

2022 年【全國科學探究競賽-這樣教我就懂】

題目名稱：齊心合力 – 船舶搖晃週期研究

一、摘要

此次實驗要旨在於船身的搖晃週期和定傾高度的變化之關係。因此利用船隻載重物的擺放方式進而改變船隻整體的重心高度，來測試船身搖晃的週期時間差異變化。並且初探船隻搖晃角度是否會影響搖晃週期。故實驗結果高重心搖晃 20 度時的搖晃週期大致落在 1.22 秒左右、低重心搖晃 20 度時的搖晃週期大致落在 0.63 秒左右、低重心搖晃 10 度時的搖晃週期大致落在 0.62 秒左右、高重心搖晃 10 度時的搖晃週期大致落在 1.19 秒左右、由這四組實驗數據可以發現對搖晃週期時間影響因素為船隻的重心位置分布；而搖晃角度與搖晃週期時間並無顯著影響。未來展望能夠初探在各種情形下 K 值的變化。

二、探究題目與動機

在炎炎夏日中我們前往海邊去玩 SUP，而當我們站在板子上拿著長槳想要滑行，然而卻發現站在板上的我們搖搖晃晃的，很難站穩，還未前進半步便跌入海中。反觀，旁邊的老手都是蹲坐且能夠穩定的滑行，而沒跌入海中。於是我們便開始好奇站立的我們究竟是為何原因而跌倒，而蹲坐的人卻能屹立不搖的划行呢？經過我們與老師的思考與溝通發現原來是有很多的「力」會影響到我們和船隻的穩定，因此我們將題目定為「齊心合力」。

三、探究目的與假設

探究目的

船隻本體擁有抵抗翻覆或傾倒和外力消除後回復成原本的位置這稱之船舶穩定度。當船隻出現船隻橫向傾斜力矩稱為傾側力矩。當船隻出現船頭至船尾方向的傾斜力矩稱為縱傾力矩。這兩力矩增加時，船隻傾斜時無角速度變化，那此時的傾斜能力稱為靜穩度；若是只有傾側力矩忽然受到強風或海浪影響，導致船隻的傾斜隨著角速度的變化，此時抵抗能力稱為動穩度。

浮力中心(B)：船體在水面下的體積中心稱之浮力中心，為浮力的集中作用點。當船隻傾斜時，浮心的位置會隨液面下的體積增加或減少而改變。

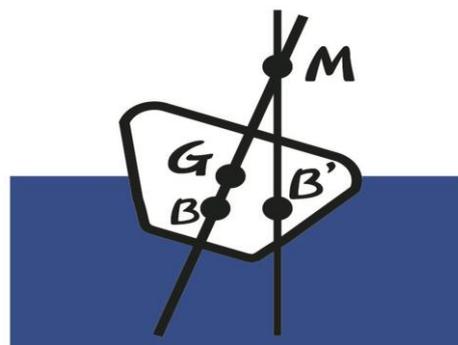
重心(G)：船上所有重量的總中心，也是船上所有物體重力的合力點。

定傾中心(M)：當船隻浮在水面上呈現平衡時，忽然受到外力的影響而傾側，這時浮力向上延伸的作用力與在水面平衡時的浮力向上延伸的作用力，相交於一點就是 M。

由此可以發現 重心低的定傾高度(GM)大；而重心高的定傾高度(GM)小。

探討問題

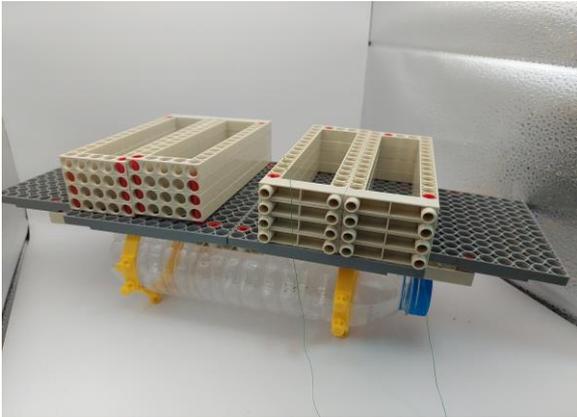
- 一. 探討船隻搖晃週期時間與定傾高度(GM)之關聯。
- 二. 探討船隻搖晃角度與搖晃週期時間之關聯。



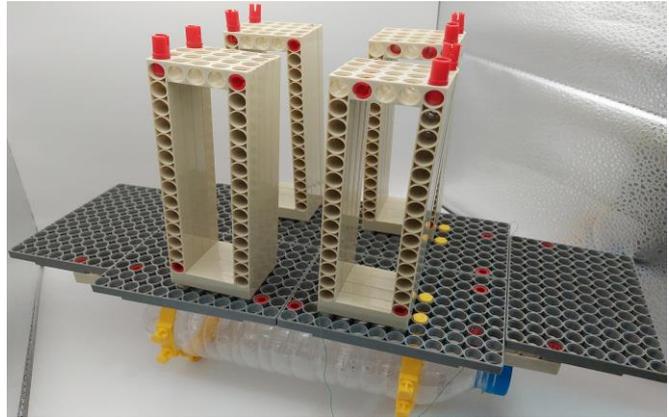
(圖一) 船體橫向定傾中心示意圖

四、探究方法與驗證步驟

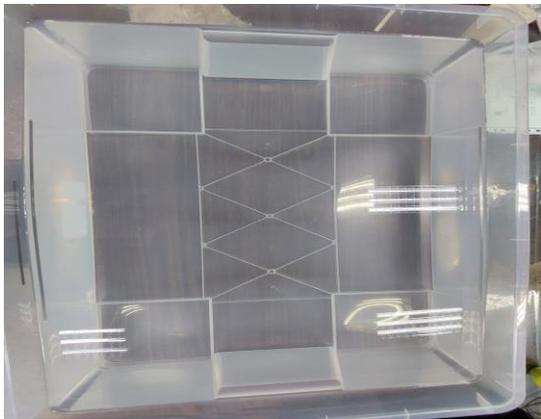
實驗器材: 樂高自製船隻(圖二、圖三)、塑膠透明水槽(圖四)、攝影機、量角器(圖五)、雷射水平儀(圖六)、透明塑膠板(圖七)。



(圖二) 重心低船隻



(圖三) 重心高船隻



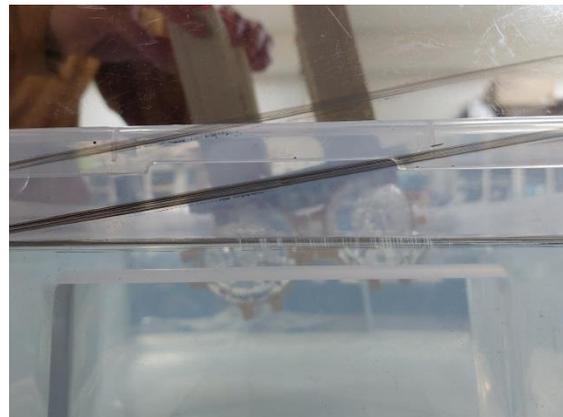
(圖四) 塑膠透明水槽



(圖五) 量角器



(圖六) 雷射水平儀



(圖七) 透明塑膠板

實驗步驟:

步驟一: 將水桶裝水至八分滿(如圖四)。

步驟二: 將船隻上重物躺平使船隻重心低(圖二)放置水面上, 接著打開雷射水平儀校準 X 軸對於水平面上。

步驟三: 用量角器畫上 20 度的夾角線並將其水平軸線對準水平儀的 X 軸。

步驟四: 將船隻側傾對準 20 度線(如圖七)放手使船開始搖晃並用攝影機紀錄。

步驟五: 重複步驟四 10 次並將影像匯入電腦編輯軟體分析。

步驟六: 將船隻上重物堆高使船隻重心變高(如圖三)。

步驟七: 重複步驟四和步驟五。

步驟八: 改變基準角度成 10 度，用量角器畫上 10 度的夾角線並將其水平軸線對準水平儀的 X 軸。

步驟九: 將船隻上重物躺平使船隻重心低放置水中，並側傾對準 10 度線放手使船開始搖晃並用攝影機紀錄。

步驟十: 重複步驟五到七。

數據分析:

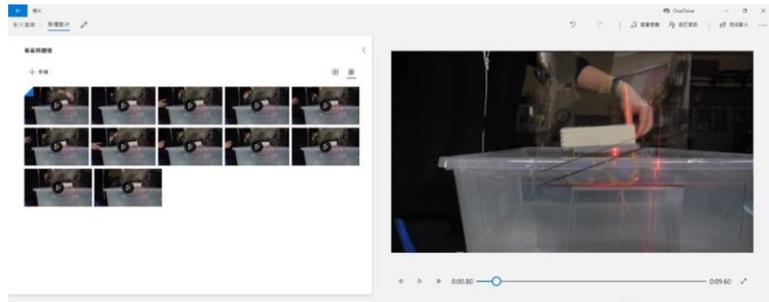
將利用上面步驟所得取的影像

放到電腦影片編輯軟體如(圖

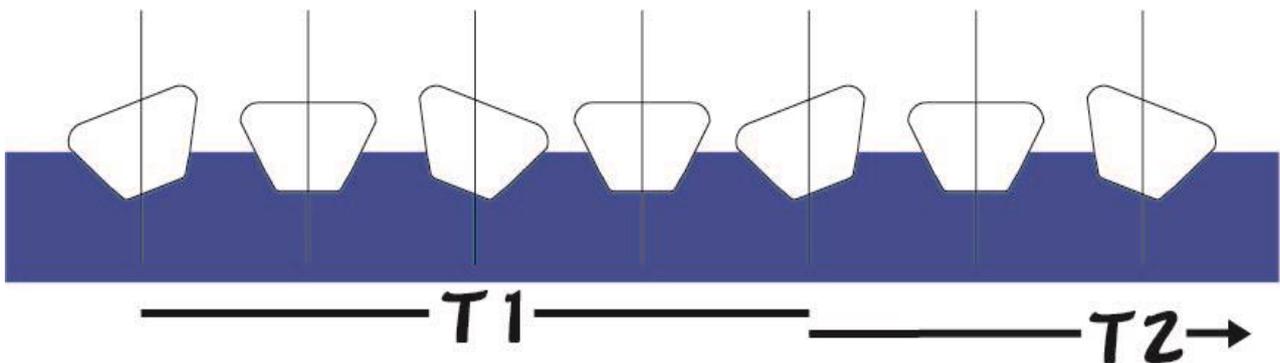
八)·利用慢格 1/30 秒來觀測船

隻搖晃時間，猶如單擺的左右

緩慢規律擺動，依序取得每次影像的 T1 到 T5 擺動所需時間，如(圖九)。



(圖八)電腦編輯軟體介面



(圖九)量測橫搖擺週期序列(從左側傾 10 度到下一次側傾回歸左側 10 度的時間間格)

不確定度:

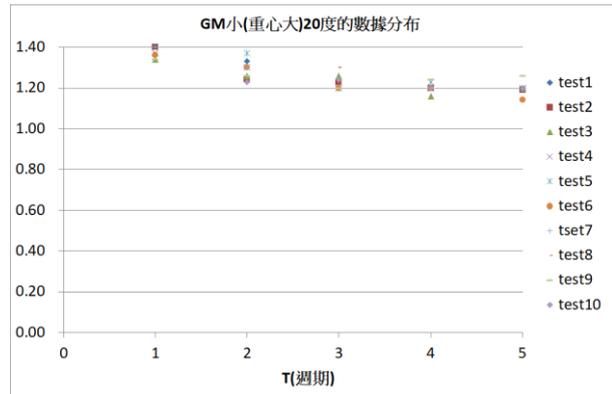
測量便會有誤差值，因此不確定度便是測量結果的誤差值，也是測量結果的離散程度。不確定度值越小，代表測量的結果可信度越高。

實驗數據:

由結果數據可以看出在重心高的船隻在傾斜 20 度時 T1 大約落在 1.40 秒，而後續的 T_i 大約落在 1.22 秒左右(圖十)，由實驗數據計算出的標準差和不確定度的值都很小，加上(圖十一)的數據點分布，可以看出數據誤差小可信度佳。故高重心搖晃角度 20 的搖晃週期大致落在 1.22 秒左右。

GM小(重心高)20度					
	T1	T2	T3	T4	T5
test1	1.43	1.33	1.20	1.20	1.20
test2	1.40	1.24	1.23	1.20	1.19
test3	1.34	1.26	1.26	1.16	1.20
test4	1.37	1.30	1.20	1.20	1.20
test5	1.40	1.37	1.20	1.23	1.20
test6	1.36	1.30	1.20	1.20	1.14
test7	1.40	1.30	1.24	1.20	1.20
test8	1.53	1.23	1.30	1.20	1.20
test9	1.34	1.26	1.20	1.24	1.26
test10	1.43	1.23	1.24	1.20	1.20
平均	1.40	1.28	1.23	1.20	1.20
標準差	0.053	0.044	0.032	0.020	0.027
不確定度	0.0014	0.0022	0.0016	0.0010	0.0014

(圖十) 高重心搖晃 20 度數據表

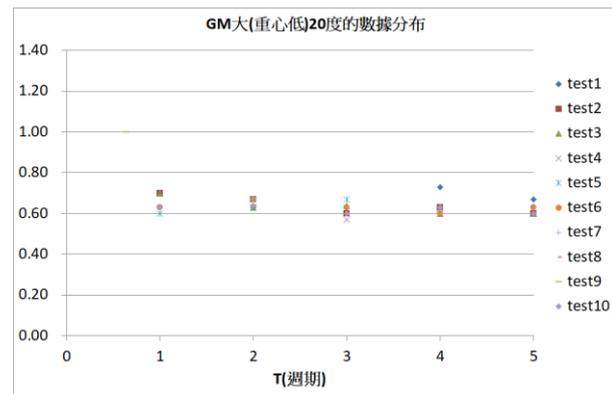


(圖十一) 高重心搖晃 20 度數據分布圖

由結果數據可以看出在重心低的船隻傾斜 20 度時， T_i 大約落在 0.63 秒左右(圖十二)，由實驗數據計算出的標準差和不確定度的值都很小，加上(圖十三)的數據點分布，可以看出數據誤差小可信度佳。故低重心搖晃角度 20 的搖晃週期大致落在 0.63 秒左右。

GM大(重心低)20度					
	T1	T2	T3	T4	T5
test1	0.70	0.63	0.60	0.73	0.67
test2	0.70	0.67	0.60	0.63	0.60
test3	0.70	0.63	0.64	0.60	0.60
test4	0.70	0.63	0.57	0.63	0.60
test5	0.60	0.63	0.67	0.60	0.60
test6	0.63	0.67	0.63	0.60	0.63
test7	0.63	0.67	0.60	0.63	0.60
test8	0.63	0.64	0.63	0.60	0.63
test9	0.64	0.60	0.63	0.60	0.60
test10	0.63	0.64	0.60	0.63	0.60
平均	0.66	0.64	0.62	0.63	0.61
標準差	0.037	0.022	0.027	0.038	0.022
不確定度	0.0019	0.0011	0.0013	0.0019	0.0011

(圖十二) 低重心搖晃 20 度數據表

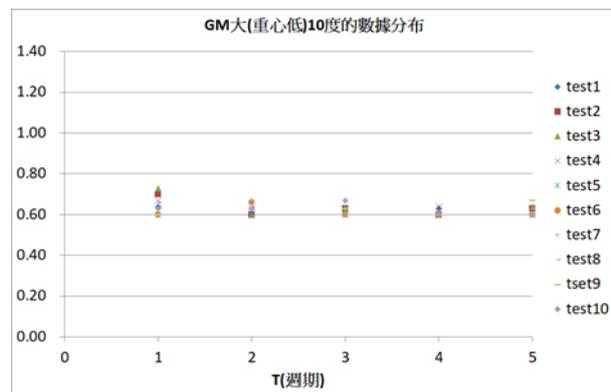


(圖十三) 低重心搖晃 20 度數據分布圖

由結果數據可以看出在重心低的船隻傾斜 10 度時， T_i 大約落在 0.62 秒左右(圖十四)，由實驗數據計算出的標準差和不確定度的值都很小，加上(圖十五)的數據點分布，可以看出數據誤差小可信度佳。故低重心搖晃角度 10 的搖晃週期大致落在 0.62 秒左右。

GM大(重心低)10度					
G低10度	T1	T2	T3	T4	T5
test1	0.64	0.60	0.63	0.63	0.60
test2	0.70	0.60	0.63	0.60	0.63
test3	0.73	0.60	0.63	0.60	0.64
test4	0.67	0.63	0.60	0.64	0.60
test5	0.60	0.60	0.63	0.60	0.60
test6	0.60	0.66	0.60	0.60	0.60
test7	0.63	0.67	0.60	0.60	0.60
test8	0.66	0.64	0.60	0.60	0.63
test9	0.60	0.63	0.63	0.60	0.67
test10	0.63	0.63	0.67	0.60	0.60
平均	0.65	0.63	0.62	0.61	0.62
標準差	0.042	0.025	0.021	0.014	0.023
不確定度	0.0021	0.0012	0.0011	0.0007	0.0012

(圖十四) 低重心搖晃 10 度數據表

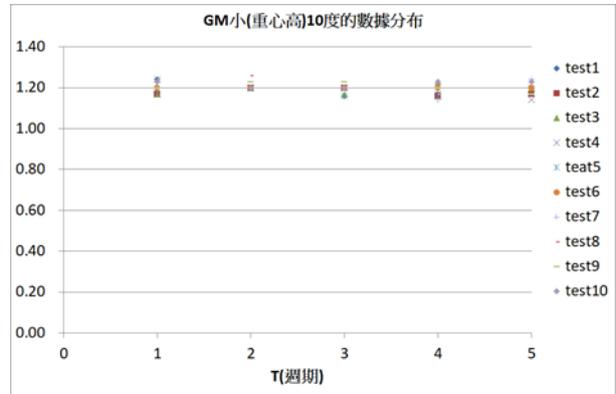


(圖十五) 低重心搖晃 10 度數據分布圖

由結果數據可以看出在重心高的船隻傾斜 10 度時， T_i 大約落在 1.19 秒左右(圖十六)，由實驗數據計算出的標準差和不確定度的值都很小，加上(圖十七)的數據點分布，可以看出數據誤差小可信度佳。故高重心搖晃角度 10 的搖晃週期大致落在 1.19 秒左右。

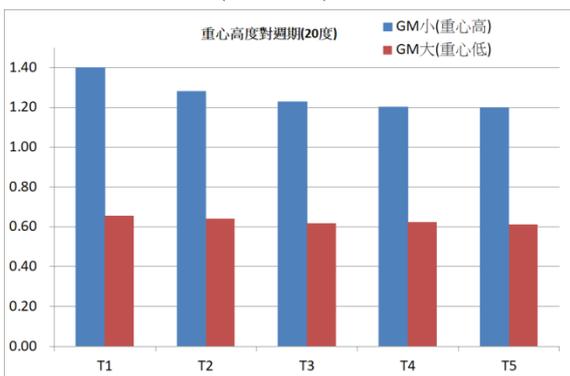
GM小(重心高)10度					
G高10度	T1	T2	T3	T4	T5
test1	1.24	1.20	1.16	1.17	1.20
test2	1.17	1.20	1.20	1.16	1.17
test3	1.17	1.20	1.17	1.23	1.20
test4	1.17	1.20	1.20	1.16	1.14
test5	1.23	1.20	1.20	1.20	1.17
test6	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
test7	1.20	1.20	1.20	1.14	1.24
test8	1.24	1.26	1.20	1.17	1.17
test9	1.20	1.23	1.23	1.20	1.17
test10	1.23	1.20	1.20	1.23	1.23
平均	1.21	1.21	1.20	1.19	1.19
標準差	0.027	0.019	0.018	0.029	0.029
不確定度	0.0014	0.0010	0.0009	0.0015	0.0015

(圖十六) 高重心搖晃 10 度數據表

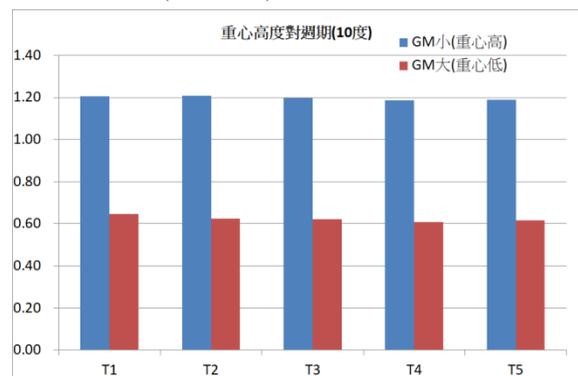


(圖十七) 高重心搖晃 10 度 數據分布圖

前提當搖晃角度一致時，由各圖中比較(圖 18、19)可得知船隻搖晃週期時間與 GM 有所關聯，當 GM 越大(重心低)搖晃週期時間越短，當 GM 越小(重心高)搖晃週期時間越長。

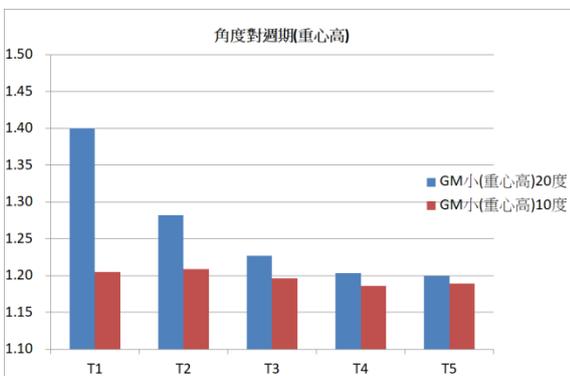


(圖十八) 高低重心對週期時間影響之直條圖

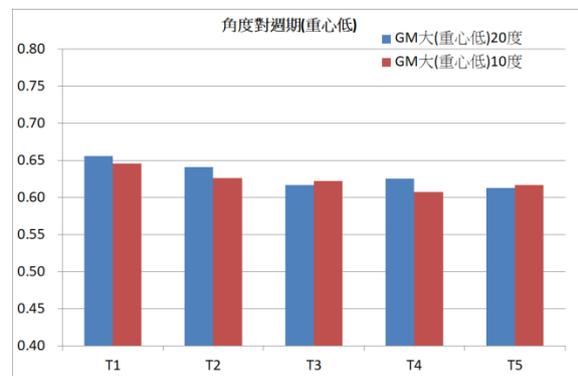


(圖十九) 高低重心對週期時間影響之直條圖

前提當重心高度一致時，由各圖中比較(圖 20、21)搖晃角度的大小與週期時間並無顯著之影響關係。



(圖二十) 搖晃角度對週期時間影響之直條圖



(圖二一) 搖晃角度對週期時間影響之直條圖

五、結論與生活應用

根據文獻 小船穩定知識中的船舶穩定公式

$T=2k/\sqrt{GM}$ (k 為常數，以小船來說其值約 0.375~0.385。GM=定傾中心到重心的高度)

由公式可得之當船舶之 GM 值大(低重心分布)時，則週期小，恢復靜置時間短，船隻不易傾覆，反之 GM 值小(高重心分布)時，則週期大，恢復靜置時間長，船隻較易傾覆。

經由我們實驗結果，發現 GM 值大(低重心分布)，其搖晃週期 0.63 左右，GM 值小(高重心分布)，其搖晃週期 1.2 左右，且週期不會受到傾斜角度改變而造成顯著的影響，與文獻的定義，低重心船(GM 值大)的週期小，高重心船(GM 值小)的週期大的結果一致。若是參與水上活動時，便可注意貨物或人的站姿，應當壓低整體重心，以免翻船或進水使得人財兩失，樂極生悲。

但如果將我們得到的數據結果代入上方公式並將 K 值用 0.375 代入，經計算後得知高重心船隻其 GM 長度為 28.69CM，而低重心船隻其 GM 長度為 130.71CM，發現兩者之間距離差為 102.02CM 與現實粗估的 7~8CM 的差距相去甚遠，其應可能是我們探討的因素不夠嚴謹，如模擬環境的容器寬度不夠極有可能會受到回波的影響又或深度不夠可能造成淺水波效應，所以實驗結果帶入公式的 GM 值與理論有所差異。是否 K 在此環境不適用 0.375~0.385?

雖然這次實驗思考影響因素有所不周，但希望在未來能夠初探在各種情形下 K 值的變化。

參考資料

小船穩度知識示範教材 <https://www.motcmpb.gov.tw>

翰林選修物理 1/力學一