

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 理化科

佳作

031609

死也要吃的光速巧克力棉花糖

學校名稱： 高雄市立旗津國民中學

作者：	指導老師：
國二 葉誠元	張祐綜
國二 陳世銘	
國二 張韋慶	

關 鍵 詞：光速、微波、電磁波

附件五：作品說明書內文

作品名稱：死也要吃的光速巧克力棉花糖

摘要

課本第四章提及：光速是速度的極限，許多科學家嘗試測量光速。本研究利用微波爐的電磁波特性簡易測量光速。

微波屬於電磁輻射，速度與光速相同。當微波爐加熱含水分又可融化的物質，如巧克力、日式棉花糖，其局部融化點間的距離便可計算出電磁波長；配合微波頻率，便可計算電磁波速度。

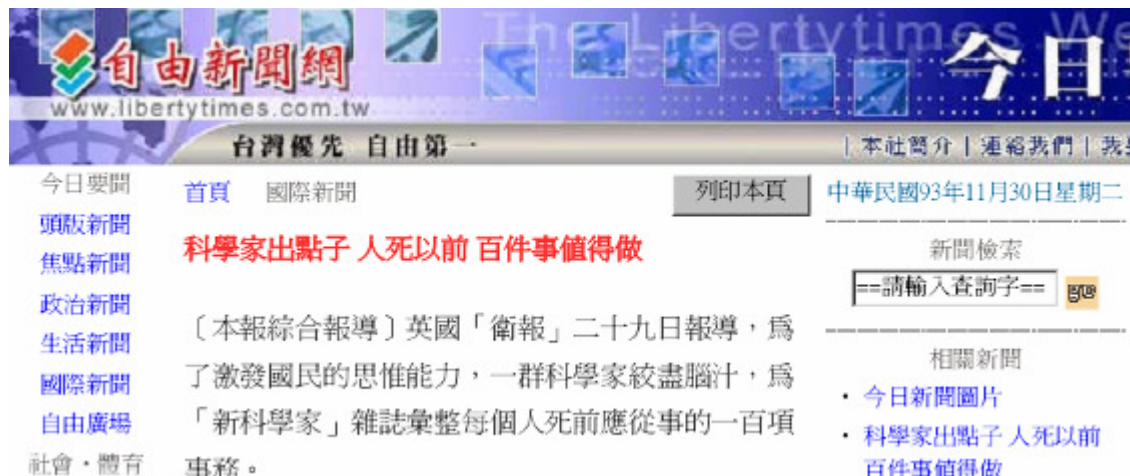
研究過程中，得到以下成果：

1. 改造微波爐運轉與電源控制機制，能測量熱點距離。可利用保鮮膜記錄熱點距離。
2. 微波爐測量熱點間距離應為微波波長的一半。
3. 利用巧克力測量光速結果，誤差在 10% 以內。
4. 改變介質（巧克力浸泡在沙拉油中）會影響電磁波速度，因此波長也隨之改變。

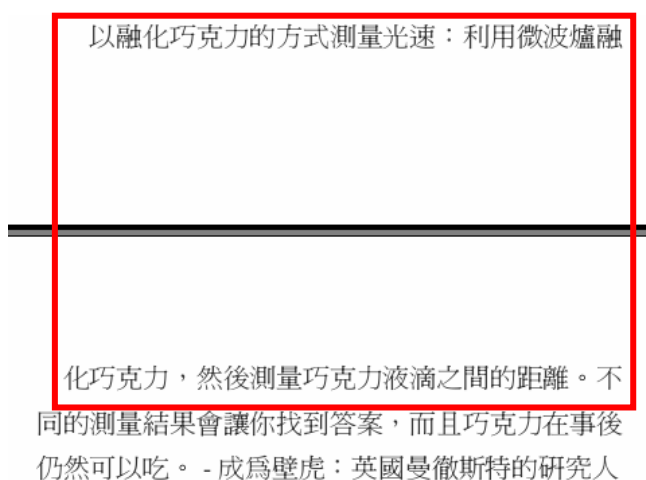
壹、研究動機

老師上課到「4-1 光的傳播與光速」^(一)時，曾提出一個問題：「光會不會轉彎？」有些同學說「折射」就是課本上提到的光轉彎現象，原因是不同介質中有不同速度。老師要我們想想，如何測量光速？有沒有簡單的作法？

我在網路新聞看過相關報導，便和同學搜尋出下列新聞報導（圖一、圖二^(二)）。



圖一 93/11/30 科學家出點子



圖二 93/11/30 以融化巧克力的方式測量光速

這個新聞報導很有趣，又符合我們的教材，我們便想進一步實際做做看。當我們拿給老師後，老師也很感興趣。「可是五句話而已，你們必須找到更多線索才能進行研究！老師可以提供實驗器材，可是重點是你們要實際動腦，不要只看到巧克力就感興趣！」有了老師支持，我們便嘗試以融化巧克力的方式測量光速。

貳、研究目的

本實驗之目的在於利用微波爐，以融化巧克力的方式進行光速的測量。進而應用在巧克力之外的各種材料上，提高實驗的應用範圍。我們也希望了解下列情況與應用可能性。

- 一、探討運用微波爐測量電磁波速度的設備應該如何設計。
- 二、探討運用微波爐實驗測量結果運算出電磁波速度的可行性。
- 三、探討運用微波爐測量電磁波速度時，應用不同熱融素材（巧克力與棉花糖）之差別。
- 四、探討運用微波爐測量電磁波速度時，套用不同介質（空氣、沙拉油）之差別。

參、研究設備及器材

一、素材：



圖三 巧克力



圖四 日式棉花糖



圖五 沙拉油

二、儀器設備：微波餐具、數位相機。



圖六 微波爐 1 號(旋鈕開關)



圖七 (!微波頻率 2450MHz!)



圖八 微波爐 2 號(電子儀表)

三、耗 材：保鮮膜、油性筆。

肆、研究理論探討

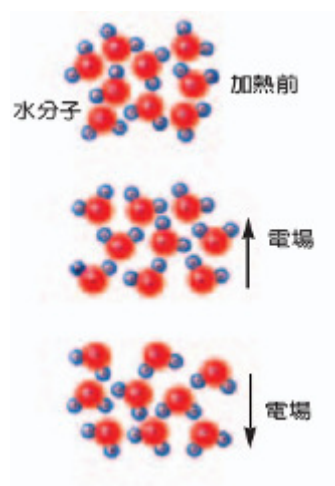
一、電磁波、微波與光速^(三)

電磁波以波動方式光速前進。電磁波的頻率，從幾個赫茲以下，一直到 10^{24} 赫茲以上，範圍很廣。整個頻譜區可大致分為長波、無線電波（無線電波中包括了微波），還有紅外線、可見光、紫外線，接著還有 X 光等。微波爐所應用的微波，其速率也應該等於光速。

二、微波爐加熱原理

水分子的電偶極通常排列非常紊亂。然而當微波爐作用時，槽內電場產生；水分子在電場中受到力矩作用，電偶極就會朝著電場方向排列。當方向不斷改變時，水分子方向也就一直改變，不斷打轉。當水分子旁邊有其

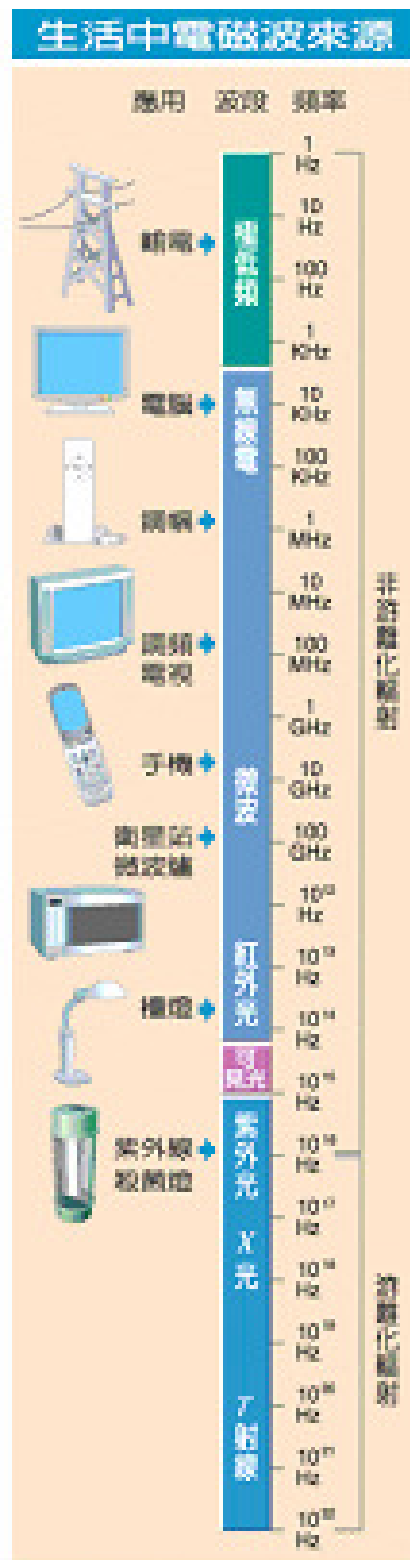
他物質，便會擦撞因而摩擦生熱。這就是微波爐加熱原理。要用微波爐加熱食物，最好選用含水分



圖十 水分子在微波中的轉動

各項食品。

微波加熱不但要使微波能夠進到食物，還要能被吸收。頻率太低，大部分都穿透過



圖九 生活中電磁波來源

食物；頻率太高，在表面就被吸收，進不到裡面。微波頻率（大約 2450MHz）就是在這個條件下所選擇的專用頻率。

三、光速的測量

光在真空的傳播速度，在物理學中是極基本重要的物理量。伽利略以測聲速的方法測定光速；隆美耳利用地球的公轉軌道直徑長度與木星的衛星之兩次成蝕週期的變化以測定，都無法得到準確數據。而後續的菲佐、傅科利用測頻儀；邁克生利用八面鏡測量光速所得結果 $C = (2.99796 \pm 0.00004) \times 10^8$ 公尺/秒。近代則有下列具體發現：

- (一) 近年來許多測量發現，用各種方法產生的光或電磁波，在真空中的速度均為 $C = (2.997924581 \pm 0.000000004) \times 10^8$ 公尺/秒。
- (二) 光在透明物質中速度，較在真空中為小，且與其顏色(波長)有關。
- (三) 光由一介質進入另一介質時，光速、波長及傳播方向都會改變，唯獨頻率不變。

伍、研究設計與操作過程

為達成以微波爐融化巧克力的方式進行光速的測量目的，本研究過程分為下列階段：

- 一、設計用微波爐測量電磁波速度的設備。
- 二、實際運用測量結果計算電磁波速度。
- 三、應用不同熱融素材於微波爐測量電磁波速度。
- 四、探討運用微波爐測量電磁波速度時，套用不同介質（空氣、沙拉油）之差別。

一、研究一：設計用微波爐測量電磁波速度的設備

新聞中僅有「以融化巧克力的方式測量光速：利用微波爐融化巧克力，然後測量巧克力液滴之間的距離。不同的測量結果會讓你找到答案，而且巧克力在事後仍然可以吃」五句話，因此我們決定找出原文，嘗試得到更進一步線索。經由 Google 搜尋發現英國衛報網站（www.guardian.co.uk）仍舊刊有原文。



Turn yourself into a diamond: tips from science on a good life, and death

Martin Wainwright
Monday November 29, 2004
[The Guardian](#)

Search Science

A thinktank of British scientists has come up with a new way of quickening the national intellect - a brain-taxing spin on the old formula of 100 things to do before you die.

Before you die: 100 things you simply must do

Measure the speed of light by melting chocolate in microwave oven hotspots and measuring the distance between globs. Various calculations produce the answer and you can still eat the chocolate afterwards.

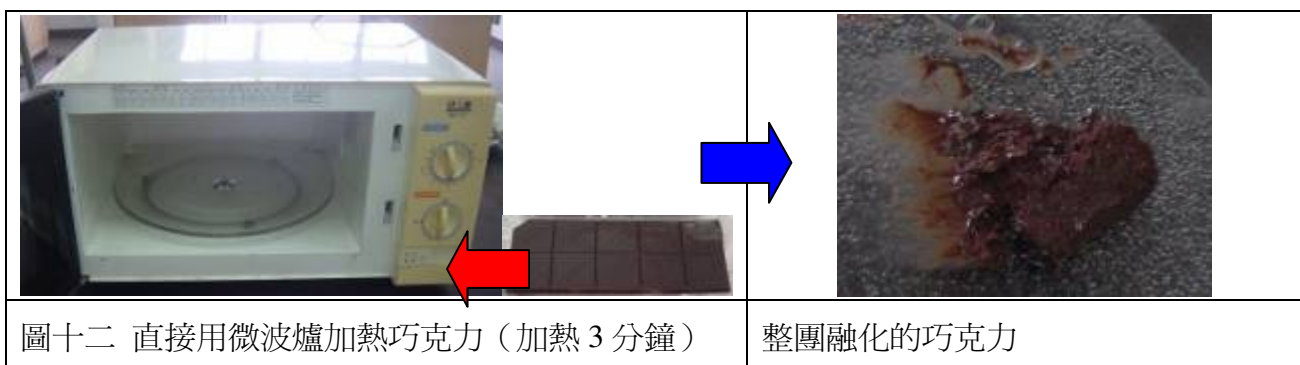
Be a gecko.

Researchers in Manchester have almost succeeded in developing Velcro-like pads to fix to the feet of volunteers who will then be able to scuttle over the town hall or the Guardian's northern headquarters like lizards, with no risk of falling.

圖十一 「死前該作的百件事」原文

原文同樣僅有幾句話！不過 **hotspot**（熱點）與 **glob**(液滴)這些單字，倒是讓我們想到「微波爐中的巧克力是如何開始融化的？」「開始融化的點之間有什麼關係？」於是我們實際用微波爐加熱巧克力！

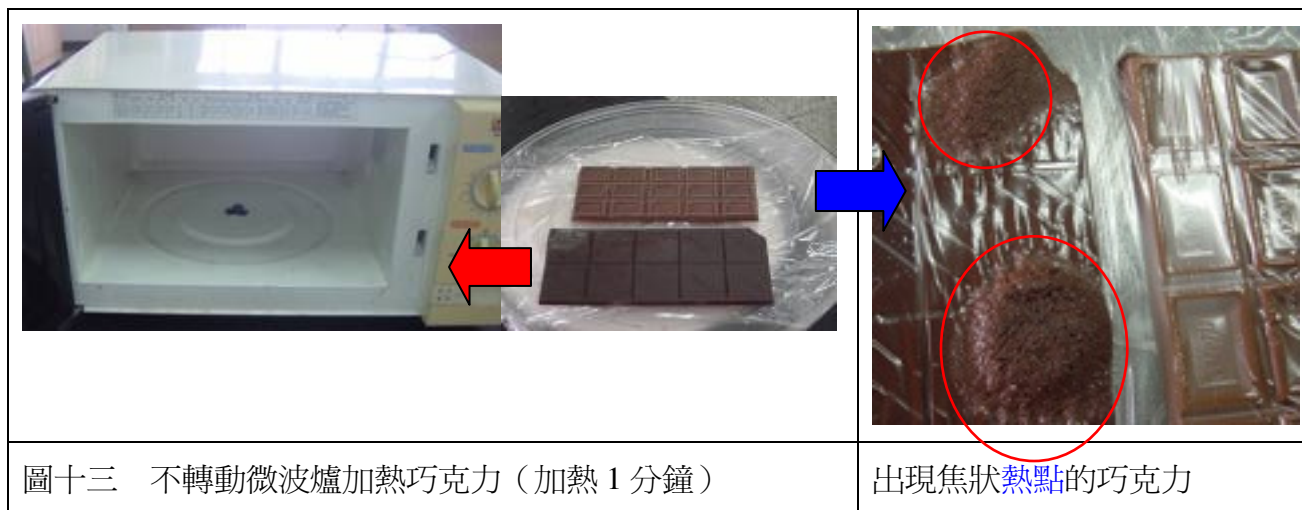
(一) 測試實驗



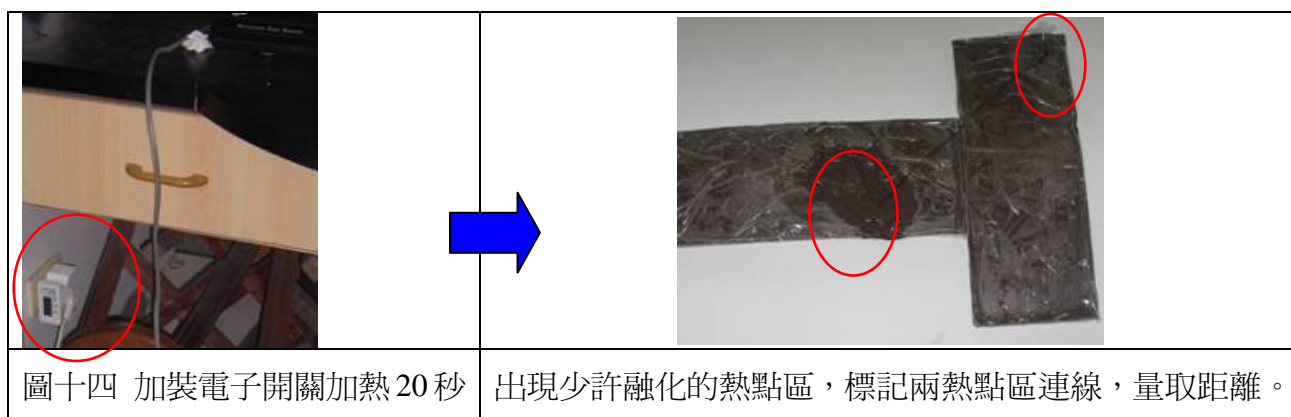
圖十二 直接用微波爐加熱巧克力（加熱 3 分鐘）

整團融化的巧克力

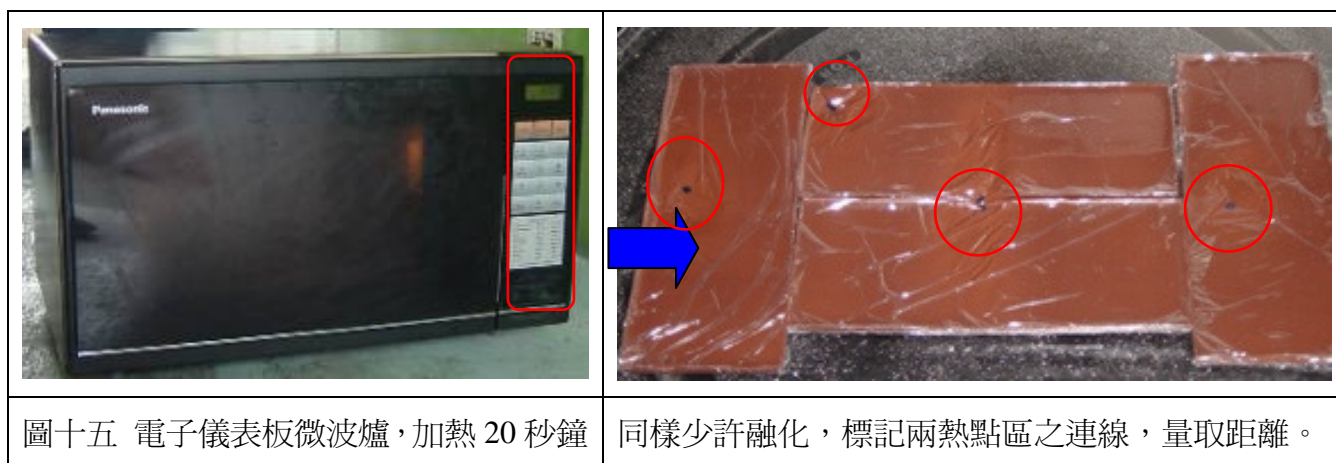
(二) 調整不轉動：測試實驗後，讓微波爐中的轉盤不旋轉（去除環圈並以三角溝爪微波餐盤墊高），並包覆保鮮膜。



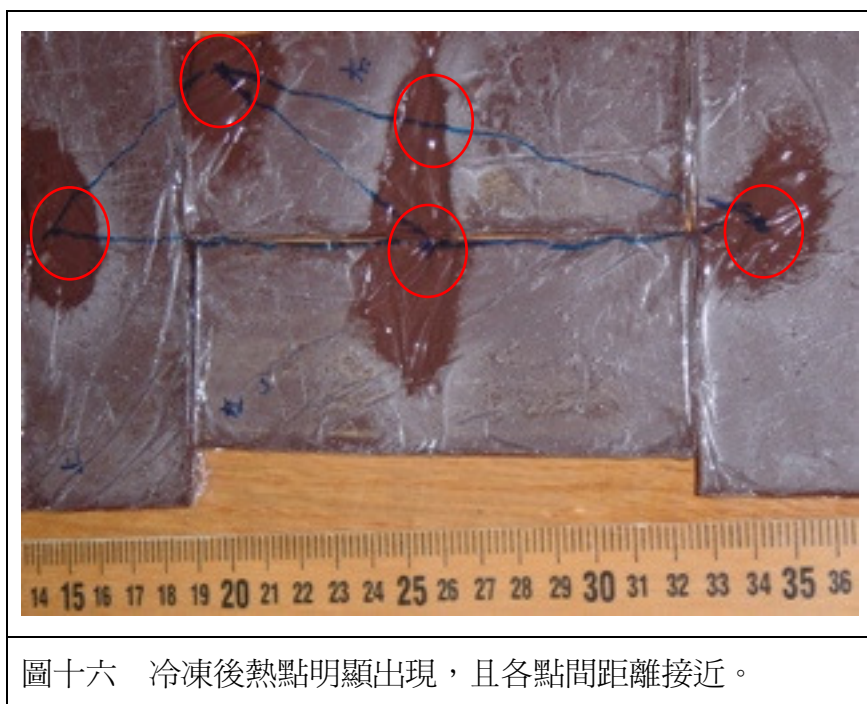
(三) 減少加熱時間：由於微波爐加熱旋鈕僅能控制到最少一分鐘，因此加裝電子開關，減少加熱時間至 20 秒，觀察較平整的背面：



(四) 電子計時：改用附有電子計時儀表版的微波爐，減少加熱時間至 20 秒，觀察較平整的背面：



(五) 急凍現形：將巧克力冷凍，有特殊發現

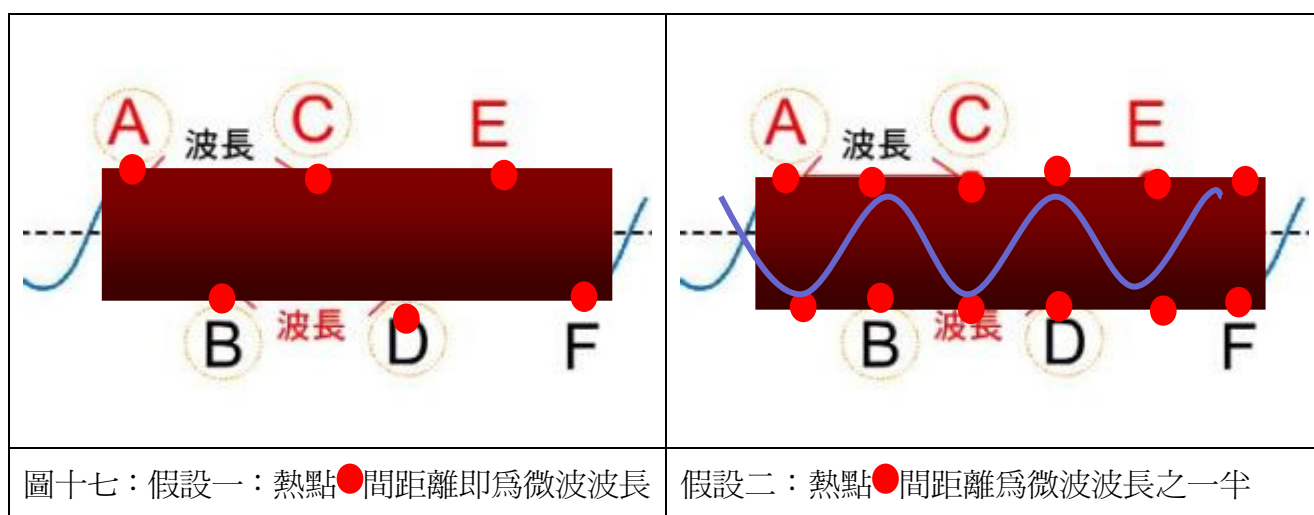


圖十六 冷凍後熱點明顯出現，且各點間距離接近。

二、研究二：實際運用測量結果計算電磁波速度

「測量巧克力液滴之間的距離。不同的測量結果會讓你找到答案」所指的測量法究竟為何？根據「波速＝波長 X 頻率」的公式，由微波爐的微波頻率 2450MHz 乘上微波波長便可得到微波波速，亦即電磁波的速度＝光速！

問題在於微波波長如何決定？



圖十七：假設一：熱點●間距離即為微波波長

假設二：熱點●間距離為微波波長之一半

藉由多次實驗結果計算，假設一或假設二何者較正確。

三、研究三：應用不同熱融素材測量電磁波速度。

含有水分且可遇熱融化的物質，理應可以代替巧克力測量微波波長，因此以日式棉花糖作為替代素材進行測試。

	
圖十八-1 日式棉花糖（高低不平）	圖十八-2 施加外力整平，使高度相同
	
圖十八-3 平整的棉花糖	圖十八-4 棉花糖熱點膨脹情況
	
圖十八-5 由棉花糖上剝離之保鮮膜，熱點沾黏明顯，方便測量。但分佈非常不均勻。	

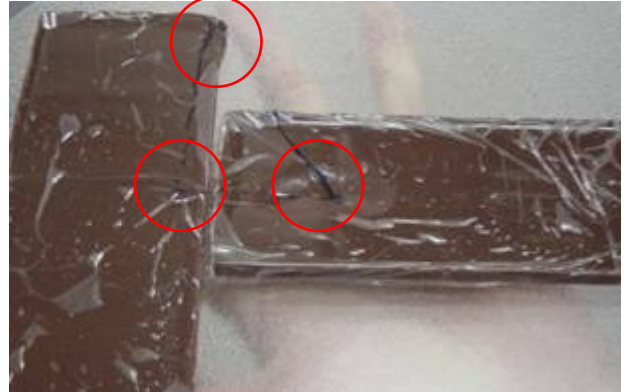
同樣比照研究二巧克力的計算方式得出光速，比較差異。

四、研究四：探討運用微波爐測量電磁波速度時，套用不同介質（空氣、沙拉油）之差別

由於光速會隨介質不同而改變，因此利用巧克力浸入沙拉油測試。



圖十九 浸入沙拉油再進行微波



出現少許融化的熱點區。

陸、研究結果與記錄

一、研究一：巧克力受熱融化之熱點間距紀錄方式：將各熱點間距離紀錄，取最大公因數，即為基礎間距。重複實驗數次，求取平均值。

表一 巧克力熱點測量統計表(cm)

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
圖十二	無法測量（全部融化）					
圖十三	5.85	燒焦（不再進行）				5.85
圖十四	12.10	12.00	6.10	6.10	12.10	6.05
	12.20	12.10	6.10	6.10	6.10	6.09
	6.00	6.10	12.20	12.20	6.10	6.09
	6.10	6.10	12.10	12.20		6.08
	12.20	12.20	6.15	6.10		6.11
	平均					6.08
圖十五	6.00	12.20	6.50	18.30	5.90	6.11
	10.50	10.20	10.70	21.00		5.82
	平均					5.97
圖十六	5.90	12.00	6.40	17.80	5.80	5.99
	10.20	10.10	10.50	20.30		5.68
	平均					5.83

二、研究二：實際運用測量結果計算電磁波速度。

表一各組之基礎間距套用至圖十七之假設一：「熱點●間距離即為微波波長」及假設二：「熱點●間距離為微波波長之一半」，求得波長並計算光速。例：基礎間距=5.85 cm= 5.85×10^{-2} m，假設一波長= 5.85×10^{-2} m，頻率=2450MHz= 2.45×10^9 Hz，假設一光速= 5.85×10^{-2} m X 2.45×10^9 Hz = 1.43325×10^8 m/s，與光速 2.9979×10^8 m/s 偏差為-52.19%

表二 電磁波速度試算表

組別	基礎 間距 (cm)	假設一 波長 (m)	假設一 光速 (m/s)	與理論光 速偏差 (%)	假設二 波長 (m)	假設二 光速 (m/s)	與理論光 速偏差 (%)
圖十三	5.85	5.85×10^{-2}	1.43325×10^8	-52.19	1.17×10^{-1}	2.8665×10^8	-4.38
圖十四	6.08	6.08×10^{-2}	1.4896×10^8	-50.31	1.216×10^{-1}	2.9792×10^8	-0.62
圖十五	5.97	5.97×10^{-2}	1.46265×10^8	-51.21	1.194×10^{-1}	2.9253×10^8	-2.42
圖十六	5.83	5.83×10^{-2}	1.42835×10^8	-52.36	1.166×10^{-1}	2.8567×10^8	-4.71

由表二可得知假設二：熱點●間距離為微波波長之一半是較為正確之假設。而依此假設所計算出之光速偏差值皆小於 5%。

三、研究三：應用不同熱融素材於微波爐測量電磁波速度

應用日式棉花糖代替巧克力，將各熱點間距離紀錄，取最大公因數，即為基礎間距。重複實驗數次，求取平均值。再利用假設二，求得波長並計算光速

表三 棉花糖熱點測量統計表(cm)

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
圖十八	19.60	7.50	13.40	6.00	4.50	1.50
	10.70	11.80	6.50	15.20	11.5	1.33
平均						1.41

以棉花糖為熱融素材時，波長 $=1.41 \times 2 = 2.82 \text{ cm} = 2.82 \times 10^{-2} \text{ m}$ ，光速 $=2.82 \times 10^{-2} \text{ m} \times 2.45 \times 10^9 \text{ Hz} = 6.909 \times 10^7 \text{ m/s}$ ，與理論光速 $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ 偏差為 -76.95%。明顯有過大偏差。

四、研究四：探討運用微波爐測量電磁波速度時，套用不同介質（空氣、沙拉油）之差別。

光會隨著介質而改變光速與波長，因此當巧克力浸入介質密度較大的沙拉油之時，理論上光速勢必變慢。而此時利用微波熱融巧克力的情形如下表：

表四 巧克力浸入沙拉油熱點測量統計表(cm)

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
圖十九	10.20	5.00	5.20	10.30	10.30	5.13
	10.30	5.10	5.00	10.30	10.00	5.09
平均						5.11

以沙拉油為介質時，波長 $=5.11 \times 2 = 10.22 \text{ cm} = 1.022 \times 10^{-1} \text{ m}$ ，光速 $=1.022 \times 10^{-1} \text{ m} \times 2.45 \times 10^9 \text{ Hz} = 2.5039 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，與理論光速 $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ 偏差為 -16.48%。

此種光速下降的表現符合理論。

柒、討論

一、熱點間距之測量方式的討論：

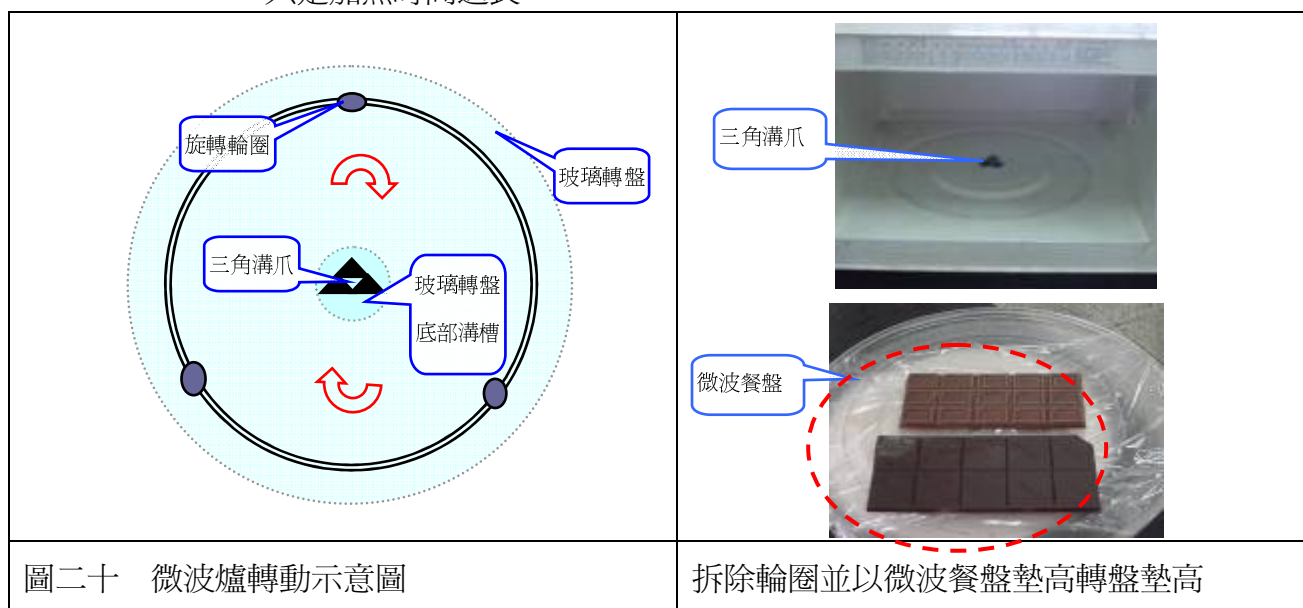
巧克力的熱點間距離，是為本實驗之最重要數據。測量得到熱點間距，便能得到微波之波長，配合微波爐的微波頻率 2450MHz，便能經由「波速=波長 X 頻率」而計算出微波速率，也就是電磁波的速度，光速。

而研究一的重點，在於如何有效量取熱點間距。試探討實驗結果如下：

- (一) 測試實驗（圖一）中，直接用微波爐加熱巧克力（加熱 3 分鐘），結果巧克力全部融化成一團，並沒有熱點的出現。推測原因有二：

1. 微波爐加熱時的轉動造成均勻受熱。
2. 加熱時間太長。

(二) **改造微波爐旋轉機制**：為解決轉盤轉動造成均勻受熱的影響，我們研究微波爐內部的旋轉機構，發現是利用三角溝爪鉤住玻璃轉盤，在旋轉輪圈上旋轉，因此我們將旋轉輪圈拆除，並以微波餐盤墊高玻璃轉盤以脫離三角溝爪。實驗結果出現整塊軟化焦狀熱點的巧克力，表示巧克力的確出現熱點，只是加熱時間過長。



(三) **改造電源控制**：進一步解決加熱時間過長的影響。微波爐 1 號的加熱旋鈕最低僅能控制一分鐘左右，我們加裝外接電源控制器以控制加熱時間。老師後來也搬來家中的微波爐，可直接由電子儀表版控制以秒為單位的加熱時間。



(四) **熱點標記方式**：由於必須測量巧克力受熱融化點之間的距離，如何定位這些融化點就是一大重點。巧克力表面已軟化，無法直接劃記，因此我們討論兩種紀錄方式：

1. 以大頭針插在巧克力上。表記點明確、顯眼。
2. 巧克力外包覆保鮮膜，用油性筆劃記在保鮮膜上。

然而老師提醒我們：根據現行科學展覽規則，**評審或展出時，不可以有食物！**

因此我們便以保鮮膜作為記錄工具。保鮮膜更在後續的實驗記錄整理中發揮以下優點：

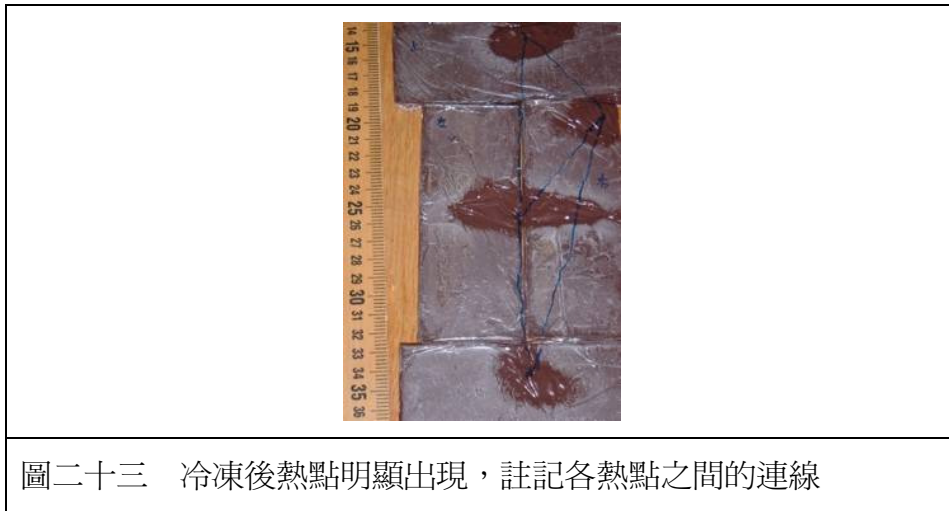
1. 保鮮膜可於實驗後拆除整理平整，收集在資料夾中，作為實驗記錄整理。
2. 保鮮膜不易像巧克力般融化變形，或是發霉！
3. 保鮮膜在以棉花糖為熱融素材的實驗，可以便利整型（調整同一高度），而膨脹後的棉花糖會在保鮮膜上有沾黏，也便利觀察。

（五）**熱點距離量測方式：**

1. 巧克力開始融化的熱點，通常是一小塊的區域，因此在包覆保鮮膜測量的情況之下，以量測背面的平整面較為可行，也就是保鮮膜包覆巧克力時，背面不要有太多皺摺。

	
圖二十二-1 正面不易測量	圖二十二-2 皺摺過多
	
圖二十二-3 背面較平整容易測量	圖二十二-4 先以背面包覆

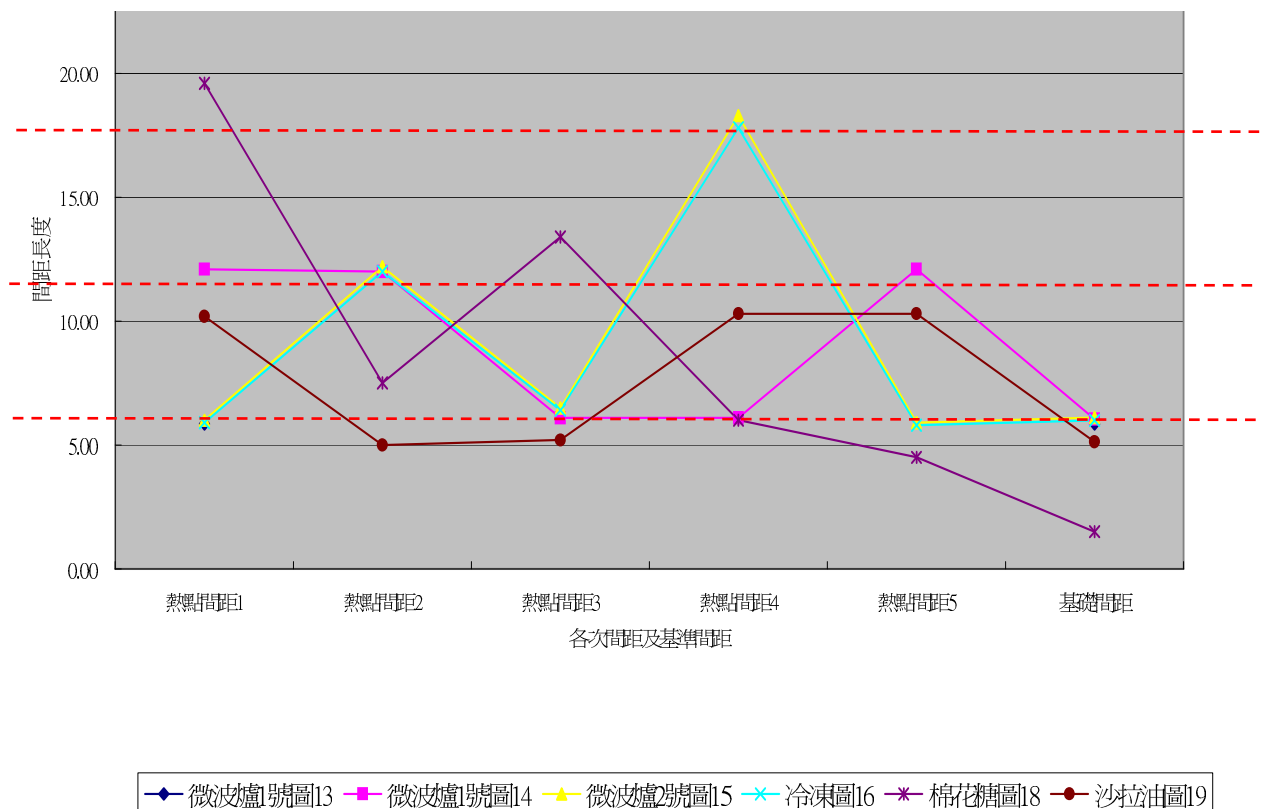
2. 當使用多塊巧克力時，註記各熱點之間的連線，可量測更多數據。



3. 如圖二十三所示，將實驗後巧克力加以冷凍，會明顯浮現熱點區。然而，考慮到保鮮膜因此而產生溫度改變，造成熱漲冷縮，影響測量的準確，我們在實際測量時，並不採用冷凍方式。

二、測量結果的討論：

測量結果經由「波速＝波長 X 頻率」計算，得到光速數據。將各次實驗所測量的熱點間距紀錄轉換為圖如下：



圖二十四熱點間距與基礎間距比較圖

- (一) 各次熱點間距與基礎間距：熱點與熱點間的距離，便是我們想要量測的代表長度（可換算成波長）。實際測量發現，各次熱點間的距離呈現倍數關係（如紅色虛線-----所示），例如圖十四的各熱點間距 12.10、12.00、6.10、6.10、12.10 便呈現出 2 : 2 : 1 : 1 : 2 的倍數關係。這種關係我們推想便是波長的倍數，因此我們便計算出基礎間距。將各次熱點間距相加，除以倍數總和，得出基礎間距，代表該次實驗的平均結果。

$$(12.10+12.00+6.10+6.10+12.10) \div (2+2+1+1+2) = 6.05 \text{ (cm)}$$

再將此基礎間距以**研究結果與記錄**中研究二的計算方式，便可算出本次實驗所要追求的光速！

- (二) 冷凍的影響：冷凍可以便利熱點觀察，因此一度被視為良好的處理方式。然而比較表一中，微波爐一號、微波爐二號、與冷凍方式處理的實驗數據，發現冷凍方式各點間間距都有稍微變小。這種處理會造成保鮮膜遇冷收縮，而使測量數據減少。因此雖然影響不大，但為了準確考量，後續的各項實驗，並沒有進行冷凍。

表一 巧克力熱點距離測量統計表(cm)

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
微波爐一號	12.10	12.00	6.10	6.10	12.10	6.05
	12.20	12.20	6.15	6.10		6.11
平均						6.08
微波爐二號	6.00	12.20	6.50	18.30	5.90	6.11
	10.50	10.20	10.70	21.00		5.82
平均						5.97
冷凍處理	5.90	12.00	6.40	17.80	5.80	5.99
	10.20	10.10	10.50	20.30		5.68
平均						5.83

冷凍後數值減少

(三) 不同熱融物質的使用結果：另外選用棉花糖作為加熱的物質，探測是否能同樣測得微波的波長與速度。實驗結果發現，棉花糖的效果並不如巧克力。它的情形包括：

1. 體積較小，熱點間距不易測量。如圖 18-4 所示，棉花糖的熱融點四處散佈，不似巧克力有明顯的熱點。
2. 以實驗結果表三探討，各熱點間距很難看出明顯倍數，找尋最大公因數大約是基礎間距的 1.50cm，也就是各熱點間距呈現 13 : 5 : 9 : 4 : 3 的倍數比，卻完全沒有發現 1 倍的 1.50 cm 的基礎間距。跟其他巧克力實驗大約接近 6cm 的結果相比，以此計算出來的光速 $6.909 \times 10^7 \text{ m/s}$ ，與理論光速 $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ 偏差為-76.95%。明顯有過大偏差，僅有原來的四分之一左右。

表三 棉花糖熱點測量

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
圖十八	19.60	7.50	13.40	6.00	4.50	1.50
	10.70	11.80	6.50	15.20	11.5	1.33
	平均					1.41

3. 重複數次實驗，仍得到熱點間距的倍數怪異，而使得基礎間距很小，計算出偏差過大的光速。因此，棉花糖雖然也有受熱融化的特性，但在本次研究的一開始，並不適合當作以微波爐加熱測量光速的熱融材料。

(四) 不同介質的使用結果：使用沙拉油浸泡巧克力，得到的實驗結果，如表四明顯呈現倍數關係。而以平均 5.11cm 所換算出的光速為 $2.5039 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，與理論光速 $2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ 偏差為-16.48%。此種光速下降的表現符合理論中，光速隨介質而變慢的情形。因此利用沙拉油作為不同介質的實驗，得到不同的介質，可以測得不同電磁波波長，計算出不同光速的結果。

表四 巧克力浸入沙拉油熱點距離

組別	間距	間距	間距	間距	間距	基礎間距
圖十九	10.20	5.00	5.20	10.30	10.30	5.13
	10.30	5.10	5.00	10.30	10.00	5.09
	平均					5.11

三、新的啓示：微波有方向性嗎？

(一) 在地區比賽後，評審建議改用較小顆棉花糖，因此我們繼續採用棉花糖作為研究材料。研究結果如下表所示：



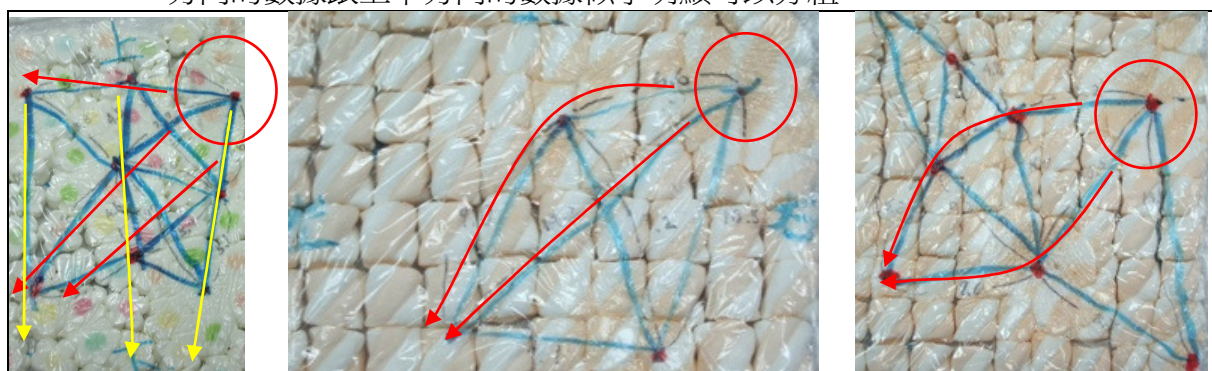
圖廿五 利用小顆棉花糖進行實驗

表五 小顆粒棉花糖熱點測量統計表(cm)

組別	間距	間距	間距	間距	間距	間距	間距	間距	間距	間距	間距
圖廿五-1	4.5	4.6	5.6	5.6	5.7	5.7	5.7	7.7	7.9	5.1	10.4
圖廿五-2	6.6	7.1	9.0	9.2	10.5	14.2					
圖廿五-3	4.8	5.0	5.2	6.2	7.2	7.2	7.6	8.0	8.8	10.5	13.5

熱點數目變更多，標記與測量更複雜。倍數怪異的問題更加嚴重，因此不予計算基礎間距！

然而，我們似乎發現了一個之前都未曾注意的問題！那就是方向性的問題。將棉花糖的上下左右標示出，發現融化最強的都在右上方！而且左右方向的數據跟上下方向的數據似乎明顯可以分組。



圖廿六 棉花糖熱融點間距似乎具有方向性

例如圖廿六-1，左右方向來看，最上方的間距為 5.7、5.6，中間的間距為 7.7、

7.9，最下方的間距為 5.6、5.7、5.7，可說是非常有規律。而以上下方向來看，最左邊 10.4，中間 4.5、4.6，最右邊 5.6、5.1，也是可以分組的。這是不是暗示了微波自微波爐右方的磁電管發射之後，有特定的方向性呢？它會不會在微波爐中多次反射？會不會形成老師所提示的駐波？太多的奧秘問題？只好留待下次的科展研究再做探討。

四、後記：

四月中旬，當老師興奮地拿著一本書給我們看，我們傻眼了！因為它幾乎把我們在過去兩個月的實驗說出了一大半！同樣是將微波爐轉盤拆下、同樣以巧克力的熱點距離作為微波波長而計算波速！

然而我們也仍然對我們的作品有信心，因為我們有下列特色：

- 利用保鮮膜作為記錄方式：一方面避免違反「安全規定」中的食物，一方面可作為保存較久的紀錄材質。
- 結合國中課程中光的特性：「在介質中速度改變」而進行不同介質的實驗。包括運用日式棉花糖取代巧克力、或是運用沙拉油作為包覆介質。

科展研究，實在是一件很有意思的事，它讓我們知道「事情絕對不是你想像的那麼複雜，卻也不是你所瞭解的那麼簡單！」，而跟同學合作參展的經歷更是難忘！



捌、結論

藉由實驗與討論，我們研究得到以下具體成果：

- 一、改造微波爐運轉與電源控制機制，方能有效測量熱點距離。而利用保鮮膜記錄熱點距離，是目前可行的方法。
- 二、微波爐測量熱點間距離應為微波波長的一半。
- 三、利用巧克力測量光速結果與理論值誤差在 10% 以內。
- 四、改變介質（將巧克力浸泡在沙拉油中）會影響電磁波速度，因此波長也隨之改變。

玖、參考資料及其他

- 一、鄧美貴等，國中自然與生活科技課本第三冊第四章，康軒文教事業。
- 二、科學家出點子 人死以前 百件事值得做（民 93 年 11 月 30 日）。自由時報電子新聞網。民 94 年 11 月 27 日，取自 <http://www.libertytimes.com.tw/2004/new/nov/30/today-intl.htm>
- 三、朱國瑞（民 94）。微波及微波的應用。科學發展，395，28-37。
- 四、新科學家（New Scientist）著/劉慧麗譯（民 95）。科學家死也要做的 100 件事，遠流。

評語

031609 死也要吃的光速巧克力棉花糖

1. 使用日常生活中的資源來測定光速值，誠屬難得，惟實驗作法的點子乃取自網路，且相同的實驗在網路上也多有探討，故較缺乏原創性。
2. 自行思考設法改進實驗的品質及數據的精確度，值得鼓勵。