中華民國 第 49 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組　生活與應用科學科

080818

棉花糖魔術師

學校名稱：臺北市萬華區私立光仁國民小學

作者：	指導老師：
小五 張竣翔 小四 張雅晴 小四 陳妍儒 小六 鄭乃嘉 小六 黃羿寧 小五 詹欣玥	陳韋宇

關鍵詞：棉花糖機、巧克力棉花糖、轉速

～棉花糖魔術師～

摘要

本研究在於研究各種自製的棉花糖機——改善各代棉花糖機的缺點，並找到製作棉花糖的關鍵因素。

同學們利用很簡單的材料和工具，搭配各式鐵鋁罐、馬達、大小風扇，親手打造自己的專屬的棉花糖機。製作期間歷經許多困難與失敗，他們一一想辦法克服、修正，終於達到原先的目標，並且不斷地試驗找出各種糖類與添加混合物後最好的製作方法，並做出各種口味獨特的棉花糖。

壹、研究動機

每次看到軟綿綿的棉花糖，都忍不住的口水直流，除了它那甜甜蜜蜜如絲般的口感外，用竹籤轉啊轉的樂趣，更是令人回味無窮。在一次全家出遊的日子，突然在商店外面看到一台投幣式的棉花糖機，就覺得好想吃棉花糖喔！跟媽媽要了錢投下去之後，也許是我們捲棉花糖的技術太差了，最後只捲到一枝又瘦又扁的瘦乾巴棉花糖，吃得真不過癮。於是我們就想說有沒有可能自己做棉花糖呢？想吃多少就做多少，那該有多好啊！

貳、研究目的

一、能否製造一台好用又方便的專屬棉花糖機？
二、實驗各種影響棉花糖產出的變因。
三、製造更適合的棉花糖機，可以做出不同口味的棉花糖。
四、探討製作各式棉花糖的最好方法。

相關教學單元(康軒)：通電玩具(四下)、簡單機械(六下)、物質的變化(六下)

參、研究設備器材

	電池、木頭、螺絲釘、三腳架 、.玩具風扇 、小馬達、酒精燈、微量秤、.鐵湯匙、夾鍊帶、測溫槍、竹筷、布手套、 老虎鉗、鐵罐、扣環、電鑽、power 電源組、多段電壓輸出 pc 板、pc 用散熱風扇、塑鋼膠、三秒膠、打火機、電子磅秤、巧克力粉、紅茶粉、.奶茶粉、奶粉、果凍粉、綠茶粉、咖啡粉、白砂糖、赤砂糖、紅糖、黑糖、方糖、市售各式口味糖果等

文獻探討：

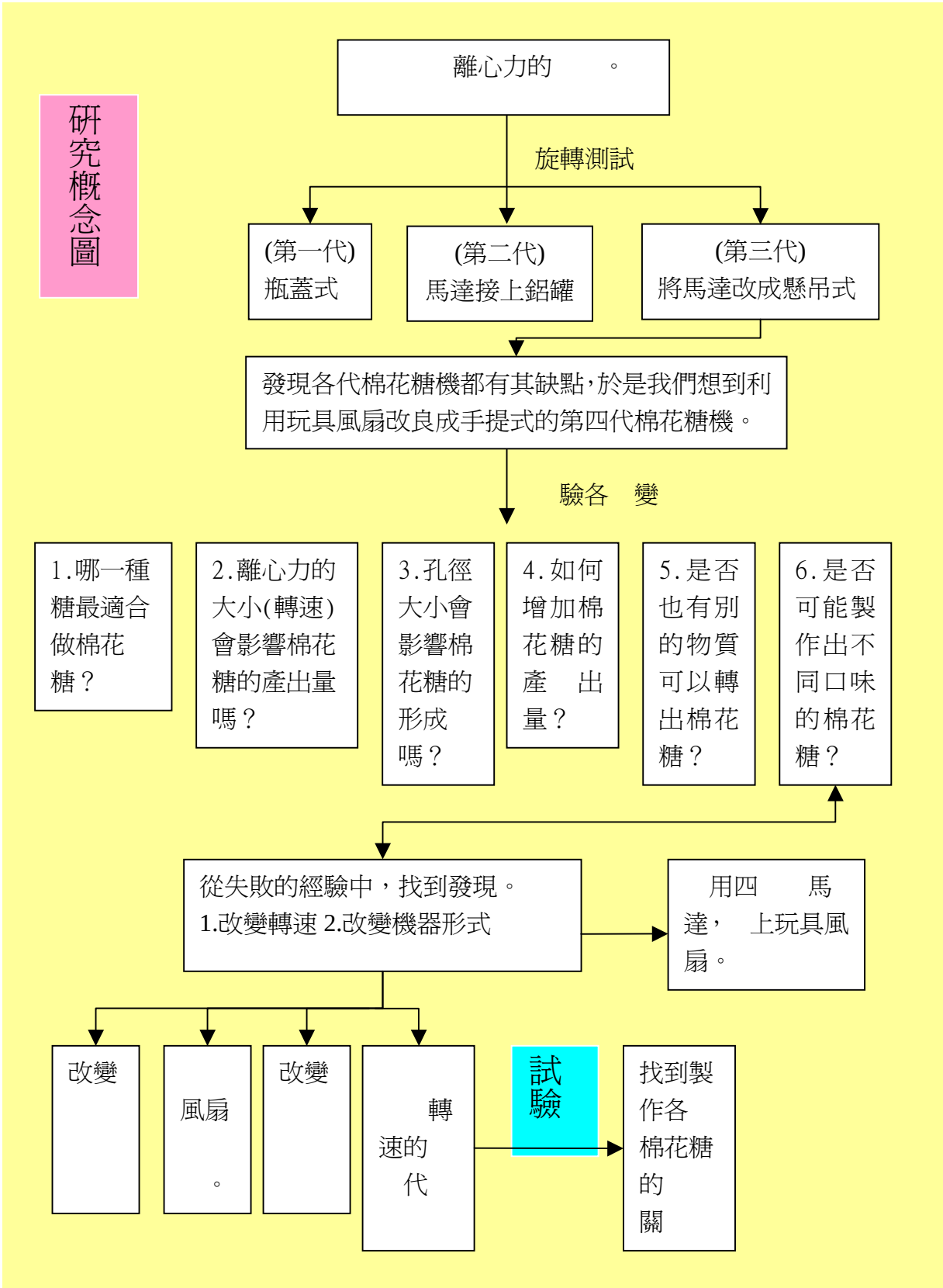
一、市售棉花糖機構造

棉花糖主要是利用離心力的原理。 首先先把糖加熱溶解成濃稠的糖漿， 置放糖漿的容器外會覆蓋一個充滿小孔的蓋子或網狀物；然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” (水注的”注”)，並且急速冷卻，就成了細絲狀的固體，而且射出的 “糖漿注” (水注的”注”)，因爲溫度下降而急速冷卻，就成了細絲狀的固體，也就是棉花糖。			

二、各種受熱體的成份

品　　項	成　分　組　成
白砂糖	顏色爲白色，是由蔗糖經溶解去雜質及多次結晶煉製而成。無添加化學物、是高品質的甜味料，又因其顆粒的不同分爲細砂跟特砂。白糖會再經過一道去除色素的程序，得到接近純物質的蔗糖。因爲成分很純所以形成結晶，故呈顆粒狀，純度可達 99.6%以上。
冰糖	是純度更高之砂糖結晶。冰糖乃白砂糖之大塊結晶，其外觀較一般之砂糖晶瑩剔透，就化學組成而言，冰糖與砂糖爲相同之物，唯前者之純度較高且爲大顆粒之結晶。純度更超過 99.9%。
(二級)赤砂	精緻程度不如上者，含有少量礦物質及有機物，因此帶有顏色。
紅　糖	精緻程度不高，因此蔗糖含量較低，顏色很深，但也保有較多的維生素及礦物質。
黑　糖	將甘蔗製糖，最先會製出黑糖(市售爲粉末狀)，含其他甘蔗中的雜質很多，所以不只含蔗糖也含有許多維生素、纖維等。
冬瓜糖	以去皮去籽冬瓜條加砂糖熬煮製成。
食鹽	氯化鈉

肆、研究歷程



研究目的一、能否製造一台好用又方便的專屬棉花糖機？

首先我們先收集棉花糖機的相關知識，從書本上得知，棉花糖是利用糖加熱後溶化變成糖漿的時候，再加上離心力作用，糖漿會透過鑽孔的鋁罐甩出瓶外，形成一絲一絲的糖漿，

細細的糖絲碰上冷空氣之後，迅速冷卻成固體，然後把這些糖絲收集起來之後，就變成軟綿綿的棉花糖了。因此我們了解到，要做出棉花糖最重要的三件器材，那就是：

(1)可以把糖溶化的加熱的裝置

(2)可被加熱的容器

(3)可以產生離心力的裝置

從網路上我們也看到了兩種自製的棉花糖機，第一種是將兩個大的鐵製瓶蓋黏合而成，再加上馬達旋轉；第二種是參考第歷屆全國科展的懸吊式棉花糖機，如圖：

圖片來源爲第 43 屆全國科展國小組生活應用類『棉花糖製造機』

圖片來源爲第 47 屆全國科展國中組生活應用類『黏綿到天邊-棉花糖製作研究』

以下將介紹我們自製棉花糖機的演進過程：

第一代

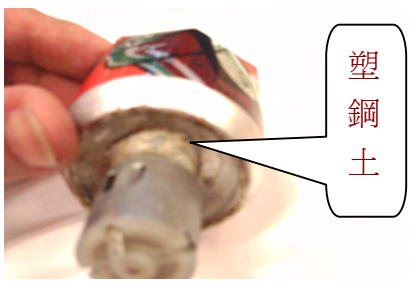
參照網路的作法，我們也找到大的瓶蓋，製作了我們初代的「瓶蓋式」棉花糖機。

將兩個瓶蓋黏合，在上下週圍打洞，接著在下方加裝小馬達，並利用焊接的方法固定。

利用打火槍在旁加熱。

缺點：內部空間太小，可以裝的糖量數目也太少。加熱後焊上去的錫也容易融化。

第二代

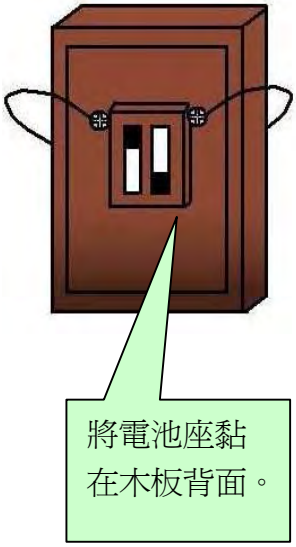


於是我們想到利用馬達直接黏接鋁罐底部。在鋁罐下穿一個洞，讓馬達軸心穿入，再用塑鋼土黏接固定。

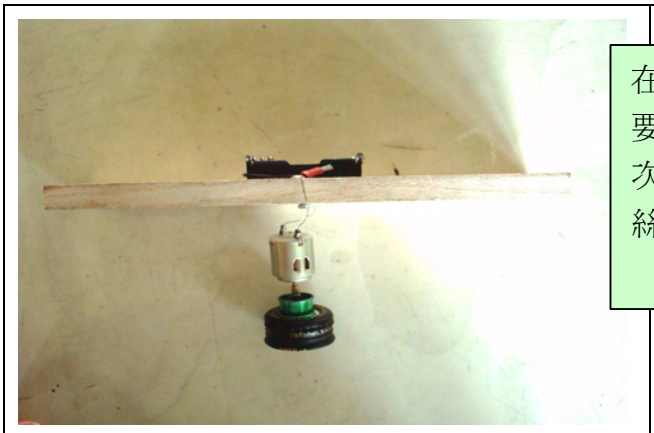
(塑鋼土：外觀像黏土的一種有黏性並可耐熱物質)

已經可以增加放入糖粉的量，但馬達需固定在桌面(會造成轉動不穩定)，還是必須要用打火槍從側面加熱，我們認爲使用打火槍危險性太高，最好還是能讓火源從底部穩定加熱較好。於是我們改良了懸吊式的設計，如下：

第三代



如圖：



側面圖	背面圖

改成懸吊式的可以讓熱源在底部穩定加熱，較安全。但接應線容易掉，造成馬達脫落，後來我們想到既然要改成這種方式，那能不能縮小我們的機器體積，更方便用手提或攜帶。

最後我們想到利用玩具小風扇來做出我們獨特的棉花糖機。不但要找到適合的罐子、重量夠輕、適合旋轉，瓶蓋與馬達之間的接合方式也試了很多種方法，才找出四驅車鋁質輪框加塑鋼土這個辦法。而我們選擇的玩具風扇，它的馬達轉速也夠我們做出棉花糖。

第四代

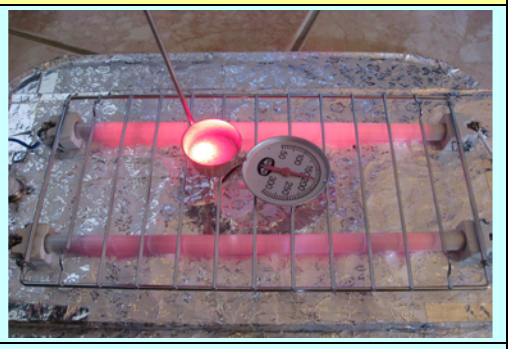
		以下爲我們的第四代棉花糖機的完整製作過程介紹，包括了加熱裝置、可被加熱的容器、產生離心力的裝置。

(一). 實驗器具的選定

我們爲了找出最適當的器材，找了各種相同功能的東西來做比較，做各種實驗來比較出每一樣器具的優缺點。以下就是各種器具的比較表。

A.加熱裝置---使用上的安全性爲最優先考慮的重點。

以下就是四種加熱裝置的優缺點比較表:

加 熱 裝 置	
1.蠟 燭	2.酒 精 燈
優點:安全性高，攜帶方便。	優點: 安全性高，攜帶方便，不用插電，火夠大，最經濟。
缺點:火小，加熱不均勻，鋁罐轉動後火會熄滅，無法控制火的大小	缺點:火的大小控制不易
3.攜 帶 型 瓦 斯 爐	4.電 熱 石 英 管
	
優點:火的大小可以控制，加熱均勻	優點:火的大小可以控制，加熱均勻
缺點:體積大，需更換瓦斯罐，安全性較低	缺點:體積大，需要電源，加熱及冷卻時間長，安全性低。

經過比較之後，我們發現酒精燈在使用上，安全性算是比較高的，而且體積小不佔空間，最重要的是酒精燈的火也可以達到迅速把糖溶化的標準，所以在加熱裝置的選定上，我們決定使用酒精燈來做爲加熱裝置。

B.可被加熱的容器

在我們蒐集的資料當中，鋁罐是最容易取得的容器，因爲它具有加熱快以及加工(鑽孔)容易的優點，另外我們也必須考慮鋁罐跟旋轉馬達的結合方式，所以我們找了幾種有瓶蓋的鐵鋁罐來比較。

<table>
<tr><th colspan="2">可 加 熱 的 容 器</th></tr>
<tr><td colspan="2">
</td></tr>
<tr><td>1.鋁 罐 A</td><td>2.鋁 罐 B</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>尺寸:高 16X 瓶身直徑 6.5cm
瓶身高度太高，旋轉時容易晃動。</td><td>尺寸: 高 13.0X 瓶身直徑 6.3cm
瓶身高度中等，晃動問題較少。</td></tr>
<tr><td>3. 鐵 罐 A</td><td>4.鐵 罐 B</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>尺寸: 高 12.3X 瓶身直徑 5.0cm
瓶身高度適中，旋轉穩定，但較難鑽孔。</td><td>尺寸: 高 10.5X 瓶身直徑 5.0cm
瓶身高度最低，形狀接近圓柱體，旋轉狀態最穩定，但瓶蓋有凹凸，與輪框會有黏接的問題。</td></tr>
</table>

測試的結果，4.鐵罐 B 因爲瓶身高度最短，而且形狀接近圓柱體，在旋轉狀態下最穩定最不會搖晃。但是它的瓶蓋因爲面積較大，瓶蓋中央會有凹凸的情況發生，會造成黏好的輪框脫落，因此我們決定選用 2.鋁罐 B 來當作容器，它的瓶蓋口徑又與 3 鐵罐 A 共通，在實驗不同材質的容器可以不用換瓶蓋。

C.可以產生離心力的裝置

輪框中心點一定要黏在瓶蓋中心，否則無法快速旋轉。

一開始爲了要讓鋁罐高速旋轉來產生離心作用，我們利用小電扇的馬達裝置與四驅車的輪框跟橡膠栓黏合，初步達到鋁罐旋轉的目的，但接著後續的試驗漸漸出現許多問題，例如塑膠輪框與橡膠栓遇熱容易脫落，栓子沒塞好會造成瓶身搖晃，無法快速旋轉，或是重量過重無法順利旋轉等等問題。最後經過不斷的發現問題、尋找解決方法之後，最後我們找出使用金屬輪框與瓶蓋黏合的方式是最穩定的方式。

研究目的二、實驗各種對於棉花糖產出的變因。

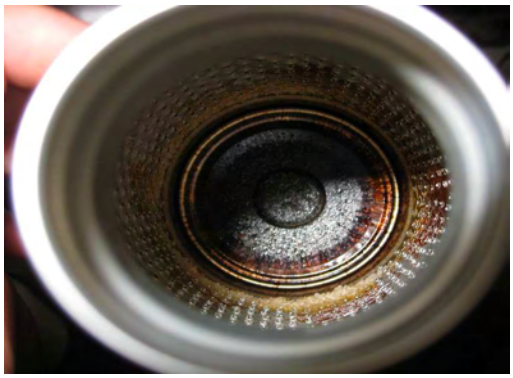
三個關鍵裝置選定之後，我們假設了幾個問題來做實驗:

實驗 1.哪一種糖最適合做棉花糖？

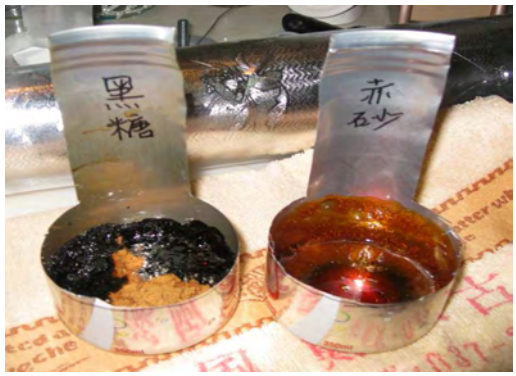
將糖放入鋁罐，並以酒精燈加熱觀察各種糖的熔化狀況

糖種類	重量	完全熔化秒數	燒焦秒數	備註說明
赤砂糖	20g	2 分 0 秒	2 分 10 秒	
黑糖	20g	- 分 - 秒	1 分 43 秒	沒有完全熔化之前就烤焦了
白砂糖	20g	2 分 15 秒	2 分 29 秒	
冰糖	20g	1 分 50 秒	2 分 25 秒	熔化最快，最不容易燒焦(最適合)
方糖	4 顆	-- 分 --秒	1 分 64 秒	沒有完全熔化之前就烤焦了
紅糖	20g	2 分 28 秒	2 分 40 秒	

由觀察以上糖的熔化實驗得知，冰糖熔化的最快也最不容易燒焦，是最適合做棉花糖的糖類，但是 1 包 1 公斤的冰糖賣 85 元，而白砂糖 1 公斤才 25 元，冰糖比白砂糖足足貴了 3.4 倍，難怪外面賣的棉花糖都是用白砂糖做的。所以我們的實驗也以白砂糖爲主。這個實驗也讓我們了解，放何種糖要加熱多久再開始旋轉，因爲太早開始旋轉，糖沒有完全熔化，就會減少產出量，相反的如果加熱太久就會把糖燒焦，也無法做出棉花糖。



▲殘留在鋁罐裡沒有熔化的糖



▲燒焦的黑糖

延伸問題：

如果能夠把黑糖順利溶解，是否可以轉出棉花糖呢？所以應該要想個能順利溶解黑糖的方法？

改良方法：提昇鋁罐高度，並不斷攪拌

結果：加熱後溶解很慢、受熱很不均勻，一段時間後，呈現水、粉分離的現象，旋轉後更沒有糖絲產生。

討論：黑糖的成分除了蔗糖含其他甘蔗中的雜質很多，也含有許多維生素、纖維等。所以沒有辦法成功。

實驗 2.離心力的大小(轉速)會影響棉花糖的產出量嗎？

有一次我們在做棉花糖時，偶然發現馬達的轉速變慢很多，結果只有射出像水珠一樣的糖漿，無法形成糖絲。所以我們發現離心力不夠大時會影響棉花糖的形成。另外我們再進一步驗證，找電量只有全新電池一半電量的電池做測試，發現轉速變慢雖然可以射出棉花糖，但是棉花糖的糖絲變得比較粗，而且還有一些糖粒在上面(圖 12)

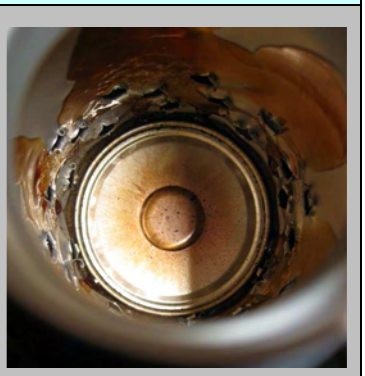
▲轉速過慢噴出一顆顆糖珠

▲轉速慢的棉花糖絲較粗，糖粒多

實驗 3.孔徑大小會影響棉花糖的形成嗎？

原本以爲孔徑太大的，應該只會甩糖漿出來，無法形成糖絲，但實驗結果出人意料的，最大孔徑 7㎜ 的還是會噴出糖絲，只是棉花糖上多了許多細細的糖粒。由上面的兩個實驗結果得知，轉速的快慢比孔徑大小更會影響棉花糖的形成。

▲3 種口徑分別加入 20g 的砂糖做實驗

孔徑:1㎜	產量最多	糖殘留少
孔徑:3㎜	產量減少	糖殘留多
		
孔徑:7㎜	產量最少，有糖顆粒	糖漿會卡在孔邊緣

實驗 4.可以用巧克力來做棉花糖嗎？

巧克力跟糖一樣加熱後會溶化，冷卻後恢復成固體，爲何沒有巧克力棉花糖呢？真令人匪夷所思，我們決定親自做實驗試試看。

巧克力 20g 加熱 30 秒後開始旋轉	
巧克力無法形成糖絲，甩在壁面上的巧克力漿比糖漿低(上面一層是糖漿)	甩出來的巧克力幾乎是液體狀，完全沒有凝固的跡象。

實驗結果，無法做出巧克力棉花糖，我們討論的結果，應該是巧克力的凝固點比糖低很多，所以在被甩出的同時，無法瞬間凝固成絲狀。是不是降低環境溫度就可以做得出來呢？
結果經過實驗，在四周放上冰塊也無法成功，看來要讓純巧克力絲瞬間凝固是有困難的。

實驗 5.鹽巴也可以做成棉花鹽嗎？

根據自然老師的提問，我們也很好奇，外觀跟糖一模一樣的鹽巴，也可以像糖一樣甩出軟綿綿的棉花糖嗎？試了就知道。

鹽 20g 加熱超過 5 分鐘	
沒想到加熱超過 5 分鐘仍然無法將鹽巴熔化，太強了!	不相信再試一次，結果還是一樣，無動於衷。

上網查詢的結果，鹽的熔點高出糖太多太多了，如下:
糖熔點：186^{o}C ，鹽熔點：801^{o}C ，一般的酒精燈是沒辦法熔化鹽巴的。

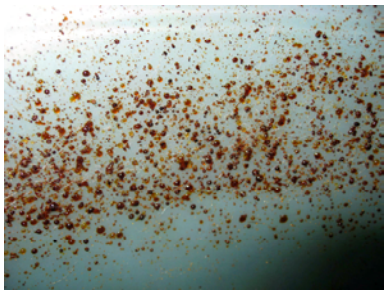
研究目的三、製造更適合的棉花糖機，可以做出不同口味的棉花糖。

動機：

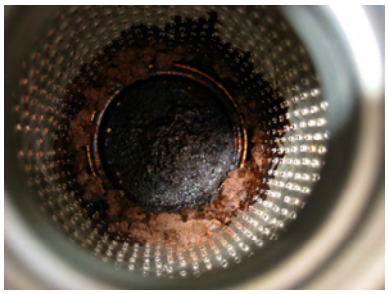
巧克力沒有辦法直接做成棉花糖，但是我們想到混合巧克力和糖漿後，是否就有辦法做出驚人的巧克力口味棉花糖呢？於是我們又進行了以下的試驗。

實驗內容說明：

	冰糖 20g，分別用蕃茄醬和巧克力粉加進去一起煮沸，觀察是否可以凝固硬化及硬化的時間長短。 材料：冰糖 20g、蕃茄醬 5g、巧克力粉 5g 用酒精燈加熱 2 分鐘，變成糖漿以後分別加入蕃茄醬及巧克力粉攪拌，攪拌均勻後熄火，計時完全凝固的時間。
	冰糖 20g 加巧克力粉 5g，煮沸攪拌均勻後，冷卻 3 分鐘後完全凝固硬化，變成一片硬的巧克力糖。 純冰糖 20g 從沸騰到冷卻凝固硬化約 2 分 30 秒，**因此加入巧克力粉的量的多寡會影響凝固時間的長短。**
	冰糖 20g 加蕃茄醬 5g，煮沸攪拌均勻後，冷卻超過 10 分鐘仍不會完全硬化，還是有點軟軟的。過了 30 分鐘後還是不會完全硬化。由此可得知：加入不是固態的東西與糖漿混合後會影響冷卻後**凝固的狀態**與**凝固的時間長短**。 推論：加草莓醬或其他液態食材去混合，可能無法成功作出棉花糖。
	在實驗完『冰糖加巧克力粉混合煮沸實驗後』，再用棉花糖製造機實際作一次實驗，結果依照棉花糖製造的步驟下去操作，一開始轉動鋁罐時就甩出許多巧克力糖漿，但還是有少許巧克力棉花糖出現(如左照片)，打開瓶蓋觀察鋁罐內的情形，發現有許多巧克力粉附著在瓶罐上，這表示糖漿與巧克力粉混合的不均勻。糖與巧克力粉的比例還要調整，或是冷卻 1 分鐘後再開始旋轉等等。 這樣看來作出巧克力棉花糖的機會還是有可能的！



甩出巧克力糖漿

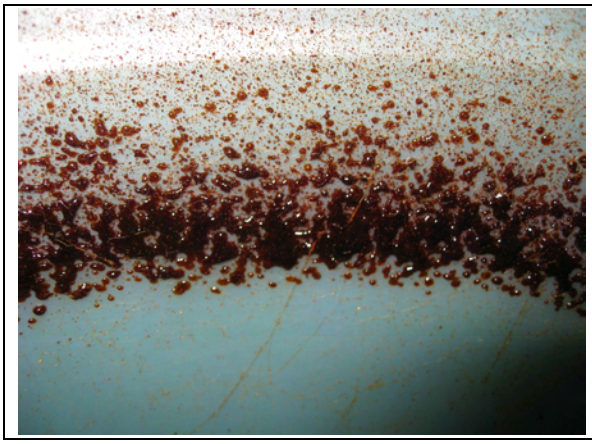


罐內殘留的巧克力粉末

完全硬化的巧克力糖片

發現問題與改善方法：

對於溶化的巧克力與糖漿沒有辦法完全混合的問題，我們討論後改變作法，在我們的棉花糖罐中直接加熱，是不能攪拌的，所以我們改成先煮沸混合好，再來做實驗。
後來我們又調整巧克力粉與糖漿的比例，實驗結果如下：

	冰糖 20g 加巧克力粉 2g，先在開放式鋁罐煮沸攪拌均勻後，再倒入密閉式鋁罐旋轉。 結果一開始先甩出巧克力糖珠，接著就有一點點巧克力棉花糖絲出現，看下一張照片就是巧克力棉花糖。 摸了這糖珠，糖珠是有凝固硬化，但還是有一點水分在，感覺好像是糖珠凝固了，但巧克力醬卻包在糖珠外面，似乎沒辦法完全融合的感覺。

	第一次實驗：(以下都是使用四驅車馬達) 冰糖 10g、巧克力粉 0.5g，加在一起煮沸攪拌均勻後倒入鋁罐旋轉，製作出巧克力棉花糖如左圖。 第二次實驗： 冰糖 15g、巧克力粉 2g，加在一起煮沸攪拌均勻後倒入鋁罐旋轉，結果只甩出糖漿，沒有棉花糖出現。 。
	左側照片是前面兩次實驗所甩出的糖漿，上面一層是有甩出棉花糖的，被甩出的糖漿顆粒較細小。 底下一層的糖漿是失敗沒有棉花糖的糖漿，顆粒大了許多，這次旋轉一開始晃了好幾圈，轉速不夠，甩出了大部分的糖漿，造成後來沒有棉花糖。

結果討論：

做巧克力棉花糖失敗原因：

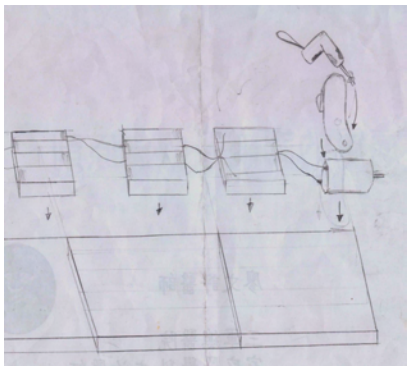
1. 容易燒焦，比我們做一般棉花糖容易燒焦多了，經過大家的討論可能是因爲糖的熔點和我們加入的各種粉末的熔點不同，所以巧克力粉先燒焦了。

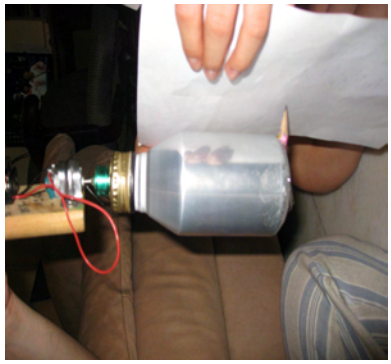
改良方法：先將糖熔化，再加入巧克力粉進去混合

2. 馬達轉速的問題。
3. 巧克力與糖粉比例問題。

看似有充分混合好的巧克力糖漿，在我們的馬達一開始轉的時候會噴出許多巧克力的糖珠，便會影響後來產生的棉花糖量。推測是因爲馬達轉速過慢，所以我們把玩具風扇內的馬達改換成四驅車的馬達。 結果一開始還是會甩出不少糖珠，所以現在我們首先要做的就是要增加馬達的轉速，改善問題。	

經過我們討論與構思，首先我們先使用最快速的四驅車馬達增加轉速，原則上的設計爲了能方便測試增加電壓提高轉速的結果，必須要能方便的串連電池，於是我們想出以下的設計：

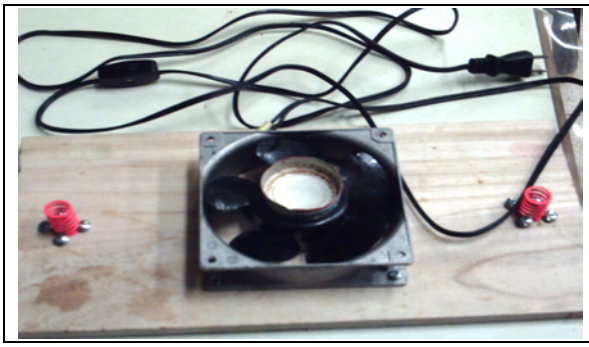
		
玩具風扇裝的電池數有限，我們可以利用手提原理，作出右邊設計。	利用鋼環鎖上螺絲固定馬達於木板上，再串連電池組。	單接一組電池座

		
串連多組電池盒，並接上罐子	在罐子底部黏上鉛筆	測出 10 秒內，串聯不同電池組的轉速

試驗結果：

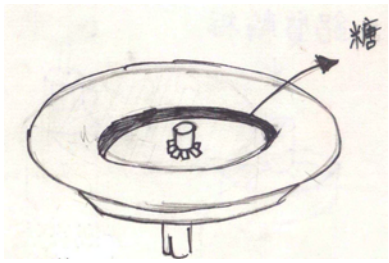
	串連 1 組電池座	串連 2 組電池座	串連 3 組電池座	串連 4 組電池座
轉速測試(含罐子)	54 圈(10 秒)	68 圈(10 秒)	76 圈(10 秒)	82 圈(10 秒)
實驗巧克力棉花糖結果(巧克力與砂糖比例爲 1:15)	糖珠噴出甚多，以致影響產量，所收集的量不多。	糖珠一樣噴出甚多，感覺不出有增加產量。	結果仍然沒有改善。	馬達呈現過熱情形，爲了怕馬達燒壞，並沒有繼續試驗。
發現	小馬達的扭力不夠，雖然增加電壓會加快轉速，但是馬達會過熱容易燒壞，這個方法似乎並不是很適合。所以我們接著要尋找更適合的方式或轉速更快的馬達。			

利用大風扇的馬達可行嗎？

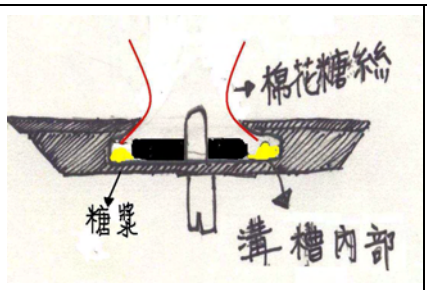


把大風扇的馬達固定在木板上，中間用塑鋼膠黏上瓶蓋，便可以跟我們的第四代棉花糖機一樣接上瓶子旋轉，也有變速器可以方便調速，但重量太重，轉速也沒有小的風扇快。

當轉速問題暫時無法解決時，我們也有想過看看是不是開口向上的方式會比較適合，因爲市售家用的棉花糖機，它是從開口處跑出棉絲的，這個方法照道理似乎可以讓轉速不夠快時的糖珠不會噴出去，因爲它的構造如下：



市售家用的棉花糖機轉盤外觀



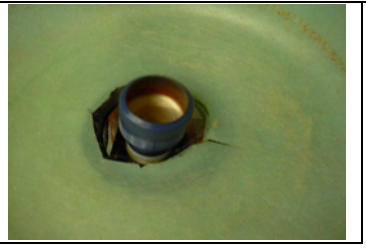
利用溝槽上方阻止糖漿灑出

折疊一公分平面

把我們的罐子

摺疊 2 公分平面

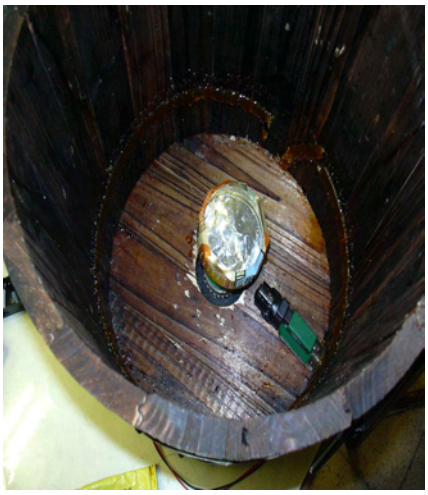
摺疊 2 公分並向上調高角度



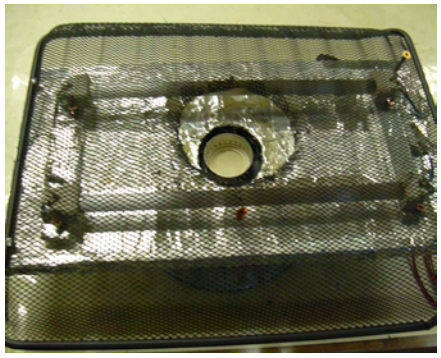
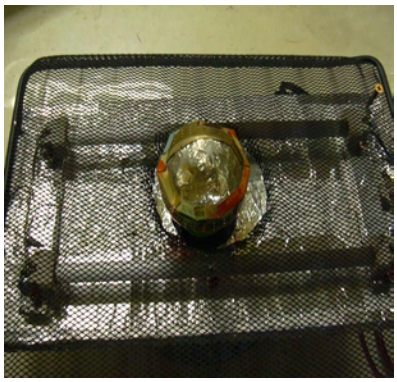
很快就會凝固了

實驗結果以 1cm 平面效果爲最佳，但糖漿不繼續加熱，

所以我們又做了下面的設計：

		(圖一) 我們把大風扇固定在木桶底部，並在底部中間打一個洞。 (圖二) 但加熱方式是一個很大的問題，要不就直接把熔好的糖漿倒入旋轉，圖二我們把打火槍固定在木桶旁加熱，但發現從旁邊加熱時，罐子旋轉的風會把火的溫度降低，加熱不易，看來要從上方或下面加熱才可行。
(圖一)	(圖二)	

於是我們把烤麵包機的電熱石英管拆下來當作我們的熱源，

		
(圖一)	(圖二)	(圖三)

	(圖一)同樣把大風扇固定在底部，中心黏上蓋子 (圖二)石英管固定在板子上，中心打洞，上面蓋上一層鐵網 (圖三)接上罐子旋轉 (圖四)直接加熱，罐子內的糖漿根本不會融化，探討原因是因爲熱源會分散掉，造成溫度不夠，所以我們在上面又蓋了一個耐熱玻璃蓋子。 結果：融化 10 克的糖要 15 分鐘，而且噴出的糖絲碰到石英管會有火花，太危險了。
(圖四)	

不過遇到困難的我們仍然不放棄，繼續尋找更好的方法，哪裡有快的風扇呢？遠在天邊近在眼前，我們電腦的 CPU 散熱小風扇不是很快嗎？同樣在中心黏上瓶蓋，就可以變成了很好的旋轉工具。

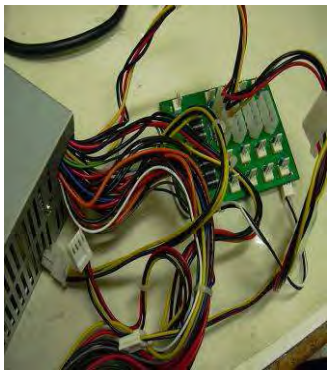
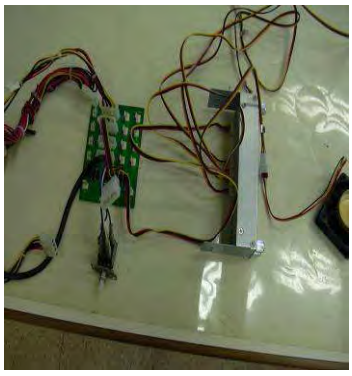
我們的小風扇需接 12V 電，我們也找尋了各種適合的電力來源：

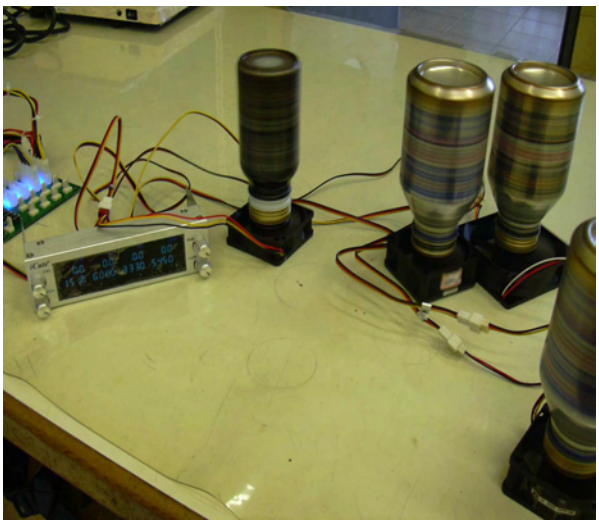
電池盒(串聯成 12V)	筆電的 110V→12V 變壓器	市售 AC/DC 多段可調變壓器	專業可調電壓/電流 DC power supply

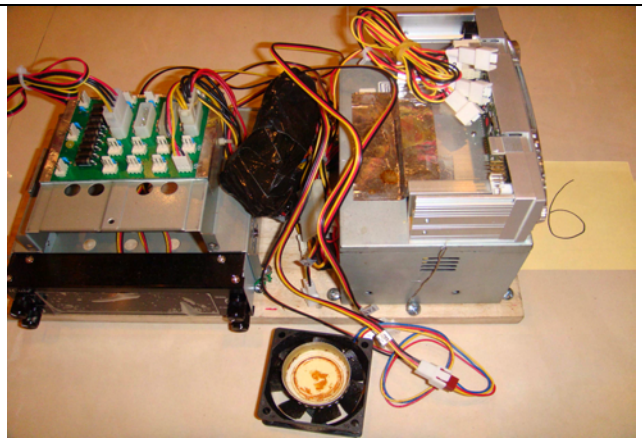
第一種方式耗電池費，第二、三種方式的接頭要改，第四種則太重、價錢昂貴不易攜帶。

爲了要了解轉速對棉花糖產量的影響，馬達的轉速數據化，讓我們絞盡了腦汁想破了頭，就是找不出很好的方式。後來是一位同學的爸爸的電腦上有控制風扇轉速的監測裝置，讓我們轉速數據化的問題迎刃而解。

於是我們把舊電腦的 power 拆下當做電源，搭配我們的 CPU 風扇監控器

			
拆下舊電腦電源供應器。	接上多段電壓輸出 pc 板	調速器接上 pc 板，小風扇再接上調速器上	散熱風扇轉速微調/溫度監控器





哇！我們發揮創意自製的最終代棉花糖機誕生了！不但可以一次連接四組風扇，也能輕易的調整、控制轉速。

研究目的四、探討製作各式棉花糖的最好方法。

我們以 20 克糖來搭配不同克數的混合物，如巧克力、草莓果凍粉、咖啡粉、綠茶粉等，再配合不同的風扇轉速來試驗，找出各種不同混合物所該添加的量和配合的轉速。

伍、研究結果

當我們做出第四代棉花糖機後，經過不斷的實驗，整理出影響棉花糖產出量的幾個變因

a.糖熔解的程度

在剛開始實驗時，我們以爲在罐子裡的糖熔化的愈完全，產出量就愈越大。但經過『加熱時間不同對產量的影響』實驗後，我們發現在半熔解的砂糖開始旋轉罐子，棉花糖的產出量會比完全熔解的多，因此要開始轉動之前，烤糖時間的掌控就非常的重要。烤的時間不夠，糖熔解不夠也不行，烤太久糖就燒焦冒煙，所以我們除了要用計時器計算加熱時間之外，還要搭配適當的轉速才能產出多量的棉花糖。

b.鋁罐的旋轉速度

鋁罐旋轉速越快，糖絲就越細，蒐集的棉花糖外觀看起來就越大，口感也越綿密。但轉速的快慢卻受很多因素的影響，例如與瓶蓋黏接的輪框，如果偏離馬達軸心(中心)，鋁罐就會搖晃，無法全速轉動。還有加太多糖，整個鋁罐太重的時候，也無法全速轉動，我們目前的玩具馬達的載重極限大約在 20~25g 左右，再重就會出現轉不動而搖晃的現象。當然電池的電力也會影響轉速。因此棉花糖機在經過幾次的修正之後，最後我們找到了利用舊電腦的電源供應器與散熱風扇來作爲棉花糖機，不但轉速看的見，最重要的是穩定的電力，讓我們減少了電池電力不穩的問題，進而提升了實驗的正確性。

c.改善收集棉花糖的技巧

我們發現會收集棉花糖跟收集技巧不好的人，所收集到竹籤上棉花糖的量會有很大的不同，爲了克服這個問題，我們用玩具改造了一枝棉花糖自動收集器，可以改善收集棉花糖技巧不好的問題。

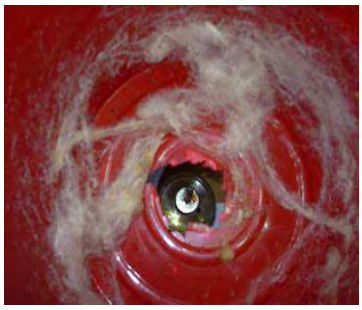
棉花糖自動收集器	
第一代自動收集器	第二代自動收集器
利用玩具車的軌道，讓小玩具車後面拖一個會摩擦軌道牆壁而旋轉的積木，然後當玩具車繞著軌道跑的時候，插在積木上的竹籤就會自轉又公轉的來收集棉花糖。 實驗成果：當棉花糖漸漸附在竹籤上面時，竹籤會因爲棉花糖的重量增加而失去平衡倒下去。	利用玩具電風扇接合四驅車輪胎框，前面可以插竹筷，當需要收集棉花糖的時候，就按下開關，竹筷就會快速轉動，我們就可以輕鬆的收集到棉花糖。 實驗成果：效果不錯，確實可以改善收集技巧，增加棉花糖的量。

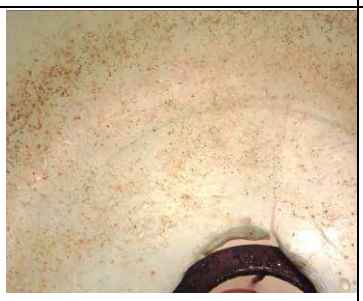
d.製作棉花糖時所需要的紙箱形狀

我們後來發現圓形的收集桶，可以提昇收集棉花糖的效率，因爲之前我們是使用長方形的紙箱，後來發現紙箱與鋁罐距離太近的話，甩出來的棉花糖有很多就直接黏在紙箱牆壁上，而且圓形的桶子也比較好收集棉花糖。

經過我們測試空瓶轉速最快可以達到一分鐘 6300 轉，加入糖後速度會下降大約 500～700rpm，接著進行我們的試驗

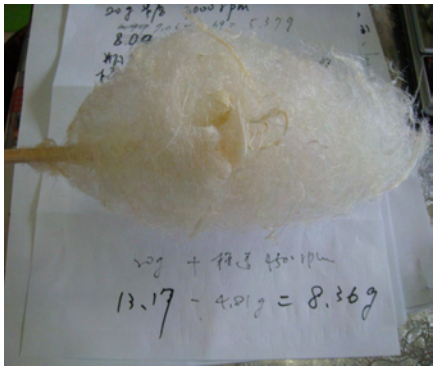
純糖類 20 克，加熱溶解到接近全熔狀態：

	白砂糖(冰糖)	赤砂糖	冬瓜糖
風扇轉速平均 5000～5600rpm	 瞬間產量超級多，可以完全產出，產量多，一瞬間就有大量的糖絲出來	 一瞬間就有大量的糖絲出來。但幾秒後便沒有動靜。糖絲細	 瞬間產量多，糖絲細，亦沒有糖珠殘留。
風扇轉速平均 4000～4500rpm	 可以完全產出，產量多	 糖絲綿密細緻，產出速度快	 產量居上下兩者之間
風扇轉速平均 3000～3500rpm	 慢慢的不斷不斷跑出來很細很像棉絮的棉花糖誕生了。產量較多 殘留少	 顏色比 2000～2500rpm 淡，絲比較細	 產量多，一邊加熱會不斷出絲。

風扇轉速平均2000～2500rpm	 糖絲慢慢的跑出，糖絲粗	 糖絲顏色較深，也較粗	 緩緩的有絲跑出來，等了很久只有少量產生。
風扇轉速平均1800～1500rpm	 緩緩的有絲跑出來，但佈滿了糖珠。	 甩不出來 只有糖漿跑出來	 甩不出來 亦只有糖漿跑出來
發現	過快出來的糖絲不易收集，以致影響產量。大約4500～4000rpm 最佳 最上面二種轉速範圍的方式都可以大量產生棉花糖，差別在於瞬間出來的量的差別。 (冰糖與白砂糖結果類似)	大約 4500～4000rpm 最佳 結果與白砂糖差異不大。	大約 5000～5600rpm 最佳，口味獨特，我們第一次吃冬瓜糖棉花糖，竟是我們親手做出來的，哇！真是太棒了。

 圖爲 5000～5600rpm 結果	紅糖： 轉速過慢時會噴出糖漿，2500rpm 轉時會噴出少量細絲，並容易烤焦。 大約在 3500rpm 時不易烤焦，出絲速度正常。 在 5000～5600rpm 時會大量噴出，但是沒有辦法再邊加熱邊溶解，過幾秒後便停止出絲。還是有糖漿噴出。

白砂糖 20g(接近全溶解) 轉速差異測試			
空瓶	加糖加瓶後	產量(克)	發現
5000～5500rpm	4500rpm	8.36	最快的風扇再加上糖跟罐子後無法超過 5500 的轉速
棉花糖外觀	糖絲細有些還會飄上去		
4000～4500rpm	4000rpm	9.03	
棉花糖外觀	糖絲細		
3000～3500rpm	3000rpm	5.37	
棉花糖外觀	糖絲細		
2000～2500rpm	2000rpm	3.08	
棉花糖外觀	糖絲稍粗		
1500～1900rpm	1500 rpm	2.1	轉速慢會甩出糖漿
棉花糖外觀	糖絲較粗而且有糖珠出現		



(2)可以設定時間就開始旋轉嗎？

砂糖 20g　熔解狀態差異測試　　轉速：4000rpm			
加熱時間	砂糖狀態	產量	發現
1 分鐘	未熔解	1.5g	砂糖尚未熔解，沒有甩出糖漿，只甩出砂糖。
1 分 30 秒	1/3 熔解	2.5g	產量增多，但仍有殘留不少未熔解的砂糖
2 分鐘	半熔解	6.0g	產量最多
2 分 30 秒	全熔解	2.3g	棉花糖顏色變深，甩出糖漿
3 分鐘	全熔解	2.0g	棉花糖顏色更深，甩出更多燒焦的糖漿

同樣的方式我們也做了 2000rpm、3000rpm，我們發現適合旋轉的時間並不適合量化，主要在於加熱方式不同、火力大小不同，造成誤差，而且砂糖溶解到燒焦的時間非常短暫。

不過也因爲多次的實驗發現糖在半熔解狀態適合 3000rpm 轉速，產量較多。

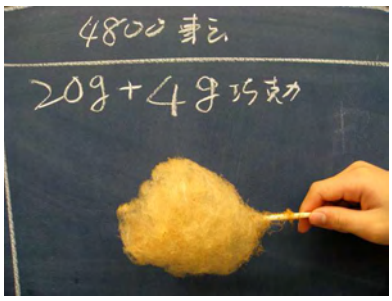
半溶解狀態

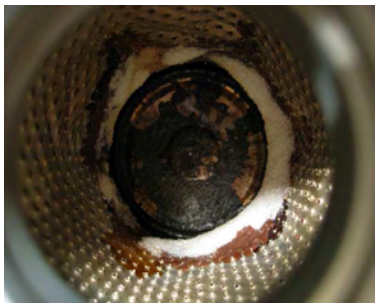
(3)糖加入添加物實驗

即使我們使用最快速的轉速，因爲剛開始旋轉沒有辦法一下子就達到最快的速度，糖漿仍然會噴出不少，還是會影響到產量，在實驗過程中，我們有發覺到只有純砂糖的糖漿幾乎都在罐子的下側孔洞中就全部甩出來，但是加了混合物的時候，會有很多是從上方孔洞跑出，所以改成下方預留一段空間再開始打洞的罐子實驗，結果真的能有效減少很多糖漿在轉速不夠時就甩出來的問題。

白砂糖 20 克，配合 2、4、6、8 克巧克力粉結果

	巧克力粉 2 克	巧克力粉 4 克	巧克力粉 6 克	巧克力粉 8 克	發現
風扇轉速平均 5000～5600rpm	產量平均 4 克 糖絲很細	產量平均 2.5 克 糖絲很細	產量平均 7.5 克	產量平均 2.5 克	轉速太快棉花糖噴出速度快不易收集。約在轉速 3000～3500rpm 產量最大，原因在於噴出速度適中捲起來容易。
風扇轉速平均 4500～4000rpm	產量平均 4 克	產量平均 3 克	產量平均 4.5 克	產量平均 4.5 克	
風扇轉速平均 3000～3500rpm	產量平均 7 克	產量平均 8 克	產量平均 8 克	產量平均 6.5 克	
風扇轉速平均 2000～2500rpm	產量平均 5 克	產量平均 1.5 克	產量平均 5.5 克	產量平均 2.5 克	
風扇轉速平均 1800～1500rpm	過慢 沒有出絲	過慢 沒有出絲	過慢 沒有出絲	過慢 沒有出絲	

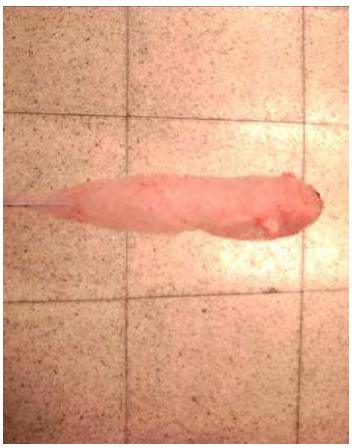
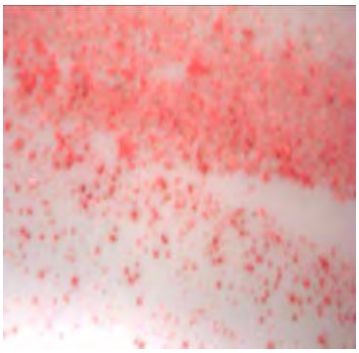




我們也有想到，是否巧克力糖漿會噴出多量在盆壁上，而不會變成絲是因爲糖絲不夠細，或遇冷凝固不夠快？

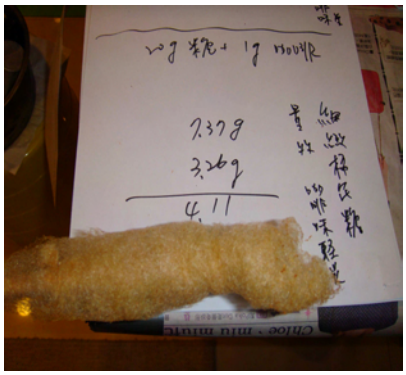
慢的轉速約 1500～1800 也可以轉出純糖糖絲，加入混合物的糖漿適合 3500 轉左右，太快瞬間產量多，容易黏在盆壁上。

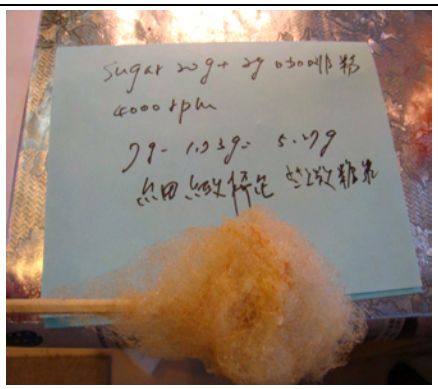
白砂糖 20 克，配合 1 克、1.5 克、2 克、2.5 克 草莓果凍粉結果

	果凍粉 1 克	果凍粉 1.5 克	果凍粉 2 克	果凍粉 2.5 克
風扇轉速平均 5000～5600rpm	可以完全產出，產量多，一瞬間 就有大量的糖絲出來。 (約有 5 克產量)	可以完全產出，產量多，一瞬間 就有大量的糖絲出來。 (約有 4 克產量)	產量約 4.5 克	平均產量約有 3 克
風扇轉速平均 4000～4500rpm	可以完全產出，產量多 (約有 6 克產量)	產量約 4 克	產量約 3 克	產量比下面的多一點，殘留多
風扇轉速平均 3000～3500rpm	產量較多 殘留少	產量約 3 克	產量少，約 2 克	只有一點點絲跑出
風扇轉速平均 2000～2500rpm	只有一點點絲跑出	只有一點點絲跑出	只有一點點絲跑出	甩不出來
風扇轉速平均 1800～1500rpm	過慢 沒有出絲	甩不出來	甩不出來	甩不出來
 發現：過快出來的糖絲不易收集，以致影響產量。大約 4000～4500rpm 最佳			 甩出的草莓果凍粉糖珠	

而果凍粉加入量越多，需要轉速越大，可能因爲越來越黏稠的關係。加入到 2 克以上就需要調整到最大轉速。

同樣的方式我們也試驗了各種不同的粉狀物與糖做結合：

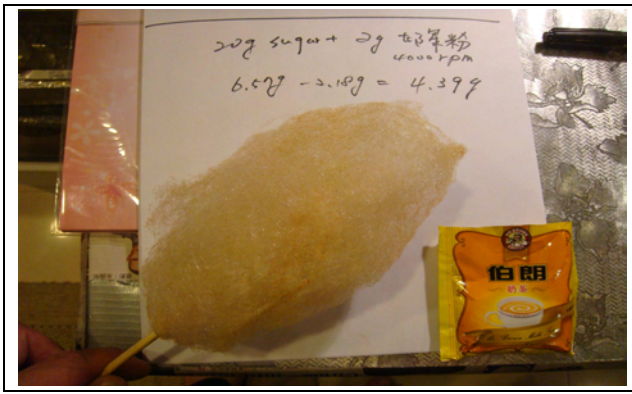




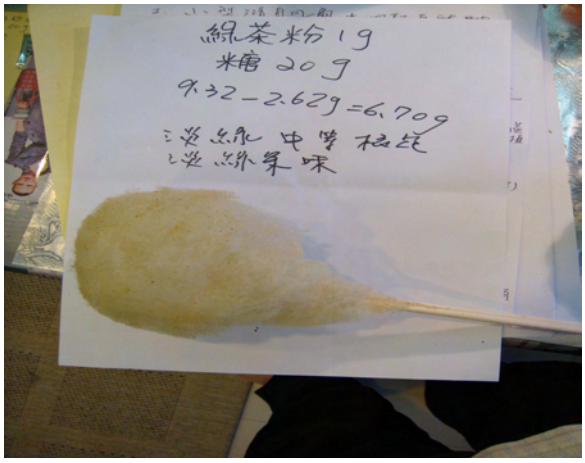
20g 糖加入 2g 即溶咖啡粉：

扣除筷子後，重量爲 5.27 克
有淡淡的咖啡香

加入 2.5g 咖啡粉後則太過黏稠，產量減少許多，味道則沒有太大差易。

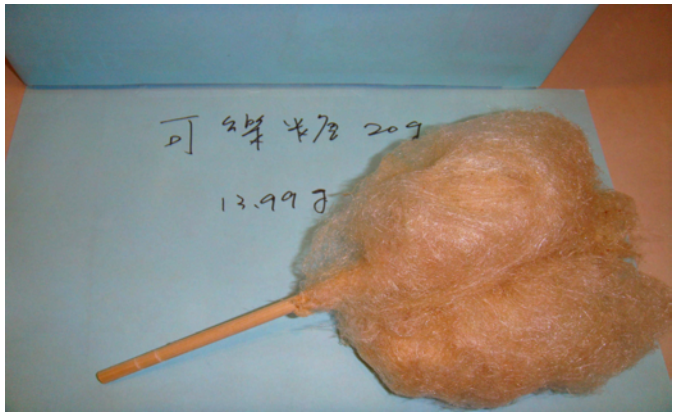


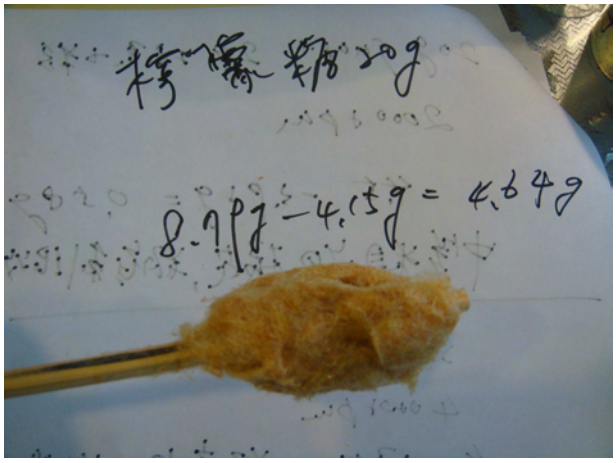
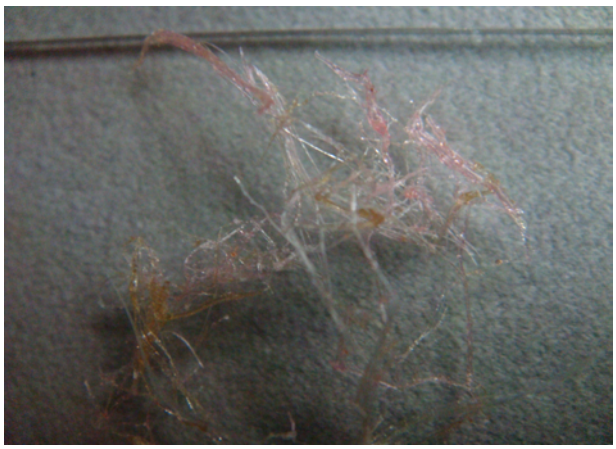
20g 糖加入 2g 奶茶粉：
扣除筷子後，重量爲 4.39 克
也吃的出奶茶香味
超過 2g 則太過黏稠、產量下降。
發現：
糖絲帶有混合物時的轉速至少要超過 3000rpm，推測原因在於加入混合物後，糖漿變的黏稠了。



太棒了，加入綠茶粉也可以做出有綠茶香味的棉花糖。
產量約有 6.7 克。

糖果熔化也是糖漿，可以甩出棉花糖嗎？我們也做了下面的試驗：



<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td> 
</td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>  </td>
<td>黑糖肉桂糖果所做出的棉花糖味道極香；

枇杷膏糖所做出的棉花糖也有清涼的效果

巧克力乳糖也可以甩出一條條的巧克力乳絲，但一點都不綿。

左圖爲梅子糖果所做出的棉花糖絲。</td>
</tr>
</table>

不同開口罐子設計

1.上馬達驅動
- 圓孔洞
  - 全打洞
    全打洞適合轉速慢，糖於半溶解狀態。
  - 上半打洞(底部預留 3cm)
    上半打洞適合轉速快，糖於接近全溶解狀態。
  - 下半打洞
    不適合，有許多糖漿會超過打洞的高度。
- 扁細長切縫
  仍然可以順利產出棉花糖

2.下馬達驅動
- 上半大開口不打細洞
- 上半大開口打細洞

差別不大，上方平面以 1cm 最佳，轉速夠則糖絲就可以跑出來。

棉花糖機演變史歷程回顧：

改善體積問題

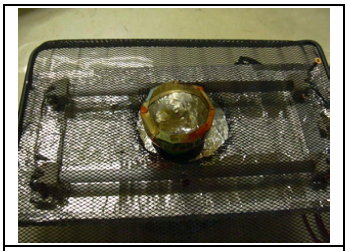
馬達固定在木板上容易造成無法平衡而轉速過慢。

接應線容易掉，造成馬達脫落。

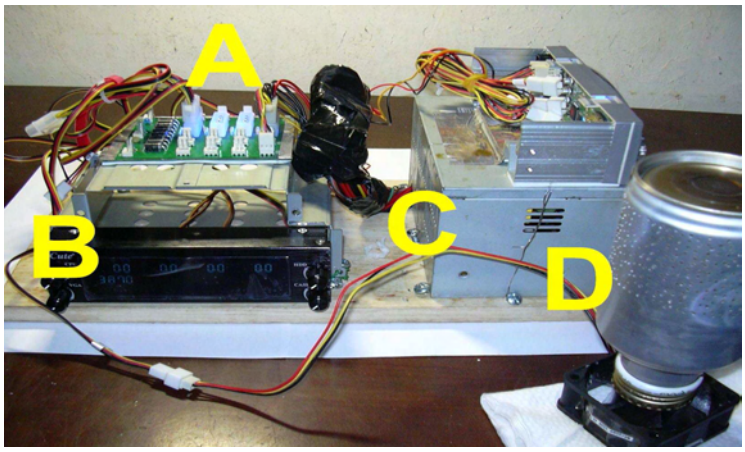
第四代完成品
可方便攜帶，操作容易，是我們獨創的發明，唯獨轉速不夠快試驗巧克力棉花糖。

利用相同原理而做出的基座，增加電壓失敗

改成開口朝上設計，但無法從側邊加熱。



搭配烤麵包機的電熱石英管，但熱源不易集中，也危險。



我們的最終型棉花糖機完成了，空瓶轉速最高可達 6300rpm，也可以微調轉速，真是我們實驗的好幫手。

A. 多段電壓輸出 pc 板	轉換電壓提供電力給調速器。
B. 散熱風扇轉速微調/溫度監控器	可以看出現在風扇轉速並加以調整。
C. 舊電腦電源供應器。	接市電以提供電力來源。
D. PC 散熱風扇	接上我們的罐子當成旋轉工具

陸、討論

看似不難的棉花糖形成原理，在經過深入的研究之後，我們才發現影響棉花糖產量的因素是這麼的複雜。罐子打孔的高度也會影響產量，開始旋轉的時間因爲與糖漿的溫度及糖漿的流動性有關，就必須調整轉速。酒精燈的火焰大小，也會改變加熱時間的長短，轉速過快，加熱不易也會減少糖漿的量，進而影響產量。甚至於收集棉花糖的技巧也會影響產量。

接著我們把各種研究的關鍵問題整理如下：

1. 各種糖種類或混合物影響棉花糖形成的原因？

紅糖內含有其他物質，轉速太低容易烤焦，需維持在 3500rpm 以上較佳，或其他不同添加物加入則要看混合後的糖漿粘稠度，流動性太差就不會產生糖絲；例如我們做過以 20g 白砂糖加 2.5g 即溶粉咖啡粉就太過黏稠，巧克力卻可以加到 8 克，其他不同混合物則不盡相同。

2. 加熱熔化情形，何時開始旋轉？

純糖類適合在半熔狀況下旋轉，邊轉邊加熱；加入混合物的時候，因爲糖的熔點和混合物不同，一起加熱容易燒焦，適合在糖接近全熔時加入混合物混合旋轉。

3. 轉速快慢的主要差別？

轉速快慢的主要差別在於轉速快瞬間產量大，糖絲細，但加熱不易；轉速慢則瞬間產量小，糖絲粗，特別是添加混合物後轉速不能太慢會容易烤焦。

4. 罐子開口樣式與口徑大小、位置、數目的影響？

開口樣式：上方開口的方式比較不會噴出糖漿；下方開口要不噴出糖漿則要配合糖的溶解狀態和轉速。

孔徑大小：不會影響全部產量，但會影響糖絲粗細。而糖絲粗細也跟轉速和糖漿的溫度有關，糖漿快凝固時轉出的棉花糖很粗。

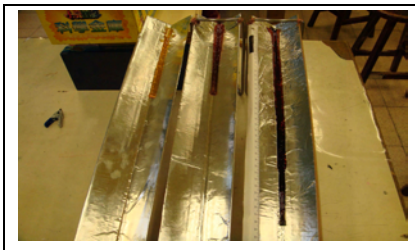
孔徑數目：影響糖漿甩完的時間，我們推論口徑數目多，則糖漿跑出來的出口多，所以快。口徑數目少則糖漿跑出來的出口少，像排隊似的等待跑出來的機會。

孔徑位置：以全打洞和上半打洞的方式最適合。

5. 爲何孔徑設計於上半打洞的方式呢？

我們實驗時一開始會噴出糖漿(糖漿爲全熔態)，所以想到了保留一段高度再開始打洞，經過試驗爲 3cm 最佳，太高糖漿會跑不上去；但是我們也覺得很奇怪，我們使用最快的風扇來試驗時，雖然一開始沒有辦法達到最快轉速，但也有 2500rpm 的轉速，速度不慢才對，爲什麼還會噴糖漿呢？後來才發現跟糖漿溫度有關係，當我們用半熔態，糖漿溫度沒有那麼高時，就可以幾乎沒有糖漿跑出來了。全熔態會噴糖漿是因爲糖漿溫度太高，出來後沒有辦法馬上凝固。而孔徑設計於上半打洞的方式，可以阻止過熱的糖漿噴出，糖漿在裡面高速旋轉時，也有降溫效果。

(1)半熔態　188 度	(2)接近全熔態　190 度	(3)完全熔解　197 度	(4)再煮沸　215 度

	左側爲(2)圖糖漿，中間爲(3)圖糖漿，右側爲(4)圖糖漿做出 3 個同樣斜道，倒入(2)、 (3) 、(4)圖糖漿均 20 克，發現(4)圖的糖漿滑下距離最遠，最難凝固。 我們在烤糖時若不小心加熱過度，可能就會變成(4)圖糖漿情形，而造成甩出糖漿不易遇冷成絲。

6. 收集棉花糖的方式和技巧有影響到產量嗎？

我們看過外面賣棉花糖的伯伯是把竹籤平放在罐口附近，便可以開始旋轉收集，而我們的棉花糖收集方式適合把竹籤垂直靠在盆邊旋轉，主要原因在於糖絲出現的方式不一樣，開口向上的糖絲是平行一遍的出現，而我們的是垂直一遍出現。

7. 糖果做成的棉花糖爲什麼比較有型？

我們發現糖果做成的棉花糖比我們用砂糖做的棉花糖來的不容易遇冷縮小，是不是糖果內有添加什麼特殊膠質呢？

8. 我們可以先自製巧克力糖塊，再放入機器做成棉花糖嗎？

我們在做實驗的時候有想過先做成不同比例的巧克力糖塊、咖啡糖塊，以方便做試驗，可是結果是混合好凝固後，再加熱熔解，又很容易燒焦。可是我們的糖果熔解爲什麼會成功呢？可能因爲糖果加的原料大部分都是糖跟色素以及香料吧！

柒、結論

1. 我們找出各種添加物適合加入的量以及該配合的轉速。且控制好糖熔解情形和所該使用的罐子種類，做出不同口味產量最多的棉花糖。也做出市面上沒有人有的巧克力棉花糖，甚至於咖啡、綠茶…等口味的棉花糖，或是天然ㄟ最好的枇杷膏棉花糖，希望可以帶給大家更多的歡樂，和不一樣的棉花糖滋味。

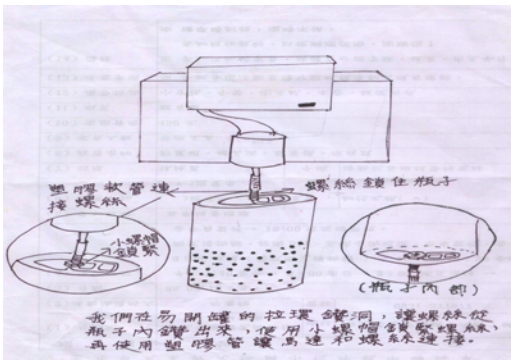
2. 利用舊電腦不要的電源供應器和散熱風扇，就可以打造我們專屬的多功能棉花糖機，既經濟又環保，也發現了許多之前 DIY 自製棉花糖機的同學所沒有發現的問題，跟市售的比較起來：
   市售的機器不可調整轉速；
   而我們的機器更可以調整轉速並讀出數值，更方便於我們量化添加不同比例混合物後，所做出的棉花糖它需要的轉速。從實驗結果得知許多寶貴的數據，讓大家可以做出想要的棉花糖。

展望：或許未來專家和醫生可以研究如何把藥粉和糖漿混合，做成棉花糖，讓小朋友吃藥的時候不再是一件痛苦的事情，應該是個不錯的點子喔！

捌、參考資料

1.科學爆米花: 鄭雪芬譯　遠哲科學教育
2.熱力超感應: 張玲霞著　泛亞文化
3.動力與應用: 東方編輯 東方出版社
4.機械構造解剖圖鑑: 世茂出版社　和田忠太著
5.第 43 屆全國科展國小組生活應用類『棉花糖製造機』
6.第 47 屆全國科展國中組生活應用類黏綿到天邊-棉花糖製作研究

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>用圖釘鑽孔</td><td>第一次轉出棉花糖，真令人興奮</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>正在製作實驗用的鋁罐鍋</td><td>剪貼鑽孔貼紙，利用它來測試鑽孔數量實驗</td></tr>
</table>

小心慢慢的加入砂糖	棉花糖的產量慢慢增加了
測試懸吊式的馬達穩定度	我們會自己做棉花糖了
用原子筆畫線法測量轉速	加熱熔解糖漿和混合物
	
我們學會用焊接的方式連接馬達和電線了	同學的討論構思圖 (沒有在報告中使用的設計)

【評語】080818

本作品研究各種自製的棉花糖機，希望改善自行設計各代棉花糖機的缺點，以製作出不同口味的棉花糖。作品中實驗找出棉花糖產出的影響，最後的結果好玩，好吃，但稍欠科學研究創新的精神。