

台灣省第四十一屆第三區中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：高中組

作品名稱：小板板的躲貓貓—探討板塊的隱沒作用

關鍵詞：板塊、隱沒作用、地函熱對流（最多三個）

編號：

（由承辦學校填列）

板塊隱沒

一、**研究動機**：科學家利用地震波的分析，發現了板塊隱沒的圖像，但是以我們平日的經驗，密度大的東西沒入密度小的東西中，一定會下沉，反之則上浮，而板塊的密度比地函小，為何會下沉？推動板塊下沉的力量是什麼？如果我們以不同物質來模擬板塊隱沒，又會有什麼不同結果呢？於是我們針對板塊隱沒，想設計一些實驗來探討這些現象的發生。

二、**研究目的**：(一)、確認物質密度大小不同時的沈浮情形。
(二)、熱對流對隱沒作用的影響。
(三)、討論以不同物質模擬板塊隱沒的異同。

三、**研究器材**：(一)、燒杯、量筒、電子秤、玻棒、滴管、刮勺、酒精燈、三角架、石棉心網、溫度計。
(二)、鹽、紅墨水、太白粉、沙拉油。

四、研究方法：

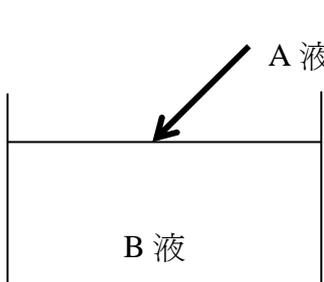
我們把要注入的液體（A 液）當作隱沒的板塊，燒杯內的溶液（B 液）當作被隱沒的地函。

(一)、實驗設計：

實驗 1：我們固定燒杯中液體的密度（ D_B ），改變注入液體的密度（ D_A ），再利用滴管使 A 液注入 B 液，由利用 A、B 兩液彼此間不同的的密度差，觀察當沒有其他外力下， $D_A < D_B$ 、 $D_A = D_B$ 或 $D_A > D_B$ 時液體的沈浮情況。

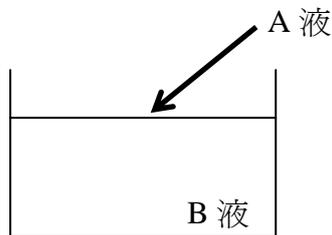
控制變因：A、B 液的溫度；A 液的密度

操縱變因：B 液的密度

	1-1	$D_A = 1.05 \text{ g/ml}$	$D_B = 1.000 \text{ g/ml}$
	1-2	$D_A = 1.05 \text{ g/ml}$	$D_B = 1.025 \text{ g/ml}$
	1-3	$D_A = D_B = 1.05 \text{ g/ml}$	
	1-4	$D_A = 1.05 \text{ g/ml}$	$D_B = 1.075 \text{ g/ml}$
	1-5	$D_A = 1.05 \text{ g/ml}$	$D_B = 1.100 \text{ g/ml}$

我們預期當 $D_A > D_B$ 時會垂直下降，當 $D_A < D_B$ 時會垂直上浮。也就是說，密度比地函小的板塊，應該無法隱沒到地函之下才對。

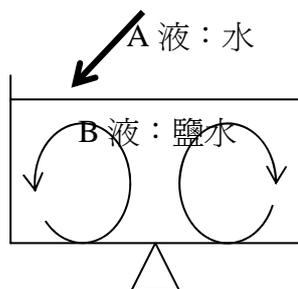
實驗 2：模擬受熱膨脹之後的地函，是否就會被原本密度較地函小的板塊所隱沒。於是我們調配注入的液體(A 液)之密度(D_A)，稍小於燒杯裡的液體(B 液)之密度(D_B)，加熱 B 液使其達到某一溫度後，移開酒精燈，觀察 B 液增加到幾度時，足以讓 A 液沉入。



- | | | |
|-----|------------------------|---------------------------|
| 2-1 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.03 \text{ g/ml}$ |
| 2-2 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.05 \text{ g/ml}$ |
| 2-3 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.08 \text{ g/ml}$ |

我們預期當 ΔD 愈大時，需要的熱對流也愈大，所以 ΔT 也會愈大。

實驗 3：如果板塊隱沒不僅僅是因為地函受熱膨脹，還包括了熱對流的效應，會否對隱沒作用產生影響？在實驗 3 中，我們分別以密度為 1.08、1.05、1.03g/ml 的鹽水當作燒杯內的液體 (B 液)，代表地函；以密度為 1 g/ml 的水當作要滴下來的液體 (A 液)，代表板塊。

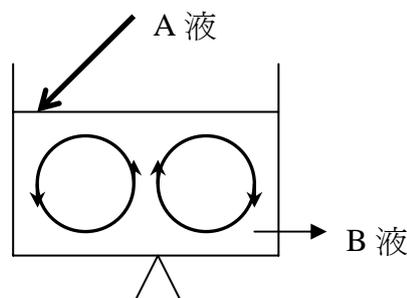


- | | | |
|-----|------------------------|---------------------------|
| 3-1 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.03 \text{ g/ml}$ |
| 3-2 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.05 \text{ g/ml}$ |
| 3-3 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.08 \text{ g/ml}$ |

我們預期在相同的 ΔD 下，實驗三的 ΔT 會比實驗二來得小。

實驗 4：模擬地函濃稠狀的樣子，我們利用更接近地函的太白粉加鹽水當作燒杯裡的液體(B 液)，代表密度較小的板塊為水(A 液)。

調配密度差分別為 0.03 g/ml、0.05 g/ml、0.08 g/ml 的 A 液與 B 液，加熱 B 液，在熱對流下降處滴入 A 液，觀察 A 液下沉的溫度。

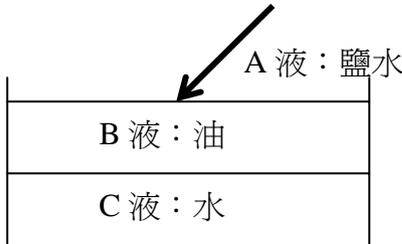


- | | | |
|-----|------------------------|---------------------------|
| 4-1 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.03 \text{ g/ml}$ |
| 4-2 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.05 \text{ g/ml}$ |
| 4-3 | $D_A = 1 \text{ g/ml}$ | $D_B = 1.08 \text{ g/ml}$ |

我們預期因為太白粉很稠，產生的阻力讓 A 液不容易下沉，所以在同樣的 ΔD

下，所需加熱的溫度要較大。

實驗 5：我們很好奇板塊隱沒到地函過渡帶時，也就是沉入至密度變大的下部地函中時會如何下沉。所以我們分別以密度為 1.10、1.08g/ml 的鹽水做為 A 液，在靠近水面處滴入 A 液，觀察鹽水密度大小在油與水中下沉的情形，並觀察油與水界面處的情況。



5-1 $D_A = 1.10 \text{ g/ml}$

5-2 $D_A = 1.08 \text{ g/ml}$

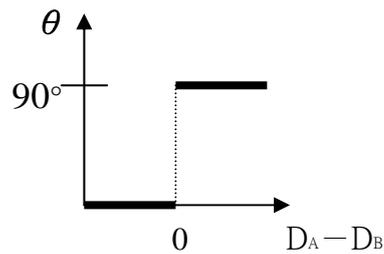
我們預期因為鹽水的密度比水和油大，所以鹽水也許會直接沉入油與水中，但或許在油與水的介面，因為表面張力等之類的阻力，鹽水不會順利的下沉。

五、 研究結果：

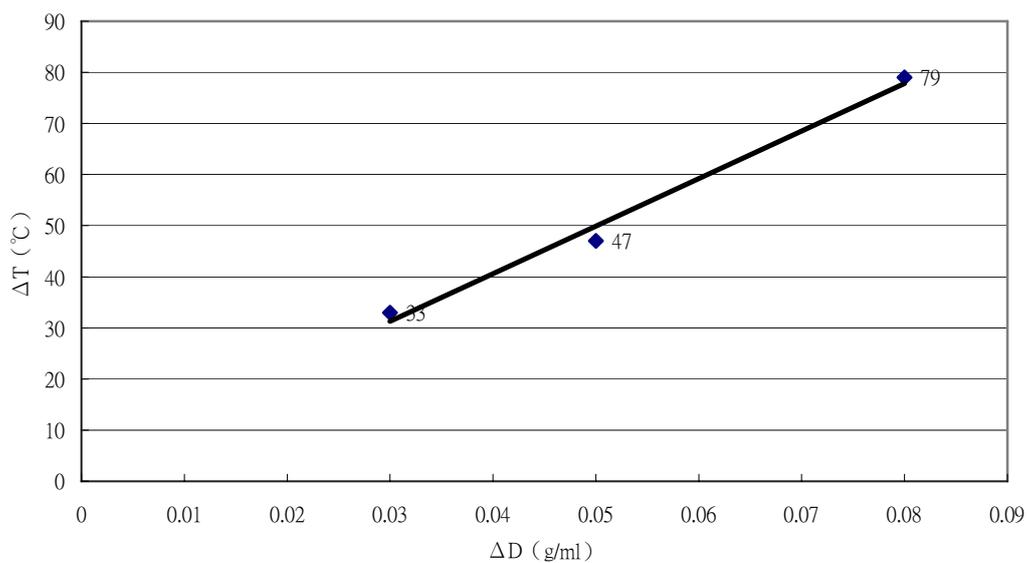
實驗 1.

單位: g/ml

D_A	1.1	1.075	1.025	1
D_B	1.05	1.05	1.05	1.05
結果	↓	↓	→	→

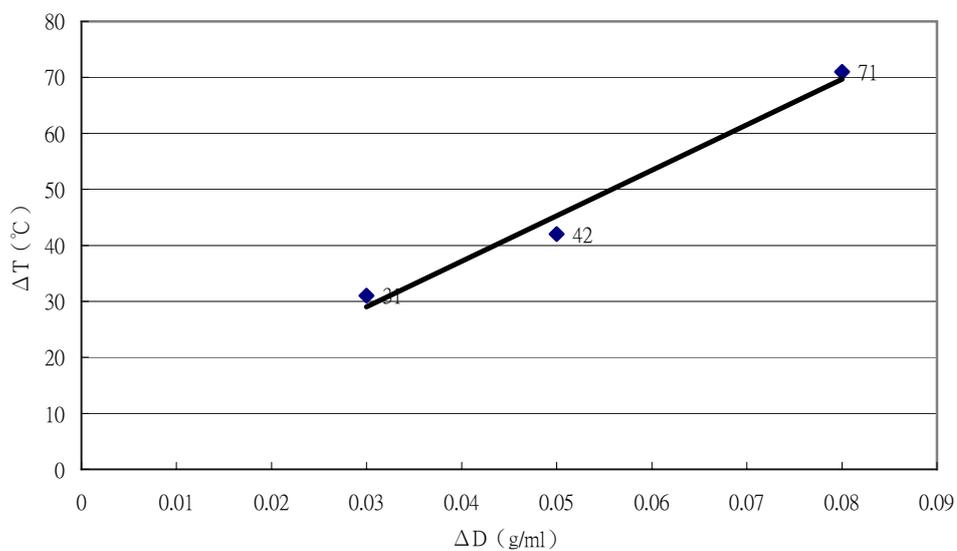


實驗 2.在 $\Delta D = 0.08 \text{ g/ml}$ 、 0.05 g/ml 、 0.03 g/ml ，其 ΔT 分別為 79°C 、 47°C 、 33°C 時，密度小的 A 液可以沉入 B 液中。

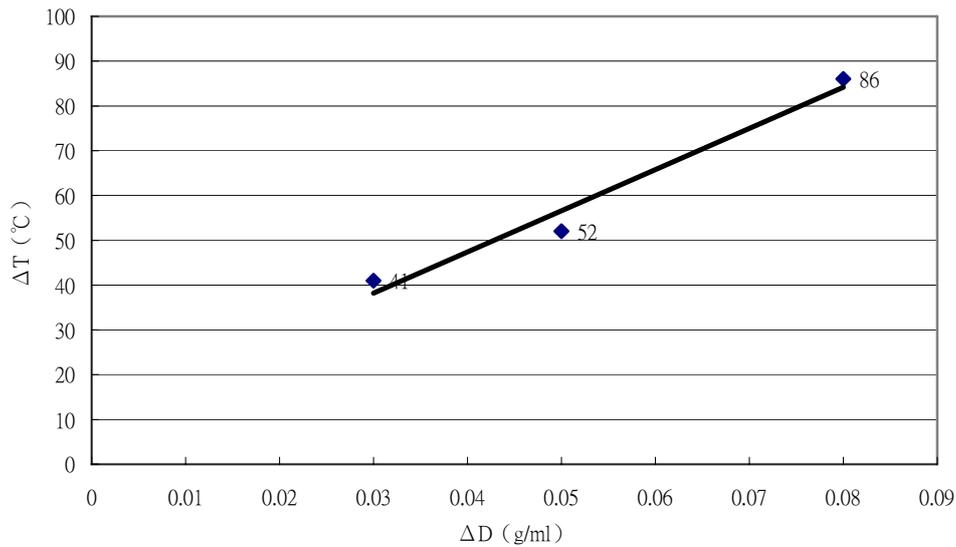


實驗 3.

在 $\Delta D=0.08\text{g/ml}$ 、 0.05g/ml 、 0.03g/ml ，其 ΔT 分別為 71°C 、 42°C 、 31°C 時，密度小的 A 液可以沉入 B 液中。



實驗 4：在 $\Delta D=0.08\text{g/ml}$ 、 0.05g/ml 、 0.03g/ml ，其 ΔT 分別為 86°C 、 52°C 、 41°C 時，密度小的 A 液可以沉入 B 液中。



實驗 5：以鹽水滴入 2 滴，鹽水會稍停留在油的表面，才垂直下沉到油與水的交界，鹽水會停在交界面數十秒才慢慢下陷，然後破裂與水混在一起，以下表格即其停留在交界面的秒數：

次數 \ 密度	D=1.1g/ml	D=1.08g/ml
1	10	62
2	10	73
3	8	66
4	14	79
5	11	77
平均值 (秒)	10.6	71.4

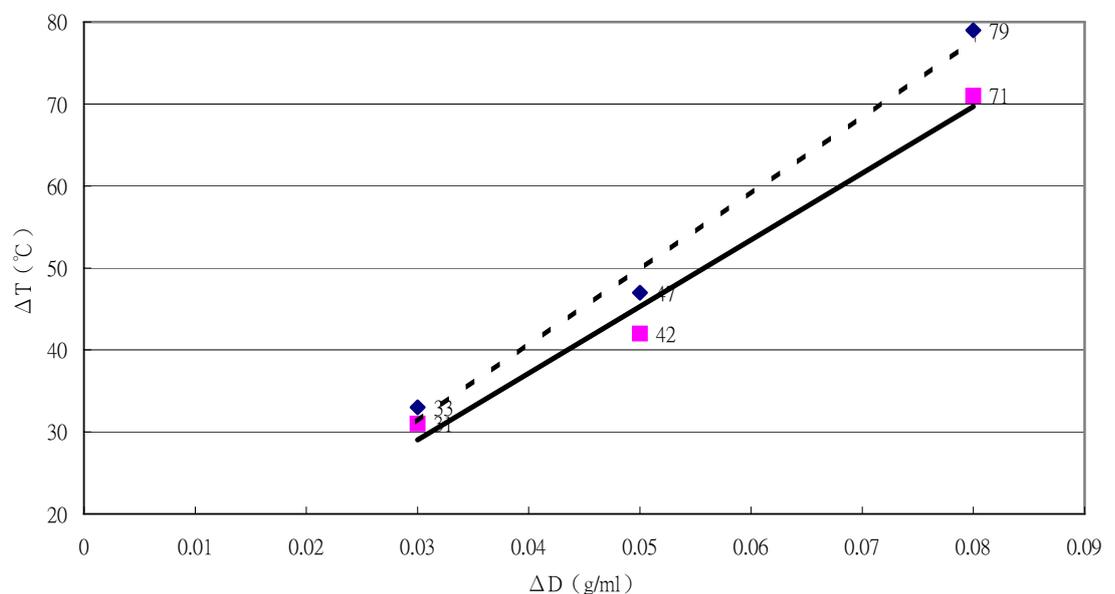
六、討論：

(一)、從實驗 1 中我們可以知道：當 $D_A > D_B$ 時，A 液會垂直下沉；若 $D_B > D_A$ 時，則 A 液會上浮；當 $D_A = D_B$ 時，則會擴散而混合，所以依物理的觀點來看，密度小的物體是不可能隱沒到密度大的物體下方，但自然界中的板塊隱沒，密度小的板塊竟然隱沒到密度大的地函裡，這實在是個有趣的現象。我們推測這是因為地函受熱膨脹的狀態，以致密度變小，使得密度較小的板塊能夠隱沒到地函裡，所以我們設計實驗二，證實密度大的物質受熱後能使密度較小的物質下沉。

(二)、因為 B 液受熱膨脹後，體積變大，密度變小，使得原本密度較大的 A

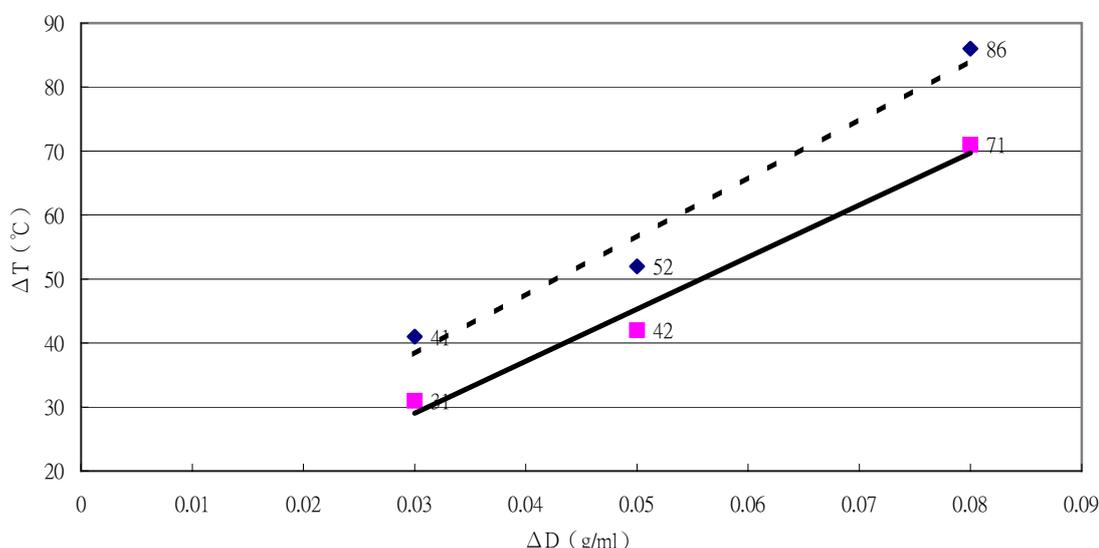
液能夠沉入。如果 B 液與 A 液的密度差愈大，B 液的溫度就要升得愈高，才可使 A 液順利沉入。此實驗證明了密度小的板塊，因為地函的受熱膨脹，還是能隱沒到密度大的地函中。但因為地函處於正在加熱的狀態中，不僅只有受熱膨脹，還有熱對流的效應存在，所以我們設計了實驗三，想瞭解熱對流的力量對板塊隱沒的影響。

(三)、在實驗 3-1 中，將 A 液滴在熱對流下降的地方，密度小的 A 液原本應該浮在 B 液上，但隨著 B 液的溫度不斷升高，熱對流也逐漸增強，終於將密度小的 A 液拉下；根據實驗 2-1，密度為 1.03g/ml 需加溫至 33 °C 才可使 A 液下沉，但實驗 3-1 加熱到 31°C 就可將 A 液拉下，因此可以肯定 A 液下沉並非是 B 液加熱而使密度變小的原因，而是熱對流的力量將它拉下；實驗 3-2、實驗 3-3 是以與水密度差較小的鹽水來作，我們發現當密度差變小，則須加熱鹽水的溫度遠遠小於實驗 3-1，也就是說將 A 液拉下所需的熱對流拉力並沒有實驗 3-1 那麼大，這應該是因為兩者的密度差小，所以要將 A 液拉下所需的力量也較小。如果推論到大自然中，情形應該也一樣，板塊即是密度小的 A 液，地函則是密度大但受熱且含有熱對流的 B 液，而地函就是因為含有此兩種效應，因此板塊才會沒入地函之中；反之，若是地函中的熱對流減弱了，或許板塊就不會隱沒到地函之中了吧！



圖中虛線為沒有熱對流的實驗 2，實線為加了熱對流的實驗 3，發現同一密度的鹽水，要使 A 液下沉的溫度比虛線小，得知熱對流的力量確實影響了 A 液下沉的溫度。在自然界中的熱對流也是如此，因為熱對流的力量，板塊就更容易隱沒到地函了。

(四)、在實驗 4-1 中，因太白粉液較濃稠，產生的阻力也較大，所以熱對流的強度也必須比實驗 4-2 強，B 液加熱的溫度自然也要增加；與實驗 3 比較，發現要使 A 液下沉的溫度也比實驗 3 高出許多，這是因為 B 液為太白粉液，其性質較濃稠，產生的阻力比鹽水大，因而 B 液所需加熱的溫度也較高。在實驗 4 中，我們以更接近地函的太白粉液來代替鹽水，發現太白粉液要將 A 液拉下的力量比鹽水大，因此對於模擬物質的選擇相當重要。地函為一熱流體，板塊即為水，濃稠的地函受熱及熱對流的影響將 A 液拉下，實際地函的濃稠度遠勝於太白粉液，阻力必定也大出許多，因此地函受熱的溫度及熱對流的強度應該都是令人無法想像的數據。



實線部分為實驗 3 即燒杯裡的液體為鹽水，虛線部分為實驗 4，即 B 液為太白粉液，我們發現在同樣的密度差下，濃稠的太白粉液所需加熱的溫度較大，我們推測是因為太白粉液不僅濃且稠，所以對 A 液產生的阻力較大，使 A 液不容易下沉。而實際上地函的濃稠度遠遠大於太白粉液，因此地函的熱對流一定相當地強，才能使板塊隱沒。

(五)、在實驗 5 中，當鹽水滴到油裡面時，受油表面張力的影響，所以會在油的表面稍停留幾秒後才下沉，因為鹽水的內聚力大於鹽水附著在油的附著力，所以鹽水下沈至油與水的交界面的過程，是以水滴狀下沉，而沒有散開；當下沈到油與水的交界面時，鹽水受到水的表面張力影響大於油的表面張力，所以停留在水面上的時間也比較久，而當鹽水通過界面到水中時，因為鹽水是水溶液，所以會散掉與水混合。故我們認為物質通過兩液面的交界時，會停留數十秒，停留的秒數與下層的密度有關，因為一般來說，密度越大其表面張力越大。倘若推論到大自然中，板塊

下沉到地函的過渡帶時（約 660 km），板塊下沉的速度可能也會變慢，等待通過過渡帶到下部地函時，板塊隱沒即會恢復其原來的方式進行。但板塊隱沒到地函時，並沒有熔掉而混於地函中，所以當它通過過渡帶時仍然會依照原來的路線隱沒。

六、結論：

- （一）、當一物體因密度不同而上浮或下沉，其下沉角度必為 0° 或 90° 。
- （二）、密度大的地函因為受熱致使密度變小，因此密度大的板塊能夠沉入地函中，如果密度差愈大時，受熱溫度需愈高。
- （三）、地函正處於加熱狀態，將地函受熱膨脹及熱對流兩種因素結合，地函能在較低的溫度時，使板塊下沉(比較於地函受熱膨脹一項因素時)。
- （四）、板塊隱沒到地函時的阻力相當大，地函受熱的溫度必需很大，才能使板塊隱沒。
- （五）、當板塊通過兩不同物質的界面，其隱沒速度會受到阻礙而被影響。

七、未來展望：

1. 根據實驗結果發現，密度大或小的物質，不是上浮就是下沉，但由地震波所顯示板塊隱沒的圖像，發現板塊是以一斜角隱沒，究竟是什麼外力讓它成一斜角隱沒呢？
2. 地函的熱對流是相當不規則的，也許大小不一，也許流速不同，這會不會也是影響板塊隱沒的重要因素呢？
3. 在板塊隱沒的過程中，當它隱沒到一個密度突然變大的物質中，如地函過渡帶，會是怎樣的情形呢？停留於界面抑或是穿透，如果穿透的話，它能隱沒到地核嗎？

八、參考資料：

- 周漢強，「地球墳場-隱沒板塊的最終歸宿」，清水高中自然科學學報---第一期 P.53~P.66
- 王正松，陳明德，地球的變遷，臺灣書店印行，P.34~P.42
- 楊平世、馮鵬年，大地的風貌，正中書局印行，P.38~P.42
- Beiser，譯 陳毓雷、戚啓勳，地球科學概論，大中國圖書公司，P.135~P.144
- <http://www.earth.sinica.edu.tw/> 中央研究院 地球科學研究所