

大學物理學精要

問題與習題詳解

第七版

上册

F. W. 西爾斯 等原著
M. W. 澤曼斯基

曉園出版社
世界圖書出版公司

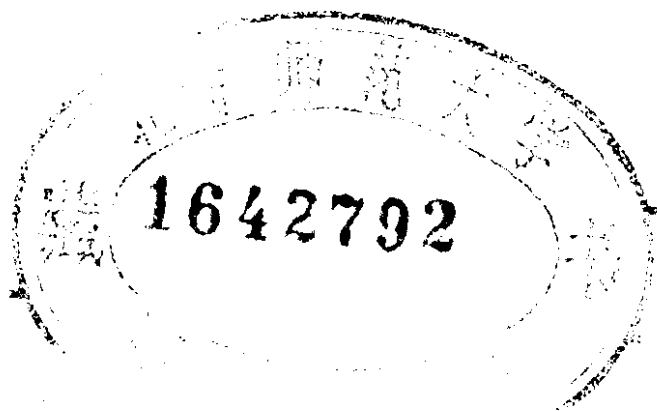
丁刊1167/24

前 言

習理工的同學，都有一種認識，那就是：一本書的習題往往是精華所在，藉着習題的印證，才能對書中的原理原則澈底的吸收與瞭解。

有鑒於此，晚園出版社特地聘請了許多在本科上具有相當研究與成就的人士，精心出版了一系列的題解叢書，為各該科目的研習，作一番介紹與鋪路的工作。

一個問題的解答方法，常因思惟的角度而異。晚園題解叢書，毫無疑問的都是經過一番精微的思考與分析而得。其目的在提供對各該科目研讀時的參考與比較；而對於一般的自修者，則有啓發與提示的作用。希望讀者能藉着這一系列題解叢書的幫助，而在本身的學問進程上有更上層樓的成就。



内 容 简 介

本书是《大学物理学》第7版的问题和习题详解

大学物理学精要问题与习题详解(上册)

F. W. 西尔期基 M. W. 泽曼斯 等原著

刘威志 游信胜 等译著

*

晓园出版社出版

世界图书出版公司北京查印

北京朝阳门内大街137号

新燕印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年10月第一版 开本:850×1168 1/32

1992年10月第一次印刷 印张:24.25

印数:0001—2200

ISBN:7-5062-1323-O/O·42

定价:15.80元(W₈9201/22)

世界图书出版公司通过中华版权代理公司向晓园出版社购得重印权

限国内发行

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	衝量與動量	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}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 的幕次字首如下：

10 的幕次	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	μ	m	c	k	M

2 大學物理學詳解 (上)

10的冪次	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 1.49×10^{11} m 或 9.11×10^{-31} g，寫在前面的乘數為有效數字。

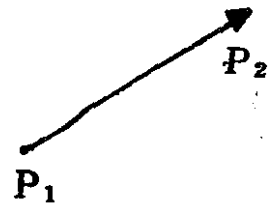
1-5 估計和數量的階次

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

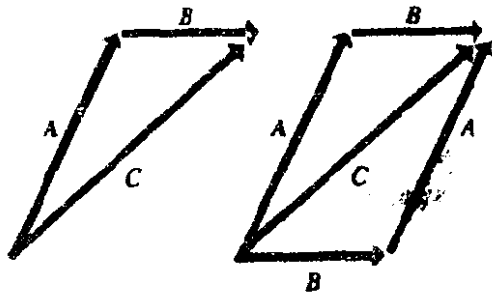
1. 可以只用一數字描述的量叫純量。如長度、溫度等等。而有些量，除了大小之外，還必須描述其方向，如速度、力等，稱為向量。

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 。

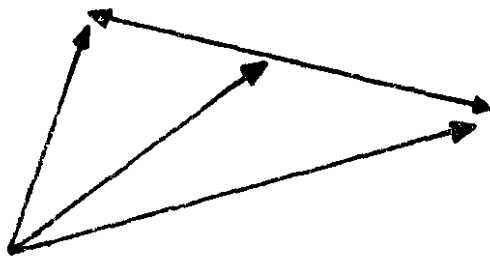


3. 向量可以相加，記作 $C = A + B$ 。

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

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

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

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



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. 單位向量是大小為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

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

θ 為 A 和 B 的夾角。

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

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

所以 $A \cdot B$

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

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

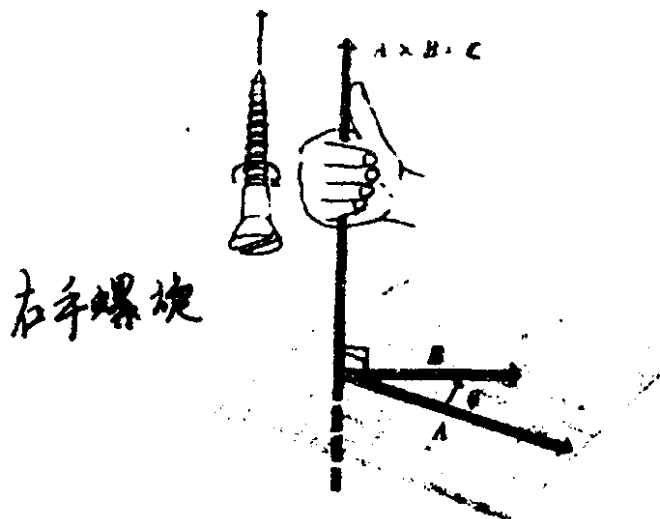
3. 兩向量 A 、 B 的向量積定義為

$C = A \times B$ ，其中

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

θ 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 $A \times B$

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

$$= (A_y B_z - A_z B_y) i$$

$$+ (A_z B_x - A_x B_z) j$$

$$+ (A_x B_y - A_y B_x) k$$

$$= \begin{vmatrix} i & j & k \\ A_x & A_y & A_z \\ B_x & B_y & B_z \end{vmatrix}$$

問題

1 - 1 π (圓周率) 的單位是什麼?

答 π 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。怎樣用沒有單位

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吋 = 2.54公分。

1 - 9 什麼物理現象可以用來定義時間的標準？(除了擺或銻原子鐘外)

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 (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 π ，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 $A \cdot B = |A| |B| \cos \theta$ ，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 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ？

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

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

E 1 - 4 計算一天（24 小時）及一年（365 天）中的秒數。

$$\begin{aligned} \text{解} \quad & 1 \text{ da} = (1 \text{ da}) \times (24 \text{ hr} / \text{da}) \times (3600 \text{ s} / \text{hr}) \\ &= 86400 \text{ s} \end{aligned}$$

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

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

10 大學物理學詳解(上)

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

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。

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

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？（一 furlong 為 $\frac{1}{8}$ 哩，雙週為 14 天，一 furlong 本源於田畦的長度。）

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

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？

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

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

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

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

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？

$$(a) 22 / 7 \quad (b) 355 / 113$$

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 $1 \text{ 年} = \pi \times 10^7 \text{ 秒}$ 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。

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

(b) 設天平的最小砝碼或刻度為 1 mg，所以

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

(c) 設停錶的最小刻度為 0.1 s，所以

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

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。)

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

E 1 - 14 以一位有效數字給定一個角，如 5° ，表示其值在 4.5° 和 5.5° 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