中華民國第42屆中小學科學展覽會

::: 作品說明書 :::

國小-應用科學科

科　　別：生 活 與 應 用 科 學

組　　別：國 小 組

作品名稱： 漫步在雲端 --- 我的夢想製造機

關 鍵 詞：棉花糖、熔 解、離心力

編　　號：080812

學校名稱：

桃園縣蘆竹鄉新興國民小學

作者姓名：

陳中寬、陳淵文、簡如君、游佩琳

指導老師：

姚甸京、陳淑錡

漫步在雲端 --- 我的夢想製造機

壹、研究動機：

這學期中我們學校辦了一場盛大的校慶園遊會，在園遊會的眾多攤子中，最吸引小朋友的就是那像雲一般白泡泡、幼綿綿的棉花糖了。賣棉花糖的攤子旁總是圍著許多好奇的小朋友，睜大眼睛看著那賣棉花糖的阿伯「變魔術」。只見阿伯一手將一些糖放入棉花糖機的小洞中，另一手拿著魔術棒(竹籤)轉呀轉，一下子一支又膨又鬆的棉花糖，就變出來了。讓大家都忍不住拿出點券向他購買，看著阿伯一支接著一支的賣出去，真是好好賺喔！

我們幾個人也湊了過去，想看個究竟，看看這一粒粒的糖，是如何變成一絲絲的糖絲呢?這台不停旋轉的機器到底藏有什麼秘密和機關呢?我們邊看、邊吃、邊討論著，還記得在五年級的時候，我們就教過「熱對物質的影響」那時老師就是讓我們煮糖並且觀察砂糖受熱以後的變化情形，另外上到「電磁鐵與電動機」的單元時，我們就討論過電動機在日常生活中應用的例子，像是脫水機、棉花糖機的動力來源都是靠內部安裝的馬達在運轉。

既然這些事情都是我們學過的，何不「學以致用」自己動手做棉花糖，自己當老闆？親身體驗那種完成棉花糖時漫步在雲端的感覺呢？為了瞭解棉花糖形成的經過，我們便想到要自己製作一部簡易的「棉花糖機」---一部屬我們的夢想製造機，更進一步的我們還要改變棉花糖的口味，創造屬於我們自己的「獨家」棉花糖。

貳、研究目的：

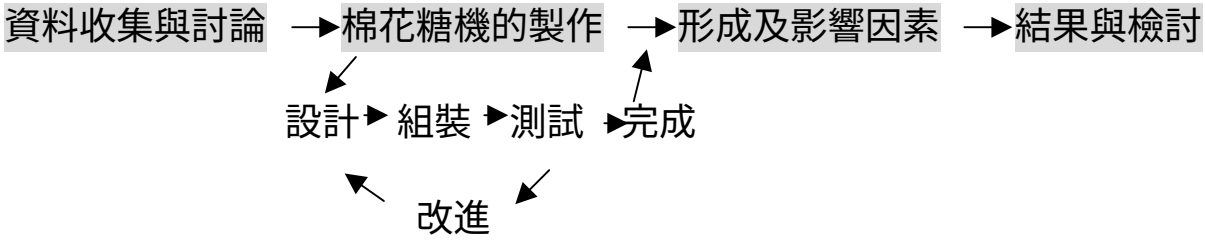
一、探討「棉花糖」的成因。

二、探討影響「棉花糖」形成的各種因素。

三、運用日常生活中可得的材料，製作一部「棉花糖機」。

四、學習如何改變「棉花糖」的口味，使科學生活化。

參、研究流程：



肆、研究器材：

一、材料：特級一號砂糖、特級二號砂糖、精緻細砂糖、紅糖、冰糖、牛奶糖、水果軟糖、巧克力、食鹽、醋、柳橙汁(100%純果汁)、葡萄汁(100%純果汁)。

二、器材：竹筷、天平、馬錶、溫度計、酒精燈、燒杯、馬達、電池組、玻璃試管、彈簧秤、工業用酒精、鋁罐、彈簧、水桶、塑膠繩…等等。

伍、研究過程：

一、拜訪製造夢想的阿伯

我們老師最常說的一句話就是「站在巨人的肩膀上，可以讓我們看得更遠」，所以我們邁向夢想的行動的第一步，就是「站在阿伯的旁邊，可以讓我們看到夢想」。只看著阿伯將一點點的白砂糖倒入製棉花糖機裡，然後再拿一支竹籤在棉花糖出口等待，不一會兒功夫，只見那棉花糖出口徐徐吐出白白的糖絲，然後阿伯開始有技巧的轉動手上的那支竹籤，只見吐出來的棉絲依附在竹籤上，越捲越大球，當吐完棉絲時，一支又膨又鬆的棉花糖就從阿伯的手上誕生了，接著再將製好的棉花糖套到長型的塑膠袋上，末端再用小橡皮筋綁起來，就可以掛起來賣了。

有時，阿伯會加入其他顏色的糖，就可以製作出各種顏色的棉花糖，當然也有一支棉花糖上有多種顏色的彩色棉花糖，也就是分批倒入各種顏色的糖即可製作出一枝彩色的棉花糖。

在享用這入口即化的棉花糖之餘，也不忘記請教阿伯一些商業機密，想問問看這神奇的棉花糖究竟是如何製作出來的，阿伯(用台語)說：「這真簡單啊，你就把糖放入去機器中央的洞內底，啊這下腳有瓦斯在燒嘛，糖就會融去，啊中央這粒有馬達在給伊轉，直直轉、直直轉啊，糖絲就會從旁邊的細孔噴出來嘛，你閣用長籤仔把伊接起來就好啊」

阿伯講的很容易，我卻聽得有點吃力，滿臉疑惑的看著阿伯，阿伯似乎也看出我不太能理解他的話，便說：「阿伯，無讀冊啦!干那會曉做，阮無曉講、無曉解釋啦!無汝去問您老師啦!」雖然腦袋裡裝了一些似懂非懂的解答，至少，從阿伯的口中我們得到了一些訊息，那就是：

1．阿伯所用的糖是一般日常用的白砂糖，那些有顏色的糖是由白砂糖加上一些色素做成的。
2．一粒粒的白砂糖要變成棉花般的糖絲糖需要靠底下的瓦斯加熱。
3．要靠馬達轉動一個有很多小洞的鐵盒子，受熱熔化後的糖漿才會從洞裡面「噴」出來，形成糖絲。

二、 糖會變「態」喔!

棉花糖的主要原料是砂糖，我們就把砂糖拿來加熱，觀察並且紀錄砂糖加熱後的變化狀況：

[實驗一] 觀察糖的熔化

操縱變因:加熱的時間

控制變因:容器、加熱溫度、加熱火力。

應變變因:精緻細砂糖的變化

器　　材：卡式爐、石綿心網、溫度計、馬錶、精緻細砂糖 50 公克。

方法:

1.取精緻細砂糖 50 公克裝入加熱容器中加熱。

2.用烹飪專用溫度計(最高可到 200 度)測量砂糖溫度變化的情形。

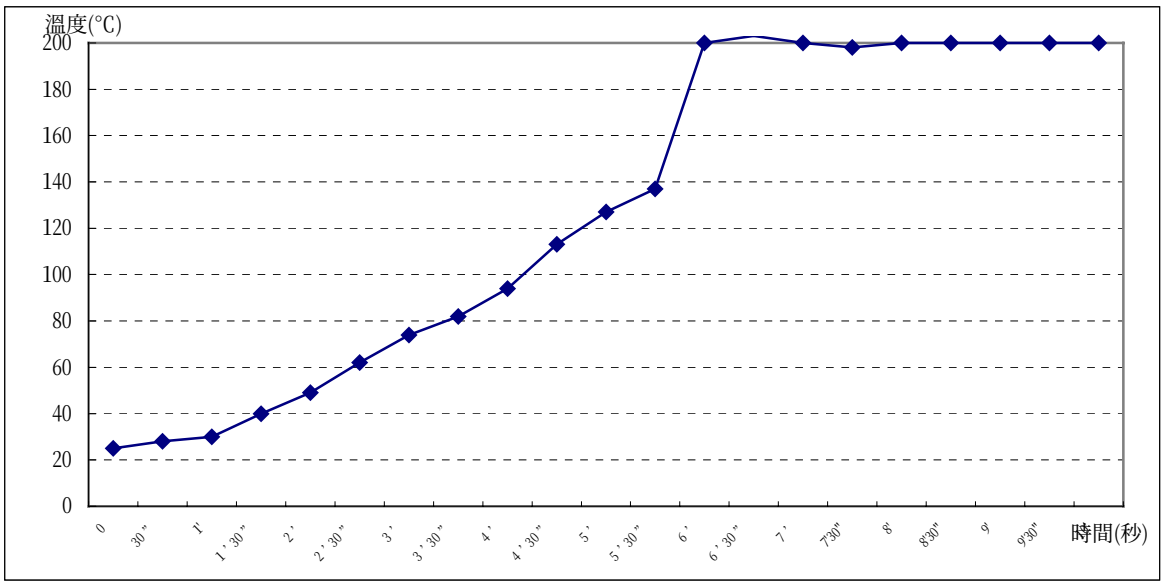
3.加熱到材料完全熔化成為液態、沸騰後將火熄滅。

4.觀察並紀錄砂糖加熱後的變化情形。

實驗結果：結果發現如下列表一所示：

表 一　砂糖加熱熔化的觀察紀錄

時間(分)	0	30”	1'	1’30”	2’	2’30”	3’	3’30”	4’	4’30”	5’	5’30”	6’	6’30”	7’	7'30"	8'	8'30"	9'	9'30"	10'
溫度(℃)	25	28	30	40	49	62	74	82	94	113	127	137	200	203	200	198	200	200	200	200	200
觀察記錄	重50克，白色結晶狀	白色結晶狀	底部略有融化	需要攪拌避免燒焦	淡黃色半透明液態出現	開始冒小泡泡有白煙	底部已熔成糖漿	大部分熔成糖漿、表面仍有砂糖顆粒	已經全部熔成糖漿、攪拌時仍可見細小顆粒	已經全部熔成糖漿呈現琥珀色	顏色轉為褐色	開始滾燙冒出許多泡泡	在數秒內溫度急速上升	冒出許多煙	冒煙、味道嗆鼻	顏色成黑褐色	顏色成黑褐色、濃稠的糖漿	不斷的滾燙、冒大泡泡	黑褐色的糖漿、有嗆鼻的焦味	快燒乾了、不斷冒出濃煙	實驗停止、重44克



圖一　**砂糖加熱熔化的溫度紀錄**

討論：

1. 由上表我們可以知道，原本是固態、結晶狀的砂糖在溫度上升到 40°C時，便有熔化的現象產生，等到加熱到 100°C-120°C時，碗裡的砂糖會全化成液態的糖漿，而到了 150°C左右時，糖將開始沸騰而出現燒焦味，而此時溫度便在幾秒鐘之內急速上升至 200°C左右(溫度計的最大值，實際的溫度可能比 200°C還高)，糖漿也逐漸燒乾。
2. 因為糖是一種碳水化合物，也就是由碳、氫、氧三種元素所組成。糖加熱之後熔化變成糖漿，再繼續加熱，氫和氧會結合變成水蒸氣跑掉，剩下來的是黑色的碳。所以白砂糖經過加熱後，會起種種的化學反應呈現褐色便成焦糖，最後成為碳化的硬塊。
3. 呈現液態的糖漿在離開火源、停止加熱之後，便開始凝固。我們用筷子沾糖漿，發現可以拉出細細長長的糖絲，原本熱熱軟軟的糖絲約過 2-3 秒後就轉為冷、硬的固態糖絲了。如果和棉花糖的糖絲相比較，我們所拉出的糖絲比較硬而且也比較粗。

三、無形的助手 ---「離心力」

在「觀察糖的熔化」的實驗中，我們觀察到原本是顆粒結晶狀的砂糖如果要變成糖絲的話，需要經過加熱才會熔化，然後再藉著外力加以「拉長」才能使砂糖成為糖絲。但是，棉花糖的製作並不是用手拉出來的，況且單單用手也拉不出這麼多而且蓬鬆的糖絲。

在訪問賣棉花糖的阿伯的時候，我們觀察到棉花糖機是靠著馬達帶動一個有洞的鐵盒子，糖漿才會從洞裡面「噴」出來然後形成糖絲。這製作棉花糖的過程，讓我們聯想到「脫水機」，這個和脫水機運用離心力將衣服中的水分脫出的運作情形有些相似，因此，我們便做了以下的實驗想要來探討什麼是「離心力」。

[實驗二]

材料：小馬達、小片紙板、細繩、3 號電池。

方法：在馬達轉軸上用細繩綁上一塊小紙板（如圖二所示），之後啟動馬達。

圖二　實驗二所用之器材

結果與討論：

1. 馬達靜止時，小紙板與地面呈現近垂直的角度，當馬達轉動時，小紙板開始飄起，馬達的轉速越快，小紙板飄得越高，而最大的角度也幾乎與地面呈平行。
2. 在此實驗中，我們看到小紙片因離心力而飄起但是無法觀察到紙片被「拉」出去，或是繩子被拉長的情形。

圖三　啟動馬達後，小紙片因離心力而飄起。

[實驗三]

材料：水桶、塑膠繩、彈簧兩條。

方法：將小水桶的提把先套上兩條彈簧，並將細繩繫在彈簧上(圖四)。實驗時先在小水桶中盛一些水，再把細繩牢抓在手中，然後使盛水的小水桶快速的旋轉。

圖四　實驗三所用之器材

結果：1.在快速旋轉之下，小水桶中的水並不會被甩出來，同時會感覺到一股向外的拉力。

2.我們可以明顯的觀察到彈簧被離心力拉長的情形(圖五)。

圖五　當旋轉水桶時，彈簧會因為離心力的作用而有拉長的現象。

[實驗四]

材料：空鐵罐、筷子、橡皮筋。

方法：1.在空鐵罐的側面底部釘出一排的小孔。

2.在罐口穿過一支竹筷，並在筷子的兩端套上橡皮筋(圖六)。

3.實驗時，在罐子裡裝一些水，提起罐子，向同方向旋轉幾十次使橡皮筋扭緊，再放開手使罐子快速旋轉。

圖六　實驗四所使用的器材

結果：1.當罐子靜止時，罐子中的水只會慢慢的向下滲出來。

2.當罐子在旋轉時，罐裡的水會被甩出來，罐子旋轉的速度越快，所甩出的「水線」與地面也更為平行（圖七）。

圖七 罐子在旋轉時，罐子所甩出的「水線」與地面較平行。

實驗小結：

1．由以上的三個實驗，我們可以知道，物體在旋轉或做圓周運動時，會產生一股向外甩出的力量。

2．從圖書館及網路上所搜尋到對於離心力的進一步說明：「當物體做圓周運動時，因其運動方向隨時改變，故物體本身具有之慣性將會產生一***慣性力***。而其慣性力之方向為遠離圓心，此一力量即是稱為**離心力**」。

3.由實驗四我們可以推論得知，糖漿在高速轉的棉花糖機中，會因為離心力的作用，會從容器旁邊的小洞噴出來，遇到空氣後溫度降低而凝固，形成糖絲。

四、我的夢想製造機 --- 棉花糖機的製成

從訪問賣棉花糖的阿伯到煮糖漿以及對於離心力的探討後我們可以知道，棉花糖之所以能由結晶的糖粒變成細絲狀，首先要把糖加熱溶解成濃稠的糖漿，加熱過後的糖漿，需要靠外力去「拉」他，才會成為細絲狀，從觀察中發現，棉花糖機的中間有一個高速旋轉的鐵罐子，加入砂糖後，製造棉花糖的機器，會以高速旋轉產生離心力，此時，糖漿受到離心力，就會像脫水機脫水的原理一樣往外噴射出去，而且經過細孔或網子時，會變成細細的“ 糖漿注 ”，並且接觸到空氣後急速冷卻，就成了細絲狀的固體，此時，只要拿一根竹棒把這些絲 “ 黏集 ”起來，就成了蓬鬆的棉花糖了。

因此，想要做出棉花糖，必先要有一部棉花糖機，經過了數次的討論、設計、組裝、測試、改進...，逐步完成我們的棉花糖機器，我們分為以下三區介紹：

(一) 中心區：

組裝過程與想法：

原先是利用鐵質的小瓶蓋以及罐頭盒在其底部四周用鐵釘打上小洞，作為中心裝糖漿、射出糖絲的容器，並利用四驅車的馬達作為主要的動力來源。

問題：

a. 鐵質瓶蓋的容量太小，且底部面積過小加熱不易，糖漿一下就凝固了，而阻塞洞口。罐頭盒容量及底面積夠大，但因重量過重，在加速旋轉後如果中心點略有偏差，便會產生晃動，且重量對於小馬達是一負擔，轉速會變慢。

b. 用鐵釘打的小洞不夠密集、洞不夠多，使糖漿容易在痛口阻塞，且每次糖絲的量都不夠多。

c. 經過實測後發現，3V 的電動小馬達動力略顯不足，尤其當容器是鐵罐頭盒，其重量重、容量大，糖漿倒下時就跑不太動，因此我們需要馬力更大的馬達作為動力的來源。

結果與改進：

a. 將原先鐵質的容器換成較輕的鋁質飲料罐，使容器本身的重量減輕。

b. 將鋁罐底部剪出長條形的洞，並以細密的鐵絲網封住洞口，以增加小洞的數目，也比用鐵釘打出的小洞密集。

c. 以 9V 的小馬達取代原先 3V 的小馬達使馬力變更強。

(二)加熱區：

組裝過程與想法：

為使砂糖受熱熔化，我們嘗試用吹風機、蠟燭、酒精燈、卡式爐...等加熱工具。將砂糖加熱熔化後，再倒入旋轉的容器中，然後甩出形成糖絲。

問題：

a.吹風機在使用上方便、安全，但是溫度不夠只能讓表面的砂糖有一點點的熔化，加熱太過緩慢。蠟燭的火點太小也太集中於一點，而且越燒越短，很不方便。酒精燈在使用及功能上優於吹風機及蠟燭，但是如果要長時間使用便不適合，因為酒精燈需要常常加入酒精，也要常常擔心碰撞到或是打翻酒精燈等問題。

b.如果只是簡單的將事先煮好的糖漿直接加入旋轉的容器中，那只有剛倒下去的糖漿容易被射出，後來的糖漿會因為溫度降低而凝結形成硬塊，結果堵在洞口，便無法再甩出糖絲了。

c.在中心區的容器底部放置火源直接加熱的話，可以改善因為溫度降低使糖漿凝結，因而會堵在形成硬塊的問題，但是如果直接把砂糖加入容器後加熱，受限於底部火源較小、熱力不足，因此加熱時間較長。另外，加熱的地方太接近馬達，會使馬達過熱而燒壞。

d.因為酒精燈的瓶身太胖，而使火源無法靠近容器的底部進行加熱的工作，因此急需加以改進。

結果與改進：

a. 我們利用卡式爐加熱，使砂糖更快熔化成糖漿。再將糖漿倒入高速旋轉的鋁罐中，藉由離心力使其噴出成為糖絲。

b. 為改善因鋁罐溫度較低，而使糖漿凝結形成硬塊堵在洞口的問題，我們用玻璃試管改製成的酒精燈作為我們的加熱工具，使火源能更接近中心區容器的底部。

c. 因為鋁罐的底部受熱面積較小，我們便在鋁罐和馬達中間加上了一片圓形的鋁片，一方面使受熱面積加大，另一方面可以避免火源直接燃燒到鋁罐底部的鐵絲網洞，使糖漿能順利射出成為糖絲。

(三) 固定區：

組裝過程與想法：

我們曾經嘗試用試管夾、寶麗龍盒子、四驅車的骨架...作為支撐馬達的支架。

圖八 利用四驅車的骨架做棉花糖機

圖九　利用試管夾固定馬達

問題：

在馬達啟動後罐子高速旋轉時，糖漿的倒入會造成罐子重心不穩而晃動，如果只是將馬達夾在架子上，則馬達容易脫落，造成危險。

結果與改進：

經過討論，我們決定將馬達固定在一個三腳鼎立的支架上，增加棉花糖機的穩定性。並請陳淵文同學負責設計、製作出我們棉花糖機的支架(圖十、圖十一)。

圖十　棉花糖機的設計與實做

圖十一　棉花糖機與測試的情形

五、漫步在雲端 --- 那棉花糖出現時的感動

[實驗五] 棉花糖的製作

操縱變因:糖漿的溫度

控制變因:容器、加熱溫度、加熱火力

應變變因:棉花糖的成形

器材：自製棉花糖機、卡式爐、石綿心網、溫度計、試管夾。

材料：精緻細砂糖。

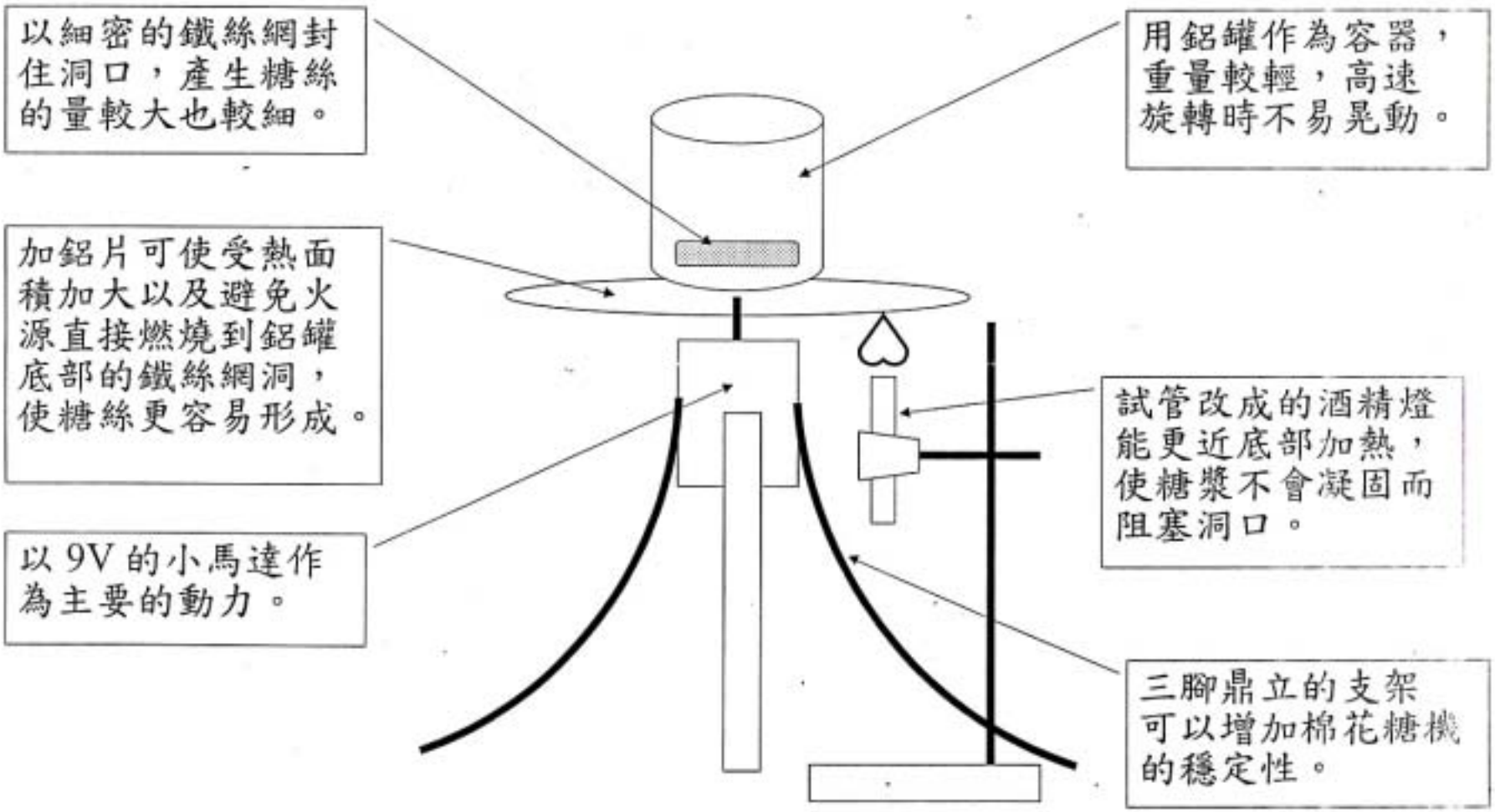
方法：

1.取精緻細砂糖 50 公克，置於卡式爐上加熱，使砂糖熔解成糖漿。
2.控制加熱後糖漿的溫度，用溫度計測量後紀錄溫度
3.將糖漿倒入高速旋轉的棉花糖機中，藉著離心力使糖漿噴出成為糖絲。
4.利用長竹籤將射出的糖絲捲起，做成一支棉花糖。

結果與討論：

經過實驗後，我們有下列幾點主要的發現：

1. 利用卡式爐加熱時火量不宜太大，且須緩緩的攪拌砂糖，使碗內的砂糖能均勻的受熱，才不會有上面的砂糖尚未熔化，而底部的砂糖已經燒焦的情況出現。
2. 砂糖加熱的溫度不到 110℃，則糖漿中的砂糖無法完全熔解，此時將糖漿倒入棉花糖機，則不易射出形成糖絲。
3. 如果糖漿溫度超過 150℃以上會有焦味，用煮太久的糖漿所製成的棉花糖會有焦苦味而不會甜。
4. 將溫度 120℃-130℃的糖漿直接到入棉花糖機，射出的是液態的糖漿，無法形成糖絲，有可能是因為此時糖漿的溫度還是很高，降溫速度不夠快，因此較不易凝結成糖絲。
5. 如果將熔化後的糖漿液離開火源冷卻至 90℃-100℃時，再緩緩倒入棉花糖機中，則形成糖絲的成功機會較大。
6. 剛射出的糖絲溫度還相當高，如果因為一時的貪吃，而用手去抓取糖絲，手會被糖絲燙傷、起水泡。


以細密的鐵絲網封住洞口，產生糖絲的量較大也較細。
用鋁罐作為容器，重量較輕，高速旋轉時不易晃動。
加鋁片可使受熱面積加大以及避免火源直接燃燒到鋁罐底部的鐵絲網洞，使糖絲更容易形成。
試管改成的酒精燈能更近底部加熱，使糖漿不會凝固而阻塞洞口。
以 9V 的小馬達作為主要的動力。
三腳鼎立的支架可以增加棉花糖機的穩定性。

棉花糖四部曲 --- 佔好位置

棉花糖四部曲 --- 捲起糖絲

棉花糖四部曲 --- 小試味道

棉花糖四部曲 --- 大快朵頤

六、我變、我變、我變變變 --- 變換口味大作戰

[實驗六] 除了砂糖！還可以用別種糖嗎?

操縱變因:各種不同的棉花糖原料。

控制變因:容器、加熱溫度、加熱火力。

應變變因:棉花糖的成形。

器材：自製棉花糖機、卡式爐、石綿心網、溫度計、試管夾。

材料：特級一號砂糖、特級二號砂糖、精緻細砂糖、紅糖、冰糖、牛奶糖、水果軟糖、巧克力、食鹽。

方法:1.選取不同的材料各 50 克。

2.加熱到原料完全熔化成為液態，開始滾燙冒泡泡後便將火源熄滅。

3.紀錄加熱後原料的溫度及重量。

4.將加熱後的原料倒入棉花糖機中。

5.觀察並紀錄原料在棉花糖機中的變化情形。

結果： 實驗的結果紀錄如下表二

表二 各種棉花糖原料的結果記錄

原料		開始	結束	時間	狀態
一號砂糖(白色)	溫度	25	122	6’10	黃褐色的液態糖漿，可形成糖絲
	重量	50	48		
二號砂糖(黃褐色)	溫度	25	115	6’20”	深褐色的液態糖漿，可形成糖絲
	重量	50	46.5		
精緻細砂糖	溫度	24	120	5’45”	黃褐色的液態糖漿，可形成糖絲
	重量	50	48		
冰糖	溫度	25	115	6’25”	琥珀色的液態糖漿，可形成糖絲
	重量	50	48.5		
紅糖	溫度	25	90	4’15”	黑咖啡色的糖漿，較黏稠不易成形，味道焦苦
	重量	50	43		
巧克力	溫度	25	85	2’10”	黑色的糖漿有白色沉澱物，較黏稠不易成形，味道焦苦
	重量	50	47		
牛奶糖	溫度	24	86	2’35”	茶色的糖漿，較黏，易卡在洞口，不易出絲
	重量	50	49.5		
水果軟糖	溫度	25	103	3’20”	黃綠色的糖漿，有些許出絲，但太軟了
	重量	50	49.5		
鹽	溫度	25	165	10’	仍是結晶狀的顆粒，沒有熔化成液態，顏色帶有淡黃色
	重量	50	49.5		

發現：

1. 實驗中能成功射出糖絲的次序比為：一號砂糖、二號砂糖、精緻細砂糖冰糖 > 紅糖 > 牛奶糖、水果軟糖 > 巧克力 > 鹽。
2. 結晶鹽在加熱後無法熔解成為液態。
3. 牛奶糖及水果軟糖加熱熔化後的物質較為粘稠且容易燒焦。
4. 加熱過後冰糖、一號砂糖、精緻細砂糖的重量大於二號砂糖及紅糖。

討論：

1. 每種糖類的成分各有不同，含蔗糖純度高的如：冰糖、一號砂糖、二號砂糖、紅糖較易成形，且其含有的成份比例遠大於牛奶糖、水果軟糖及巧克力，而鹽巴則完全沒有。因此，是否能成功的形成糖絲，可能與蔗糖的含量有關係。
2. 食鹽和砂糖隨同樣是結晶體，但因為他們的化學成分不同，使得加熱後有不同的結果產生。
3. 牛奶糖及水果軟糖加熱熔解後的物質較為粘稠且容易燒焦，可能是因為他們的成分中含有果膠、水飴、果糖等，而使他們在受熱後較砂糖粘稠且更容易燒焦。
4. 加熱過後冰糖、一號砂糖、精緻細砂糖的重量大於二號砂糖及紅糖，是因為冰糖、一號砂糖及精緻細砂糖是再經過加工後去除雜質的加工糖，他們的雜質及水分比二號砂糖及紅糖少，因此可能是加熱後二號砂糖及紅糖的水分較易蒸發，而使重量較輕。

[實驗七] 加入不同的添加物會影響棉花糖的形成嗎?

操縱變因：各種添加物。

控制變因：容器、加熱火力、糖量、糖種、自製棉花機。

應變變因：棉花糖的形成。

器材：自製棉花糖機、卡式爐、石綿心網、溫度計、試管夾。

材料：精緻細砂糖、牛奶糖、水果軟糖、巧克力、食鹽、水、醋、柳橙汁、葡萄汁。

方法：

1.選取精緻砂糖 50 公克，並將不同的添加物加入。

2.加熱到原料完全溶化成為液態，開始滾燙冒泡泡後便將火源熄滅。

3.記錄糖漿的溫度及重量。

4.將糖漿液體倒入棉花糖機中。

5.觀察紀錄糖漿在棉花糖機射出的變化情形。

結果： 實驗的結果紀錄如下

表三　加入添加物 5 公克

加入重量 / 添加物		5 公克			
		開始	結束	時間	狀態
牛奶糖	溫度	25	115	4’30”	可成形、略帶土黃色、有牛奶糖的味道
	重量	55	52		
巧克力	溫度	25	103	3’40”	可成形、略帶咖啡色、有巧克力的味道、質地較軟、罐中有沉澱物
	重量	55	51.5		
水果軟糖 (檸檬口味)	溫度	25	106	4’40”	可成形、略帶淺綠色、有檸檬的味道、口感較粘、出絲較少
	重量	55	52		
鹽	溫度	25	125	7’35”	可成形、味道略鹹、有苦澀味
	重量	55	53		

表四 加入添加物 10 公克

加入重量 / 添加物		10 公克			
		開始	結束	時間	狀態
牛奶糖	溫度	25	113	4’50”	土黃色、牛奶糖的味道較多，但糖漿較黏稠而無法形成糖絲
	重量	60	57		
巧克力	溫度	24	106	3’20”	不成形、咖啡色、有焦味、質地較軟、罐中有沉澱物
	重量	60	56		
水果軟糖 (檸檬口味)	溫度	25	118	4’10”	黃綠色、有煮番薯的味道、較黏稠、不成形、有一點點苦味
	重量	60	57		
鹽	溫度	25	120	8’45”	成形、味道鹹、苦澀味重、糖絲較硬
	重量	60	58		

表五 加入添加溶液 5CC

加入容量 / 添加物		5 cc			
		開始	結束	時間	狀態
水	溫度	26	115	4’30”	可成形、和不加水時的棉花糖吃起來差不多
	重量	55	50		
醋	溫度	24	112	4’45”	可成形、有澀味、糖絲比較軟
	重量	55	53		
柳橙汁	溫度	25	120	3’10”	可成形、有淡淡的柳橙味、糖絲顏色較透明偏黃色
	重量	55	52		
葡萄汁	溫度	25	110	3’25”	可成形、有淡淡的葡萄味、糖絲顏色較透明偏紫色
	重量	55	52.5		

表六 加入添加溶液 10CC

加入容量 / 添加物		10 cc			
		開始	結束	時間	狀態
水	溫度	25	124	3’25”	不易成形、糖絲軟
	重量	60	53		
醋	溫度	24	103	3’45”	不易成形、糖絲比較軟、有酸酸澀澀的味道
	重量	60	56		
柳橙汁	溫度	25	110	2’40”	不易成形、有柳橙味、糖絲顏色較透明偏黃色、易凝成一團
	重量	60	55		
葡萄汁	溫度	25	118	2’55”	不易成形、有葡萄味、糖絲顏色較透明偏紫色、易凝成一團
	重量	60	55		

發現：

1. 當砂糖與添加物的比例小於 10：1 時，則棉花糖可以形成。
2. 加入鹽巴的棉花糖有苦澀味。
3. 加入的醋量愈多,糖絲就愈軟,愈不易成形。
4. 加入果汁會使棉花糖絲的顏色改變。

討論：

1. 加入少量的添加物可以改變棉花糖的風味，但是加入的量太多時，會使原料中蔗糖的比例下降，使棉花糖不易成形。

2. 添加溶液的量越大，可使砂糖溶解的速度加快，但是射出的糖絲較軟，不易成形。

陸、結論：

綜合以上實驗研究的結果，我們可以了解到：

一、固態的結晶砂糖加熱到 100°C-120°C時，碗裡的砂糖會全部熔化成液態的糖漿，在停止加熱之後糖將會開始凝固，就可以拉出細長的糖絲。

二、經過實驗我們可以清楚的觀察到，物體在旋轉或做圓周運動時，會產生一股向外甩出的離心力。

三、棉花糖主要是利用離心力及糖受熱會熔化遇冷又會凝固的原理而製成。

四、中心區的容器可採用質地較輕的鋁罐，並在鋁罐底部剪出長條形的洞，然後以細密的鐵絲網封住洞口，如此產生糖絲的量較大，質地也較細。

五、可利用卡式爐將砂糖熔解成糖漿，但是加熱時火量不宜太大，且須緩緩的、均勻的攪拌砂糖，以避免砂糖燒焦。

六、糖漿滾燙熔化後，最好離開火源等到冷卻至 90°C-100°C時，再緩緩的倒進高速旋轉的棉花糖機中，則形成糖絲的成功機會較大。

七、利用玻璃試管改製成的酒精燈作為棉花糖機中心區的加熱工具，可以使火源比較接近容器的底部，使加熱更為方便。

八、在鋁罐和馬達中間加上鋁片，一方面可使容器底部的受熱面積加大，另一方面也可以避免火源直接燃燒到鋁罐底部的網洞，使糖絲更容易形成。

九、可在製作棉花糖的原料中加入其他的添加物來改變棉花糖的風味，但是砂糖與添加物的比例最好不要超過 10：1。

十、剛射出的糖絲溫度還相當高，如果因為一時的不小心被糖絲噴到的話，手會被燙傷而起水泡。

柒、心得與展望：

在此次的研究歷程中，我們運用所學過的自然科學知識，設計實驗以了解棉花糖的形成是因為「離心力」以及「砂糖受熱而會改變狀態」的原理，並且利用日常生活中可回收再利用的鐵鋁罐、小馬達等，設計製造出一部可以產生棉花糖的機器，讓我們覺得自己不但是個有實驗精神的小科學家、更是個有環保概念的小發明家。

雖然這一路上我們遇到許多的問題及挫折，做出來的棉花糖和外面賣的棉花糖比起來還差了一截，但是多日來經過大家的合作、討論及家人的支援下，我們從實驗、討論中學習到科學的方法，也激發出許多的創意，才能嘗試的模擬出棉花糖的製造過程。我們也發現了幾個可以深入討論的方向：1.馬達的轉速是否會影響棉花糖的形成。

2.是否有更方便、安全的加熱方式。

3.如何設計製造出一部可以隨身攜帶的棉花糖機。

在本研究中，我們除了實際的製作出一部棉花糖機，能自己做出棉花糖之外，還嘗試添加其他食物改變棉花糖的口味真是獲益良多。這也讓我們更有信心，繼續努力改進現有的研究，一步步朝我們的夢想邁進。

捌、參考資料：

丘應模(1980)，**糖從哪裡來?，**中華兒童叢書台灣省教育廳出版。

邱標麟編譯(1993)，**食品甜味的系譜與製造科學**，台灣復文興業股份有限公司。

陳雪芬譯(1996)，**科學爆米花-不可思議的廚房實驗室**，遠哲科學出版。

續光清譯(1986)，**食品化學(二)**，徐氏基金會出版。

續光清編著(1986)，**食品工業**，徐氏基金會出版。

科學小芽子　網址：http://www.bud.org.tw/search.htm

學習加油站　網址：http://163.26.1.16/finder/