

彗星的結構和組成

何耀坤

臺南市私立光華女中

現在大多的太陽系天體研究者都認為彗星是重要的天體之一，並非只因其形狀怪異而產生的好奇。因為彗星能帶給太陽及太陽系誕生的各種線索，所以天文學家對彗星有特別的期待。用望遠鏡所看的彗星和攝影照片上的印象有異（圖1和圖2）。彗星中心部有明亮的核部，稱中央集光，核周有圓形的頭部彗髮（Coma）是彗星的主要部。彗星最外殼稱Shell或稱氫氣冕（Corona），尾是彗星特有的部分。本文以哈雷彗星為中心，根據過去的觀測事實，解說彗星的形狀、結構和組成，以及所測出的物質，最後說明彗星的冰核模型。



圖1 1910年哈雷彗星寫生圖（S.Rurich）。



圖2 1910年哈雷彗星。

一、彗星的頭部彗髮（Coma）

彗星接近太陽時受太陽熱，從核部表面蒸發大量揮發物質，挾帶著塵粒以每秒一百公尺之速度噴出而發光，在彗核周圍形成球狀分子雲，特稱彗髮（圖3），接近至太陽約三天文單位（AU）距離地方就開始形成。彗髮的大小和太陽間距離有關，如在一天

文單位時彗髮之大達十萬至一百萬公里。太陽直徑為 140 萬公里，地球直徑為 13000 公里，所以彗髮在太陽系內算是大型的天體。

彗髮是彗星之大氣，是含有塵粒的稀薄氣體。據最近的彗星觀測，彗髮較濃部分不過是地球大氣密度之一百萬分之一，所以 1910 年哈雷彗星曾通過太陽面時完全看不見。彗髮雖然密度小，但是從彗核蒸發的氣體和塵有激烈的運動，受太陽紫外線照射地方有分子分解及電子游離等激烈作用。彗髮中的塵，活性基 (Radical) 和離子等會和太陽光作用而發光。在可見光波長範圍內，CN, C₂, C₃ 等基的發射線之光譜顯得最明亮，尤其 CN 具有紫色譜線帶會發出淡紫色光。同時塵粒會散射及吸收太陽光，而在紅外線波段形成連續光譜。彗星在距離太陽 1 AU 時，以可見光能看到的彗髮半徑約有十萬公里。

據 1910 年哈雷彗星觀測，離太陽 3 AU 時彗髮直徑為 22400 公里，離 2 AU 時有 352000 公里，在近日點時 (距離為 0.5 AU) 彗髮直徑為 50 萬公里，但其他一般彗星靠近太陽時彗髮直徑會變小。設彗髮直徑為 D，從地球觀測的彗髮直徑為 α 分角，太陽和彗星之距離為 Δ ，那麼 D 和 α 之關係為

$$D (\text{km}) = 4.35 \times 10^4 \times \Delta (\text{AU}) \times \alpha (\text{分角})$$

彗髮是氣體狀，輪廓模糊不易測大小，尤其明亮的有尾彗星，彗髮和彗尾部分不清楚。對接近地球的彗星用大望遠鏡可看到，從彗核有物質放出而快速自彗髮向彗尾流動。圖 4 是 1970 II Bennett 彗星的彗髮描繪圖 (J.E.Bortol 畫)。據彗髮的光譜觀測，顯出 CN 帶，但是彗髮的氣體是中性分子未產生電離。可看到 C₂ 輝線光譜和 C₃ 光譜，彗星靠近

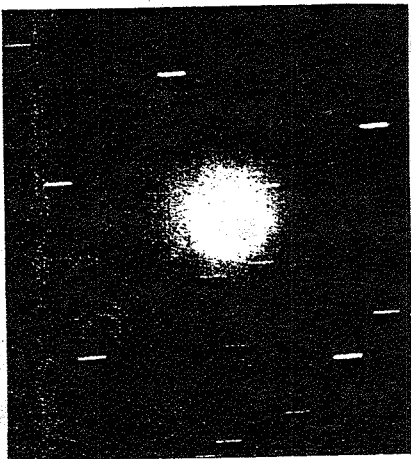


圖 3 1961 VII 彗星的頭部 (東京天文台)。

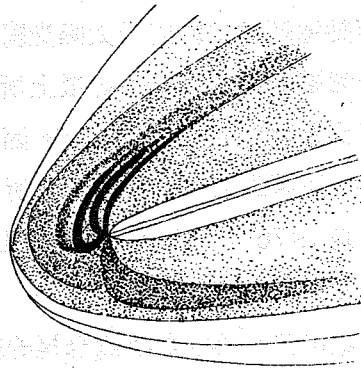


圖 4 Bennett 彗星頭部寫生圖。

太陽時又有 Na, Fe, Ni 等光譜。彗髮除氣體外，又有許多從核飛出的固體微粒子反射並散亂太陽光，這是彗髮產生連續光譜及暗線的原因。從彗核放出的分子，每秒以一公里速度向周圍散開形成球狀（圖3）。這些分子吸收太陽光，分解成離子及被太陽風吹而形成彗尾。

二、彗星的尾巴

哈雷彗星自彗髮向太陽相反方向伸出長尾，是彗星最大特徵，長達 0.1 至 1 AU。史上最早記錄彗尾方向是我國唐朝開成二年（公元八三七年）唐書天文志記哈雷彗星，「彗星晨出時尾指西，黃昏出時尾指東」。彗星尾可分為 I 型，II 型和 III 型。一般彗星都有 I 型尾，以肉眼能看見的明亮彗星有 II 型尾，III 型尾極少見和 II 型尾本質相同。

1744 年 3 月 8, 9 日出現的大彗星是史上最美的，有六支尾。1965 年出現的池谷·關彗星之尾長達 5400 萬公里。I 型尾是和太陽正相反方向直線伸出的細尾，II 型尾較寬

潤而尖端彎曲（圖5）。I 型尾是氣體，從光譜觀察知帶有等量負電離子組成的電漿（plasma），又稱電漿尾，太陽的強烈紫外線輻射使 I 型尾中的氣體游離。太陽風以每秒 400 至 500 公里之速度把彗星尾中的氣體吹向太陽系外部，而形成長尾。哈雷彗星的 I 型尾長度在 1910 年曾達一億四千萬公里。II 型尾據光譜看來，可知只由固體微塵（dust）組成，質量小，隨彗星運動連續放出的塵受太陽光壓而加速，所以彎曲。所謂光壓是由於光射到物體上所產生的壓力，塵粒愈小所受光壓產生的效果愈大。因為大小不同塵粒受光壓而加速彎曲的大小又不同，所以 II 型尾比較寬潤。圖7是1976年的West彗星照片（黑白反轉）

，I 型和 II 型尾很清楚。

彗尾變化多，所以從觀測彗尾的變化，可探索行星間空間狀況，可調查太陽風，太陽熱，從太陽噴出的各種氣體和微粒子，以及磁場變化等，彗星可說是絕好的自然探索機。

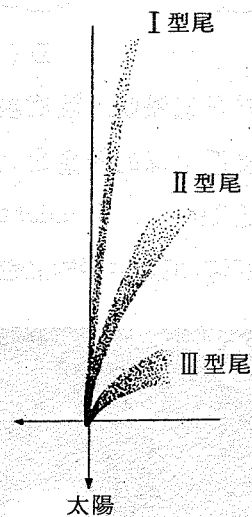


圖5 彗星的尾型。

(1) I 型尾（電漿尾）

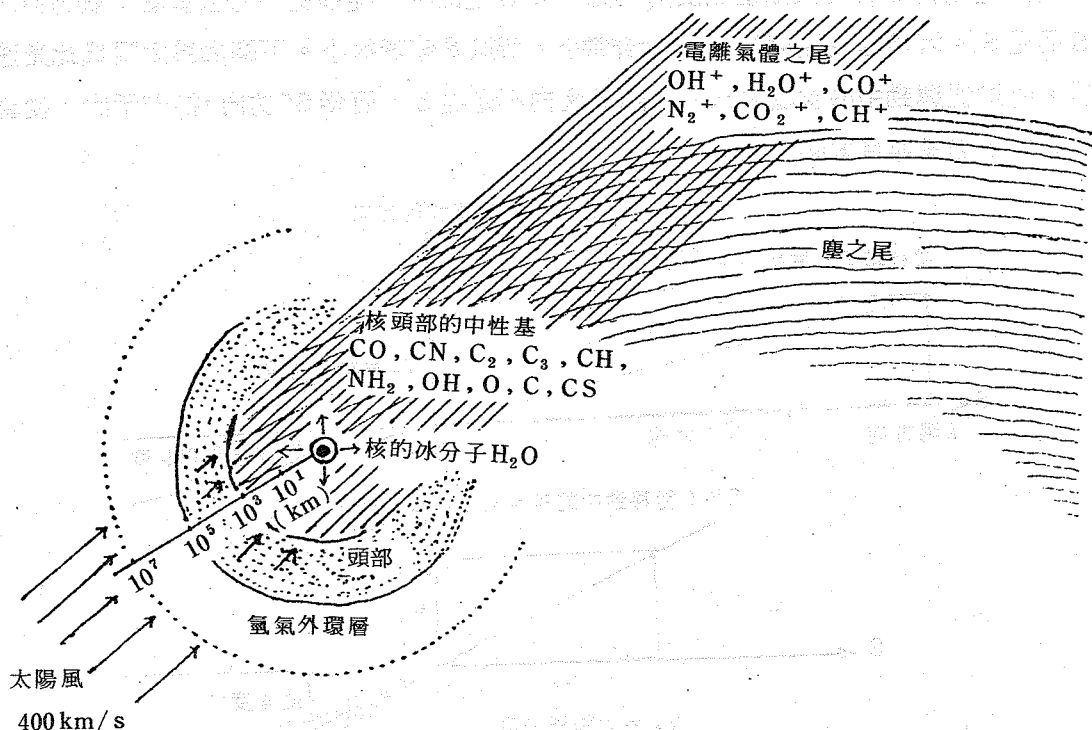


圖 6 彗星構造模式圖（從核的距離 km 以對數表示，所以比實際規模在核附近擴大表示）。

彗星靠近太陽 1.5 AU 以後會形成 I 型尾，根據光譜分析， CO^+ 離子所發生的光強，特稱 Comet tail band，是任何彗星共有的光譜。此外有 N_2^+ ， CO_2^+ 等輝線光譜，這些分子離子的發光是受太陽光激發的螢光。從太陽放射的微粒子是氫原子和自由電子，若自由電子和彗星尾的 CO^+ 離子衝擊時，這些離子會被加速至秒速 100 公尺向後飛去，因而形成彗星尾的斥力。所謂電漿是在電離的原子中有原子核和電子的分離現象，共存有正負微粒子，全體呈中性狀態。彗尾，太陽的日冕和太陽風都是電漿。太陽風以氫原子核為主體，其速度每秒 300 至 800 公里的氫離子電漿，這些氫離子又從太陽磁場引出磁線飛離至 50 至 100 AU 地方。於 1974 年 Kohoutex 彗星 (1973e) 尾中曾經發現有氫離子（據美國加州立克天文台），經加拿大國立研究所證明是由水產生，這事實對惠波 (Whipple) 的彗星冰核說極有力的證據。



圖 7 West 彗星之尾。

彗星尾爲何必朝向太陽正相反方向呢？圖8上圖中，從移動中的彗星看太陽方向，非S而是S'。因爲彗星速度 V_c 比光速非常小，所以 θ 值變很小。下圖因爲太陽風比光速很慢，所以從運動中的彗星看來的太陽風流向不是從S，而從S"方向，換句話說，從彗星看來的太陽風非自太陽方向。

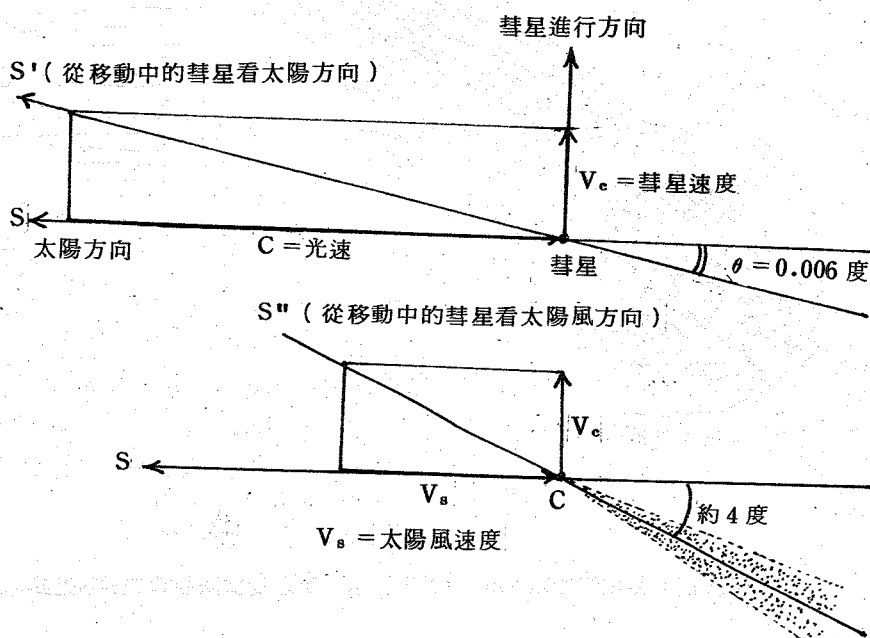


圖8 太陽風的流動。

(2) II型尾

II型尾由連續光譜構成，以彗星核放出的固體粒子爲主成分構成彎曲尾。尾中的塵粒 (dust) 反射並散亂太陽光，所以色彩比日光紅一點。從彗星核放出的塵粒沿軌道放散，若通過地球大氣就變成流星。以哈雷彗星爲母體的流星羣有五月的寶瓶座 η 流星羣和十月的獵戶座流星羣。從一個彗星一年有二次流星雨是少見的，因爲哈雷彗星軌道和地球軌道有二次接近。

三、彗星核

彗星研究者多年來對彗星本體的理解，摸索不清，唯一的研究方法是靠從彗星來的光。彗星和別天體間沒有掩蔽現象，因爲彗星是近於透明的稀薄物質。例如哈雷彗星來到太陽和地球間時，彗星完全看不見，可知彗星核是望遠鏡分解能以下的小物體。彗星

核是什麼？有多大？這和探索彗星本體有密切關係。哈雷彗星之直徑根據美國彗星研究小組的計算，核直徑為五公里，重量 65 億公噸，以自轉軸為中心，週期為 10.3 小時。核成分中冰占 40%，其他揮發性物質占 10%，其餘 50% 是岩石和塵粒等固體物質。事實上哈雷彗星核被彗髮的光輝和氣體及塵粒遮蔽而看不見，用大望遠鏡可看到小小的中央集光部，有些彗星完全看不見核部。

1950 年美國前哈佛天文台長、著名彗星研究家惠波 (I.F. Whipple) 發表了所謂「彗星的冰核說」，認為核由冰、石、鐵等混合物，這樣可說明彗星頭部的分裂及發光現象。目前這學說普遍受支持，但是這次哈雷彗星的回歸有機會徹底觀測考驗這學說的準確性。歐洲宇宙研究所 ESA 於今年七月十日送上哈雷彗星探測船 Giotto，預定於明年三月十三日如圖 9 接近哈雷彗星，進入彗星頭部中央，靠近核 500 公里，以對向速

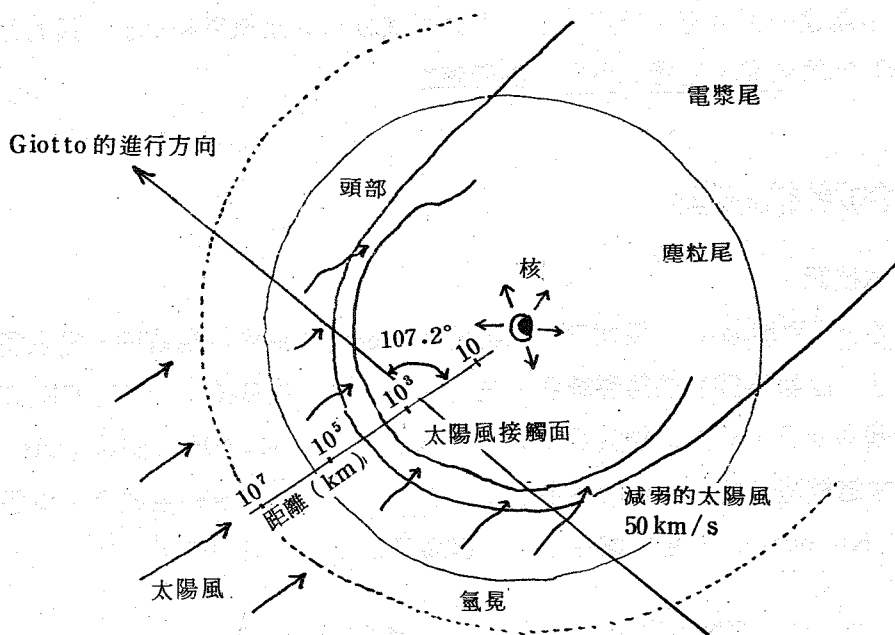


圖 9 接近哈雷彗星核的 Giotto 探測船。

度 68.9 km/秒 (時速 25 萬公里) 迫近核心，前後只有一小時半。Giotto 探測船的主要任務是，在和哈雷彗星核會合的四小時內動用十個觀測裝置，搜集彗星核資料。①彗星頭部的氣體成分及化學組成，探索彗星核的基本分子。②探索彗星的大氣和在電離層引起的物理化學過程。③彗星塵粒的化學組成和放射性同位素的組成。④氣體和塵粒的生成比率，大小和質量分布。⑤調查太陽風和彗星間的互相作用而產生的電漿流。⑥觀測 (攝影) 彗星核的大小，自轉及表面現象。在軌道運行中連續測定太陽風和行星間磁場。

四、氫冕 (Corona)

自從1970年以後，人類可利用人造衛星從地球大氣圈外作紫外線觀測進步。因為紫外線受大氣吸收無法達到地面，必須從大氣層外觀察。於1970年OAO-2衛星首先觀測彗星1969 IX的紫外線情形，發現彗星頭部的外面包有發紫外線的巨大雲氣。其後在1973 XII彗星，1976 IV彗星及Encke彗星也發現同樣雲氣。這些雲是由彗星頭部具有的大量氫原子，因為受日光激發在紫外線波段發出Lyman α 譜線（波長1216 $\text{\AA}$ ）稱為氫冕。這氫冕在其他彗星也有同種觀測結果，是彗星的通性。氫冕的大小由氫原子被太陽紫外線和太陽風游離化的快慢，及氫原子流速而定。因為氫原子的游離比較在可見波長範圍內觀察的活性基慢長十倍，游離速度又快，所以氫冕的大小是可見光彗星頭部的十倍，半徑達一百萬至一千萬公里。氫冕的成分為中性氫氣和OH，這是用人造衛星測定1969年的多湖、佐勝、小坂彗星所確認。

五、彗星的冰核模型

(1) 彗星的冰核說

1950年惠波 (Whipple) 根據彗星光譜研究及週期彗星運行為基礎，提倡所謂「彗星冰核模型」。他認為彗星核為海綿狀，是巨大冰雪塊，以 H_2O , HCN , CH_3CN , CO_2 , NH_3 為基本分子，其次生物質為 CO , CN , C_2 , C_3 , CH , NH , NH_2 , OH , O , CS 。現在根據這模型可說明彗星的許多現象。惠波認為水是彗星核主成分，這假設後來在1973 XII Kohoutex彗星觀測時證實，提高了冰核說之信賴性。

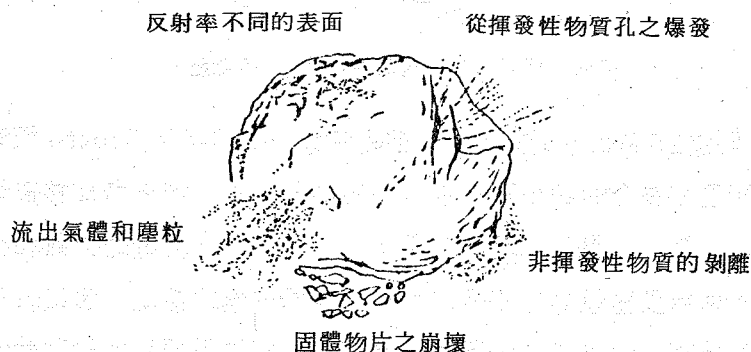


圖10 彗星核模型。

設彗星質量為 10^{18} 公克，冰密度為 1 左右，球體積為 V ，半徑為 R ，那麼質量 $M = 4/3\pi\rho R^3$ 。設 $\rho = 1$ ，求 R 時，只有數公里，如此小天體使用任何望遠鏡比其分解能更小，所以用望遠鏡可看到的核和冰核是不同的。

惠波的冰核說後來由比利時的 Singus 和 Derms 加以部分補充說：「彗星的基本物質為 $\text{CH}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 」。彗星核為冰，所以受太陽熱時，因冰的熱傳導率低，只有核表層受熱，而熱不會傳到中心。因此彗星雖接近太陽在短時間內不會蒸發或崩壞。惠波主張若彗星核直徑比二十公里大時，在核中心由本身的重量引起重力收縮，又加上放射性元素的加熱， CH_4 等揮發成分由本身的能量，其活動變活潑。

(2) 彗核的自轉

彗核可能如地球和行星自轉，核自轉的能量和核蒸散的氣體之放出能量對彗星的公轉有影響。結果彗星除太陽引力外，又有和引力無關的另一種推力稱「非重力效果」。彗星噴出氣體的非重力效果，根據惠波說明如圖 11。① 彗星無自轉時氣體只向太陽方向噴出，由其反作用，對彗星的太陽引力減弱。② 向右自轉時彗星公轉速度變慢，軌道半長徑變小，週期變短，離心率變小。③ 向左自轉時軌道半長徑變大，週期變長，離心率變大。公轉速度和軌道半長徑(a)之間有如下關係。

$$\text{公轉速度} = 29.8 \sqrt{\frac{2}{R} - \frac{1}{a}} \text{ (km/sec)}$$

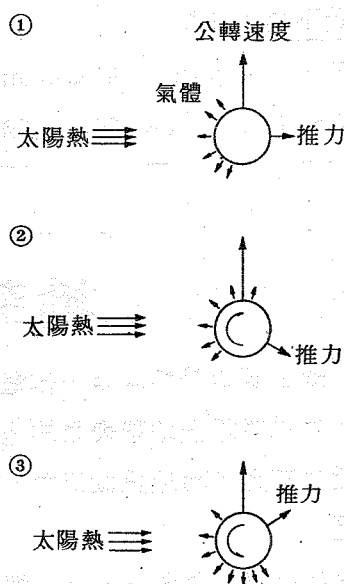


圖 11 非重力效果的說明。

R 是彗星和太陽之距離，但考慮某瞬間的現象時， R 為一定，問題在公轉速度和軌道半長徑(a)。若公轉速度小時上式的 $1/a$ 變大，若 $1/a$ 要大， a 要小，這是圖 11 的 ② 情形。③ 和 ② 情形相反。

例如 Encke 彗星（以週期 3.3 年繞太陽）已被發現多次，其軌道應能計算正確。事實上 Encke 彗星每次回歸時其近日點通過時間比預測提早二小時。其公轉速度經年加速，週期變短，稱「永年加速」現象。

主要參考書

1. 長谷川一郎：天體軌道論
2. 中村士・山本哲生：彗星
3. 藪下信：彗星と星間物質
4. 長谷川一郎：星空のイラベラー
5. 天文年鑑（1985）：誠文堂新光社
6. Guide to the Return of Halley's Comet : Richard Flaste 等四人共著
7. 藪下信：彗星
8. F.L.Whipple : A Comet Model. I. The Acceleration of Comet Encke, Ap.J. III, 375-394, 1950.

取材自：Frontiers of science 3 :
Introduct to earth science

地殼下的活動 (一)

一般都認為是地球是一個堅固的固體球體，然而實際上地球表面的地殼下，不斷的發生變動，給地殼以壓力，使地殼發生變遷。

雖然科學日益進步，但人類仍無能力抗禦地震的災害，甚且連預知的方法都無法找到。

1923年日本發生的大地震，就死亡了十二萬人以上。

而不在地震帶的地域。也會因地震引起的海嘯而蒙災害。

這種地殼的劇烈變動，雖非人為的所能控制，但是科學界已可進行對其內部的調查工作。

最初測知地震器的發明，早在紀元

200年時代，在中國發明。

其裝置是用一個重的青銅容器，在容器的八個方角上各鑄一龍首，龍首口內置有金屬圓球。當地震發生時龍口內圓球即自行墜下到下方鑄成的承器（蟾蜍）口內。

現代的地震計，則是用的重錘，下端附有一針，懸置在一圓形筒上，使針頭抵住鐵筒，當地震發生時，針即在筒上繪出波狀的線。

地震發生時，震源周圍的岩石，即發生一聯串的震動。這種震動所生的壓力，會傳到地球的各處。

地震的震波，也和空氣傳音的音波相似，推動前進。它的道理和金屬球的撞擊表示力的傳導相同。 (本刊資料)