

# 物理學精華

陳 振 華 編

中 華 書 局 印 行

民國三十七年六月發行  
民國八年十月再版

物理學精華（全一冊）

◎ 基 價 八 元 三 角

（郵運匯費另加）

編 者 陳 振 華

發 行 人 李 虞 杰

號 類 分  
號 記 登  
權

印 刷 者 上 海 澳 門 路 八 九 號  
中 華 書 局 永 寧 印 刷 廠

所

版

有

發 行 處 各 埠 中 華 書 局

## 例 言

- 一、編者在教學高中物理之餘，深感讀者不易得到有系統有條理的概念，爰於二十八年春本教學之經驗，編輯是書，以供學生之複習，兼充升學之指導。嗣後每年均經修訂一次，再經二度改編，始成定稿。
- 二、本書依照部頒標準，以教科書的編制為次序，使與課本配合而便於複習。
- 三、本書係擷取高中物理學之精華，以表解式將物理學中的定義、定律、原理和應用扼要敘述，可使讀者便於記憶；省之時間，而收事半功倍之效。
- 四、本書搜集近年來全[ ]學之物理入學試題，分類編列為習題，以供讀者之練習，且示各大學擬題之範圍之準備。
- 五、編者學識未逮，雖經[ ]訂，錯誤之處，仍所難免，尚祈賢達指教，以便改正。

三十六年元旦編者識於嘉興青年中學

# 物理學精華目錄

緒論	一
第一章 力學	五
第一節 力的分合和平衡	五
第二節 運動	一四
第三節 運動定律	二二
第四節 圓周運動	二七
第五節 功與能	三三
第六節 簡單機械	三九
第二章 物性學	四八
第一節 固體	四八
第二節 液體	五三
第三節 分子現象	六一

第四節 氣體	六七
第三章 熱學	七六
第一節 熱	七六
第二節 物體的膨脹	七八
第三節 熱量與比熱	八三
第四節 三態的變化	八七
第五節 熱與功	九六
第四章 聲學	一〇〇
第一節 波動	一〇〇
第二節 聲波	一〇二
第三節 樂音	一〇四
第五章 光學	一〇九
第一節 光的傳播	一〇九

第二節	光的反射	一一四
第三節	光的折射	一一九
第四節	光器	一二八
第五節	光的色散	一三一
第六節	光之本性	一三五

## 第六章 電磁學

第一節	磁學	一三九
第二節	靜電	一四五
第三節	電位與電容	一五一
第四節	動電	一五五
第五節	電流的熱效應	一七一
第六節	電流的化學效應	一七七
第七節	電流的磁效應	一八一
第八節	應電流	一八五
第九節	真空放電	一九三

第十節 放射性.....	一九八
第十一節 電磁波.....	二〇三

# 物理學精華

## 緒論

定義——研究物質的性質及能量的變化的學問，稱為物理學 (Physics)，為自然科學的一部份。

分類 {  
力學 (Mechanics)  
物性學 (Properties of matter)  
熱學 (Heat)  
聲學 (Sound)  
光學 (Light)  
電磁學 (Electricity and magnetism)

研究目的 {  
啟發人智，增進人類生活的設備。  
探求物理現象的真理。  
養成準確和合理的思想。  
作研究其他科學的基礎。

緒

論

### 1. 物理學



研究方法

**歸納法**——集合多數特殊現象，分類比較，使同類的現象都可依從一簡單而普遍的法則，這樣研究的方法，稱為**歸納法** (Inductive method).

**演繹法**——由已知普遍的法則，可以推得其他新現象及新事實的方法，稱為**演繹法** (Deductive method).

研究步驟

**搜集事實** { **觀察**——就自然發生的現象，考察其發生的原因，變化的歷程，和生成的結果，稱為**觀察** (Observation).

**實驗**——藉人爲的方法，利用適當的器械，變更其有關係的情形，以觀察其所受的影響，稱為**實驗** (Experiment).

**組成定律**——將由某現象的因果關係所得的規律，組成一定律 (Law).

**解釋現象** { **假說**——為解釋現象起見，常憑思考和推理，假設一種想像的說法，稱為**假說** (Hypothesis). 假說的能否成立，視其推想的結果和實驗所得是否符合而定.

**學說**——能解釋多數現象的假說，稱為**理論**或**學說** (Theory).

**推闡新知**——由已知的定律和學說，以推求新現象。

- 2. 物質**
- 物體——占有空間的一部分，由人類之感官知其存在的，稱為**物體**(Body)。
  - 物質——構成物體的實質，稱為**物質**(Matter)。
  - 質量——物體所含物質多少的分量，稱為**質量**(Mass)。
  - 分類
    - 固體——有一定容積和形狀的物體，稱為**固體**(Solid)。
    - 液體——有一定容積而無一定形狀的物體，稱為**液體**(Liquid)。
    - 氣體——無一定容積和形狀的物體，稱為**氣體**(Gas)；液體和氣體總為**流體**(Fluid)。

- 3. 度量的單位**
- 基本單位——長度、質量、時間的單位，稱為**基本單位**(Fundamental unit)。
  - 誘導單位——由基本單位導出的單位，如面積、密度等的單位，稱為**誘導單位**(Derived unit)。
  - C.G.S.制單位——從米制中推出來，用厘米、克、秒為基本單位的制度，稱為**C.G.S.制單位**(C.G.S. system)。
  - F.P.S.制單位——此為英制，用呎、磅、秒為基本單位的制度，稱為**F.P.S.制單位**(F.P.S. system)。

- 4. 密度**
- 定義——物體單位容積內所含有的質量，稱為**密度**(Density)。
  - 公式——
$$\text{密度} = \frac{\text{質量}}{\text{容積}}$$

單位——米制爲每立方厘米克，以克/厘米<sup>3</sup>表之。英制爲每立方呎磅，以磅/呎<sup>3</sup>表之。水之密度，米制爲1克/厘米<sup>3</sup>，英制則爲62.4磅/呎<sup>3</sup>。若化米制爲英制，須將米制密度乘以62.4。

5. 比重 { 定義——任何物質的密度對於4°C時水的密度的比，或物體的重量與同容積的4°C時的水重之比，稱爲比重(Specific gravity)。C.G.S.制中密度和比重數值相同。
- 公式——比重 =  $\frac{\text{物質的密度}}{\text{水的密度}}$ ，或比重 =  $\frac{\text{物體的重}}{\text{同容積4°C時的水重}}$

# 第一章 力學

## 第一節 力的分合和平衡

1. 力
- 定義——凡推引一切物體的作用，稱爲力(Force)。
  - 重力——一切物體受地球吸引的作用，稱爲重力(Gravity)。
  - 力的三要素
    - 大小(Magnitude)
    - 方向(Direction)
    - 作用點(Point of action)
  - 力的圖示——以直線的長短表力的大小，線的方向表力的方向，線的起點表力的作用點，此種以線段表示力的三要素，稱爲力的圖示 (Graphical representation of force)。

2. 有向量和無向量——物理量中，凡有大小而兼有方向的量，稱爲有向量 (Vector quantity)，如力，速度等。僅有大小而無方向的量，稱爲無向量 (Scalar quantity)，如體積，密度等。無向量的大小，用算術方法運算，有向量須用幾何方法運算。

合力——有一力，若其作用和二力或多數的力所產生的結果相同，則此力稱爲諸力的合力 (Resultant force)。求合力的力法，稱爲力的合成 (Composition of

forces).

### 3. 力的合成

#### 不平行力

**定義**——作用於物體上一點的數力，其方向各不相同的，稱為**不平行力**(Non-parallel forces)。

**作圖法** { **平行四邊形法**——將二力為鄰邊，作一平行四邊形，則通過作用點的對角線，即為二力的合力。

**三角形法**——用二力為鄰邊，順次銜接，作一三角形，則此三角形的第三邊，即為合力。

**多邊形法**——三個以上的力作用於一點時，將各力順次銜接，並使各力的方向不變，最後自第一力的起點和最後一力的終點，聯接成一多邊形，則此最後的聯接線，即為諸力的合力。

#### 計算法

**合力的大小**——設 $F_1$ 及 $F_2$ (圖1)為互成 $\theta$ 角的二力， $R$ 為其合力，則：

$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta$$

**合力的方向**——設 $\phi$ 為 $R$ 與 $F_1$ 的交

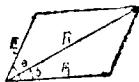


圖 1

## 合力的法

## 分析法

角,則

$$\tan\phi = \frac{F_2 \sin\theta}{F_1 + F_2 \cos\theta}$$

**方法**——以坐標之原點為起點,將各力順次聯結,分解為與兩坐標軸平行的兩分力,再將在同一軸上的各分力相加,最後求兩軸上各分力之和之合力,即為所求之合力。

**公式**——設平行於x軸的各分力之和為X,平行於y軸的各分力之和為Y,則其合力R與方向角 $\phi$ ,即R與X軸間之角,各為

$$R^2 = X^2 + Y^2,$$

$$\tan\phi = \frac{Y}{X}.$$

## 平行力

**定義**——作用線方向相同的力,稱為**平行力**(Parallel forces)。

**同方向**——方向相同的二平行力的合力,等於二力的和,方向與二力相同。作用點內分聯接二

合力的  
定律

力作用點的直線為二段，與二力的大小成反比。

反方向——方向相反的二平行力的合力，等於二力的差，方向與較大的力相同。作用點外分聯接二力作用點的直線為二線段，與二力的大小成反比例。

4. 力矩

定義——作用力和軸線的垂直距離，稱為力臂(Arm)。力和力臂的乘積，稱為力矩，亦稱轉矩(Moment of force)。

作用——轉動體上每一力矩，有使物體繞軸線而轉動的趨向。

原理——物體受數力矩作用，而不發生轉動時，則其順時針方向的力矩總和，必和反時針方向的力矩總和相等；或力矩的代數和等於零。

5. 力偶

定義——大小相等方向相反而作用點不在一點的二平行力，稱為力偶(Couple)。

力偶平面——力偶所在的平面，稱為力偶平面(Plane of couple)。

力偶臂——平行二力間的垂直距離，稱為力偶臂(Arm of couple)。

力偶矩 { 定義——力偶使物體轉動時的力矩，稱為力偶矩 (Moment of couple)，  
即力偶的一力與力偶臂的乘積。

〔定律——力偶矩的大小，等於力偶的任何一力與力偶臂的乘積，與軸線的位置無關。〕

## 6. 力的分解

**分力**——一力可分成數力，此數力的合力，必與原來的力相等。此分解成的數力，稱為**分力** (Component force)。求分力的方法，稱為**力的分解** (Resolution of forces)。

**分力求法**——以原力為平行四邊形的對角線，作一平行四邊形，則其兩鄰邊即為分力。普通在一定平面內以原力為對角線，作長方形，得兩個成直角的分力，其一和水平面垂直的，稱為**鉛直分力** (Vertical component)，他一和水平面平行的，稱為**水平分力** (Horizontal component)。

**船舵**——如舵的位置成  $OB$  (圖2) 時，則水流之壓力  $OP$  斜壓舵面，此力分解成與舵面垂直的  $OF$  及平行的  $OE$  二分力， $OE$  滑過舵面無作用， $OF$  則壓舵使船轉向。



圖 2

**風箏**—— $AB$  (圖3) 為風箏之橫截面， $OP$  為作用於風箏之風力。此力分解為垂直和平行箏面的二分力  $OR, OQ$ ； $OQ$  滑過箏面無作用， $OR$  又分解為  $OF$  及  $OE$  二分力， $OE$  與線之張力成平衡， $OF$  即為上昇的力。若  $OF$  大於風箏之重量  $OW$ ，則上

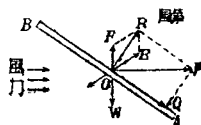


圖 3

## 7. 分合力的實例



昇。故風力愈大，則風箏上昇愈高。

**飛機**——設 $OP$ (圖4)為風力，分解為垂直，及平行於翼面的兩分力 $OR, OQ$ ； $OQ$ 滑翼面而過， $OR$ 又分解為 $OF$ 及 $OE$ 二分力， $OE$ 為阻力， $OF$ 即為上昇的力。若 $OE$ 與前進的力平衡， $OF$ 與機重 $OW$ 相平衡，機即以等速向水平前進。若 $OF$ 大於 $OW$ ，則機上升，小於 $OW$ ，則下降。 $OF$ 之大小，隨前進速度及翼面的傾斜而變。

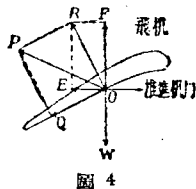


圖 4

**定義**——二力或數力作用於一物體，而物體不生動靜的變化，此時的狀態，稱為力的平衡(Equilibrium of forces)。

**平衡力**——一物體同時受數力作用而平衡時，則任何一力為其他諸力的平衡力(Equilibriant)。

**壓力**——二力的作用彼此相向時，稱為壓力。單位面積上所受的壓力，稱為壓力強度，簡稱壓力(Pressure)。總面積上所受的壓力，稱為總壓力(Total pressure)。

**張力**——二力的作用彼此相背時，稱為張力(Tension)。

**二力平衡**——二力平衡時，則此二力的大小相等，方向相反，且作用在同一直線上。

**平行力**——三平行力平衡時，則其中間一力的大小，等於二

## 8. 力的平衡

### 移動平衡

#### 三力平衡

旁二力的和，方向和二力相反，其作用點至二力的距離和二力的大小成反比。

#### 不平行力

條件 I —— 三力成平衡時，須在同一平面內，且其任何一力，必為其他二力的平衡力。

條件 II —— 三力成平衡時，其作用線相交於一點（故亦稱同點力），且其表示各力的直線，必可依序銜接成一完閉的三角形。

#### 拉密定律 (Lami)

定律 —— 三力作用於一點而平衡時，三力應在同一平面內，且其每一力必與其他兩力間角度的正弦成正比。

公式 —— 設  $F_1, F_2, F_3$  為三同點力， $A, B, C$  為每兩力間的角，則

$$\frac{F_1}{\sin A} = \frac{F_2}{\sin B} = \frac{F_3}{\sin C}$$

#### 多力平衡

條件 I —— 數個不平行力作用於一點，而成平衡時，則表示各力的直線，必可依序銜接成一完閉的多邊形。

**條件II**——數個不平行力作用於一點而成平衡時，則平行於x軸的各分力之和，與平行於y軸各分力之和，必均等於零。

**轉動平衡**——轉體成平衡時，則各力對於任何軸線的力矩的代數和等於零。

9. 重心和穩度

**重心** { **定義**——物體各部分所受的重力為平行力，此等平行力的合力的作用點，即為物體的**重心**(Center of gravity).  
**位置**——密度均勻的幾何形體，其重心在幾何形體的中心。密度不均勻的物體，其重心依體內物質分佈的狀態而定。

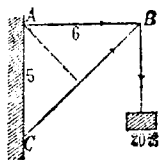
**穩度** { **定義**——推倒物體難易的程度，稱為**穩度**(Stability).  
**種類** { **穩定平衡**——用力使物體略為傾斜，其重心的位置升高，通過重心的鉛直線，仍在物體的底面內，力去後，即恢復原位的狀態，稱為**穩定平衡**(Stable equilibrium).  
**不穩平衡**——用力使物體略為傾斜，其重心的位置降低，通過重心的鉛直線，已超出物體底面之外，立即翻倒的狀態，稱為**不穩平衡**(Unstable equilibrium).  
**隨遇平衡**——物體推倒後，既不恢復原位，重心的位置亦無高低的變

化，隨處可以靜止的狀態，稱為隨遇平衡(Neutral equilibrium).  
定律——物體的穩度，視其底面積的大小，及重心的高低而定。物體的底面積愈大，  
重心愈低，其穩度亦愈大。

### 習 題 一

1. 有繩ACB，長100厘米，兩端繫於一平面上之AB二點，AB之距離為80厘米，在繩之中點C，懸一物體重為2仟克，問繩CA及CB內之力各為若干。(國立交通大學)
2. A, B, C, D四力作用於一點O，與OX軸線作傾斜  $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 135^\circ$  角度。試求其合力P。(國立同濟大學)
3. 火車在中途行駛時，速度平均，問此火車是否在平衡狀態，並言何故。(山東大學)
4. 一人重150磅，立於長100呎緊張之繩中央，若此人將繩之中點墮下一呎，該繩兩部份之張力為何？(齊魯大學)
5. 試述力與力矩之定義。(燕京大學)
6. 試求在平面上各平行力平衡情形。設有一均勻之木桿長1米，重60克，在其一端懸40克重之物體，問支點應在何處，方可使之平衡。(國立中山大學)
7. 試舉有向量及無向量之例各三種。(25年重慶區統一招生)

8. 有如下圖ABC之鐵架，求AB及BC兩鐵條內之張力。



(光華大學理學院)

圖 5

## 第二節 運動

1. **運動和靜止**——凡物體的位置和時間同時變更的現象，稱為**運動** (Motion)。無論經過若干時間，物體的位置永不變換的現象，稱為**靜止** (Rest)。

2. **運動** {
- 移動** {
    - 直線運動**——物體運動所經的路徑為直線的，稱為**直線運動** (Rectilinear motion)，其方向恆一定不變。
    - 曲線運動**——物體運動所經的路徑為曲線的，稱為**曲線運動** (Curvilinear motion)。曲線上某點的切線方向，表示該點的運動方向。
  - 轉動** [見第四節(4)]。

3. **位移** {
- 定義**——只論物體位置的變更，而不涉及其所經過時間的長短者，稱為**位移** (Displacement)。

合成及分解——位移爲有向量，故可應用第一節所述的平行四邊形，三角形，多邊形的方法以合成或分解之。

4. 速率——物體在單位時間內所生的位移，無方向性者，稱爲速率(Speed)。

定義——位移的變化率，即物體在單位時間內向某方向所生的位移，稱爲速度(Velocity)。速度含有方向及大小二意義，故爲有向量。其合成與分解之法，與力及位移相同。

公式——設 $t$ 爲時間， $s$ 爲向某方向所運動的距離， $v$ 爲速度，則  $v = \frac{s}{t}$ 。

單位——在C.G.S制中爲每秒厘米，以厘米/秒，或cm/sec表之；在F.P.S.制中爲每秒呎，以呎/秒，或ft/sec表之。

5. 速度

等速度——不論時間之長短，在相等時間內所生之位移相等者，稱爲等速度(Uniform velocity)。

變速度——在相等時間內所生之位移不相等者，稱爲變速度(Variable velocity)。

平均速度——在一定時間內，經過一定的距離，以時間除距離，稱爲此時間內的平均速度(Mean velocity)。

瞬時速度——在極短時間內，平均速度的極限值，稱爲瞬時速度(Instantaneous velocity)。

6. 加速度

**定義**——速度的變化率，即單位時間內所生的速度變化，稱為**加速度** (Acceleration).

**公式**——設  $v_0$  為物體的初速度， $a$  為加速度， $v$  為經過  $t$  時間的末速度，則  $a = \frac{v - v_0}{t}$ .

**單位**——在 C.G.S. 制中為每秒每秒厘米，以厘米/秒<sup>2</sup>表之；在 F.P.S. 制中為每秒每秒呎，以呎/秒<sup>2</sup>表之。

**等加速度**——不論時間之長短，在相等時間內，所生速度的變化相等者，稱為**等加速度** (Uniform acceleration).

**變加速度**——在相等時間內，所生速度的變化不相等者，稱為**變加速度** (Variable acceleration).

**瞬時加速度**——在極短時間內，平均加速度的極限值，稱為**瞬時加速度** (Instantaneous acceleration).

7. 等加速運動

**速度與時間之關係**——設  $a$  為加速度， $v_0$  為初速度， $v$  為經過  $t$  時間之末速度，則

$$v = v_0 + at.$$

**距離與時間之關係**——設  $s$  為  $t$  時間內所經之距離，則  $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ .

**速度與距離之關係**—— $v^2 = v_0^2 + 2as$ . 若加速度與初速度之方向相反，則以上三式中之  $a$  為負，若物體由靜而動，則  $v_0 = 0$ .

## 8. 落體運動

## 拋下運動

## 落下運動

重力加速度——物體落下時受重力的作用，得一加速度，稱為重力加速度 (Gravitational acceleration). 以  $g$  表之，其值約為 980 厘米/秒<sup>2</sup>，或 32 呎/秒<sup>2</sup>，與物體質量的大小無關。

落下速度 { 定律——物體落下的速度，和時間成正比。  
公式——設  $g$  為重力加速度， $t$  為所經的時間， $v$  為落下的速度，則  $v = gt$ 。

落下距離 { 定律——物體落下的距離，和時間的平方成正比。  
公式——設  $s$  為落下的距離，則  $s = \frac{1}{2}gt^2$ 。

速度與距離之關係 { 定律——物體落下的速度的平方，與落下的距離成正比。  
公式—— $v^2 = 2gs$ 。

定義——物體以初速  $v_0$  沿鉛直向下拋時之運動。

公式 { 拋下速度—— $v = v_0 + gt$ 。  
拋下距離—— $s = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ 。  
速度與距離之關係—— $v^2 = v_0^2 + 2gs$ 。

定義——物體以初速  $v_0$  沿鉛直向上拋時之運動。

拋上速度—— $v = v_0 - gt$ 。



## 拋上運動

公式 { 拋下距離—— $s = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$ .

速度與距離之關係—— $v^2 = v_0^2 - 2gs$ .

討論1——以初速  $v_0$  上拋時，達最高點所需的時間，與由該點自由落下的時間相等，各為  $t = \frac{v_0}{g}$ .

討論2——上拋時初速  $v_0$  與自由落下的末速度  $v$  相等，即  $v_0^2 = 2gs$ .

討論3——以初速  $v_0$  上拋時所達最高距離，為  $s = \frac{v_0^2}{2g}$ .

## 平拋

定義——物體以初速  $v_0$  向空中水平方向射出之運動。

軌跡方程式——平拋運動的軌跡為一頂點在原點的拋物線。設  $x$  為水平方向射出之距離， $y$  為鉛直方向落下之距離，則其方程式為：

$$y = \frac{g}{2v_0^2} x^2.$$

公式 { 水平距離—— $x = v_0 t$ .

鉛直落下距離—— $y = \frac{1}{2} g t^2$ .

定義——拋射方向與水平成一傾斜角之運動。

軌跡方程式——斜拋運動的軌跡為一拋物線。設  $x$  為水平方向之距離， $y$  為鉛直方向之距離， $\theta$  為傾斜角，則其方程式為：

## 9. 拋射運動

$$y = x \tan \theta - \frac{x^2 g}{2v_0^2 \cos^2 \theta}.$$

斜拋

公式

t時間後之水平距離—— $x = v_0 t \cos \theta$ .

t時間後之垂直距離—— $y = v_0 t \sin \theta - \frac{1}{2} g t^2$ .

達最高點之時間—— $t = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ .

能達之高度—— $h = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g}$ .

能達之水平射程—— $d = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}$ .

討論

1. 斜拋物體達最高點所需之時間，與由該點回至射出點的水平面之時間相等。

2. 當 $\theta = 45^\circ$ 時，斜拋物體的水平射程為最大，則 $d = \frac{v_0^2}{g}$ .

3. 以上諸式，空氣之阻力，忽略不計，實際之射程較上式算出者為小。

10. 物體在光滑斜面上運動——物體在光滑斜面上滑下時，其加速度為重力加速度的分加速度，所以亦為等加速度運動。設斜面的長為 $l$ ，高為 $h$ ，重力加速度為 $g$ ，斜面上的分加速度為 $a$ ，則  $a = \frac{h}{l} g$ ，  
或 $a = g \sin \theta$ ，式中 $\theta$ 為斜面之傾斜角。

## 習題二

1. 鎗與水平成 $60^\circ$ 的角，彈子離鎗口時之速率，為每秒鐘400米，問幾秒鐘後，鎗彈始落至地面？(不計彈子與空氣摩擦所生之阻力)。(國立政治大學)
2. 由塔頂使球自由下墜，同時有彈丸向水平方向射出，設空氣阻力可略而不計，問球與彈丸，孰先着地？如塔高490米，問二者在空氣中運行之時間各若干？(南開大學)
3. 有一飛機，其下降時之加速度為 $g$ (重力加速度)，設在此飛機內用彈簧秤權一2千克之物體，秤上之讀數應為若干？並說明其理由。(國立交通大學)
4. 在空中高處A點，放一石落下，經5秒鐘後，復從該處以每秒200尺之速度投下第二石，求第二石追及第一石之時刻與距離(離A點幾何)。(國立中山大學)
5. 設有一石塊，從高25米之桅頂上，自由下墜，若船之進行，為(1)等速度 $v$ ，(2)等加速度 $a$ ，求石塊落於艙面上何點，並以坐標求在船上石塊經過路線之方程式。(國立北京大學)
6. 設放一砲彈，其初速為每秒1000米，其方向與水平成 $30^\circ$ 角，求彈所達之最高垂直距離，及最遠水平距離。(國立北平鐵道管理學院)
7. 以球擲於空中，經過5秒後，又落在手中，問此球究竟若干高？(河南大學)
8. 一物體以1每秒每秒厘米之加速度，從靜止開始運動，問歷若干時間，始能得30每秒厘米

之速度？又從開始起至此時止，共行若干路程？（陸軍機械化學校）

9. 一砲台的高度為100米，如將砲彈依水平方向欲擊中與砲台相隔水平距離為300米處之軍艦，問砲彈的水平速度若干？（國立政治大學）
10. 將一物體，取鉛直方向，向空中投去，如所用之初速為25每秒米，求此物體所達之高度。又問此物體經幾秒後，復歸於原處。（國立英士大學）
11. 某艦停在遠處，一飛機在海面上1960米處，每小時以180公里之速度向艦水平飛行：
- 飛機到何處，將炸彈放落，才能炸着該艦？
  - 放彈後5秒，10秒，20秒，25秒時，彈在空中落下之距離為何？
  - 放彈後20秒時，飛機所在何處？

試繪圖說明以上的解答，假設艦為一個幾何點，（有位置無大小），重力加速度 = 9.8 米/秒<sup>2</sup>，一公里  $\Rightarrow$  1000米。（國立中央大學）

12. 何謂重力加速度？一克之質量在空中自由落下時，其所受之重力為若干？一垂直落下之物體，其初速為30厘米/秒，問經過10秒後，其速度及經過之距離各若干？（假定 $g=980$ ）。（28年昆明區統一招生）
13. 長江中某段之水流速度為每小時20里，今欲乘每小時40里之機艇過江，而走最短之距離，問此艇開行之方向應向何方？如此過江所費時間，是否最短，何故？

11. 有一汽車以60米/秒之速度進行，設車前有障礙欲於200米內停止，其減速應為若干？又所費時間為若干？(光華大學)

### 第三節 運動定律

1. 慣性——物體保持其動靜狀態的性質，稱為慣性(Inertia)。

2. 牛頓運動定律

第一定律——物體若不受外力的作用，靜止的永遠靜止，運動的永遠沿一直線作等速運動，此定律亦稱慣性定律(Law of Inertia)。

第二定律 { 定律——物體受外力的作用，即在力的方向上得一定加速度，與作用力成正比，與物體的質量成反比，此定律亦稱加速度定律。

公式——設 $F$ 為作用力， $m$ 為物體的質量， $a$ 為加速度，則

$$F = kma, \text{ 式中 } k \text{ 為一常數。}$$

第三定律——對於每一作用(即力)，必有一大小相等方向相反的反作用。此定律亦稱為反作用定律(Law of reaction)。

{ 絕對單位

達因——以力作用於質量1克的物體，使其發生1每秒每秒厘米的加速度，作為力的單位，稱為1達因(dyne)，略作達。

## 3. 力的單位

## 重力單位

磅達——以力作用於質量一磅的物體，使其發生1 每秒每秒呎的加速度，作為力的單位，稱為1磅達(Poundal)。

克重——以質量1克的物體所受重力的作用為力的單位，稱為1 克重(gram weight)。1克重約等980達因。

磅重——以質量1磅的物體所受重力的作用為力的單位，稱為1 磅重(Pound weight)。1磅重等於32.2磅達。

## 4. 重量與質量的關係

定律——物體之重量與其質量成正比，故重量相等之物體，其質量亦相等。

公式——設 $W$ 為物體所受之重力(即物體之重量)， $m$ 為物體之質量， $g$ 為重力加速度若以絕對單位表重力時，則 $W = mg$ 。但若以重力單位表之則 $W = m$ 即數值相等。

## 5. 動量

定義——物體的質量和速度的乘積，稱為動量(Momentum)。

公式——設 $m$ 為物體的質量， $v$ 為速度， $M$ 為動量，則：

$$M = mv.$$

單位——在C.G.S.制為每秒克厘米，F.P.S.制為每秒磅呎。

動量不滅原理——兩物體相互以力作用後，其動量之和恆一定不變。

## 6. 衝量——力和時間之乘積，稱為衝量(Impulse)。

7. 萬有引力 { 定律——宇宙中任何兩物體間的引力與其質量的乘積成正比，與其距離的平方成反比。  
公式——設  $m$  及  $m'$  各為兩物體的質量， $r$  為距離， $F$  為引力，則：

$$F = G \frac{mm'}{r^2}.$$

$G$  為引力常數，其值在 C.G.S. 制中為  $6.6579 \times 10^{-8}$ 。

### 習題三

- 試答下列各問題，並說明其理由：
  - 太陽吸引地球之力，及地球吸引太陽之力孰大？
  - 設太陽停止吸引，地球之運動將如何？（假定地球之軌跡為圓形，除太陽外，其他星球並無吸引力）。
  - 何以自由落體有定值之加速度。（國立交通大學）
- 重160磅之人，立於升降機中，在下列各情形中，問其所施於機底之力如何？
  - 當機靜止不動時。
  - 當機以每秒20呎之等速度上升時。
  - 當機以每秒每秒2呎之加速度下降時。

- d. 當機以每秒每秒2呎之加速度上升時。(國立交通大學)
3. 在大舟上的人用繩拖動一小舟,試比較作用於二舟之力,及其動量與速度,並詳解之。  
(國立交大管理學院)
4. 設太陽吸引地球之力為 $F$ ,問地球是否亦吸引太陽?果如是,其力若干?(太陽之質量較地球大329,290倍)。(國立浙江大學)
5. 設萬有引力常數為 $6.66 \times 10^{-8}$ ,地球之半徑為6370 呎(k.m.),平均重力加速度為980 厘/秒<sup>2</sup>,試求地球之平均密度。(國立武漢大學)
6. 設質量20.6克之鎗彈,以760呎米之初速度射出時,求鎗之後退速度,但鎗之質量為3.6斤克。(國立四川大學)
7. 試詳述牛頓(Newton)第二運動定律之意義,以1000達因(dyne)之力,施於質量仟克(Kilogram)之物體上,求此物體在一分鐘內所得到之速度,及在此時間內經過之距離。  
(國立北平大學)
8. 有一重1000克之物體,自10米之高度落至地面,陷入泥土中15厘米,求此物體落至地面時之速度及泥土之平均阻力。(國立清華大學)
9. 一重25噸(每噸=2000磅)之機車,在斜坡之軌道上行駛,每行100呎,升高2呎,其加速度為每秒每秒0.8呎,求推進此機車之力。(國立清華大學)



10. 試述牛頓第二定律。

一重1000磅之汽車，以每小時15哩之速度前進，忽被一力於2呎之內逼其停止，求此力之大小。(燕京大學)

12. (一)物體之質量與重量有何區別？二者之關係如何？

(二)一物在貴陽較在(1)赤道，(2)南北極，(3)海底輕重如何？在上述各地點，其質量有差異否？(國立唐山工學院)

13. 用動力學的原理，試計劃一方法，以比較二物體的質量，並說明其理。(國立廣西大學)

14. 以490厘米/秒之速度，垂直向上拋擲一球， $\frac{3}{4}$ 秒後又以同速度向上擲第二球，問二球將相遇於何時何處？如第二球之質量為第一球之二倍，且於撞擊後二者粘成一體，試計算正撞擊後二者之共同速度(大小及方向)。(國立西南聯大中央大學  
浙江大學武漢大學)

15. 太陽對地球吸引與地球對太陽之吸引，其力量是否相等，試說明之。(國立英士大學)

16. 有重400gm之物體，用繩繫於升降機上，於下列各情況時，試求其張力。

(a)機不動時，(b)機以490cm/sec<sup>2</sup>加速度上昇時，(c)機以400cm/sec<sup>2</sup>加速度下降時。(國立英士大學)

17. 詳述牛頓定律。(特種考試交通部技術人材招考)

18. 物體重10磅，本為靜止，施力後，則開始運動，於運動後第5秒末，得每秒20呎速度，問當

初加於物體之力爲若干?(特種考試交通部技術人材招考)

19. (A)解釋人何以能行走前進,並說明在冰上行走爲何困難之理由。

(B)甲乙二人在完全平滑之冰面上作拔河遊戲,甲之質量爲100仟克,乙之質量爲150仟克,先各站立不動,然後甲用1000克之力拉乙。(a)問同時乙以多大之力拉甲?

(b)求甲乙每人所得到之加速度(大小及方向)。(c)求當2秒後甲乙每人所有之速度及動量。(國立浙江大學,廈門大學)

20. 設有一質量爲20克,初速爲10每秒厘米,其作用力爲120達因(dyne),經過之時間爲5秒,求(1)5秒末之速度,(2)速度之變化,(3)其加速度。(國立唐山工學院)

#### 第四節 圓周運動

**定義**——物體運動時所經的路線,爲以一點爲圓心的圓周,稱爲**圓周運動**。(Circular motion)。速率不變的圓周運動,稱爲**等速圓周運動**(Uniform circular motion)。

**定義**——物體作圓周運動時,常受有向圓心的力,稱爲**向心力**(Centripetal force)。

**定義**——因向心力而發生向心的加速度,稱爲**向心加速度**

1. 圓周運動

向心力

向心加速度

(Acceleration towards center).

公式——設  $v$  為圓周運動的速率,  $r$  為半徑,  $a$  為向心加速度,

$$\text{則: } a = \frac{v^2}{r}.$$

定律——物體作圓周運動的速率愈大, 或其質量愈大, 則其所受之向心力亦愈大.

公式——若  $m$  為作圓周運動的物體的質量,  $F$  為向心力, 則:

$$F = m \frac{v^2}{r}.$$

離心力——作圓周運動的物體, 常有由中心而飛出的傾向, 稱為離心力 (Centrifugal force). 即為向心力的反作用, 其大小與向心力相等, 方向則相反.

週期

定義——物體繞圓周一週所需的時間, 稱為週期 (Period).

公式——設圓周的半徑為  $r$ , 向心加速度為  $a$ , 週期為  $T$ , 則:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{a}}.$$

頻率——物體在單位時間內所繞的週數, 稱為頻率 (Frequency).

頻率與週期之關係——頻率為週期的倒數, 設週期  $T$ , 頻率為  $n$ , 則:

$$n = \frac{1}{T}.$$

2. 簡諧運動

**定義**——設有一點P(圖6)，以一定的速率作圓周運動，此動點在任意直徑AB上的投影M，在AB上作往復移動。每單位時間內，P點沿圓周所行的路程相等，而M點沿AB上移動的距離則不等，即其速度及加速度均隨處改變。此M點的運動，稱為簡諧運動(Simple Harmonic Motion)，以S.H.M.表之。

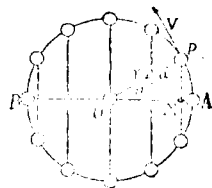


圖 6

各部名稱

**參考圓**——圓APB稱為簡諧運動的參考圓(Reference circle)。

**振幅**——半徑OA稱為振幅(Amplitude)。

**週期**——M點在AB上往來一次所需的時間，稱為簡諧運動的週期(Period)。

**平衡位置**——全振幅AB的中央即圓心O，稱為平衡位置(Position of rest)。

**相**——角 $\theta$ 為M點的相(Phase)。

**公式**——設振幅為 $r$ ，M點的最大加速度為 $\alpha$ ，(即在A點的加速度)。

週期為 $T$ ，則：
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r}{\alpha}}$$

**定義**——將細線的上端固定，下端懸一小球的裝置(圖7)，稱為擺(Pendulum)。

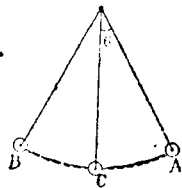


圖 7

## 3. 單擺運動

## 各部名稱

擺長——懸點至小球中心的距離，稱為擺長 (Length of pendulum)

擺錘——所懸的小球，稱為擺錘 (Bob of pendulum)。

平衡位置——擺的最低位置C，稱為平衡位置 (Position of rest)。

振動——擺的運動為沿弧作往復運動，稱為振動 (Oscillation)。

振幅——由平衡位置到弧一端的長，如AC，或BC，稱為擺的振幅 (Amplitude)。

幅角——角 $\theta$ 稱為幅角 (Phase angle)。

週期——擺往來一次所需的時間，稱為擺的週期 (Period)。

定律——擺的振幅不甚大時，其週期和擺長的平方根成正比，與振幅的大小及擺的性質無關。

公式——設擺長為 $l$ ，重力加速度為 $g$ ，週期為 $T$ ，則：

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

定義——物體的各質點，均繞同一定直線的周圍作圓週運動，稱為轉動 (Rotation)。  
此定直線稱為轉動軸線 (Axis of rotation)。

性質——轉動體因慣性作用，有保持其轉動軸線方向的性質。

定義——轉動體上的各點所轉過的角度 稱為物體的角移 (Angular displa-

角移 { cement).  
單位——角移的單位用弧度表之。

角速度 { 定義——角移的變化率，即單位時間內所生的角移，稱為**角速度**(Angular velocity).  
公式——設角移為 $\theta$ ，時間為 $t$ ，角速度為 $\omega$ ，則 $\omega = \frac{\theta}{t}$ .  
等角速度——角速度的值一定不變，稱為**等角速度**(Uniform angular velocity).  
單位——角速度的單位為每秒弧度，簡寫為弧度/秒。  
與線速度的關係——設 $v$ 為線速度，其方向即為圓周運動時沿圓周的切線，故稱為**切線速度**(Tangential velocity)， $\omega$ 為角速度， $r$ 為半徑，則：

$$v = r\omega.$$

#### 4. 轉動

定義——物體轉動時，若角速度不等，則單位時間內所生角速度的變化，稱為**角加速度**(Angular acceleration).

公式——設初角速度為 $\omega_0$ ， $t$ 秒末的角速度為 $\omega$ ，角加速度為 $\alpha$ 則：

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{t}.$$

單位——角加速度的單位為每秒每秒弧度，簡寫為弧度/秒<sup>2</sup>.

等角加速度——在相等時間內角速度的變化均相等，稱為等角加速度 (Uniform angular acceleration).

角加速度

等角加速運動 { 定義——以等角加速度的轉動，稱為等角加速運動 (Uniformly angular-accelerated motion).

公式——設初角速度為  $\omega_0$ ，末角速度為  $\omega$ ，時間為  $t$ ，角移為  $\theta$ ，等角加速度為  $\alpha$ ，則

$$\omega = \omega_0 \pm \alpha t,$$

$$\theta = \omega_0 t \pm \frac{1}{2} \alpha t^2,$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 \pm 2\alpha\theta.$$

切線加速度

定義——角速度不等時，則切線速度亦不等，故沿切線方向必有一加速度，稱為切線加速度 (Tangential acceleration).

公式——設等角加速度為  $\alpha$ ，半徑為  $r$ ，切線加速度為  $a_t$ ，則：
$$a_t = r\alpha.$$

與線加速度的關係

定義——物體作圓周運動時，沿半徑向圓心的方向有一向心加速度，稱為法線加速度，

法線  
速度

加  
度

(Normal acceleration). 或稱沿徑加速度  
(Radial acceleration).

公式——設角速度爲 $\omega$ , 半徑爲 $r$ , 法線加速度爲

$$a_n, \text{ 則 } a_n = r\omega^2.$$

總加速度——質點在各時刻的總加速度, 爲

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = r\sqrt{\alpha^2 + \omega^4}.$$

#### 習 題 四

1. 打鞦韆者, 何以能作往復蕩動? 如任其自然, 則終於停止, 何故?(齊魯大學)
2. 設有單擺一具, 線長40厘米(cm), 若將線端重物提高, 待線與垂直線成角 $60^\circ$ 時, 使之擺動時之最大速度爲若干?(一切阻力均可不計, 已知 $g = 980$ 厘米/秒<sup>2</sup>)(國立中央大學)

#### 第五節 功與能

定義——用力作用於物體, 使其沿力的方向移動, 稱爲力對於物體作功(Work).

公式——設作用力爲 $F$ , 物體移動所經的距離爲 $S$ , 所作的功爲 $W$ , 則

$$W = FS.$$



1. 功

**力與位移成角時的功**——作用力與位移成角時所作的功，等於位移與沿位移方向上分力的乘積，或等於力與沿力的作用線方向的分位移的乘積。

- 單位**
- 米制**
    - 重力單位**
      - 克厘米**——用1克的力，使物體移動1厘米距離所作的功，稱爲**1克厘米**(Gram centimeter).
      - 仟克米**——用1仟克的力，使物體移動1米距離所作的功，稱爲**1仟克米**(Kilogram meter).
    - 絕對單位**——用1達因的力，使物體移動1厘米距離所作的功，稱爲**1爾格**(Erg).
    - 實用單位**——一千萬( $10^7$ )爾格的功，定爲實用單位，稱爲**1焦耳**(Joule).
    - 各單位的關係**—— $1$ 仟克米 =  $100,000$ 克厘米 =  $980 \times 10^7$  爾格 =  $9.8$  焦耳.
  - 英制**
    - 重力單位**——用1磅的力，使物體移動1呎的功，稱爲**1呎磅**(Foot pound).
    - 絕對單位**——用1磅達的力，使物體移動1呎的功，稱爲**1呎磅達**(Foot poundal).

## 2. 功率

定義——單位時間內所作的功，稱為**功率**(Power)。

公式——設功為 $W$ ，時間為 $t$ ，功率為 $P$ ，則

$$P = \frac{W}{t}.$$

單位

米制 { 瓦特——每秒可作1焦耳的功，稱為1**瓦特**(Watt)，簡稱**瓦**。  
 仟瓦——瓦的千倍，稱為**仟瓦**(Kilowatt)，以K.W.表之。

英制——英制的實用單位為**馬力**(Horse power)，即每分鐘能作33,000呎磅的功，或每秒鐘能作550呎磅之功，稱為1馬力，以H.P.表之。

兩制的關係 { 1馬力 = 746瓦 = 76.05仟克米/秒。  
 1仟瓦 = 102仟克米/秒。

定義——物體作功的能力，稱為**能量**(Energy)，簡稱**能**。

種類

動能 { 定義——物體因運動而生的能，稱為**動能**(Kinetic energy)。以K.E表之。

量度——設物體運動的速度為 $v$ ，質量為 $m$ ，則

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2 \text{ 爾格(絕對單位).}$$

$$\text{或 } K.E. = \frac{1}{2g}mv^2 \text{ 克厘米(重力單位).}$$

位能 { 定義——一物對於他物體的位置改變，或形狀改變而生的能，稱為位能。或稱勢能(Potential energy)以P.E.表之。動能與位能合稱機械能(Mechanical energy)。

量度——設物體的質量為 $m$ ，升高的距離為 $h$ 。則

$$P.E. = mgh \text{ 爾格(絕對單位)}$$

$$\text{或 } P.E. = mh \text{ 克厘米(重力單位)。}$$

### 3. 能

能與功的關係 { 加於物體所作的功 = 物體所得的位能或動能。  
物體所作的功 = 物體所失的位能或動能。

能的變化 { 定義——一種能量變為他種能量的現象，稱為能的變化(Transformation of energy)。

動能與位能的互變 { 所增加的位能 = 所減少的動能。  
所減少的位能 = 所增加的動能。

能量不滅定律——宇宙間所有的能，其總量恆為一定不變；即能可互變，但不能創生，亦不能消滅。

(物質外部的能) { 動能。  
位能。

能的形式

物質的能

{ 動能和位能——擺動時所生的能。

{ 熱能。

{ 分子能和原子能。

{ 化學作用的能。

空間的能

{ 電磁現象。

{ 光和輻射能。

### 習 題 五

1. 試就物體自由下落之例，說明能之不滅。(國立中央大學)
2. 以重980克的鐵錘將釘擊入木板一程，設木板平均之抵抗力為20仟克，問錘擊釘時之速率若干?(國立浙江大學)
3. 寫出功及能之定義。(1)砲彈出砲口時之動能及(2)鐘擺在擺動最高及最低位置之能，各如何計算。(國立北京大學)
4. 設有一打樁之錘，重500仟克，問(1)將此錘舉至離樁10米之高處，需要工作若干?(2)此錘因被舉高所增之勢能若干?(3)此錘落下時，所做之工作若干?(4)此錘落在樁上，能將樁打入土內 $\frac{1}{3}$ 米深，此錘打樁之平均力若干?(5)若重力加速度為980 厘/秒<sup>2</sup>，此錘落至

椿上時之速度若干?(國立北平師範大學)

5. 十克之鎗彈,由地面向上直射,開始之速度,每秒100公尺,問可射至若干高度?十秒鐘後,鎗彈之速度,動能及位能各若干?(國立北洋工學院)

6. 有一物體,沿一斜面最大斜線滑下,物體之質量100克,初速度 $v_0 = 10$ 厘米/秒斜面之斜度 $\theta = 30^\circ$ ,

(1)假使滑下時無摩擦作用,求在10秒末之移動距離及在此時刻之動能.

(2)假使滑下時之摩擦係數 $\mu = 0.2$ ,則此10秒末之移動距離及動能又為若干?

已知 $g = 980$ 每秒每秒厘米(中法大學)

7. 試述動能之定義及其單位(中法大學理文學院)

8. 有一重100尅(kg)之圓桶,沿一長度12米(m)之斜面向上滾動至一平台上,此平台距地面之高度為4米,問沿此斜面需用力若干?需作功(work)若干?若此斜面為20米,其高度仍為4米,問需力及功各若干?(北平輔仁大學)

9. 以重8.5磅之來福鎗發射重0.4英兩之彈丸,設彈丸之初速度為每秒2600呎,問鎗退後之速度及動能若干.彈丸能作功若干呎磅.(南開大學)

10. 試述能的不滅定律.(南開大學)

11. 一瀑布高160呎,設每分鐘傾瀉之水量為100,000噸,而其位能全化為功,問可得馬力若

于?(1噸=2,000磅,1馬力=550呎磅/秒)(國立唐山工學院)

12. 將一質量爲二十克之子彈,水平射入於一重五仟克之木塊,當子彈未射入前,木塊靜止於一粗糙之平面上,當子彈射入後,木塊即沿平面前行三厘米,而後停止,已知平面與木塊之摩擦係數爲0.2,問子彈射入木塊前之速度若干?(國立西南聯大,中央大學,浙江大學,武漢大學)
13. 沿垂直方向拋上4gm.質量之物體,歷4秒鐘後,返復於出發之點,問其初速爲幾何?又問當物體離手向上拋時,其動能若干,當其開始復返時,其位能若干?其動能若干?

(國立中央大學,浙江大學,西南聯大,武漢大學)

14. 有停於空中之氣球上,向下投一重500克之物體,使其初速爲11公尺/秒,經5秒着地. 試求(a)此氣球離地之高;(b)該物在投下第3秒末時之速度;及(c)該物體恰當着地時之動能( $g=980$ 厘米/秒<sup>2</sup>). (29年浙江高中會考)
15. 試解釋下列各名詞,能量、位能、動能、功,功率.

設一人拉一重500克之物體,以平均每分鐘20米之速度,沿一光滑之斜面,斜度爲 $30^\circ$ ,向上進行,經過一刻鐘後乃停止.問此人共作功幾何?如此人將該物體放鬆,使其沿原路滑下,問物體至原位置時,所得之速度幾何?(28年昆明區統一招生)

## 第六節 簡單機械

- 1. 機械**
- 定義**——凡傳遞功的器具，稱為**機械**(Machine)，機械中的基本零件稱為**簡單機械**(Simple machine).
  - 主力**——使機械作功時，所施的力稱為**主力**(Effort).
  - 阻力**——機械反抗其主力而作功的力，稱為**阻力**(Resistance).
  - 機械利益**
    - 定義**——機械的阻力與所施主力之比，稱為**機械利益**(Mechanical advantage)。數種機械結合使用時，其總利益等於各部分利益的乘積。
    - 大小**
      1. 利益大於1，省力而費時。
      2. 利益等於1，不能省力與省時。
      3. 利益小於1，省時而費力。

**2. 功的原理**——無論何種機械，若其摩擦作用不計，則加入機械之功，必等於機械所做的功。此為1687年牛頓所創，稱為**功的原理**(Principle of work)。

- 槓桿**
- 定義**——支於固定點，而能自由旋轉的棒，稱為**槓桿**(Lever)。此固定點，稱為**支點**(Fulcrum)。
  - 原理**——槓桿上主力和主力臂之乘積，等於阻力和阻力臂之乘積。
  - 機械利益**——即主力臂與阻力臂之比。

滑輪

- 種類 {
- 第一種槓桿——支點在中央，機械利益可大於1，或等於1，或小於1。
  - 第二種槓桿——重點在中央，機械利益大於1。
  - 第三種槓桿——力點在中央，機械利益小於1。

定義——邊緣有槽可以繞軸轉動的輪，稱為滑輪(Pulley)。

原理——主力與主力所經距離的乘積，等於阻力與阻力所經距離的乘積。

- 種類 {
- 定滑輪——滑輪的軸固定不動，只能變更力的方向，而不能省力，其機械利益為1。
  - 動滑輪——滑輪的軸可以上下移動，主力等於重力的 $\frac{1}{2}$ ，其機械利益為2。

組成——聯合若干滑輪而成。

- 種類 {
- 定動滑輪組——定滑輪與動滑輪混合組成，若滑輪數 $n$ 為偶數，則定動滑輪數各為 $\frac{n}{2}$ 。其繩端固着於上端(圖8)。若 $n$ 為奇數，則定滑輪較動滑輪多1，其繩端固着於下端(圖9)。其主力等於重力的 $\frac{1}{n}$ ，其機械利益為 $n$ 。

動滑輪組——全部均為動滑輪所組成，若有 $n$ 個動滑



3. 簡單機械

輪組合時，則其機械利益為 $2^n$ (圖10)。

定滑輪組——即動滑輪組之倒置，若有 $n$ 個定滑輪組合時，則其機械利益為 $2^n - 1$ 。(圖11)。

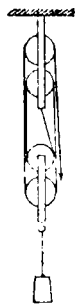


圖 8

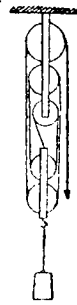


圖 9

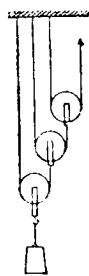


圖 10

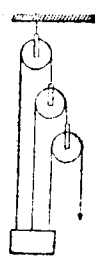


圖 11

輪軸 { 定義——大輪和軸連為一體，稱為輪軸(Wheel and axle).  
 原理——主力和輪半徑的乘積，等於阻力和軸半徑的乘積。  
 機械利益——機械利益為輪半徑與軸半徑的比，常大於1。

{ 定義——和水平面成傾斜角度的平面，稱為斜面(Inclined plane).  
 原理——主力和斜面長的乘積，等於阻力和斜面高的乘積。

斜面

機械利益 { 主力與斜面平行——機械利益為斜面長與高的比，或為  $\frac{1}{\sin\theta}$   
 ( $\theta$  為傾斜角).  
 主力與底面平行——機械利益為斜面底與高的比，或為  $\frac{1}{\tan\theta}$ .

螺旋

定義——將直角三角形的紙，繞於圓柱上，紙邊即成螺紋，製成凹凸線，即為螺旋(Screw)，相鄰二凸(或凹)線的距離，稱為螺距(Pitch).

原理——主力和螺旋圓周的乘積，等於阻力和螺距的乘積。

機械利益——機械利益為以  $2\pi$  乘螺旋臂長與螺距的比。

定義——截面為三角形的木塊或其他固體，稱為劈(Wedge)。

劈

原理——主力與側面(或斜面)長的乘積，等於阻力與背面寬的乘積。劈的背面愈狹，其排開二邊的力愈大。

機械利益——機械利益為背面寬與側面寬之比，或為  $\frac{1}{2\sin\frac{A}{2}}$  ( $A$  為頂角)。

定義——二物體的接觸面間，有阻止運動的作用，稱為摩擦(Friction) 這阻止運動的力，稱為摩擦力(Frictional force)。

種類

靜摩擦——物體將開始運動以前的摩擦，稱為靜摩擦(Static Friction)。

滑動摩擦——物體沿其面移動，所受的摩擦叫滑動摩擦 (Sliding friction)。

**動摩擦** { **滾動摩擦**——物體沿某面滾過，所受的摩擦，稱為滾動摩擦 (Rolling friction).

{ **流體摩擦**——物體在流體中運動時，所受的摩擦，稱為流體摩擦 (Fluid friction)

最大摩擦力

{ **定義**——物體在未動以前，其摩擦力的大小，與加於物體的力相等，方向相反，所加之力增大，則摩擦力亦增大，但所加之力增加至某數值時，摩擦力已達最大值，不能再增，物體即開始運動，此最大值稱為最大摩擦力 (Maximum frictional force).

{ **摩擦係數**——最大摩擦力對於垂直壓力之比，稱為摩擦係數 (Coefficient of friction).

{ **摩林 (Morin) 定律**——最大摩擦力與兩接觸面間的垂直壓力成正比，與接觸面之性質有關，與接觸面之大小無關。

4. 摩擦

滾動摩擦定律

{ **定律**——滾動摩擦之大小，和轉動體及平面間的壓力成正比，和其半徑成反比。

{ **公式**——設滾動摩擦為  $f$ ，壓力為  $W$ ，半徑為  $r$ ，則

$$f = \delta \frac{W}{r}$$

式中 $\delta$ 為滾動摩擦係數，其數值比滑動摩擦小。

摩擦的發生

**滑動摩擦**——任何平面，不論其光滑之程度如何，都是凹凸不平的狀態，兩面重疊時，則一面的凸處陷入他面的凹處，故運動時必須加力以削平，或暫時假平其凹凸，此所須的力，即為摩擦力，兩面接觸愈久，凹凸處相陷愈深，故靜摩擦大於動摩擦。

**滾動摩擦**——轉動體放在平面上，即使平面凹下少許，如欲使其滾動時，則前面凸出部分發生反作用，反抗圓體的滾動，即發生滾動摩擦。

減少摩擦

**滑料**——用滑油以減少摩擦。

**球軸承**——利用球軸承的球，把滑動摩擦變為滾動摩擦。

**滾子**——用一圓柱形的物體，置於兩接觸面之間，使其變為滾動摩擦。

摩擦的弊

**利**——如行路，車輪之滾動，皮帶之傳動，汽車之接合器，車之制動，結繩等，均賴摩擦作用。

**弊**——減耗機械與運動體之能，損害機件。

**5. 機械效率**——各機械因摩擦關係須消耗一部分之功，故機械所輸出有用之功，必小於輸入之功。功之原理，即

$$\text{入功} = \text{出功} + \text{耗於摩擦之功。}$$

機械之出功與其入功之比，稱為機械效率，其值恆小於1。

### 習 題 六

1. 一均勻之直槓桿，其一臂之長倍於他臂，若一端繫12磅重量，其另一端繫5磅重量時恰成平衡，求槓桿之重。(燕京大學)
2. 有一天平，其梁之長為30厘米，重為40克。若其一盤內較他盤內多置一毫克之重，則天平旋轉一度之角，問梁之重心離中央刀口若干遠？(國立北京大學)
3. 汽車胎與路面之摩擦係數為0.80，欲使3,000磅重之汽車滑動，問須加水平力若干？(國立唐山交大工學院)
4. 一斜面斜角 $30^\circ$ ，摩擦係數為0.2，一質量8千克之物體，受沿斜面之力 $F$ 作用， $F = 5,600,000$  達因，由斜面底推上20米之距離。求(a)該物體之加速度，(b)達此距離之速度及動能，(c)達此距離時之位能，(d) $F$ 作用於物體上之功，(e)消耗於摩擦上之功(國立浙大大學，廈門大學)
5. 中國舊式桿秤桿重11兩，載物盤重18兩，錘重46兩，提繩與懸盤相距4寸，桿之重心與懸盤相距8寸，問桿上標度應從何處開始？又100兩標度刻在何處？(國立中央大學，浙江大學，西南聯大，武漢大學)
6. 斜面上一物重5,000gm，其間摩擦係數為0.02，須若干克重之水平力抵之，始成等速下降？(斜角為 $30^\circ$ )。(國立中正大學)

7. 一人拿五尺長之橫桿，桿頭懸一20斤重物，置於肩上，前端握手中，桿之位置近於水平。求前端距肩頭1尺，2尺，3尺時，肩頭所受的壓力各幾何？物重20斤時，肩頭所受壓力常大於20斤，其故何在？(陸軍機械化學校)
8. 槓桿有幾種？試分別舉例說明之。(特種考試交通部技術人員招考)
9. 一火車每小時以52.92公里(km)之速度，沿一直線軌道前進，車內置一斜面，斜面向車頭方向傾斜，斜面上置一物體，物體與斜面間之摩擦係數為0.25，若火車於3秒鐘內以均勻減速度停止時，該物體在斜面靜止不動，求斜面之傾角(28年上海區統一招生)
10. 設有一物體其質量為 $M$ ，沿一斜面滑下，斜面之傾角為 $30^\circ$ ，若斜面之長為2米；物體與斜面之摩擦係數為 $\frac{1}{2\sqrt{2}}$ ，則此物由靜止自斜面頂端下滑，滑至底面時之速度若何？  
(27年武昌統一招生)
11. 有一物體置於傾角為 $45^\circ$ 之斜面上，物體與斜面間之摩擦係數為 $\frac{1}{\sqrt{3}}$ ，問於第一秒鐘內，該物沿斜面下滑之距離如何？(重慶商船專科學校)
12. (A)設有兩質量 $M$ 與 $M'$ ，裝置如(圖12)，若滑動摩擦係數為 $\mu$ ，繩與滑車間之摩擦不計，繩之質量甚微，可以忽略，試求(a)加速度，(b)繩之張力。(B)又設於開始運動後 $t$ 秒之末，忽將繩子燒斷，則兩質量將如何運動，試討論之。(國立浙大大學)

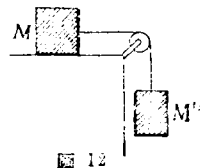


圖 12

## 第二章 物性學

## 第一節 固體

1. 物性——物質所有的性質，稱為物性(Properties of matter).

定義——各種物質共有的性質，稱為物質的通性(General properties of matter).

廣延性——物體均佔有一定空間的性質，稱為廣延性(Extensibility).

不可入性——兩物體不能同時在同一空間存在的性質，稱為不可入性(Impenetrability).

慣性——牛頓第一定律規定的慣性(Inertia)，亦為物質通性之一。

## 2. 物質的通性

多孔性——無論物體的組織如何緻密，其間必有無數細隙的性質，稱為多孔性(Porosity).

壓縮性——加壓力於物體的外部，則其體積必因之而減小的性質，稱為壓縮性(Compressibility).

可分性——物體可用機械方法或由自然力的作用，使之分割成為微粒的性質，稱為可分性(Divisibility).

不滅性——宇宙間的物質有一定的總量，不因任何物理或化學的變化而有所增減

的性質，稱爲**不滅性**(Indestructibility)。

**定義**——物體受外力而變其形狀或體積，如外力除去，則立即恢復原狀的性質，稱爲**彈性**(Elasticity)。

**彈性體**——具有彈性的物體，稱爲**彈性體**(Elastic body)。

**彈力**——使其恢復原狀的力，稱爲**彈力**(Elastic force)。

**應變** { **定義**——彈性體受外力作用所發生的形狀或體積的改變，稱爲**應變**(Strain)。  
**種類** { **切應變**——只有形狀改變而無積體改變的應變，稱**切應變**(Shearing strain)，如伸長、扭轉、彎曲等。  
**體積應變**——只有體積改變而無形狀改變的應變，爲稱**體積應變**(Bulk strain)。

**應力** { **定義**——當外力作用於物體時，作用力和彈力平衡，物體內各部卽是**應力**，(Stress)，應力卽爲使物體生應變的力。  
**種類** { **張力**——物體受一拉力而使其伸長或拉斷，此應力稱爲**張力**(Tension)。  
**壓力**——物體受力而使其容積縮小或壓碎，此應力稱爲**壓力**(Compression)。



### 3. 彈性

彈性種類

形狀彈性

伸長彈性 (Elongation).

彎曲彈性 (Bending).

扭轉彈性 (Twisting).

切剪彈性 (Shearing).

體積彈性——若應變只是體積應變，則其彈性稱為體積彈性 (Volume elasticity). 液體和氣體只有體積彈性，固體則兼有體積和形狀彈性.

彈性限度——固體除去外力後，能恢復原狀的最大限度，稱為彈性限度 (Elastic limit).

永久應變——物體所受的外力，超過其彈性限度時，則外力雖去，亦不能恢復原狀，稱為永久應變 (Permanent strain).

彈性後效——固體除去外力後，須歷相當時間方能完全恢復原狀的現象，稱為彈性

彎力——物體受力而使其彎曲或折斷，此應力稱為彎力 (Bending force).

扭力——物體受力而使其扭轉，此應力稱為扭力 (Twisting force).

切力——物體受力而使其截切，此應力稱為切力 (Shearing force).

後效(Elastic after effect).

彈性疲勞——物體受外力作用的時間過長，雖在彈性限度以內，外力除去，亦不能恢復原狀的現象，稱彈性疲勞(Fatigue of elasticity).

虎克(Hooke)定律——固體在彈性限度以內，應變和應力成正比。

彈性係數 { 定義——應力和應變的比，或單位應變所須的應力，稱為彈性係數(Coefficient of elasticity)

體積彈性係數

定義——應力或單位面積上的壓力，與每單位體積的體積應變的比，稱為體積彈性係數 (Coefficient of volume elasticity or Bulk modulus).

公式——物體的原體積為 $V$ ，縮小體積為 $v$ ，應力(即壓力)為 $P$ ，體積彈性係數為 $k$ ，則

$$k = \frac{PV}{v}.$$

切變彈性係數

定義——切應力與切變的比，稱為切變彈性係數 (Coefficient of shearing elasticity or Simple rigidity).

公式——物體的厚度為 $d$ ，二面的面積為 $A$ ，二面所

種類 {

種類 {

受的一對切力爲 $F$ ，移過的距離爲 $s$ ，切變彈性係數爲 $n$ ，則

$$n = \frac{Fd}{As}$$

楊氏係數 { 定義——應力與伸長應變的比，稱爲楊氏係數 (Young's modulus)，爲工程學上最重要的彈性係數。

公式——線的原長度爲 $L$ ，橫截面積爲 $A$ ，所受的總力爲 $F$ ，其伸長爲 $l$ ，楊氏係數爲 $Y$ ，則

$$Y = \frac{FL}{Al}$$

易碎性——受力衝擊而易碎的性質，稱爲易碎性 (Brittleness)，如玻璃，冰等。

韌性——金屬絲受張力，超過彈性限度，而截爲兩段時，其難易的性質，稱爲韌性 (Tenacity)。

受範性——可塑成各種形狀的性質，稱爲受範性 (Plasticity)，如濕粘土及石膏等。

延性——可拉成細線而不斷的性質，稱爲延性 (Ductility)，如鉛可拉成直徑二十萬分之一厘米的細線。

展性——可展成薄片而不破的性質，稱爲展性 (Malleability)，如金可展成十萬分

#### 4. 固體的特性

之一厘米厚的薄片。

硬性——不因其摩擦而成痕跡的性質，稱為**硬性**(Hardness)。

## 習 題 七

1. 何謂物體之(a)慣性，(b)多孔性，(c)壓縮性，(d)分割性，(e)不滅性。(陸軍機械化學校)
2. 試述虎克定律。

令長為2米，直徑為1毫米之鐵線，下端懸重1000克之法碼，鐵線之伸長為1.25毫米。求鐵之楊氏彈性係數。

## 第二節 液體

1. **自由面**——靜止的液體和空氣接觸的表面，即和重力方向成垂直的面，稱為**自由面**(Free surface)，即為**水平面**(Level)。

2. **氣 水 泡 準**

{	<b>構造</b> ——於略具彎曲的玻璃管內盛以酒精或醴，留一氣泡，密封而裝於平底的架上，稱為 <b>氣泡水準</b> (Spirit level tester)。
	<b>原理</b> ——因自由面必取水平方向，故此器置於水平面上，則氣泡恆據在管的中央最高部分標線內。

3. 壓力

用途——檢查平面是否水平。

種類 {  
 下壓力——液體內某點向下的壓力。  
 上壓力——液體內某點向上的壓力。  
 旁壓力——液體內某點沿水平方向的壓力。

定律 {  
 定律 1.——在同一液體內的壓力，和液體的深度成正比，或兩種液體的深度相等，其壓力與液體的密度成正比。  
 定律 2.——在靜止液體內同一深度某點的上壓力，下壓力，及旁壓力均相等。

容器底的總壓力——容器底所受的總壓力，等於器底面積與底面上壓力的乘積，即等於以器底面為底，液深為高的液柱的重量，與器壁的形狀無關。

巴斯噶 (Pascal) 原理——密閉器內的液體一部分所受的壓力，可以傳至液體的部分，其強度不變。

4. 巴斯噶原理和水壓機

原理——水壓機為利用巴斯噶原理，使小力生大力，在底部互相連通的大小二圓筒內盛水，筒中各配一活塞，若在小圓筒的活塞上施以壓力，則大圓筒的活塞上可得較大的力，即

水壓機

$$\frac{\text{大活塞上的力}}{\text{小活塞上的力}} = \frac{\text{大活塞的面積}}{\text{小活塞的面積}}$$

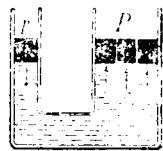


圖 13

作用——如圖13,當小活塞p提上時將水從器外吸入小圓筒內,壓下時則水被壓入大圓筒內,使大活塞P上升,而得較大的力。

用途——壓縮棉花及榨油,壓型,舉重等。

## 5. 連通器

定義——內部相通的數個容器,稱為連通器(Communicating vessel)。

現象——液體自由面下的壓力,只和其鉛直深度有關,和容器的形狀大小無關。

應用 { 同種液體——連通器內為同種液體時,則在其靜止後各器內的液面,必在同  
一水平面上。

異種液體——將密度不同且不相混合的兩種液體,先後注入連通器(U形管),則自境界面至兩管液面的高度,與液體的密度成反比例。

## 6. 阿基米得 Archimedes 原理——物體在液體內所減輕的重量,等於被其所排開液體的重量。

定義——液體中因向上的壓力,有推物體上浮的作用,即減輕物體重量的力,稱為浮力(Buoyant force)。

定律——浮體的重量,等於被浮體所排開液體的重量。

物體的沉 { 浮——物體的重量較同容積液體的重量小,即重力小於浮力,則物體一部  
在液內,一部在空氣內,稱為浮(Floating)。

## 7. 浮力

中立——物體的重量與同容積的液體重量相等,即重力等於浮力,則物體

應用

可在液體中任何處靜止，稱為**中立**(Neutral)。

**沉**——物體的重量較同容積液體的重量大，即重力大於浮力，則物體沒入液內，直達器底為止，稱為**沉**(Sinking)。

**船**——鐵製的船，因容積甚大，其所排開同體積的水重較船重為大，故能浮在水面。

**潛水艇**——艇內有一水槽，若槽內儲水時，則艇的總重大於同容積的水重，故能下沉，若將槽內的水排出，則艇的總重小於同容積的水重，即能上浮。

**普通定則**——先稱物重，再求其同容積的水重，物體與其同容積水重的比，即為該物體的比重。

**正幾何形體**——由長度推算體積，用天平稱得質量，以體積除質量，即為該固體的密度，再以水之密度除之，即得比重。

**重於水的固體** { **求法**——先在空氣中稱得物重，再將物體浸入水中稱之，此兩種重量的差，即等於固體所排開同體積的水重，再由計算求之。  
**公式**——設物體在空中的重為 $W$ ，在水中的重為 $W'$ ，比重為 $S$ ，則

$$S = \frac{W}{W - W'}$$

## 8. 比重的測定

### 固體

#### 輕於水的固體

求法——輕於水而不溶於水的固體，可繫一重錘同沉於水中稱之，再使物在空氣中重錘沉入水中稱之。

公式——設物體在空氣中重為 $W$ ，又物在空中與錘在水中之總重 $W_1$ ，物和錘同在水中之總重為 $W_2$ ，比重為 $S$ ，則

$$S = \frac{W}{W_1 - W_2}.$$

#### 溶於水的固體

求法——溶於水的固體入水即溶，須另擇一種不溶解該物的液體，則得固體對於液體的比重，再以該液體的比重乘之。

公式——設固體對於某液體的比重為 $S_1$ ，某液體對水的比重為 $S_2$ ，固體的比重為 $S$ ，則

$$S = S_1 \times S_2.$$

#### 固體碎屑

求法——固體的碎屑或粉末，可用比重瓶求其比重，先求物重，並測瓶內盛水時的重，再將物放入瓶內，俟水溢出一部後再測其重。

公式——設物體的重為 $W$ ，瓶中盛水時的重為 $W_1$ ，將物放入瓶內使水溢出一部分後的重為 $W_2$ ，則

$$S = \frac{W}{W + W_1 - W_2}.$$



液體

- 重錘法** { **求法**——取一重錘先測其重量，再沉入液體及水中，各測其重量。  
**公式**——設錘在空氣重為  $W$ ，錘在液體中重為  $W_1$ ，錘在水中重為  $W_2$ ，液體的比重為  $S$ ，則
- $$S = \frac{W - W_1}{W - W_2}.$$
- 比重瓶法** { **求法**——先稱比重瓶的重量，再分別測定瓶中盛液體及盛水時的重量。  
**公式**——設比重瓶的重為  $W$ ，瓶內盛液體時的重為  $W_1$ ，盛水時的重為  $W_2$ ，則  $S = \frac{W_1 - W}{W_2 - W}.$
- 比重計法** { **儀器**——一細長的玻璃管，內封刻度的紙尺，管的下部有膨大的泡二個，下方泡內封入水銀或鉛丸，使能垂直浮於液體中。  
**種類** { **輕計**——用以測比重小於1的液體，1的記號刻在紙尺的下端。  
**重計**——用以測比重大於1的液體，1的記號刻在紙尺的上端。  
**用途**——將計插入液體中，視液面所在處的刻度，即可直接讀出該液體的比重。

漢埃法  
(Hare)

**儀器**——將一U形玻璃管倒置之，上端用橡皮管接於抽氣機，二管旁各直立下端附有指針的尺一條而成。

**用法**——將二管分別浸入純水和欲測比重的液體中，將管中空氣抽去少許，則液體和水同時各別升入管內，移動直尺使指針恰與液面接觸，各別讀出二管內液體上升的高度。

**公式**——設管內水的高度為 $h_1$ ，液體的高度為 $h_2$ ，水的密度為 $d_1$ ，液體的密度為 $d_2$ ，則

$$S = d_2 = \frac{h_1}{h_2} \cdot d_1.$$

**浮力中心**——物體在液體中，其所受浮力的作用點，稱為浮力中心(Center of buoyancy)。其位置在排開液體的幾何中心的位置，故隨浸在液面下部分的形狀而定。若浮體稍行傾斜，則其所排開液體的形狀不同，故浮力中心的位置亦隨之而變。

**穩定條件**——浮體的浮力中心，須恰在通過其重心的鉛垂線上，方能穩定。

**定傾中心**——浮體稍行傾斜，浮力中心即改變位置，即重力和浮力的作用線不在同一鉛垂線上，成為力偶，此時浮力的作用線和平衡位置的原鉛垂線的交點，稱為定傾中心(Metacenter)。

9. 浮體的  
穩定

## 10. 液體的阻力

穩定平衡——定傾中心在重心的上方時，則浮體成穩定平衡。

不穩平衡——定傾中心在重心的下方時，則浮體成不穩平衡。

定律——液體（對於在液體中運動物體）的阻力，和物體前進時接觸的垂直面積成正比，又和物體運動時速度的平方及液體的密度成正比。

槳的作用——用槳划水向後，因水的阻力而呈反作用，使舟前進。

舵的作用——如舵面偏轉時，則面上所受水的阻力，分解為二個分力，其垂直分力，即使船尾轉動。

推進器的作用——輪船的推進器，為螺旋狀的金屬葉片，固定於軸上而成，和電風扇相似，當軸轉動時，葉片推水向後，水的阻力即推船前進。

## 習題八

1. 一固體在空氣中重20克，在水中重12克，問這固體的比重若干？這固體的體積為若干？若將這固體移於別處，他的重量會不會改變？（國立中山大學）
2. 何謂比重？並述測定物體比重的方法。（北平輔仁大學）
3. 試述不溶之固體物置液體內何以有浮沉？今有一物，重450克，其體積80c.c.，試求其密

度爲何？若將此物在水內秤之，其重爲何？（齊魯大學）

4. 一固體在水中重500克，在比重等於0.8之液體中，重600克，求該固體之重量，比重，及體積。（光華大學）
5. 有銅匣一個，其在真空中之重量爲500克，今將其沉入密度爲0.8之液中，其重量爲450克，如銅之比重爲8.8，求銅匣內之空隙。（光華大學）
6. 有一金屬塊，質量爲100克，密度爲10，以線縛之，懸於盛有500克水之燒杯中，求（1）金屬塊浸入水中時，線上所作用之力。（2）杯底所受之總壓力。（國立唐山工學院）

### 第三節 分子現象

**定義**——將物質分割至不能再分的小微粒，但仍不失原物質的性質，此微粒稱爲分子(Molecule).

**分子說**——一切物質都由同類分子集合而組成，以分子的觀念，說明物質的性質和狀態的理論，稱爲**分子說**(Molecular theory). 此說爲十八世紀末葉英人道爾頓(Dalton)所創.

**分子的大小**——各種物質的分子，都假定爲球體，其大小不等，由種種現象推知，在標準狀態下的氣體1立方厘米內，約含 $27 \times 10^{18}$ 個分子。四萬萬個分子列成一

1. 分子

直線，不過2.5厘米。分子直徑的最大平均數，約為 $2 \times 10^{-8}$ 厘米。分子間平均距離，約為 $7.6 \times 10^{-6}$ 厘米。

分子力

**定義**——一分子對於其周圍的各分子，有互相吸引的力，稱為**分子力**(Molecular force)。

**分子力範圍**——以分子為中心，其分子力所能作用的最大距離為半徑，作一球體。在球內的其他分子，都和中心分子有分子力的作用，此球體稱為**分子範圍**。由實驗求得分子範圍的半徑約在 $8 \times 10^{-6}$ 毫米以下。

**種類** { **內聚力**——同種類分子間的引力，稱為**內聚力**(Cohesive force)。  
**附着力**——異種類分子間的引力，稱為**附着力**(Adhesive force)。

**分子運動**——物質的分子，不斷續作漫無規則的劇烈運動。

2. 物 體 態

**固體**——固體的分子，結合甚密，距離甚小，內聚力甚大，相互位置又復一定，其分子運動的範圍極小，只能在一點作往復的振動，故其形狀和容積都有一定。

**液體**——液體的分子，結合較疏，距離較小，內聚力不及固體之大，但各分子的相互位置不定，可以自由滑動，故其容積雖有一定，而無一定的形狀。

**氣體**——氣體分子間的距離最大，內聚力最弱，分子運動最為自由，故容積和形狀均無一定，隨容器的大小及形狀而變。

## 3. 擴散

**定義**——兩種密度不同的流體，彼此接觸相當時間後，能互相侵入而成密度均一的混合流體，此現象稱為擴散(Diffusion).

**成因**——由分子運動所致。兩種流體接觸時，此流體的分子飛入他流體內，同時他流體內的分子，亦飛入此流體內，如此循環不息，即能全體混合。固體與固體，亦有擴散現象。如金箔壓在鉛片上，經過長時間，金分子和鉛分子亦能混合。

**定律**——在一定的情形下，各種氣體擴散的速率，與其分子量的平方根或其密度的平方根成反比。

**定義**——兩種液體隔以某種薄膜，其分子能透過薄膜而混合的現象，稱為滲透(Osmosis).

**成因**——亦為分子運動所致，與擴散的原因相同。

**半透膜**——一種薄膜能使某種分子易於通過，而他種分子不易通過的，稱為半透膜(Semi-permeable membrane).

## 4. 滲透

**晶質和膠質**——能透過半透膜，而呈滲透作用的物質，稱為晶質(Crystalloid)。完全不能透過的，稱為膠質(Colloid)。

**滲透分析法**——利用半透膜使晶質和膠質分離的方法，稱為滲透分析法(Dialysis)。工業上多利用之。

**滲透壓力** { **定義**——膜內液體達一定高度時，則膜上所受的壓力，能阻止膜外液體的繼續滲入，此壓力稱為滲透壓力(Osmotic pressure).  
**定律**——稀薄溶液的滲透壓力，和溶液的濃度成正比，並因溫度的升高而增加.

**定義**——兩種物質混合後，成密度勻一的混合物，不能用機械方法，使其再行分離的現象，稱為溶解(Dissolution).

**溶液**——由溶解作用所得的混合液體，稱為溶液(Solution).

**溶質**——溶解於液體中的物質，稱為溶質(Solute).

**溶劑**——溶解溶質的液體，稱為溶劑(Solvent).

**濃度**——溶液的單位體積內，所含溶質的質量，稱為濃度(Concentration).

## 5. 溶解

**溶解度**——在一定溫度之下，一定容積的液體中，所能溶解的物質，有一定的限度，稱為溶解度(Solubility).

**飽和溶液**——溶液的濃度已達最大限度時，稱為飽和溶液(Saturated solution).

**晶體**——飽和溶液中，所含溶質若超過其溶解度，則過多的量，即由液內析出，析出物質的分子，排列整齊，成極有規則的固體，稱為晶體(Crystal)，此現象稱結晶(Crystallization).

非晶體——若析出的物質無一定的幾何形狀，稱爲非晶體(Amorphous substance).  
 過飽和——溶液中的溶質雖超過飽和狀態，其餘量仍可強含而不析出的狀態，稱爲過飽和(Supersaturation)，其溶液稱爲過飽和溶液(Supersaturated solution).

## 6. 吸收

定義——氣體溶解於液體中的現象，稱爲吸收(Absorption).

吸收係數——在一定溫度下，單位容積的液體，所能吸收的氣體體積，恆爲一定，此定數稱爲吸收係數(Absorption power).

吸附——固體的表面吸收氣體的現象，稱爲吸附(Adsorption).

吸留——金屬的內部能吸收氣體的現象，稱爲吸留(Occlusion).

亨利(Henry)定律 { 1. 固體或液體吸收氣體的量和溫度成反比。  
 2. 在高壓力下，液體吸收氣體的量和壓力成正比。

## 7. 黏滯性

定義——流體內某部分對於他部分起運動時，其內部常有一種摩擦力，以阻止其運動，反抗其形態的改變，此性質稱黏滯性(Viscosity).

黏滯係數——各種流體流動時，其切應力和每秒所生的切應變的比，都各有一定，此比值，稱黏滯係數(Coefficient of viscosity)，各種液體的黏滯係數，隨速度而增加，油質的黏滯係數，隨溫度的增加而減小。

成凹形——附着力大於內聚力的液面，和器壁接觸處因附着力的作用被器壁拉上



8. 液體的表面張力

而向下凹。

成凸形——附着力小於內聚力的液面，和器壁接觸處，因內聚力的作用而成球形，故向上凸。

定義——液體的表面和緊張的橡皮膜相像，有收縮成最小面積的力，稱為**表面張力** (Surface tension)。

成因——在液面的分子，上部為空氣，全受下部液體分子的吸引，故有向內移動的趨勢，即生表面張力。

9. 表面張力

張力的大小——液體表面張力的大小，為表面上單位長度的張力。

- 定律 {
1. 表面張力因物質而不同，純粹液體的表面張力最大。
  2. 表面張力因溫度而不同，因溫度的增加而減小。

溫度係數 { 定義——溫度每升 $1^{\circ}\text{C}$ 所減少的表面張力，稱為**溫度係數** (Temperature Coefficient)。

公式——液體在 $0^{\circ}\text{C}$ 時的表面張力為 $S_0$ ， $t^{\circ}\text{C}$ 時為 $S$ ，溫度係數為 $B$ ，則

$$S = S_0 - Bt.$$

定義——細玻璃管插入水內，水即在管內上昇至一定高度。插入水銀中，液面即向下降低，此現象稱**毛細現象** (Capillary action)。

## 10. 毛細現象

成因——由液體的表面張力和分子力的作用而成。液面因附着力(內聚力)的作用，周圍沿管壁上升(下降)或凹(凸)面，而表面張力則收縮使成平面，附着力(內聚力)又使液面成凹(凸)面，表面張力又使成平面，液面因而再上升(下降)，直至張力與液柱的重(管外液深之壓力)成平衡時為止。

升降條件 { 上昇——液體之附着力大於內聚力，則沿管壁上昇。  
下降——液體之附着力小於內聚力，則沿管壁下降。

久倫(Jurin)定律——毛細管插入一種液體中，管內外液面高度的差，和管的半徑成反比。

## 習題九

1. 以細管插入水內，管內之水何故上昇？若插入水銀內，何故反下降？上昇之高與下降之深均與何者有關，試略述之。(河南大學)

## 第四節 氣體

1. 大氣——包圍地球的氣體稱為大氣(Atmosphere)。

{ 定義——氣體的重量和同體積空氣的重量的比，稱為氣體的比重。

## 2. 氣體的比重

**求法**——用500—30,000立方厘米附塞的玻璃球，先稱充滿空氣時的重量，再抽去其中空氣，稱空球的重量，次放入欲測比重的氣體稱之。

**公式**——設空球重為 $W$ ，氣體連球的重為 $W_1$ ，空氣連球的重為 $W_2$ ，氣體的比重為 $S$ ，則依阿基米得原理

$$S = \frac{W_1 - W}{W_2 - W}.$$

**器壁壓力**——因氣體的分子作劇烈的運動，衝突器壁，對於器壁即生壓力 (Pressure).

**氣壓**——大氣受重力作用的壓力，稱為**大氣壓**，簡稱**氣壓** (Atmospheric pressure).

**氣壓之大小**——根據托里拆利實驗，大氣壓力能使在緯度 $45^\circ$ 的海面上溫度 $0^\circ\text{C}$ 的水銀柱在真空管內升高76厘米，即等於每平方厘米 $13.6 \times 76 = 1033.6$ 克(或每一平方寸約23斤，每平方吋15磅)。此壓力稱為**一氣壓**，(Atmosphere)，或稱**標準氣壓** (Standard pressure).

**定義**——測量大氣壓的器械，稱為**氣壓計** (Barometer).

**構造**——此計係應用托里拆利實驗，將充滿水銀的玻璃管，倒立於水銀槽中，固着於板上，上端管旁刻有標度，並附一游標尺，水銀槽的底部為皮囊，其下有

## 3. 大氣的壓力

福廷  
(Fortin)  
氣壓計

氣壓計

種類

一螺旋，轉動時可使槽內的水銀面升降，槽上有一象牙指針。

用法——測氣壓時，先將螺旋轉動，使槽內的水銀面，恰和象牙針相接觸，再在上端讀出水銀柱的高度。

無液氣壓計——薄金屬板所製的圓盒內，為半真空，盒面有凹凸溝紋，當大氣壓力有變化時，盒面溝紋隨生高低的變化，此微小的變化，牽動支柱，再經槓桿連續擴大其作用，由鍊條牽動指針，即可在刻度上直接讀出氣壓。

氣壓記錄器——用數個金屬圓盒重疊而成，指針的端，附一墨水筆，就能將大氣壓的變化，隨時記錄於旋轉圓筒外貼的紙上。

用途——測量大氣壓力，預計風向，晴雨。若氣壓驟降，必有大風，大雨，上升則為天晴。用氣壓計亦可測知山高及飛機的高度，大概每高出海平面 12 米，水銀柱降低 1 毫米。

4. 波義耳定律

定律——a. 在一定溫度時，一定質量密閉氣體的容積，與其所受的壓力成反比。

b. 在一定溫度時，一定質量的密閉氣體，其密度與所受的壓力成正比。

公式——若壓力由變  $P$  至  $P'$ ，其容積由  $V$  變至  $V'$ ，密度由  $d$  變至  $d'$ ，則

$$P:P' = V':V, \text{ 或 } PV = P'V'$$

$$P:P' = d:d', \text{ 或 } \frac{P}{d} = \frac{P'}{d'}$$

5. 其他原理——各種氣體都能依從巴斯噶原理和阿基米特原理。

6. 大氣的浮力

定義——大氣有壓力，故其向上的壓力，即為大氣的浮力 (Buoyancy of atmosphere).

應用 { 氣球——將輕於空氣之氫氣或氦氣，充於巨大囊中，囊下懸籃可以坐人，賴空氣的浮力，上昇空中的器具，稱為氣球 (Balloon).

飛艇——氣球上裝有推進機及舵，可以自由航行，稱為飛艇 (Air ship).

打氣筒

定義——把空氣壓入密閉容器內的器械，稱為打氣筒，或壓縮唧筒 (Compression pump).

構造——金屬圓筒內裝一活塞 P，和兩個活門 a, b 而成。

作用——當活塞上提時，活門 a 開而 b 閉，(圖 14)，活塞上部之空氣，由 a 門而入下部；當活塞下壓時，活門 a 閉而 b 開，下部之空氣，即由 b 門而入他器，活塞繼續上下，則空氣得繼續壓入他器內。

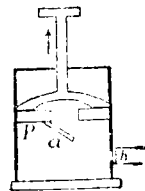


圖 14

7. 空 氣 筒

定義——排除密閉容器內空氣的器械，稱為抽氣機，或空氣唧筒 (Air

8. 抽水唧

壓上唧筒

吸取唧筒

抽氣機

Pump).

構造——除二活門之位置不同外；其餘與打氣筒相同。

作用——當活塞上提時，a閉而b開，(圖15)，R器內之空氣，由b而入筒內，活塞下壓時，a開而b閉，筒內之空氣由a排出，繼續行之，R內之空氣得繼續抽出。

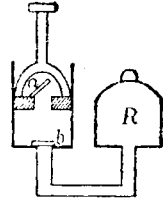


圖 15

定義——利用大氣壓力，將低處的水送至高處的器械，稱為吸取唧筒 (Suction pump)。

構造——金屬圓筒內裝一活塞P，及二活門a，b而成。

作用——當活塞上提時 (圖16)，水因大氣壓力衝開b而入筒內，活塞下壓時，b被水壓閉，而a被水衝開，水即從上面流出筒外。

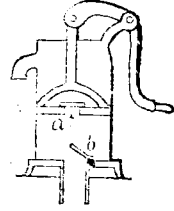


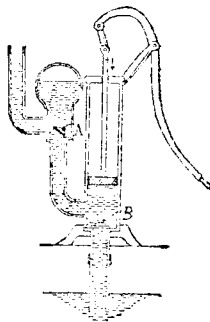
圖 16

定義——利用空氣的壓力，使吸上的水源源不斷流出的器械，稱為壓上唧筒 (Force pump)。

構造——與吸取唧筒相同，惟活門a的位置裝在筒壁的側管中，並多一空氣室。

作用——與吸取唧筒相同，當水被吸上時，即由側管上昇 (圖17)，同時

一部份之水，壓入空氣室內，空氣即被壓縮，當活塞上提時，A閉而B開，室內空氣即膨脹，壓水出室，故水可不斷流出。



**消防唧筒**——由二個壓上唧筒組合而成，利用其噴出之水，以滅火災。

9. 虹吸

**定義**——利用一有長短二脚的彎曲管，因大氣壓力使高處容器內之液體，流至低器中之作用，稱為虹吸(Siphon)。

**原理**——設管的二脚A,B(圖18)所受的向上壓力(即大氣壓力)為P，二脚至水面的高度為h及h'，液體的密度為d，則二脚的下壓力為hd及h'd。因 $h < h'$ ，則 $P - hd > P - h'd$ ，即短脚上向右的壓力大於長脚上向左的壓力，故液體由短脚流向長脚。

圖 17



圖 18

**定義**——測量氣體或液體壓力的儀器，稱為壓力計(Manometer)。

**構造**——用二端開口的曲玻璃管，內盛水銀或其他液體而成。

**用法**——將管的一端用橡皮管和欲測壓力的流體容器相連接，若流體的壓力和大氣壓力相等，則兩管內的液面成水平，若大於或小於大氣壓力，則兩管內液面即有高低之差，由其差數即可

開管壓力計

10. 壓力計

種類

推算流體的壓力。

算法——設欲測的壓力為P，兩管液面的高度差為h，管內液體的密度為d，則

$$P = \text{大氣壓} \pm hd \text{ 克/厘米}^2.$$

閉管壓力計——構造和開管同，惟管的一端封閉，其中密閉空氣的壓力與容器內流體的壓力相平衡，在管旁刻成氣壓的度數，則可視閉管內液面的高低，即可直接讀出欲測流體的壓力。此計可測壓力較大之氣體，若閉管內為真空，則可測壓力較小的氣體。

鮑 唐  
Bour-  
den)  
壓力計

構造——將橫截面為橢圓形的黃銅管，彎成大於180°而小於360°的缺口環形，以橢圓形的長軸為環的內外兩邊，一端開口，固定於盒上，他端封閉，可自由伸張，以桿槓連於指針，盒上則刻有壓力的刻度。

用法——將欲測壓力的氣體接在開管口，銅管內的壓力增加，閉端即向外伸張，拉動指針，可在盒上讀出壓力的數值。壓力去後，指針可由附著的彈簧使其恢復原位。設壓力計上的讀數為n氣壓，則該氣體的實有壓力為n+1氣壓。



(原理——固定周長的橢圓形黃銅管，管內壓力增加時，有使其橫截面成圓形的傾向，因橫截面的改變，可使管的形狀亦改變。壓力去後，則因黃銅的彈性而恢復原狀。

### 11. 流動時的流體

管內的速度——液體在各部截面積相同的管內流動時，則其各部的流動速度相等，若在截面積不相同的管內，則在細管中的速度較粗管中為大。

柏努利效應——流體的速度若變大，則該處的壓力必減小，此關係稱為柏努利效應 (Bernoulli effect)，噴霧器即為此效應的應用。

### 12. 空氣阻力

定律——空氣的阻力，和物體的面積及速度的平方成正比。且與物體的形狀有關。

應用——飛行家的降落傘，即應用空氣的阻力，以減小落下的速度。

## 習題十

1. 氣球上昇與飛機上昇，是否相同，試述其故。(國立英士大學)
2. 有氣泡一個，自池底上昇到池面，其容積增大十倍，若氣壓計之讀數為 30 吋，問池深若干？(國立交通大學管理學院)
3. 一器有罅隙，滿盛壓力為 2 氣壓的氫，其壓力漸減為 1 氣壓，較諸同樣實驗而代以空氣時，約快四倍，試言其故？(國立浙江大學)

4. 圖19示一利用氣壓的墨水瓶，問在何種條件下，瓶內墨水可不流出？問此種墨水瓶何以不可久置日光下？（南開大學）



圖 19

5. 有能自由漲縮之袋，內滿裝空氣，令放於純水中，其體積受壓而減小一半，問入水之深度若干？如將此袋改放海水中，其體積受壓力減小一半時之深度，較在純水中淺2公尺，問此海水之密度？（二十九年浙江高中會考）
6. 彈簧秤下懸一每邊長10厘米立方形之鐵塊，全長為40厘米，鐵塊浸入水中後，彈簧秤縮至39厘米，彈簧不懸物體時，長度為若干？（鐵之比重為7.5）。（二十八年上海區統一招生）
7. 施力於重100克之銅塊上，適足使銅塊浸入水銀表面之下，而得平衡，今知銅之比重為8.9，水銀之比重為13.6，試求所施之力？（重慶商船專科學校）
8. 有1玻璃管長100厘米，內截面積為1平方厘米，一端封閉，內充水銀，將管倒置，使不封閉之一端浸於水銀器內，管之上端成托里拆利真空，若將室內之空氣10立方厘米，引入真空內，管內水銀柱之高應為若干？（氣壓計之讀數為76厘米）。（國立交通大學）

## 第三章 熱學

### 第一節 熱

**太陽輻射熱**——地球上大部分的熱，都由太陽而來，據學者推測，太陽每平方厘米的表面，在一分鐘內能放射138 000卡的熱。

**地心放出熱**——由溫泉火山的作用，知地球內部亦有熱。由實驗測得距地面每深100呎(約30至35米)，溫度約增 $1^{\circ}\text{C}$ 。

**星球輻射熱**——由星球所放出的熱。

#### 1. 熱的來源

**機械熱源** { 摩擦生熱——兩冰塊摩擦生熱而溶解。  
 衝擊生熱——彈丸打擊鐵板而生熱。  
 壓縮生熱——氣體經壓縮而溫度增加。

**化學熱源**——物體起化學變化時能生熱，如柴、炭、煤油的燃燒，1克的炭完全氧化，約生8000卡的熱。

**電流生熱**——電流通過電阻很大之導線能生熱。

**2. 溫度**——表示物體冷熱的程度，稱為溫度。(Temperature)。

(定義——測量物體溫度的器械，稱為溫度計(Thermometer)。

常用溫度計

3. 溫度計種類

克斯溫  
(Six) 溫度計  
最高最低溫

**構造**——一端成球狀或圓柱狀的細徑玻璃管，內盛水銀或着色酒精，再將管內的空氣排去，封閉其口即成。將此管插入正在溶解的冰中，以定冰點，再放入一大氣壓的沸水蒸汽中以定沸點。

**攝氏溫度計**——亦稱百度計，為1750年瑞典人 Celsius所創製。定冰點為零度，沸點為百度，二點間分為100等分，每分為1度，以°C表之。

**華氏溫度計**——為1714年，但澤人 Fahrenheit所創製。定冰點為32°，沸點為212°，二點間分為180等分，每等分為1度，以°F表之。

**兩計之關係**——攝氏變華氏  $F = \frac{9}{5}C + 32^\circ$ 。

華氏變攝氏  $C = \frac{5}{9}(F - 32^\circ)$ 。

**構造**——如圖20所示，自A球至B處裝酒精，B至C處裝水銀，C以上至球形處，仍裝酒精，球形內的上半部為伸縮餘地。在兩水銀面上各有一鐵條，附有小彈簧與管壁接觸，使不致落下。

**原理**——當溫度上昇時，A中酒精膨脹，B管水銀下降，C管水銀上昇，推鐵條向上移，至溫度下降時，C管水

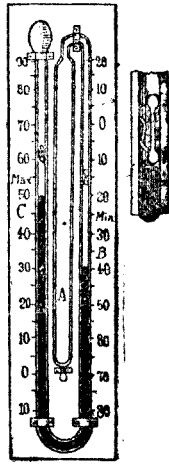


圖 20

度計)

銀下降，鐵條即留在最高溫度之地位。溫度下降時，A中酒精收縮，B管水銀上昇，推鐵條向上移，即可記出最低溫度。若二鐵條不與水銀面相接時，可用磁鐵吸下。

用途——氣象台上用以測度每天最高最低的溫度。

醫用溫度計——即最高溫度計，在細徑玻璃和球狀部分相接處，其內徑特別細小，使水銀上昇之後，不易縮回，由留在管內水銀面，即可知其最高溫度。

低溫計——將一定質量的氫氣裝入密閉的玻璃球內，利用氣體的遇冷收縮，以測低溫。

高熱計——測定水銀及酒精溫度計所不能測的高溫度，利用導線對於電流的阻力因溫度而有不同的原理。

### 習題十一

1. 人體的常溫為 $37^{\circ}\text{C}$ ，問相當於華氏若干度？(國立唐山工學院)
2. 試比較攝氏華氏及絕對溫度。若攝氏表及華氏表度數相同時，問其溫度為何？(國立北洋工學院)

### 第二節 物體的膨脹

1. 固體的膨脹

線膨脹

定義——固體受熱增加其長度，稱為線膨脹(Linear expansion).

線膨脹係數

定義——物體的溫度升高 $1^{\circ}\text{C}$  其單位長度所增加的長，稱為線膨脹係數(Coefficient of linear expansion).

公式——設固體在 $0^{\circ}\text{C}$ 時的長度為 $l_0$ ，升高 $t^{\circ}\text{C}$ 時，其長度為 $l_t$ ，則線膨脹係數 $\alpha$ 為

$$\alpha = \frac{l_t - l_0}{l_0 t}.$$

應用

金屬溫度計——將二種金屬釘合，彎成圓形，膨脹係數較小的裝在裏面，一端固定，他端用鏈條和裝有指針的軸相連，當溫度發生高低變化時，自由一端可向內外移動，指針即在刻度上指出溫度的高低。

補償擺輪——表內的擺輪，用二種金屬釘合而成二個弧形，將膨脹係數較小的作輪的內面，一端固定，一端自由，溫度升高時，弧的自由端即向內彎曲，故其半徑不至增加，即可以補正走慢的弊病。

補償擺——用二種金屬造成二組的棒，以懸擺錘，一組因膨脹可以使錘上昇，他組則因膨脹可使錘下降。若上升和下降恰相等，

則擺和懸點的距離不變，即不致有快慢之弊。

體膨脹 { 定義——固體受熱增加其體積，稱為體膨脹(Cubical expansion).  
 體膨脹係數 { 定義——凡物體的溫度升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，其單位體積所增加的體積，稱為體膨脹係數(Coefficient of cubical expansion).  
 公式——設固體在 $0^{\circ}\text{C}$ 時的體積為 $V_0$ ，升高 $t^{\circ}\text{C}$ 時，其體積為 $V_t$ ，則體膨脹係數 $\beta$ 為  $\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$ .  
 體膨脹係數與線膨脹係數的關係——固體的體膨脹係數約為其線膨脹係數的3倍，即  $\beta = 3\alpha$ .

2. 液體的膨脹——液體的容積膨脹比固體大，液體貯於容器內，溫度增加時，液體與容器內的容積同時膨脹，故此液體的膨脹為觀察者之視膨脹(Apparent expansion)，不是液體的真膨脹(True expansion)。視膨脹乃真膨脹和容器的膨脹之差。

設 $\alpha$ 為視膨脹係數， $x$ 為液體的真膨脹係數， $b$ 為容器的膨脹係數，則  $x = \alpha + b$ 。

給呂薩克(Gay-Lussac)定律 { 定律——各種一定量的氣體，當其壓力不變時，每溫度升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，其容積約增加 $0^{\circ}\text{C}$ 時容積的 $\frac{1}{273}$ .  
 公式——設氣體在 $0^{\circ}\text{C}$ 時的容積為 $V_0$ ， $t^{\circ}\text{C}$ 時的容積為 $V$ ，則  $V = V_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right)$ .

## 3. 氣體的膨脹

查理定律  
(Charles)

定律——各種一定量的氣體，當其容積不變時，溫度每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，其壓力增加 $0^{\circ}\text{C}$ 時壓力的 $\frac{1}{273}$ 。

公式——設氣體在 $0^{\circ}\text{C}$ 時的壓力為 $P_0$ ， $t^{\circ}\text{C}$ 時的壓力為 $P$ ，則

$$P = P_0 \left( 1 + \frac{t}{273} \right).$$

絕對溫度

絕對零度——由給呂薩克及查理定律推得氣體的溫度降低至 $-273^{\circ}\text{C}$ 時，其容積和壓力都為零度，故理論上即以 $-273^{\circ}\text{C}$ 為溫度的最低限度，稱為絕對零度(Absolute zero)。

絕對溫度——以絕對零度為起點以計量其他溫度的度數，稱為絕對溫度(Absolute temperature)。

若以 $T$ 表絕對溫度， $t$ 表攝氏溫度，則：

$$T = 273 + t.$$

氣體定律

定律——一定質量氣體的體積和壓力成反比，和絕對溫度成正比；或壓力和氣體體積的乘積與絕對溫度成正比。

公式——氣體的絕對溫度 $T_1$ 時的體積為 $V_1$ ，壓力為 $P_1$ ，密度為 $d_1$ ，升至 $T_2$ 時的體積為 $V_2$ ，壓力為 $P_2$ ，密度為 $d_2$ ，則

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \text{ 或 } \frac{P_1 d_2}{T_1} = \frac{P_2 d_1}{T_2}.$$



亦即  $\frac{P_1 V_1}{T_1} = R$ . 通常數  $R$  稱爲氣體常數 (Gas constant).

討論——(1) 若溫度不變 即  $T_1 = T_2$ , 則爲波義耳定律 (Boyle's law).

(2) 若壓力不變, 即  $P_1 = P_2$ , 則爲給呂薩克定律 (Gay-Lussac's law).

(3) 若體積不變, 即  $V_1 = V_2$ , 則爲查理定律 (Charles' law).

故氣體定律即包含波義耳、給呂薩克及查理三定律。

### 習題十二

1. 在壓力 776 m.m. 溫度  $20^\circ\text{C}$ . 時, 氣體 500 c.c. 在標準狀態時, 此體積爲若干? (國立唐山交大管理學院)
2. 體積 1000 立方厘米之筒內, 滿儲空氣, (a) 設溫度爲  $100^\circ\text{C}$ . 絕對壓力爲 2000 平方厘米克, 求空氣之重量. (b) 設加熱後溫度上昇至  $300^\circ\text{C}$ . 求此時之絕對壓力, (空氣之常數爲 5334). (陸軍機械化學校)
3. 有一體積爲 1.4 立方厘米的氣泡, 自深 10.336 米之河底昇至水面, 設大氣壓爲 76 厘米水銀柱, 河底水之溫度爲  $7^\circ\text{C}$ , 河面之溫度爲  $17^\circ\text{C}$ , 其體積變化若何? (國立英士大學)
4. 是否一物在  $34^\circ\text{G}$ . 時, 較  $17^\circ\text{C}$  時熱一倍? 是否一物體在  $127^\circ\text{C}$  時, 較  $-73^\circ\text{C}$ . 時熱一倍? 試

申述答案之理由。(國立交大管理學院)

5. 設有 $0^{\circ}\text{C}$ 之空氣，封閉於橫斷面為 $10\text{cm}^2$ 之氣筒中，氣筒之軸為水平，其活塞可在氣筒中滑動，毫無摩擦作用。最初活塞與氣筒之底面相距為100厘米，此時大氣壓為76厘米水銀柱高，若大氣壓不變，使溫度上升至 $100^{\circ}\text{C}$ ，試求活塞之移動距離，及筒內氣體所成之功。(中法大學)
6. 鐵路之鐵軌在連結處，每留有幾許空間，何故？(齊魯大學)
7. 在試驗室內製氧200立方厘米，當時之溫度為 $17^{\circ}\text{C}$ ，問此氧在 $0^{\circ}\text{C}$ 時之體積為若干？(河南大學)
8. 試述(A)氣體在一定溫度下，壓力與體積之關係？(B)氣體在一定壓力下，體積與溫度的關係，并陳述一實驗方法，以證明此兩種關係之任一種。(28年昆明統一招生)
9. 試述給呂薩克定律，並解釋之。(光華大學)

### 第三節 熱量與比熱

1. 熱量
- |   |  |
|---|--|
| { | 定義——物體所含熱的多少，稱為熱量。   |
|   | 單位 { C.G.S.制——使質量1克的純水，自 $14.5^{\circ}\text{C}$ 升至 $15.5^{\circ}\text{C}$ 所需的熱量，定為熱的單位，稱為卡路里 (calorie)，簡寫為卡，或 cal. 1000卡 稱為1大卡 |

(Large calorie).

英制——使質量1磅的純水溫度升高  $1^{\circ}\text{F}$ . 所需的熱量, 定為熱的單位, 稱為英國熱單位. (British Thermal Unit), 以 B.T.U. 表之.

定義——使1克物質的溫度升高或降低  $1^{\circ}\text{C}$ . 所需或放出的熱量, 稱為比熱 (Specific heat).

公式——設  $S$  為比熱,  $H$  為  $m$  克的物質自溫度  $t_1$  升高至  $t_2$  所需的熱量, 則

$$H = ms(t_2 - t_1).$$

熱容量——質量  $m$  克的物質溫度升高  $1^{\circ}\text{C}$ . 所需的熱量, 稱為此物質的熱容量 (Thermal capacity), 以  $C$  表之, 則  $C = ms$ .

## 2. 比熱

比熱的測定

測定法——通常應用量熱器以混合法測定之. 將欲測比熱的物質, 使其溫度升高至某度時, 然後投入低溫度的水中, 攪拌之使其混合後的溫度很均勻, 則高溫度物體所放出的熱量, 即等於低溫度的水和量熱器所吸收的熱量.

計算法——設加熱於  $m$  克物質至  $t_2^{\circ}\text{C}$ . 時, 投入於  $m'$  克  $t_1^{\circ}\text{C}$ . 的水中, 其混合後的溫度為  $T^{\circ}\text{C}$ , 量熱器及攪拌器的質量為  $M$  克, 其比熱為  $s'$ , 物質的比熱為  $s$ , 則

$$ms(t_2 - T) = (m' + Ms')(T - t_1).$$

氣體的比熱

- 定壓比熱——加熱於氣體，使不變其壓力時所測的比熱，稱為定壓比熱 (Constant pressure specific heat).
- 定容比熱——加熱於氣體，使不變其容積時所測的比熱，稱定容比熱 (Constant volume specific heat). 定壓比熱比定容比熱大。

傳導

- 定義——熱由溫度高處經物體逐漸傳到溫度低處的現象，稱為傳導 (Conduction).
- 良導體——易於傳導熱的物體，稱為良導體 (Good conductor). 如金屬。
- 不良導體——不易傳導熱的物體，稱為不良導體 (Poor conductor) 如棉布、玻璃、木材等。
- 非導體——不能傳導熱的物體，稱為非導體 (Insulator).
- 應用——安全燈為英人德維 (Davy) 應用傳導之理製成。其構造為燈的周圍，包以金屬絲網，遇可燃氣體時，只能在網內燃燒，而不致使網外着火。

- 定義——熱由物質自身的循環流動傳到全部的現象，稱為對流 (Convection).

### 3. 熱的播

對流	應用	熱空氣暖室。
		熱水暖室。
		蒸汽暖室。
輻射	定義	——不賴物質為媒介而能直接散熱的現象，稱為輻射(Radiation)。
		性質
		1. 輻射熱傳播的速度很大，和光相等，每秒為3萬萬米，和光同時傳來。
		2. 輻射熱為直線進行，和光相同。
		3. 輻射熱透過介質時，介質並不受熱。
		4. 白色或表面光滑的物質，能反射輻射熱，黑色或表面粗糙的物質，能吸收輻射熱。
		5. 善於吸收輻射熱的物體，其本身亦善於輻射。

### 習題十三

1. 將題中之正確答案書於括弧內：

溫度 $15^{\circ}\text{C}$ 之水1克如其溫度升高 $1^{\circ}\text{C}$ 須吸收(a)1英熱單位之熱量，(b)1卡之熱量，(c)15卡之熱量。(國立浙江大學)

2. 何謂物質的比熱？試述測量固體比熱之方法一種，說明其重要差誤之來源及應行修正之點。(國立中大，浙大，武大，聯合題)
3. 求混合溫度：(1)  $20^{\circ}\text{C}$  之水銀  $6\text{kg}$  與  $50^{\circ}\text{C}$  之水銀  $4\text{kg}$  相混合；(2)  $0^{\circ}\text{C}$  之水  $3\text{kg}$  與  $95^{\circ}\text{C}$  之水  $4\text{kg}$  相混合。(國立同濟大學)
4. 試說明利用混合量熱法以測物質比熱之原理。(南開大學)

#### 第四節 三態的變化

**定義**——固體受熱變為液體的現象，稱為**熔解**(Fusion or melting)。

**熔點**——固體熔解時的溫度，稱為**熔點** (Fusion point or melting point)。  
晶質有一定的熔點，非晶質無明顯的熔點。

**熔解熱** { **定義**——使  $1\text{克}$  的固體在熔點熔成同溫度的液體，所需的熱量，稱為**熔解熱**(Heat of fusion)。冰的熔解熱為  $80\text{卡}$ 。

**熔解熱的測定** { **測定法**——普通用混合法以測定之，取少量物質放入白金皿中，熔解後倒入量熱器內以測之。

**計算法**——設  $M$  為熔解物的質量， $s$  為熔解後的比熱， $s'$  為固體時的比熱， $t$  為物質熔解後倒入量熱器時的溫

熔解

1. 固體液體互化現象

度,  $T$  爲熔點,  $t'$  爲混合後的溫度,  $m$  爲水的質量,  $t_1$  爲水的初溫度,  $c$  爲量熱器的熱容量,  $L$  爲熔解熱, 則

$$(m + c)(t' - t_1) = Ms(t - T) + LM + Ms'(T - t')$$

**熔解與壓力的關係**——熔解時體積變大的物質, 其熔點隨壓力的增加而上升; 熔解時體積變小的物質, 其熔點隨壓力的增加而下降。即壓力的效果使物質易於達到容積較小的狀態。

凝固

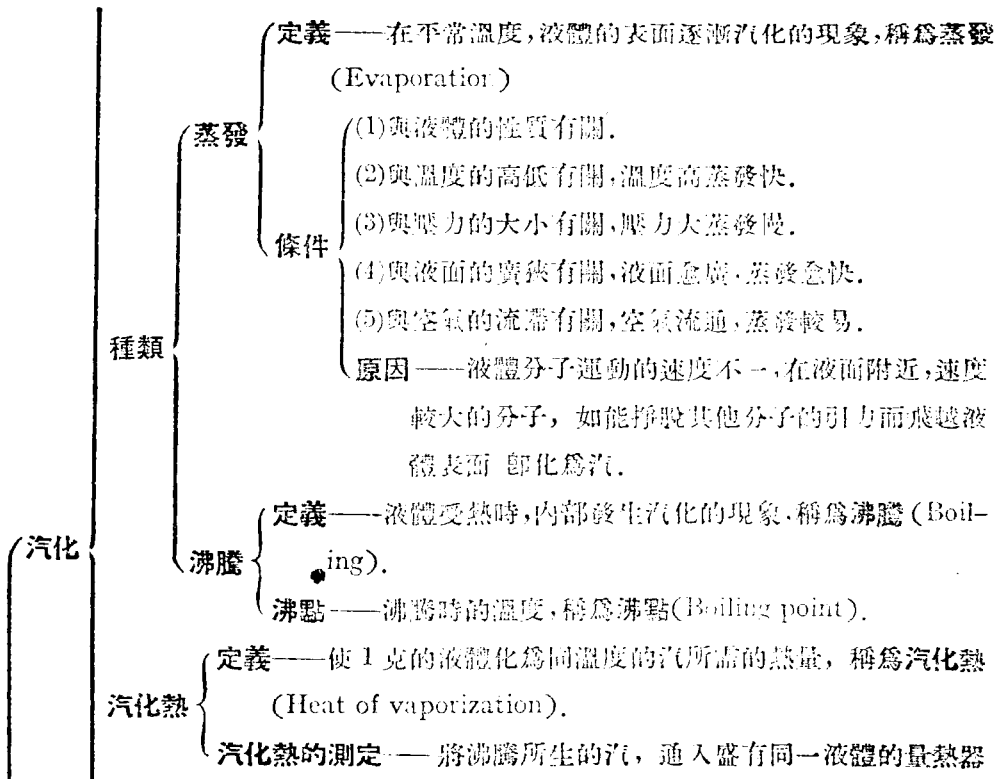
**定義**——由液體放熱, 變成固體的現象, 稱爲**凝固** (Solidification or freezing)。

**凝固點**——液體凝固時的溫度, 稱爲**凝固點** (Solidifying point or freezing point)。同一物質的熔點和凝固點爲同一溫度, 物質在平常溫度時爲固體的, 稱爲**熔點**; 爲液態的, 則稱爲**凝固點**。

**凝固熱**——使 1 克液體凝固成同溫度的固體所發生的熱量, 稱爲**凝固熱** (Heat of solidification)。凝固熱和熔解熱相等。

**凝固和體積的變化**——普通物質大都凝固時體積縮小, 熔解時體積膨脹, 但水、銻、銻、銻鐵等的體積, 則在凝固時膨脹, 熔解時縮小。

**定義**——液體受熱變爲氣體的現象, 稱爲**汽化** (Vaporization)。





內以測之。設  $m_1$  及  $t_1$  各爲量熱器內原有液體的質量及溫度， $m_2$  及  $t_2$  各爲已通入汽後液體的質量及溫度， $T$  爲液體的沸點， $s$  爲液體的比熱， $c$  爲量熱器的熱當量， $H$  爲汽化熱，則

$$(m_2 - m_1)H + (m_2 - m_1)(T - t_2)s = (m_1s + c)(t_2 - t_1).$$

## 2. 液體氣體互化現象

### 飽和汽

**定義**——液體表面和汽互相接觸處，液體分子逸出的數目，和汽分子回入液內的數目相等時之液面上的汽，稱爲飽和汽 (Saturated vapor).

**飽和汽壓**——飽和汽所呈的壓力，稱爲飽和汽壓 (Saturated vapor pressure).

**沸點** 另一定義——液體的飽和汽壓等於液面所受的壓力時的溫度，稱爲沸點 (Boiling point).

**沸點和壓力的關係**——作用於液面的壓力愈大，則沸點愈高，愈小則沸點愈低。故在高山頂上的沸點，比在地面上爲低。

**定義**——氣體受冷或受壓力後變成液體的現象，稱爲液化 (Liquefaction).

**臨界溫度**——僅藉增加壓力而能使氣體液化的最高溫度，稱爲臨界溫度 (Critical temperature).

液化

**臨界壓力**——在臨界溫度時，氣體液化所需最小的壓力，稱為**臨界壓力**(Critical pressure).

**汽與氣的區別** { 在臨界溫度以上的，稱為**氣**(Gas).  
 { 在臨界溫度以下的，稱為**汽**(Vapor).

**來源**——由地球上水的汽化而來。

**露點** { **定義**——空氣中所含的水汽成飽和狀態，一部份水汽開始凝結時的溫度，稱為**露點**(Dew point).

{ **測定法**——在表面光亮的金屬容器內，半盛以醚，加木塞閉筒口，並插一溫度計，一與打氣筒聯結之玻璃管，另一留作出氣用之玻璃管。用打氣筒將空氣吹入時，使醚迅速蒸發，筒內溫度即降低，當筒面發現小水滴開始凝結時，溫度計所示之溫度，即為該時的露點。

大氣中之水汽

**露**——空氣中的水汽成飽和狀態，其一部份液化而成水滴，附着於物體上，稱為**露**(Dew).

**霜**——若露點在 $0^{\circ}\text{C}$ .以下時，水汽直接結成冰屑，稱為**霜**(Frost).

## 凝結狀態

霧——與地面相接觸的空氣，因冷卻至露點以下，水汽的一部份就在微細的塵埃上，結成小水滴，浮游於空中，稱為霧(Fog)。

雲——當低處或他處的熱空氣，吹入高處冷空氣中，混合後的溫度，如在露點以下，則其中水汽凝結於浮塵上，浮游於空中，稱為雲(Cloud)。

雨——如溫度降低，析出的水量較多，水滴集合漸大，受重力作用，下降於地，稱為雨(Rain)。

霰——水滴落下時，遇冷凝結成冰珠，稱為霰(Sleet)。

雪——露點在 $0^{\circ}\text{C}$ 以下，高空的水汽直接凝結成極小的冰晶，降落地面，稱為雪(Snow)。

雹——因氣壓變化劇烈，含有水汽的空氣，昇到最高層而成雪，下降時通過冰點附近的空氣層，水又凝結其上而成冰，再遇強烈氣流挾之上昇，通過雪層時，則雪又凝其上。如此在冷熱空氣中升降數次，以致冰雪重疊，體積增大，落下地面，稱為雹(Hail)。

### 3. 濕度

定義——空氣中乾濕的程度，稱為濕度(Humidity).

表示法 { 絕對濕度——每立方厘米空氣中所含水汽的克數，稱為絕對濕度(Absolute humidity).

相對濕度——現在大氣中實有的水汽壓力，與在同溫度時，飽和水汽壓力的比，以百分表之，稱為相對濕度(Relative humidity). 合於人類衛生的相對濕度約為50%至60%.

濕度計 { 露點濕度計(Dew-point hygrometer).

毛髮濕度計(Hair hygrometer).

乾濕球濕度計(Wet-and-dry-bulb hygrometer).

### 習題十四

1. 何謂熔解熱與汽化熱？有 $0^{\circ}\text{C}$ 之冰30克，欲使其盡化為 $100^{\circ}\text{C}$ 之蒸汽，問需熱若干？(水的汽化熱為540卡)。(國立中正大學)
2. 水當量10克之量熱器(Calorimeter)內蓄水及20克之冰，加10克之蒸汽(溫度 $100^{\circ}\text{C}$ )後，則溫度昇為 $50^{\circ}\text{C}$ . 問量熱器原蓄水若干？(冰之熔解熱=80卡/克，水之汽化熱=540卡/克)。(國立中大，浙大，武大；西南聯大)

3. 有 $0^{\circ}\text{C}$ 之冰100克，與 $0^{\circ}\text{C}$ 之水100克，欲將此混合物昇至 $30^{\circ}\text{C}$ ，須加熱若干？(國立<sup>中大，浙大</sup>東南，聯大武大聯合題)
4. 蒸發和沸騰有何區別？(浙江省立英士大學)
5. 如以100克 $72^{\circ}\text{C}$ 之水，傾於一塊冰上，流於冰下之水，完全收集，問水之總量為若干？(國立交大管理學院)
6. 試述比熱及熔解熱之定義。300克之水銀，熱至 $100^{\circ}\text{C}$ 後，加10克之冰，則冰熔解為水，而水及水銀之溫度均為 $10^{\circ}\text{C}$ 。求水銀之比熱。(國立北平師範大學)
7. 試述比熱、蒸發熱的意義。將500克質量之銅，熱至 $100^{\circ}\text{C}$ 時，驟然投入冰中，熔去之冰為56克，設銅之比熱為0.96，問冰之熔解熱為若干？(國立北平大學)
8. 試自下列之實驗，計算冰之熔解熱。

量熱器之重	45.00克。
量熱器之比熱	0.092*
量熱器與溫水共重	345克。
量熱器與水及冰共重	463.5克。
起始溫度	$39^{\circ}\text{C}$ 。
混合後溫度	$6^{\circ}\text{C}$ 。

冰之溫度

$0^{\circ}\text{C}$ . (國立清華大學)

9. 將50克 $0^{\circ}\text{C}$ .之冰塊，投擲於1公升 $20^{\circ}\text{C}$ .之水中，已知冰之熔解熱為80卡/克，試求冰完全熔解後混合液體之溫度。(中法大學)
10. 冰塊加熱即熔為水，但冰未完全熔解前，溫度並不昇高，何故？(山東大學)
11. 設有冰十斤，閉置冰箱內，八小時熔盡。冰箱外面之高，寬，深，為 $70 \times 60 \times 50$ 厘米，求每秒鐘透入(1)至冰箱，(2)每平方米冰箱面之熱平均為若干卡路里？冰之熔解熱 = 80 卡/克，1斤 = 500克，1米 = 100厘米。(國立中央大學)
12. 有卡計，其水當量為5克，中盛 $30^{\circ}\text{C}$ 之水10克，今以 $0^{\circ}\text{C}$ 之冰5克投入其中，求熔解後卡計中之溫度。(28年武昌統一招生)
13. 何謂100%相對濕度。(國立交通大學)
14. 晒濕衣時 (a)擴大其面積則易乾；(b)有風則易乾。(c)氣溫低時，則不易乾。(d)溫度大時，則不易乾。試述其理由。(國立四川大學)
15. 何謂露點，試述其測定法。(國立中山大學)
16. 氣與蒸汽有何區別？  
設某量空氣，在溫度 $100^{\circ}\text{C}$ 時，為水蒸汽所飽和，若增加其溫度至  $200^{\circ}\text{C}$  而不變其體積，則其壓力為二氣壓，求溫度為 $0^{\circ}\text{C}$  時此單獨乾燥空氣之壓力。(國立北京大學)

17. 將 $-20^{\circ}\text{C}$ 之冰50克變為 $150^{\circ}\text{C}$ 之蒸汽,求所需之熱幾何?已知冰之比熱為0.5卡,蒸汽之比熱為0.5卡,冰之熔解熱為80卡,水之蒸發熱為537卡。(燕京大學)
18. 有冰一塊,質量為30克,設在 $100^{\circ}\text{C}$ 全變為水蒸汽,問共需熱若干?(山東大學)
19. 試述風、雲、雨、霧、露、霜、雪之成因各為何?(魯齊大學)
20. 試述蒸發與沸騰之區別,并問在高山煮物,比之在山下,何處較快?(河南大學)
21. 某鐵質量熱器,重100克,內含水300克,溫度為 $15^{\circ}\text{C}$ ,今將溫度為 $1000^{\circ}\text{C}$ ,而重量為400克之鐵塊投入,則量熱器及鐵與水共重773克,設鐵之比熱為0.114,試求水之汽化熱。  
(光華大學)

## 第五節 熱與功

1. 熱的本性——熱為物質的分子迅速振動所生的現象。物體之溫度高低,完全依照分子運動劇烈的程度而定,加熱於物體,無異使分子的運動更為劇烈,所以熱為分子的動能,和光相似,熱與光的不同,是在振動的遲速,及對人目的效應。振動次數在每秒 $4 \times 10^{14}$ 以下,則認為熱,在 $4 \times 10^{14}$ 與 $8 \times 10^{14}$ 之間,則視神經認為光。

〔定義——每單位熱量相當於若干能量的數,稱為熱的功當量 (Mechanical equivalent of heat).〕

公式——設 $W$ 爲所作的功， $H$ 爲所生的熱， $J$ 爲熱的功當量，則：

$$J = \frac{W}{H}.$$

2. 熱的功當量

數值——據多種精密測定的結果，

$$J = 4.187 \times 10^7 \text{ 爾格/卡} = 4.187 \text{ 焦耳/卡},$$

$$\text{或 } J = 778 \text{ 呎磅/B.T.U.}$$

焦爾 (Joule) 定律——無論作功的方式若何，如有一定量的功消失時，必有相當的熱量，同時生出。

3. 熱力學定律

第一定律——熱是能量的一種，不能生亦不能滅。

第二定律——若無功供給，要使低溫度的熱流到高溫，是不可能的。

4. 熱機

定義——利用熱能變爲功的機器，稱爲熱機 (Heat engine)。

熱效率——凡有用的熱或變成功的熱，和消耗總熱的比，稱爲熱機的熱效率 (Thermal efficiency)。

種類

蒸汽機

原理——利用燃料的熱量，變爲蒸汽的壓力，再變爲功以推動機器。

用途——火車、輪船及他種機器的發動。

內燃機

原理——利用油類和適量的空氣混合，直接壓縮在機器內部，使其爆發，由其壓力作用，能使機器轉動。



## 習題十五

1. 作熱功當量之實驗時，用質量20仟克 (Kilogram) 之錘從25米 (meter) 高處落下，可使2仟克之水昇高幾度？(一切補正略去) (國立廣西大學)
2. 將二衝突金屬球，各重100尅，上端各繫一繩，長一米，分別向左右二邊舉至水平位置，於放手後可自行衝突作用，若於衝突處置一鉛球，當二金屬球衝突後各自彈回 $30^\circ$ ，鉛球急投於196克之水中，結果水之溫度上升 $20^\circ\text{C}$ ，若意外消耗甚微，試求其熱功當量，有異於公式否？何故？(國立中正大學)
3. a. 何謂熱功當量？如何測定？  
b. 設鉛球自16呎高處下降至地面，因衝擊所生的熱量，全部為鉛球所吸收，問鉛球的溫度上升若干度？(鉛球之比熱 = 0.032). (國立英士大學)
4. 試述熱和功有何關係？(國防醫學院)
5. (a) 何謂熱功當量？(b) 試述任一種測定熱功當量之方法？(c) 熱力學第一定律在物理學上有何重要？(國立交通大學)
6. 一鉛製之槍彈，擊中靶子之前為 $315^\circ\text{C}$ ，擊中後所生之熱，恰够將子彈全體熔解( $325^\circ\text{C}$ )，

鉛之比熱為0.031,其熔解熱為每克5卡,問槍彈擊靶時的速度若干?(1卡 =  $4.2 \times 10^7$  爾格).

(27年重慶統一招生)

7. 一瀑布高500m,若流下水量之動能全部變為熱能,且所有熱量全由流下之水吸收,試求流下之水,其溫度應較原溫度高若干度?(熱之功當量 =  $4.2 \times 10^7$  爾格)(光華大學)
8.  $-5^\circ\text{C}$ 之冰20克,通以 $120^\circ\text{C}$ 之蒸汽,需若干焦爾之能?設冰之比熱 = 0.5, 蒸汽之比熱 = 0.46, 冰之熔解熱 = 80卡, 水之蒸汽熱 = 538卡, 熱之功當量 =  $4.2 \times 10^7$  爾格.(國立唐山工學院)
9. 有一鉛質槍彈,質量為10克,以500m/sec之速度打擊靶子,設有百分之二十動能,供給槍彈昇高溫度,則槍彈所增高之溫度為若干?(鉛之比熱 = 0.031).(國立唐山工學院)

## 第四章 聲學

## 第一節 波動

- 1. 波動** { **定義**——彈性物質的一部份受外力作用發生振動時，其周圍部份亦逐次發生相似的振動，由近而遠，以傳遞能量。外力所施的部分，如起週期性的振動，則各部分亦必次第各作同樣的振動，此現象稱為**波動**(Wave motion)。
- { **介質**——發生波動的彈性物質，稱為**介質**(Medium)。
- { **波列**——介質中如連續振動，則其各方向所成連續的波，稱為**波列**(Train of waves)。
- 2. 波 的 種 類** { **橫波**——質點振動的方向和波的傳播方向垂直的波，稱為**橫波**，或**高低波** (Transversal wave)。
- { **縱波**——質點振動的方向和傳波方向平行的波，稱為**縱波**，或**疏密波** (Longitudinal wave)。
- { **波峯**——橫波的最高處，稱為**波峯**(Crest)，如圖21中A, E。
- { **波谷**——橫波的最低處，稱為**波谷**((Trough)，如圖21中C, G。
- { **稠密**——縱波的最密處，稱為**稠密**(Condensation)。
- { **稀疏**——縱波的最疏處，稱為**稀疏**(Rarefaction)。

3. 波的各  
部名稱

**波長**——橫波中的峯和峯或谷和谷的距離如圖 21 中 AE, CG; 縱波中的疏和疏或密和密的距離, 稱為**波長**(Wave length).

**振幅**——波中各振動點所生的最大位移, 稱為**振幅**(Amplitude), 如 Aa, Cc, Ee, Gg.

**同相**——凡地位及運動狀態相同的點, 稱為**同相**(Phase), 如 A 與 E, B 與 F, C 與 G, D 與 H.

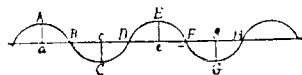


圖 21

**波前**——在某瞬時間內, 聯接同相的各點成一曲線或曲面, 稱為**波前**(Wave front). 波前為圓形的, 稱為**圓形波**(Circular wave); 為球面的稱為**球面波**(Spherical wave); 為平面的, 稱為**平面波**(Plane wave).

**波射線**——波前進的方向稱為**波射線**(Wave ray), 常與波前垂直.

**4. 頻率**——每秒鐘經過某點的波峯數, 即彈性體每秒振動的次數, 稱為**頻率**(Frequency).

**5. 速度**——每秒鐘波峯所行的距離, 稱為**速度**(Velocity). **速度 = 頻率 × 波長**.

## 習題十六

- 1, 何謂波動? 試舉例以說明之, 除波動外, 尚有其他傳能方法否? (國立浙江大學)
2. 投石於水, 現為波紋, 每相鄰二波峯間之距離為 2 厘米, 歷 5 秒鐘而達對岸, 兩岸相對為 4 米, 求水波每秒鐘之振動數. (27 年武昌統一招生)

## 1. 聲波

**發生**——凡聲都由物體的迅速振動而發生，聲波係由一串交互之密部與疏部而成，故為縱波。

**傳播**——聲波能在空氣中或其他氣體、液體、固體中傳播，而不能在真空中傳播。

**速度**——聲波在空氣中之速度，在 $0^{\circ}\text{C}$ 時約為331每秒米，溫度每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，即增加0.6每秒米，在液體、固體中的速度更大，設 $t$ 為溫度，則 $t^{\circ}\text{C}$ 時之速度，為 $V=331+0.6t$ 。

**強度**——在空曠處聲的強度與距離的平方成反比。

**反射**——聲波前進時，遇着另一物體，如高山、雲層、建築物等即行折回的現象，稱為聲的**反射**(Reflection)。折回的聲波，叫做**回聲**(Echo)。

**折射**——風之性質愈近地面速度愈小(因地面障礙物之故)，故逆風之聲波，下方之速度較上方為快，即向上方**折射**(Refraction)；順風之聲波，下方之速度較上方為慢，即向下方**折射**。晝間地面溫度較高空為高，故近地面的聲波速度較大，即向上方**折射**。夜間地面輻射散熱，溫度較高空為低，聲波即向地面**折射**。

## 2. 聲波的性質

**干涉**——兩種聲波同時依同方向而傳播時，若兩波的密部和密部相合，疏部和疏部相合，聲音增強，若一波的密部和另一波的疏部相合，兩波相消，聲音減弱，或

完全消滅，此現象稱爲聲的干涉(Interference)。

繞射——聲波能迂迴而達於障礙物之後方，稱爲聲波之繞射(Diffraction)若障礙物較聲之波長甚大，則聲波不能繞射其後，相差不多或甚小時，則可生繞射。

### 3. 拍

定義——兩聲波的頻率相差少許，依同向而傳播時，則所生干涉作用的結果，使聲呈忽強忽弱的現象，稱爲拍(Beat)。

拍頻——每秒鐘中的拍頻(Beat frequency)，等於原有兩聲波頻率的差。

## 習題十七

1. 試述一種測定聲速的方法。(國立交大管理學院)
2. 在大廳內演講，聽者有時覺不清晰，若在小室內決無此弊，其故安在？(國立浙江大學)
3. 常溫空氣中，音之速度多少？(國立武漢大學)
4. 有一音叉不知其頻率，今使此音叉與一頻率爲256之他音叉同時振動，所生之拍頻(beat)爲每分鐘30次。次將蠟一小塊粘於此不知頻率之音叉，再求二音叉所生之拍頻，結果爲每秒二次，求此音叉之頻率。(國立清華大學)
5. 狗臥在地上，常以耳着地，人皆說狗的聽覺比人靈，但究竟誰是靈，詳解其故？(山東大學)
6. 有人看見閃電後，經過7秒，始聞雷聲，問發雷處距人遠若干？(河南大學)

7. 詳述測定音叉或任何彈簧片振動頻率之實驗方法。(27年重慶統一招生)

### 第三節 樂音

1. **樂音與噪音**——發音體的振動如有整齊規則，所發音波的頻率及波長都有一定，聞之可生愉快的感覺，稱為**樂音**(Musical sound)。若不規則的振動，則音波的頻率及波長都不一定，稱為**噪音**(Noise)。

2. **樂音三要素** { **響度** Loudness——即音的強弱。1. 由音源振幅的大小而定。2. 和音源距離的平方成反比。3. 和介質的密度有關。4. 和發音體的面積有關。  
**音調** Pitch——即音的高低。由振動體的頻率而定，頻率愈多則音愈高，愈少則愈低。  
**音品** Quality——音品由波形而定，即視泛音的數及其強弱而定。

3. **共鳴**——發音體受着和自己頻率相等的音波之激動，所起相應之振動而發音，稱為**共鳴**(Resonance)。

4. **基音與泛音**——發音體作整個振動時所發的音，稱為**基音**(Fundamental tone)。當物體作分段的振動時所發的音，稱為**泛音**(Overtone)。

5. **節與腹** { **定義**——當物體振動發音時，靜止不動之點，稱為**節**(Node)。振幅最大之點，稱為**腹**(Loop)。

## 6. 都卜勒效應

定律——凡節與節間或腹與腹間之距離，為原波波長之半。

效應——發音體與聽者生相對運動時，則物體所發之音調與聽者所聞之音調不同，此現象稱為都卜勒效應 (Doppler effect)。

公式——設  $V$  為音波之速度， $v$  為聽者運動之速度， $n$  為發聲體之頻率， $x$  為聽者一秒所受之波數，則當聽者向發音體行近時，

$$x = n \left( 1 + \frac{v}{V} \right).$$

若聽者遠離發音體時，則

$$x = n \left( 1 - \frac{v}{V} \right).$$

## 絃振動

種類——由絃的振動而發生樂音的樂器，如鋼琴、胡琴、琵琶等。

定律——絃振動之頻率(1)與絃之長度成反比(2)與絃之張力之平方根成正比，(3)與其單位絃長之質量之平方根成反比。

公式——設  $n$  為絃所發基音之頻率， $l$  為絃長， $T$  為絃之張力， $m$  為單位絃長之質量，則

$$n = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{m}}.$$

又設絃的半徑為  $r$  厘米，密度為  $d$ ，則因  $m = \pi r^2 d$ ，故

$$n = \frac{1}{2rl} \sqrt{\frac{T}{\pi d}}.$$



## 7. 樂器的種類

氣柱振動

種類 { 開管——管樂器的上端開啓的，稱爲開管(Open pipe). 如簫、笛等。  
閉管——管樂器的上端閉塞的，稱爲閉管(Closed pipe.) 如警笛。

定律 { 1. 氣柱振動的頻率和管長成反比。  
2. 開管的長度等於其基音波長的 $\frac{1}{2}$ ；閉管的長度等於其基音波長的 $\frac{1}{4}$ 。

棒振動

種類 { 橫振動——棒之振動方向與其長度垂直。  
縱振動——棒之振動方向與其長度相同。若一端固定，他端自由時，其振動與閉管同，基音波長爲棒長之4倍。若中央固定，兩端自由時，其振動與開管同，基音波長爲棒長之2倍。

定律——由實驗得知同一物質之棒，作橫振動時，則其頻率之大小(1)與棒之厚成正比，(2)與棒長之自乘成反比，(3)與棒之密度之平方根成反比。

薄膜振動——由薄膜的振動而發生樂音的樂器，如人的聲帶、留聲機等。

板振動——由板的振動而發樂音的樂器，如鑼、鼓等。

(空氣內聲速的測定——利用氣柱之共鳴作用以測之。設 $n$ 爲發聲體之振動頻率， $l$ 爲

空氣柱之長， $v$ 為聲之速度，則

$$v = 4ln.$$

### 8. 聲速的測定

固體內聲速的測定——利用昆忒(Kundt)實驗以測之，設 $L$ 為金屬棒之長， $V_s$ 為聲在空氣中之速度， $V_m$ 為聲在金屬棒中之速度， $l$ 為管中粉末兩節點間之距離，則

$$V_s = \frac{L}{l} V_m.$$

氣體內聲速的測定——利用昆忒(Kundt)實驗以測之。設 $V_g$ 為聲在氣體中之速度，餘與上式同，則

$$V_g = \frac{l}{L} V_m.$$

9. 音程——兩音頻率的比，稱為音程(Interval)。

10. 諧和——音程為簡單整數比的二音，同時並奏，聞之悅耳，稱為諧和(Consonance)。

11. 音階

- 定義——將互相諧和的各音，依其頻率的次序排列，其最大之頻率為最小之一倍的一組音，稱為音階(Musical scale)。基音是音階中最低的一音。
- 八度音——一音的頻率較他音大一倍者，其音程為2，稱為八度音(Octave)。
- 大三和音
  - 定義——凡頻率之比為4:5:6的三音，最能諧和，通稱為大三和音(Major chord)。
  - 主和音——亦稱第一三和音(Tonic)即C, E, G. (1, 3, 5, )。

{	種類	}	屬和音——亦稱第二三和音(Dominant)即G,B,D.(5,7,2̇).
	次屬和音——亦稱第三三和音(Subdominant)即F,A,C'(4,6,i).		

## 習題十八

1. 試述音之共鳴。(Resonance). 並舉實驗上之事實證明空氣中之音波, 確為疏密波(國立武漢大學)
2. 試述都卜拉之原理(Doppler's principle)設有一人乘每時100公里之車, 向鐘樓而行, 可聞鐘聲, 若鐘每秒顫動150次, 而音速每秒345公尺, 問此人之耳鼓每秒受若干次之顫動(Vibrations)?(國立北洋工學院)
3. 立車站聞得火車進站之汽笛, 其音漸高, 出站火車之汽笛, 其音漸低, 何故?(齊魯大學)
4. 一端閉口之管當共鳴時, 其長恰為音波波長之四分之一, 若管二端開口, 則其長為音波波長二分之一, 何故?(河南大學)
5. 某火車之汽笛, 每秒鐘振動1000次, 當該火車駛入車站時, 其速度為每小時100公尺, 問站中人聽得汽笛之每秒振動數為何?(重慶商船專科學校)
6. 試述一利用氣柱共振現象, 以測定音速之實驗.(28年上海統一招生)
7. 試證明開管基音之頻率, 等於等長之閉管基音頻率之二倍.(28年上海統一招生)
8. 一閉管之頻率為250, 求閉管之長及其第一泛音之頻率.(國立中正大學)

第一節 光的傳播

1. 光
- 定義——由物體發生一種作用，傳到人們的眼內，使視神經起一種感覺，能辨別物體的大小、形狀、方向、遠近、和彩色等的作用，通稱為**光**(Light).
  - 光線

    - 定義——光所通過的路徑，稱為**光線**(ray).
    - 種類

      - 發散光線**——由光源所發的光向各方散射，漸遠而漸見擴散的光線，稱為**發散光線**(Divergent ray).
      - 會聚光線**——由光源所發的光能向一點會聚的光線，稱為**會聚光線**(Convergent ray).
      - 平行光線**——由遠處傳來可認為互相平行的光線，稱為**平行光線**(Parallel ray).

2. 物體的發光性
- 發光體**——自身能發光的物體，稱為**發光體**(Luminous body)，如太陽、燈火等，或稱**光源**(Luminous source)；光源如屬一點，則稱**光點**(Luminous point).
  - 不發光體**——自身不能發光的物體，稱為**不發光體**(Non-luminous body).
  - 透明體**——能透過光線的物體，稱為**透明體**，(Transparent body)，如玻璃、空氣，

3. 物體的透光性

水等。

**不透明體**——不能透過光線的物體，稱為**不透明體**(Opaque body)，如金屬木板等。

**半透明體**——只能透過一部分的光，不能隔着看清發光體的形狀的物體，稱為**半透明體**。(Translucent body)。如油紙介殼薄片等。

4. 光的直進

**定義**——光在均勻介質內，常沿直線進行的現象，稱為**光的直進**(Rectilinear propagation of light)。

**定義**——光線被不透明物體遮斷，其後面即生黑暗部分，稱為**影**(Shadow)。

種類

**本影**——如光源不祇一點，物體後的光完全遮斷的部分，稱為**本影**(Umbra)。

**半影**——如光源不祇一點，物體後本影周圍可見一部分的光而成較淡的影，稱為**半影**(Penumbra)。

影

蝕

**日蝕**——地球進入月球的本影內，則太陽被月球遮蔽，成為**全蝕**(Total eclipse)；在月球的半影內，則一部分被遮蔽，成為**偏蝕**(Partial eclipse)；有時月的本影，不能達地面，則地上正對本影錐體頂點的地點，可見太陽的邊緣，成為**環蝕**(Annular eclipse)。

**月蝕**——月球進入地球的本影內，則太陽射來的光，被地球遮斷，成

爲全蝕(Total eclipse);在地球的半影內,成爲偏蝕(Partial eclipse).

5. 光速的度 { 測法 { 雷滿(Römer)法.  
菲左(Fizeau)法.  
佛科(Foucault)法.  
邁克爾遜(Michelson)法.

測定值——在真空內爲每秒3萬萬米,或每秒18萬6千哩.

6. 照度 { 定義——單位面積上,在單位時間內,所受光的量,稱爲該面的照度(Illumination).  
定律——物體的表面和光垂直時,照度和距離的平方成反比例.  
單位——照度的單位爲米燭光(Meter candle),即爲距標準燭1米處,而與光線成直角之面上所生之照度.英美制之單位爲呎燭光(Foot candle),即一燭光在1呎處所生之照度,一呎燭光等於10.76米燭光.  
公式——
$$\text{照度} = \frac{\text{燭光}}{\text{距離之平方}}$$

定義——光源所發光的強弱的量,稱爲光度(Illuminating power),即爲距光源單位距離直角方向之照度.

單位——光度的單位爲燭光(Candle power),係用鯨魚油製成直徑 $\frac{7}{8}$ 吋(2.5厘米)

7. 光度

之標準燭，每小時燃去120格林(7.78克)所發的光，稱爲一燭光。

光度計

**定義**——測定光度的裝置，稱爲**光度計**(Photometer)。

倫福特光度計

**定義**——爲倫福特(Rumford)所創，稱爲**倫福特光度計**，亦稱**比影光度計**(Shadow photometer)。

**裝置**——木製平台的一邊直立一白色木屏，台中直立一不透明的木棒，將標準光源及欲測光源各放在直棒前的兩側，將其位置調配適當，使其在白屏上的二條棒影明暗相等時，即爲屏上所受兩光源的照度相等。

**公式**——設欲測光源的燭光爲 $x$ ，標準光源的燭光爲 $s$ ，欲測光源至屏的距離爲 $d_1$ ，標準光源至屏的距離爲 $d_2$ ，則

$$\frac{x}{d_1^2} = \frac{s}{d_2^2}$$

**定義**——爲**本生**(Bunsen)所首創，稱爲**本生光度計**，亦稱**油點光度計**(Oil-drop photometer)。

種類

**裝置**——其主要部分爲一白紙小屏，中心有一半透明

## 本 生 光 計

之油點，可使光自由通過，屏置於欲測之兩光源間，觀察油點之兩面明暗相等時，即為屏上所受兩光源的照度相等。

公式——與倫福特光度計相同。

定義——為喬利 (Jolly) 所首創，稱為喬利光度計，亦稱漫射光度計 (Diffusion photometer)。

裝置——和本生光度計相似，用厚約 $\frac{1}{4}$ 吋而大小相同的長方形石蠟二塊，中間夾入錫箔一片，以代替油點紙屏，將此石蠟裝在兩邊各有小孔的盒中，盒前另有一孔，以觀察蠟片兩端的明暗，當蠟片中間界限不分時，即兩邊的光度相等，則其照度相等。

## 喬 利 光 計

公式——與倫福特光度計相同。

**7. 惠更斯原理**——在某時刻的波前上的各點，可視為發生諸球形副波之源，經若干時間後，此等副波可達相當的地點，而與各副波相切的球面，即為新得的波前，這樣逐次由原波前推出新波前，以說明的傳播，稱為惠更斯原理 (Huygen's principle)。



## 習題十九

1. 兩燈距離書4呎，與四個同樣之燈離書6呎，何者之照度較大？試計算之。(交大管理學院)
2. 五燭光及三十燭光之光原，相距二米，問本生光度計之油斑應置於何處，方使二面之照度相同？(國立浙江大學)
3. 真空中光之速度多少？(國立武漢大學)
4. 試作一圖並說明 Bunsen 光度計之原理。(28年上海統一招生)

## 第二節 光的反射

**定義**——光在一介質中傳播至另一介質時，其一部分自境界面，回射於原介質的現象，稱為光的反射(Reflection).

**射線** { 入射線——射來的原光線，稱為入射線(Incident ray).  
 反射線——反射而回的光線，稱為反射線(Reflected ray).

**入射點**——入射線在境界面的交點，稱為入射點(Point of incidence).

**法線**——通過入射點與境界面垂直的直線，稱為法線(Normal).

## 1. 反射

**射角** { 入射角——入射線和法線所成的角，稱為入射角(Angle of incidence).

反射角——反射線和法線所成的角，稱爲反射角(Angle of reflection).

定律

- a. 入射線反射線和法線在同一平面內，且各在法線的兩側。
- b. 入射角和反射角相等。

種類

- 單向反射——平行入射線遇平滑面而反射的反射線，仍屬平行，稱爲單向反射(Uni-directional reflection).
- 漫射——不平滑面上的反射光，向各方分散，稱爲漫射(Diffuse reflection)，或稱散射(Scattering).

## 2. 像

定義

——從一物體發射之光線，經光學器械之作用而能得一與原物體相似之形，稱爲原物體之像(Image).

種類

- 實像——反射(或折射)光線聚集一處而成的像，稱爲實像(Real image).
- 虛像——反射(或折射)光線向後延長集合而成的像，稱爲虛像(Virtual image).

## 3. 平面鏡

定義

——反射面爲極光滑的平面，稱爲平面鏡(Plane mirror).

定律

——像的大小和實物相同，像與鏡面的距離，和物與鏡面的距離相等。此像係虛像。

(定義

——反射面爲球面的一部分的鏡，稱爲球面鏡(Spherical mirror).

**曲率中心**——球面鏡的球心稱爲**曲率中心**(Center of curvature).

**曲率半徑**——由曲率中心至鏡面的距離，稱爲**曲率半徑**(Radius of curvature).

**頂點**——鏡面上的中心點，稱爲**頂點**(Vertex).

**軸**——經過曲率中心和鏡面頂點的直線，稱爲**主軸**(Principal axis)，簡稱**軸**。

**種類** { **凹面鏡** { **定義**——以球面的內側爲反射面的，稱爲**凹面鏡** (Concave mirror).

**焦點**——和軸平行的光線，經鏡面反射後，聚集於軸上的一點，此點稱爲**焦點**(Focus).

**焦距**——焦點至鏡面頂點的距離，稱爲**焦距** (Focal length)，約等於曲率半徑之半。

$$\text{公式} \quad \frac{1}{\text{物距}} + \frac{1}{\text{像距}} = \frac{2}{\text{曲率半徑}} = \frac{1}{\text{焦距}}$$

**凸面鏡** { **定義**——以球面的外側爲反射面的，稱爲**凸面鏡** (Convex mirror).

**虛焦點**——和軸平行的光線，經鏡面反射後，向外發射，好像鏡後的一定點發出，此點稱爲**虛焦點**(Virtual focus).

$$\text{公式} \quad \frac{1}{\text{像距}} - \frac{1}{\text{物距}} = \frac{2}{\text{曲率半徑}} = \frac{1}{\text{焦距}}$$

**實像作法**——在A(圖22)點取一與軸平行的光線，反射後通過焦點，另取

#### 4. 球面鏡

像的作法  
圖法

一通過曲率中心C的光線，反射後仍沿原路射回，此兩反射線的交點A'，即為A的像。同樣求得B'為B的像，A'B'即為實物AB的像。

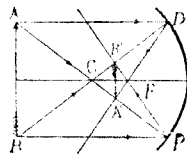


圖 22

虛像作法——在A點(圖23)取一與軸平行的光線，反射後通過焦點，另取一通過曲率中心的光線，反射後仍沿原路射回，在鏡後延長兩線，得交點A'，即為A之像。同法求得B'即為B的像，A'B'即為AB的像。

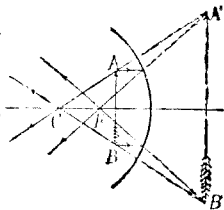


圖 23

像的大小——實物和像大小的比，等於二者和鏡面距離的比，即

$$\frac{\text{像長}}{\text{物長}} = \frac{\text{像距}}{\text{物距}}$$

球面像差——球面鏡的鏡面本身，較曲率半徑甚小，則由一點射

之來光，經反射後集中於一點若鏡面較曲率半徑不甚小，則由一點所發之光，經反射後不能相交於一點，即所成之像模糊不清，此缺點稱為球面像差(Spherical aberration)。

焦散曲線——各相隣二反射光線之交點，各不相合時，聯結此等交點，即得一特別光亮的曲線，稱為焦散曲線(Caustic curve)。

拋物面鏡——此鏡為拋物面體表面的一部分，由其幾何性質，凡與軸平行的入射線

反射後，均集中於其焦點，故置光源於焦點，則反射後的光與軸平行，可達遠方，燈塔及探照燈等，均用此鏡製成。

### 習題二十

1. 試繪圖說明平面鏡生像之理，並討論像之虛實、大小、位置、遠近、倒順及反正。（國立北平師範大學）
2. 置一物體於曲度半徑為18厘米之球面凹鏡前，所造成實像至鏡之距離為物體至鏡面距離之三倍，求像與物體之位置。（清國立華大學）
3. 有一凹球面鏡，其球面半徑為20吋，在鏡前置一短棒與鏡軸垂直，短棒之長為1吋，其與鏡頂點之距離為100吋，試計算由球面鏡所成之像之位置、大小、及方向，并作圖以明之。  
(中法大學理醫學院)
4. 設將燈焰置於凹鏡前10吋之處，其映於屏上之像距鏡面為30吋，問該鏡之曲度半徑為若干吋？(河南大學)
5. 說明一種測定球面凹鏡焦距之方法。（重慶商船專科學校）
6. 有一凹面鏡，其球面半徑為80厘米，①在鏡前200厘米處，置一物，物長為20厘米，求所成之像與鏡面之距離及其大小。②若物長為5厘米，置於距鏡面30厘米處，求所成之像與鏡

面之距離及其大小，並說明每次所成之像爲正或倒，實或虛。(國立唐山工學院)

### 第三節 光的折射

**定義**——光由第一介質，射入第二介質時，則在介質的境界面，光行的方向發生彎曲的現象，稱爲光的折射(Refraction)

**折射角**——折射線與法線所成的角，稱爲**折射角**(Angle of refraction).

**折射定律** { a. 入射線，折射線，和法線在同一平面內，且各在法線的二側。  
b. 入射角的正弦與折射角的正弦之比，等於一常數，其值由兩物質之種類而定，與入射角之大小無關，此定律爲斯涅爾(Snell)所發明，亦稱斯涅爾定律。

**定義**——入射角之正弦與折射角之正弦的比值，稱爲**折射率**(Index of refraction).

**種類** { **絕對折射率**——光由真空射入某物質之折射率，稱爲該物質的**絕對折射率**(Absolute index of refraction)，簡稱**折射率**。  
**相對折射率**——光由甲物質射入乙物質之折射率，稱爲此兩物質間之**相對折射率**(Relative index of refraction).

## 1. 折射

## 折射率

公式——設 $n_{12}$ 為第二物質對於第一物質之折射率， $n_{21}$ 為第一物質對於第二物質之折射率， $n_{23}$ 為第三物質對於第二物質之折射率， $n_{13}$ 為第三物質對於第一物質之折射率，則

$$a. \quad n_{21} = \frac{1}{n_{12}}.$$

$$b. \quad n_{23} = \frac{n_{13}}{n_{12}}.$$

光密與光疎——若 $n_{12} > 1$ ，則稱第二物質較第一物質為光密 (Optically dense).

若 $n_{12} < 1$ ，則稱第二物質較第一物質為光疎 (Optically rare).

折射率與光速之關係—— $\text{折射率} = \frac{\text{光在空氣中速度}}{\text{光在物質中之速度}}.$

## 折射線作圖法

第一法——設AO為入射線，以入射點O為中心，任意長為半徑作圓，由A作境界面之垂線AM，取  $ON = \frac{OM}{n}$ ，(n為折射率) 由N點作境界面之垂線，與圓周相交於B點，則OB之聯結線，即為折射線之方向。(圖24)

第二法——在入射線SO上，取OB為單位長，再取OA之

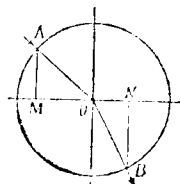


圖 24

長，等於折射率 $n$ ，以 $O$ 為圓心， $OA$ 為半徑，作弧，自 $B$ 引平行於法線 $OQ$ 之 $BC$ ，聯 $OC$ ，延長之，得 $OR$ ，即為所求之折射線。(圖25)

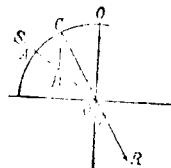


圖 25

2. 臨界角 { 定義——對於折射角成 $90^\circ$ 的入射角，稱為**臨界角**(Critical angle).  
 公式——設 $k$ 為臨界角， $n$ 為光密物質對於光疏物質之折射率，則
- $$\sin k = \frac{1}{n}.$$

3. 全反射——光由折射率大的物質，射入折射率小的物質時，若入射角超過該物質之臨界角，則光不能折射出去，全部反射入該物質內，此現象，稱為**全反射**(Total reflection).

4. 平行板的折射——光線斜向入射於透明物質的平行薄板時，當其在板內所起的折射和由板射入空氣的折射相反，即最初的入射角與最後的折射角恰相等，故透過平行板的折射線和入射線平行。

5. 稜鏡 { 定義——成三角柱形的透明體，稱為**稜鏡**(Prism).  
 稜角——稜鏡的頂角，稱為**稜角**或**屈折角**(Refracting angle).  
 偏向角——光經稜鏡的兩度射後，其方向大變，入射線與最後折射線的方向間的角度，稱為**偏向角**(Deviation angle).  
 折射率——設 $n$ 為構成稜鏡物質之折射率， $\theta$ 為最小偏向角， $\phi$ 為稜角，則



$$n = \frac{\sin \frac{\theta + \phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}}.$$

6. 外觀深度——從光疎介質(第一介質)鉛直向下觀望光密介質(第二介質)中物體之深度稱爲其外觀深度(Apparent depth);

$$\text{外觀深度} = \frac{\text{實際深度}}{\text{折射率}}.$$

水的外觀深度, 爲實際深度的  $\frac{3}{4}$ .

定義——兩側面爲兩球面的一部分, 或一球面和一平面所組成的透明體, 稱爲透鏡 (Lens).

透鏡軸——通過兩球面中心的直線, 稱爲透鏡軸 (Axis of lens).

光心 { 定義——自兩曲率中心, 向各球面作任意而平行的二半徑, 聯結半徑與球面相交之二點, 作一直線, 此線與軸相交, 其交點稱爲透鏡之光心 (Optical center).

- 定律 {
1. 光心位置因二半徑之比而定.
  2. 光心爲以兩半徑之比內分或外分其厚之點.
  3. 通過光心之光線, 其方向不變.

7. 透鏡

種類

凸透鏡

定義——中央厚，邊緣薄的透鏡，稱為凸透鏡(Convex lens)，或稱會聚透鏡(Convergent lens)。

焦點——和軸平行的光線，通過透鏡後，光線聚在軸上的一點，此點稱為焦點(Focus)。

焦距——由焦點至鏡面的距離，稱為焦距(Focal length)。

$$\text{公式} \quad \frac{1}{\text{物距}} + \frac{1}{\text{像距}} = \frac{1}{\text{焦距}}$$

- 種類
- 雙凸透鏡。——二面均向外凸。
  - 平凸透鏡。——一面為平面，一面向外凸。
  - 凹凸透鏡。——一面向內凹，一面向外凸。

凹透鏡

定義——中央薄邊緣厚之透鏡，稱為凹透鏡(Concave lens)，或稱發散透鏡(Divergent lens)。

虛焦點——和軸平行的光線，通過透鏡後，即成發散光線，此光線好像由軸上的一點發出，此點稱為虛焦點(Virtual focus)。

$$\text{公式} \quad \frac{1}{\text{像距}} - \frac{1}{\text{物距}} = \frac{1}{\text{焦距}}$$

- 種類
- 雙凹透鏡。——二面均為內凹。
  - 平凹透鏡。——一面為平面，一面向內凹。

凸凹透鏡。——一面向外凸，一面向內凹。

像之大小—— $\frac{\text{像長}}{\text{物長}} = \frac{\text{像距}}{\text{物距}}$ 。

像的作圖法

實像作圖法——在A點取一與軸平行的光線，被透鏡折射後，經過焦點F，另取一通過透鏡光心O的光線，此兩線相交於A'點，即為A點的像。同樣求得B'為B的像，A'B'即為AB的像。(圖26)

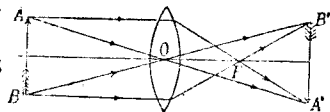


圖 26

虛像作圖法——在A點取一與軸平行的光線，被透鏡折射後，向外發散，另取一通過透鏡光心O的光線，此兩線延長後相交於A'點，即為A點的像。同樣求得B'為B的像，A'B'即為AB的像。(圖27)

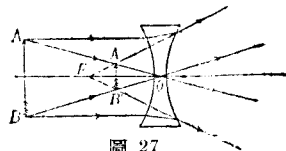


圖 27

球面像差——與軸平行之光線，投射於透鏡邊緣時，折射後與軸之交點，在焦點以內，而曲度較大時，更為顯著，因此所生之像，不甚明晰，此現象稱為球面像差 (Spherical aberration)。

### 習題二十一

1. 何謂光的折射現象？試述一實驗方法，測定凸透鏡的焦距。(國立唐山工學院)

2. 當一發光體由無窮遠外 向一薄凸透鏡移動,其所生像之位置、性質、倍率之變化如何? 試討論之。(國立廣西大學)

3. 試作光線圖,以討論凸透鏡與凹透鏡之物像。(國立中山大學)

4. (a)任述一種實驗方法,測定一塊聚光透鏡之焦距.

(b)設透鏡焦距之公認值為10厘米,實驗結果為9.82厘米,求百分誤差。(國立浙江大學  
蘭門大學)

5. (一)一簡單之放大鏡,可使長為2.5厘米之物體,成一長10厘米之虛像,於距鏡25厘米處,問鏡之焦距及物距各若干?試繪圖以表明之.

(二)一玻璃塊,對紅光之折射率為1.57,對藍光之折射率為1.61,若令紅光及藍光各以 $10^\circ$ 之角射於此玻璃塊上,試求此兩種光在玻璃內之速度及折射角(國立中央大學,  
浙江大學 西南聯大,武漢大學)

6. 半徑為1厘米的實心玻璃球,距心1厘米處有一黑點,若於球面外垂直視之(即視線通過球心),問視深若干?(玻璃折射率 $\frac{3}{2}$ ).(國立中正大學)

7. 完全透明之物體,能否見到?完全反射之物體能否見到?試舉例說明之。(國立交通大學)

8. 試說明光之反射定律,及光之折射定律。(北平輔仁大學,河南大學)

9. 太陽在午間視之小,早晚視之大,何故?(齊魯大學,河南大學)

10. 暗室之內,自一微孔,引入日光,射至一雙凸透鏡(Double convex lens),鏡後光線集中

- 一點，此點距鏡心25厘米。另以洋燭置於該透鏡50厘米處，問實像應在何處？問以洋燭移動，待無實像之時，問洋燭應在何處？（國立中央大學）
12. 一白熾燈懸於桌上150厘米處，中間一透鏡，使其在桌上之像較燈身大4倍，問(a)所應用者為何種透鏡？(b)透鏡距燈若干？(c)透鏡之焦距若何？（國立交大管理學院）
13. 欲以焦距 (Focal length) 12厘米之凸透鏡 (Convex lens)，造出燈泡之像，較實物大三倍，(1)若為實像，(2)若為虛像，則此燈泡宜置於何處？（國立武漢大學）
14. 一尺高之物體 在凸透鏡前10公分，凸透鏡之焦點長度為15公分，試求其像之種類，大小，及至凸透鏡之距離。（國立北洋工學院）
15. 設有一焦距為3厘米之放大鏡，置於距物27厘米處，問所造成之像，應在何處？放大若干倍？（國立北平鐵道管理學院）
16. 一凹透鏡之焦距為10厘米，設一物置於其前1米，求像之位置，并繪圖以說明之。（燕京大學）
17. 置長10厘米之物體於幕前60厘米之處，而以焦距為10厘米之凸透鏡插入其間，問幕上能顯之二像各長若干？如欲幕上顯出之像與物體同大，問物體應距幕若干？（南開大學）
18. 有一童子身高3呎，立於照像器前15呎之處。透鏡之焦點距離為18吋，問透鏡距透鏡內之乾片之距離為何？其像片（恰容其全身時）之長若干？（齊魯大學）

19. 有一電燈距牆壁120厘米，在此二者之間置一凸透鏡，若欲使壁上映成之燈像，有此電燈二倍大，問此鏡之焦距應為若干厘米？(國立英士大學)
20. 詳述光之折射定律。一人立於池邊，沿垂直於水面之方向，俯視池底，見池底像似之深為2米，求池底實在之深。(水之折射率 $=\frac{4}{3}$ )。(28年昆明統一招生)
21. 何謂光之折射係數？如何解釋折射現象？(27年重慶統一招生)
22. 作圖說明：以箸一枝，半段浸入水中，箸呈破折現象。(27重慶統一招生)
23. 設有鎢絲燈泡距牆5米，又有凸透鏡一個，其焦距為10厘米，問晚上欲於牆上得到燈絲放大清楚之像，這鏡應放何處？如將透鏡向燈稍移，將見何種現象？並說明之。 $(\sqrt{23}=4.892)$ 。(國立中央大學)
24. 有人身高1.6米，立於照相前5米處，照一全身像，照相機透鏡之焦距為15厘米，求像之高。(28年上海統一招生)
25. 實物在透鏡前30厘米，像亦在同一側，距鏡3厘米，其焦距幾何？係凹透鏡或凸透鏡？(27年武昌統一招生)
26. 離一幕前3尺遠，放置一洋燭，問離幕前何處應放置一會聚透鏡(焦距=8寸)俾幕上現一實像。(光華大學)

## 第四節 光器

### 1. 照相機

**構造**——要部爲一能自由伸縮的暗箱，箱前裝有凸透鏡，箱後立一磨砂玻璃板而成。

**作用**——由透鏡射入的光，在毛玻璃板上生實像，若換以感光性銀鹽製成的乾片，則像映在其上，即起化學作用，再以顯像液及定像液洗之，是爲底片，乾後，放在感光紙上，於日光下晒之，再浸入顯像液及定像液中洗之，即成照片。

**構造**——眼的構造與照相機相似，眼球的前面有一睛珠，其作用與透鏡相同，後面有網膜，和乾片相當，網膜上映成的像，刺激神經，即生視覺。

**明視距離**——使眼不感疲勞，又能得清晰視覺的距離，稱爲明視距離(Distance of distinct vision)。常人的明視距離約爲25厘米。

**眼的調節**——由有毛肌肉的節制以調準睛珠的曲率，使遠近物體的像，皆可映於網膜上而得顯明的視覺，稱爲眼的調節(Accommodation of eye)。

**近視** { **原因**——睛珠太凸或眼球過深，使像生在網膜的前面，不能刺激神經之故。此種缺點稱爲近視(Myopism)。

**補救法**——用凹透鏡將光線發散，使像生在網膜上。

## 2. 眼

### 眼病

- |       |   |
|-------|---|
| 遠視    | 原因——睛球太扁或眼球過淺，使像生在網膜之後，不能刺激神經之故。此種缺點稱為遠視(Hypermotropism).                       |
|       |   |
| 散光    | 原因——睛球或角膜之曲率半徑各處不相等，即無真正之球面時，則所生之像各方不能同樣明晰，且物體上一點之像成爲一短線。此種缺點稱為散光(Astigmatism). |
|       | 補救法——用柱形透鏡作爲眼鏡。   |
| 眼鏡之度數 | 舊法——度數等於焦距之英寸數。   |
|       | 新法——度數等於焦距米數之倒數，度數愈大，其折光本領愈大。   |

**光角**——二眼同時注視於物體上的一點，此點與二眼的連結線所成的夾角，稱為光角(Optical angle)。由光角的大小，可以判斷物體的遠近。

**視角**——觀察物體時，由物體的兩端引至一眼的二直線所成的夾角，稱為視角(Vi-sual angle)。凡與眼等遠的物體，可由其視角的大小以判別其大小，視角的大小，與物體的遠近有關，故遠處之物，視之較近處爲小。

**3. 幻燈**——用透鏡聚集強燈光射至畫片上，通過畫片的光，再用另一透鏡造成放大的像，映於幕上。



4. 電影——用連續運動體的逐漸變動的照片，在幻燈上以一定的速度連續映出，則因人目之暫留作用，不覺其間斷，故和實物的運動一樣。

5. 放大鏡 { 作用——將物體放在凸透鏡的焦點以內，即生放大的虛像。  
放大率——像的大小和實物大小的比，稱為放大率。設放大鏡的焦距為  $f$ ，則

$$\text{放大率} = \frac{25}{f}.$$

6. 顯微鏡 { 構造——用焦距很短的凸透鏡為物鏡，和焦距較長的凸透鏡為目鏡，各裝在金屬圓筒的兩端而成。

原理——將微小物體放在物鏡的焦點以外少許，則生一放大實像，使此像在目鏡的焦點以內，再行擴大，即成更大的虛像。

放大率——設金屬圓筒的長為  $l$ ，物鏡的焦距為  $f_1$ ，目鏡的焦距為  $f_2$ ，則

$$\text{放大率} = \frac{25l}{f_1 f_2}.$$

構造——用焦距很大的凸透鏡為物鏡，和焦距較小的凸透鏡為目鏡，裝在能伸縮長短的金屬圓筒的二端而成。

原理——將遠處的物體由物鏡造一實像，伸縮目鏡，使像在目鏡的焦點以內，藉目鏡的擴大，成一擴大的虛像。

7. 望遠鏡

放大率——天文望遠鏡的放大率，為物鏡的焦距和目鏡的焦距的比，即

$$\text{放大率} = \frac{\text{虛像的視角}}{\text{物體的視角}} = \frac{\text{物鏡的焦距}}{\text{目鏡的焦距}}$$

伽利略望遠鏡——將天文望遠鏡的目鏡改用凹透鏡，則由物體射來的光，通過物鏡以後，於造成實像以前，即被凹透鏡所發散，而成與物體同方向的擴大虛像，此即為伽利略望遠鏡(Galileo telescope)。

## 第五節 光的色散

定義——日光射至三稜鏡，經折射後，現出一列美麗的顏色，這種現象，稱為光的色散(Dispersion)。

日光的色——日光經稜鏡分散後，現紅、橙、黃、綠、藍、靛、紫七色，且依次排列。

複光與單光——由各色光合成的光，稱為複光(Compound light)，如日光、燈光等是；各種色光若再經稜鏡折射，而不再起分散現象的，稱為單光(Monochromatic light)。

### 1. 色散

成因——日光射到空中的水滴，在水滴裏面全反射後，再向外折射，最後折射線和入射線成 $42^\circ$ 角方向上的水滴呈紅色，若成 $40^\circ$ 角方向上的水滴，則呈紫色，其餘各色排列其間，在人目處成同一角度的水滴，都呈同種顏色，故所見的虹常成環狀。

虹

位置——現於太陽反對的方向。

種類 { 虹——日光射至水滴內，經一次全反射而成的，即為一次虹(Primary rainbow)或單種虹。紅色在外，紫色在內。

霓——日光射至水滴內，經二次全反射而成的為二次虹 (Secondary rainbow)或稱霓。各色排列的次序，和虹相反，折射线和入射线成 $51^\circ$ 的為紅色，成 $54^\circ$ 的為紫色。

定義——日光七色依次排列而成的色帶，稱為光譜(Spectrum)。

種類 { 連續光譜

{ 定義——光譜中各色連續排列，不稍間斷，稱為連續光譜 (Continuous spectrum)。

{ 發生物體——高溫度的固體、液體、都生連續光譜。(如蠟燭、電燈的光譜。

種類 { 明線光譜

{ 定義——光譜中含有特別顯明的明線，稱為明線光譜(Bright line spectrum)。

{ 發生物體——灼熱的蒸汽或氣體所發的光譜，都是明線光譜。各種元素的明線條數、顏色、位置都不相同。

{ 定義——由較低溫度的蒸汽吸收，使光缺少一部分的光譜，稱為

## 2. 光 譜

吸收光譜 } 吸收光譜(Absorption spectrum).

發生物體——太陽光譜即是，其中的黑線，稱為夫牢因和斐線  
(Fraunhofer's line).

克希荷夫(Kirchhoff)定律——一切物質在低溫度時，所吸收的光，即為其自身灼熱時所發的光。

### 3. 物體的色

不透明體的色——日光射到不透明體時，該物即依其特性反射某色光，吸收其餘各色的光，該物即呈某色。如紅布反射紅光，吸收其餘各色，故呈紅色。

透明體的色——日光射到透明體時，該物即依其特性折射某色光，吸收其餘各色，該物即呈某色。如紅玻璃只折射紅色光，而吸收其餘各色，故呈紅色。

白色物——將各色的光，完全反射。

黑色物——將各色的光，完全吸收。

### 4. 光混的合

原色——一切顏色均可由紅綠與紫三色，適當混合組成，此三色稱為原色(Primary colors)。如紅與綠配合成黃色，綠與紫成孔雀藍，紫與紅成紫紅。

互補色——任何二色混合能生白色，稱為互補色(Complementary colors)。如黃與藍 綠與紫紅 綠與藍等混合，均成白色。

### 5. 顏料

顏料的色——顏料所呈的色，為顏料所不能吸收而被反射的色光。

**顏料的混合**——各種顏料混合後，能反射其各不吸收的色光，其餘各色全被吸收，即成爲某色的顏料。例如黃色顏料能反射綠、黃、橙等色，吸收其餘各色，藍色顏料能反射綠、藍、紫等色，吸收其餘各色。此二種顏料混合後，只反射出綠色光，其餘均被吸收，即成綠色顏料。

## 6. 透鏡之色差

**定義**——單透鏡所生之像，各色分列，不能相合，呈現彩色之邊緣，此現象稱爲**色差** (Chromatic aberration)。

**消除法**——若用冕玻璃之凸透鏡，與火石玻璃之凹透鏡合併，透鏡之色差即可互相抵消，稱爲**消色差透鏡** (Achromatic lens)。

## 7. 特別光

**螢光**——某種物體，受日光照射時，即吸收日光，而發出一種特殊的光，稱爲**螢光** (Fluorescence)。若將入射光線除去，螢光立即消滅。發螢光的物體，稱爲**螢光體**。如鈾的鹽類及鉑氰化銀等。

**燐光**——某種物體，受日光照射後，移置暗處，即發生特殊的光，稱爲**燐光** (Phosphorescence)。發燐光的物體，稱爲**燐光體**。鈣、鋁、銀等的硫化物爲最佳的燐光體。

**定義**——光線、熱線、化學線，總稱爲**輻射線** (Radiant ray)。

**光線**——光譜中由紅至紫的部分，爲人眼能生感覺的光，稱爲**可見光譜** (Visi-

## 8. 輻射線

### 種類

ble spectrum), 或光線(Light), 以黃色對眼的感覺爲最強, 漸近紅紫二端, 則次第減弱。

**熱線**——光譜中紅光的外面, 尚有一種折射率較小, 人目不能看見的部分, 熱作用很強, 稱爲熱線(H a ray), 或紅外線(Infra-red ray)。

**化學線**——光譜中紫光的外面, 尚有一種折射率較大, 人目不能看見的部分, 化學作用很強, 稱爲化學線(Actinic ray), 或紫外線(ultraviolet ray)。

## 習題二十二

1. 問光譜之種類有幾? 太陽光譜中之黑線因何而成?(國防醫學院)
2. 黃色光與藍色光相合則成白色光, 而黃色顏料與藍色顏料相合則呈綠色, 其故安在?(四川大學)
3. 如何使白光分散而成光譜? 試述太陽光譜之形式?(南開大學)

## 第六節 光之本性

**微粒說**——爲十七世紀牛頓所創, 其說以爲發光體發出多數極小之微粒, 以極大之速度向四面八方射出, 卽生光之現象, 微粒射入人目, 卽生視覺, 以此說可解釋

光之直進、反射、折射及色散等現象，但不能解釋干涉、繞射、偏化等現象。此爲光之微粒說(Corpuscular theory)。

### 1. 光學之說

**波動說**——爲與牛頓同時的荷蘭學者惠更斯(Huygens)所創，其說以爲宇宙間無論何處，即在真空或物質之內部，均有一種極輕而富於彈性之物質，稱爲以太。發光體分子之振動，傳至以太，使以太發生一種橫波，向四周發散，即生光之現象，傳至人目，即生視覺，以此說可解釋光之反射、折射、色散、干涉、繞射、偏光諸現象，此爲光之**波動說**(Wave theory)。

**電磁說**——爲 1864 年英人馬克斯威爾(Maxwell)所創，其後十餘年，爲德人赫茲(Hertz)以實驗證實其說，以爲光波爲電磁波之一種，由於發光體內電子之振動而生。此爲光之**電磁說**(Electromagnetic theory)。

**2. 光色與頻率之關係**——不同的光色是由於發光體振動的頻率而定，紅色光之頻率爲最小，紫光最大，但因各色在真空中之傳播速度均相等，故色亦可視爲由波長而定，紅光波長爲0.000068厘米，紫光波爲0.000040厘米。

**3. 波長之單位**——光波之波長均極短，通常以 $10^{-8}$ 厘米作爲單位，稱爲埃斯特稜(Angstrom)，簡稱埃，以A.U.表之。

(**定義**——兩光源在一點所生之亮度，有時加強，有時減弱，發生明暗現象，稱爲**光之**

4. 光干涉
- 干涉(Interference).
- 原因——若二光波之行程相差一波長或其整倍數時，二波之相位相同，其光加強，若二波行程之差為半波長或其奇數整倍數時，則二波相位相反，光即互相抵消，即呈明暗條紋之干涉現象。
- 薄膜之色——雲母片，貝殼片，肥皂泡及水面之油滴均呈彩色，其彩色隨膜之厚薄而變，即為光之干涉現象，當光射至膜之表面時，則一部分反射，一部分折射入膜內，在膜之裏面，又起反射，入空氣中與空氣中之反射光相混合，生干涉作用，使一部色光相消，一部色光加增，即呈美麗之彩色。
5. 光繞射
- 定義——光線能折入物體之角隅，而入其陰影內之現象，稱為光之繞射 (Diffraction)。
- 現象——通過狹縫之光線，使映於幕上，則中央明亮部分之境界面不甚清晰，且兩旁暗處生有彩色條紋，但光之波長極短，非用極小之障礙物，不能見繞射現象。
- 原因——繞射現象，乃為由同一波前中隣近各點所發生之副波，因而起互相干涉之作用。
6. 雙折射——置方解石於字畫上，可見兩層像，此因光線穿過方解石時，在結晶體內的折射線，分為二條之故，此現象稱為雙折射 (Double refraction)。其中一條，依折射定律進行，



稱爲尋常光線，其他一條，不依折射定律，稱爲非常光線。如旋轉方解石於紙上，則尋常光線不動，非常光線繞前者爲軸而轉動。

7. 偏光 {
- 定義——通過熱電石之光，其各以太分子振動之方向，常在與熱電石之軸平行之平面內，此種特殊之光，稱爲偏光(Polarized light)。
  - 原因——因光爲以太內之橫波，其振動方向與波之進行方向垂直，且在進行方向之直角平面內，隨時不斷改換其方向，若遇熱電石時，則其振動方向與軸垂直之波，被石吸收，祇能通過與軸平行部分之波，卽爲偏光。

### 習題二十三

1. 音波與光波有何區別？(國立英士大學，陸軍機械化學校，  
北平鐵道管理學院，南開大學)
2. 試述薄膜之色，並說明油滴在水面呈彩色之原由。(國立浙江大學)
6. 試舉橫波及縱波之例各兩種。(22年重慶統一招生)

# 第六章 電磁學

## 第一節 磁學

**磁性**——具有吸引鐵及定向的性質，稱為**磁性**(Magnetism)。

**磁鐵**——有磁性的物體，稱為**磁鐵**(Magnet)。

**磁化**——使物質帶磁性的作用，稱為**磁化**(Magnetization)。

**定義**——磁鐵上磁性較強之處，稱為**磁極** (Magnetic pole)，指北的一端，稱為**指北極** (North seeking pole)，簡稱**北極**(North pole)，以N表之。指南的一端，稱為**指南極** (South seeking pole)，簡稱**南極** (South pole)，以S表之。兩極連接的直線，稱為**軸**(axis)。

**作用定律**——同性磁極，互相推斥。異性磁極，互相吸引。

磁極

**磁力**——二磁極間引斥的力，稱為**磁力**(Magnetic force)。

**磁量**——磁極所具有磁的分量，稱為**磁量**(Magnetic flux)。由磁力的多少，可比較磁量的多少。同一磁鐵的兩極，其性質雖相反，而磁量數值則相等。

**磁極強度** { **定義**——磁極所有的磁量，稱為**磁極強度** (Pole strength)。簡稱**極強**。

### 1. 磁鐵

【單位——兩個磁量相等的磁極，在真空中，相距1厘米時，其相互作用力為1達因，則兩極的強度各為1單位磁極。

- 種類
- 天然磁鐵——天然產出的磁鐵礦( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )具有磁性，即為天然磁鐵(Natural magnet)。我國古代所發明的指南車，是用這種鐵礦所造成。
  - 人造磁鐵
    - 製法——用鋼線經磁化作用而成的磁鐵，稱為人造磁鐵(Artificial magnet)。
    - 種類
      - 棒形磁鐵——形如一棒。
      - 蹄形磁鐵——彎曲成馬蹄形狀。
      - 磁針——兩端尖銳，成一細針。

2. 庫倫定律
- 定律——兩磁極間的作用力和兩極磁量的乘積成正比，和兩極的距離平方成反比。
  - 公式——設作用力為 $F$ ，兩極的磁量各為 $m, m'$ ，兩極的距離為 $r$ ，則

$$F = \frac{mm'}{kr^2}. \quad (\text{式中} k \text{ 爲一常數})$$

定義——磁鐵周圍磁力所及的空間，稱為磁場(Magnetic field)。

定義——單位北極在磁場內某點所受的磁力，稱為該點的磁場強度。(Strength of magnetic field)。

公式I——設磁場內某點所置小磁鐵的磁量為 $m$ ，其作用力為 $F$

## 3. 磁場

磁場強度 { 公式 } 達因, 該點的磁場強度為  $H$ , 則:  $H = \frac{F}{m}$ .

公式II——在一介質中距離磁量為  $m'$  的磁極  $r$  厘米處, 其磁場強度為  $H$  則:  $H = \frac{m'}{kr^2}$ .

單位——在 C.G.S. 制中磁場的單位為高斯 (Gauss).

磁場方向——磁場內某點磁力的方向, 即為該點的磁場方向 (Direction of magnetic field).

磁力線 { 定義——一個單位北極放在磁場內、受其引斥力的作用, 使其依一定方向移動所經過的路線, 稱為磁力線 (Magnetic lines of force).

磁力線的假定——法拉第假定磁力線由磁鐵的北極發出而入於南極, 在空間的磁力線其作用若一彈性的線有沿其長度縮短的趨勢, 且各線均有向側旁排斥其他力線的作用.

磁力線數——設磁力線數為  $N$ , 磁極的磁量為  $m$ , 則  $N = 4\pi m$ .

以磁力線表示磁場強度——與磁力線垂直的單位面積上所通過的磁力線數, 即為該點的磁場強度, 設磁極所發的總力線數為  $N$ , 距離為  $\gamma$  則

$$H = \frac{N}{4\pi\gamma^2}.$$

(力偶矩——置磁鐵於均勻之磁場  $H$  內, 設磁極的磁量為  $m$ , 磁鐵與磁場方向成  $\theta$  角,

4. 力偶矩  
與磁矩

則兩極各受磁力  $Hm$  之作用，方向相反，成爲力偶，使磁鐵轉動，若磁鐵之長爲  $l$ ，則此力偶矩  $L$  爲： $L = Hml \sin \theta$ 。

磁矩——磁鐵一極之磁量與兩極間距離相乘之積，稱爲磁鐵之磁矩 (Magnetic moment)。

5. 磁棒的  
磁場強度

磁鐵軸上一點之強度——設  $M$  爲磁矩， $d$  爲磁棒中央至該點之距離，則該點之強度爲  $H_h$ ，則： $H_h = \frac{2m}{d^3}$ 。

磁鐵中心垂直線上一點之強度——設該點之強度爲  $H_v$ ，則： $H_v = \frac{m}{d^3}$ 。

6. 兩磁場的效應——設兩互相垂直之均勻磁場的強度各爲  $H$  及  $G$ ，磁針之軸與  $H$  成  $\theta$  角，則

$$\tan \theta = \frac{G}{H}.$$

磁感應——凡物質放在磁場內，而發生磁化，變成磁鐵的現象，稱爲磁感應 (Magnetic induction)。和原磁極相近的一端爲異性極，其較遠的一端爲同性極。

## 感應磁鐵

永久磁鐵——鋼鐵受磁感應後，磁性不易消失，稱爲永久磁鐵 (Permanent magnet)。

暫時磁鐵——軟鐵受磁感應時，得有磁性。若離去磁場，磁性即消失，稱爲暫時磁鐵 (Temporary magnet)。

## 7. 磁感應

鐵磁體——易被磁鐵所吸引的物質，稱爲鐵磁體 (Ferromagnetic body)

- 磁性物質 { 如：鐵、鋼、鎳、鈷等。
- 順磁體——略被強磁鐵所吸引的物質，稱為順磁體 (Paramagnetic body). 如鉑、鋁、錳、氧、空氣等。
- 反磁體——與強磁鐵微有排斥作用的物質，稱為反磁體 (Diamagnetic body). 如鈹、銻、金、銀、銅、鉛、水銀等。
- 磁鐵製法 { 摩擦法——取鋼鐵棒橫置於桌上，用強磁鐵的一端，從鋼鐵棒的一端向他端摩擦三四十次，再將鋼棒翻轉，仍以同法摩擦三四十次即成。
- 電流法——將鋼鐵棒放於線圈圓筒中，通強電流於線圈的兩端，則鐵棒即變成磁鐵。於是暫時停止通電，繼又通以電流，這樣繼續數次，即成強力的磁鐵。

8. 磁的理論 { 創立人——法人安培首創，德人韋韋 (Weber) 及 英人愛文 (Ewing) 修正之。
- 學說——任何鐵的內部分子都為永久磁鐵。在尋常狀況時，各分子磁鐵，排列無序，其各磁性彼此相消，所以全體並不表示磁性。若將此鐵移至磁場內，則內部的磁分子受磁場的作用，整齊排列，鐵的中央部分，磁分子的作用互相抵消，其兩端顯出未中和的磁極，即一端為北極，另一端為南極。

(地磁——十六世紀英人吉伯爾 (Gilbert) 證明地球為一磁鐵，北磁極在南半球地理

南極的附近，南磁極在北半球地理北極的附近，故磁針的指南北方向，是由地磁的作用。

## 9. 地磁

## 地磁之要素

**磁傾角**——地磁力的方向與水平方面所成的角，稱為磁傾角 (Inclination). 地球表面磁傾角相等的地點聯成曲線，稱為等傾線 (Isoclinic lines).

**磁偏角**——磁針所指的方向與正北方所成的角，稱為磁偏角 (Declination). 磁偏角相等的地點，聯成曲線，稱為等偏線 (Isogonic lines).

**水平分力**——地磁力在水平面上的分力，稱為水平分力 (Horizontal component).

**三要素之用途**——設  $\theta$  為磁傾角， $\delta$  為磁偏角， $H$  為水平分力，則地磁力的方向，可由  $\theta$  與  $\delta$  定之。其大小之值  $T$  當為

$$T = \frac{H}{\cos \theta}.$$

**地磁的變化**——磁極的地位，年年漸漸移動，至於移動的原因，現在尚未明瞭。

**羅盤**——利用磁針之指向性，指示方向的儀器。

## 題習二十四

1. 有一棒形磁鐵，不知其正負極，試舉二方法，以測定其正負極。(山東大學)

## 第二節 靜電

### 1. 電

**定義**——凡物體經摩擦而具有吸引輕物的現象，稱為帶電。這種物體稱為帶電體。

**起電**——使物體帶電的現象，稱為起電(Electrification)。

#### 種類

**名稱**——電有陰陽或正負二種，科學家公認用絲絹摩擦過的玻璃棒上所帶的電，稱為陽電，或正電(Positive electricity)。用法蘭絨擦過的火漆棒上所帶的電，稱為陰電或稱負電(Negative electricity)。

#### 作用

1. 同性的電，互相排斥，異性的電，互相吸引。
2. 帶電體所帶的陰電或陽電，均能吸引不帶電體。
3. 一物體內陰陽電同強者則中和。
4. 同性電相遇，增強其作用力，異性電相遇，則減弱其作用力。

#### 電量

**定義**——帶電體所帶電的分量，稱為電量(Quantity of electricity)。

#### 單位

**C.G.S靜電單位**——同性相等的二電量，在真空或空氣中相隔一厘米，相互間的作用力為一達因，則任何一方面的電量可定為電量的單位，稱為電量的C.G.S靜電單位。



實用單位 { 庫倫——取C.G.S靜電單位之 $3 \times 10^9$ 倍為實用單位，稱為  
庫倫(Coulomb).  
微庫——庫倫的百萬分之一，稱為微庫(Microcoulomb).

電的分布——由實驗得知電荷散布於導體的外表面，且在導體的角及其凸出之處，即表面曲率愈大之處 電荷的密度為最大。導體表面單位面積上的電量，稱為電荷密度(Surface density of charge)。

2. 導體與非導體——能傳導電的物體，稱為導體 (Conductor)；如金屬，不能傳導電的物體，稱為非導體(Nonconductor)，或稱絕緣體(Insulator)。如玻璃、火漆等。

3. 驗電器 { 構造——一個玻璃瓶的中間，插一金屬棒，棒的下端貼兩張金箔，上端有一金屬球。  
原理——帶電體與驗電器的金屬棒接觸，則電即傳至下端的金箔上，因兩箔所帶的電相同，以同性相斥關係，兩箔張開。  
用途——檢驗物體的帶電及其性質。

4. 庫倫定律 { 定律——兩帶電體間的相互作用力，和帶電體的電量乘積成正比，和其間距離的平方成反比。  
公式——設兩帶電體的作用力為 $F$ ，電量各為 $e, e'$ ，兩帶電體間的距離為 $r$ ，則

$$F = \frac{1}{k} \cdot \frac{ee'}{r^2}.$$

$k$  爲介質常數，其值視電荷間的介質而定，在真空或空氣中  $k=1$ 。

## 5. 電的論

### 流體說

一流說——爲佛蘭克林(Franklin)所創。他將二流說加以修正，以爲流體只有一種，一切物體都含相當的分量。如二物體相摩擦，則一物體的流體，即流至他物體，結果一物體所餘的流體比通常少，爲帶陰電。他物體的流體比通常多，爲帶陽電。

二流說——爲1870年以前的舊說，創自辛麥(Symmer)。以爲陰陽兩電都是無重量的流體，性質相反，且同種流體相斥，異種流體相吸，一切物體在自然狀態時，都同時含有等量的這兩種流體，使成中和，不現帶電性質，但一經摩擦，則陽電移至一物體，陰電移至他物體。即成一帶陽電，一帶陰電。

介質說——此說爲法刺第(Faraday)所創，經馬克斯威爾(Maxwell)及赫芝(Hertz)所證實，盛行於1870—1900年間。以爲一切電磁現象，都是周圍的介質發生的變化，此介質假定存在於一切的空間，稱爲以太(Ether)。

電子說——爲本世紀盛行的學說。一切物質的原子，都由於帶陽電的核，和數個帶陰電的電子所組成，電子環繞核而旋轉，如行星的繞日而行相同，一原子中電子的總量，與其核的陽電量相等，故原子成中性。若其所含的電子數比平常狀

態爲少，則該物體帶正電，其所含電子數比平常狀態爲多，則帶陰電。至於物體的種類不同，是由原子中所含電子數的不同之故。

**定義**——導體與帶電體接近時，即起帶電現象。和帶電體相近的一端生異性電，和帶電體較遠的一端，生同性電，此現象稱爲靜電感應 (Electrostatic induction)。被感應體上之正負電荷爲等值，但不能等於帶電體之原有電量。

**放電** { **火花放電**——相近而不相接觸的陰陽兩電，如積聚得很多時，則這兩電即衝破空氣發生火花而中和，此現象稱爲火花放電 (Spark discharge)。  
**尖端放電**——帶電的尖端導體，尖端部分帶電的密度很大，在近傍的微塵，因感應作用被導體吸引，一和尖端接觸，即受有同種電，故又被斥，因之尖端上的電漸漸消失，此現象稱爲尖端放電 (Point discharge)。

**構造**——起電盤 (Electrophorus) 的構造，分爲二部分，一部分是附有玻璃柄的金屬板，另一部分是一個硬橡皮盤或火漆盤。

**起電盤** { **原理**——硬橡皮盤或火漆盤經貓皮或法蘭絨摩擦後，盤面即帶陰電，盤面雖似平滑，但實際上是凹凸不平的，故當金屬板置於盤上時，其接觸點只有數處，其餘部分都隔着一層空氣，而硬橡皮又爲絕緣體，只有接觸點小部份的電，能傳至金屬板，其餘仍保留在盤面，金屬板因受

其感應作用，下面帶陽電，上面帶陰電，以手接觸板面，使板上的陰電經人身而導地，移開手指，再舉起金屬板，則板上都帶陽電了。

用途——利用靜電感應以發生多量的電。

構造——起電機(Electric machine)的前後，有兩塊可以在反對方向轉動的玻璃或硬橡皮圓板，各板的外側，貼有許多細長的錫箔，板的兩外側，各有一個金屬棒和水平面成 $45^\circ$ 的角，兩棒互相垂直，棒的兩端各附有金屬毛刷，和板相接觸，板的左右各有一對金屬櫛，和板的邊緣相接近，但不接觸，兩櫛由金屬棒與兩極相連接。

原理——在圖28中，內圓表前板，外圓表後板，當兩板各向箭形方向旋轉時，因錫箔和空氣及塵埃相摩擦，已帶有微量的電，假定A帶有小量的陽電，則毛刷 $n_1$ 及與其相觸的錫箔由感應而帶陰電，於 $n_2$ 及與之相觸的錫箔發生陽電，當和 $n_1$ 一度接觸的錫箔，轉至 $n_3$ 相對之處時，則 $n_3$ 因感應而帶陽電， $n_4$ 生陰電。上半段的前板上錫箔，恆生陰電，後板生

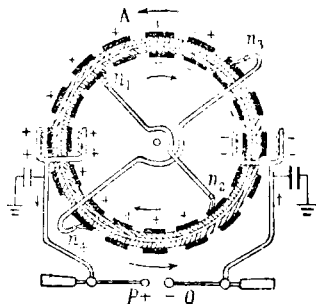


圖 28

起電機

## 6. 靜電感應

陽電，下半段正相反，在櫛的位置，前兩板所帶的電相同，所以左櫛由感應作用生陰電，則P極生陽電，右櫛生陽電，則Q極生陰電，因櫛的齒有尖端作用，與錫箔所帶的電相中和，結果只留極上的陰陽兩電而發生火花。

**用途**——利用感應作用，使連續發生多量的電。

**性質**——大氣中常帶有多量的電，晴天時常帶正電，雨天則帶電正負不定。

**雷電**——各帶陰陽電的兩雲互相接近，即衝破中間的空氣而放電，所發的聲音即是雷(Thunder)。所發的火花即為電閃(Lightning)。

**落雷**——帶電的雲和地面接近時，則地面因感應作用而生異性的電，愈積愈多，即起火花放電，就是落雷(Thunder strike)。

**避雷針**——此針的一端為尖銳的金屬棒，高出建築物之頂，他端通入地內。當帶電的雲和地面接近時，地面所生感應的電，密集於針端，由尖端作用，放射於空中，和空中的電相中和，即可免去落雷之患。

空中電

**定義**——帶電體的電力能到達的空間，稱為電場(Electric field)。

**電力線** { **定義**——小正電荷在電場內移動時所取之路徑，稱為電力線。

## 7. 電場

性質——電力線由正電荷發出，而終止於負電荷，有沿其長度縮短的傾向，且各線均有向側旁推斥其他電力線的作用。

電場強度 { 定義——一個帶單位陽電的物體 在電場內某點所受的電力，稱為該點的電場強度(Intensity of electric field).

公式 { 公式 I——設電場內某點所置的電量為  $q$  單位，其所受之作用力為  $F$  達因，該點的電場強度為  $H$ ，則

$$E = \frac{f}{q} .$$

公式 II——在一介質內距  $q$  單位電荷  $r$  厘米處，其電場強度  $E$  為

$$E = \frac{q}{kr^2} .$$

電力線表示法——電場強度亦可以與電力線垂直的單位面積上所通過電力線之數表之。

電場方向——電場內某點的電力方向，即為該點的電場方向(Direction of electric field).

## 第三節 電位與電容

定義——陽電由一物體傳至他物體，因為某種量有高低之故，此量稱為電位(Elec-

tric potential). 即陽電由高電位向低電位移動，愈近帶陽電物體處的電位愈高，愈近帶陰電物體處的電位愈低。

**電位差**——電場中兩點間電位的相差，稱為**電位差**(Potential difference)，或稱**電壓**，因其為驅陽電在導體內流動的原動力，所以亦稱**電動勢**(Electromotive force)。

**電位的標準**——實用上以地球為電位的標準，定為零電位，若導體和地球連接時，有正電荷由導體移至地球，或有電子自地球流向導體，即導體的電位高於地球，稱為**正電位**(Positive potential)。反之，有正電荷由地球移至導體，或電子由導體流至地球，即導體的電位，低於地球，稱為**負電位**(Negative potential)。若導體和地球連接，而電荷不移動時，則導體上不論是否有電，其電位為零。

## 1. 電位

**電位差與功**——兩點間的電位差，即以遷移一靜電單位正電荷由低電位至高電位所需之功表之。設兩點間的電位差為 $V$ ，移動的電量為 $q$ ，所需的功為 $W$ ，則

$$W = Vq.$$

**單位** { **靜電單位**——在電場內，由一點遷移1靜電單位正電荷於他點，若其所需的功為1爾格，則此二點間的電位差，稱為一靜電單位的電位差。  
**用實單位**——電位差的實用單位為伏特(Volt)。即1庫倫的電量在二點間移動所需的功為1焦爾時，則此兩點間的電位差為1伏特。

兩種單位的關係——1伏特 =  $\frac{1}{300}$  靜電單位的電位差。

電位的  
升降

近帶電體的效應——一帶電導體，移近另一正電體時，其電位升高，移近負電體時，其電位降低。

近接地導體的效應——一帶電導體，不論所帶電的正負，移近接地導體時，其和地面的電位差，即生減小的效應。

定義——使導體的電位升高一單位時所需的電量，稱為該導體的電容 (Capacity)。

公式——設電量為  $Q$ ，導體增加的電位為  $V$ ，導體的電容為  $C$ ，則

$$C = \frac{Q}{V}.$$

## 2. 電容

單位

靜電單位——用1靜電單位的電量，使導體增加1靜電單位的電位時，則此導體的電容，稱為1靜電單位的電容。

實用單位——電容的實用單位為法拉 (Farad)，即1庫倫的電量，使其電位升高1伏特時的電容。地球的電容只有0.007法拉，故以法拉為單位，實用上似嫌過大，故用百萬分之一 ( $\frac{1}{10^6}$ ) 法拉，為實用單位，稱為微法拉 (Microfarad)。

兩單位的關係——1法拉 =  $9 \times 10^{11}$  靜電單位的電容。



**介質常數** { **定義**——某介質間隔時的電容，與空氣間隔時的電容的比值，稱爲某介質的介質常數(Dielectric constant).  
**公式**——設某介質的電容爲 $C_m$ ，空氣的電容爲 $C_a$ ，介質常數爲 $K$ ，則

$$K = \frac{C_m}{C_a}.$$

**定義**——利用一種絕緣體，介於兩導體之間，以儲蓄多量電的裝置，稱爲容電器(Condenser).

**原理**——當導體A帶電後移近導體B時，則B受A的感應，因而亦帶電，介於A，B間異性電的引力，使A的電引至和B最近的地方，所以A可以容多量的電荷。

**定律**——容電器的容量和相對二導體的面積成正比，和二導體的距離成反比，且和二導體間的絕緣體的種類有關。

### 3. 容電器

種類

**來頓瓶**——此器爲一廣口玻璃瓶，瓶的內外貼以錫箔，由瓶口木塞中插入銅棒，棒的上端有銅球，下端垂以銅鏈與瓶內錫箔相連接，此器爲荷蘭來頓城最先應用，故稱爲來頓瓶(Layden jar).

**固定容電器**——此器體積小，效力大，爲若干層錫箔片，與蠟紙交互疊合，單數錫片連成一組，雙數聯爲另一組，其電容量爲一定。

**可變容電器**——此器爲二組半圓形的金屬片，交互排列，一組固定，一組裝

於轉動軸上，可以隨軸轉動，其電容量視相對面積的大小而定。

容電器的聯結

串聯

定義——將一容電器的陰片與第二容電器的陽片相聯，第二容電器的陰片與第三容電器的陽片相聯，稱為串聯 (Series connection)。

總電容——串聯總電容的倒數，等於各電容倒數的和。設各容電器的電容為  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ ，則

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

並聯

定義——將各容電器的陽片聯一起，陰片另聯結一起，稱為並聯 (Parallel connection)。

總電容——並聯總電容等於各電容的和，即

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

#### 第四節 動電

定義——電子在導電體內流動，稱為電流 (Electric current)。

電流方向——習慣上電流在電路中流動的方向，規定由正流到負，和電子流的方向相反。

## 1. 電流

**電子流**——電子在導線中流動的方向，是由負到正。

**電流強度** { **定義**——單位時間內，通過導線橫斷面的電量，稱為電流強度 (Intensity of electric current).

**公式**——設在時間  $t$  內，通過電量為  $Q$ ，電流強度為  $I$ ，則

$$I = \frac{Q}{t}.$$

**電流強度**

**單位** { **靜電單位**——每秒間流過 1 靜電單位的電量，稱為 1 靜電單位的電流。

**實用單位**——電流強度的實用單位為安培 (Ampere)。即導體每秒流過 1 庫侖電量的電流強度。

**兩單位的關係**——1 安培 =  $3 \times 10^9$  靜電單位的電流。

**定義**——電流通過導線時，導線即發生一種阻力，以阻止其流動，此阻力稱為電阻 (Electric resistance)。

**單位** { **靜電單位**——導線兩端的電壓為 1 靜電單位，通過的電流為 1 靜電單位時的電阻，稱為 1 靜電單位的電阻。

**實用單位**——電阻的實用單位為歐姆 (Ohm)，即導線兩端的電壓為 1 伏特，通過的電流為 1 安培時的電阻。又  $10^{-6}$  歐姆，稱為微歐姆 (Micro-ohm)。

兩單位的關係——1歐姆 =  $\frac{1}{9} \times 10^{-11}$  靜電單位的電阻。

法定歐姆——亦稱國際歐姆 (International ohm)。即電流通過長 106.3 厘米，截面積為 1 平方毫米，重 14.4521 克的水銀柱在 0°C 時所呈的電阻。

電阻定律 { 定律——導線的電阻，與導線的長度成正比，與其截面積成反比。  
 公式——設導線的長為  $l$  厘米，截面積為  $s$  平方厘米，電阻為  $R$  歐姆，則  

$$R = \rho \frac{l}{s}$$
  
 電阻係數——上式的  $\rho$  為比例常數，其值由導線的種類而定，稱為電阻係數或比阻 (Specific resistance)。各種物質的電阻係數等於 1 立方厘米的立方體在其相對兩面間所呈電阻的歐姆數。

## 2. 電阻

電阻的溫度係數 { 定義——溫度每變更 1°C，單位電阻所增減之值，稱為電阻的溫度係數 (Temperature coefficient of resistance)。  
 公式——設  $\alpha$  為溫度係數  $R_0$  為 0°C 之電阻  $R_t$  為  $t^\circ\text{C}$  之電阻，則  

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 t} \quad \text{或} \quad R_t = R_0(1 + \alpha t)$$

串聯 { 定義——將若干導線順次聯結，使電流次第由其中通過，稱為串聯導線，如圖 29。  
 全電阻——串聯導線的全電阻，等於各導線電阻的和，即

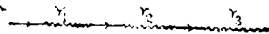


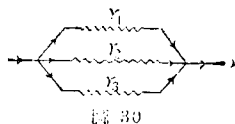
圖 29

電阻聯法

並聯

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n.$$

定義——將若干導線並列聯結，使電流同時通過各導線，稱為並聯導線，如圖30。



全電阻——並聯導線的全電阻的倒數，等於各導線電阻的倒數的和，即

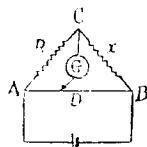
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots + \frac{1}{r_n}.$$

電阻量法

惠斯登電橋

安計伏計法——將要測的電阻和安計串聯，和伏計並聯，將測得的電流和電壓數相除，即得電阻的歐姆數。

電橋要部——惠斯登電橋 (Wheatstone bridge) 的要部為一等粗的導線AB(圖31)，電阻箱R，欲求的電阻x，電表G。當電路通時，電流由A處分成AD, AC兩路，移動D使無電流通過G，則C, D兩點的電位相等，所以G的指針不動。



計算公式——
$$\frac{R}{x} = \frac{\text{距離 } AD}{\text{距離 } BD}.$$

定義——物質所呈電阻的倒數，稱為電導(Conductance)。

3. 電導

單位——電導的單位為姆歐(Mho)，即將歐姆倒寫。1姆歐 =  $\frac{1}{1 \text{ 歐姆}}$ 。

電導係數——電阻係數的倒數，即 $\frac{1}{\rho}$ 。稱為電導係數，或比電導 (Specific conductance)，即為長1厘米，橫截面1平方厘米的導體所有的電導。

4. 歐姆定律 { 定律——導線內電流的強度，與其兩端的電壓成正比，與導線的電阻成反比。  
公式——設電流為  $I$  安培，電壓為  $E$  伏特，電阻為  $R$  歐姆，則

$$I = \frac{E}{R}$$

5. 電位降落 { 定義——導線上有連續電流通過時，其各點的電位漸次順電流方向而降落，如此任何兩點間的電位差，稱為電位降落 (Potential drop)。  
公式——二點間的電位降落  $V$ ，等於二點間的電阻  $R$ ，和通過其間的電流  $I$  的乘積，即

$$V = IR$$

6. 分路電流 { 定義——諸電阻並聯時，則每一電阻對於其他電阻，稱為分路 (Shunt)。  
定則——一電阻上接一分路後，則此電阻上通過的電流，即為原電流的分數。其大小可由分路電阻的配置而確定。  
公式——設原電流為  $I$ ，通過電阻  $R_g$  的電流為  $I_g$ ，通過分路  $R_s$  的電流為  $I_s$ ，則

$$I_g = \frac{R_s}{R_s + R_g} I$$

- 定義——將兩種不同導體，放在電解質的溶液中，利用化學作用而得繼續不斷的電流的裝置，稱為電池 (Cell)。電位高的導體為陽極板 (Positive plate)，低的為

陰極板(Negative plate).

原理——兩金屬浸入電解液中，則因化學作用，使其一的電位高於其他。例如將銅片及鋅片插入稀硫酸溶液中，鋅分子即溶為陽離子，與溶液中的陰離子 $\text{SO}_4$ 結合成 $\text{ZnSO}_4$ ，故鋅片帶陰電，電位下降，而 $\text{H}$ 離子即附於銅片上，使銅片帶陽電，電位升高，因之即能趨電子在導體內流動。

障礙

極化作用

成因——電池中因化學作用而生的氫，附着於陽極上，氫氣泡為不良導體，故能增加電池的內阻而降低電動勢。且陽極不啻變成氫板，其電位低於陰極，即生一反電動勢，使電池減弱，此現象稱為極化作用(Polarization)。

去除法

化學法——加入氧化物於陽極附近，使其和氫化合以除去，如乾電池的二氧化錳，即為去除極化作用的去極劑(Depolarizer)。

素瓷筒法——將二極分別插入素燒瓷筒及瓷瓶中，使瓶內發生的氫，進入素燒筒內與其溶液化合以除去之。

成因——普通的鋅，大部含有鐵質，在硫酸中，鐵對於周圍的鋅

## 局部電流

發生小電流，由鐵至鋅，經液內而返鐵，成一小電路，使鋅受無謂的損失，此小電流，稱為局部電流(Local current)。

去除法——以水銀塗於鋅板上，鋅即溶成汞齊，鐵不能有此作用。故被其包圍在內，不能與硫酸接觸，且將隨鋅的消蝕而脫落，即可免去局部電流。

內阻力——電池兩端的電位差，常較其電動勢為小，此因電池之內部也有電阻之故，此電阻稱為電池之內阻(Internal resistance of cells)。

端電壓 { 定義——電池兩端之電壓，稱為端電壓(Terminal voltage)。  
公式——設電池之電動力為  $E$ ，內阻為  $r$ ，外阻為  $R$ ，則

$$IR = E - Ir.$$

$IR$  即為電池之端電壓。

## 串聯

定義——將數個電池中的每電池的陰極和他電池的陽極順次聯結，稱為串聯(Connection in series)。

串聯的電流——設電池的電動力為  $E$  伏特，內阻為  $r$  歐姆，導線的電阻為  $R$  歐姆，電池數為  $n$  個，總電流為  $I$  安培，則

$$I = \frac{nE}{R + nr}.$$



聯結法

並聯

應用——外阻大於內阻時，用此種聯結可得最大電流。

定義——將數個電池的陽極聯結一起，陰極聯結另一起，稱為並聯  
(Connection in parallel).

並聯的電流—— $I = \frac{nE}{nR+r}$ .

應用——外阻小於內阻時，用此聯結可得最大電流。

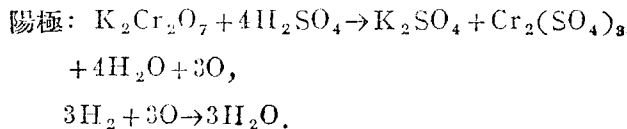
混聯——設 $n$ 個電池中有 $p$ 個串聯為一組，作 $q$ 組的並聯，其總電流為

$$I = \frac{nE}{qR+pr}$$

構造——玻璃瓶內盛重鉻酸鉀12分，水100分，硫酸25分，插炭板為陽極，汞齊鋅板為陰極。鋅板可以升降，電池不用時，須將鋅板提起以免消耗。此種電池，稱為重鉻酸鉀電池(Bichromate cell)。

重鉻酸鉀電池

化學反應——陰極： $3H_2SO_4 + 3Zn \rightarrow 3ZnSO_4 + 3H_2$ .



電動勢——約為2.1伏特。

構造——內瓶為一素燒瓷筒，盛水12分，硫酸1分，內插鋅汞齊板為陰極。

丹聶爾電池

外瓶為瓷器或玻璃，盛稀硫酸銅的溶液，並插圓形銅板為陽極。此種電池稱為丹聶爾電池(Daniell cell)。

化學反應——陰極： $Zn + H_2SO_4 \rightarrow ZnSO_4 + H_2$ ，

陽極： $H_2 + CuSO_4 \rightarrow H_2SO_4 + Cu$ 。

電動勢——約為1.1伏特。

勒克蘭社電池

構造——內瓶為素燒筒，裝二氧化錳與炭粉之混合物，中插炭棒為陽極。外瓶為瓷器或玻璃，盛氯化銨的溶液，並插未齊鋅棒為陰極。此種電池，稱為勒克蘭社電池(Laclanche cell)。

化學反應——陰極： $Zn + 2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2 + 2NH_3 + H_2$ ，

陽極： $H_2 + 2MnO_2 \rightarrow Mn_2O_3 + H_2O$ 。

電動勢——約為1.5伏特。

8. 原電池

乾電池——為勒克蘭社電池的變形，以鋅筒為陰極，內盛二氧化錳、炭粉及氯化銨溶液等混合而成的糊狀物，中插炭棒為陽極。

本生電池

構造——瓷瓶或玻璃瓶內盛稀硫酸，中插圓筒形的鋅板作為陰極，鋅板之內置一素燒筒，中盛濃硝酸，插一炭板為陽極。此種電池，稱為本生電池(Bunsen cell)。

化學反應——陰極： $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$

陽極： $\text{H}_2 + 2\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}_2$

電動勢——約為1.9伏特。

葛拉克池

構造——在H形的玻璃管的一管中，裝以水銀為陽極，水銀上有膠狀硫酸汞( $\text{Hg}_2\text{SO}_4$ )。另一管底裝汞齊鋅板為陰極，兩管中更注入硫酸鋅的飽和溶液為電解液，內放有過量的硫酸鋅晶體，兩柱封入鉛絲使和管外相通，此種電池，稱為葛拉克電池(Clark cell)。

電動勢——在 $15^\circ\text{C}$ 時為1.433伏特，在 $t^\circ\text{C}$ 時，則 $E = 1.433 - 0.00119 \times (t - 15)$ 伏特。

衛斯吞池

構造——和葛拉克電池相似，惟陰極為汞齊鎳板以代汞齊鋅板，並用硫酸鎳溶液代硫酸鋅溶液，此電池稱為衛斯吞電池(Weston cell)。

電動勢——在 $20^\circ\text{C}$ 時為1.0183伏特，在 $t^\circ\text{C}$ 則為 $E = 1.0183 - 0.00004 \times (t - 20)$ 伏特。

法定伏特——電動勢的法定伏特，亦稱國際伏特(International volt)，電動勢的法定伏特，係根據衛斯吞電池而確定，即1法定伏特 $= \frac{1}{1.0183}$ 衛斯吞電池的電動勢。

## 9. 蓄電池

**定義**——電池的化學能量，係由電能變化而來，當電池的電用完後，可通入外界的電流，使電池內部發生化學變化，又可重新發生電流，好像外界的電儲蓄其中，此種電池稱為蓄電池(Battery)。

**灌電**——將電流通入蓄電池，使起化學變化的手續，稱為灌電，俗稱充電(Charge)。

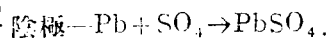
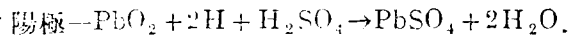
**放電**——以導線聯接電池的二極，使電池起化學作用而生電流，稱為放電(Discharge)。

**構造**——此蓄電池為1860年勃蘭脫(Plante)所創，經法爾(Fauvre)改良而成，稱為鉛蓄電池(Lead battery)。將製成小格子的鉛板，以二氧化鉛的糊狀物填入格子為陽極，以鉛絨填入格子為陰極，二極一同浸入盛稀硫酸的容器內而成。

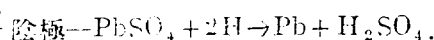
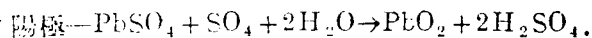
鉛蓄電池

化學反應

放電



灌電



**總合方程式**——
$$\text{PbO}_2 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Pb} \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}.$$

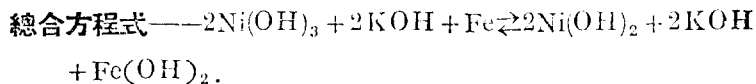
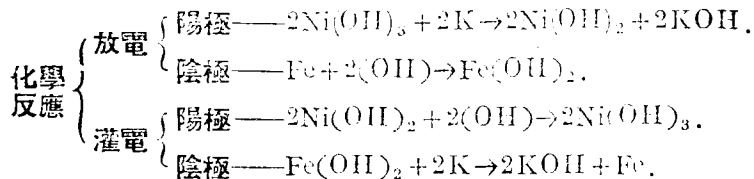
種類

安迪生  
蓄電池

電動勢——約為2伏特。

構造——此蓄電池為安迪生(Edison)所發明，亦稱鎳鐵蓄電池。

以鋼格貯純鐵粉為陰極，以二氧化鎳為陽極，其電解液為含有百分之21的氫氧化鉀溶液，貯於以鎳薄銅片製成的箱中。



電動勢——約為1.2伏特。

比較——安迪生蓄電池輕便堅固，較同容量的鉛蓄電池約輕一半，可供甚大電流而不損傷。電動勢較鉛蓄電池為小，內阻較鉛蓄電池略大，但效率較小，極板製造複雜，價值昂貴。

### 習題二十五

1. 二乾電池各有電動勢1.5伏特,及內阻0.5歐姆,問(1)串聯時總電動勢及電阻各若干?(2)並聯時,其總電動勢及電阻各若干?(國立唐山工學院)
2. 設有 $n$ 個電池,每個之E.M.F.為 $e$ ,內阻為 $r$ ,若將其串聯,問通過外電阻為 $R$ 之電流若干?改為並聯,電流又為若干?當 $R$ 大於 $r$ 時,或 $R$ 小於 $r$ 時,欲得電流較大,須順序用串聯或並聯,試證之。(國立廣西大學)
3. 如電池之電動勢不等,抵抗內阻不等,則增加串聯電池數能增強電流否?若電動勢和內阻相等,外阻為 $R$ ,則如何?電池增至無限,電流以何為極限?若電池之電動勢為 $E$ ,內阻為 $r$ ,以外阻 $R$ 連結之,發生 $I$ 安培之電流,如增加電池 $B$ ,其電動勢為 $E'$ ,內阻為 $r'$ ,發生 $I'$ 安培電流,試求 $I' > I$ 之條件如何?(國立中正大學)
4. 設有四組電槽,每組由5個電池順接而成,各個電池之電動勢為1.5伏特,內抵抗為0.02歐姆,如將此四個電槽並聯施用,可得2安培之電流,問其外抵抗當為若干?(國立政治大學)
5. 解說以惠斯登橋測量電阻之方法。(國立交大管理學院)
6. 有一電池組 $B$ ,其內電阻為5歐姆,與一40歐姆之外電阻 $R$ 聯接,如圖,如有用一30歐姆之伏特計量度 $R$ 之電位差,伏特計讀數為10伏特,問此電池之電動勢為若干?(國立交通大學)



圖 32

7. 試述任何一種量度電阻之方法，需包括下列各項：

(1)試驗程序. (2)接線圈. (3)所用各種儀器之名稱. (4)計算方法.(國立交通大學)

8. 設有電動勢1伏特及內電阻1歐姆之電池十二個，問在下述各情形中，須如何連結可得最大電流？并求其數值各若干？

1. 外電阻 = 18歐姆.

2. 外電阻 = 0.08歐姆.

3. 外電阻 = 3歐姆.(國立交大管理學院)

9. 試述一測電阻之法(國立浙江大學)

10. 試將電動力 $E_1, E_2$ 之二電池，如下圖連結之，而 $AE_1B$ 與 $AE_2B$ 之電阻為 $R_1$ 與 $R_2$ ，試求 $AB$ 線上之電流可等於零之條件.(國立武漢大學)

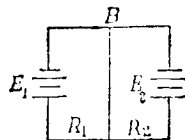


圖 33

11. 如將電阻各為 $R_1, R_2, R_3$ 之三條導線順聯或並聯時，計算其總電阻各若干(國立中山大學)

12. 以一安培計與一0.4歐姆之電阻及一電池串聯，安培計之指示為一安培。若將電阻改為1.5歐姆，則安培計之指示為0.5安培，已知安培計之電阻為0.2歐姆，求電池之電動勢及電阻。(國立清華大學)

13. 設有三個電阻，各為4歐姆，8歐姆，12歐姆，問如何連接，可使其成為11歐姆？若將此合成

電阻與一電動勢為2伏特，內電阻為 $\frac{1}{2}$ 歐姆之電池相接，求通過每電阻之電流各幾何？

(國立北平鐵道管理學院)

14. 四個並聯之電阻，一為2歐姆，一為4歐姆，一為5歐姆，一為20歐姆，連接於20伏特之蓄電池上，蓄電池之內阻為1歐姆，求蓄電池之電流，及每個電阻之電流。(國立北洋工學院)
15. 於電動力 $E = 1.5$ 伏特之電池兩極AB間 平行連二個電阻， $R_1 = 15$ 歐姆， $R_2 = 30$ 歐姆。已知電池之內部電阻 $r = 3$ 歐姆，求AB兩極間之電位差，及經過兩電阻之電流強度  $I_1 I_2$  各多少？(中法大學理醫學院)
16. 一20歐姆及一30歐姆兩電阻並連後，再與一7歐姆電阻及兩乾電池順連，每乾電池之電壓為1.5伏特，內電阻為0.5歐姆，求由電池輸出之電流。(燕京大學)
17. 今有1歐姆之線圈25個，分作5排並聯之，每排均由5個線圈串聯而成，問此組合之總電阻為若干？如今此組合與2000歐姆之伏特計並聯，問通過伏特計之電流佔總電流之若干成？(南開大學)
18. 設有三電池，其電動勢各為1.5伏特，內阻各為0.8歐姆，今以電阻為6.6歐姆之導體與其串聯，問所生之電流若干？(齊魯大學)
19. 有同樣乾電池三個，每個電動勢為1.5伏特，內電阻為0.12歐姆，所用之外電阻為10歐姆，  
(a)如將全部串聯，電流之大小為若干安培？(b)如將全部並聯，所得之電流為多少安培？



20. 何謂電池之極化?試舉例說明之。(重慶商船專科學校)
21. 有一安培計,最大指示為0.1安培,其電阻為1歐姆,如何可用此安培計量至10安培之電流(28年上海統一招生)
22. 二電池之電動勢各為1.5伏特,其內阻各為2歐姆,今先將二電池並聯,然後將其聯於10歐姆之外阻力,求通過此外阻之電流。(28年昆明統一招生)
23. 有一電池組之電動勢(e.m.f.)為60伏特,內電阻為2歐姆,  
 (a)設有一外電阻28歐姆,接於電池之正負兩頭,則此電池所經過之電流為幾何?  
 (b)設有兩外電阻 $R_1 = 20$ 歐姆, $R_2 = 80$ 歐姆並聯之,則電池組內之電流為幾何?

(27年武昌統一招生)

24. 電線三根,其電阻各為1,3,6歐姆,今將其並聯於A,B二點,如A,B間電壓為3伏特,求各電阻內電流之值。(光華大學理學院)
25. 如圖,A之電阻為2歐姆,B為3歐姆,C為4歐姆,D為5歐姆,E為2歐姆,電池之電動勢為10伏特,求(1)經過A線之電勢降落,(2)經過B,C,D之電勢降落。(國立唐山工學院)

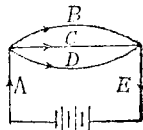


圖 34

## 第五節 電流的熱效應

- 1. 熱效應**
- 原理——電流在電路中流動時，必需功以反抗電路的電阻，使電流得以通過，此功即消耗於電路，而變為熱。
- 焦耳定律 (Joule)
- 定律——電流在電路上所生的熱量，和電流強度的平方與電路的電阻及時間的乘積成正比。
  - 公式——設電流為  $I$  安培，電阻為  $R$  歐姆，時間為  $t$  秒所生的熱量為  $H$  卡，則

$$H = 0.24 I^2 R t = 0.24 E I t.$$

- 2. 電功率**
- 定義——單位時間內電流所作的功，稱為電功率 (Electric power)。
- 公式——設電流為  $I$ ，電壓為  $E$ ，導體的電阻為  $R$ ，通過導體的電功率為  $P$ ，則
- $$P = EI = I^2 R.$$
- 單位——電功率的實用單位為瓦 (Watt)，即在1秒內能作1焦耳的功，此單位為極小的單位，通常以仟瓦為電功率的單位，即：

$$1 \text{ 仟瓦} = 1000 \text{ 瓦}, \quad 1 \text{ 瓦} = 1.34 \text{ 馬力}, \quad 1 \text{ 馬力} = 746 \text{ 瓦}.$$

- 定義——電流在一定時間內所作的功，稱為電能 (Electric energy)。
- 公式——設電流為  $I$ ，電壓為  $E$ ，時間為  $t$ ，電能為  $W$ ，則  $W = I E t = I^2 R t.$

## 3. 電能

## 單位

- 實用單位**——電能的實用單位為**焦耳**(Joule),亦稱**瓦秒**(Watt second),即以1瓦的功率,繼續發電1秒所耗的電能.
- 商用單位**——商用的電能單位為**仟瓦小時**(Kilowatt hour),即為1仟瓦的功率繼續發電1小時所耗的電能,稱為1仟瓦小時,簡寫(K.W.H.),俗稱1度或一個字.

## 電燈

- 弧燈**——將兩條炭棒使其兩端相接,通以電流,然後把炭端稍稍離開,在空隙處即發生電弧.此種裝置稱為**弧燈**(Arc lamp).
- 白熾燈**——將鎢絲裝入玻璃球內,除去球中的氧氣,然後通以電流,使鎢絲強熱而發光.此種裝置稱為**白熾燈**(Incandescent lamp).
- 汞弧燈**——在真空管中利用汞的蒸氣以發光.此種裝置稱為**汞弧燈**(Mercury arc lamp).

**電鐸**——將欲鐸的兩金屬的端點相接觸,通以電流,則在接觸處,電阻很大,故熱度甚高,使金屬融熔而接合.這種方法,稱做**電鐸**(Electric welding).

## 電爐

- 定義**——利用電弧所生的熱,以使熔點極高的物體熔化的裝置,稱為**電爐**(Electric furnace).
- 構造**——將兩炭棒插入大理石的槽中,把熔物置於炭棒之下.

#### 4. 熱效應的應用

##### 電熱器

**定義**——利用電流的熱效應，使電流通過高電阻的導線，以供家庭中的發熱用的器具，稱為**電熱器**(Electric heater)。

**構造**——用熔點極高電阻極大的導線，通常都用鎳鉻線，繞於瓷器或雲母片等絕緣體上而成。

- 種類**
- 取暖電爐。
  - 電烘爐。
  - 煮水壺。
  - 烹飪器。
  - 電熨斗。

##### 保險絲

**定義**——熔點極低的鉛錫合金，所製成的導線，稱為**保險線**(Fuse)。

**用途**——電路中插有保險絲，即遇過量電流通過時，所生的熱，使保險絲熔斷，以成斷路，即可防止電器的損壞。

### 習題二十六

1. 一電池供給一百盞並聯之燈泡之電流，每燈泡之電阻為200歐姆，燈絲兩端之電位差為120伏特，若將五十盞燈泡關閉，此電位差數則升為124伏特，問電池之內電阻為若干？(連

線之電阻可略而不計)當一百盞電燈全亮時,每盞各消耗工率若干?(國立西南聯大,浙江大學,中央大學,武漢大學)

2. 一電燈泡上標明為220伏特及50瓦特,需要幾何電流?其電阻如何?

如每晚開燈4小時,每用電1仟瓦小時,須付費4角,問一月(30日)內須付電費若干?

(國立西南聯大,浙江大學,中央大學,武漢大學)

3. 如圖,  $R_1 = 2$  歐姆,  $R_2 = 3$  歐姆  $E = 4$  伏特,  $r = 0.8$  歐姆,

試求(a)通過  $R_1$  之電流, (b)通過  $R_2$  之電流, (c) B 端之電壓, (d) 10 分鐘後  $R_1$

所生之熱量, (e) 10 分鐘後  $R_2$  所生之熱量。(國立英士大學)

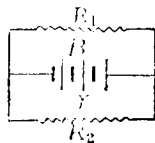


圖 35

4. (a) 今有伏特計, 安培計, 蓄電池及電鑰各一, 用以測一線圈之電阻, 試繪圖表示其連結法。

(b) 設由上述裝置伏特計之讀數為6伏特, 電流計之讀數為2安培, (1) 求線圈之電阻, (2) 求在10秒內線圈上所發生之熱量。(國立浙江大學)

5. 玻璃缸內置有純水1800克, 水之溫度為  $20^\circ\text{C}$ , 大氣壓力為水銀柱高76厘米, 今以63歐姆電阻器一個, 浸於純水之內, 通入直流電, 經10分鐘後, 純水適達沸點, 問所須之電流應為若干? 若供給此直流電為140個鉛電池, 每電池之電壓為2伏特, 內電阻為0.05歐姆, 問輸給前述之直流電時, 電池之接法若何? 又問電阻器外是否尚須其他電阻與之串聯? 假定全部電能被水吸收, 並無其他損失, 電阻亦為定值, 熱之功當量為4.2焦耳/卡。(國立

中央大學)

6. 某發電機以500伏特之電壓，由轉送線輸送40安培之電流至工廠，其線路之電阻為3歐姆，問(a)所生之功率為若干仟瓦？(b)工廠中之電壓為若干？(c)工廠所得之功率為若干？

(國立交大管理學院)

7. 一個100伏特40瓦特之電燈泡，如欲裝在200伏特之電壓線路上，問當用若干電阻，並此電阻應如何聯法，可使電燈泡適耗40瓦特之功率？(國立浙江大學)

8. 茲有用於200伏特之60瓦特燈泡，試求其抵抗及每秒所生之熱量。(國立四川大學)

9. 今有電燈泡三個，若各接於220伏特之電源上，其所費之電工率各為25, 40, 及100瓦特，若此三燈泡順接於400伏特之電源上，求每個燈泡兩端之電位差及所費之電工率。(國立北京大學)

10. 有一直流發電機，能點100伏特及25瓦特之燈1000盞，若輸送電力之線之抵抗為0.2歐姆，問此發電機之極電位差，應為若干？又若此發電機之內抵抗亦為0.2歐姆，問此發電機之電動力若干？工率若干？(國立北平師範大學)

11. 某工廠需20支燭光之燈200盞，而每支燭光須1.25瓦特之電力，問購幾瓩之發電機適可應用？又設所用之電燈受110弗之電動力時，求每燈通過之電流。(國立北平大學)

12. 茲有40瓦特，110伏特之電燈一盞，試計燃點此燈所通過之電流及其電阻。(國立清華大學)

13. 電流爲二安培，阻力爲300歐姆，問五分鐘所生之熱量若干？如此熱量無他損失，問將800克攝氏零度之水可熱至若干度？（北洋工學院）
14. 設有一電熱器，其電阻爲200歐姆，今接於220伏特之電源上，問經過此電熱器之電流爲若干安培？並每秒鐘所用之能爲若干瓦特？（北平輔仁大學）
15. 在一住宅內有電燈10盞，係平結，電源之電壓爲110伏特，每盞燈電力爲50瓦特，問共有若干電流經過此住宅？每燈電阻爲若干？並問10盞平結共有電阻若干？（山東大學）
16. 汽車自動發電機，由6伏特之電池上，取用80安培之電流，如該機之效率爲80%，問其工率爲若干馬力？（河南大學）
17. 一家用30燭光之電燈5盞，每天點亮8小時，每燭光用電1.5瓦特，其電壓爲110伏特，每千瓦小時需付銀1角。
- (a)電燈應如何聯接？ (b)求所用之全電能。 (c)求每燈之電阻。 (d)每天需付銀若干？（國立浙江大學）
18. 設 $K$ 爲焦爾定律之常數，由公式 $Q = KI^2Rt$ ，試依次法測定之，量熱計貯水1016克，浸白熱燈，以 $E = 65.4$ 伏打， $I = 0.34$ 安培之電流燃之，歷時25分鐘後，量熱計中水溫上昇 $0.735^\circ\text{C}$ ，問此常數爲何？（國立同濟大學）
19. 由電力廠輸送電力至一城市，輸送時經過二條導線，其電工率相同。若一電流在100伏

特之電壓下輸送，另一在10000伏特之電壓下輸送，兩導線上失去的熱相等時，二導線截面積之比爲何？(國立唐山工學院)

20. 在 220 伏特電線上，結有10安培之保險絲，用40瓦特之電燈，至多可裝幾盞？(27年重慶統一招生)
21. 一重力電池(即但尼爾電池)之內阻爲2歐姆，電動勢爲1伏特，與電阻3歐姆之線圈相接，問(1)通過此線圈之電流爲若干安培？(2)此電流所供給總工率爲若干瓦特？(國立唐山工學院)

## 第六節 電流的化學效應

**定義**——溶液中通以電流，使其起分解作用，稱爲**電解**(Electrolysis)。

**離子說**——電解質在溶液內，其分子即分爲兩部分，各部分都帶電，稱爲**離子**(ion)，帶陽電的稱爲**陽離子**(Cation)，帶陰電的稱爲**陰離子**(Anion)。一切物質溶解於水中分離時，金屬與氫原子成陽離子，在陰極上析出，酸基與氫氧基成陰離子，在陽極上發生化學作用。

**電化當量**——安培的電流通過電解質，在一秒內所析出物質的量，稱爲該物質的**電化當量**(Electrochemical equivalent)，銀的電化當量爲0.0011180克/庫侖。

### 1. 電解



**法定安培**——亦稱**國際安培** (International ampere). 即每秒能在銀鹽溶液中析出0.0011180克純銀時的電流強度。

**法拉第定律**

**第一定律** { 定律——電解時所析出物質的量，和通過的電流強度與時間的乘積成正比，即與電量成正比。  
 公式——設電流為  $I$ ，時間為  $t$  秒，電化當量為  $Z$ ，電量為  $q$ ，析出的物質的量為  $m$ ，則

$$M = Zit = Zq.$$

**第二定律**——同一電量所析出各物質的量和各物質的化學當量成正比。

**定義**——由電解所析出的物質，以計算電流強度及電量的儀器，稱為**電量計** (Coulombmeter).

**2. 電量計**

**種類** { **銅電量計** { **構造**——在電解池中，盛有硫酸銅液，用銅板為兩端。  
**作用**——通電時，硫酸銅液中析出的銅，積於陰極的銅板上，由此極所增加的銅量，即可算出通過的電流強度。  
**計算法**——設陰極所增加的銅量為  $m$  克，電流通過的時間為  $t$  秒，電流強度為  $I$ ，則

$$I = \frac{m}{0.000328 \times t}.$$

## 銀電量計

**構造**——此計為最準確的電量計，在鉛製皿中盛硝酸銀溶液，鉛皿即作陰極，再用精煉的銀（由電解而得的純銀）一片懸於溶液中為陽極。

**作用**——通電後硝酸銀溶液中所析出的銀，積聚於鉛皿上，由鉛皿上的銀量，即可算出通過的電流強度。

**計算法**——設鉛皿上所積銀的質量為 $m$ 克，電流通過的時間為 $t$ 秒，電流強度為 $I$ ，則

$$I = \frac{m}{0.001118 \times t}.$$

## 電鍍

**電鍍術**——利用電解作用，使金、銀、銅等金屬鍍在其他金屬的表面的方法，稱為電鍍術(Electroplating)。

**方法**——將金片或銀片以導線接於電池的陽極，欲鍍的物品接於陰極，雙方都浸入電解質的溶液中（鍍金用金的鹽類，鍍銀用銀的鹽類，鍍銅則用銅的鹽類）經相當時間，取出洗淨擦亮即成。

**原理**——當電流通過鍍液時，液中各分子即起分離而生金屬離子，此離子因電流而移向陰極，附着於欲鍍物品的表面，陽極的金屬，即溶解於鍍液，以補液中失去的離子。

## 3. 化學效應的應用

## 電鑄

**電鑄術**——利用電解作用，以鑄成金屬模型的方法，稱為**電鑄術**(Electro-typing).

**方法**——以柔軟的蠟或石膏壓於原型上面，成凹凸相反的模型，塗以石墨使成導體，將此模型聯於電池的陰極，銅板聯於陽極，同時浸入硫酸銅溶液中，通以電流，經過相當時間，模型即鍍上銅皮一層，和原型相同，即成銅模。

**原理**——和電鍍同。

**電刻**——以油漆繪圖或寫字於銅板上，以此銅板為陽極，另一銅板為陰極，一同浸於硫酸銅溶液中，通以電流，則陽極銅板無漆處被消蝕而凹下，故有字畫處即可凸起似雕刻而成，再鍍銀其上即成。此法稱為**電刻**(Electro-engraving)。

**電冶**——利用電鍍的方法，以提煉金屬，使其純淨的方法，稱為**電冶**(Electrometallurgy)。

## 習題二十七

1. 試說明水之電解。(國立政治大學)
2. 何謂電化當量？電解質之電解與元素之化學當量有何關係？銀之原子量為 107.88，銅之

原子量爲63.6,問電解析出10克銀時所用之電量,能析出硫酸銅內之銅若干?(國立中山大學)

## 第七節 電流的磁效應

### 1. 電磁的關係

**電生磁**——當電流通過導線時,導線的周圍即生一磁場,此磁場和導線垂直。

**拇指定則**——用右手握導線,以拇指指電流的方向,則其餘四指的方向,就是電流所生磁力的方向,此定則亦稱**安培定則**(Ampere's rule)。

**磁場強度**——長度甚大的直線導線上,有電流通過時,其周圍某點所生的磁場強度,和導線上的電流強度成正比,和導線的垂直距離成反比。

**線圈** { **定義**——將導線捲成圓筒狀的螺旋形,稱爲**線圈**(Solenoid)。

**磁性**——將線圈通以電流,則中部的磁力線和軸平行,兩端即成南北兩磁極。

**拇指定則**——用右手握線圈,令四指指電流通過的方向,則拇指的方向,爲線圈的N極。

**導線在磁場內的運動** { **原因**——通電的導線,在磁場內的運動,是由電流在導線周圍所生的磁場,和磁鐵的磁場合成的結果。

**左手定則**——以左手的拇指，食指，中指伸直，使其互成直角，以食指指磁場方向，中指指電流方向，則拇指所指的方向，即為導線運動的方向，此定則亦稱**電動機定則**。

**構造**——以軟鐵棒作心，周圍繞以導線，即成**電磁鐵**(Electromagnet)。

**原理**——電磁鐵的導線通電流後，則軟鐵棒感應而帶磁性，變成磁鐵，其南北極的方向和線圈內部的磁場一致，故磁力很大，電流一斷，即失去磁性，仍成普通的軟鐵。

電磁鐵

**磁鐵起重機。**

**電鈴**——應用電磁鐵使鈴連續發聲的裝置，稱為**電鈴**(Electric bell)。其電路如(圖36)，按鈕則電流通，M成為磁鐵，吸引軟鐵A，則連於A上之槌H，即擊鈴作響，同時C和B分離，則電路不通，M失去磁性，A即被彈簧彈回，仍與螺釘相觸，電路又通。

應用

**電報**——電報的電路如圖 37。

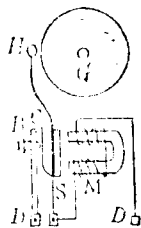
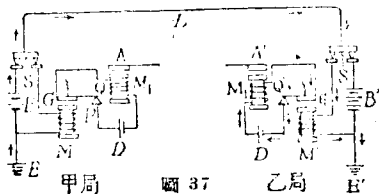


圖 36



甲局

圖 37

乙局

設甲為發報局，乙為收報局，在未通電前，B和電線L不連，發報時，按鍵S，則電路通，電流由B經S，L而至乙局，再經S'，M'，E'再返至E，成一閉電路，因比M'將G'吸下，則Q'與P'相接，故局部電池D'的電路通，M'吸引A'，即可記出符號。

## 2. 磁效應的效用

### 電流計

**定義**——利用電流的磁效應，以測電流強度的器具，稱為**電流計** (Galvanometer)。

**種類** { **正切電流計**——在鉛直線圈的中心，放一磁針，針的轉動由水平圓盤的刻度記出，此器之鉛直線圈平面，須常在南北方向內。此種式樣，稱為定圈式。

**達松法爾 (D'Arsonval) 電流計**——為一動線圈懸於固定蹄形磁鐵之中而成。此種式樣，稱為動圈式。

**安培計**——為一動線圈支持於固定蹄形磁鐵的兩極間而成。其構造如圖38，內部並聯一分路，故電流通入時，大部分通過分路，只有極小

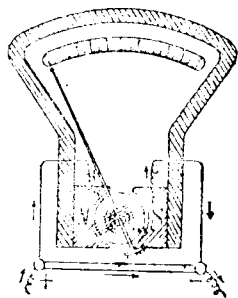


圖 38

電表

**伏特計**——伏特計 (Voltmeter) 的構造和安培計相同，不過伏特計無低阻分路，而有串聯的高阻圈，故流過伏特計的電流很微(圖39)。

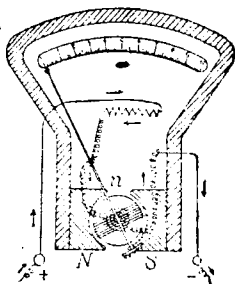


圖 39

**定義**——計量電能的器械，其所示度數為仟瓦小時，稱為**瓦時計**(Watt-hour meter)，俗稱**電表**。

**構造**——瓦時計為一無鐵心的電動機，如圖40，B,B為粗導線繞成捲較少的固定線圈，相當於磁場，與電路串聯。A為細導線繞成捲數甚多的動線圈，相當於電樞，與電路並聯。A軸下端固定一鋁質圓盤D，D盤又置二磁鐵M中。A的轉數以齒輪裝置及指針以記之。

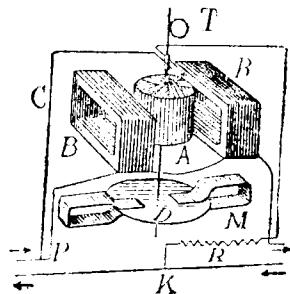


圖 40

瓦時計

**原理**——電流由 P 流入時，即分為二路，大部流入電阻較小的 B 圈，小部流

入A圈，因B與電路串聯，其磁場強度與電流成正比，A與電路並聯，其通過的電流與電壓成正比，則作用於A的轉動力矩與電流及電壓的乘積成正比，亦即與瓦數成正比。D盤隨A轉動，即截割M的磁力線而生渦流（見後），使A成等速轉動，不致因慣性而生旋轉過速或不能立刻停止之弊。

應用——用以量度電能的消耗，以計算電費。

## 習題二十八

1. 安培計與伏特計有何區別。（國立英士大學）
2. 試述電流之磁效應及其應用。（北平輔仁大學）
3. 達松發爾電流計與衝擊電流計最大區別安在。（28年上海統一招生）
4. 毫安培計，可用作為安培計或伏特計，其用法若何？試分別詳論之。（重慶商船專科學校）

## 第八節 應電流

種類 { 磁鐵感應——將磁鐵插入或抽出線圈時，即產生暫時電流，此電流祇限於磁鐵運動時，才能發生，稱為應電流，移動愈速，應電流也愈強。



（電流感應——通電流的線圈，其作用和磁鐵相同，故將通電流的線圈插入或抽出另一線圈，或將通電的線圈使電流斷續，也能發生應電流。

楞次 Lenz 定律——導體和磁場起相對運動時，則生應電流，其方向係令其所生的磁場，以反抗其運動。

右手定則——伸右手的拇指，食指及中指，使互成直角，以拇指指導線運動的方向，食指指磁場方向，則中指所指的為應電流的方向，此定則亦稱發電機定則。

## 1. 電感 磁感

互感應 { 定義——一線圈通電後，在另一線圈內進出，或使電流一斷一續，另一線圈即生應電流，此現象稱為互感應。(Mutual induction).  
 原線圈——通電流的線圈，稱為原線圈(Primary coil).  
 副線圈——發生應電流的線圈，稱為副線圈。(Secondary coil).

自感應——任何電路內的電流，在初通過或切斷的一瞬間，其本身也發生一種電流，以阻止原電流的變更，此現象稱為自感應(Self induction).

應電流的 { 1. 互感應或自感應所生的電動勢，和磁力線變化的快慢成正比。  
 電動勢 { 2. 若磁力線的變化相等，則電動勢之大小，和線圈的截面積與導線的捲數成正比。

{ 發生原因——任何導體截割磁力線時，都能發生應電流，如磁場內轉動的銅

**渦流** 板，所發生的電流，成爲渦狀，稱爲**渦流**(Eddy current).  
**免除法**——將板製成若干細條或薄片，把渦流的電路切斷，即可免除渦流之發生。

**構造**——感應圈 (Induction coil) 是利用應電流以得高壓電流的裝置，其構造如圖41，以互相絕緣的軟鐵絲一束爲鐵心，外繞粗而捲數少的絕緣導線PP爲原線圈，再外SS爲副線圈。副線圈的兩端連於放電棒，原線圈中並聯一容電器C，斷續裝置A和電鈴相同。

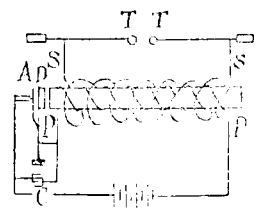


圖 41

**原理**——當原線圈通過電流時，A、D間即起斷續作用，副線圈即生強大電動勢，能在TT處發電花，當電路切斷時，空曠A、D間因自感應而生電花，使感應電動勢減弱。容電器C即是補救此弊的。

**用途** { 內燃機的發火。  
 X光管發射x光。  
 無線電機發送電波。

**發話器**——將兩炭板對立，使不相連接，兩炭板之間充滿炭粒，前板與一金屬薄板的中央相接，電流由前板經炭粒從後板流出。

2. 感應圈

## 3. 電話機

**受話器**——在硬橡皮壳子中置蹄形磁鐵，兩極上附軟鐵，軟鐵上繞有捲數很多的細線圈，兩端和外電路相連，線圈的前面有一圓形薄鐵板，厚0.25耗，為振動板。

**原理**——當人向發話器發話時，金屬薄板即起振動，引起炭粒接觸變化，即電阻生變化，因之通過的電流亦生強弱的變動，此變動電流傳至受話器的線圈，其磁力亦生變動，使薄鐵板振動而發聲。(圖42)

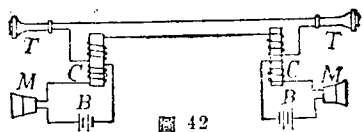


圖 42

**定義**——將線圈在磁場內旋轉，使生強大的感應電流的裝置，稱為發電機。由發電機導出的電流，有一定方向的，稱為直流，此機稱為**直流發電機** (D. C. dynamo)。方向迅速變化的，稱為交流電，此機稱為**交流發電機** (A. C. dynamo)。

**構造**——將導線用種種方法，捲於圓柱形鐵心的周圍，稱為**電樞** (Armature)，置於強磁場的兩極之間，導線的兩端各連於電極的軸上兩金屬環，有兩金屬刷毛各與兩環相接，以引電流，流出外路，如此裝置，即為**交流發電機**。如不用金屬環而用整流子，則可得直流電，即為**直流發電機**。

**原理**——如圖 43，當線圈面和磁場垂直，依順時針方向旋轉時，第一半周內，導線AB向下轉，CD向上轉，由右手定則知應

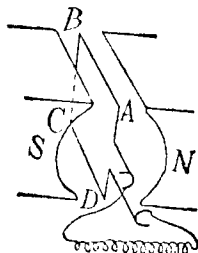


圖 43

電流的方向爲ABCD.在第二半周內,AB向上轉,CD向下轉,感應電流的方向爲DCBA.故線圈旋轉一周,電流的方向變換二次,皆由銅環導出於外路.

電樞的種類 { 環形電樞——爲法人格拉姆(Gramme)所創製,亦稱格拉姆電樞.將許多塗漆的鐵絲,束爲鐵心,曲成環形,再以絕緣導線捲繞於環周而成.  
鼓形電樞——爲1856年西門子(Siemens)所首創,經溫霍爾(Weinhold)所改良.將多數薄鐵片疊成圓柱形鐵心,外繞絕緣導線,各個線圈均與柱軸平行而成.

#### 4.發電機

勵磁法 { 串繞法——勵磁線圈與外電路串聯,發電機所生電流全部經過磁場線圈而導出於外路.  
分繞法——勵磁線圈與外電路並聯,勵磁電流爲總電流的一小部.  
複繞法——勵磁線圈有二,一與電樞串聯,一與電樞並聯.

種類 { 交流發電機 { 定磁場發電機——磁場固定,電樞轉動.  
動磁場發電機——電樞固定,磁場旋轉.  
直流發電機 { 串繞發電機——磁場以串繞法勵磁.  
分繞發電機——磁場以分繞法勵磁.  
複繞發電機——磁場以複繞法勵磁.

決定電壓  
三因子

- 線圈之捲數。
- 電樞之旋轉速度。
- 磁場之強度。

## 特性

- 阻抗——在感應電路中，除導線的電阻外，尚有線圈的自感應而生的反電動勢，其總抵抗，稱為**阻抗**(Impedance)。
- 工率
  - 工率因數——真正工率與外表工率的比，稱為工率因數。
  - 交流工率——交流工率 = 伏特 × 安培 × 工率因數。
- 振盪——能在容電器中作往復注入激動。

## 交流電

- 交流頻率——頻率等於動部每秒鐘旋轉次數與磁極對數的乘積。
- 單相交流——電樞上的線圈只有一組發生交流，稱為**單相交流**(Single phase A. C.)。
- 多相交流——電樞上的線圈有二組以上，各自發生交流電，稱為**多相交流**(Poly-phase A. C.)，以三相交流用途最廣。

構造——和發電機相同，將電流由外輸入使其轉動的機械，

原理——因磁場對於通有電流的導線，有推斥的作用，故若電流由導線AB(圖43)進去，由導線CD出來，則由左手定則，可知導線圈 ABCD 由磁場的磁力作用，

## 5. 電動機

種類

直流電動機  
交流電動機

串繞電動機——勵磁線圈與電樞線圈用串繞法接連電源。  
分繞電動機——勵磁線圈與電樞線圈用分繞法接連電源。

同期電動機——用第一交流發電機所生之電流，以供給電動機的運轉，兩者須有同周期(Synchronous)之動作。  
感應電動機——在轉動磁場中銅圓柱發生渦流而轉動。

被迫依逆時方向而轉動，電流供給不停，則電樞轉動亦能持續。

應用——轉動電車，電扇、以及工場中各種機械。

構造——重疊若干層互相絕緣的軟鐵片為鐵心，鐵心成四邊形，故磁流能全部通過鐵心，鐵心上捲繞獨立兩線圈，當交流電輸入原線圈時，副線圈內，即生應電流。

原理——其原理和感應圈相同。

定則——原線圈的總電壓  $E_p$  與副線圈的總電壓  $E_s$  的比，等於原線圈的捲數  $N_p$  與副線圈捲數  $N_s$  的比，即

$$\frac{E_p}{E_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

又兩線圈中電流之比與線圈捲數成反比，即  $\frac{I_p}{I_s} = \frac{n_s}{n_p}$ 。

種類 / 昇壓器——副線圈捲數比原線圈多，可將原電壓升高。

## 7. 整流器

用途

**降壓器**——副線圈捲數比原線圈少，可將原電壓降低。

升降交流電的電壓，使適於應用。

使電壓降低而增加電流，以供電熔爐與電煅之用。

定義

變交流為直流的器械，稱為**整流器**(Rectifier)。

種類

**電動發動機**——即交流電動機與直流電動機聯合而成。

**真空整流器**——真空玻璃球內，盛氬氣少許，其兩極一為炭棒，一為鎢絲，鎢絲白熱時，放出電子，如炭棒為陽極時，因放射電子，使氣體離化，成為導體，電流即得通過，若炭棒為陰極，則電子被斥，不能射出，氣體即不能離化，故無電流通過，因此只有一定方向的電流，可以通過，成為直流。

## 習題二十九

1. 問交流電與直流電有何不同？並問電燈公司所用之電，何以大多數用交流電而少用直流電之理。(國防醫學院)
2. 一變壓器之原線圈為1,000,000匝，副線圈為5000匝，原線圈之電流為10安培，電壓為2000伏特，若絲毫不受損失，則副線圈中之電流強度及電壓各若干？原線圈之電阻為若

干？又此變壓器可供若干盞40瓦特電燈之用。(中央陸軍機械化學校)

3. 有一直線長10厘米，在1000高斯之均勻磁場內，以每秒20厘米移動，設此線與其運動方向及磁力線互相垂直，問所生電動勢為若干伏特？(南開大學)
4. 決定發電機電壓之三因子為何？每種對於電壓有何影響？(國立交大管理學院)
5. 試述倫慈氏 (Lenz) 之電磁感應定律，並舉一簡單實驗以說明之。(國立北京大學，中法大學文學院)
6. 電磁感應定則有二，一為楞次定律(Lenz' law)，一為佛氏右手定則(Fleming's rule)，二者意義相同，試問二者為何意義相同。(山東大學)
7. 試述發電機之原理。(三十二年浙江高中會考)
8. 寫出電學中之(a)歐姆定律，(a)法拉第定律，(c)楞次定律，及(d)焦耳定律。(二十九年浙江高中會考)

### 第九節 真空放電

1. 定義——各種氣體在通常溫度和壓力下，均難導電，若在一大氣壓的空氣中放電，欲得一厘米長的火花，須用數萬伏特的電壓。但在真空及半真空的管中，氣體的壓力減小，即容易放電。此時的放電，稱為真空放電。



2. 該斯勒管 {
- 定義——細長玻璃管的內部，封入鉛或鋁製的兩極，抽成真空，再放入少量的各種氣體，稱爲該斯勒管(Geissler's tube).
- 現象——當氣壓低至二分之一毫米時，在陰極周圍有一黑暗部分，稱爲克魯克斯(Crookes)暗區。其前有光芒，稱爲陰極電輝。再前又有黑暗區，稱爲法拉第(Faraday)暗區。更前爲明暗相間的鱗狀光，稱爲陽極電輝。氣壓愈低，陽極光輝愈短，黑暗部分愈擴張。光的顏色，因氣體而不同。

3. 克魯克斯氏管——該斯勒管中的氣壓低至千分之一毫米以下時，陽極電輝完全消滅，與陰極相對的管壁發生螢光，其顏色視玻璃的質料而定，冕牌玻璃(鈉玻璃)發淺綠光，火石玻璃(鉛玻璃)發藍光，此管稱爲克魯克斯管(Crookes tube)。

4. 陰射極線 {
- 定義——克魯克斯管壁所發的螢光，係陰極面上以甚大速度射出的電子與管壁相衝突所生的效應，此射線，稱爲陰極射線(Cathode ray)。
- 性質 {
1. 陰極射線能使多種物質發射螢光。
  2. 陰極射線沿直線傳播。
  3. 陰極射線發出時與陰極面正交。
  4. 陰極射線能生熱效應。
  5. 陰極射線能生機械效應。

6. 陰極射線能生化學效應。
7. 陰極射線能生磁效應。
8. 陰極射線能受電力的引斥。

**陰極射線的電子**——英國物理學家湯姆孫 (J. J. Thomson) 測得電子的質量約等於氫原子質量的  $\frac{1}{1800}$ ，其速度等於光速的  $\frac{1}{10}$  至  $\frac{1}{3}$ ，每電子的電荷和電解時每一氫離子的電荷相等。

## 5. 陽射線

**發生**——放電管中帶陽電的質點，被陰極所吸引而成陽射線 (Positive ray)，此質點所帶的電荷，為電子電荷的整倍數，其質量視管中的氣體而定，但均比氫原子的質量為大，故為帶陽電的原子或正游子。

**性質**——因質量大，受電場及磁場所生的偏向很小，不易察見，其速度約為光速的千分之一。

**定義**——1895年倫琴 (Roentgen) 察得當陰極射線與玻璃管壁或金屬板衝擊後，另產生一種不可見的輻射線，因不知其名，稱為 **X射線** (X-ray)，亦稱倫琴射線 (Roentgen ray)。

**X射線管**——圖44為X射線管，A為陽極，C為四面陰

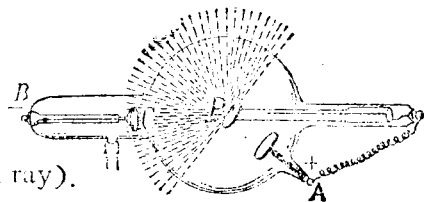


圖 44

極，P為對陰極，以鉑或鎢製成，位於陰極面的球心，與主軸作 $45^\circ$ 之角。

**發生**——陰極射線由C發出，聚集於P上，P內原子受高速電子的碰擊，內部發生變化，當各原子恢復原狀時，將其過剩的能量放出，即為X射線。

## 6. X射線

### 性質

**透過物質作用**——X射線能透過尋常光線所不能透過的物質，物質的密度愈大，X線被吸收者愈多。

**激發螢光作用**——玻璃及鉑氰化鋇等的結晶，受X線照射時，則發螢光。X線因人目不能看見，故使其射於塗有鉑氰化鋇的紙板上，即可察看，此板稱為螢光板(Fluorescent screen)。

**照相感光作用**——X射線能使照相片感光 and 尋常光線相同。

**激發生理作用**——人體有機質受X射線碰擊後，放出電子而生化學效應，能使有機組織被破壞。

**游離氣體作用**——X射線能使氣體游離。

**不受電與磁場作用**——X射線不受電或磁場的影響而生彎曲。

### 種類

**硬性X射線**——X射線管的真空度很高時，所發的X射，透過物質的本領甚強，稱為**硬性X射線**(Hard X-ray)

**軟性X射線**——管內真空度較低，X射線的透過物質的本領較弱，稱為軟性

## X射線(Soft X-ray).

**本質**——X射線爲一種以太波，和光波相同，其波長極短，約自 $0.1 \times 10^{-8}$ 厘米至 $1.5 \times 10^{-6}$ 厘米(即自0.1埃至150埃). 故在尋常鏡面，不能發生單向反射，亦不能用普通方法使其發生折射及干涉等現象.

**用途** { **醫療用**——檢查疾病及鎗彈的位置，治療疾病。  
**工業用**——檢查金屬材料的組織及內部的缺點，真珠寶石的真僞。

**定義**——紅熱的金屬，常不絕的發射電子，稱爲**熱游子**(Thermoion).

## 7. 熱游子

### 熱游子管

**構造**——如圖45，真空管內封入燈絲F，金屬板極P，以電池A接燈絲F的兩極端，電池B的陽極接P，陰極接燈絲。

**作用**——燈絲紅熱時發出的熱游子，被P的正電荷吸引，P與F的電路遂通，B電池中即有電流通過。若P接B的陰極，則F放出的熱游子，被P斥回，P與F的電路不能通，故無電流通過。熱游子管中通過電流的多寡，視燈絲的質料，溫度及F與P的電位差而定。

**用途**——變交流爲直流的整流作用，接收及發生振動電流之用。

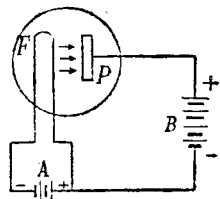


圖 45

8. 光電效應

**定義**——多種金屬遇有波長適宜的光線照射時，能發射電子，此現象稱為**光電效應** (Photo-electric effect)。鉀、鈉、鈣的光電效應最顯著。

**光子**——光電效應所放出的粒子，稱為**光子** (Photon)。其性質與電子完全相同。

**構造**——如圖46，真空管的內壁C，塗有鉀或鈉，D處留一圓孔，不塗鉀，可任光線射入，C的鉀層接聯電池B的陰極，管的中央有一金屬板A，接於B的陽極。此管稱為**光電管** (Photo-electric cell)

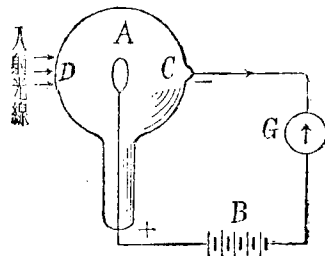


圖 46

**作用**——當光線由D射入時，管壁上的金屬受光，即發射電子，A與B的電路即通。其通過電流的強弱，與所受的光量成正比。

**用途** { 有聲電影 (Sound motion picture).  
電傳照相 (Telephotography).  
電視 (Television).

第十節 放射性

## 1. 放射性

定義——凡能自然放射類似X射線的幅射性質，稱為放射性(Radioactivity)。

放射質——具有放射性的物質，稱為放射質(Radioactive substance)如鈾、釷、鐳等放射性最顯著。

柏克勒爾射線——放射質發出的放射線，統稱柏克勒爾射線(Becquerel rays)，為 $\alpha$ 射線， $\beta$ 射線， $\gamma$ 射線混合而成。

作用 { 透通物質。  
起化學作用。  
發生螢光。  
游離氣體。

## 2. 放射線的性質

$\alpha$ 射線——放射線內，其受電場或磁場的作用偏向較小者，稱為 $\alpha$ 射線( $\alpha$ -ray)。 $\alpha$ 射線為帶陽電的微粒，稱為 $\alpha$ 質點。與陽射線相似，其電荷為電子的二倍，質量為氦的四倍，即為氦原子失去二電子的原子核。射出速度，約為光速的 $\frac{1}{30}$ 至 $\frac{1}{10}$ 。透過物質的本領最弱，游離空氣的作用最強。

$\beta$ 射線——受電場或磁場的作用，偏向最大者，稱為 $\beta$ 射線( $\beta$ -ray)。 $\beta$ 射線為帶陰電的微粒，稱為 $\beta$ 質點，與陰射線相似，其電荷和電子相同，速度為光速度的 $\frac{9}{10}$ ，即為高速度的電子。透過物質的本領，約為 $\alpha$ 射線的100倍。游離空氣作用較

弱，亦能使照相感光，使相當物質發螢光。

**γ射線**——不受電場或磁場的作用而起偏向者，稱為γ射線 (γ-ray)。它不是帶電的質點，與X射線相似，惟波長則更短，係由β射線衝擊物質而發。其速度和光速相等，透過力最強，約為α射線的1000倍，能透過30厘米厚的鐵板。亦有使照片感光及相當物質發螢光的作用。游離氣體作用則較弱。

3. 宇宙線

**定義**——大氣中另有一種透過物質本領極強的輻射，發自大氣外的宇宙空間，稱為宇宙線 (Cosmic ray)。

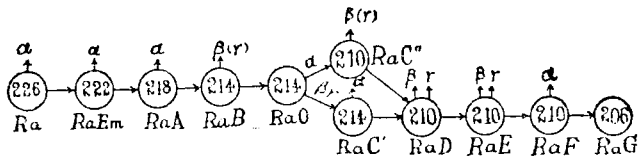
**性質**——能透過18呎厚的鉛板，200呎深的水，波長比γ射線更短，其他性質尚未明瞭。

**蛻變**——一切放射質，當發出放射線時，即次第變成他種新物質，此現象稱為蛻變 (Disintegration)。例如鐳放出α微粒而成氡 (鐳射氣)。

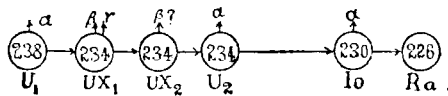
**原因**——因α質點係帶電的氦原子，質量為氫的四倍，故放射質的原子放出α質點後，即變成原子量少四單位的新物質。β質點的質量極小，γ射線不是質點，故放出β及γ射線後，變成新物質，其原子量不變。

**鐳系蛻變系**——鐳放射α及β質點後，遞次蛻變，至成非放射質為止。其蛻變系統如下，圈內數字為原子量。

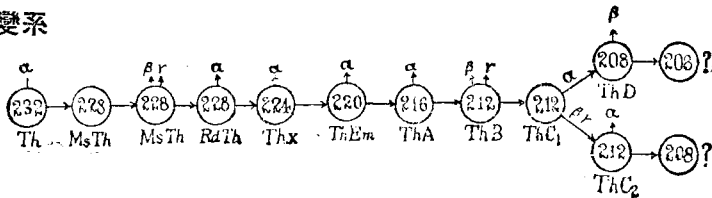
4. 原子的  
蛻變



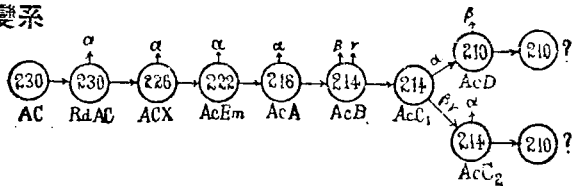
鈾系蛻變系——上述鐳元素亦從鈾元素蛻變而來，惟時期極長久，其蛻變系如下：



釷系蛻變系



錒系蛻變系





## 5. 原子的構造

## 組成

**原子核**——在原子的中心，為由帶陽電的質子 (Proton)，與帶陰電的電子 (Electron) 所組成，稱為**原子核** (Nucleus)。核內有過剩的陽電，原子的質量均集中於核。

**質子**——質量頗大，帶陽電，集於原子核中。氫原子失去一電子後，所餘的離子即是質子。

**電子**——質量極小，帶陰電，環繞原子核旋轉，如行星之繞太陽旋轉。各電子所帶的電量和質量都相等。一原子內電子之總陰電量和原子核的過剩陽電量相等，故原子成中性。各種原子所含的電子數目均不相同。

**中子**——1932年英國喬特威克 (J. Chadwick) 發現當原子核蛻變時，有一種不帶電荷而質量與質子近似的質點射出，此質點稱為**中子** (Neutron)。中子是一對結合極堅固的電子與質子所組成，其穿透力極強，且能射擊原子核使其蛻變。

**波耳原子模型**——為說明原子的構造便利起見，原子物理學家波耳 (Bohr) 於1913年創製原子模型。此模型所示原子核以外的各電子繞核運動的軌道，與各行星繞太陽運動的情形極相似，其軌道可為圓形或橢圓形。最內軌道上，最多有二個電子，電子在此軌道上的位能最小，其外軌道上最多可有8個電子。再外軌道

上最多可有18個電子。如此推演至內外各軌道上共有92個電子時，即為鈾原子的模型。

## 第十一節 電磁波

**定義**——具有週期性的高頻率交流的放電現象，稱為**電振動** (Electric oscillation)。

**種類** { **阻尼振動**——振幅漸減的振動，稱為**阻尼振動** (Damped oscillation)。  
**無阻尼振動**——振幅均等不變的振動，稱為**無阻尼振動** (Undamped oscillation)。

**公式**——設電振的週期為 $T$ ，頻率為 $f$ ，電容為 $C$ ，自感係數為 $L$ ，在電阻甚小時，則

$$T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

$$\text{或 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

**頻率分類** { **射電頻率**——每秒在20,000次以上的電振動，收話器的膜片相應所發的音，音調過高，聽覺不能感覺，或因膜片的慣性，不能隨之而振動的高頻率，稱為**射電頻率** (Radio frequency)，簡稱**射頻**。  
**成音頻率**——可使收話器的膜片振動而發聲，由聽覺能感覺的低頻率，

稱為成音頻率(Audio frequency), 簡稱音頻。

## 1. 電振動

### 波的分類

**電波**——當發生電振動時, 引起以太的波動, 將電能向各方傳播, 此波稱為**電波**(Electric wave)。

**磁波**——當電振動發生時, 其和電力線垂直的平面上, 有若干成同心圓的磁力線發生, 向各方傳播, 每組磁力線圈和隣近的一組方向相反, 此波稱為**磁波**(magnetic wave)。其波長即為相隣而同方向的二磁力線圈的距離。

**電磁波**——電波和磁波合併, 則稱為**電磁波**(Electromagnetic wave)。

**阻尼波**——電振動為阻尼振動時所發生的電波, 成為斷續的一列波, 稱為**阻尼波**(Damped wave), 亦稱減幅波。

**無阻尼波**——電振動為無阻尼振動時所發生的電波, 其振幅連續不變的, 稱為**無阻尼波**(Undamped wave) 亦稱等幅波。

**波的性質**——電磁波的傳播情形與速度, 均和光波相同。遇金屬等導體則反射, 遇木、土、石等則透過, 遇絕緣體則生折射。當電磁波透過各物質時, 則一部被吸收。電磁波的波長較光波為長。

**電磁波說之創立及證實者**——英國物理學家馬克士威(Maxwell) 於1864年由數理

推算創立光的電磁波說，經德人赫茲(Hertz)於1888年由實驗證實之。

**電共振** { **定義**——由第一電路的振動，誘起第二電路亦生同樣振動的現象，和兩同頻率的音叉共振現象相似，稱為**電共振**(Electrical resonance)。

**赫茲實驗**——將放電棒A, B連於感應圈C的副線圈兩端，如圖47。在其附近另置一開口的金屬環R，當A, B間發生火花放電，送出電磁波時，調配R的位置使成諧調，R被誘起電流，則在A', B'處發生火花。

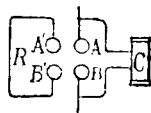


圖 47

**定義**——用以檢出電波的裝置，稱為**檢波器**(Detector)。

**粉末檢波器**

**構造**——在小玻璃管中裝有二銀製電極，中間隔以鎳粉和銅粉而成。

**原理**——電極二端通電時，則因粉末間有空隙之故，電阻很大，電流不易通過。但在電磁波作用之下，能使粉末互相黏合，則粉末的電阻大為減小，使電流易於通過。若輕擊之，粉末散亂，則又失其傳導作用。

**用途**——用以檢出電波的有無，因此器無選擇性，近代已不採用。

**構造**——將方鉛礦，紅鋅礦或斑銅礦等晶體，放在金屬杯內，在晶體面上壓一金屬尖針而成。

**原理**——當交流電通過晶體時，則因此種晶體具有單向導電的特性，只能

晶體檢波器

2. 檢波器

使一方向的電流通過，反方向的電流幾被阻止，具有整流作用。若將此器裝在電路中，則通過此器的高頻率交流電，即變為單向脈動電流。

用途——檢出空間的電波及整流之用。

構造——為佛來銘(Fleming)所創製，在高度真空玻璃泡內裝入鎢絲或碳絲為燈絲，以電池熱之，再以金屬板製成圓筒套於燈絲之外為電極，稱為板極，燈絲與板極絕緣。

二極真空管

原理——此種裝置亦有單向的導電性。板極接於交流電路中，當板極為正時，可以吸收由燈絲所發射出來的電子，則電路流通。當板極為負時，則阻止電子的射出；使電路不通。故此管只能通過一方向的電波，而阻止反方向的電波。

用途——檢波及整流之用。

真空管檢波器

構造——為美人第福來斯脫(De Forest)於1907年所創製。其構造為二極真空管的燈絲與板極之間，裝入一金屬網，稱為柵極，燈絲F，柵極G，板極P互相絕緣，稱為三極(圖48)。

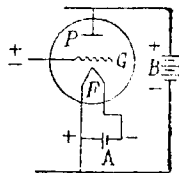


圖48

## 3. 無線電

## 三極真空管

**原理**——當燈絲以A電池燒熱，即放出電子，板極常與B電池的正極相接，故帶正電，對於燈絲放出的電子有吸引作用。柵極接於電波電路中，因與燈絲相近，故當柵極為負時，能排斥燈絲電子，減小電路中的電流。如柵極為正時，則可助板極作用，吸收電子，增加電流通過。柵極電位的微弱變化，可使板極的電流發生巨大的變化。當電路收到電波時，柵極的電位即成正負的交互作用，板極電路中即得單向脈動電流。

**用途**——檢波，擴大及發生高頻率無阻尼電波之用。

**定義**——利用電磁波的傳播，以通信息的裝置，稱為無線電報(Wireless telegraphy) 為1896年意人馬可尼(Marconi)所首創。

**發送機**——其裝置如圖 49 甲。

將電鍵K閉合，則交流發電機G送出交流電，經變壓器T，將電壓升高，使容電器 $C_1$ 灌電，至最大電壓時，在火花隙S發生火花放電，則

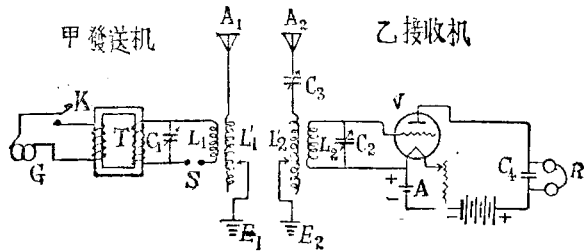


圖 49

$C_1SL_1$ 即成一振動電路，發生一定週期的電振動。再由變壓器  $L'$ ，發生電共振，由天線  $A_1$  把電波傳播於各方。

**接收機**——其裝置如圖49乙。當天線  $A_2$  受到電磁波後，由  $L'_2$  和容電器的調準，即得和來波同頻率的共振，再將  $L_2C_2$  調準使其發生電振動，因之真空管  $V$  之柵極電位發生變化，使收話器  $R$  內的電流也發生變化而發聲。由發送機按鍵時間的長短，接收機的收話器即發生相當長短的信號。

**定義**——利用電磁波的傳播以通話的裝置，稱為**無線電話** (Wireless telephony)。其原理和無線電報相似。

**發話機**——裝置如圖50甲。因三極真空管  $V_1$  的作用，在振動電路  $L_1C_1$  內發生無阻尼電波，如圖51(1)所示。當發話器  $M$  發話時，則由發話器發生與聲波相應的強

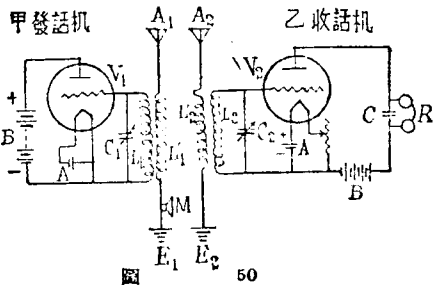


圖 50

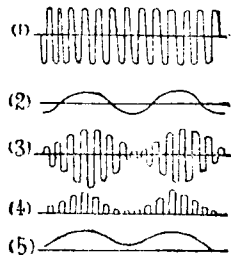


圖 51

4. 無線電話

弱變化的電流，如圖51(2)所示。兩波合併，即成爲振幅變化的電波，如圖51(3)所示。再由天線 $A_1$ 傳播於各方。

收話機——裝置如圖50乙。當天線 $A_2$ 接收電波後，經真空管 $V_2$ 檢波，將其整流，如圖51(4)所示，再由放大器放大，即得成音頻率的電振動，如圖51(5)所示，通過收話器，即發生和發話機所發相同的聲音。







(13871)