物　理　講　義

第　一　回

10761A-1

社團法人 考友社 出版發行

物理講義　第一回　目錄

第一講　力學（一）

命題重點

一、時間與空間

㈠時間的單位與計時工具

㈢長度的度量

二、運動學

㈠基本定義

㈡直線運動

㈢拋體運動

㈣圓周運動

㈤簡諧運動

㈥相對運動

三、靜力平衡

㈠力的量度與移動平衡

㈡轉動平衡

㈢重心

㈣質心

㈤天平

㈥摩擦力

重點整理

一、時間與空間

(一)時間的單位與計時工具：

1.時間的單位：

(1) 太陽日：地球上某子午線連續兩次正對太陽所經歷的時間。

(2) 恆星日：地球上某子午線連續兩次正對極遠處恆星所經歷的時間。

(3) 平均太陽日：地球繞日公轉一周，所有太陽日的平均值爲時間的標準單位，簡稱「日」或「天」。

(4) 1 年＝365.2421 平均太陽日（天）＝365 太陽日＝366 恆星日

(5) 1 天＝24 小時＝1440 分＝86400 秒

∵地球繞日公轉與自轉之方向相同

∴地球繞日公轉一周（1年） ⇨

對恆星實際自轉次數（1年的恆星日）

＝對太陽視轉動次動（1年的太陽日）+1

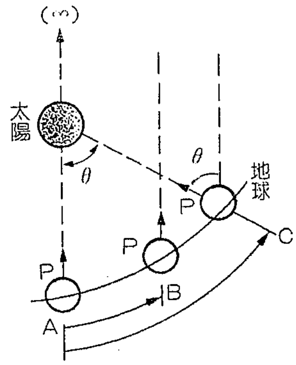


圖1－1 地球對太陽視轉一次（A→C）實際自轉 $360°+\theta$

2.計時工具：具有規律性變化的特性。

(1) 單擺：擺角（θ）＜5°，則：

$$T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}\quad\begin{cases}T：週期\\ L：擺長\\ g：重力場強度\end{cases}$$

① g 一定（同地點）⇨ $T\propto\sqrt{L}$

② L 一定（同擺長）⇨ $T\propto\frac{1}{\sqrt{g}}$

③ T 與擺幅大小（$\theta<5°$）及擺錘質量無關。

④ T＝2 秒之單擺稱爲秒擺，其擺長 L≒1 米。

⑤ 可利用單擺週期 T 測量：

A. 重力加速度；$g=\frac{4\pi^2 L}{T^2}$

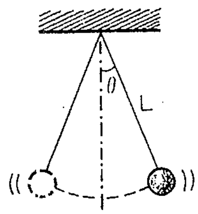


圖1－2 單擺

B. 擺線長：$L=\frac{gT^2}{4\pi^2}$

(2) 沙漏：測出一年內平均每日漏沙的次數，即可以此作爲計時單位。

3. 放射性元素衰變法：長時間之測定。

$$\frac{m}{m_0}=\frac{N}{N_0}=\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}\quad\begin{cases}m_0，N_0：\text{原有之質量，原子核數}\\ m，N：\text{剩餘之質量，原子核數}\\ T，t：\text{半衰期，經歷時間}\end{cases}$$

（二）長度的度量：

1. 短距離的測定：

(1) 游標尺：利用主、副尺每一刻度之差額對長度做更精密的測量。

① 原理：

A. 一般主尺之最小刻度爲 1 毫米。

B. 若副尺 $n+1$ 個刻度相當於主尺 n 毫米，則

a. 精密度：$\frac{1}{n+1}$ 毫米。（主、副尺每一刻度之差）

b. 若副尺 x 刻度對正主尺之 y 毫米，而副尺之零刻度在主尺的 u 與 v 毫米間，則長度 z 應爲：

$$\left.\begin{cases}\text{以副尺零刻度爲準} \Rightarrow z=u+\frac{1}{n+1}x\\ \text{以副尺對正之刻度爲準} \Rightarrow z=y-\frac{n}{n+1}x\end{cases}\right\}\text{二結果必相等。}$$

② 歸零修正：未夾物體時，求出主副尺零刻度間之距離 x。

A. 副尺之零刻度在主尺零刻度之右，須從讀數上減去 x。

B. 副尺之零刻度在主尺零刻度之左，須從讀數上加入 x。

(2) 螺旋測微器：

① 原理：螺距通常爲 0.5 毫米，套筒上等分爲 50 刻度，則

$$\begin{cases}\text{精密度爲 }\frac{1}{100}\text{ 毫米　（套筒旋轉 1 刻度螺桿進退之距離）}\\ \text{測量值可達到 }\frac{1}{1000}\text{ 毫米　（加一位估計值）}\end{cases}$$

② 歸零修正：未夾物體時，主尺橫線上之零刻度與套筒上對正之刻度差 x（x 超過零取正，未到零取負），將物夾入後，套筒邊緣在主尺橫線之 a 與 b 刻度間，且固定軸之刻度對正套筒之 y 刻度，則物長 z 應爲

$$z=a+\frac{1}{100}(y-x)$$

(3) 光學測微器：

① 構造：

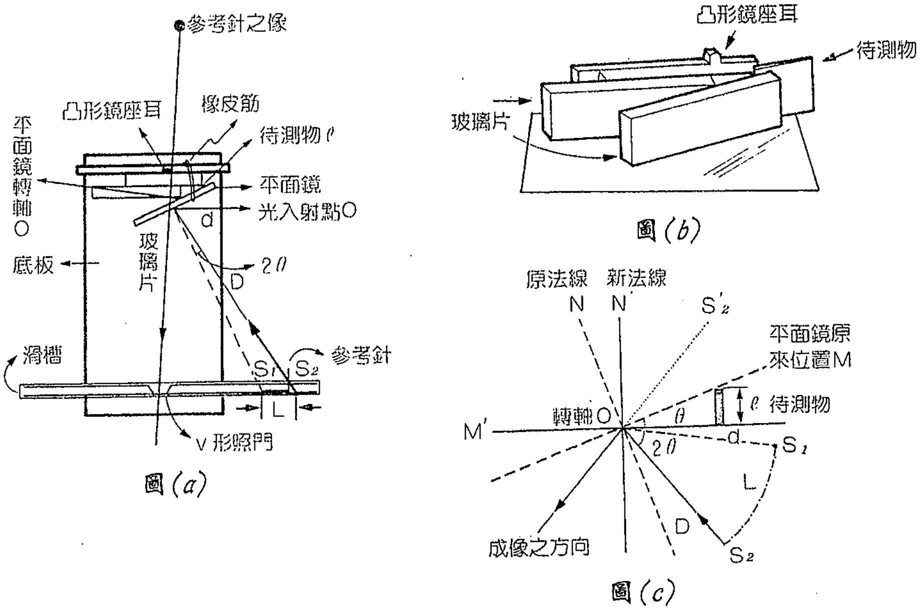


圖1－3　光學測微器

② 原理：

$$\begin{cases} \ell \doteqdot d\theta \\ L \doteqdot D(2\theta) \end{cases} \Rightarrow \ell \doteqdot \frac{Ld}{2D}$$

ℓ：待測物厚度
d：平面鏡旋轉半徑（兩玻璃片參差距離）
L：參考針（照門）移動之距離
D：參考針（照門）至平面鏡距離

ℓ 愈小，上式愈精確，且 ℓ—L 關係圖愈近乎直線，可利用內插法求出物體之厚度 ℓ。

2.長距離的測定：測遠儀。

(1) 基本原理：光槓桿原理。若入（反）射線不變，當平面鏡旋轉 θ 角時,反（入）射線將旋轉 2θ 角。

移動旋轉臂至轉動鏡內待測物體之像與待測物重疊

$$\Rightarrow \begin{cases} \tan\theta = \dfrac{s}{\ell} \\ \tan 2\theta = \dfrac{b}{d} \end{cases} \quad \because \tan 2\theta = \frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$$

⇨ 待測物距離 $d = \dfrac{b(\ell^2 - s^2)}{2s\ell}$

若 $d \gg b$（或 $s \ll \ell$）⇨ $\tan\theta \doteqdot \theta$，$\tan 2\theta \doteqdot 2\theta$

$\therefore$ 近似值 $d' \doteq \frac{b\ell}{2s}$ （d 愈大則 $d' \to d$）

若 $b \doteq \ell \Rightarrow d' \doteq \frac{b^2}{2s}$ （$d \propto b^2$）

$\begin{cases} b：兩平面鏡距離 \\ \ell：旋轉臂長 \\ s：刻度尺上旋轉臂移動之距離 \end{cases}$

(2) 公式誤差 $= \frac{|d'-d|}{d} = \frac{s^2}{\ell^2 - s^2}$

待測距離愈遠時（即 d 愈大或 s 愈小），公式誤差愈小，當 $\ell = \sqrt{2}\,s$ 時（i.e $d = \frac{\sqrt{2}}{4}b$ 或 $d' = \frac{\sqrt{2}}{2}b$），公式誤差爲 100 %。

(3) 零點誤差：一般所選之參考體皆爲有限距離者而非理想之無限遠，故刻度尺上之零點並不正確，必有誤差。

零點誤差 $= \frac{|\Delta s|}{s} = \frac{s - s'}{s}$ $\begin{cases} s：理想參考體之刻度 \\ s'：自選參考體之刻度 \end{cases}$

$\therefore$ 參考體不變（即 Δs 一定）$\Rightarrow$ $\begin{cases} 測近物時\ s\ 較大，故零點誤差較小 \\ 測遠物時\ s\ 較小，故零點誤差較大 \end{cases}$

① 歸零乃爲了獲得刻度上之零點，故待測物與參考體可在不同方向。

② 參考體愈遠愈好。

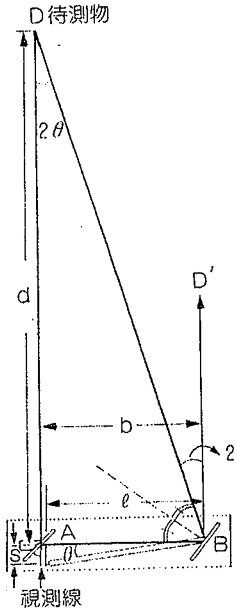


圖1－4　測遠儀

二、運動學

(一)基本定義：

1.位置向量：描述物體與原點之相對位置的指向線段（與原點有關），如下圖 1－5，P 點之位置向量可記爲：$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$ （$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2}$）

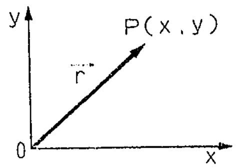


圖1－5　位置向量

2.位移向量：位置向量的改變量（與原點無關），如下頁圖 1-6。

$\Delta\vec{r} = \vec{r_2} - \vec{r_1} = (x_2\vec{i} + y_2\vec{j}) - (x_1\vec{i} + y_1\vec{j})$

$$=(x_2-x_1)\vec{i}+(y_2-y_1)\vec{j}=\Delta x\vec{i}+\Delta y\vec{j}$$

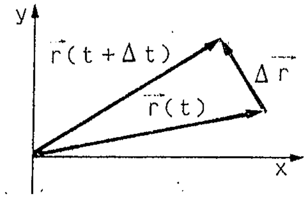


圖1－6　位置變化量（位移）

3.速度向量：

(1) 平均速度：單位時間內位置之變化量（位移）。

$$\overrightarrow{v_{av}}=\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i}+\frac{\Delta y}{\Delta t}\vec{j}=\overline{v}_x\vec{i}+\overline{v}_y\vec{j}$$

(2) 瞬時速度：極短時間內之平均速度。

$$\vec{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}=\frac{d\vec{r}}{dt}=\frac{dx}{dt}\vec{i}+\frac{dy}{dt}\vec{j}=v_x\vec{i}+v_y\vec{j}$$

① 一般所稱「速度」皆指瞬時速度。

② $\overrightarrow{v_{av}}$ 方向為 $\Delta\vec{r}$ 之方向。

③ $\vec{v}$ 方向為運動路徑之切線方向。

④ $\vec{v}$ 之量值　$|\vec{v}|=v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$

4.路徑與速率：

(1) 路徑：物體在空間運動所經過的路線或軌跡，其所經之總長度稱為路徑長，為純量。

(2) 速率：單位時間內所行之路徑長，為純量。

① 平均速率：$v_{av}=\overline{v}=\dfrac{\Delta\ell\text{（路徑長）}}{\Delta t}$

② 瞬時速率：$v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta\ell}{\Delta t}$

5.速率與速度之關係：

(1) 平均速率不一定等於平均速度之量值（視 Δx 與 $\Delta\ell$ 而定）。

(2) 瞬時速率即為瞬時速度之量值。

6.加速度向量：單位時間內速度之變化量。

(1) 平均加速度：

$$\overrightarrow{a_{av}}=\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\vec{i}+\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\vec{j}=\overline{a}_x\vec{i}+\overline{a}_y\vec{j}$$

(2) 瞬時加速度：

$$\vec{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}=\frac{d\vec{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\vec{i}+\frac{dv_y}{dt}\vec{j}=a_x\vec{i}+a_y\vec{j}$$

$\vec{a}$ 之量值：$|\vec{a}|=a=\sqrt{a_x^2+a_y^2}$

(3) 瞬時加速度可依方向區分為：

① 切線加速度（$\vec{a_T}$）：沿運動路徑之切線方向（改變 $\vec{v}$ 之量值）。

② 法線加速度（$\vec{a_N}$）：沿運動路徑之法線方向（改變 $\vec{v}$ 之方向）。

(4) 運動質點之軌跡可依 $\vec{a}$ 來判定：

① 直線 ⇨ $a_N=0$

② 曲線 ⇨ $a_N\neq 0$

(5) 運動質點之速率可依 $\vec{a}$ 來判定：

① 等速率 ⇨ $a_T=0$

② 變速率 ⇨ $a_T\neq 0$

（二）直線運動：

1.函數關係：

(1) 位置對時間（x—t）關係圖：

① 截距 { 橫坐標：通過原點的時刻。 縱坐標：初位置 x_0。

② 斜率 { 割線：某時距內之平均速度 v_{av}。 切線：某時刻之瞬時速度 v。

③ 曲線下之面積：無物理意義。

(2) 速度對時間（v—t）關係圖：

① 截距 { 橫坐標：靜止（或速度方向改變）之時刻⋯⋯⋯此時 x 有極值。 縱坐標：初速度 v_0。

② 斜率 { 割線：某時距內之平均加速度 a_{av}。 切線：某時刻之瞬時加速度 a。

③ 曲線下面積：位移 Δx。

(3) 加速度對時間（a—t）關係圖：

① 截距 { 橫坐標：a＝0（或 a 方向改變）之時刻⋯⋯⋯⋯⋯此時 v 有極值。 縱坐標：最初之加速度 a_0。

② 斜率：無物理意義。

③ 曲線下面積：速度變化量 Δv。

(4) 函數圖形之互換：$x-t \underset{求面積}{\overset{求斜率}{\rightleftarrows}} v-t \underset{求面積}{\overset{求斜率}{\rightleftarrows}} a-t$

運動狀態 \ 函數圖形	靜　　止	等 速 度 運 動	等 加 速 度 運 動

精選試題

一、單一選擇題

(B)　1.在重力場 g 中，有一擺長為 ℓ 之單擺。在其懸點之鉛直下方 $\frac{\ell}{2}$ 處有一細釘，故當懸線從鉛直線的一側擺到鉛直線之另一側時，擺長就成為 $\frac{\ell}{2}$。這個擺的週期等於　(A) $2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\left(1+\frac{1}{2}\right)$　(B) $2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$　(C) $2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{4}\right)$　(D) $2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\left(\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$。

題解：$T=\frac{1}{2}\cdot 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}+\frac{1}{2}\cdot 2\pi\sqrt{\frac{\ell/2}{g}}=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{2\sqrt{2}}\right)$

(B)　2.將使用單擺的時鐘吊在氣球下。若該氣球以 3 公尺/秒^2 的加速度鉛直下降，則時鐘每小時：　(A)快 10 分　(B)慢 10 分　(C)快 12 分　(D)慢 12 分　(E)快 12 分 15 秒。

題解：(1) 在慣性坐標系中單擺之週期 $T=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$，而在以加速度 a 下降之坐標系中單擺之週期 $T'=2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g-a}}$。

(2) 因 $T'>T$，即單擺變擺得較慢，故本題事實上只是選 (B) 或 (D) 之是非題。

(3) 設每小時慢 t 分，即少擺 $\frac{t}{T}$ 次 ⇨ $\frac{60}{T}-\frac{t}{T}=\frac{60}{T'}$ ⇨ $\frac{T}{T'}=\frac{60-t}{60}$

由(1)及(3)知：$\sqrt{\frac{g-a}{g}}=\frac{60-t}{60}=1-\frac{t}{60}$

兩邊平方得 $1-\frac{a}{g}\doteqdot 1-\frac{3}{10}=1-\frac{t}{30}+\frac{t^2}{3600}\doteqdot 1-\frac{t}{30}$ ⇨ $t\doteqdot 9$（分）⇨(B)

(C)　3.有一放射性同位素，每經 1 小時其強度減為原來的 $\frac{9}{10}$，則其半生期大約為若干小時？　(A)3　(B)5　(C)7　(D)9　(E)11。
（$\log 2=0.3010$，$\log 3=0.4771$）。

題解：設半生期爲 T，則 $\left(\frac{1}{2}\right)^{1/T}=\frac{9}{10}$，兩邊取對數

$$\Rightarrow \frac{1}{T}\log\frac{1}{2}=-\frac{1}{T}\log 2=\log 9-\log 10$$

$$\therefore -\log 2=T(2\log 3-1) \Rightarrow -0.3010=T(2\times 0.4771-1)$$

$$\therefore T\doteqdot 6.57\ (時)$$

(B)　4. 游標尺的副尺實長 9 公厘刻劃成 10 等分。在測量物體長度時，副尺的零點在主尺的 1.1 公分及 1.2 公分之間，而副尺的第 5 刻度與主尺的某刻度對齊，則該物體的長度爲：　(A) 1.12 公分　(B) 1.15 公分　(C) 1.16 公分　(D) 1.19 公分。

題解：$z=1.1+0.01\times 5=1.15$ (cm)

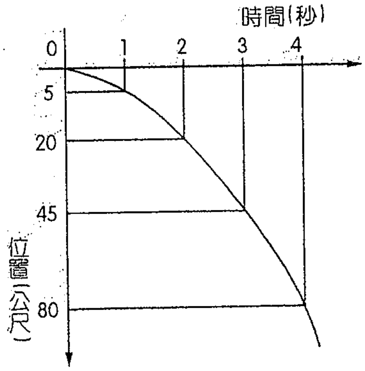
(B)　5. 如圖是一物體自由落下之時間與位置的關係，則由圖知在第二秒至第三秒間的平均速度爲：

(A) 20 公尺/秒

(B) 25 公尺/秒

(C) 30 公尺/秒

(D) 35 公尺/秒。



題解：$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{45-20}{3-2}=25$ (m/s)

(C)　6. 一物體作直線運動，先以 4 公尺/秒^2 的等加速度從靜止開始運動，接著以 -2 公尺/秒^2 的等加速度運動直到停止。若運動的總距離爲 150 公尺，則此物體運動所需時間爲　(A) 5 秒　(B) 10 秒　(C) 15 秒　(D) 20 秒　(E) 25 秒。

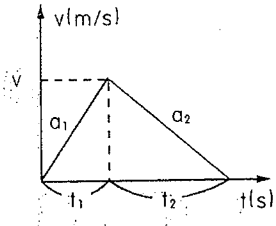
題解：如圖，$a_1=4=\frac{v'}{t_1}$ ……①

$a_2=-2=\frac{0-v'}{t_2}$ ……②

$\Rightarrow t_2=2t_1$

又面積代表位移

$\Rightarrow 150=\frac{1}{2}(t_1+t_2)\times v' \Rightarrow 300=3v't_1$ ……③



聯解①，③得　$t_1=5$ (s)，$v'=20$ (m/s) $\Rightarrow t_1+t_2=15$ (s)

(C)　7. 圖甲表示物體運動速率 v 與時間 t 的關係圖，則該物體加速度 a 與時間 t 的關係圖爲：