

# 帆船逆風能前進嗎？

## 國中組物理第二名

彰化縣草湖國民中學

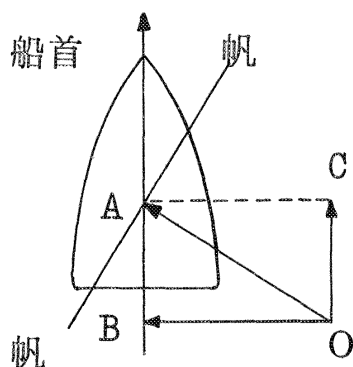
作者：謝德福等三名

指導老師：林嘉譽

### 一、研究動機：

物理第二冊第六章（力的合成、分解和摩擦力）裡，我們學會了利用「平行四邊形法」求合力、分力。老師曾舉了一個例題，說明風吹帆船，作用在帆上的力，可以分解為「使船前進」和「使船傾斜」的兩個分力，如圖(1)所示：

[ 圖(1) ]



OA 表示風力

OB 表示使船傾斜之分力

OC 表示使船前進之分力

我們發現了問題：

- 1 風從側面吹來，帆船能否按原目標前進？
- 2 甚至於風逆向而來，帆船能否前進到達目的地？

### 二、建立假設：

當我們將上述問題提出請教老師，共同研討之後，大膽地做了這樣的假想：

- 1 調整帆的方向，使風力可以分解為「垂直用於帆上的分力」與「平行於帆的分力」，則後者成為「無效分力」。
- 2 垂直於帆上的分力又可分解為「使船前進之分力」與「使船傾斜之分力」，若設法使「船和水的摩擦阻力」抵消「使船傾斜的分力」，則最後剩下的「有效分力」就是「使船前進的分力」了！
- 3 在完全逆風的情況下，必須再調整船頭之方向，則「使船前進

的分力」不為零，而其他分力化為「無效」或被抵消，如此，船可以S形蜿蜒而上了！

### 三、實驗求證：

#### 1 實驗器材：

- (1)木塊、尼龍布兩塊、鐵釘、筷子、棉線、圖釘、鐵片等製成一簡單帆船。
- (2)大浴盆。
- (3)小電風扇。

#### 2 控制變因：

- (1)水是靜止的。
- (2)風力維持一定。
- (3)與船首方向垂直的分力全為水的阻力抵消。

#### 3 實驗過程：〔問題(一)〕

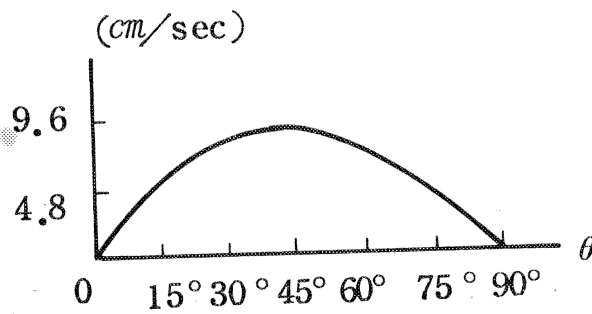
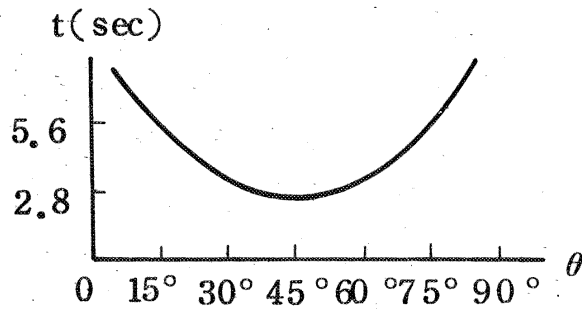
- (1)船底沿龍骨方向裝夾長鐵板，以增加阻力不使船作左右方向移動。
- (2)帆可以活動調整方向。
- (3)觀察順風時的速度，設為V，到達時間為T。
- (4)船欲北上，而風從東方吹來時，船向不變，調整帆向（即改變帆與船的夾角 $\theta$ ）。

觀察各不同角度時，船的前進情形。

a. 順風時， $S = 30 \text{ cm}$ ， $T = 1.6 \text{ sec}$ ， $V = \frac{S}{T} = 18.8 \text{ cm/sec}$ 。

b. 側風時：

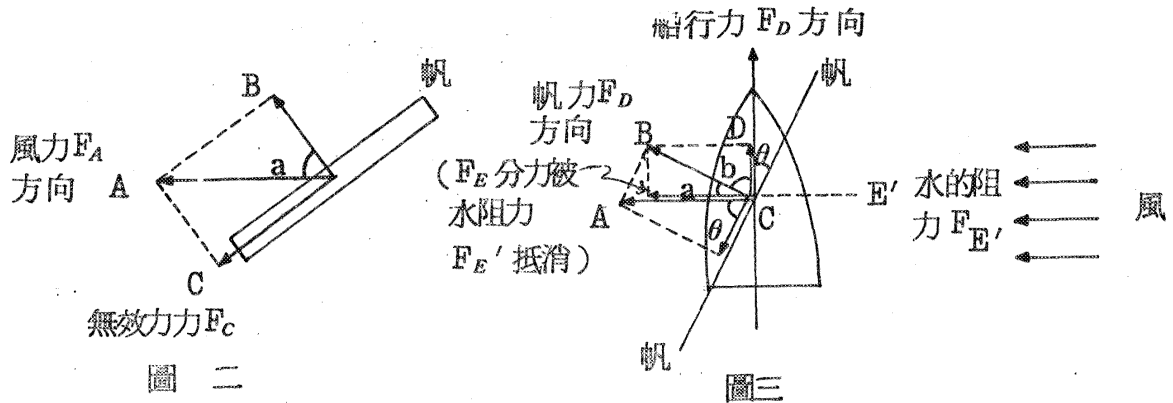
帆與船之夾角 $\theta$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
行程S(cm)	27	27	27	27	27	27	27
到達時間t(sec)	$\infty$	5.6	3.2	2.8	3.2	5.6	$\infty$
船速 $V = \frac{S}{t}$ (cm/sec)	0	4.8	8.3	9.6	8.3	4.8	0
備註	本數據經多次實驗後平均而得。						



控制變因方面之討論：

- a. 本實驗使用小型電風扇四擋風速，否則風力太強，傾斜分力大於水的阻力，會造成「翻船」現象。（請觀眾操作時注意之！）
- b. 風扇距盆緣 30 公分較適合，使風力分佈於浴盆範圍。
- c. 船克服「最大靜摩擦力」，啟動後，才以碼錶開始記時。
- d. 本實驗船體浸水太久後，有右傾現象，且船速會變，可能為木塊吸水後密度不均勻所致。
- e. 水槽可以大些，路程、時間之測量誤差將較小，但電風扇也必須很多架，且風速皆須相同。

4. 解釋推理：〔問題(一)〕



從 3 之實驗結果，我們發現帆與船的夾角  $\theta$  為  $45^\circ$  時，船速最大，即最能有效利用側向來的風力，使船按原方向前進，為什麼呢？

我們依據最初建立的假設，將風力分解如圖二的情形，則帆力  $F_B = F_A \cos a$ ，再將  $F_B$  分解如圖(3)，則真正使船前進的分力  $F_D = F_B \cos b = F_A \cos a \cos b$ 。

我們的選修數學僅學到基本的三角函數，對於  $\cos a \cos b$  這種乘積式子不會處理，經再請教老師，老師告訴我們可暫時先利用高中數學中的一個公式來幫助我們解答問題：

$$\cos a \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a+b) + \cos(a-b)] \dots\dots(1)$$

$$\begin{aligned} \therefore F_D &= F_A \cos a \cos b \\ &= \frac{1}{2} F_A [\cos(a+b) + \cos(a-b)] \dots\dots(2) \end{aligned}$$

式中  $F_D$  為船行力， $F_A$  為風力。

當  $a=b$  時， $\cos(a-b) = \cos 0^\circ = 1$ ， $F_D$  之值最大……(3)

但從圖三知  $a+b=90^\circ \quad \therefore a-b=45^\circ$

又因  $b+\theta=90^\circ \quad \therefore \theta=45^\circ$

因此，我們得以解釋了實驗結果。

5. 實驗過程：〔問題(二)〕

(1) 船欲向北行，風從正北來，逆風而上不可能，因而必須改變

船首方向。

(2)從 4 之解釋推理中之式(3)，我們可知 a 與 b 兩夾角必須保持相同，才能獲得最佳效果。

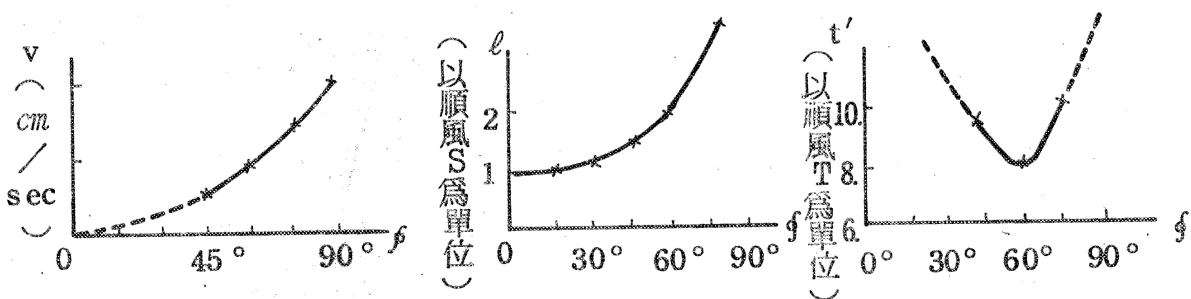
a. 即風力與帆力之夾角。

b. 即帆力與船行方向的夾角。

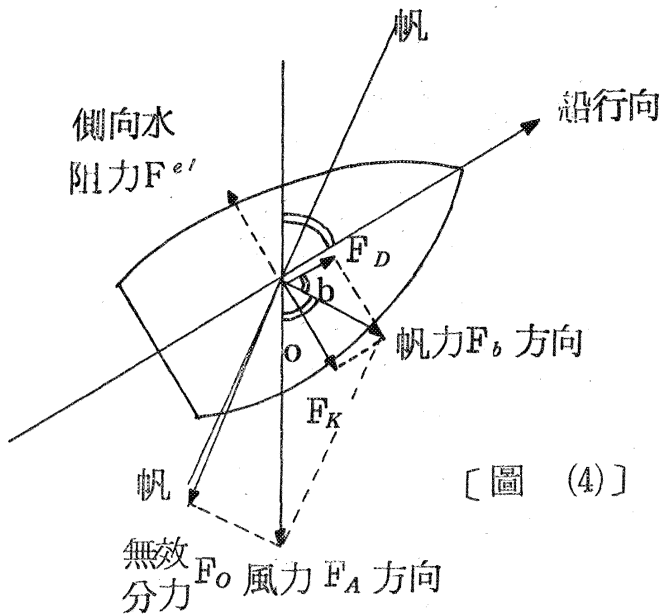
(因為帆力與帆垂直，所以帆要平分風與船首向。)

這是在本問題實驗中增加的一項控制變因。

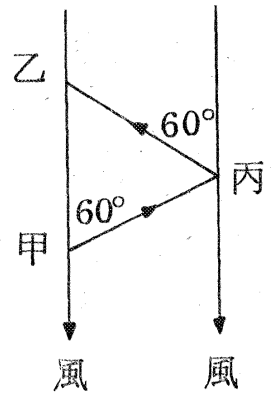
船與風之夾角 $\beta$	$0^\circ$	$15^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$75^\circ$	$90^\circ$
實驗行程 $s$ (cm)	25	25	25	25	25	25	25
時間 $t$ (sec)	$\infty$	測不出	測不出	8.7	5.1	3.4	2.6
時速 $v = \frac{s}{t}$ (cm/sec)	0	/	/	2.9	4.9	7.3	9.8
甲到乙所經行程 $l$ (以順風 $S$ 為單位)	$\infty$	1.04	1.15	1.41	2	3.86	$\infty$
甲到乙所需時間 $t'$ (以順風 $T$ 為單位)	$\infty$	/	/	9.7	8	10.4	$\infty$



6. 解釋推理：〔問題(二)〕

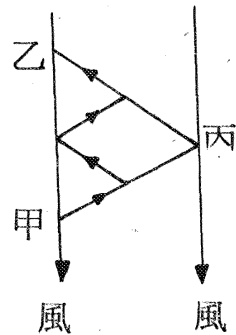


〔圖 (4)〕

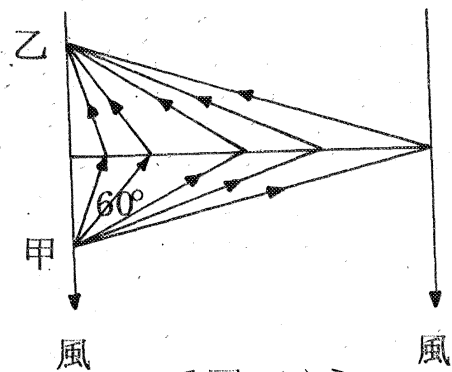


〔圖 (5)〕

如圖(4)所示， $F_D$  是真正使船前進之力，從實驗數據顯示，若船與風之夾角  $\beta = 60^\circ$ ，則船欲從甲地到乙地，可以經丙地再至乙地，如圖(5)所示。若由於水域限制，可如圖(6)所示蜿蜒蛇行而上，所需行程相同。



〔圖 (6)〕



〔圖 (7)〕

四、討論

帆船逆風而上時，可有許多不同的路徑如圖(7)所示：當船行向與風向之夾角  $\beta$  愈大時，雖可得較大之船行分力  $F_D$ ，但路程也需較長，而且使船傾斜的分力相對地變大了，反之， $\beta$  角愈小時，雖路程縮短，但船行力也減小了許多。我們操作實驗的結果，以  $60^\circ$  角最方便迅捷。但實際情況，尚須考慮航道，水流等因素

吧！

## 五、結 論：

我們在小心求證之下，終於獲得了答案！

1 風從側向吹來時，若將帆調整好（與船向夾角  $45^\circ$ ）仍可原向前進，船速為順風時的一半，路程相同，時間兩倍。

2 帆船逆風仍然可以前進！

調動船首與風向成  $60^\circ$ ，且調整帆面與船首成  $30^\circ$ （即帆受力方向與船成  $60^\circ$ ）則可得順風時船速的  $\frac{1}{4}$ ，而路程需兩倍，所以費時八倍，蜿蜒 S 形而上仍然可以達到目的地！

3 風向與船欲前往之目標方向成任何角度時，只要妥善調整帆向或船向，皆可使船前進！

評語：優點：

1 從熟知的事物中發現問題加以思考研究。

2 研究的方法確實可行，達到學以致用的目的。

缺點：

變因的控制不夠精確使某些結果不具一般性。