

空氣柱共鳴實驗

目的：

觀察空氣柱之共鳴現象及量測聲速大小。

原理：

當一波動往前傳播時，若傳播方向與介質振動方向垂直，我們稱之為橫波(transverse)；而若傳播方向與介質振動方向平行，則稱之為縱波(longitudinal)，亦即疏密波。聲波進行方向與介質振盪方向相同，故應屬於縱波。聲波通常靠空氣來傳播，但也不一定非要靠空氣才能傳播，其它的氣體、液體、固體同樣也能傳播。

當聲波於空氣中傳播時，空氣中的粒子會隨之振動，故產生一壓縮區及一稀薄區。而其波長的定義與橫波一樣，相位相同之相鄰兩點間的距離等於相鄰兩壓縮區之間或稀薄區之間的距離。橫波的振幅乃粒子對其平衡位置的最大位移；而聲波的振幅則取決聲音強度。每秒產生的波數稱為頻率，也就是波源每秒的振動數。聲波頻率取決聲音之音調。波速 v 與頻率 f 、波長 λ 有下列關係：

$$v = f\lambda \quad (1)$$

故我們只需要量測已知頻率之聲波波長，即可求得聲速。

一般的振動系統可分為(1)弦振動，(2)空氣柱振動，(3)板、棒與膜的振動，此處我們僅就空氣柱振動系統探討之。空氣柱可分成開管與閉管兩種，本實驗係採用閉管式的空氣柱，沿管中行進的縱波在管末端會產生反射，於是，入射波與反射波便產生干涉而形成疏密的駐波。簡單的共鳴管有一開口端與一閉口端(若為開口式，則兩邊皆為開口端)，聲源置於開口端，若管的長度適當即會產生駐波，在封閉端因反射波與入射波相位差 180° ，故成為節點。在開口端處因空氣的粒子十分自由，故通常形成反節點(即波腹或共鳴之處)。在本實驗中，頻率 f 由信號產生器產生，並由一個麥克風接收器偵測且轉換成電訊，經示波器解析而得知強度大小，然後，沿共鳴管(見圖(1))找出相鄰兩共鳴(即強度最大)位置間的距離，即為半波長，乘以 2，便得波長 λ ，再代入(1)式求出聲速。



圖 (1)

聲波在空氣中的傳播速度(公認值)，一般可用簡化過的下式來表達：

$$v_t = 331.4 + 0.6t \quad \text{單位是 m/s} \quad (2)$$

上式中 v_t 是指 $t^\circ\text{C}$ 的傳播速度，331.4(m/s)係 0°C 時的聲速， $t^\circ\text{C}$ 是量測時的空氣溫度。

儀器：

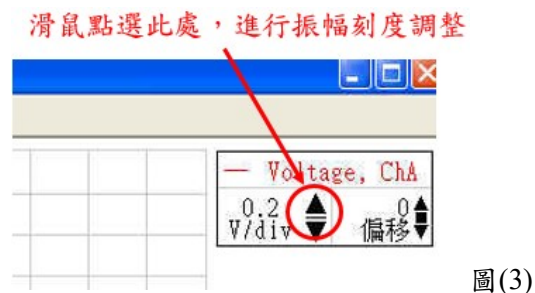
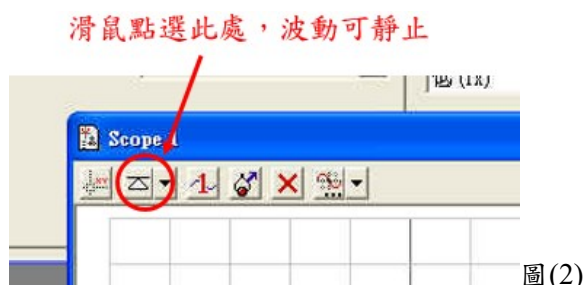
氣柱共鳴管、聲源信號產生器、電壓感測器、PC 電腦與科學介面控制站(或示波器)。

注意事項：

1. 頻率調整後，量測共鳴點時，若發現頻率不穩，則仍須調整之。
2. 量測共鳴點的拉桿不可太靠近聲源產生器，應離開 2~3cm 再量測之。
3. 聲源信號產生器之音量應儘量調小，否則，易影響鄰近實驗的同學。
4. 聲源信號產生器之頻率調整鈕為巨調鈕，若無法準確調整所需頻率，則請記錄實際頻率。

步驟：

1. 儀器裝置如圖(1)，將聲源信號產生器接上電源，共鳴管拉桿末端之接線，接至電壓感測器(或示波器)上。
2. 接上電源，打開共鳴空氣柱開關及設定電腦監測軟體，而聲源產生器(或信號產生器)上的波形鈕先設定為正弦波，頻率先調整至 500Hz，音量控制鈕則選擇在適當位置。
3. 移動拉桿，先從靠近聲源產生器的位置，慢慢移動拉桿逐漸遠離，同時，拉桿麥克風頭與聲源產生器間的空氣柱長度亦自然增長，然後，一面觀察電腦螢幕(或示波器顯示幕)的振幅大小(若螢幕顯示的波動無法靜止，則請以滑鼠點選功能設定如圖(2)；若振幅太大，則請點選功能調整，如圖(3)所示!)，一面記錄振幅最大的空氣柱直尺刻度(即拉桿麥克風頭的位置)，此即共鳴位置。



4. 繼續移動拉桿，尋找其它共鳴位置，並依序填入表(1)，將表格填滿為止。(不足則空白)
5. 相鄰兩共鳴位置的刻度差相當於聲波波長的一半，可先將表(1)內的任兩相鄰共鳴位置相減，獲取多個半波長數值，再求出平均值，填入表(1)，然後，繼續將平均半波長乘以兩倍即為聲波波長，代入原理(1)式，便可求得聲速，將這些結果填入表(1)。
6. 選擇其它波形信號(三角波與方波)，重覆上述實驗。
7. 將聲源頻率調整為 800Hz 及 1000Hz，重覆上述步驟，並將結果填入表(1)，但若頻率無法準確調整至上述頻率時，則請以實際頻率填入表(1)。
8. 測量實驗當時的室內溫度(可觀察黑板右側氣壓計上的溫度計讀數)，代入原理(2)式，計算該室溫的聲速公認值，填入表(1)。
9. 估算同一波形的聲速平均值，並與公認值比較，計算其百分誤差，填入表(1)。
10. 請利用虛擬實驗軟體(Crocodile_Physics)設計一個駐波虛擬實驗，顯示形成駐波的一些諧振特性，請參考附錄。(※此步驟列為選擇性，可不用進行！)

記錄與問題：

表(1)空氣柱共鳴實驗記錄表

共鳴位置 頻率 波形		1	2	3	4	5	平均半波長 (cm)	波長 (cm)	聲速 (m/s)
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)			
備 用 列									

溫度 $t = \underline{\quad}$ °C

公認值 $v_t = 331.4 + 0.6t = \underline{\quad}$ m/s

波 形	平均聲速	百分誤差

- 為何頻率 500Hz 的聲波在共鳴空氣柱中，僅發現三處共鳴位置？
- 為何相鄰兩共鳴點之間距離恰為半波長？(hint:請由駐波原理推導之。)
- 當三種不同波形輸入共鳴空氣柱後，示波器顯示的波形卻為何都一樣？(選擇作答)

討論：

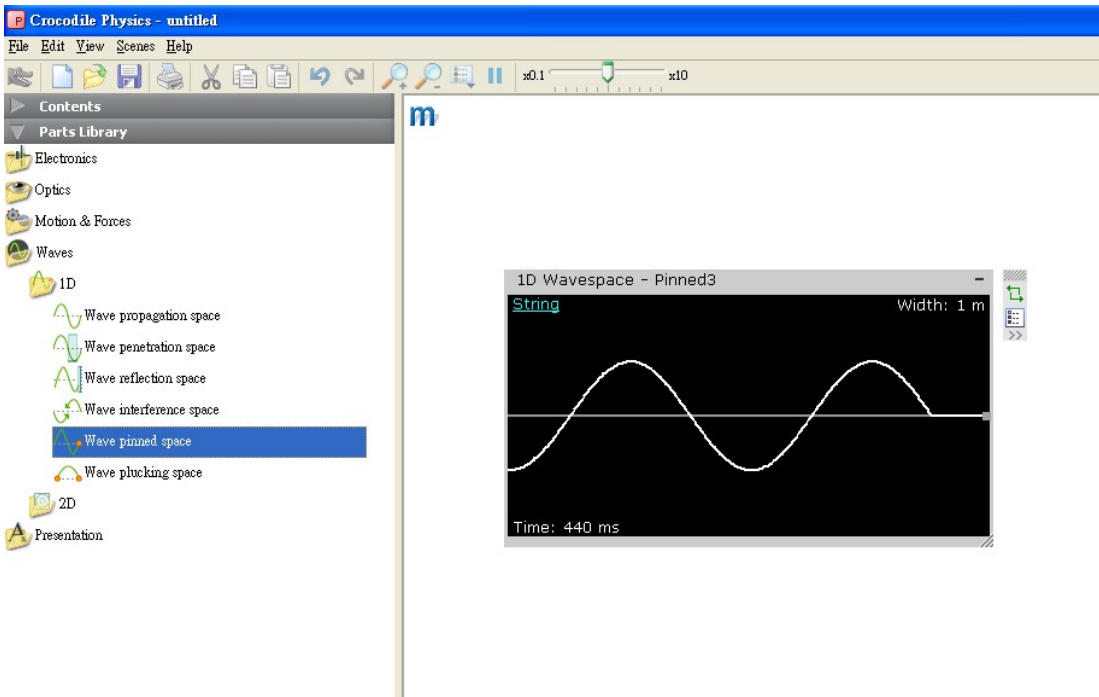
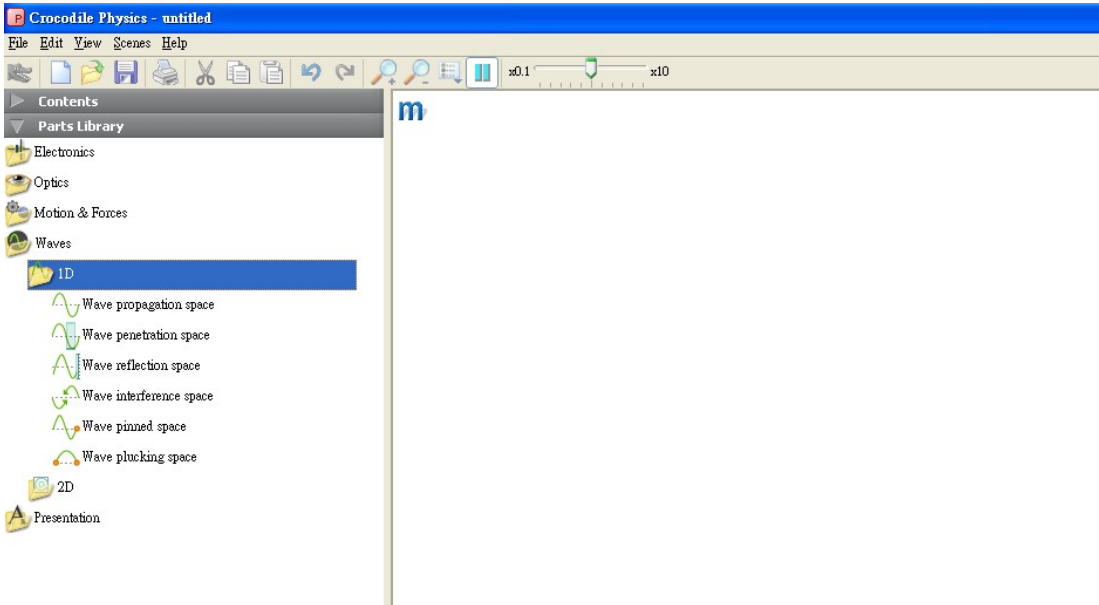
附錄：

駐波虛擬實驗設計示範

操作示範(I)

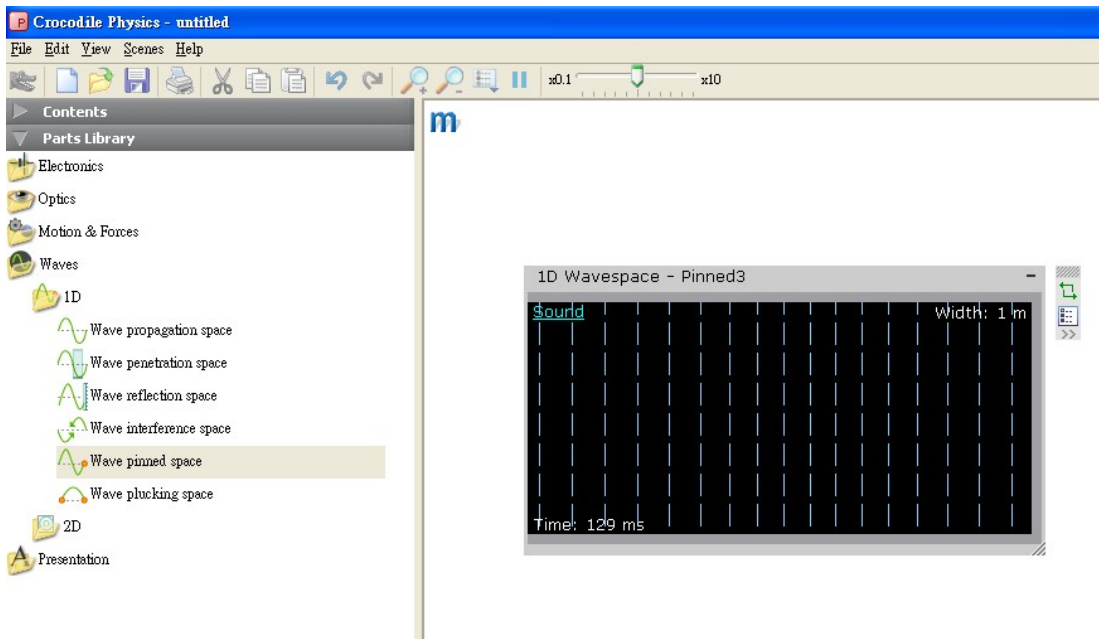
步驟一

點選元件庫(Parts Library) → 點選Waves (波動) → 點選 1D → Wave pinned space(節點波動空間) → 拖曳至右邊欄位並調整大小至適當範圍。



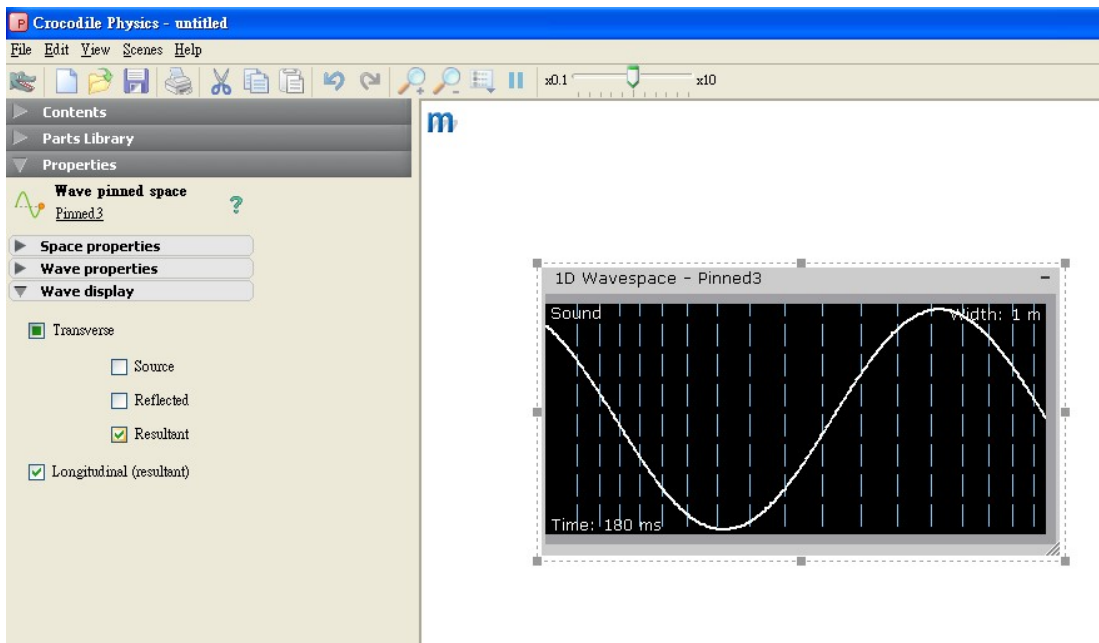
步驟二

點選波動空間左上角，挑選波源種類為 Sound



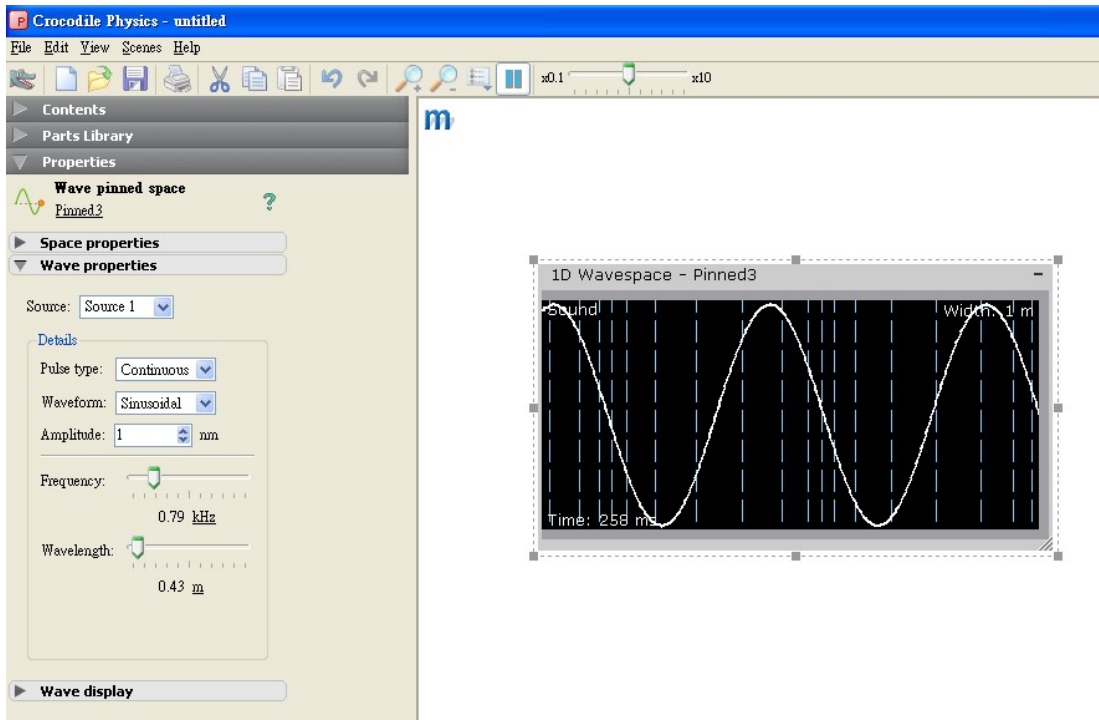
步驟三

點選參數(properties)，→ 調整波動顯示設定(Transverse) → 勾選Resultant，同時顯示縱波及橫波兩種形式。



步驟四

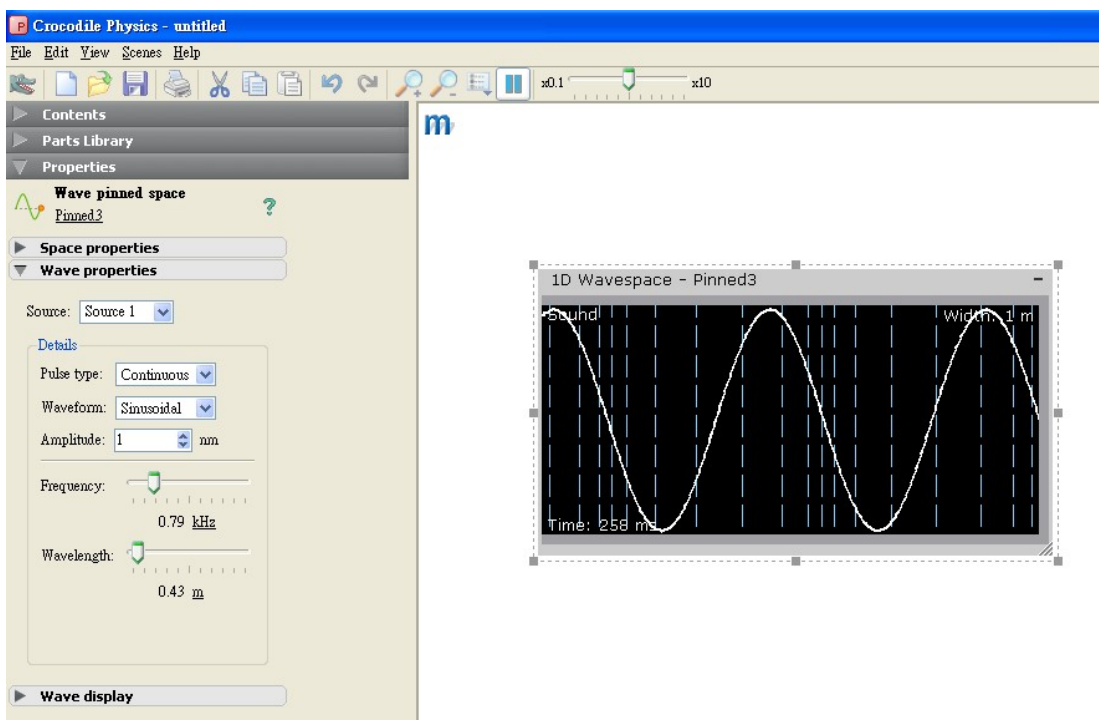
點選參數(properties)，並以滑鼠左鍵選擇更改對象→調整波動參數(頻率或波長)。

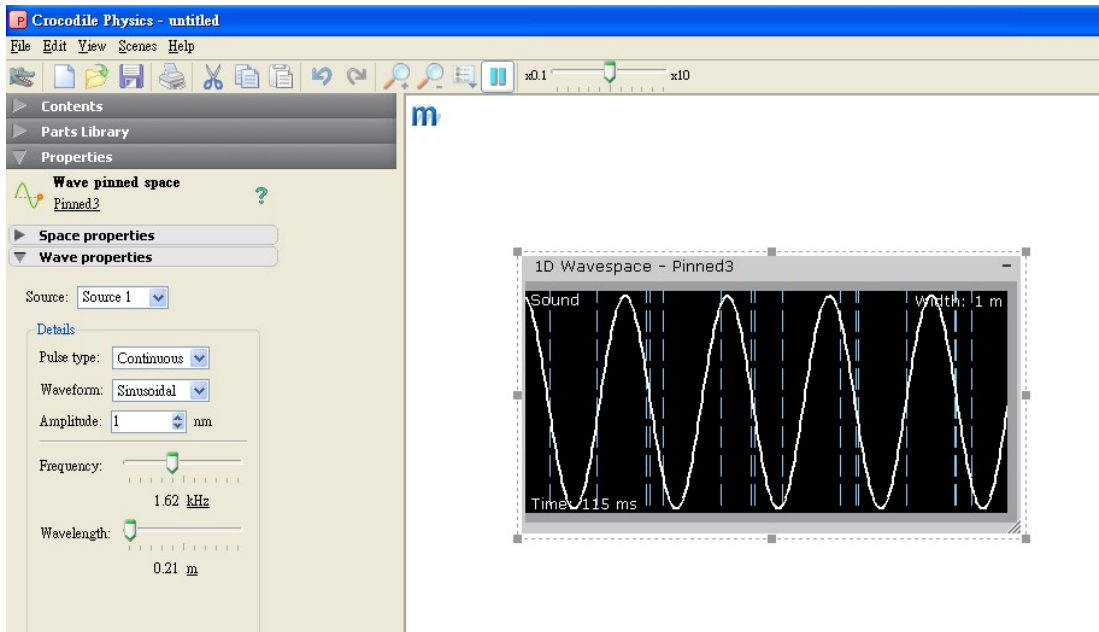


操作示範(II)

步驟一

改變聲波頻率，使其呈倍數變化(例 2,4,8,); 觀察駐波形成數 → 紀錄相對波長大小。





步驟二

計算頻率及波長變化比例，驗證公式 $v = f * \lambda$ 。註 v 為定值。

參考文獻：

1. 國立雲林科技大學物理教學組編譯，虛擬軟體中文操作說明，2006。
2. PASCO、LEYBOLD、群冠等儀器公司，實驗操作說明書，1990-1992。
3. Harris Benson, University Physics, Revised, John Wiley & Sons, Inc., 1995。
4. David Halliday, Robert Resnic, Jearl Walker, Fundamentals of Physics, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc. 2001。