

## 第五章 結論

我們利用數值計算方法討論了 axial 重力微擾與純量粒子在 Schwarzschild 黑洞背景中的解，研究結果發現當頻率趨近於 0 時，反射率會趨近於 1，透射率會趨近於 0；當頻率升高時，透射率增加，反射率降低，這樣的結果顯示機率隨頻率呈現遞增或遞減的單調變化，這個結果和古典力學預測的幾乎沒有任何差別。

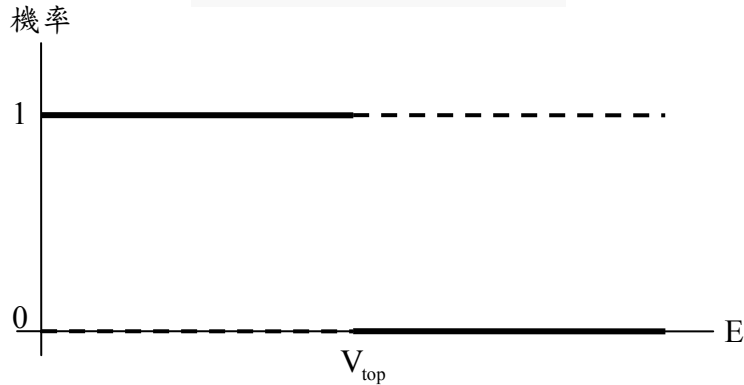


圖 5.1：古典力學對反射與透射機率的解釋，其中實線段表示反射率  $R$ ，虛線段表示透射率  $T$ 。 $V_{\text{top}}$  為位能障礙的峰值。

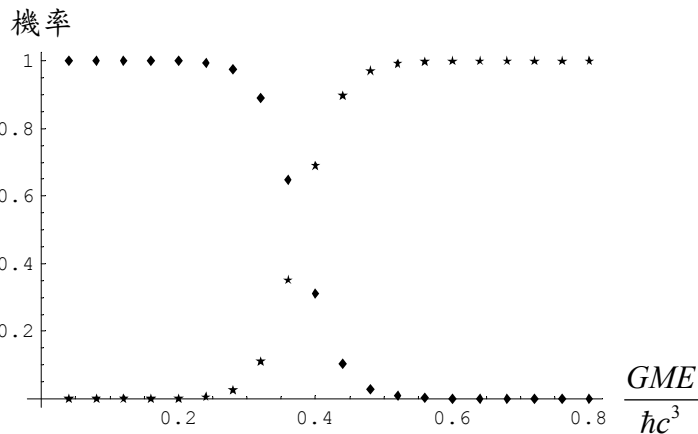


圖 5.2： $l=2$  axial 重力微擾的反射與透射機率，可視為一種半古典半量子的解釋，其中「◆」符號表示反射率  $R$ ，「★」符號表示透射率  $T$ 。

純量粒子的反射及透射機率與 axial 重力微擾的情況類似，也呈現如圖 5.2 所示的情形，原因可能是兩個方程式的結構相同，而且假設的邊界條件亦相同，兩者只有在位能項稍微不同而已。這個作法還可適用在其他類似的例子，例如帶電粒子，其方程式的結構與前兩者相同，位能項稍微不同，因此在相同的邊界條件下，我們預期也會出現與前兩者相似的結果。

此外我們還得出了 axial 重力微擾與純量粒子在 de Sitter 背景中的方程式，

並透過座標變換求了解析波函數。不過目前，我們還不清楚如何將 outgoing wave 的邊界條件放在 de Sitter 空間裡，這方面可以留待將來再研究。

最後比較遺憾的是，我們原先希望藉由亞穩態 (metastable state) 的概念來瞭解 quasinormal mode 的目標，並沒有成功。我們知道 quasinormal mode 對應到黑洞中的某種不穩定性，但是引起這個不穩定性的來源究竟是什麼，目前並沒有很直觀的解釋，這也是將來可以繼續研究的方向。