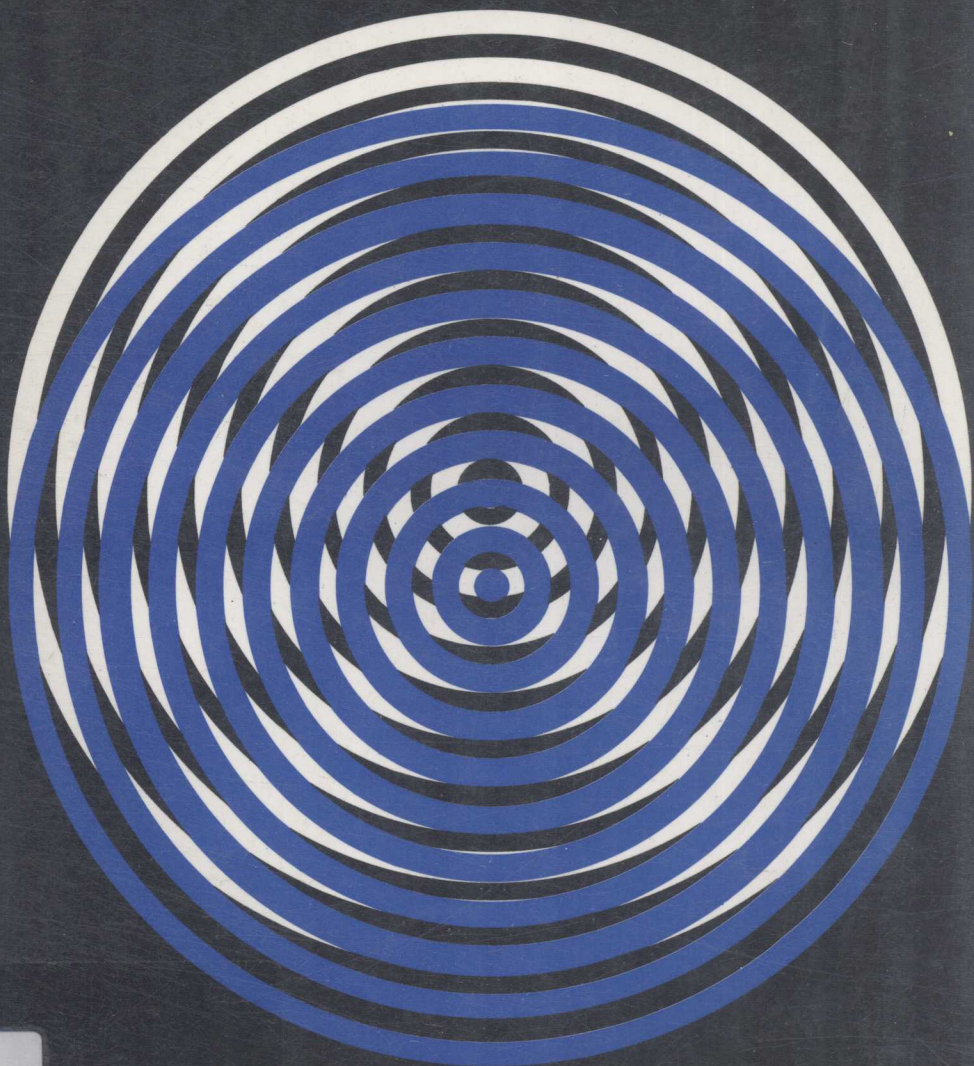


物理基礎觀念

第1冊

吳友仁編



東江圖書公司印行

883
1

016353

物理基礎觀念

第一冊

吳友仁編

國立師範大學物理系教授



東江圖書公司印行



S9000360



版權所有・翻印必究

中華民國七十四年十月初版

中華民國七十五年十一月四版

物理基礎觀念 (全四冊)

第一冊 新臺幣玖拾元整

(外埠酌加運費滙費)

編 者 吳 友 仁

發行人 朱 世 衡

出版者 臺灣東江書局股份有限公司
臺北市博愛路一〇五號
郵撥：00064813

印刷者 合 興 印 刷 廠

行政院新聞局登記證 局版臺業字第三〇八六號
(74064)

編輯大意

- 一、本書旨在：(一)紓解修習高中物理學生所遭遇的困難。(二)供應教授物理的高中教師教學所需的資料。
- 二、本書編撰方式與體裁與教科書有別，未必適合作為教科書之代用品。但編者認為適當應用，對學習者與授課者均當有所助益。
- 三、初涉物理的學生，通常多存有不少先入為主、自以為是或“想當然耳”的錯誤觀念，乃致在學習過程中感受到百思不解、莫名其妙之困惑；若指導不當，則易患囫圇吞棗、不求甚解的通病。最後，不得不以強記、背誦作為痛苦學習的方式。以故，本書在各個單元中，除對觀念之闡釋特求詳盡、明瞭之外，對容易發生誤解之處所，特以“舛誤辨正”方式指明必須澄清改進的錯誤想法，期以導正學習者之思考路線，使能順暢習研，無有扞格。
- 四、本書既非“題庫”，亦非“聯考必讀”，所列習題與例解，均特選其對教材了解有所幫助者，按序編列。教師可自行擷選，隨機講授，增進教學效果；學生可隨時演練，再與書中解答部分比對，藉以祛除畏難、倚賴、不知從何著手等的學習心態。
- 五、數學為處理物理問題不可缺少的工具，在“新課程實驗教材物理”第一冊（高二修習）中，即以積分學應用於力學某些部分，但在同時實施的“新課程數學”中，則至高三理科數學中方始列入，致使任課教師與學生有不能“學以致用”的煩惱。事實上，

微分與積分基本原理及運算法則均屬高二學生可以理解的範圍，教師自不妨選摘其中可以應用於物理之部分，作簡略介紹，指導學生作些簡單運算練習，然後應用於物理課程某些章節，常能收事半功倍之益。本書特於附錄中列作參考資料，以資教師選用。

- 六、書中有關平面三角、解析幾何中平面曲線等數式，學生或已於高一時修習，或在高二與物理平行修習，本書亦將其運算公式提要等一併列於附錄中，以便翻閱參考。
- 七、新課程標準中將近代物理部分，如相對論、量子力學、基本粒子等列入教材大綱。本書針對高中學生理解力所能達到之範圍作簡明淺顯之敘述與譬喻，使學生雖尚未能登其堂奧，却可略窺其理論概要，作為現代國民所應具有的科學常識。
- 八、新課程規定物理等科目每週授課時數為3小時（包括實驗），估計進度，恐難如期達成。若能令學生在課前先行預習，則教師在講授時，僅需提綱挈領，對其中較難了解之部分指導其思考方法，則課程進行自感通暢順適；進而督促複習演練，使能充足消化吸收。本書循此方向設計，文字力求淺顯，說理力求明白；學生自行閱讀，對學理觀念當可領悟其大略，復經指導、複習，必能融會貫通，舉一反三，油生興味。
- 九、本書編撰前，參閱國內歷年教科用書並參考英、美、日、港及新加坡等國外同類書籍十數種，在練習題中並擷選近年國內大專聯考試題。學生若認真演練，必有成就。
- 十、本書編撰過程中，承出版書局編輯部特聘助理編輯李宏珠小姐專責為本書蒐集資料，選演習題，整理並校繕稿件，特表謝忱。
- 十一、本書編校匆促，謬誤難免，至祈教學同仁隨時賜正，俾作修訂參考，至深感禱。

目 次

緒 論.....	01
0-1 時間.....	01
0-2 時間的單位.....	03
0-3 空間與空間度.....	04
0-4 長度的單位.....	05
0-5 短距離的測量.....	05
0-6 單位的處理和物理量的因次.....	07
第一章 運動學.....	1
(一) 教材大綱.....	1
1.1 位置.....	1
1.2 運動.....	1
1.3 質點.....	1
1.4 位移.....	1
1.5 速率與速度.....	2
1.6 等速度與變速度.....	2
1.7 相對速度.....	2
1.8 加速度.....	2
1.9 等加速度運動.....	3
1.10 鉛直方向之拋射運動.....	3
1.11 斜向拋射運動.....	4
1.12 水平拋射運動.....	6
1.13 光滑斜面上之運動.....	6
1.14 角位移與角速度.....	7
1.15 等速圓周運動.....	7
1.16 週期運動.....	8
1.17 簡諧運動.....	9
(二) 觀念闡釋.....	10

iv 物理基礎觀念

(I) 量和變化量	10
(II) 運動學各量的函數關係曲線圖	12
(III) 直線運動各量的正負號	16
(IV) 加速度的正負	17
(V) 平面運動速度、加速度的方向	18
(VI) 簡諧運動的位移與加速度	19
(VII) 簡諧運動的各量的計算	19
(VIII) 參考坐標與相對運動	19
練習題(一)	23
練習題(一)解答	34
第二章 靜力平衡	59
(一) 教材大綱	59
2.1 平衡狀態	59
2.2 質點的平衡	59
2.3 拉密 (Lami) 定律	59
2.4 力矩	59
2.5 物體之平衡	60
2.6 平行力	60
2.7 重心與質量中心 (質心)	61
2.8 摩擦力、摩擦係數	62
2.9 摩擦角、靜止角	62
(二) 觀念闡釋	63
(I) 平衡	63
(II) 分離物體作力圖	63
(III) 力的“施”與“受”	64
(IV) 力之可傳性	64
(V) 拉力與推力	64
(VI) 光滑面之反作用力	65
(VII) 精確作圖	66
(VIII) 剛體平衡問題之解法	66
練習題(二)	68
練習題(二)解答	82
第三章 質量與牛頓第一、二運動定律	119
(一) 教材大綱	119
3.1 力	119
3.2 質量	119

3.3 牛頓第一定律(慣性定律)	119
3.4 牛頓第二定律(加速度定律)	120
3.5 力的絕對單位	120
3.6 連接體運動〔阿特午機 (<i>Atwood</i>)〕	120
3.7 動摩擦	121
3.8 動量	121
3.9 動量守恒原理	122
3.10 質心運動	122
(二) 觀念闡釋	123
(I) 彈簧與力	123
(II) 彈簧連結物體——簡諧運動	124
(III) 彈力常數 k 的討論	126
(IV) 重量、重力質量與慣性質量	127
(V) 牛頓運動定律的應用	128
(VI) 在重力作用下物體的升降和連接體運動	129
(VII) 轉向之力與圓周運動 131	(VIII) 動量守恒原理
(IX) 質量中心	135
(X) 質量中心的速度	137
(XI) 質量中心坐標系	137
(XII) 動量守恒定律的一般性	138
(XIII) “分離物體法”的應用	139
(三) 舛誤辨正	141
練習題(三)	146
練習題(三)解答	161
第四章 牛頓第三運動定律、衝量	193
(一) 教材大綱	193
4.1 牛頓第三運動定律	193
4.2 質心運動	193
4.3 火箭	194
4.4 衝量	194
4.5 衝量與動量	194

(二) 觀念闡釋	195
(I) 作用力與反作用力... 196	(II) 內力與運動..... 196
(III) 牛頓第二運動定律的原來形式.....	196
(IV) 質量發生改變時的牛頓第二定律.....	197
(V) 火箭問題..... 198	(VI) 衡量..... 201
(VII) 衡量和動量、力的關係.....	204
(VIII) 動量守恒與衡量.....	206
(三) 舛誤辨正.....	206
練習題(四)..... 209	練習題(四)解答..... 219
第五章 牛頓萬有引力定律	245
(一) 教材大綱.....	245
5.1 克卜勒行星運動三定律.....	245
5.2 與距離之平方成爲反比的力.....	245
5.3 萬有引力定律.....246	5.4 向量場和重力場強度...246
5.5 單擺.....	248
(二) 觀念闡釋.....	250
(I) 克卜勒行星運動第二與第三定律討論的對象.....	250
(II) 克卜勒行星定律.....	250
(III) 物體的重量與重力場.....252	(IV) 萬有引力定律.....253
(V) 重力場強度和重力源質量的關係	256
(VI) 由繞轉物體的週期及軌道半徑計算中心物體的質量.....	257
(VII) 重力源不止一個的情況.....	258
(VIII) 萬有引力的實驗.....258	(IX) 彈簧振子與單擺.....259
(三) 舛誤辨正	262
練習題(五).....265	練習題(五)解答.....269

附錄一 微積分簡介	A-1
A-1 導函數	A-1
A-2 應用微分法處理運動學的一些問題	A-4
A-3 微分的基本運算法則	A-8
A-4 函數值的變化與切線的斜率	A-8
A-5 二階導函數與極大極小的判定	A-9
A-6 導函數公式摘要	A-11
A-7 微分	A-13
A-8 定積分	A-13
A-9 反導函數——不定積分	A-16
A-10 標準基本型積分公式	A-18
附錄二 向量	A-21
B-1 坐標與向量	A-21
B-2 向量的加法	A-23
B-3 向量加法的應用	A-25
B-4 向量的減法	A-27
B-5 向量減法的應用	A-28
B-6 向量的分解	A-28
B-7 向量與“純數”及向量與“純量”的乘積	A-29
B-8 兩向量的內乘積	A-31
附錄三	A-34
備查公式	A-34
(一) 幾何形體之面積與體積	A-32
(二) 三角函數	A-33
(三) 解析幾何	A-34
(四) 指數與對數	A-34

第一章 運動學

(一) 教材大綱

1.1 位置

某一物體對其他物體之空間關係稱為位置。平面上表示位置的方法通常用直角坐標和極坐標兩種，其換算關係如下：

$$\begin{cases} x = r \cos \theta \\ y = r \sin \theta \end{cases} \quad \begin{cases} r^2 = x^2 + y^2 \\ \theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \end{cases}$$

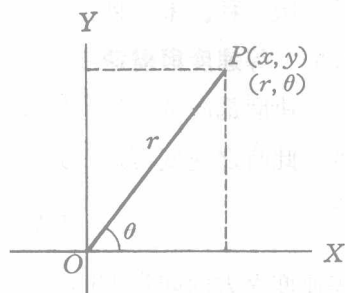


圖 1-1

1.2 運動

物體位置隨時間而變動的現象稱為運動。物體運動時，其上各點運動情形完全相同者稱為移動；如運動時，物體上各點均繞同一軸線作同心圓弧之運動時，則稱為轉動。普通不規則之運動多由移動與轉動綜合而成。

1.3 質點

將物體視為僅有位置而無大小之一點而假定物體之質量均集中此點上，稱為質點。

1.4 位移

討論物體位置之變動而不涉及所經歷之時間者稱為位移，位移為

2 物理基礎觀念

向量，其合成與分解悉依向量法行之，其單位即為長度之單位，如厘米、米、呎、哩等。

1.5 速率與速度

單位時間內位移之變化稱為速度，位移為向量，時間為無向量，故速度為向量。當僅討論速度之大小而不涉及方向時，則稱為速率（亦稱為快慢），故速率可視為無向量。速度與速率之單位為厘米／秒、呎／秒、米／秒、仟米／時、哩／時……等。

1.6 等速度與變速度

速度為向量，故包括大小與方向，若此二者具不變化則稱為等速度，此時之速度可以下式計算之

$$\vec{v} \text{ (等速度)} = \frac{\Delta \vec{s} \text{ (位移)}}{\Delta t \text{ (時間)}}$$

等速度之方向即為不變，故必向直線方向進行。若速度之大小與方向二者中有一發生變化，或二者俱生變化，則稱為變速度，在一定時間內速度之平均值稱為平均速度，若求極短時間（ $\Delta t \rightarrow 0$ ）內之極限值

$(\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t})$ ，則稱為瞬時速度（ $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$ 或以微分法表之為 $\vec{v} = \frac{d\vec{s}}{dt}$ ）。

觀察物體運動，最初一瞬之速度稱為初速度，最後一瞬稱為末速度。

1.7 相對速度

甲、乙兩物體各以不同之速度運動，在甲之感覺中，乙物體之運動速度稱為乙對甲之相對速度，例如乙以 3 米／秒之速度向東行走，甲坐在 8 米／秒之車中同向並行，則甲感覺乙以 5 米／秒之速度後退，此即“乙對甲之相對速度”。求二運動體之相對速度僅求二者速度之向量差即是。

1.8 加速度

單位時間內速度之變化（速度之變化率）稱為加速度，以式表

示:

$$\text{加速度} = \frac{\text{速度之變化 (包括大小和方向之變化)}}{\text{時間}}$$

$$\text{即 } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} \text{ (末速度)} - \vec{v}_0 \text{ (初速度)}}{\Delta t}$$

加速度爲向量，其單位爲厘米/秒²、米/秒²、呎/秒²等。

1.9 等加速度運動

若物體運動時，其加速度保持一定值，則此種運動稱爲等加速度運動（即1.8中 a 爲定值）。此式以無向量式記之爲

$$v = v_0 + at \quad (\text{時間與速度關係式}) \cdots \cdots \cdots ①$$

物體作加速運動時，其平均速度爲： $\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{v + v_0}{2}$ 以此式代入①

即得

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{時間與位移關係式}) \cdots \cdots \cdots ②$$

由①②中消去 t 得

$$v^2 = v_0^2 + 2as \quad (\text{位移與速度關係式}) \cdots \cdots \cdots ③$$

1.10 鉛直方向之拋射運動

一、拋下與拋上運動：鉛直拋上或拋下時，物體得一初速度 v_0 而運動，拋上時 g 取負值（ g 與 v_0 反向），拋下時 g 取正值（ g 與 v_0 同向）。以 $a = \pm g$ 代入1.9 ①②③得公式：

$$v = v_0 \pm gt \cdots \cdots \cdots ①$$

$$s = v_0 t \pm \frac{1}{2} gt^2 \cdots \cdots \cdots ②$$

$$v^2 = v_0^2 \pm 2gs \cdots \cdots \cdots ③$$

二、自由落體運動：自某一高度，由靜止開始落下之物體稱爲自由落體，此時以 $v_0 = 0$ ； $a = g$ 代入1.10①②③中即得公式：

$$v = gt \dots\dots\dots ④$$

$$s = \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots ⑤$$

$$v^2 = 2gs \dots\dots\dots ⑥$$

自由落體實可視為鉛直拋射之一特例而已（即 $v_0 = 0$ ），討論鉛直拋射應注意者：

(一)式中之 s 為某一時間內（ t 秒內）物體之位移，亦即某一時刻（ t 秒末）物體與原出發點之距離。就拋上運動而言，若 s 為正，則物在原點之上，若為負，則物已自最高處落回至原出發點以下。但在拋下時 s 以在原點以下者為正。

(二)拋上至最高點時末速 $v = 0$ ，故最大高度 $H = \frac{v_0^2}{2g}$ 。

(三)拋上至最高點所需時間與落至原處所需之時間相同，均為 $t = \frac{v_0}{g}$ 。

(四)拋上經某點而達最高處後又返經該點而落下，兩次經過該點時速率相等而方向相反。

1.11 斜向拋射運動

以 v_0 之初速度將物體向與水平成 θ 角之斜向拋射時，在鉛直方向受重力作用作加速度運動，而水平方向則維持等速。故斜向拋射運動可視為等速運動與等加速度運動之綜合運動，將 v_0 分解為鉛直與水平兩分量，則水平方向之初速度為 $v_0 \cos \theta$ ，鉛直方向之初速度為 $v_0 \sin \theta$ 。水平方向以 $v_0 \cos \theta$ 之初速作等速運動故：

$$x \text{ (} t \text{ 秒內物體之水平位移)} = v_0 \cos \theta \cdot t \dots\dots\dots ①$$

鉛直方向以 $v_0 \sin \theta$ 之初速作拋上運動故：

$$y \text{ (} t \text{ 秒內物體之鉛直位移)} = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots ②$$

由①②中消去 t 即得拋物線式:

$$y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \theta} x^2 \dots\dots\dots (3)$$

在上三式中應注意者:

一、若物已落至出發高度以下，則 y 為負值。若向斜下方拋出，即 θ 為俯角，則 θ 為負值。

二、水平方向為等速，在運動中任何時刻之水平分速均為

$$v_x = v_0 \cos \theta \dots\dots\dots (a)$$

鉛直方向為等加速，故 t 秒末之鉛直速度將變為

$$v_y = v_0 \sin \theta - gt \dots\dots\dots (b)$$

故 t 秒末之運動速度為

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \dots\dots\dots (c)$$

方向為

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x} \dots\dots\dots (d)$$

三、達最高點時 $v_y = 0$ 代入(b)即得達最高點所需時間

$$t_1 = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \dots\dots\dots (e)$$

四、落回至原高度所需時間為

$$T = 2t_1 = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \dots\dots\dots (f)$$

五、將 T 值代入

①中之 t ，得

回至原高度時之水平位移:

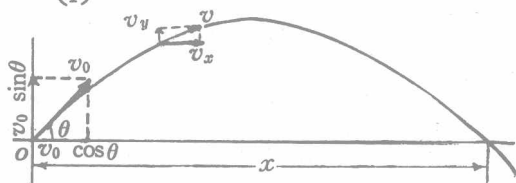


圖 1-2

$$x = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \dots\dots(g)$$

此式中 $\theta = 45^\circ$ 時 x 得最大值

$$x_{max} = \frac{v_0^2}{g} \dots\dots\dots(h)$$

六、將 $t = \frac{v_0 \sin \theta}{g}$ 代入②得最大高度：

$$y = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta}{2g} \dots\dots\dots(i)$$

1.12 水平拋射運動

斜向拋射中若 $\theta = 0^\circ$ 則為水平拋射運動，以 $\theta = 0^\circ$ 代入 1.11

①②③中即得水平拋射運動公式：

$$x = v_0 t \dots\dots\dots①$$

$$y = -\frac{1}{2} g t^2 \dots\dots\dots②$$

$$x = v_0 \sqrt{-\frac{2y}{g}} \dots\dots\dots③$$

討論：

一、若以出發高度以下為正則②中 y 為

正值 $y = \frac{1}{2} g t^2$ 。

二、②式與自由落體公式②相較，即知：自同高度自由落下與平拋之兩物體抵地所需時間相等。

三、落下 t 秒後之速度

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} \dots\dots\dots(a)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_0} \dots\dots\dots(b)$$

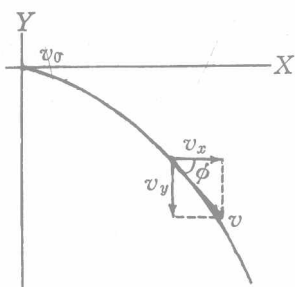


圖 1-3

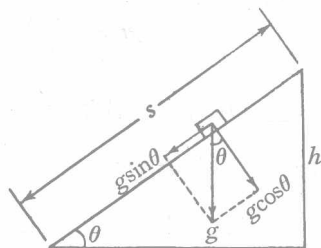
1.13 光滑斜面上之運動

放在光滑斜面上的物體其滑下之加速度為重力加速度在斜面方向之分量，即 $g \sin \theta$ 以 $a = g \sin \theta$ 代入 1.9 中①②③得自斜面滑上下之運動公式：

$$v = v_0 + g \sin \theta \cdot t \cdots \cdots \textcircled{1}$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} g \sin \theta \cdot t^2 \cdots \cdots \textcircled{2}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2g \sin \theta \cdot s \cdots \cdots \textcircled{3}$$



討論：

一、若自靜止而滑下則①②③中 $v_0 = 0$ 。

二、自斜面下滑上，則 g 為負。

圖 1-4

三、③中 $2g \sin \theta \cdot s$ 一項可改書 $2gh$ ，故 $v^2 = v_0^2 + 2gh \cdots \cdots (a)$

此式與鉛直拋射公式相比較。即知自同高度滑下（上）與拋下（上）其末速相同，而與傾斜度無關。

1.14 角位移與角速度

物體繞一軸線轉動時，其上一點繞軸線轉過之角度，稱為角位移，通常以弧度計之。若該點之位移為 s ，與軸線之距離為 r ，轉過之角度為 θ ，則角位移與線位移之關係為 $s = r\theta$ 。單位時間內位移之變化

為角速度，以 ω 表之時間為 t ，則
$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

ω 之單位為弧度／秒、弧度／分等。

角速度與線速度關係為
$$v = r\omega$$

1.15 等速圓周運動

質點圍繞一定點作等速圓弧形之運動稱為等速圓周運動，運動時速度之大小保持不變，而方向則隨時不同。

設某一時刻質點在 P 點（圖 1-5）其速度為 v_0 經過極短之時間