水中を落下する物体の終端速度の測定

作成者　氏名

(1)実験目的

水中を落下する物体の速度を求め、そこから水中を落下する物体の終端速度を計算する

(2)実験方法

実験のための準備物

・ステンレス球（直径 2mm、4.76mm、6.35mmの 3 種類）
・真鍮の球（直径 2mm、4.76mm、6.35mmの 3 種類）
・鉛球（直径 2mmの 1 種類）
・アルミニウム球（直径 6mmの 1 種類）
・プラスチック管 1.05m　・ゴム栓
・ストップウォッチ　・ピンセット
・容器　・スタンド　・カメラ、三脚　・メジャー

実験の原理

今回実験では中を水（密度 1000 kg/cm³）で満たしたプラスチック管に用意した球を落下させる。その様子をカメラで撮影し、そしてその中から終端速度に達しているものとその瞬間を見つける。瞬間速度の中から終端速度に達していることを確かめるの式は、

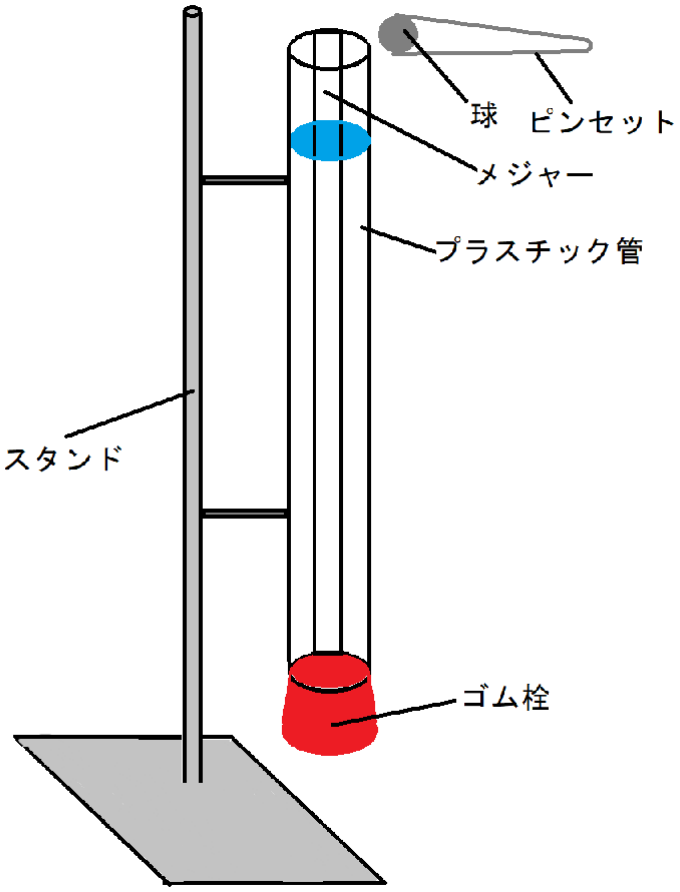
$\frac{1}{2}$・p・v^2・S（CD）＋pVg＝mgである。

このうち　・p…流体の密度（この場合は 1000kg/cm³）
・v…速さ　・S…断面積（m^2）
・CD…抵抗係数（この場合 0.4）

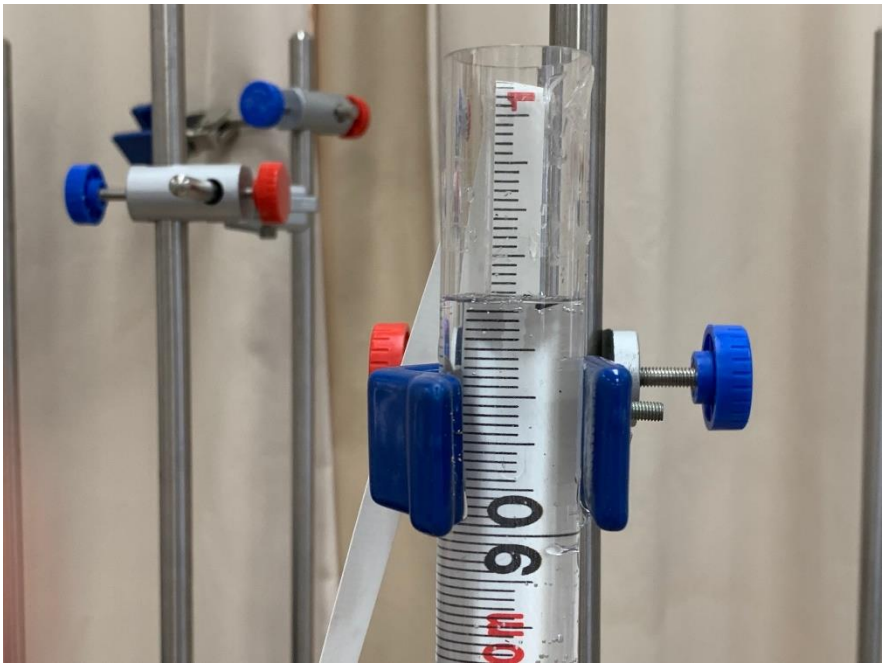
・V…体積（m^3）　・m…質量（kg）　・g…重力加速度（$\frac{49}{5}$）

として、上の等式が成り立つvがその物体の水中での終端速度となる。

測定方法



中を水で満たしたプラスチック管をスタンドに水平になるように設置する。
そして球をピンセットでつまんで静かに落とす。
その様子をカメラで連写していく。カメラは 60 連写のものである。



←水面は 95 ㎝

(3)実験結果

ステン2mm①回目		ステン2mm②回目		ステン2mm③回目		ステン2mm④回目		ステン2mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
20.1		–		–		–		20.2	
19.2	0.9	18.8		18.6		19.2		19	1.2
18.2	1.0	17.7	1.1	17.6	1.0	18.1	1.1	17.8	1.2
17.1	1.1	16.6	1.1	16.4	1.2	17	1.1	16.8	1
15.9	1.2	15.5	1.1	15.4	1	15.9	1.1	15.6	1.2
14.7	1.2	–		–		14.8	1.1	14.5	1.1
–		–		12.9		13.7	1.1	13.4	1.1
12.5		12.1		11.9	1	12.6	1.1	12.3	1.1
11.4	1.1	10.9	1.2	10.8	1.1	11.5	1.1	11.1	1.2
10.3	1.1	9.8	1.1	9.6	1.2	10.4	1.1	10.1	1
9.3	1.0	8.7	1.1	–		9.5	0.9	9	1.1
8.2	1.1	7.4	1.3	7.4		8.2	1.3	8	1
7.0	1.2	6.4	1	6.2	1.2	7.0	1.2	6.8	1.2
5.9	1.1	5.2	1.2	5	1.2	5.9	1.1	5.8	1
4.8	1.1	–		4	1	4.8	1.1	4.6	1.2
3.7	1.1	3		2.8	1.2	3.7	1.1	3.6	1
2.6	1.1	1.9	1.1	1.8	1	2.7	1	2.5	1.1
1.5	1.1	0.8	1.1	0.6	1.2	1.6	1.1	1.4	1.1
–		–		−0.5	1.1	0.5	1.1	0.4	1
−0.6								−0.6	1

ステン4.76mm①回目		ステン4.76mm②回目		ステン4.76mm③回目		ステン4.76mm④回目		ステン4.76mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
30.5		20.6		21		21.4		21.2	
28.8	1.7	19.1	1.5	19.5	1.5	19.7	1.7	19.6	1.6
27.2	1.6	17.2	1.9	17.8	1.7	17.9	1.8	18.1	1.5
25.6	1.6	15.2	2	16.1	1.7	16.2	1.7	16.4	1.7
23.8	1.8	13.4	1.8	14.6	1.5	14.4	1.8	14.6	1.8
22.2	1.6	11.8	1.6	12.8	1.8	12.5	1.9	13	1.6
20.6	1.6	10	1.8	11.2	1.6	10.8	1.7	11.4	1.6
18.7	1.9	8.3	1.7	9.5	1.7	9	1.8	9.6	1.8
17.1	1.6	6.4	1.9	7.8	1.7	7.3	1.7	7.9	1.7
15.4	1.7	4.7	1.7	6.1	1.7	5.5	1.8	6.1	1.8
13.6	1.8	2.8	1.9	4.4	1.7	3.7	1.8	4.3	1.8
11.9	1.7	1.2	1.6	2.8	1.7	2	1.7	2.5	1.8
10.3	1.6	−0.4	1.6	1.2	1.6	0.3	1.7	0.8	1.7
8.5	1.8	−0.1	−0.3	−0.6	1.8	−0.1	0.4	−0.5	1.3
6.9	1.6	0.3	−0.4	0.1	0.7	0.5		0.3	−0.8
5.1	1.8	0.4	−0.1	0.5	0.4			0.7	
3.4	1.7	0.3	0.1	0.8	0.3				
1.6	1.8								
0.1	1.5								
−0.1	0.2								
0.5	−0.6								
0.8	−0.3								

ステン6.35mm①回目		ステン6.35mm②回目		ステン6.35mm③回目		ステン6.35mm④回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
21.2	差	21.6	差	21	差	20.2	差
19.4	1.8	19.8	1.8	19	2	18.2	2
17.4	2	17.8	2	17.1	1.9	16.1	2.1
15.4	2	16	1.8	15.1	2	14.6	1.5
13.6	1.8	13.9	2.1	13.2	1.9	12.4	2.2
11.5	2.1	12.2	1.7	11.2	2	10.5	1.9
9.4	2.1	10.1	2.1	9.5	1.7	8.6	1.9
7.4	2	8.3	1.8	7.4	2.1	6.4	2.2
5.5	1.9	6.3	2	5.5	1.9	4.6	1.8
3.5	2	4.3	2	4.6	0.9	2.5	2.1
1.5	2	2.4	1.9	3.4	1.2	0.6	1.9
−0.5	2	0.4	2	1.7	1.7	−0.1	0.7
0.2	−0.7	−0.1	0.5	−0.1	1.8	0.6	−0.7
0.9	−0.7	0.7	−0.8	−0.3	0.2	1.2	−0.6
1.3	−0.4	1.2	−0.5	−0.4	0.1	1.1	0.1
1.5	−0.2	1.5	−0.3	−0.5	0.1		
1.4	0.1						

真鍮2mm①回目		真鍮2mm②回目		真鍮2mm③回目		真鍮2mm④回目		真鍮2mm⑤回目		真鍮2mm⑥回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
21.8		21.1		22.1		23.0		22.9		21.4	
20.6	1.2	−		21.0	1.1	21.9	1.1	21.8	1.1	20.2	1.2
19.4	1.2	18.7		19.9	1.1	20.7	1.2	20.6	1.2	19	1.2
18.1	1.3	17.5	1.2	18.7	1.2	19.4	1.3	19.4	1.2	17.9	1
−		16.4	1.1	17.5	1.2	18.3	1.1	18.2	1.2	16.7	1.2
15.9		15.2	1.2	16.3	1.2	17.1	1.2	17.1	1.1	15.5	1.2
14.7	1.2	14.1	1.1	15.1	1.2	16.0	1.1	−		14.3	1.2
−		13.0	1.1	13.8	1.3	14.9	1.1	14.7		13.1	1.2
12.2		11.8	1.2	12.7	1.1	−		−		12	1.1
11.0	1.2	−		11.5	1.2	12.3		−		10.8	1.2
10.0	1.0	−		10.3	1.2	11.1	1.2	11.2		9.6	1.2
−		8.6		9.1	1.2	9.9	1.2	10.1	1.1	8.4	1.2
−		7.6	1.0	8.0	1.1	8.7		8.9	1.2	7.2	1.2
6.5		6.4	1.2	6.8	1.2	7.5	1.2	7.8	1.1	6.1	1.1
−		5.4	1.0	5.5	1.3	6.3	1.2	6.6	1.2	5	1.1
−		4.3	1.1	4.4	1.1	5.2	1.1	5.5	1.1	3.8	1.2
		3.2	1.1	3.2	1.2	4.0	1.2	4.3	1.2	2.6	1.2
		2.1	1.1	2.1	1.1	2.8	1.2	3.2	1.1	1.5	1.1
		1.0	0.1	0.9	1.2	1.6	1.2	2.1	1.1	−	
		−0.1	1.1	−0.3	1.2	0.4	1.2	0.9	1.2	−0.1	
								−0.3	1.2		

真鍮4.76mm①回目		真鍮4.76mm②回目		真鍮4.76mm③回目		真鍮4.76mm④回目		真鍮4.76mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
20.4		20.4		21.1		20.9		20.1	
18.6	1.8	19.4	1.0	19.4	1.7	19.2	1.7	18.3	1.8
16.9	1.7	16.9	2.5	17.6	1.8	17.4	1.8	16.5	1.8
15.2	1.7	14.9	2.0	15.8	1.8	15.7	1.7	14.7	1.8
13.4	1.8	13.3	1.6	14.0	1.8	13.8	1.9	13.0	1.7
11.6	1.8	11.4	1.9	12.1	1.9	12.0	1.8	11.1	1.9
10.0	1.6	9.7	1.7	10.5	1.6	10.3	1.7	9.3	1.8
8.1	1.9	6.1	3.6	8.6	1.9	8.5	1.8	7.5	1.8
6.3	1.8	4.3	1.8	6.8	1.8	6.9	1.6	5.7	1.8
4.5	1.8	2.4	1.9	5.0	1.8	5.0	1.9	4.0	1.7
2.8	1.7	0.7	1.7	3.2	1.8	3.2	1.8	2.1	1.9
1.1	1.7			1.4	1.8	1.2	2.0	0.3	1.8
−0.6	1.7			−0.3	1.7	−0.2	1.4		

真鍮6.35mm①回目		真鍮6.35mm②回目		真鍮6.35mm③回目		真鍮6.35mm④回目		真鍮6.35mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
21.0		20.3				20.7		21.1	
19.1	1.9	18.3	2.0	20.5		18.8	1.9	19.1	2.0
17.0	2.1	16.4	1.9	18.5	2.0	16.8	2.0	17.3	1.8
15.1	1.9	14.4	2.0	16.5	2.0	14.7	2.1	15.1	2.2
13.3	1.8	12.5	1.9	14.5	2.0	12.7	2.0	13.0	2.1
11.3	2.0	10.6	1.9	12.7	1.8	10.6	2.1	11.1	1.9
9.4	1.9	8.6	2.0	10.9	1.8	8.7	1.9	9.2	1.9
7.3	2.1	6.5	2.1	9.2	1.7	6.6	2.1	7.2	2.0
5.5	1.8	4.6	1.9	7.4	1.8	4.7	1.9	5.3	1.9
3.6	1.9	2.6	2.0	5.4	2.0	2.7	2.0	3.3	2.0
1.6	2.0	0.7	1.9	3.6	1.8	0.7	2.0	1.2	2.1
				1.6	2.0				

鉛2mm①回目		鉛2mm②回目		鉛2mm③回目		鉛2mm④回目		鉛2mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
21.3		21.8		21.2		21.8		21.8	
19.9	1.4	20.4	1.4	19.8	1.4	20.4	1.4	20.4	1.4
18.7	1.2	19.1	1.3	18.4	1.4	19.1	1.3	19.1	1.3
17.4	1.3	17.8	1.3	17.1	1.3	17.8	1.3	17.7	1.4
−		16.4	1.4	15.7	1.4	16.5	1.3	16.4	1.3
14.6		15.1	1.3	14.4	1.3	15.1	1.4	15.0	1.4
−		−		13.1	1.3	13.7	1.4	13.7	1.3
11.9		12.4		11.8	1.3	12.3	1.4	12.3	1.4
10.6	1.3	11.0	1.4	−		11.0	1.3	10.9	1.4
9.2	1.4	9.7	1.3	9.1		9.7	1.3	9.6	1.3
7.9	1.3	8.4	1.3	7.8	1.3	8.3	1.4	8.2	1.4
6.5	1.4	7.1	1.3	6.4	1.4	6.9	1.4	6.9	1.3
5.2	1.3	5.8	1.3	5.1	1.3	5.6	1.3	5.5	1.4
3.8	1.4	4.5	1.3	3.8	1.3	4.2	1.4	4.2	1.3
2.5	1.3	3.2	1.3	2.6	1.2	2.9	1.3	2.9	1.3
1.1	1.4	1.8	1.4	1.2	1.4	1.6	1.3	−	
−0.2	1.3	−		−0.1	1.3	0.2	1.4	0.2	

アルミ6mm①回目		アルミ6mm②回目		アルミ6mm③回目		アルミ6mm④回目		アルミ6mm⑤回目	
位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差	位置(cm)	差
21.2		20.9		21.2		21.1		20.8	
20.3	0.9	20.0	0.9	20.3	0.9	20.2	0.9	20.1	0.7
19.3	1.0	19.0	1.0	19.4	0.9	19.2	1.0	19.1	1.0
18.4	0.9	18.0	1.0	18.4	1.0	18.2	1.0	18.1	1.0
17.5	0.9	17.1	0.9	17.4	1.0	17.2	1.0	17.2	0.9
16.6	0.9	16.1	1.0	16.5	0.9	16.3	0.9	16.2	1.0
15.6	1.0	15.2	0.9	15.6	0.9	15.3	1.0	15.2	1.0
14.6	1.0	14.2	1.0	14.6	1.0	14.3	1.0	14.2	1.0
13.8	0.8	13.2	1.0	13.7	0.9	13.4	0.9	13.3	0.9
12.9	0.9	12.2	1.0	12.7	1.0	12.4	1.0	12.3	1.0
12.0	0.9	11.3	0.9	11.8	0.9	11.5	0.9	11.4	0.9
11.0	1.0	10.4	0.9	10.9	0.9	10.6	0.9	10.4	1.0
10.1	0.9	9.4	1.0	10.0	0.9	9.6	1.0	9.4	1.0
9.2	0.9	8.4	1.0	9.0	1.0	8.6	1.0	8.5	0.9
8.2	1.0	7.4	1.0	8.1	0.9	7.8	0.8	7.5	1.0
7.3	0.9	6.4	1.0	7.1	1.0	6.8	1.0	6.5	1.0
6.4	0.9	5.4	1.0	6.2	0.9	5.8	1.0	5.5	1.0
5.4	1.0	4.5	0.9	5.2	1.0	4.9	0.9	4.5	1.0
4.5	0.9	3.5	1.0	4.2	1.0	3.9	1.0	3.6	0.9
3.6	0.9	2.6	0.9	3.3	0.9	3.0	0.9	2.6	1.0
2.6	1.0	1.6	1.0	2.4	0.9	2.1	0.9	1.6	1.0
1.7	0.9	0.7	0.9	1.4	1.0	1.2	0.9	0.7	0.9
0.9	0.8	−0.3	1.0	0.6	0.8	0.2	1.0	−0.2	0.9

は終端速度に達してからの数秒

表中より、差が一定になっている箇所に着目し、その時点での速度を

$$\frac{1}{2}\cdot p\cdot v^{2}\cdot S\ (CD)+pVg=mg$$

によって算出した値と比較してみる。
すると、値が近いことがわかる。
これらを順に行っていくと、各終端速度を求めることができる。

結果	計算	測定	平均
ステンレス　2mm	0.64m/s	0.66m/s	0.65m/s
ステンレス　4.76mm	0.99m/s	1.02m/s	1.005m/s
ステンレス　6.35mm	1.14m/s	1.15m/s	1.145m/s
真鍮　2mm	0.67m/s	0.69m/s	0.68m/s
真鍮　4.76mm	1.03m/s	1.07m/s	1.05m/s
真鍮　6.35mm	1.19m/s	1.17m/s	1.18m/s
鉛　2mm	0.78m/s	0.76m/s	0.77m/s
アルミニウム　6mm	0.54m/s	0.55m/s	0.545m/s

(4)考察

今回、計算結果と測定結果に差が生じてしまったのは、

・球がまっすぐ落下しなかったこと
・管が短かったこと
・カメラの機能（60 連写）が不足していたこと
・同じ球のなかにも体積・質量に誤差があったこと

などが考えられる。
しかし、近い数値が導きだせたことから、物体の終端速度はこの方法で測定できるのではないだろうか。
また、同じ密度で体積・質量の異なる複数の球の終端速度の比較から、球体における終端速度は、断面積の違いによる抗力の違いより、質量の違いのほうが影響が大きいのではないかと考えられる。

結果	計算	測定	平均
ステンレス　2mm	0.64m/s	0.66m/s	0.65m/s
ステンレス　4.76mm	0.99m/s	1.02m/s	1.005m/s
ステンレス　6.35mm	1.14m/s	1.15m/s	1.145m/s
真鍮　2mm	0.67m/s	0.69m/s	0.68m/s
真鍮　4.76mm	1.03m/s	1.07m/s	1.05m/s
真鍮　6.35mm	1.19m/s	1.17m/s	1.18m/s
鉛　2mm	0.78m/s	0.76m/s	0.77m/s
アルミニウム　6mm	0.54m/s	0.55m/s	0.545m/s

また、終端速度は質量が大きくなるほど大きくなることが、ステンレス・鉛・真鍮の比較からわかった。

(5)結論

水中を落下する物体の終端速度は、以下の表のとおりであり、

結果	終端速度
ステンレス　2mm	0.65m/s
ステンレス　4.76mm	1.005m/s
ステンレス　6.35mm	1.145m/s
真鍮　　2mm	0.68m/s
真鍮　　4.76mm	1.05m/s
真鍮　　6.35mm	1.18m/s
鉛　　2mm	0.77m/s
アルミニウム　6mm	0.545m/s

その値は、今回、測定に使用した物体では断面積による抗力、
また物体が沈むことによって生じる浮力よりも、
物体の質量による影響のほうが大きい。

(6)参考文献

CAE 用語集　　https://www.cradle.co.jp/glossary/

やさしい流体力学　http://www.shinminatoseitaiinn.com/myhp/ryutai/ryutai.htm

YAHOO!知恵袋　　https://chiebukuro.yahoo.co.jp/

[物理 308]改訂　物理　東京書籍

(7)謝辞

夜遅くまで学校の実験室を開けて下さった、先生方、
本当にありがとうございました。

要約

今回の実験の目標は「水中を落下する物体の終端速度の測定」だった。
この実験では落下させる物体として、ステンレス、真鍮、鉛、アルミニウムの
4 種類の球を様々な直径で用意し、落下させた。
また水中を落下する物体の終端速度を求める等式も利用し理論上の値も計算した。
しかし、この 2 つの方法には両方に測定によって誤差の出てしまう値が含まれていた。
そこでこの 2 つの方法を使って出てきた 2 つの値の平均を求めることにした。
その結果、ステンレスは直径 2 ㎜、4.76 ㎜、6.35 ㎜の順に 0.65 ㎧、1.005 ㎧、1.145 ㎧。
真鍮は直径 2 ㎜、4.76 ㎜、6.35 ㎜の順に 0.68 ㎧、1.05 ㎧、1.18 ㎧。
鉛は直径 2 ㎜で 0.77 ㎧、アルミニウムは直径 6 ㎜で 0.545 ㎧であった。
また、同じ密度で体積・質量の異なる複数の球の終端速度の比較から、球体における終端速度は、断面積の違いによる抗力の違いより、質量の違いのほうが強く影響しており、
また、終端速度は質量が大きくなるほど大きくなることが、ステンレス・鉛・真鍮の比較からわかった。