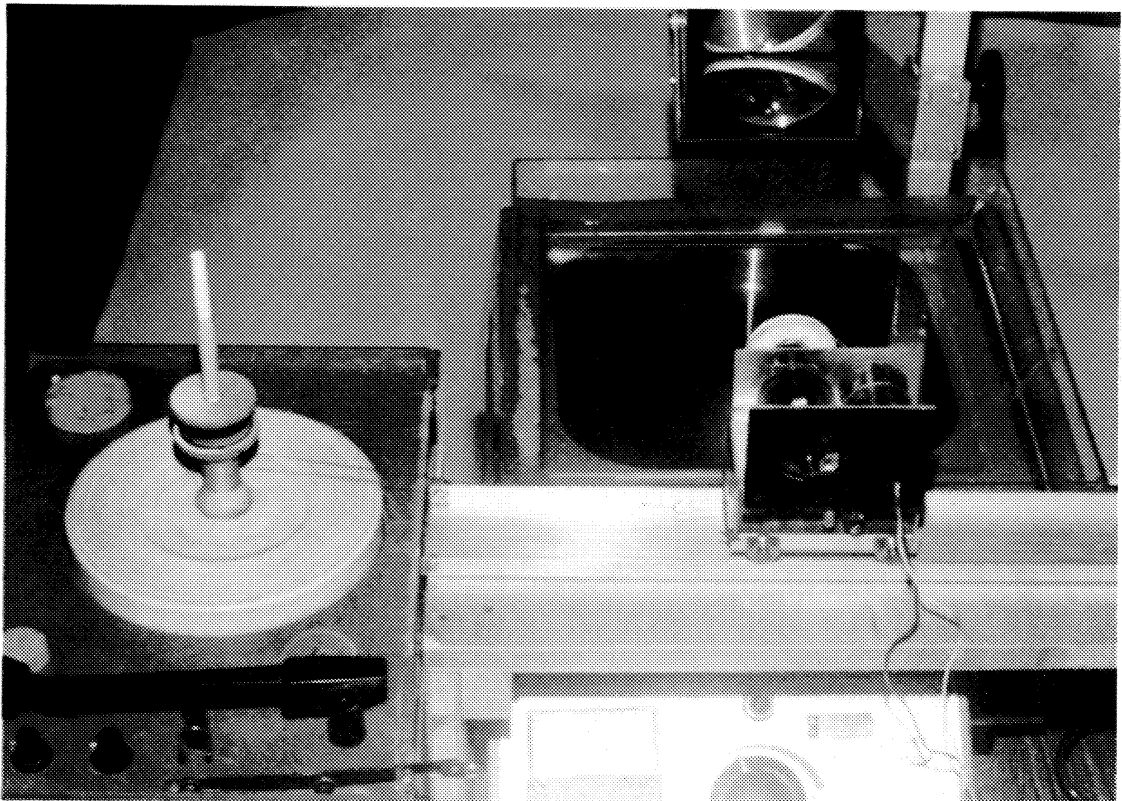


# 自製教具解釋紅位移現象

## 高中教師組地球科學科第一名

省立嘉義高中

作者：李文堂、陳克和



### 一、目的

自製教具解釋天文學上紅位移、藍位移，並做都卜勒效應 (Doppler effect) 定量實驗。

### 二、動機：

(一)高中地球科學課程包括天文、氣象、水文、地形、地球的活動、構造、演化等單元，施行十餘年迄今，仍感到可供學生實驗或教師演示教學的教具十分缺乏。新教材即將實施，自製教具似為一

個可行的充實教學設備途徑。

(二)作者對反射投影機(以下簡稱OHP)演示教學素感興趣,第二十屆全國科展曾製作六件可配合OHP演示的地球科學教具參展,僥倖獲獎,評審先生指導往製作定量實驗器材發展,本屆參展作品,除了可做演示教學外,還可作定量實驗用。

### 三、理 論：

(一)用望遠鏡配合攝譜儀分析星雲的光譜,發現其譜線較我們在實驗室觀測到的譜線波長為長,且(1)在同一星雲的光譜裏,每一譜線波長增長的程度( $\Delta\lambda$ )和原來波長( $\lambda$ )成正比。即 $\Delta\lambda \propto \lambda$ 。(2)波長的改變程度和星雲至地球之距離成正比,即 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \propto R$ 。拍攝遠處星雲光譜,發現波長都增加,沒有減少的現象即 $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} > 0$ 。

(二)望遠鏡配合精密的攝譜儀分析恆星光譜,除了某些月份可拍到紅位移外,有些月份可拍到藍位移—即波長較原有波長為短。

(三)上列兩現象用都卜勒效應(Doppler effect)來解釋較理想。

(四)都卜勒效應的公式  $f' = \frac{v \text{波} \pm v_o}{v \text{波} \pm v_s} f \dots\dots\dots(1)$

$f$  : 波源發出波的頻率。

$f'$  : 觀測者觀測到的頻率。

$v$ 波 : 波速。

$v_s$  : 波源移動速度。

$v_o$  : 觀測者運動速度。

波源遠離觀測者時分母取負,分子取正,波源和觀測者相接近時則相反。

(五)波速=頻率×波長  $v = f \lambda \dots\dots\dots(2)$

(六)光速為 $3 \times 10^5$ 公里/秒,地球一年繞著半徑 $1.5 \times 10^8$ 公里的公轉軌道運轉一圈,軌道速率約為 $v_o = 30$ 公里/秒,因此,除非波源(星球)移動的速度夠大,否則公式(1)中 $f'$ 和 $f$ 的差額極小,即不論紅位移或藍位移的量均甚小,必須極精密的攝譜儀才

能分析。

(七)水波具有波速緩慢，易產生，便於投影等優點，尤其配合投影機演示效果甚佳，作者在六十六年參加科展的作品中有水波槽一項，可用來演示波的反射、折射、繞射、干涉等現象，本次參展作品，即由該作品改進而成。

(八)由(1)(2)合併且當觀察者靜止（即  $v_o = 0$ ）時

1 在波源前方看到的波長  $\lambda' = \frac{v_{\text{波}} - v_s}{v_{\text{波}}} \lambda \dots\dots\dots(3)$

2 在波源後方看到的波長  $\lambda' = \frac{v_{\text{波}} + v_s}{v_{\text{波}}} \lambda \dots\dots\dots(4)$

#### 四、器材製作：

(一)水波槽：長 75 公分、寬 36 公分、高 5 公分、厚 3 公釐的透明壓克力片製成投影用水波槽，槽內緣黏著波綿防止波的反射。

(二)起波器：高中物理實驗用的起波器改裝而成，將原來 3 v 的直流馬達改爲 12 v 的直流馬達，將點波源取掉，改裝長 25 公分的起波器。馬達接直流電源器，可改變電壓以改變起波器的振動頻率。將起波器放在軌道上。

(三)帶動器：報廢的電唱機改裝而成，在唱盤的轉軸上黏一輪軸，上方纏繞 1 公尺長的細線，線的另一端繫於起波器下方的滑車，唱機的轉速（16、33 1/3、45、78）及輪軸的半徑可改變起波器移動速率。

#### 五、研究過程及方法：

(一)儀器裝置如圖，打開起波器的電源，控制電壓，使起波器以頻率  $f$  打水。

(二)打開投影機，校正好焦距後，使在銀幕上成清晰的像。

(三)在水波槽上方放一透明尺，在銀幕上即可求出水波的波長  $\lambda$ 。

(四)計算出起波器的頻率  $f$ ，由  $v = f \lambda$  可求出波速。

(五)開動帶動器，帶動波源，在銀幕上可求出波源前方和後方的波長。

由輪軸半徑  $r$ ，唱盤轉速，可求出波源速度  $v_s$ 。

(六)改變  $f$  及  $v_s$  量出各不同波長。

(七)數據：水深 0.7 公分時  $v$  波 =  $f \lambda = 10.8$  公分/秒。

1.  $f = 5.0$  秒<sup>-1</sup>       $\lambda = 2.16$  公分

編號	$v_s$ (公分/秒)	$\lambda'$ (前方) (公分)	$\lambda''$ (後方) (公分)	$\Delta\lambda$ ( $\lambda'' - \lambda$ )
1	3.3	1.52	2.84	0.68
2	5.3	1.12	3.24	1.08
3	7.0	0.77	3.57	1.39
4	9.4	0.28	4.04	1.88

2.  $f = 4.5$  秒<sup>-1</sup>       $\lambda = 2.40$  公分

編號	$v_s$ (公分/秒)	$\lambda'$ (前方) (公分)	$\lambda''$ (後方) (公分)	$\Delta\lambda$ ( $\lambda'' - \lambda$ )
5	3.3	1.65	3.15	0.75
6	5.3	1.23	3.56	1.16
7	7.0	0.82	3.97	1.57
8	9.4	0.34	4.48	2.08

3.  $f = 4.2$  秒<sup>-1</sup>       $\lambda = 3.00$  公分

編號	$v_s$ (公分/秒)	$\lambda'$ (前方) (公分)	$\lambda''$ (後方) (公分)	$\Delta\lambda$ ( $\lambda'' - \lambda$ )
9	3.3	1.78	3.35	0.78
10	5.3	1.31	3.83	1.26
11	7.0	0.90	4.22	1.67
12	9.4	0.33	4.80	2.24

4.  $f = 3.6 \text{ 秒}^{-1}$        $\lambda = 3.00 \text{ 公分}$

編號	$v_s$ (公分/秒)	$\lambda'$ (前方) (公分)	$\lambda''$ (後方) (公分)	$\Delta\lambda$ ( $\lambda'' - \lambda$ )
13	3.3	2.08	3.92	0.92
14	5.3	1.53	4.48	1.48
15	7.0	1.06	4.94	1.94
16	9.4	0.39	5.61	2.61

## 六、討 論：

(一)圖九~十二爲頻率  $5.0 \text{ 秒}^{-1}$  的情況下，改變  $v_s$ 。（即唱盤轉速依次爲 16、 $33 \frac{1}{3}$ 、45、78）所拍攝的照片，波源前方  $\lambda'$  依次縮短，後方依次增長。現代天文學認爲越遠的星雲移動越快（即  $v_s$  愈大），圖九~十二符合望遠鏡拍到的結果。

(二)照片及數據均顯示  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} \propto R$

(三)數據 1 ~ 16 顯示  $\lambda$  愈大時， $\Delta\lambda$  亦愈大，即  $\Delta\lambda \propto \lambda$ 。

(四)照片及現場演示均可看出波源前方的波長縮短，後方的增長。換句話說， $\Delta\lambda$  可  $> 0$  或  $< 0$  實乃決定於觀測者的位置。因此，由星雲光譜知星雲在背離我們，即宇宙正在膨脹和本實驗不相違背，由恆星光譜亦顯示波長有紅位移及藍位移。

(五)光波和水波均爲橫波，雖性質有很多不同處，但亦有甚多相同的地方，物理學上在介紹光的性質時，亦先講水波，再利用水波講光波。因此，建議以後編印地球科學實驗時亦先以水波建立模型。

## 七、參考資料：

(一)中華民國第廿一屆科學展覽得獎專輯 作者：李文堂

(二)中華民國第廿二屆科學展覽得獎專輯 作者：范承煉、林福興

(三)天文新語 中華書局出版 作者：沈君山

(四)Astronomy ~ Robert Baker.

(五) Elementary Astronomy. Otta Struve.

(六) New Concise Atlas of the Universe ~ Patrick Moore.

評語：

作者多年研究自製教具，尤以利用反射投影機演示各種實驗頗具創意，對教學亦頗有助益。