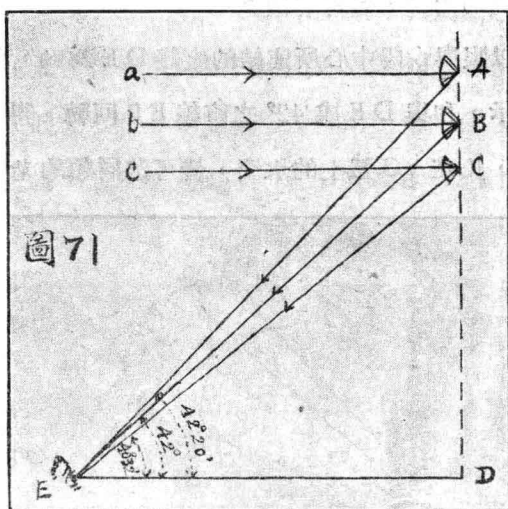
滴的光帶，始可看出。

以眼與太陽中心所連結的直綫  $DE$  爲軸，如圖70所示，和與  $DE$  成  $42^\circ$  之直綫  $EB$  回轉，得圓弧  $AC$ ，凡在  $AC$  弧上的水滴，皆可送同類的光帶於眼中



，故色帶成弧狀懸於空中，是爲正虹。又光射入水滴，再由水滴射出後，則成立角之半爲  $42^\circ$  之圓錐體，前已述過。惟此圓錐體的大小，係以白光的屈折率計算而得，若以紅光計算，應爲立角之半爲  $42^\circ 20'$  的圓錐體，以紫光計算應爲立角之半爲  $40^\circ 32'$  的圓錐體。





設  $A, B, C$  為相近之水滴，如圖 71 所示，觀察者在  $E$ ，且  $DE$  與日光平行。設  $\angle AED = 42^\circ 20'$ ， $\angle BED = 42^\circ$ ， $\angle CED = 40^\circ 32'$ ，則見  $A$  為紅色， $B$  為綠青色， $C$  為紫色；故正虹的外環為紅色，橙黃等色居紅紫色之間。

副虹 日光  $SA$  射入水滴時，如圖 72 所示，則折向  $AB$ ，復由  $B$  向  $BC$  方反射，由  $C$  向  $CE$  方反射，由  $E$  出水滴折向  $EF$ 。

令射入角  $\angle SAG = i$ ，

$$\angle OAB = \gamma,$$

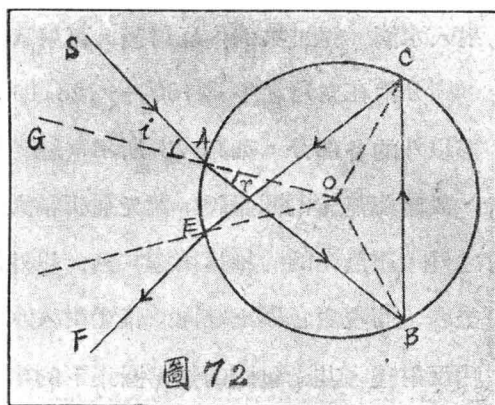


圖 72

則 SA 與 AB 的離角  $= i - \gamma$ .

AB 與 BC 的離角  $= 180^\circ - 2\gamma$ .

BC 與 CE 的離角  $= 180^\circ - 2\gamma$ .

CE 與 EF 的離角  $= i - \gamma$ .

$\therefore$  SA 與 EF 的離角 D

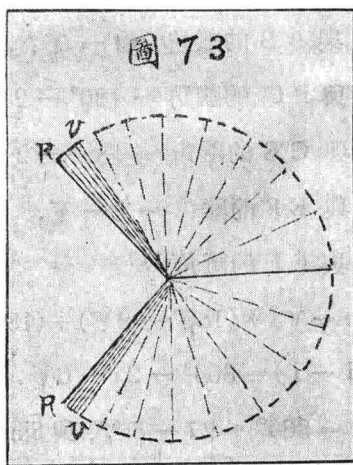
$$= (i - \gamma) + (180^\circ - 2\gamma) + (180^\circ - 2\gamma) + (i - \gamma) = 360^\circ - 2i - 6\gamma.$$

以  $D = 360^\circ + 2i - 6\gamma$ , 與  $\sin \gamma$

$$= \frac{\sin i}{1.33} \text{ 爲聯立方程,}$$

再命  $i = 0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, 90^\circ$  等代入之, 則 D 的相當值即可得出, 由計算結果, D 的最小值為  $232^\circ$ ,

即  $360^\circ - 128^\circ$ ,  $D$  的最大值為  $360^\circ$ . 是以平行日光射入水滴，經二次的內反射後，再射入空氣中的光，應分佈在立角之半為  $180^\circ - 128^\circ$  即  $52^\circ$  的圓錐形以外的各部分，如圖 73 所示。紅光屈折率甚小，故緊靠無光的圓錐體，紫光屈折稍大，故在紅滴之外，距無光的圓錐體稍遠。紫光以外的色帶互相疊合，而現白色與正虹同。惟光射入水滴，經二次內反射後，其光包圍的無光圓錐形的半立角為  $52^\circ$



；係由白光的屈折率計算而得。若由紅光計算應為  $51^\circ$ ，由紫光計算應為  $54^\circ$ ，故副虹的外環為紫色，內環為紅色，理由與正虹同。

正虹又名一次虹或第一虹，副虹又名二次虹或第二虹，正虹的色較副虹爲顯明，因光在水滴中，每經一次反射時，光之一部分，屈折而出於水滴之外，光的量較減故也。

虹在朝夕發現的理由 朝夕的太陽，將近地平線時，則眼與太陽連結的直線，殆成水平，故虹出現的形狀爲半圓。太陽若漸高，則虹出現的圓弧亦漸減，當比半圓爲小。若太陽的高度在  $42^\circ$  以上時，即眼及太陽的連接線與水平線所成的角在  $42^\circ$  以上，則背太陽而立，與日光成  $42^\circ$  的視線，當水平線以下故不能見虹。

附言 第一虹，第二虹外，尚有第三虹，第四虹等，惟其顏色極不顯明，不易被人發現耳。

## 現象 2 虹多現於夏季，冬日絕少。

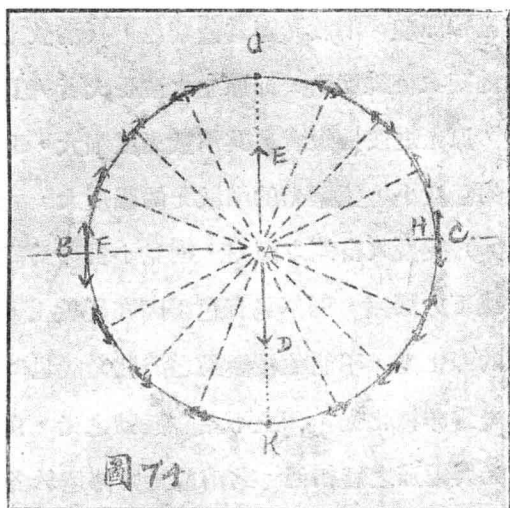
[解釋] 朝夕時吾人背太陽而立，設吾人前方有雨，背後無雲，則日光始可射至前方的雨滴而現虹。夏日常落陣雨，往往有村東落雨，村西一滴全無者，是以虹常出現，冬日降雪，雪爲六出的小冰塊，故不能見虹。即有時降雨，亦往往此處降雨，彼處亦降雨，日光爲雲所隔，不能射至雨

滴上故無虹。

### 象現 3 天色蔚藍。

〔解釋〕 天色蔚藍現象，久爲學者所注意，對於此現象的解釋，其說不一，探斗爾氏 (Tyndall) 謂天色蔚藍，是由於光的消散作用 (Scattering of light)。此說爲最近一班學者所公認，茲詳述於下：

能媒的波，遇到空中浮懸的小質點，若波的週期稍大，則小質點隨波的振動而振動，其狀況與河中飄浮的木片，隨水波而上下相同。若波的週期極小，則此等小質點，不隨波而運動。設能媒的波陵與小質點遇，則有使質點向上運動的趨勢，能媒的波谷與小質點遇，則有使質點向下運動的趨勢；惟因能媒波動週期極小的緣故，使質點向上運動之力未去，向下運動之力又來，故質點靜止而不動。此時有波的能媒，遇到不動的質點，此能媒當失去其原有的波動，而另生一種新波動，此種新波動的波，稱爲光的消散。如圖 74，設 A 爲空中浮懸的小質點，能媒的波的變位在紙的平面上，且垂直於 BC。則原波遇 A 後，當生一新波動，此新波動的狀況，與能媒不動，質點 A 依 DE 線振動所惹起的波動相同。



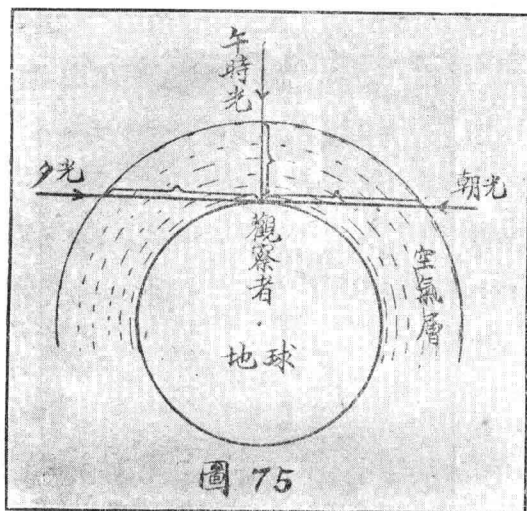
設能媒不動，質點A 依 DE 線作週期的振動，則能媒被逼迫而振動，其波面當為以A 為心的球面。在此球表各點的振動方向，當必與質點 A 的振動方向平行，即與 DE 平行，G 點與 K 點適在 DE 線上，其變位應為零；F 點與 H 點適在 DE 的垂直線上，其變位應極大；如圖所示。過 FH 作一平面與紙面垂直，此平面與球面 FGHK 的相割各點其變位均應等于且平行於 F 點和 H 點的變位；此種現象，稱為光的消散。設有一組白光由南向北進行，且平行於地面；又設此光為上下振動的極化光，此等光與空中浮懸的小質點，如雪茄之烟相遇，則生光的消散現象

○按光學原理，消散光應為藍紫色，（消散光的強度，與波長的四次根為反比，即原光之波長大者，其消散光的強度小，原光之波長短者，其消散光度強大，即紅黃光的消散光的強度小，藍紫光的消散光的強度大，故消散光呈藍紫色，）故吾人自側方觀察，則見小質點為藍紫色，但自上方或下方觀察，則不見有色；因在假設上，原光為上下振動的極化光，不能生橫振動之消散光故也。在實際情形，日光為非極化光，即上下左右振動之光，白光均含有之，此光與雪茄之煙相遇，其消散光應傳達於各方，是以吾人無論自何方觀察，均見為藍紫色，又藍色較紫為亮，故通常視為藍色。

上層空氣中，含有許多的細微水滴，與雪茄之煙相似，日光照之，則生光的消散現象，故天空呈藍色。

#### 象現 4 朝霞與夕霞均現紅色。

〔解釋〕日出前或日落後，接近地平線的雲均現美麗的紅色，俗稱為燒雲，此蓋因朝夕日光達於人目，通過的空氣層較厚，如圖 75 所示。短波光，如藍紫光，易為空氣中的微細水滴和塵埃所阻隔；長波光，如紅光，不易為水滴塵埃所阻，達于人目，故見朝夕的天空或雲為紅色。



現象 5 朝夕太陽現紅色。

〔解釋〕 與本節現象 5 同。

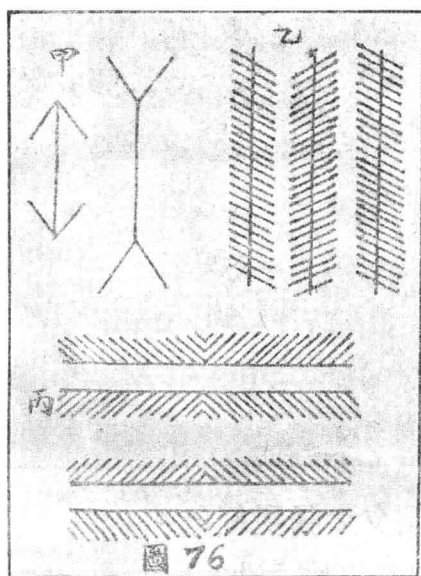
現象 6 朝夕太陽較午時為大。

〔解釋〕 肉眼觀測物體，受環境的影響，不能得正確的判斷，此種現象稱為惑視，亦稱眼的錯覺。如圖甲，二線本同長。

但在眼中；覺得左小而右大。又如乙之各縱線本為平行，但在眼中，或覺其右斜，或覺其左傾。又如圖丙，二者均為平行線，而在眼中，則覺上者中寬，下者中狹。如此之



現象，不可枚舉。



太陽位於天頂時，較之位於地平線之附近時為小，亦為環境之影響，發生感視之一種。其理因太陽位於天頂時係與其周圍的天空相比較，故望之甚小；猶之甚大之房，折去其屋頂後，故覺其地基較前為狹小也。

### 第六節 物體的顏色現象。

現象 1 物各具有特色。

〔解釋〕 射至物體表面的光，一部分在表面上起亂反射，

部分透入物體內部，進入少許距離，始重行反射而出。當其透入時，受物體的選擇吸收，退出者為殘餘之光，進入吾人之眼，由此而識其色。

物體對於白光中的各單光，均行射回者呈白色，均行吸收者為黑色，按各單光的原有比例，吸收其一部分，反射其一部分者為灰色。又如玫瑰，只反射紅色，其他單光，盡行吸收，故玫瑰為紅色。其餘葉之綠，迎春花之黃等，其理與玫瑰花之紅相同。

## 現象 2 深水常呈綠色。

〔解釋〕 日光為七色光所合成，射入水中，則水逐漸吸收其各單光，逐漸反射其各單光。但對於各單光之吸收率大致相同，對於各單光的反射率，懸殊實甚。波長較小的光如藍光，紫光，在水內部的反射率，較紅黃光為大。故紅黃光在水底反射之光較藍紫為多，在水的內部反射之光較藍紫光為少。由水底反射之光，在水中經過的路徑當較由水內部反射的光為長。故前者被水吸收之量，當較後者為多，故反射而回達於水面的光的量，藍紫光當較紅光為多，且水愈深，其現象當愈顯著，故水愈深愈覺其藍。

## 現象 3 遠山則為藍色。

〔解釋〕 與本節現象 2 同。

#### 現象 4 炊烟常爲藍色。

〔解釋〕 理由與天色蔚藍的理由相同，與遠山之藍深水之藍的理由相異。

#### 現象 5 電力小，則電燈爲紅色，電力大，則爲白色。

〔解釋〕 物體的分子振動，惹起周圍能媒起波動，達於四方。物體的溫度愈高，則分子振動速的度愈大，即其周期愈短，周圍能媒的波長，亦當隨之而短。電燈絲因受有電流的熱效應，溫度逐漸增高，周圍能媒的波長，初爲不可見的熱線，繼生波長較短的紅光，再生波長更短的紅青藍紫等等色，故電紅絲初爲紅色，繼爲白色。

#### 現象 6 在石油燈下，黃色與白色物體，不能判別清楚。

〔解釋〕 普通所謂物體之色，均指物在日光下所呈的顏色而言。日光爲七色光俱備之光，石油燈之光則較少紫色，置白色物體於石油燈下，則其反射光必少紫光，故呈黃色。因黃綠紫三者互爲餘色，三者俱備則爲白色，減去紫色則爲黃綠色，又因黃色較綠色爲亮，故現黃色。置黃色的物

體於石油燈下，則反射黃光吸收其餘，故仍為黃色，是以在石油燈下，不能判別黃白物體。

### 現象 7 紙浸於水或油，則透光較易。

〔解釋〕 甲為一塊玻璃，乙為三塊玻璃相併而成，設甲之厚與乙之厚相等，由實驗結果，則見甲的透光性比乙為強。此因乙的內部，含有幾個反光表面，（即此塊玻璃與彼塊玻璃相接近處，並不嚴密，仍可以其表面反光，）而甲內部則無故也。乾紙的纖維與纖維間含有空氣，即內部的反光面較多，故光透過較少。如浸以水或油，則可纖維間空氣逐出，故纖維粘在一起，即內部的反光較少，故透光性較前為強。

### 現象 8 窗紙塗以油滴，白晝自窗外觀察，則見油點處較暗，自窗內觀察，則見油點處較明。

〔解釋〕 設紙之透光率 =  $a$  （ $a$  為小於 1 之分數）

則紙之反光率 =  $1 - a$  （設紙不吸收光）

油紙之透光率 =  $b$  （ $b$  為小於 1 之分數）

則油紙之反光率 =  $1 - b$  （設油紙不吸收光）

又設室外光射到窗上，每單位面積上的光量 =  $L$

室內光射到窗上，每單位面積上的光量 =  $L'$

如觀察者在室內，則每單位面積上

由紙上透來的光量 =  $L a$ ,

由紙上反光的光量 =  $L' (1 - a)$ .

由紙上透來的光量 =  $L b$ ,

由紙上反光的光量 =  $L' (1 - b)$ .

$$\begin{aligned} \therefore \text{紙上亮度} &= L a + L' (1 - a) = L a + L' - L' a \\ &= a(L - L') + L' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{油紙上的亮度} &= L b + L' (1 - b) = L b + L' - L' b \\ &= b(L - L') + L' \end{aligned}$$

$\therefore$  紙的透光率較油紙的透光率為小。

$\therefore a < b$ ,

又設  $L - L'$  為正數，即窗外較窗內為強，白晝時，通常如此。

則  $a(L - L') + L' < b(L - L') + L'$ ，即油滴處較亮。

設  $L - L'$  為負數，即窗外光較窗內光為弱，夜間室內有燈時，通常如此。

則  $a(L - L') + L' > b(L - L') + L'$ ，即油滴處較暗。

如觀察者在窗外，其情形與上相反，其理甚易推知，茲不

贅述。

### 現象 9 有色之布浸濕後，則其色較亮。

〔解釋〕 布之纖維上滿着有顏料的分子，日光透入布內與顏料的分子遇，再行反射，則布即呈顏料之色。濕布的透光性較強，即光可深入布的內部，可遇到較多數的顏料分子，故其色較亮。若係乾布，因其透射性較小的緣故，光透入布的表面近處即行反射，深入較難，即遇到顏料分子之數較少，故色較為不亮。

### 現象10 白布浸濕後，其白色較減。

〔解釋〕 日光射在乾的白布上，多被反射而回，透過之光較少，故覺其白。浸濕後則光多數透過，故其白較前為遜。

## 第四章

### 音學現象

#### 第一節 音的速度，傳播，反射，共鳴，干涉，強弱等等現象

現象 1 在軍事學上，測知見砲發火後，至聞砲聲時的時間，即可推知敵人與砲的距離。

〔解釋〕 空氣中音波的速度，溫度在 $0^{\circ}\text{C}$ 時，為 331 秒呎。溫度昇高一度，速度增在 6 秒呎。光的速度絕大，砲發火後，吾人可立時看見，其間所需的時間，極近於零，可略而不計。是以人與砲的距離，可計算之如下：

設見砲發火後至聞砲聲的時間 =  $t$  秒大氣中的溫度 =  $t$  度  
則人與砲的距離 =  $(331 + 6T) \times t$  呎。

現象 2 印度人帖耳於地，能聞馬蹄之聲。

〔解釋〕 一切物體均能傳音，固體傳音最速，液體次之，氣

體最緩，馬蹄着地，則地被振而生波動，再由地的波動，引起觀察者耳旁空氣的震動，故可聞聲。

### 現象 3 室內談話，常覺其聲音較室外爲亮。

〔解釋〕 音波與牆壁相遇，則音波反射而回，再入於耳是爲回音，連續兩音之來，其相距時間，在 $\frac{1}{10}$ 秒以內時，則耳不能判別其爲兩音。在 $15^{\circ}\text{C}$ 左右，音於 $\frac{1}{10}$ 秒間，約可行10丈，普通房屋牆壁間的距離，常在5丈以內，是以在室內談話，其音爲他人所聽見者，即其原音與回音之相合音，故覺其亮。

### 現象 4 用喇叭筒送話，則其音較亮。

〔解釋〕 設有發音器，在空曠地方發音，則音波可以相等強度向各方自由傳播而去，試由與音源距5尺與10尺的球面想之，以同一之量，分布於此兩球面上，則在後者所分布的面積，必爲前者所分布的面積的四倍。故在此種想像之下，則音的強度必與其距音源距離的平方爲反比。故在近處覺其音強，遠處覺其音弱。若音波在圓筒內傳播，則能由此端傳至他端，其分布的面積，彼此相等，故雖傳至遠距離，音的強度亦不減小。喇叭筒雖非兩端等粗的圓筒，然音波在此筒內傳播，由近及遠，其強度減小之數，究



比無筒時爲小；其所以用喇叭形狀者，意在使音波成爲圓錐形傳播，一方面使音的強度不致大減，聲音可以傳至遠處；一方面使在錐形以內的聽衆，均可聽見聲音，使聞聲的人數較用圓筒傳聲時爲多。

### 現象 5 用聽筒聞聲，較爲清晰。

〔解釋〕 音波係依直線進行，吾人的耳殼並不甚大，故音波入耳之數必甚少。若用聽筒裝於耳部，因筒口較大的緣故，可以收集多數音波，其波在筒內經數次的反射，會集入於耳孔，其刺激耳膜之力，自較不用聽筒時爲強，故覺聲音格外清晰。

### 現象 6 用聽診器，可以聽到脈波跳動的聲音。

〔解釋〕 醫生所用的聽診器，係以柔軟之管製成，一端開口甚大，他端略小，用時以大口之端，置於病人的心臟處，小口之端入於耳孔，則脈波跳動的聲音，不致散於空氣中，經管的內部進行，會集於耳，得以聞聲。

### 現象 7 講演台後的斜上方，多備有凹形的建築物。

〔解釋〕 講演時發出的聲浪，觸於凹形建築物，則反射而回，散布於講演台前聽衆座位的地方，使其聲音不致因房屋

之大聽衆之多，而失其效用。

### 現象 8 動物的耳殼。

〔解釋〕 與聽筒的用處相同。

### 現象 9 吾人在露天聽講演，或聽戲時，張傘於身後，則覺聲音較亮。

〔解釋〕 因傘能反射聲波。

### 現象10 夜間聞聲，較白晝爲亮。

〔解釋〕 空氣愈稀傳音愈難，愈密愈易。以電鈴置於高空玻璃球內，則只見錘動，不聞鈴聲，職是故也。夜間溫度較低，即空氣的密度較大，故所聞之聲較爲清晰，冬日聲大於夏日，南方聲小於北方，北冰洋地方，聞三里外之人語，其理亦與上述相同。又夜間無雜亂聲音，發音體的音，不受擾亂，故能格外清楚。

### 現象11 置音叉於桌上，則其音較亮。

〔解釋〕 置已發音的音叉於桌上，其振動由基部以達於桌面，強迫桌面本自己的週期而震動，此震動桌面，所佔之面積甚大，可使多量的空氣震動，故可送強音震耳。

### 現象12 胡琴三弦等的下端，常附有一端有薄膜或兩端有薄膜的圓筒。

〔解釋〕 理由與本節現象 11 同。

現象13 小鐘發音無昇沈現象，大鐘發音有昇沈現象。

〔解釋〕 波長稍不相等的兩發音體，同時發音時，其波或互相抵消，而發弱音，或互相結合而發強音，此現象稱爲昇沈，或曰唵。

擊小鐘之一邊，則其各邊受其影響，以同一週而振動，故無唵。擊大鐘之邊，則被擊邊的週期較小，未被擊之處，其週期稍大，故呈昇沈現象。

現象14 已發音的物體，以手觸之，則其音頓小。

〔解釋〕 振動的物體，將其振動傳於空氣，起相似的振動，由近漸及於遠，是爲音波。音波刺激耳膜，遂生音的感覺。故音的發生，是由於物體的振動。以手觸已發音的物體，可以減少物體的振動強度，故其音頓小。

現象15 鐘懸空中，擊之則音較強。

〔解釋〕 鐘懸於空中擊之，其振動自由，故其音強，置諸地面，則因地面阻力的關係，其運動大受防碍，故其音弱。

## 第二節 音的高低現象

現象 1 乾燥的鼓，其音較高。

〔解釋〕 因音的高低與振動數爲正比，鼓皮的振數與張力的平方根爲正比，在乾燥時的鼓皮，其張力應比潮濕鼓皮爲大，故其振數較多，所以發音較高。

現象 2 彈三弦時，只須上下其手，即可得各種音調。

〔解釋〕 因弦的振動數與其長爲反比，彈三弦時，若握弦之手在上，則弦長而音低，在下則弦短而音高，故可得各種音調。

現象 3 胡琴上有粗細弦各一根，細弦音較高。

〔解釋〕 振動數與單位弦長所具質量的平方根爲反比，在細弦其單位長所具的質量小，故音較高。

現象 4 奏弦樂時，必先調理弦的張力。

〔解釋〕 振數與弦的張力的平方根爲正比，欲得高音，則使其張力大，欲得低音，則使其張力小。故調理弦的張力，可得本人樂聽的音調。

現象 5 管樂上常鑿有許多小孔，吹時開上邊之孔，則其音高。

〔解釋〕 因開管原音之波長爲管長之四倍，閉管原音之波長

爲管長之二倍，故無論爲開管或閉管，其原音之高低，均與管長爲反比。奏管樂時，設將其孔全數用手指閉住，則以原管長爲管長。開其最上孔，緊閉其餘各孔，此時管長應等於吹口與最上孔間的距離。是以用不同方法，開閉管上各孔，即可得各種不同的管長，故可得高低不同的音調。各孔全閉時音最低，開最上孔時音最高，餘類推。

**現象 6** 奏管樂時，若任開某孔，如第一孔，緊閉其餘，只須猛烈吹氣，立得較高之音。

〔解釋〕 設橫對閉管之口吹之，氣流  $a$  先達管之內側，如圖 77 所示，則氣體的密部沿管直下。當其由管之下端反射後，返至管口時，逐氣流於下，由是得一疎部，沿管直下。當其由底部返至管口時，復引氣流入內，又成密部，沿管而下。由是可得等間隔的規則氣流，成爲波狀達於四方，其波長爲管長的四倍。若吹勢更爲猛烈，因管壁的摩擦和氣流密部壓力甚大的關係，致密部不會達於管底，即行反射而回，是以其波較短，發音較高。

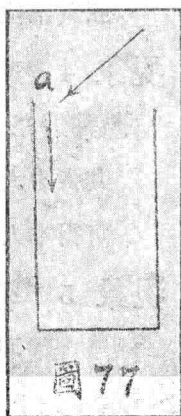


圖 77

## 第五章

### 電學現象

#### 第一節 摩擦生電現象

現象 1 以鉛筆桿與桌腿相摩擦，則鉛筆即固着於其上，若用有稜鉛筆桿，其作用更爲顯著。

〔解釋〕 凡百物體的原子，皆爲電子與陽電核所組合而成，電子爲帶陰電性的小粒子，陽電核爲帶有陽電的粒子，電子團聚於陽電核的周圍，繞陽電核而運行，在正則狀況的原子，其各電子所有的陰電總和，恰等於其核之陽電，故不呈帶電現象。電子有時受外力的影響，常能脫離其原屬原子的範圍進入其他原子的範圍內，則前者呈陽電性，後者呈陰電性。

兩物體相摩擦，則二者的電子，因溫度增高的關係，電子運行的速度，驟爲加大，其離心亦因之而增。其效應常能

使電子脫離其原屬原子的範圍，進入其他原子範圍內。又不相同的兩物體，其電子活動的程度也不一致；設電子易活動的物體，與電子不易活動的物體相摩擦，則前者失去較多數的電子，而進入後者之範圍內，同時後者當失去較少的電子進入前者的範圍內，總之經摩擦後，前者的電子數當比平時減少，後者的電子數當比平時加多，故前帶陽電，後者帶陰電。茲得定律如下：

凡不同的兩物體，皆可由摩擦而帶電，電子的比較容易活動者帶陽電，不易活動者帶陰電。

鉛筆桿的木質與桌腿的木質，其成分不同，其電子活動的程度亦異，故二者相摩擦，應帶有相異之電。由相異電的互相吸引，故鉛筆桿可固着於桌腿上，可作為掛帽子，手巾等物之用，亦云趣矣。

## 現象 2 乾燥之日，以手拂貓，則生火星。

〔解釋〕 手與貓皮相摩擦，則二者生有相異之電，由相異電的互相中和，故生火星，惟濕潤的空氣，常能傳電，若在潮天拂貓，則電氣遂生遂被濕空氣傳去，散於空氣之中，故無火花可見。

## 現象 3 冬日所着的新皮袍與絲褲相摩擦，常軋

### 軋作聲。

〔解釋〕羊毛與絲相摩擦則生相異的電，其所生的電量，隨羊皮的新舊而正變，相異的電互相中和，故軋軋作聲。

現象 4 乾燥的鷄毛，被毛布摩擦後，接近手指，則鷄毛常為手指所吸引，此現象以秋冬為最著。

〔解釋〕鷄毛被毛布摩擦後，則鷄毛生有電量，乾鷄毛所帶的電量尤多。此時以鷄毛接近指端，則指端被誘導而帶相異的電量，由異性電相吸和鷄毛甚輕的兩種原因，故鷄毛向指端灣曲。又秋冬兩季，空氣較為乾燥，雞毛所帶的電量，不易散於空氣之中，故其向指端灣曲的程度亦較大。

現象 5 樹脂質的紙烟嘴經摩擦後，則可吸引碎紙。

〔解釋〕與本節現象 4 同。

現象 6 以樹脂質的櫛梳，梳髮時，櫛梳常能將髮吸起。

〔解釋〕與本節現象 1 同。

## 第二節 空中雷電現象

現象 1 雷電常發生於有雲之日。



〔解釋〕 空中雷電現象，經佛蘭克林 (Franklin) 用風箏放至空中，證明與人工所製電的中和現象完全相同，通常空中小水滴，皆帶有電量，由無數水滴集合而成雲時，因雲爲導電體，故各水滴所帶的電量，應全數分佈於雲的表面。又以雲表面帶電甚多的原因，其電力因之加大，可與隣近本來帶有異性電之雲，或被誘導帶有異性之雲相吸引。設其電力過強，可衝破其間的空氣而放電。此時表現之光曰電閃，同時發出之聲曰雷聲。又帶電之雲接近地面時，則由靜電誘導作用，在地面上發生相異之電，亦可生放電現象，落於人畜身體上，殞其生命，是曰雷擊。惟雲與地起的雷，不若雲與雲起雷之易，因雲與地的距離甚遠，非雲中電量十分充足，不能發生放電現象故也。

空中之雲通常均帶有電量，惟電量之由來，爲說頗多，迄至今日仍無確實的答案。但其原因，要非一種，有時爲多數原因所合成者，亦不可知，茲舉其犖犖大者如下：

1. 摩擦說 水蒸氣上昇時，與空中塵埃，或地面摩擦而帶電。或溫度不同的空氣分子與空氣分子相摩擦而帶電，將其電授於水滴者。水蒸氣帶電，或小水滴帶電，其結果均可使雲帶電。

2. 水滴表面縮小說 兩水滴或數水滴互相結合，則其總表面較前爲小，在表面縮小的過程中，其表面張力所作的功，可使水滴帶電，故雲爲帶電體。
3. 紫外綫使空氣電離說 紫外線通過空氣中，可使一部分的空氣起電離作用。水蒸氣以此等空氣離子爲核凝爲小雨滴，又由考查結果，水蒸氣以陰離子爲核時凝結較快，故初凝的小雨滴多帶陰電性，後凝的多帶陽電性，小雨滴既帶有電量，故雲帶電。

## 現象 2 冬季雷電絕少，夏季最多。

〔解釋〕 冬季雷電絕少，夏季最多的理由有二，茲分述於下：

1. 夏季雲多成塊狀，冬季雲塊常結爲一起，夏季空中氣溫局部變化過驟，往往此處氣溫高，彼處氣溫低。氣溫高處或遇冷風，溫度驟然降下；氣溫低處遇熱氣，溫度頓爲增高；變動極爲複雜，氣溫低的地方有雲，氣溫高的地方則否。故雲多爲片狀，而不接觸。雷電的發生，由於此片雲與彼片雲的放電現象，夏雲既多爲塊狀，故雷電較多。冬日空中氣溫局部變化較緩，此處氣溫低，彼處亦低，此處高，彼處亦高，故天空有雲時，則多全部有雲，故連爲一大

塊，故不呈放電現象。

## 2. 夏日空中雲的電量多，冬日空中雲的電量少。

由摩擦說 夏日水氣蒸發甚盛，故水氣與塵埃或地面摩擦的機會多，故夏日雲多，其帶的電量亦當隨之而多，故雷電多。又夏日空中氣溫局部變化甚驟，是不同溫度的空氣分子數較多，由二者摩擦所生的電量，亦當隨之而多，以其電授於雲，故夏日雲中電量多，冬日反是。

由水滴表面縮小說 夏日空中水氣多凝為水滴，由水滴的互相結合，縮小其面積而帶電，故雲中多電，冬日空中水氣多結為小冰塊，冰塊與冰塊相結時，其表面無甚縮小，故不生電。

由紫外縮使空氣分子電離說 夏日日光強，故紫外線的力大，即其使空氣起電離的作用較大，故雲中雷量多，冬日反是。

## 現象 3 大樹高房，烟囪之下，最易落雷。

〔解釋〕 帶電之雲與地面接近，則由靜電誘導作用，在地面上發生反對之電，如其電量可衝破其間所隔之空氣而起放電作用，則發生落電現象。如直落於人畜身體之上，必戕及生命，是曰雷擊。如落於人畜身體之旁，則人畜身體上

所帶之多量之電，驟然消失，身內電位當生極大的變動，亦能刺激神經肌肉而喪失生命，是曰反擊。

惟雲與地起落雷時，必取抵抗薄弱的路徑。如大樹，高房，烟鹵等比平地特高的物體，與雲的距離較近，是以該物等由誘導作用所帶之電，常易與雲中之電起放電作用。

#### 現象 4 起落電時樹木常常脫皮。

〔解釋〕 放電時常生極大的熱量，皮與木間的水分，受落雷時所生熱量的影響，遂變為水氣而膨脹，樹皮因以脫落。習俗不察，多謂為龍抓者，誤矣。

