



貝爾不等式教材製作

游雅棠，中興大學物理系

本作品願景在於以互動式的操作介面，讓自學者能在學習時省去繁瑣的計算過程，而能專注於物理本質。本次以“貝爾不等式”做為題材，在簡述過貝爾不等式的重要性後，讀者可在互動介面調整量子態的參數，而得到貝爾不等式並非總是成立的結果。期望未來能製作更多題材以達成量子教育的普及。

教材網頁截圖

Bell's Inequality

Bell's Inequality, 中文翻作“貝爾不等式”。其出現的原因是當時量子力學發展時，愛因斯坦等人認為量子力學的模型不完全，機率不應該是量子力學最基本的描述，應該有一些變數能讓我們完全掌握粒子的所有行為，即所謂“hidden variable(隱變數)”。而貝爾就以隱變數的這套想法出發，導出了貝爾不等式。若貝爾不等式能被滿足，則表示隱變數這套說法有其可信度；然而，實際上有些量子系統並不滿足貝爾不等式，從而推翻了隱變數的這套猜想。

下面我們以一個雙Spinor系統為例來做解說。首先我們定義四種Operators:

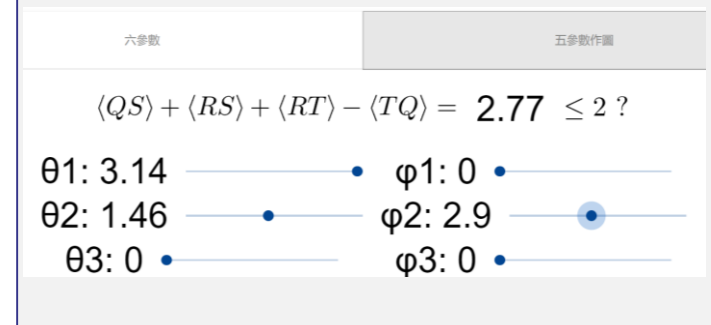
$$Q_j = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}_j$$
$$R_j = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}_j$$
$$S_j = -\frac{1}{\sqrt{2}}(Q_j + R_j)$$
$$T_j = \frac{1}{\sqrt{2}}(Q_j - R_j)$$

腳標表示Operator是作用在Spinor-j上。態的表示也相同： $|\Psi_j\rangle$

研究結果

1. 架設互動式教材網頁
2. 將量子態以不同參數呈現，並以互動式滑桿調整參數，使得讀者可以製備一些會違反貝爾不等式的量子糾纏態

互動式操作介面



研究結論

1. 以網頁的方式發布教材，使得量子教育的傳播更輕易
2. 互動式教材使得教學重點能被放在物理上，而不會被中間一再重複的計算所稀釋。