

SEARS / ZEMANSKY / YOUNG 原著第七版

# University Physics

S E V E N T H E D I T I O N

## 大學物理學

精要及習題詳解 上冊

劉威志  
游信勝 編著  
陳芳祝

天一圖書公司 印行

PDG

SEARS / ZEMANSKY / YOUNG 原著第七版

# University Physics

S E V E N T H E D I T I O N

## 大學物理學

精要及習題詳解 上 冊

劉威志  
游信勝 編著  
陳芳祝

天一圖書公司 印行

# 大學物理學

## 習題詳解 上册

|                |
|----------------|
| 著作權所有<br>不准翻摘印 |
|----------------|

---

編著者：劉威志、游信勝、陳芳祝

發行所：順達出版社

總經銷：天一圖書公司

地 址：台北市金華街 128 號

電 話：3513920

登記證：局版台業字第 0307 號

---

民國七十六年十一月初版

## 序 言

SEARS / ZEMANSKY / YOUNG 三人合著之大學物理學，可謂學習基本物理學之經典之作，其內容深入淺出，條理分明，尤其習題作業繁多，給初學者反覆練習，為本書之特色，今年（1987年）新版第七版問世，內容改變甚多，而其習題部份更加完美精彩，每章前均有提要及重點複習，以收事半功倍之效。本書對大學初學物理者，無論是否採用本原文教科書者，均為最佳之參考書。

編著者 謹識於國立台灣大學

# 目 錄

## 第一篇 力學與基礎

|                |     |
|----------------|-----|
| 第一章 單位、物理量及向量  | 1   |
| 第二章 沿一直線的運動    | 33  |
| 第三章 平面運動       | 85  |
| 第四章 牛頓運動定律     | 127 |
| 第五章 牛頓定律的應用—I  | 147 |
| 第六章 牛頓定律的應用—II | 201 |

## 第二篇 力學—進一步發展

|           |     |
|-----------|-----|
| 第七章 功與能   | 235 |
| 第八章 衡量與動量 | 293 |
| 第九章 轉動    | 345 |
| 第十章 剛體之平衡 | 435 |
| 第十一章 週期運動 | 459 |

## 第三篇 物質的機械及熱性質

|              |     |
|--------------|-----|
| 第十二章 彈性      | 511 |
| 第十三章 流體力學    | 533 |
| 第十四章 溫度與膨脹   | 689 |
| 第十五章 熱量      | 609 |
| 第十六章 熱傳遞的機制  | 637 |
| 第十七章 物質的熱性質  | 665 |
| 第十八章 熱力學第一定律 | 691 |
| 第十九章 熱力學第二定律 | 717 |
| 第二十章 物質的分子性質 | 743 |

# 第一篇 力學與基礎

## 第一章 單位、物理量及向量

### 1-1 緒 言

1. 物理學本質上是實驗和測量的科學。
2. 物理量是指任何可以用來描述物理現象的數。要定義物理量，我們可以(1)指定測量此量的過程，或(2)說明如何用其他可以測量的量計算此量的方法。如(1)的定義稱為操作型定義。

### 1-2 標準和單位

1. 單位是描述物理量大小的標準。
2. 國際單位制 ( SI ) 中：

時間單位為秒 ( s )，定義為  $^{133}\text{Cs}$  光譜中，一特定電磁波週期的 9192631770 倍。

長度單位為公尺 ( m )，定義為光在真空中，傳播  $1/299792458$  秒的距離。

質量單位為公斤 ( kg )，定義為一塊特定的鉑銱合金的質量。這塊鉑銱合金保存在法國的國際度量衡局內。

3. 可以在基本單位上添加字首，以得到較大或較小的單位。表示 10 的冪次字首如下：

| 10 的冪次 | $10^{-18}$ | $10^{-15}$ | $10^{-12}$ | $10^{-9}$ | $10^{-6}$ | $10^{-3}$ | $10^{-2}$ | $10^3$ | $10^6$ |
|--------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|
| 字 首    | atto-      | femto-     | pico-      | nano-     | micro-    | milli-    | centi-    | kilo-  | mega-  |
| 縮 寫    | a          | f          | p          | n         | $\mu$     | m         | c         | k      | M      |

| 10 的幕次 | $10^9$ | $10^{12}$ | $10^{15}$ | $10^{18}$ |
|--------|--------|-----------|-----------|-----------|
| 字 首    | giga-  | tera-     | peta-     | exa-      |
| 縮 寫    | G      | T         | P         | E         |

#### 4. 英制中

時間單位為秒。

長度單位為英吋 (inch)，定義為 2.54 cm。力的單位為磅 (pound)，定義為 4.448221615, 2.60 牛頓 (newton)。  
(註：請參考附錄 E)

### 1-3 單位一致和互換

1. 相同單位的量才能相加減或相等。

#### 1-4 精確度和有效數字

1. 表示物理量的精確度常記為

- (1)  $X \pm Y$ ，指確實的量在  $X - Y$  到  $X + Y$  之間。
- (2)  $X \pm Y\%$ ，指確實的量在  $X - (X \cdot Y\%)$  到  $X + (X \cdot Y\%)$  之間。
- (3) 有效數字，計算結果的有效數字位數不大於原來的有效數字位數。

2. 常用科學記號表示很大或很小的數。如  $1.49 \times 10^{11}$  m 或  $9.11 \times 10^{-31}$  g，寫在前面的乘數為有效數字。

#### 1-5 估計和數量的階次

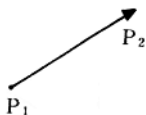
1. 在許多問題中，常常只要作大略的估計，計算其階次就可以得到有意義的結果。

#### 1-6 向量和向量加法

1. 可以只用一數字描述的量叫純量。如長度、溫度等等。而有些量，除了大小之外，還必須描述其方向，如速度、力等，稱為向量。

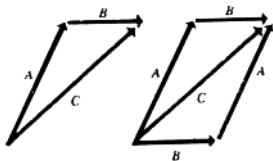
2. 如位移即為一向量，如圖， $P_1$  到  $P_2$  之位移

。其大小為  $P_1$  到  $P_2$  之距離，其方向為  $P_1$  指向  $P_2$ 。

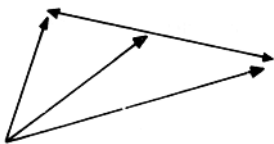


3. 向量可以相加，記作  $C = A + B$ 。

4. 向量加法有交換性，即  $A + B = B + A = C$



5. 向量的減法定義為  $A - B = A + (-B)$



### 1-7 向量的分量

1. 在  $x - y$  平面上的向量，都可以表示或一平行於  $x$  軸的向量及一平行於  $y$  軸的向量之和。記作

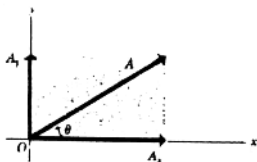
$$A = A_x + A_y$$

且其大小有

$$\frac{|A_x|}{|A|} = \cos \theta \quad \frac{|A_y|}{|A|} = \sin \theta$$

$$|A| = \sqrt{|A_x|^2 + |A_y|^2}$$

$$\tan \theta = \frac{|A_y|}{|A_x|}$$



2. 對  $C = A + B$ ，則

$$C_x = A_x + B_x$$

$$C_y = A_y + B_y$$

多向量的相加亦如此。

3. 以上的討論很容易推廣到空間中。

### 1-8 單位向量

1. 單位向量指大小為 1 的向量。用來表示一個方向。

2. 在平面上，令  $i$ 、 $j$  為  $x$  軸、 $y$  軸方向的單位向量。則任一向量可寫成

$$A = A_x i + A_y j$$

3. 在空間中，令  $i$ 、 $j$ 、 $k$  為  $x$  軸、 $y$  軸、 $z$  軸方向的單位向量，則任一向量可寫成

$$A = A_x i + A_y j + A_z k$$

### 1-9 向量積

1. 兩向量  $A$ ， $B$  的純量積定義為

$$A \cdot B = |A| |B| \cos \theta$$

$\theta$  為  $A$  和  $B$  的夾角。

2. 因  $i \cdot j = j \cdot j = k \cdot k = 1$

$$i \cdot j = j \cdot k = k \cdot i = 0$$

所以  $A \cdot B$

$$= (A_x i + A_y j + A_z k) \cdot (B_x i + B_y j + B_z k)$$

$$= A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z$$

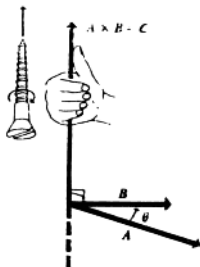
3. 兩向量  $A$ ， $B$  的向量積定義為

$C = A \times B$ ，其中

$$|C| = |A| |B| \sin \theta$$

$\theta$  為  $A$  和  $B$  的夾角

$C$  的方向如圖所示。



#### 4. 向量積不滿足交換性

$$A \times B = -B \times A \neq B \times A$$

#### 5. 因 $i \times i = j \times j = k \times k = 0$

$$i \times j = k \quad j \times k = i \quad k \times i = j$$

所以  $A \times B$

$$\begin{aligned} &= (A_x i + A_y j + A_z k) \times (B_x i + B_y j + B_z k) \\ &= (A_y B_z - A_z B_y) i \\ &\quad + (A_z B_x - A_x B_z) j \\ &\quad + (A_x B_y - A_y B_x) k \\ &= \begin{vmatrix} i & j & k \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix} \end{aligned}$$

#### 問 題

1 - 1  $\pi$  (圓周率) 的單位是什麼？

答  $\pi$  是圓周和直徑兩長度的比值，是一個數，沒有單位。

1 - 2 一條山路的爬升率，記為每公里150公尺。怎樣用沒有單

6 大學物理學詳解（上）

的數字來表示？

答 把 1 公里化作 1000 公尺，或把 150 公尺化作 0.15 公里。  
爬升率可表示成  $150 / 1000 = 0.15 / 1 = 0.15$ 。

1 - 3 如果要你求 3 m 的餘弦值，可能嗎？

答 不能，因三角函數（如餘弦）的自變數必為沒有單位的數。

1 - 4 水文學家用“秒一呎”為單位，描述河水的體積流率。由技術上說，這單位正確嗎？若不對，正確的單位該如何？

答 不對，應該用“每秒 1 立方呎”。

1 - 5 公路承包商宣稱，建造橋面時，他用了 200 碼混凝土。你想他說的是什麼？

答 他該是指 200 立方碼的混凝土。

1 - 6 大小為零的向量，有方向嗎？

答 沒有。

1 - 7 你的體重是多少牛頓？

答 若你體重為 A 公斤重，則為  $A \times 9.8$  牛頓。

1 - 8 你的身高是多少公分？

答 這題是為使用英制的學生練習換算的。  
 $1 \text{ 吋} = 2.54 \text{ 公分}$ 。

1 - 9 什麼物理現象可以用來定義時間的標準？（除了擺或鉀原子鐘外）

答 如地球的自轉、公轉週期。月球繞地球的週期，特定石英晶體振盪的週期等。

- 1 - 10 能否用某個原子規模的量，做為質量單位？這和Sevres 所保存的 1 kg 鉑圓柱來比，優點或缺點為何？

答 可以。例如定某種特定同位素原子質量為質量單位的  $1/N$ （可適當規定  $N$ ）。其優點為穩定不變，如同時間單位的定義。但在比較、測量時有技術上的困難。

- 1 - 11 如何用普通的尺測出一張紙的厚度？

答 找一疊同樣的紙，測量總厚度，再除以這疊紙的張數。

- 1 - 12 能找到兩個長度不同的向量，使其向量和為零嗎？要使三個向量的和為零，其長度有什麼限制？

答 兩長度不同的向量，其和必不為零；而三向量和為零時，必形成一三角形或直線，使其中任兩個長度之和必大於或等於第三個的長度。

- 1 - 13 一腳踏車手沿半徑 500 m 的圓形跑道行駛，由北邊到南邊時，位移為何？她走完一圈時，位移為何？

答 由北邊到南邊時，位移向量大小等於跑道直徑，即 1000 m，方向指向正南。她走完一圈時，位移為零。

- 1 - 14 體積的單位為何？若有學生告訴你，半徑為  $r$ ，高度為  $h$

的圓柱其體積為  $\pi r^3 h$ ，解釋他的答案不可能正確。

答 體積的單位為立方公尺（ $\text{m}^3$ ）。而  $\pi r^3 h$  的因次為長度的 4 次方，故不可能正確。

1 - 15 角（以徑來度量）是沒有單位的數，因為它是兩個長度的比。想出其他沒有單位的幾何量或物理量？

答 幾何量如  $\pi$ ，物理量如相對密度，折射率等，都是無單位的量。

1 - 16 向量可能有不為零的分量，而其大小為零嗎？

答 不可能。因向量的大小為其分量大小平方和的平方根。故其大小若為零，分量必為零。

1 - 17 人們常說“時間的方向”，指由過去走向未來。這話表示時間為一向量嗎？

答 不是。在描述時間時，只要說明其值，不能指出什麼方向。

1 - 18 兩向量的純量積滿足交換性嗎？請解釋。

答 是的。由  $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = |\mathbf{A}| |\mathbf{B}| \cos \theta$ ，和 A，B 的次序無關，且結果為一純量，沒有方向的問題。

1 - 19 向量和它自己的純量積為何？向量積呢？

答 因向量和本身的夾角  $\theta = 0$ ，因此易知向量和它自己的純量積為其大小的平方。向量和它自己的向量積為零。

### 習題

E 1 - 1 由  $1.00 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$  的定義，計算 1 哩中有多少公里。

解  $1 \text{ mi} = 5280 \text{ ft} = (5280 \text{ ft}) \times (12 \text{ in} / \text{ft}) \times (2.54 \text{ cm} / \text{in}) \times (10^{-5} \text{ km} / \text{cm}) = 1.61 \text{ km}$ 。

E 1 - 2 水的密度為  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 。用  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$  表示時，數值為何？

$$\begin{aligned} \text{解} \quad 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} \\ &= 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} (10^{-3} \text{ kg} / \text{g}) \cdot (10^{-2} \text{ m} / \text{cm})^{-3} \\ &= 1 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned}$$

E 1 - 3 協和號是最快的商用客機，可以  $1450 \text{ mi} \cdot \text{hr}^{-1}$  的速度巡航（大約是音速的兩倍，即馬赫 2）。

(a) 協和號的巡航速度是多少  $\text{mi} \cdot \text{s}^{-1}$ ？

(b) 協和號的巡航速度是多少  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ？

$$\begin{aligned} \text{解} \quad (\text{a}) \quad 1450 \text{ mi} \cdot \text{hr} &= 1450 \text{ mi} \cdot (3600 \text{ s})^{-1} \\ &= 0.403 \text{ mi} \cdot \text{s}^{-1} \\ (\text{b}) \quad 1450 \text{ mi} \cdot \text{hr}^{-1} &= 1450 (1609 \text{ m}) \cdot (3600 \text{ s})^{-1} \\ &= 648 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

E 1 - 4 計算一天（24 小時）及一年（365 天）中的秒數。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad 1 \text{ da} &= (1 \text{ da}) \times (24 \text{ hr} / \text{da}) \times (3600 \text{ s} / \text{hr}) \\ &= 86400 \text{ s} \\ 1 \text{ yr} &= (365 \text{ da}) \times (86400 \text{ s} / \text{da}) \\ &= 3.1536 \times 10^7 \text{ s} \end{aligned}$$

E 1 - 5 一汽車引擎活塞移動量為  $2.0 \ell$ 。只用  $1.0 \ell = 1000 \text{ cm}^3$ ，及  $1.0 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ ，把這體積用  $\text{in}^3$  表示出來。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad 2.0 \ell &= 2.0 \times 1000 \text{ cm}^3 = 2000 \left( \frac{1}{2.54} \text{ in} \right)^3 \\ &= 120 \text{ in}^3 \quad (\text{因 } 2.0 \ell \text{ 有效數字只有兩位}) \end{aligned}$$

E 1 - 6 如果一馬克（西德的貨幣單位）相當於 40 分，而一升汽油值 1.30 馬克。那一加侖汽油值多少元？使用附錄 E 中的換算值。

解  $(3.788 \ell / \text{gallon}) \cdot (1.30 \text{ 馬克} / \ell) \cdot (0.40 \text{ 元} / \text{馬克}) = 1.97 \text{ 元} / \text{gallon}$

- E 1 - 7 一輛小汽車的汽車消耗量是  $17.0 \text{ km} \cdot \text{L}^{-1}$ ，這相當於每加侖多少哩？使用附錄E的換算值。

解  $17.0 \text{ km} \cdot \text{L}^{-1} = 17.0 (0.6214 \text{ mi}) \left( \frac{1}{3.788} \text{ gallon} \right)^{-1} = 40.0 \text{ mi} \cdot \text{gallon}^{-1}$

- E 1 - 8 在Lower Slobbovia的公路，其速度限制是每雙週 150000 furlong。這相當於每小時多少哩？（— furlong 為  $\frac{1}{8}$  哩，雙週為 14 天，— furlong 本源於田畦的長度。）

解  $150000 \text{ furlong} \cdot \text{fortnight}^{-1}$   
 $= 150000 \left( \frac{1}{8} \text{ mi} \right) (24 \times 14 \text{ hr})^{-1}$   
 $= 55.8 \text{ mi} \cdot \text{hr}^{-1}$

- E 1 - 9 氫雲射放出的電磁波頻率，可作為一種頻率標準。其中有個頻率是  $1420405751.786 \text{ 赫茲 (Hz)}$ ，（1 赫茲只是指每秒一週期，）由氫雲射控制的鐘每 100000 年只誤差 1 秒。下列問題中只要用 3 位有效數字。

(a) 這頻率一週期是多少時間？

(b) 一小時中有多少週期？

(c) 宇宙的年齡估計為 10 億年，這期間有多少週期？

(d) 地球的壽命估計為 4600 百萬年，在這期間，氫雲射鐘會誤差多少？

解 (a)  $(1.42 \times 10^9 \text{ cycle} \cdot \text{s}^{-1})^{-1} = 7.04 \times 10^{-10} \text{ s}$   
 for 1 cycle

(b)  $1.42 \times 10^9 \text{ cycle} \cdot \text{s}^{-1} = 1.42 \times 10^9 \text{ cycle}$

$\cdot \left( \frac{1}{3600} \text{ hr} \right)^{-1} = 5.11 \times 10^{12} \text{ cycle} \cdot \text{hr}^{-1}$

$$(c) 5.11 \times 10^{12} \text{ cycle} \cdot \text{hr}^{-1} (24 \text{ hr} / \text{da}) \\ (365 \text{ da} / \text{yr}) = 4.48 \times 10^{16} \text{ cycle} \cdot \text{yr}^{-1}$$

在 10 億年中，有

$$(4.48 \times 10^{16} \text{ cycle} \cdot \text{yr}) (10^{10} \text{ yr}) \\ = 4.48 \times 10^{26} \text{ cycle}$$

(d) 在  $10000 = 10^5 \text{ yr}$  中有 1 秒誤差

在 4600 百萬年中，誤差有

$$\left( \frac{1 \text{ s}}{10^5 \text{ yr}} \right) (4.60 \times 10^9 \text{ yr}) = 4.60 \times 10^4 \text{ s} \\ = 12.8 \text{ hr}$$

**E 1 - 10** 圓周率下列近似值的百分誤差各是多少？

(a)  $22 / 7$

(b)  $355 / 113$

**解** (a)  $\pi = 3.14159265$

$$\frac{(22 / 7 - \pi)}{\pi} = 4.02 \times 10^{-4} = 0.042 \%$$

$$(b) \frac{(355 / 113 - \pi)}{\pi} = 8.49 \times 10^{-8} = 8.49 \times 10^{-6} \%$$

**E 1 - 11** 近似式 1 年 =  $\pi \times 10^7$  秒的比例誤差是多少？（設 1 年為 365 天）

**解**  $1 \text{ yr} = 1 \text{ yr} (365 \text{ da} / \text{yr}) (24 \text{ hr} / \text{da}) \\ (3600 \text{ s} / \text{hr}) \\ = 3.1536 \times 10^7 \text{ s}$

$$\frac{3.1536 \times 10^7 - \pi \times 10^7}{3.1536 \times 10^7} = 0.0038$$

**E 1 - 12** 估計下列測量的百分誤差：

(a) 用米尺，測大約 50 cm 的距離；

(b) 用化學天平測約 1 g 的質量；

(c) 用停錶測大約 4 min 的時段。

**解** (a)設米尺的最小刻度為1 mm，所以誤差約為0.5 mm。

$$\text{百分誤差} \simeq \frac{0.5 \text{ mm}}{50 \text{ cm}} = 0.1 \%$$

(b)設天平的最小砝碼或刻度為1 mg，所以

$$\text{百分誤差} \simeq \frac{0.5 \text{ mg}}{1 \text{ g}} = 0.05 \%$$

(c)設停錶的最小刻度為0.1 s，所以

$$\text{百分誤差} \simeq \frac{0.1 \text{ s}}{4 \times 60 \text{ s}} = 4.2 \times 10^{-4} = 0.04 \%$$

**E 1 - 13** 地球的質量為  $5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$ ，其半徑為  $6.38 \times 10^6 \text{ m}$ 。求地球的密度，要用科學記號和正確的有效位數表示。(物體的密度定義為其質量除以體積。球的體積公式見附錄B。)

$$\begin{aligned} \text{解} \quad \text{地球的密度 } \rho &= \frac{m}{V} = \frac{m}{\frac{4\pi}{3} R^3} \\ &= \frac{5.98 \times 10^{24}}{\frac{4\pi}{3} (6.38 \times 10^6)^3} \\ &= 5.50 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \end{aligned}$$

**E 1 - 14** 以一位有效數字給定一個角，如  $5^\circ$ ，表示其值在  $4.5^\circ$  和  $5.5^\circ$  之間。找出這角餘弦值的可能範圍。這是結果的有效數字位數比所給的數值有效數字位數多的例子嗎？

$$\text{解} \quad \cos 4.5^\circ = 0.9969$$

$$\cos 5.5^\circ = 0.9954$$

其餘弦值在 0.9954 和 0.9969 之間，是有效數字增多的例子