

利用水的浮力與阻力做自由落體實驗

一、研究動機：

真空中的重力加速度為 9.8 m/s^2 ，任何物體皆然，可是在空氣中隨著物體之密度大小及質量不同，自由落體的加速度則不相同，是否在水中可更明顯觀測其差異性。

二、研究目的：

想利用水的浮力與阻力，探索伽利略在比薩斜塔之實驗現象，並找出自由落體的物體其密度大小不同及物體的質量大小不同在非真空中的條件中對重力加速度的影響。

三、研究器材：

(一). 透明玻璃水槽(120cm × 30cm × 30cm)

(二). 游標尺

(三). 鋼珠(直徑：1.00, 2.00, 4.00, 8.00, 10.00, 15.88, 19.05, 25.40, 30.00, 35.00, 40.00mm)各種尺寸。

(四). 玻璃球、大理石球(各種尺寸)及銅球(直徑 21.30mm)、鋁球(直徑 15.49mm)。

(五). 碼錶

(六). 強力磁鐵



四、研究步驟：

(一). 注水入水槽在高度約 110 公分。

(二). 將高度表貼於透明玻璃水槽後方，以利觀測。

(三). 取 40mm 鋼球恰完全沒入水中，放手後測量鋼球自由落下 1 公尺所需時間並記錄之。

(四). 重複(三). 之步驟於各種尺寸之鋼球、大理石球、玻璃球、銅球與鋁球並記錄之。

(五). 計算出不同材質、不同尺寸之球體在水中自由落下 1 公尺過程中的加速度，並做出

各種材質球體之直徑 R 與加速度 a 之關係圖。

五、研究結果：

表一、不同直徑的鋼球在水中之自由落體實驗：

鋼球	直徑 (mm)	重量(g)	密度 (g/cm ³)	T1(s)	T2(s)	T3(s)	T4(s)	T5(s)	T6(s)	T7(s)	T8(s)	平均 T(s)	加速度 (m/s ²)
1	40.00	260.250	7.77	0.48	0.48	0.48	0.49	0.49	0.49	0.49	0.50	0.49	8.42
2	35.00	174.330	7.77	0.49	0.49	0.50	0.50	0.51	0.51	0.52	0.52	0.51	7.84
3	30.00	109.770	7.76	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.54	0.54	0.53	7.22
4	25.40	67.000	7.81	0.54	0.54	0.54	0.54	0.55	0.56	0.56	0.56	0.55	6.64
5	19.05	28.230	7.80	0.58	0.59	0.59	0.59	0.60	0.61	0.61	0.61	0.60	5.60
6	15.88	16.330	7.79	0.61	0.62	0.63	0.63	0.63	0.63	0.64	0.64	0.63	5.06
7	10.00	4.070	7.77	0.70	0.74	0.74	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.75	3.58
8	8.00	2.080	7.76	0.74	0.78	0.80	0.81	0.81	0.82	0.83	0.84	0.80	3.10
9	6.00	0.880	7.78	0.86	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.90	0.88	2.60
10	4.00	0.260	7.76	1.00	1.03	1.04	1.04	1.05	1.06	1.06	1.09	1.05	1.83
11	2.00	0.032	7.64	1.46	1.47	1.49	1.51	1.52	1.53	1.53	1.55	1.51	0.88
12	0.90	0.003	7.86	2.26	2.41	2.53	2.57	2.59	2.64	2.67	2.67	2.54	0.31

表二、不同直徑的大理石球在水中之自由落體實驗：

大理石	直徑 (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	T1(s)	T2(s)	T3(s)	T4(s)	T5(s)	T6(s)	T7(s)	T8(s)	平均 T(s)	加速度 (m/s ²)
1	38.00	74.140	2.58	0.76	0.80	0.81	0.81	0.86	0.87	0.88	0.90	0.84	2.86
2	30.00	36.550	2.59	0.88	0.89	0.90	0.94	0.95	0.97	0.98	0.99	0.94	2.28
3	25.10	21.400	2.58	1.01	1.03	1.03	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.05	1.83
4	21.70	13.720	2.56	1.07	1.09	1.11	1.12	1.15	1.15	1.15	1.20	1.13	1.57
5	20.25	11.070	2.55	1.15	1.15	1.16	1.18	1.20	1.21	1.21	1.24	1.19	1.42

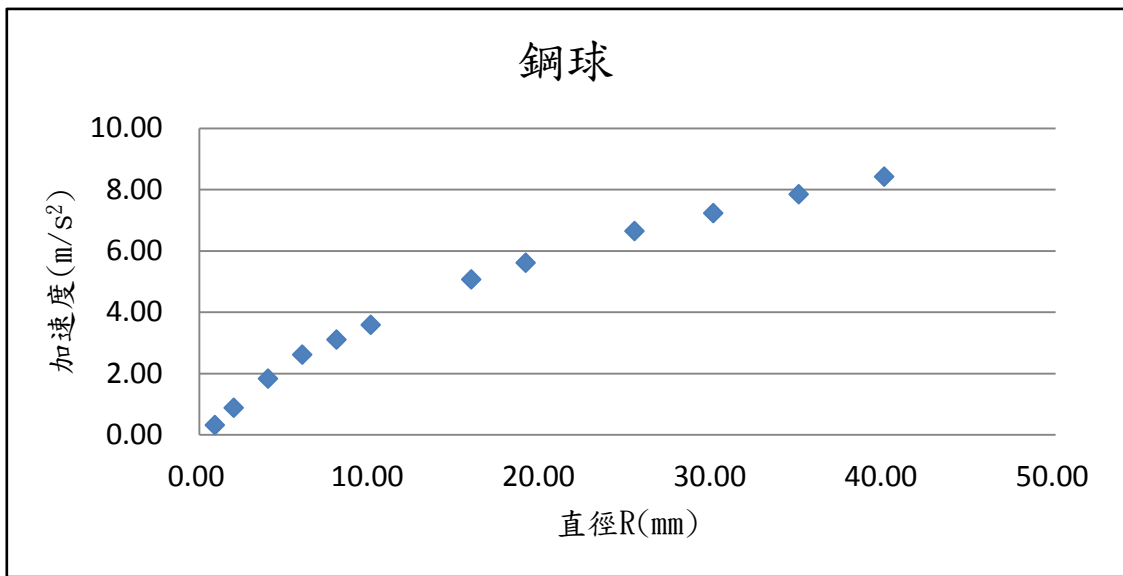
表三、不同直徑的玻璃球在水中之自由落體實驗：

玻璃球	直徑 (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	T1(s)	T2(s)	T3(s)	T4(s)	T5(s)	T6(s)	T7(s)	T8(s)	平均 T(s)	加速度 (m/s ²)
1	25.00	20.770	2.54	0.99	1.03	1.03	1.03	1.06	1.06	1.07	1.10	1.05	1.83
2	16.10	5.320	2.43	1.28	1.29	1.29	1.29	1.29	1.32	1.35	1.35	1.31	1.17
3	12.45	2.620	2.59	1.43	1.43	1.43	1.44	1.44	1.44	1.45	1.46	1.44	0.96

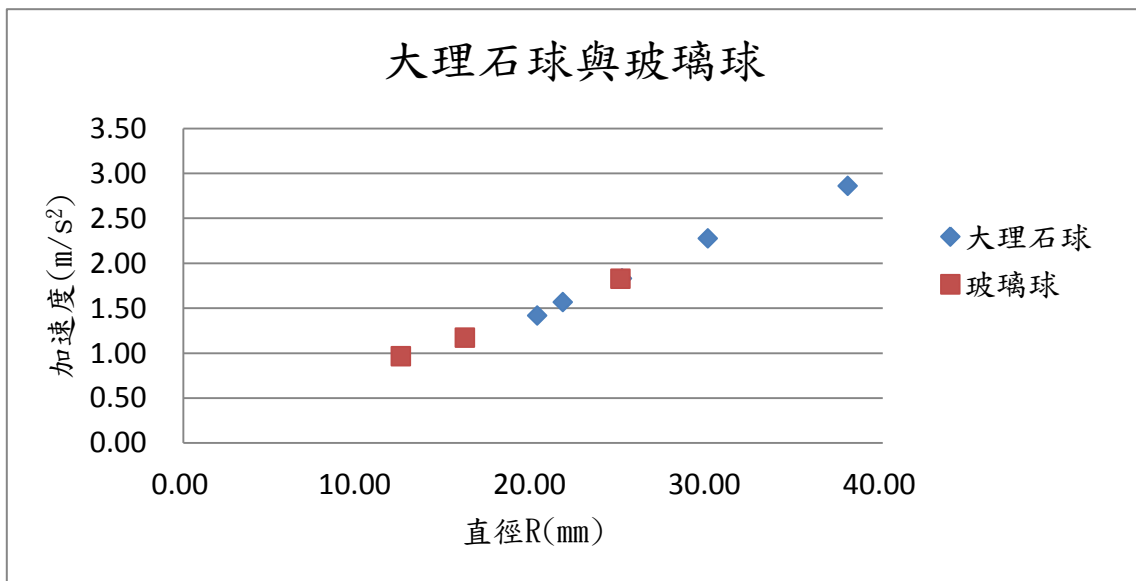
表四、銅球與鋁球在水中之自由落體實驗：

	直徑 (mm)	重量 (g)	密度 (g/cm ³)	T1(s)	T2(s)	T3(s)	T4(s)	T5(s)	T6(s)	T7(s)	T8(s)	平均 T(s)	加速度 (m/s ²)
銅球	21.30	45.830	9.06	0.52	0.52	0.53	0.55	0.56	0.56	0.57	0.58	0.55	6.64
鋁球	21.50	15.490	2.98	0.97	0.98	0.99	0.99	1.00	1.02	1.02	1.02	1.00	2.01

圖一、鋼球之自由落體加速度與半徑關係圖：

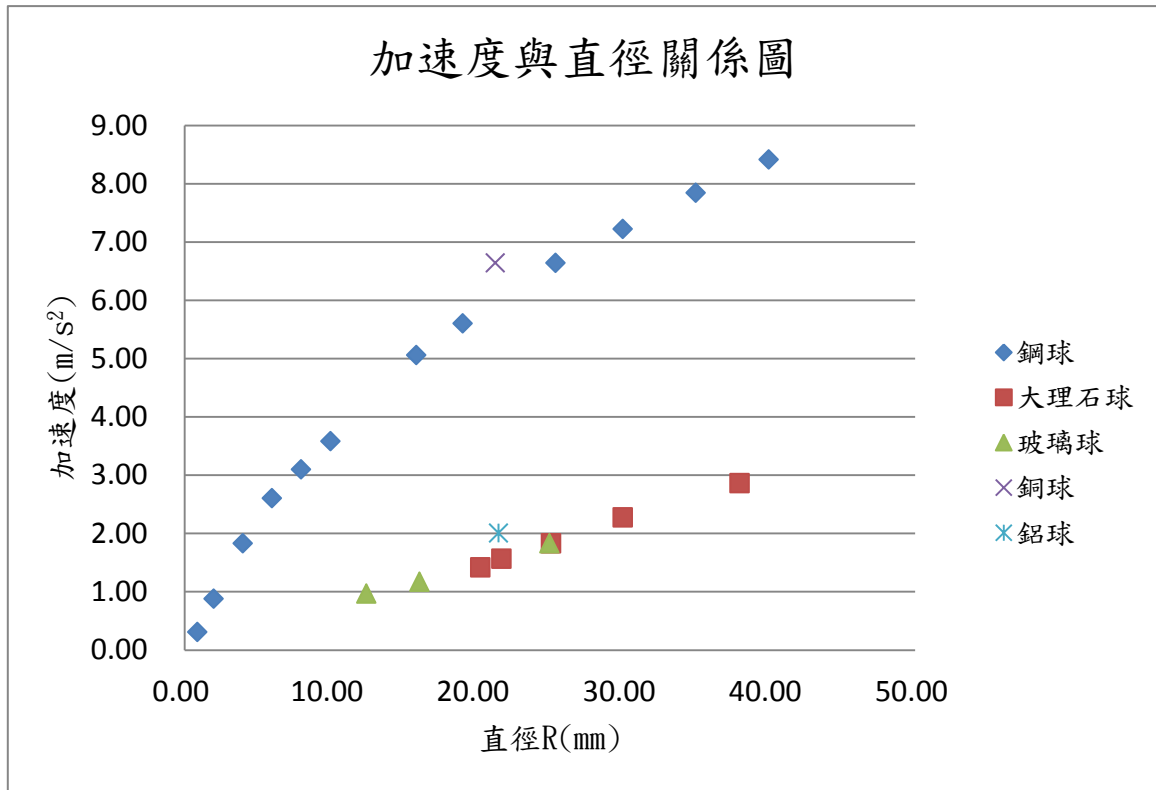


圖二、大理石球與玻璃球之自由落體加速度與半徑關係圖：



註：因大理石球與玻璃球之密度相近，故將其當作同一物質。

圖三、不同密度之物體自由落體加速度與半徑關係圖：



六、討論：

- (一). 觀察不同尺寸之鋼球在水中自由落下時的加速度變化，很明的現象是球直徑越小，則其自由落體之加速度越慢(圖一)。
- (二). 直徑相同，而密度不同的物體，密度較小的物體所受到水的浮力及阻力影響較大，自由落體實驗時，加速度也較慢。
- (三). 物體在水中所受浮力影響，可知其密度與其在水中自由落體之加速度應有以下關係：

$$(V \times D - V \times D') \times g = V \times D \times a \Rightarrow a = \frac{D - D'}{D} g \quad (g = 9.8 \text{ m/s}^2) \dots \text{公式(一)}$$

(備註: D 為物體密度 / D' 為流體密度 / a 為物體加速度)

由此關係可解釋(二). 中密度小物體做自由落體實驗時，加速度較密度大之物體來的慢的現象。

- (四). 我們可以利用公式(一) $a = \frac{D - D'}{D} g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) 來計算出鋼球

受到水的浮力影響所得到之 $a = 8.5390 \text{ (m/s}^2)$

受到空氣浮力影響所得到之 $a = 9.7984 \text{ (m/s}^2)$ (空氣密度=0.001293g/cm³)

- (五). 我們可以利用公式(一) $a = \frac{D - D'}{D} g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) 來計算出玻璃球(大理石球)

受到水的浮力影響所得到之 $a = 5.9620 \text{ (m/s}^2)$

受到空氣浮力影響所得到之 $a = 9.7950 \text{ (m/s}^2\text{)}$ (空氣密度= 0.001293g/cm^3)

(六). 我們可以利用公式(一) $a = \frac{D-D'}{D}g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) 來計算出銅球

受到水的浮力影響所得到之 $a = 8.7180 \text{ (m/s}^2\text{)}$

受到空氣浮力影響所得到之 $a = 9.7986 \text{ (m/s}^2\text{)}$ (空氣密度= 0.001293g/cm^3)

(七). 我們可以利用公式(一) $a = \frac{D-D'}{D}g$ ($g = 9.8 \text{ m/s}^2$) 來計算出鋁球

受到水的浮力影響所得到之 $a = 6.5078 \text{ (m/s}^2\text{)}$

受到空氣浮力影響所得到之 $a = 9.7957 \text{ (m/s}^2\text{)}$ (空氣密度= 0.001293g/cm^3)

(八). 在真空中 $D' = 0$ ，所有物體的 g 值皆為 9.8 m/s^2 。

(九). 假設質量比為 1：1000 之兩顆鋼球，其體積比為 1：1000，半徑比為 1：10，若此兩顆鋼球在水槽中自由落下之距離為 h ，其分別要推開的水分子體積比為

$\pi \times 1^2 \times h / \pi \times 10^2 \times h = \frac{1}{100}$ 。則小鋼球每分子所承受的阻力是大鋼球每分子所承受

阻力之 10 倍($\frac{1}{1} : \frac{100}{1000}$)。

(十). 密度相同的物體質量與半徑的三次方成正比，而阻力與半徑的平方成正比。

$\therefore \frac{\text{阻力}}{\text{質量}} \propto \frac{R^2}{R^3} = \frac{1}{R}$ ，可知當密度相同時若質量越大(體積越大)，則單位質量所承受的阻力越小。所以輪船越做越大、飛機越做越大，經濟效益越提升。也可知霧是小水滴為何漂浮於空中之原理。

(十一). 伽利略在比薩斜塔上以 1 公斤和 10 公斤的兩顆鐵球做自由落體實驗。在約 60 公尺高處自由落下，看似同時落地，其實還是有先後之分，只是我們肉眼無法辨識兩者先後的差異而已。

(十二). 直徑為 1mm 之鋼球，在水槽中做自由落體實驗。因其體積太小而不易觀測，是本實驗中最為困難之處。

七、結論：

(一). 真空中的重力加速度皆是 9.8 m/s^2 ，可是在各種流體中(如：空氣、水中)，體積較小且密度較小之物體其重力加速度會變得很小。小到如霧之大小之水球(直徑 0.01-0.02mm)，可以漂浮在空氣中，其原理甚明確。

(二). 伽利略在比薩斜塔的大小鐵球自由落體實驗，理論上應是不同時間落地的，只是因為差異不大且速度太快，以致於肉眼無法辨別兩者的差異。

八、參考書籍及其他：

(一). 南一書局—自然與生活科技第四、五冊。

(二). 空氣密度(1.293kg/m^3)

<http://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%A9%BA%E6%B0%A3#.E5.AF.86.E5.BA.A6>

(三). 霧的直徑(0.01-0.02mm) - <http://baike.baidu.com/view/1327204.htm>