

熱力四射--熱力旋轉杯的探討

摘要

空氣受熱後會往上流動，使得紙蛇或紙杯產生轉動，所以我們想來研究看看，什麼因素會影響紙杯旋轉的快慢？實驗後我們發現，當杯側的開口朝左時，紙杯是逆時針方向旋轉；當開口朝右時，紙杯是順時針方向旋轉。以我們所使用的免洗紙杯（高 7 公分，容量 200 毫升）來說，開洞的數量愈多（8 個洞）、開洞的形狀愈長（寬×長 1 cm×5cm）、開洞的角度 30°、而且洞口位在杯側中間時，紙杯旋轉的圈數最多。未來我們還可朝杯子的大小、線的粗細、線的長短等方向來研究。

壹、研究動機

上自然課時，老師教到第三單元「熱對物質的影響」，告訴我們熱的傳播方式有三種：傳導、對流和輻射。為了證明熱空氣會往上流動，老師教我們剪一條紙蛇放在燃燒的蠟燭上，可以觀察紙蛇轉動。老師還播放影片「生活裡的科學—熱升冷降大搜查」給我們看，裡面除了介紹冷熱空氣的對流原理外，還有利用酒精燈燃燒產生熱空氣來讓紙杯旋轉的比賽。看完影片後，我們對利用熱空氣來讓紙杯旋轉的比賽非常有興趣，也想來研究看看，什麼因素會影響紙杯旋轉的快慢？於是我們便開始進行研究和實驗。

貳、研究目的

- 一、探討紙杯上洞口的方向對紙杯旋轉方向的影響。
- 二、探討紙杯上開洞的數量對紙杯旋轉圈數的影響。
- 三、探討紙杯上開洞的形狀大小對紙杯旋轉圈數的影響。
- 四、探討紙杯上開洞的位置對紙杯旋轉圈數的影響。
- 五、探討紙杯上開洞的角度大小對紙杯旋轉圈數的影響。

參、研究設備及器材

免洗紙杯（高 7 公分，容量 200 毫升）、針、縫衣線、牙籤、鐵架、酒精燈、美工刀、剪刀。

肆、研究過程或方法

一、探討紙杯上洞口的方向對紙杯旋轉方向的影響

拿 1 個免洗紙杯，在杯側距杯底 1 公分處用美工刀切開 1 個長 2 公分、寬 1 公分、開口 30°朝左的長方型孔洞，接著，在其對稱處切開另 1 個相同大小的孔洞；再拿另一個紙杯，依前述方法，同樣在對稱處切開兩個相同大小的孔洞，但開口皆朝右（如圖 1）。用針和縫衣線穿過杯底中心，一端綁上 1 公分長的牙籤，另一端固定在鐵架上，線長調整為 20 公分，將酒精燈點燃後移置紙杯下方（如圖 2），觀察紙杯的旋轉方向，將結果記錄下來。



圖 1. 開口朝左及開口朝右



圖 2. 將酒精燈點燃後移置紙杯下方

二、探討紙杯上開洞的數量對紙杯旋轉圈數的影響

依照研究過程一的製作方式，分別製作 1 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm 各 1 個）、2 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm 各 1 個）、4 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm 各 1 個）、6 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm 各 1 個）及 8 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm 各 1 個）的紙杯共 15 個，每個洞的開口皆為 30°朝左（如圖 3、4），記錄每個紙杯 1 分鐘的旋轉圈數，每個紙杯皆實驗 3 次，再求其平均數。



圖 3. 開 2 個洞、4 個洞



圖 4. 開 6 個洞、8 個洞

三、探討紙杯上開洞的形狀大小對紙杯旋轉圈數的影響

依照研究過程一的製作方式，分別製作 1 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm、1×4cm、1×5cm、2×1cm、2×2cm 各 1 個）、2 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm、1×4cm、1×5cm、2×1cm、2×2cm 各 1 個）、4 個洞（寬×長 1×1cm、1×2cm、1×3cm、1×4cm、1×5cm、2×1cm、2×2cm 各 1 個）的紙杯共 21 個（如圖 5、6），每個洞的開口皆為 30°朝左，記錄每個紙杯 1 分鐘的旋轉圈數，每個紙杯皆實驗 3 次，再求其平均數。



圖 5. 開口大小分別為 1x1、1x2、1x3



圖 6. 開口大小分別為 1x4、2x1、2x2

四、探討紙杯上開洞的位置對紙杯旋轉圈數的影響

依照研究過程一的製作方式，製作 4 個洞（寬×長 1x1cm、1x2cm、1x3cm 各 1 個），但開口位置分別在上、中、下的紙杯共 9 個（如圖 7、8），每個洞的開口皆為 30°朝左，記錄每個紙杯 1 分鐘的旋轉圈數，每個紙杯皆實驗 3 次，再求其平均數。



圖 7. 開口位置在上、中、下（1x1cm）



圖 8. 開口位置在上、中、下（1x2cm）

五、探討紙杯上開洞的角度大小對紙杯旋轉圈數的影響

取 1 個洞（寬×長 1x1cm、1x2cm、1x3cm、1x4cm 各 1 個）、2 個洞（寬×長 1x1cm、1x2cm、1x3cm、1x4cm 各 1 個）、4 個洞（寬×長 1x1cm、1x2cm、1x3cm、1x4cm 各 1 個）的紙杯共 12 個，分別實驗開口 60°及 90°（如圖 9、10），記錄每個紙杯 1 分鐘的旋轉圈數，每個紙杯皆實驗 3 次，再求其平均數。再與前述開口 30°之資料作一比較。



圖 9. 用三角板量出開口角度



圖 10. 開口角度分別為 30°、60°、90°

伍、研究結果

一、探討紙杯上洞口的方向對紙杯旋轉方向的影響

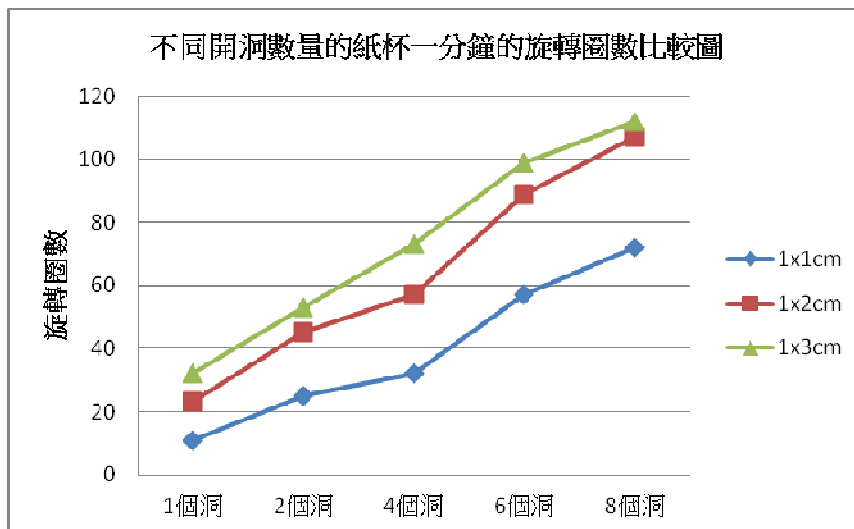
紙杯會旋轉的原因，是因為當熱空氣向上流動，流經出口時，產生空氣的反作用力推動葉片，而使紙杯轉動。所以當開口朝左時，紙杯是逆時針方向旋轉；當開口朝右時，紙杯是順時針方向旋轉。

二、探討紙杯上開洞的數量對紙杯旋轉圈數的影響

經過觀察和記錄，結果如表 1：

表 1. 開洞的數量對紙杯旋轉圈數結果紀錄表

	1x1cm				1x2cm				1x3cm			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
1個洞	12	9	12	11	22	20	27	23	30	32	35	32
2個洞	30	21	24	25	51	40	44	45	51	50	57	53
4個洞	29	36	32	32	54	61	55	57	72	75	73	73
6個洞	55	58	59	57	83	92	93	89	98	99	101	99
8個洞	75	69	73	72	112	104	105	107	119	106	111	112



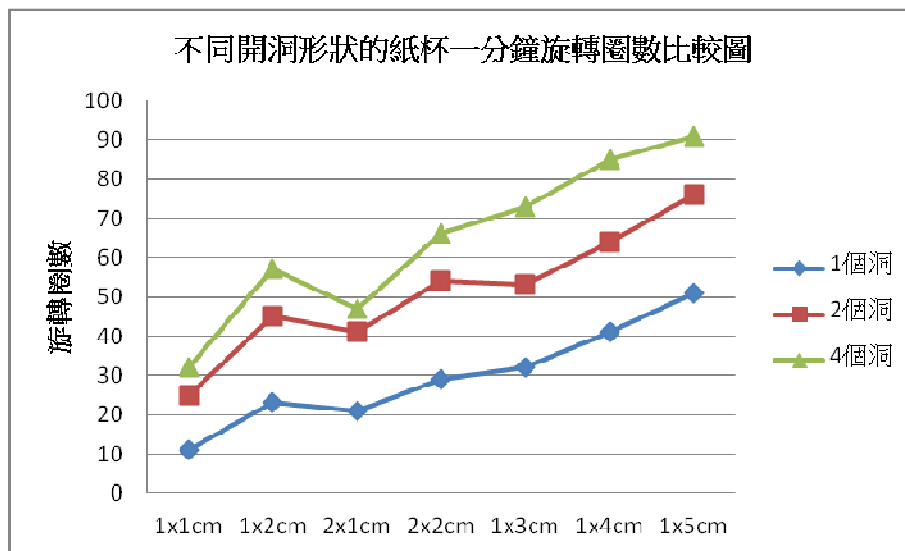
我的發現：

1. 洞的數量越多，紙杯旋轉的圈數越多。
2. 8 個洞（洞口 1x2cm、1x3cm）的旋轉速度很快，但約 40 秒後會變慢，可能是線被扭轉的關係，否則若照原來的旋轉速度一直下去，可以轉更多圈。

三、探討紙杯上開洞的形狀大小對紙杯旋轉圈數的影響
經過觀察和記錄，結果如表 2：

表 2. 開洞的形狀大小對紙杯旋轉圈數結果紀錄表

	1 個洞				2 個洞				4 個洞			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
1x1cm	12	9	12	11	30	21	24	25	29	36	32	32
1x2cm	22	20	27	23	51	40	44	45	54	61	55	57
2x1cm	24	19	20	21	43	39	42	41	52	46	42	47
2x2cm	31	26	31	29	52	57	53	54	68	69	62	66
1x3cm	30	32	35	32	51	50	57	53	72	75	73	73
1x4cm	41	38	43	41	60	65	68	64	88	83	85	85
1x5cm	54	50	49	51	78	73	76	76	90	95	88	91



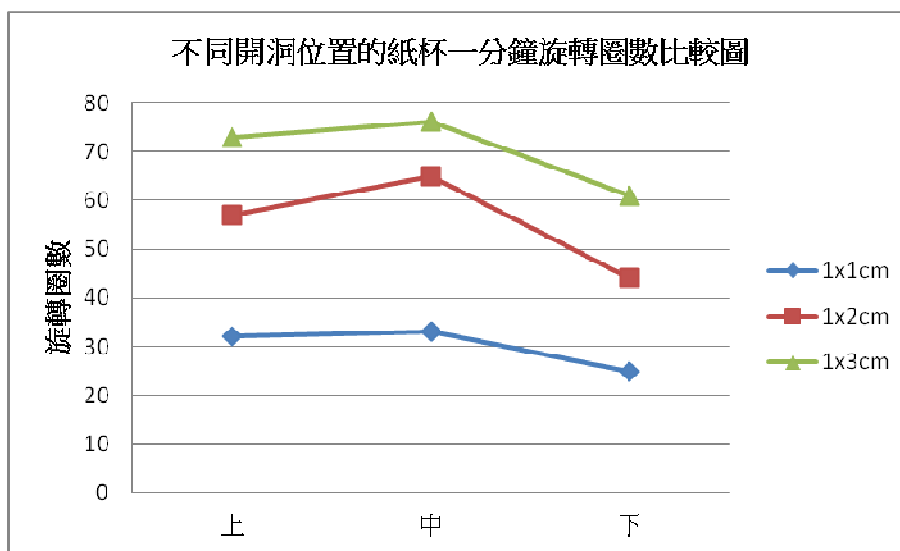
我的發現：

1. 由 1x2 cm 和 2x1 cm 的比較可以發現，直長形的洞口比橫長形的洞口旋轉圈數較多。
2. 由 2x2cm、1x3 cm 和 1x4 cm 的比較可以發現，直長形的洞口比正方形的洞口旋轉圈數較多。
3. 直長形的洞口（1x2 cm、1x3 cm、1x4 cm、1x5 cm）中，以 1x5 cm 的旋轉圈數最多。

四、探討紙杯上開洞的位置對紙杯旋轉圈數的影響
經過觀察和記錄，結果如表 3：

表 3. 開洞的位置對紙杯旋轉圈數結果紀錄表

	1x1cm				1x2cm				1x3cm			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
上	29	36	32	32	54	61	55	57	72	75	73	73
中	36	33	30	33	67	66	58	65	72	80	77	76
下	28	23	24	25	42	48	43	44	61	60	63	61



我的發現：洞口在杯側中間的旋轉圈數最多，洞口在杯側下方的旋轉圈數最少。

五、探討紙杯上開洞的角度大小對紙杯旋轉圈數的影響
經過觀察和記錄，結果如表 4：

表 4. 開洞的角度大小對紙杯旋轉圈數結果紀錄表

1 個洞

	30°				60°				90°			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
1x1cm	12	9	12	11	9	12	11	11	轉得很慢，而且			
1x2cm	22	20	27	23	21	26	25	24	有時逆時針轉，			
1x3cm	30	32	35	32	35	32	31	33	有時順時針轉，			
1x4cm	41	38	43	41	42	38	40	40	方向不定。			

2 個洞

	30°				60°				90°			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
1x1cm	30	21	24	25	29	26	23	26	轉得很慢，而且			
1x2cm	51	40	44	45	38	37	45	40	有時逆時針轉，			
1x3cm	51	50	57	53	56	53	52	54	有時順時針轉，			
1x4cm	60	65	68	64	58	58	63	60	方向不定。			

4 個洞

	30°				60°				90°			
	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均	第一次	第二次	第三次	平均
1x1cm	29	36	32	32	35	33	32	33	轉得很慢，而且			
1x2cm	54	61	55	57	51	56	52	53	有時逆時針轉，			
1x3cm	72	75	73	73	65	71	67	68	有時順時針轉，			
1x4cm	88	83	85	85	72	75	80	76	方向不定。			

我的發現：

1. 大部分開口 30° 和開口 60° 的旋轉圈差不多，若仔細比較起來，還是以開口 30° 比開口 60° 的旋轉圈數多一些。
2. 開口 90° 轉得很慢，而且有時逆時針轉，有時順時針轉，方向不定。

陸、討論

- 一、 這次的實驗，我們沒有使用蠟燭來當熱源。因為蠟燭燃燒後會愈來愈短，使得熱源和紙杯間的距離較難固定，而且每一支蠟燭的燭火大小也未必相同，這些因素都會影響實驗結果。因此我們決定使用同一個酒精燈，可以隨時調整燈芯及添加酒精，盡量維持相同的熱源大小。
- 二、 實驗時，紙杯旋轉也會造成線的扭轉。所以每當我們算完紙杯一分鐘旋轉的圈數後，把酒精燈移開，紙杯和線會往反方向旋轉回去，等紙杯不再旋轉時才能進行下一次的實驗。
- 三、 當紙杯旋轉太多圈後，線被扭轉得太嚴重，會產生抗力矩，於是紙杯旋轉的速度會慢下來，所以線不宜太短。這次的研究，我們將從鐵架至紙杯的線長固定為 20 公分，當圈數旋轉超過約 80~90 圈後，仍會造成紙杯旋轉速度慢下來的情況，可作為未來改進的參考。
- 四、 因為紙杯的轉動是由於熱空氣推動出口處的葉片，所以當開口超過 90 度，則熱空氣就直接從缺口出去，碰不到葉片就無法推動紙杯了。因此在表 4 中，當開口 90 度時，紙杯轉得很慢，而且有時先往逆時針方向轉，然後又往順時針方向轉，方向不定。

五、 綜合實驗結果，我們將旋轉圈數最佳的因素組合在一起，製作出位在杯側中間（距杯底和杯口各 1 公分）互相對稱的 8 個洞、洞口 1x5 cm、開口 30 度的紙杯，經過測試後，一分鐘的旋轉圈數可達 120 圈。

柒、結論

- 一、 由於紙杯旋轉的動力來自於熱空氣流動的反作用力，所以當杯側的開口朝左時，紙杯是逆時針旋轉；當杯側的開口朝右時，紙杯是順時針旋轉。
- 二、 杯側的洞口數越多，紙杯的旋轉圈數越多。以本研究所使用的紙杯來說，開 8 個洞的旋轉圈數最多
- 三、 洞口的形狀以直長形且位於杯側中間最好。以本研究所使用的紙杯（高 7 公分）來說，洞口 1x5 cm，剛好距杯底和杯口各 1 公分的旋轉圈數最多。
- 四、 開口 30 度的旋轉圈較多，而當開口超過 90 度時，熱空氣就直接從缺口出去，碰不到葉片就無法推動紙杯，所以轉得很慢，而且有時逆時針轉，有時順時針轉，方向不定。
- 五、 將上述的最佳旋轉條件（8 個洞、直長形洞口 1x5 cm、洞口位於杯側中間、開口 30 度）組合起來，所製作出的熱力旋轉杯，一分鐘的旋轉圈數可達 120 圈。
- 六、 影響紙杯旋轉的因素還很多，如杯子的大小、線的粗細、線的長短等，這些因子可作為我們下次研究的方向。

捌、參考資料及其他

- 一、國民小學自然與生活科技第五冊。臺南市：翰林出版事業股份有限公司。
- 二、蕭次融、施建輝、羅芳晁、謝迺岳、吳原旭、房漢彬（民 91）。動手玩科學 2。臺北市：遠哲科學教育基金會。
- 三、「生活裡的科學—熱升冷降大搜查」。

<https://www.youtube.com/watch?v=jdkXYFXYcKQ>