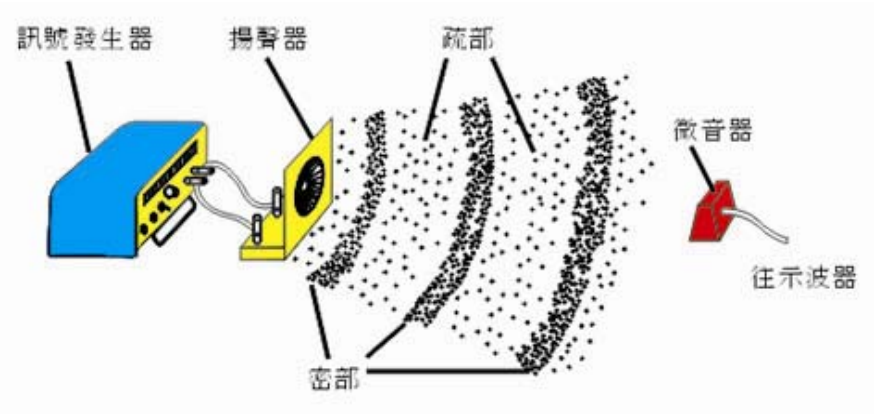
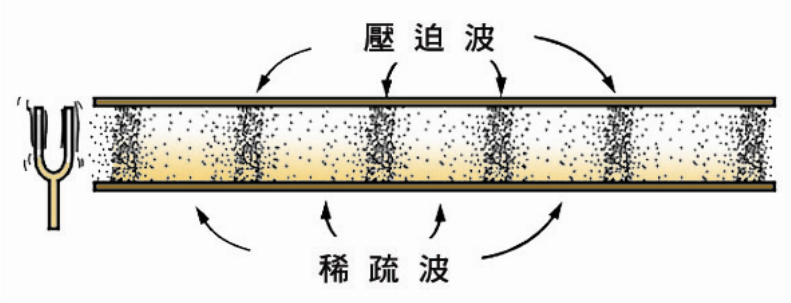
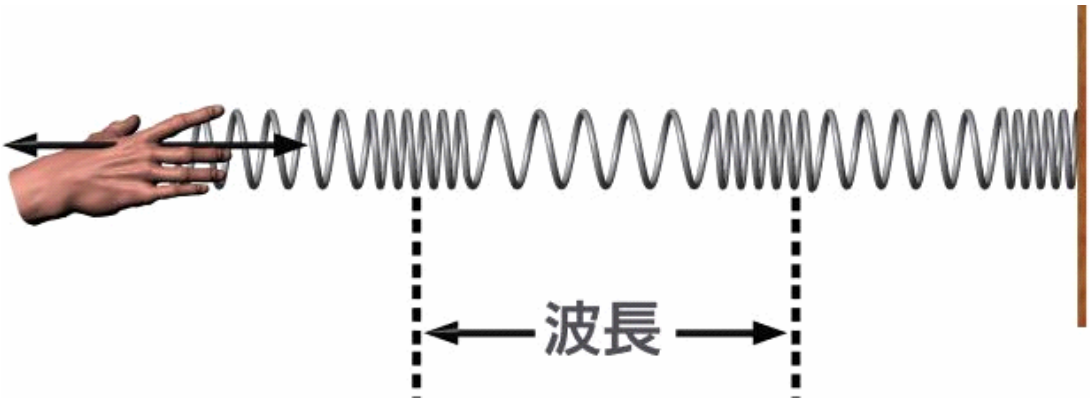
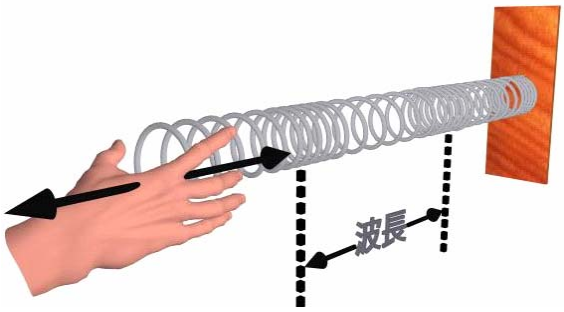
13-1 彈 性 波 與 聲 波

130101 聲波的特色－**聲波是空氣中的壓力變化＝壓力差≠壓力：**

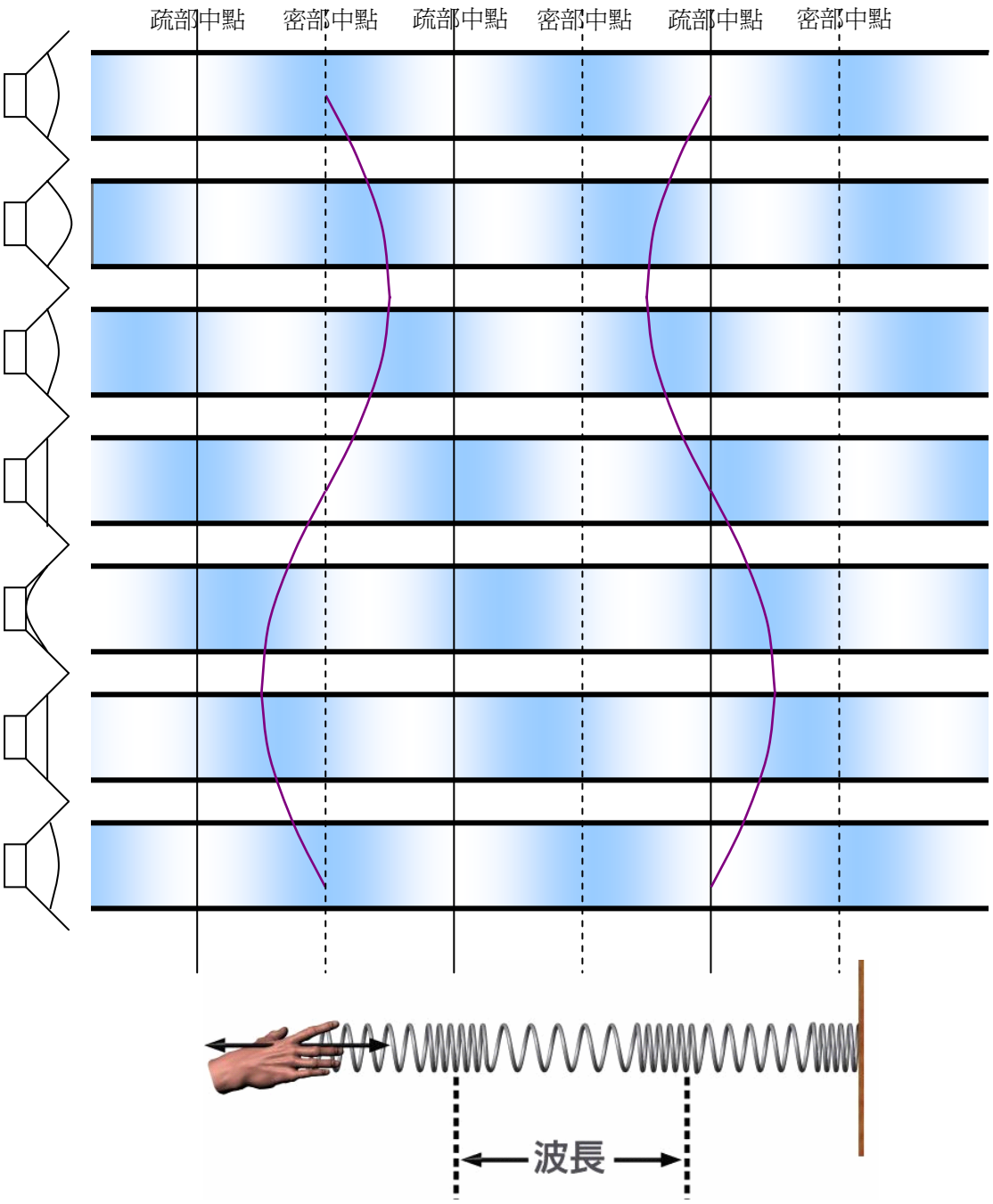








130102 聲波的產生與傳遞



【用♥感覺】:

當揚聲器的膜片(音叉)向右推出，產生密部向右傳遞(密部之分子正向速率最大)；
當揚聲器的膜片(音叉)向左拉回，產生疏部向右傳遞(疏部之分子負向速率最大)。
(持續施力向前推，雖然力漸變小，但速度仍漸增，手停下轉向瞬間，速度最大)

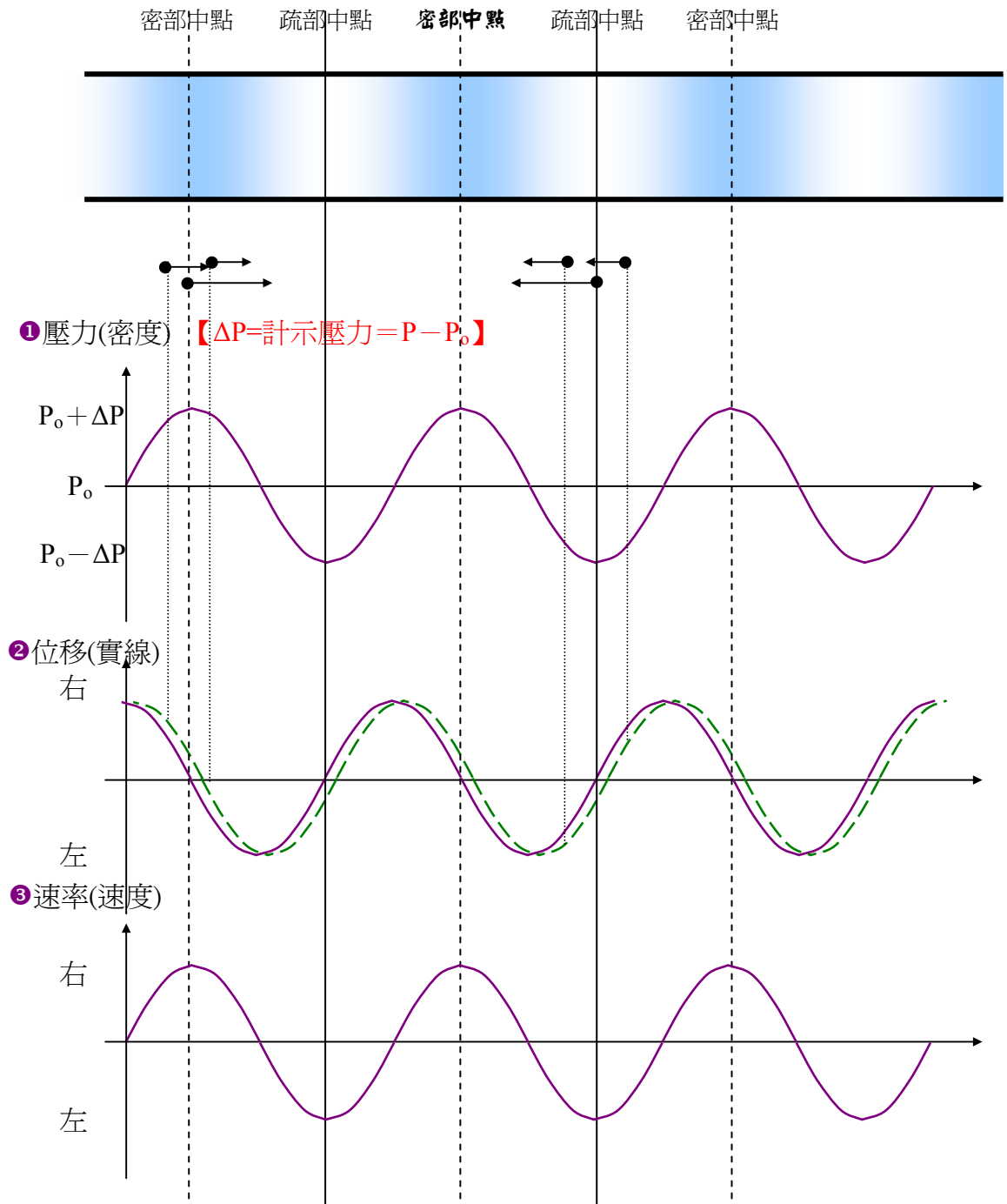
130103 聲波中空氣分子的振動

1.空氣分子之振動視爲簡諧運動(SHM)：

❶密部中點➡SHM 的平衡點(F=0)，速度最大，位移=0，加速度=0(F=－kx)；

❷疏部中點➡SHM 的平衡點(F=0)，速度最大，位移=0，加速度=0(F=－kx)；

❸密部、疏部之中點➡SHM 之端點，速度=0，位移最大，加速度最大(F=－kx)

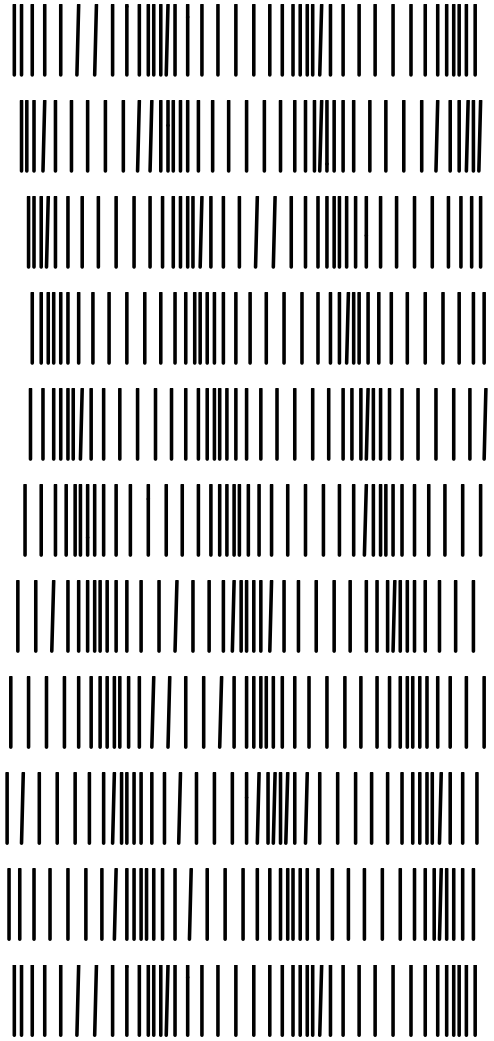
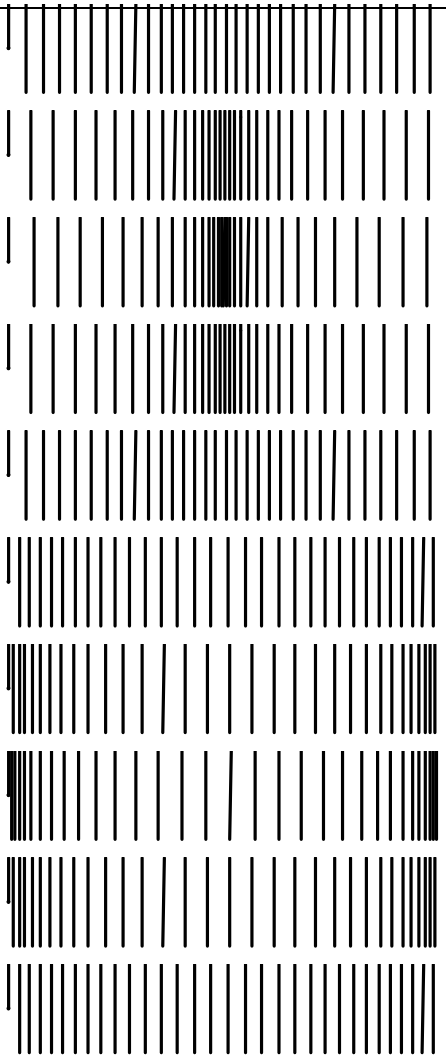


【用♥感覺】：(1)位移與速度關係之判斷，可藉由❶SHM 或❷類似判斷橫波振動速率方向的方式來判斷(如同橫波，不可直接看斜率的正負，方向要另外判斷)。

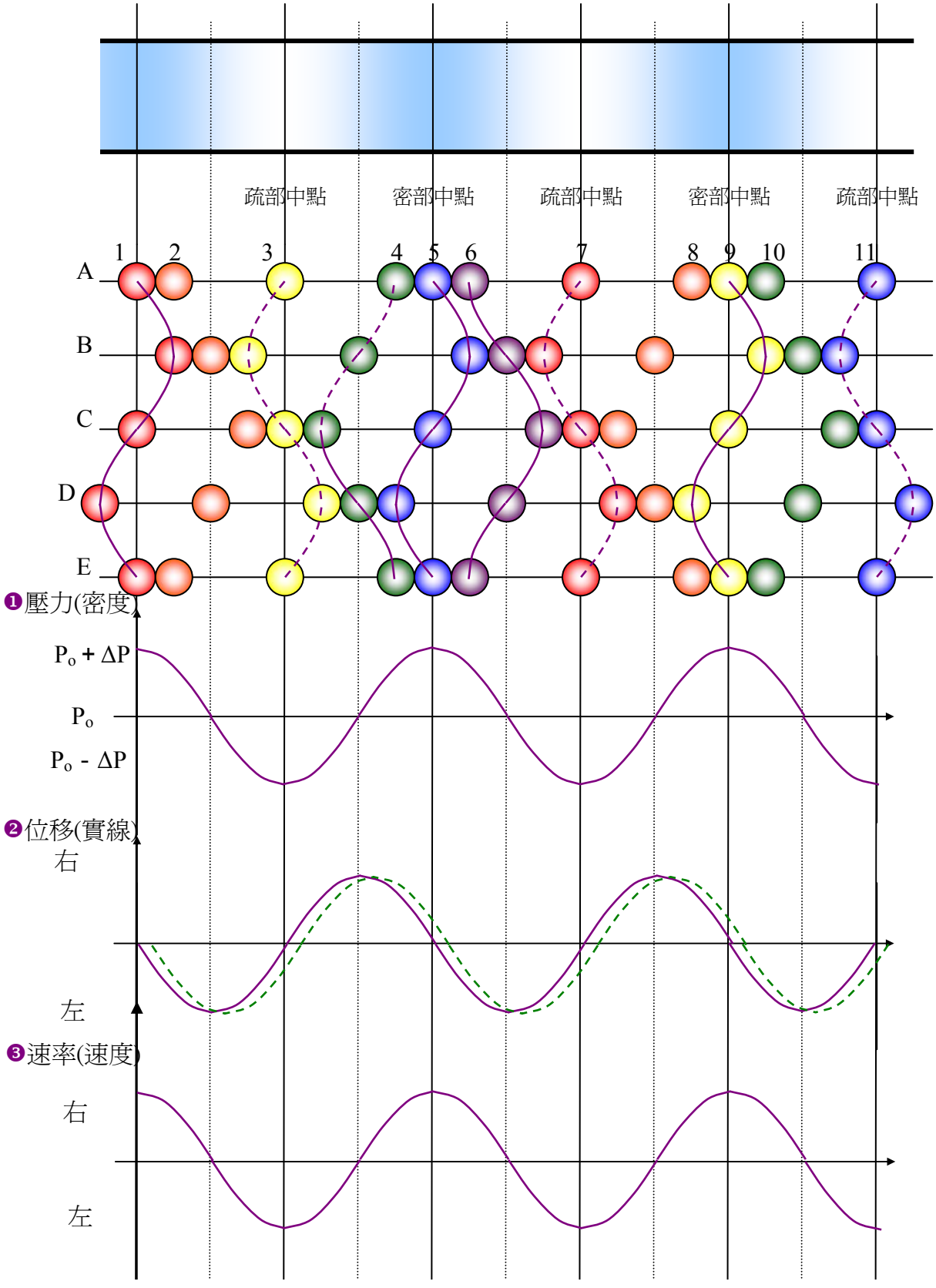
(2)密部正向速率最大，疏部負向速率最大。

【備註】:

討論橫波與縱波，必須要看是❶行進波或是❷駐波，兩者都作簡諧運動，但有很多差異。學生通常混淆這點，以致判斷錯誤。討論聲波的傳遞，當然是將聲波視爲行進波。若類比成橫波，比較容易抓住概念。

❶行進波	❷駐波
	

130104 5 號分子的一生



【用♥體會；用♥感覺】:

1.密部正向速率最大，疏部負向速率最大。

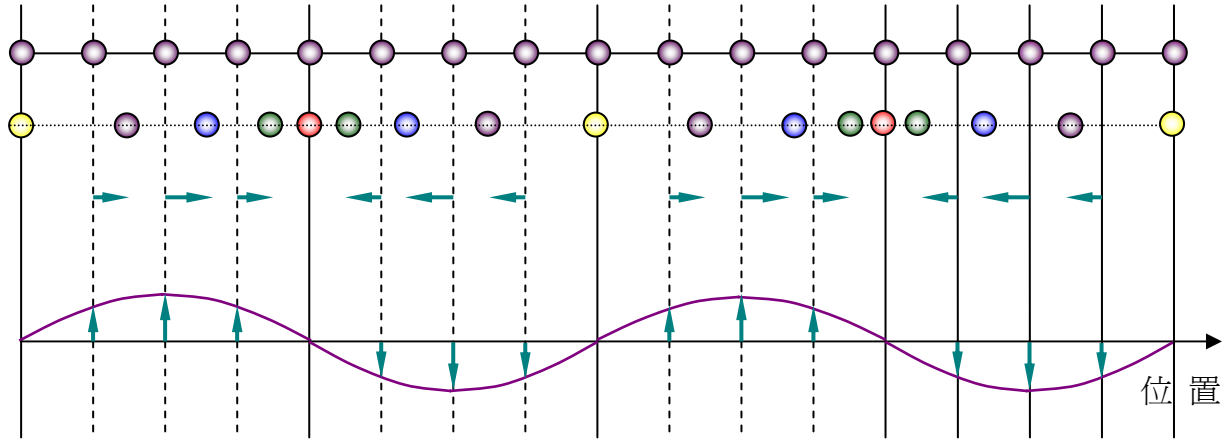
2.振幅 vs 波長 的不同

【用♥體會；用♥感覺】:
1a.往右推出，產生密部
1b.往左拉回，產生疏部
2a.往右推出，密部往右速率最大
2b.往左拉回，疏部往左速率最大
2c.SHM 平衡點速率最大，端點速率等於零
3a.往右推出，密部往右速率最大
3b.往左拉回，疏部往左速率最大
3c.密部疏部都是平衡點，不是 SHM 的波峰波谷，不是 SHM 的端點
4a.斜率最大，速率最大(不看正負號)，等一下波峰過來往上，往上就是往右，往右速率最大---密部
4b.斜率最大，速率最大(不看正負號)，等一下波谷過來往下，往上就是往左，往左速率最大---疏部

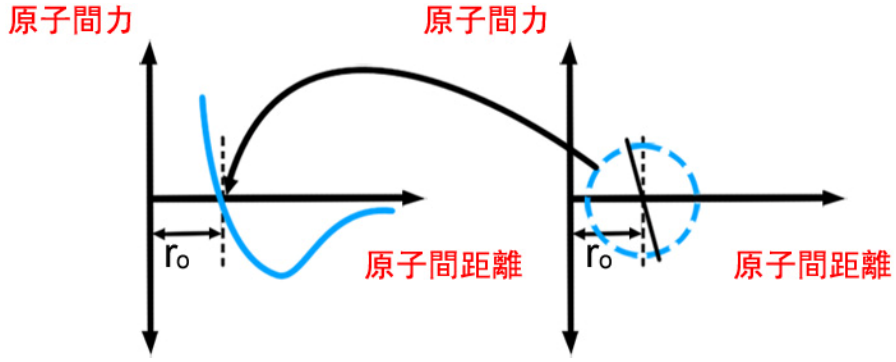
130105 聲波與簡諧運動

所謂的「位移」是指質點偏離平衡點的距離，但由於縱波質點振動方向與傳播方向平行，要改畫成類似橫波的圖形，要將橫向位移旋轉 90°，才能與位移的圖對應。

也因此，不要把縱波的振幅與波長混爲一談，雖然兩者都在同一水平線上。

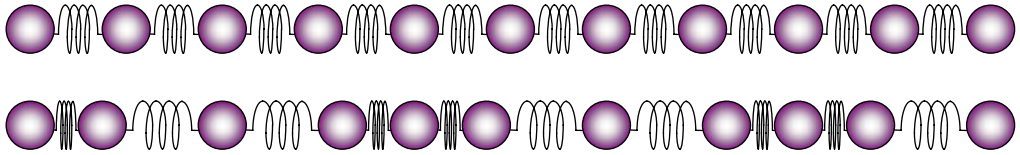


分子間的作用力，我們可以利用量子力學的計算，得到下圖：



分子如果只在平衡點(合力=0)處附近振盪，其作用力可視爲一直線(類似電路學的小訊號分析)，也就可以近似成 F=－kx，也就是可以視爲簡諧運動。因此，我們可以想像把質點與質點中間都繫一彈簧。在平衡點，合力=0。如果分子間靠得太近，就變成斥力，分子離得太遠，就變成引力，再回頭看前面的圖，應該比較容易瞭解。

同時，你也可以發現密部中點或疏部中點，來自左右的引力或斥力相等，確實都處於平衡點。



【用♥體會；用♥感覺】:

聲波的❶行進波或是❷駐波，兩者的結果不同：

❶行進波➡疏部中點、密部中點速率最大；密部中點附近速率向右/前。

❷駐　波➡疏部中點、密部中點速率=0；附近質點速率向內/向外振盪。

備註:(1)行進波是密部或疏部向外傳遞；

(2)駐波能量不會向外傳遞，密部或疏部只在原處附近振盪。

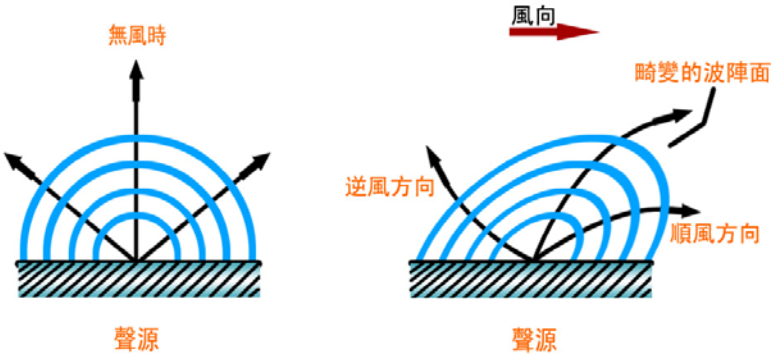
130106 聲波的其他特性

1.聲波屬於力學波，須要介質傳遞，在固體中速率>液體>氣體。

氣體	聲速(m/s)	液體	聲速(m/s)	固體	聲速(m/s)
空氣 0℃	331	水(0℃)	1402	銅	3810
空氣 20℃	343	水(20℃)	1482	鋼	5200
氮(0℃)	334	海水(20℃)[a]	1522	鋁	5100
氦(0℃)	965	淡水	1485	玻璃	5000
氧(0℃)	316	水銀	1450	鐵	5000
CO_2 (0℃)	258	酒精(20℃)	1162	大理石	3810
水蒸氣(35℃)	402	三氯甲烷(20℃)	1004	混凝土	5000
氫(0℃)	1270	甘油(25℃)	1904	黃銅	3480

a.海水 3.5%鹽度

2.空氣中聲速 v=331+0.6t；順風時，加上風速；逆風時，減去風速。



130107 聲波的分類

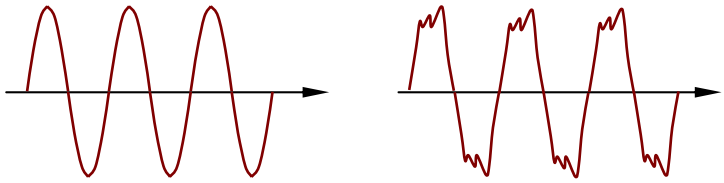
(1) 可聞聲：人耳可聽到約 20~20kHz 之頻率(亦有人寫 15~22kHz)。
(2) 超音波(超聲波)[ultra-sound]：超過 20kHz。
(3) 次聲波(聲下波)[infrasound]：低於 20Hz。

超音波(ultrasonic frequencies)：Frequencies above the hearing range of humans, especially those of several hundred thousand hertz.

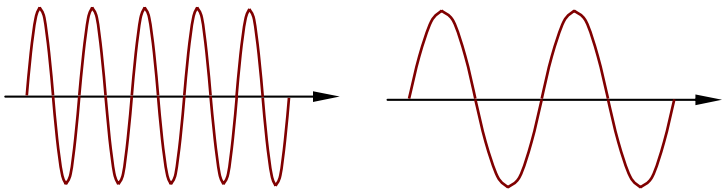
【備註】：

1. 雖然人可聽到 20~20kHz，但對於 315~2500Hz 較爲敏感。4000Hz 以上只能判斷高低音，而無法有音樂之感受。樂音大約在 30~4200Hz，約與鋼琴的頻率範圍相當【長笛：250－4000Hz，小提琴：175－3200Hz，定音鼓：65~1050Hz】。
2. 聲音的三要素(獨立不相干):

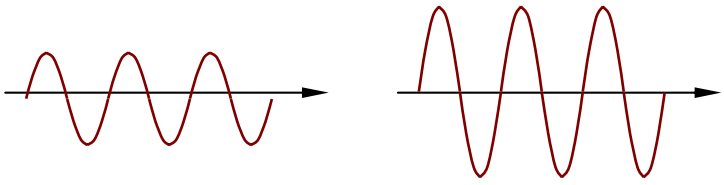
a.音品(音色)(timbre)--與波形有關【我們聽到的聲音以基音爲主，諧音的存在是改變波型，即諧音改變音色】。



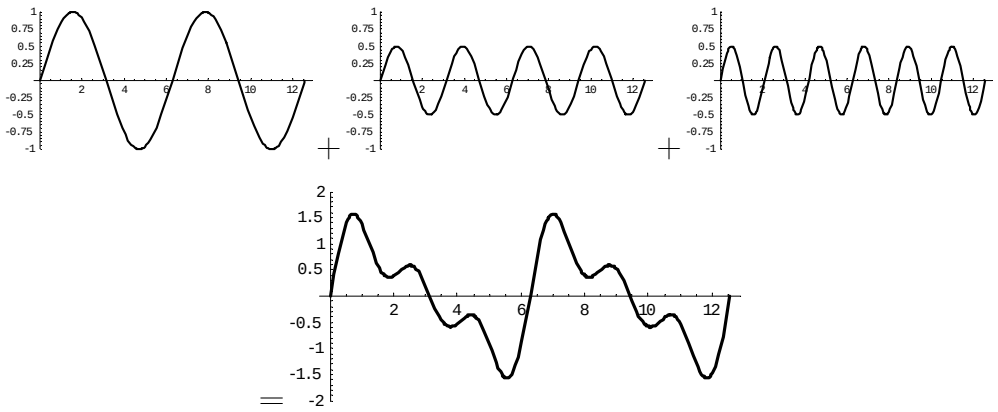
b.音調(高低)(pitch)--與頻率(frequency)有關。



c.響度(強度)(loudness;intensity)--與能量、振幅有關。振幅的平方與能量成正比。



諧音與基音同時疊加，諧音的作用是改變波形(即改變音色)，而非改變基音頻率。我們聽起來還是基音的頻率，只是音色不同。



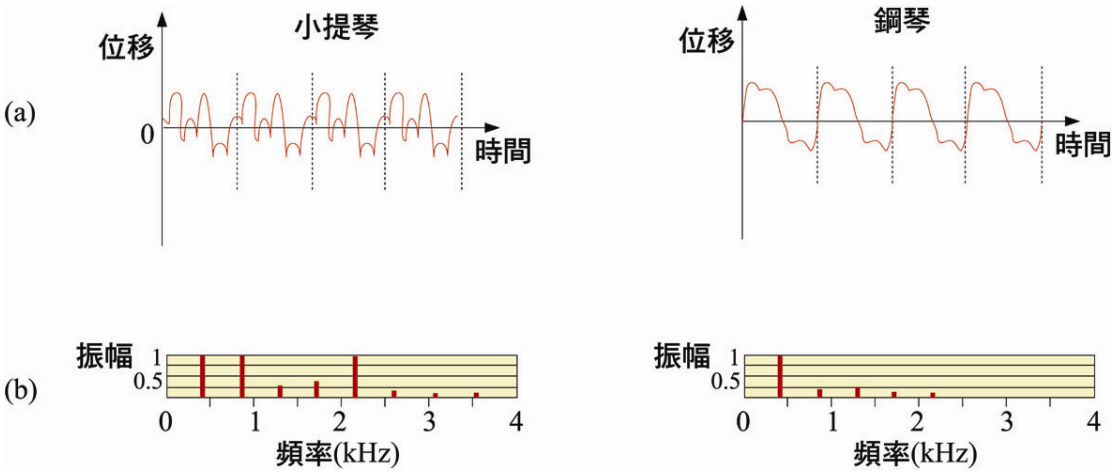


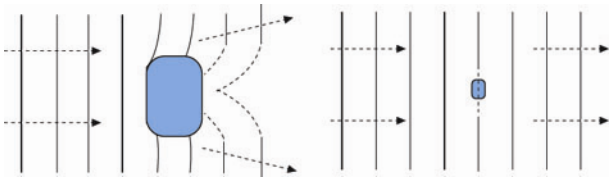
圖 Quick Time Movie Player 與 Windows Media Player 的頻譜圖

範例 01

130108

【大同】波的反射必須物體的尺寸大於波長，否則會產生繞射，因此藉於超音波，蝙輻與海豚等動物，可以利用耳朵代替眼睛。海豚可以發出約 100kHz 的超聲波，蝙蝠可發出 150kHz 的超音波，則可以藉此發現多小的魚或蛾？

【解題思路】：海水聲速約 1500m/s；空氣中的聲速約 340m/s。



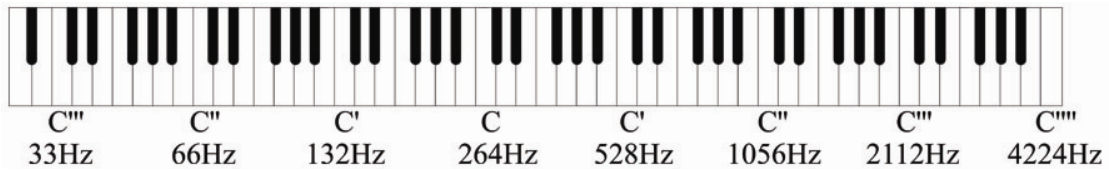
範例 02

130109

人類耳朵只能聽到 20,000 Hz 以下的聲波。請問，從鋼琴上中央 C 的 Do 算起，一共能聽到幾個 Do？

解題思路

高 8 度亦即頻率變爲_____倍



範例 03

1.(83 推甄)以下有關波動現象的一般特性，哪一項是錯的? **[130110a]**
(A)可傳播能量和動量 (B)有干涉及繞射的現象
(C)遇不同介質，有反射及折射現象 (D)傳播波動的介質，會隨著波傳播出去

2.(84 推甄)三個人在操場上談話，小英的聲音又尖又高，小強的聲音宏亮大聲，小雯說話又快又急。這些聲音在空氣中散播開來，何者傳得最快?
(A)小英的聲音傳得最快 (B)小強的聲音傳得最快 (C)小雯的聲音傳得最快
(D)三個人的聲音傳得一樣快 **[130110b]**

3.(84 推甄)下列有關空氣中聲波的敘述何者正確? **[130110c]**
(A)超聲波的波速超快 (B)頻率愈高的聲波，聲音強度愈強
(C)波峰與波谷之間的距離稱爲波長 (D)振幅愈大，聲音強度愈強

13-3 都 卜 勒 效 應

130301 都卜勒效應(Doppler effect)

當觀察者與波源二者在其連線上有相對運動時，觀察者所測得的頻率與波源實際發出之頻率不同，此現象稱爲都卜勒效應

都卜勒效應(Doppler effect)：Change in the frequency of light or sound waves, and other wave phenomena that results when an observer and a source are moving relatively to each other; for sound, the increase in pitch as a listener and a source of sound approach each other, and the decrease in pitch as they move away from each other.

仔細聽一下救護車或是警車的聲音，靠近與遠離時，頻率有何變化?

❶觀察者靠近波源時，頻率會變_____

❷觀察者遠離波源時，頻率會變_____

❸波源靠近觀察者時，頻率會變_____

❹波源遠離觀察者時，頻率會變_____

【觀念辨正】：Near vs. far 與 approach vs. go away

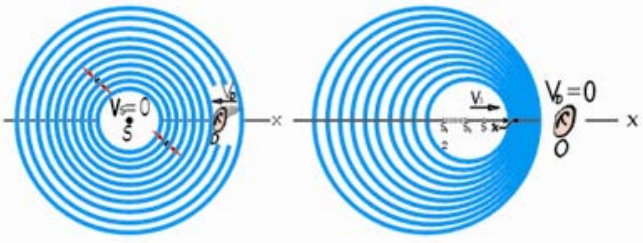
130302 【思想實驗】:

$\lambda = 2m,\ f = 1Hz, v = 2m/s$

$2m/s$靠近,$T=\frac{2}{2+2}=\frac{1}{2},\ f=\frac{1}{T}=2$

$1m/s$遠離,$T=\frac{2}{2-1}=2,\ f=\frac{1}{T}=\frac{1}{2}$

$2m/s$遠離,$T=\frac{2}{2-2}=\infty,\ f=\frac{1}{T}=0$



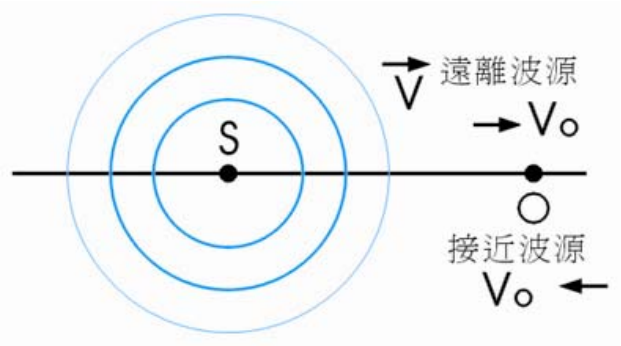
130303 都卜勒效應公式推導 1：

1.波源(S)靜止，觀察者(O)以v_o之速率運動

❶ O 向 S 靠近，O 測得的視頻 $f'=\frac{v'}{\lambda}=\frac{v+v_o}{v/f}=\frac{v+v_o}{v}f$

❷O 向 S 遠離，O 測得的視頻 $f'=\frac{v'}{\lambda}=\frac{v-v_o}{v/f}=\frac{v-v_o}{v}f$

➡O 測得的視波長沒有改變，而視波速(相對速度)改變



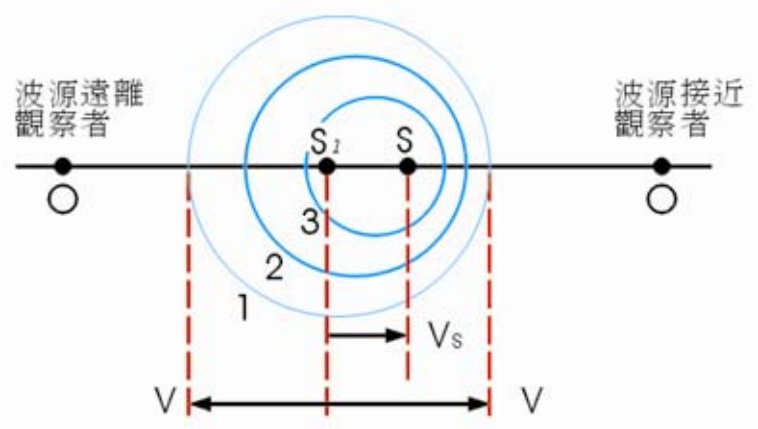
130304 都卜勒效應公式推導 2：

2.觀察者(O)靜止，波源(S)以v_s之速率運動

❶ S 向 O 靠近，O 測得的視波長 $\lambda'=\frac{v-v_s}{f}\Rightarrow f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{v-v_s}f$

❷S 向 O 遠離，O 測得的視波長 $\lambda'=\frac{v+v_s}{f}\Rightarrow f'=\frac{v}{\lambda'}=\frac{v}{v+v_s}f$

➡O 測得的視波速沒有改變，但視波長(波峰與波峰之距離)改變



1.觀察者動，影響視波速；波源動，影響視波長
2.沒有相對運動，沒有都卜勒效應

130305【觀念辨正】:

①有些人會認爲波源以v_s運動，類似在汽車上丟球，波速應該是v_s+v，但是聲波是對介質的擾動，因此傳播速率決定在介質的特性(聲速$v=331+0.6t$)，而非波源的速度。【 一邊跑步一邊講話，聲音不會傳得比較快】

波速取決於介質特性；頻率取決於波源；波長則是由波源與介質共同決定

③若非連線上靠近或遠離，波速>>物體移動速率，可算速度在連線上的分量，否則此公式就不適用，必須重新推導。

130306都卜勒效應公式推導 3：

3.觀察者(O)以v_o之速率運動，波源(S)以v_s之速率運動，其結果爲 1.及 2.公式的合成：

$$f' = \frac{v \pm v_o}{v \pm v_s} f$$

【符號法則】:

a.觀察者靠近，分子取正
b.觀察者遠離，分子取負
c.波　源靠近，分母取負
d.波　源遠離，分母取正

【記法】:靠近，視頻變大 ；遠離，視頻變小

【應 用】:

1.都卜勒雷達：測速器；都卜勒超音波；都卜勒血流計

2.宇宙膨脹理論：紅位移與藍位移

3.光的都卜勒效應：光仍有都卜勒效應，但不適用上述公式。請參考高中物理進階 200 篇的推導對於移動中的觀察者而言，會遇到「時間膨脹」的相對論效應，故無法直接套用古典力學的都卜勒效應。

範例 25

130307

(94 參考)一列以等速度行駛的火車，由車頭發出固定頻率的汽笛聲。對一個坐在車尾的觀測者而言，下列何者正確？

(A)火車前進時，觀察者所聽到的汽笛聲頻率較高。

(B)火車前進時，觀察者所聽到的汽笛聲頻率較低。

(C)火車後退時，觀察者所聽到的汽笛聲頻率較高。

(D)火車後退時，觀察者所聽到的汽笛聲頻率較低。

(E)火車前進或後退時，觀察者所聽到的汽笛聲頻率皆一樣。

【解答】：E

範例 26

130308

(94參考)有一個喇叭靜置在操場的中央，其發音頻率為 f，如圖4所示。另有四個學生分別靜止站在喇叭周圍的東西南北四個方位。當時有風從正東向正西方向吹，試問站在哪一個方位的學生所聽到的聲音頻率最高？

(A)東

(B)西

(C)南

(D)北

(E)四人所聽到的聲音頻率皆等於f

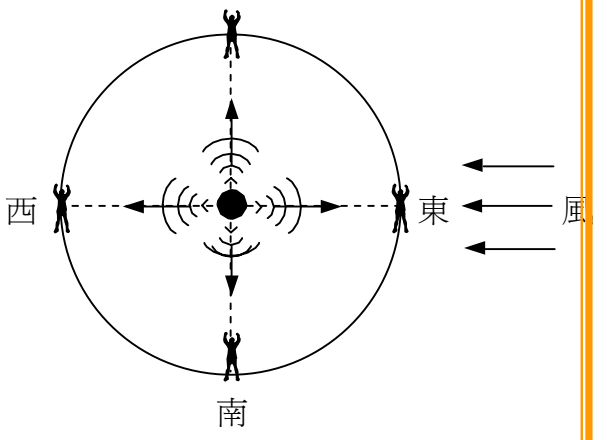


圖 4

【解答】：E

1.觀察者動，影響視波速；波源動，影響視波長

2.沒有相對運動，沒有都卜勒效應

範例 27

130309

(92 預試 1)關於都卜勒效應的敘述，下列何者錯誤?

(A)當聲源以等速度接近靜止的觀察者時，由於波長變短，所以觀察者接收到的頻率變高

(B)當聲源以等速度接近靜止的觀察者時，觀察者接收到的頻率變高，且測得的波速也加快

(C)當觀察者以等速度接近靜止的聲源時，雖然波長不變，但是觀察者接收到的頻率會變高

(D)當觀察者以等速度接近靜止的聲源時，觀察者接收到的頻率變高，是因為單位時間接收到波的數目增加

範例 28

130310

(87 日大)一輛汽車於時間 t=0 時從靜止狀態啓動，以等加速度行沿直線駛向一靜止的聲源，若空氣中聲速爲 330 公尺/秒，靜止聲源發出 440 赫的聲波，而汽車上的乘客在 t=3 秒時聽到的聲波頻率爲 480 赫，則汽車的加速度約爲

(A) 8 公尺/秒^2 (B)9 公尺/秒^2 (C)10 公尺/秒^2 (D)11 公尺/秒^2 (E)12 公尺/秒^2

解題思路

聯考題通常是兩步驟：第一，考都卜勒效應，先算出汽車的速度，第二，考等加速度運動，再算出汽車的加速度。

【牛刀小試】: 一輛汽車於時間t=0 時從靜止狀態啓動，以等加速度沿直線駛向一靜止的聲源，若空氣中聲速爲 360 公尺/秒，靜止聲源發出 400 赫的聲波，而汽車上的乘客在t=6 秒時聽到聲波頻率爲 440 赫，則汽車的加速度約爲？【6m/s^2】