



各種有趣的悖論

相對論的結果由於與人們日常生活經驗有差距，因而引發了觀念上看似矛盾的 "推論"（所謂的thought experiment）：

Twin paradox

雙胞胎一個在地球一個乘火箭去旅行，……

矛盾點：太空（高速）旅行回來，兩個都比對系年輕，矛盾。

解釋：坐太空船的，要折返回來的那一個較年輕，分別從地球觀點與太空船球觀點皆如此。

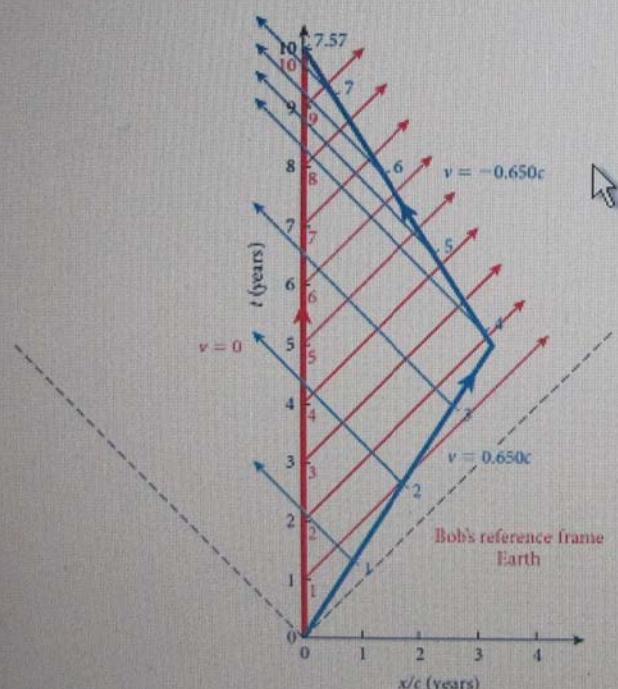


FIGURE 35.9 Plot showing the velocity of the two twins in Bob's reference frame, which is at rest on Earth. The thick, vertical red line represents Bob's trajectory. The two thick blue lines depict Alice's trajectory. Thin red lines labeled by red numbers (corresponding to the years since Alice left) represent Bob's birthday messages. Thin blue lines labeled by blue numbers (also corresponding to the years since

0 1 2 3 4
 x/c (years)

FIGURE 35.9 Plot showing the velocity of the two twins in Bob's reference frame, which is at rest on Earth. The thick, vertical red line represents Bob's trajectory. The two thick blue lines depict Alice's trajectory. Thin red lines labeled by red numbers (corresponding to the years since Alice left) represent Bob's birthday messages. Thin blue lines labeled by blue numbers (also corresponding to the years since Alice left) depict Alice's birthday messages. The dashed lines show the light cone at $t = 0$.

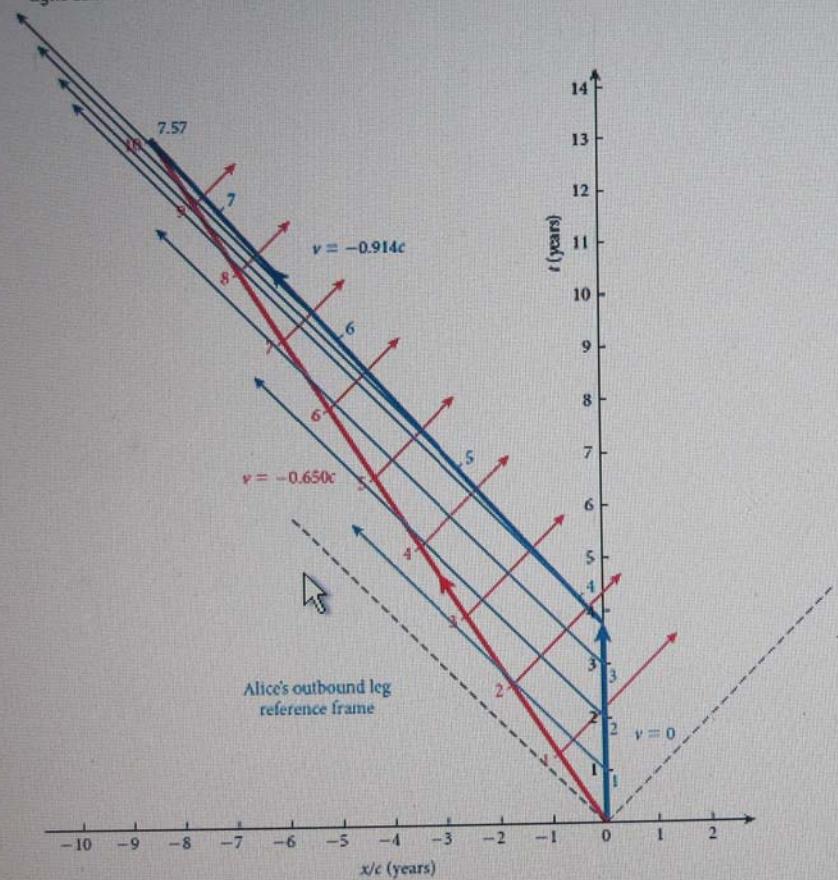


FIGURE 35.10 Plot showing the velocity of the two twins in the reference frame of Alice's outbound leg. The thick red line represents Bob's trajectory. The two thick blue lines depict Alice's trajectory. Thin red lines labeled by red numbers corresponding to the year represent Bob's birthday messages. Thin blue lines labeled by blue numbers corresponding to the year depict Alice's birthday messages. The dashed lines represent the light cone at $t = 0$.

Ladder paradox (barn-pole paradox)

廣義相對論：重力（質量）與時空 [公式簡介]

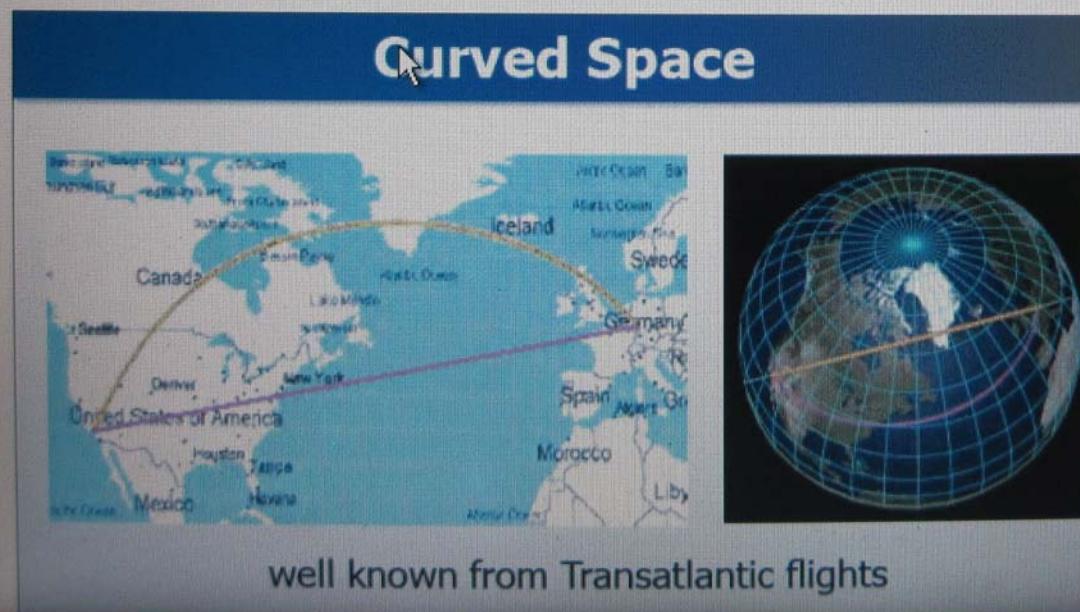
非歐幾何（用於描述不是平坦的空間）

微分幾何（局部仍是平滑的變化，像是可使用微分的場合時那樣）

空間的度量

度量 metric 是將向量求出長度值的算子，如二度、三度歐氏空間的是簡單的單位矩陣 I 。它是張量的形式因此又叫 metric tensor。

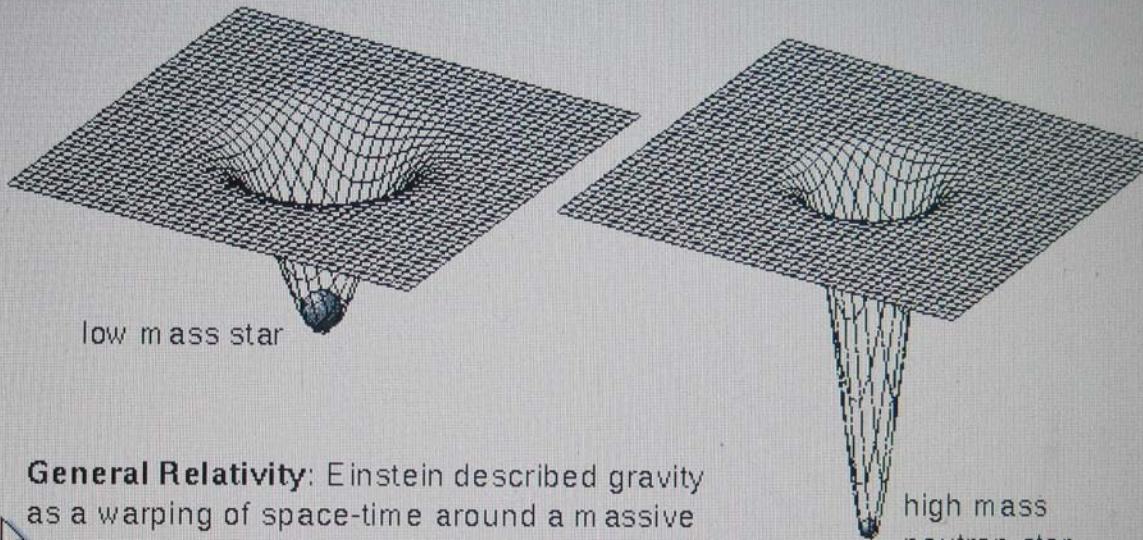
（兩點間路徑最短的不再是直線）



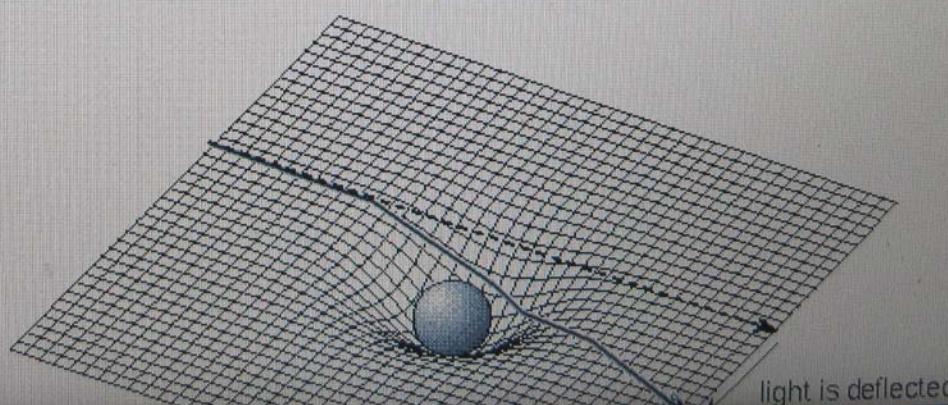
重要的訊息是，它表現在大尺度上與平坦空間有差異，而小範圍內仍是平坦的。

中心理論：

一、質量將造成時間空間彎曲



General Relativity: Einstein described gravity as a warping of space-time around a massive object. The stronger the gravity, the more space-time is warped.



light is deflected

二、重力造成與座標系運動造成的加速度是等效的

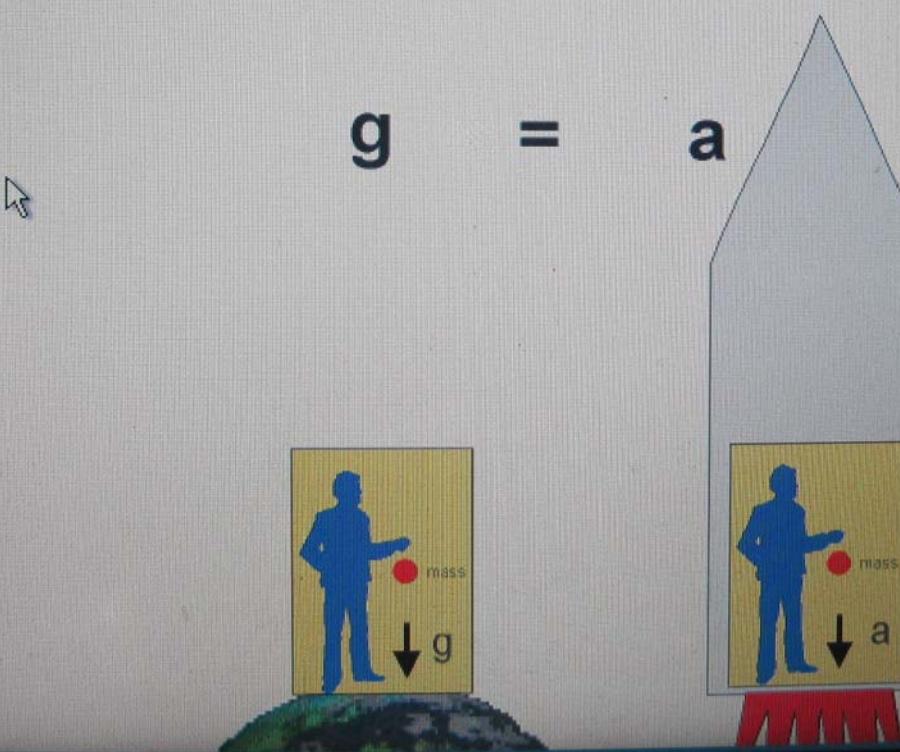
牛頓的萬有引力公式其效果是瞬間發生、不論兩物相距多遠，這是徹底違反相對論的。

牛頓式的"重力"是不存在的。但，重力若不存在，使蘋果掉下及把月球拉著的效果是怎麼本的？

愛因斯坦主張，下列左右兩種狀況中的質量球，都沒有受到外力，兩者都正在進行慣性運算（等速直線，靜止也算）。

先看右圖，球體與外界無接觸也不受力，但由於火箭向上加速中的關係，艙內觀察者產生了一個球體向下加速的錯覺，其實球體並未受任何力，而且是以慣性方式等速直線運動。這一點，在艙外的我們看得非常清楚。

接下來看左圖中地球對質量球的影響，愛因斯坦堅稱球仍未受力而是僅循慣性的規則而運動。只不過此時球體所在的空間受地球質量的影響而彎曲，以致於其慣性運動在我們看會有加速度的"假象"。





gravitational
mass



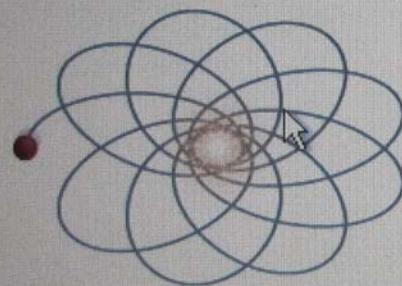
inertial
mass

Q: 空間既然彎曲，為何當我們順著月球的中球畫出其對地球公轉的軌跡，仍可看得出是一個曲線而非直線？

A: 應是最短距離線，在幾何學上又稱為測地線 (geodesic line)。

廣義相對論的印證

水星近日點 (perihelion) 進動



什麼是進動？

重力透鏡

理應是運行到在太陽背後的天體(恆星)都還看得到（需要利用日蝕時觀察），愛丁頓爵士 1919 年組成日蝕觀察團到赤道附近去等全日蝕而得以確認，彎折的角度符合愛因斯坦的預測，成為當日全球報紙的頭條。（這個現象對黑洞也適用。）

相對論

163.13.111.54/high-school_math/relativity.html

理應是運行到在太陽背後的大體(恆星)都還看得到（需要利用日蝕時觀察），愛丁頓爵士 1919 年組成日蝕觀察團到赤道附近去等全日蝕而得以確認，彎折的角度符合愛因斯坦的預測，成為當日全球報紙的頭條。（這個現象對黑洞也適用。）

重力紅位移（詳見：<http://zh.wikipedia.org/zh-tw/重力紅移>）

由於“引力時間膨脹”，來自重力較大的地方的光線，在重力較小的區域被觀察到，頻率變小波長變長，因為重力大的地方時系較慢的緣故。

更詳細的資料可見 http://en.wikipedia.org/wiki/Tests_of_general_relativity

時間的初始條件 與 空間的邊界條件

霍金的 "時間簡史 (A Brief History of Time)"

引人入勝的書名（歷史以時間為座標軸，如何談時間的歷史？）

沒有邊界的邊界條件 vs 沒有初始的初始條件

如果時間與空間是一體的，那麼時間…

(另一假說：兩片高次元膜的撞擊)

← → C 163.13.111.54/high-school_math/the_birth_of_quanta.html

量子的誕生

近代物理的兩個常數

凱爾文所說的兩朵烏雲

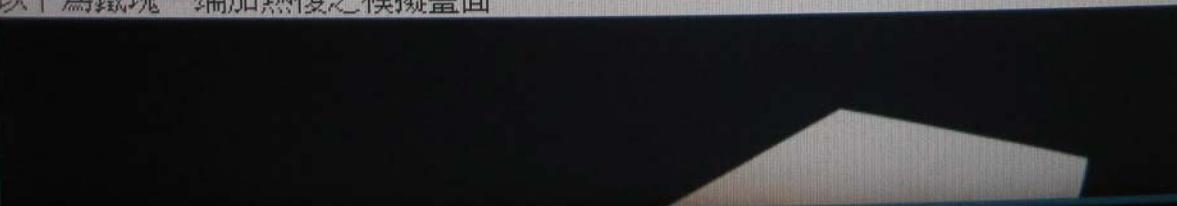
牛頓力學在十七世紀建立古典力學，科學進入新階段，牛頓三大定律及萬有引力公式解釋了所有天文觀察到的現象。之後的兩百年，科學家依牛頓力學的模式建立了聲學、熱學等物理學門。

凱爾文因此說："在已建立的科學大廈中，後世的科學只能作一些零碎修補的工作"。然而，他也指出"在物理學晴朗的天空遠處，還有兩朵令人不安的小小烏雲"。他指的一個是找尋以太卻總是失敗，另一個則是熱幅射的實驗之無法解釋。

兩朵小烏雲竟帶來大風暴的物理革命

光速一變成常數 -> 相對論

普朗克常數 -> 量子論



以下為鐵塊一端加熱後之模擬畫面

普朗克常數

凝體的熱幅射

普朗克常數

凝體的熱幅射

以下為鐵塊一端加熱後之模擬畫面



溫度與顏色的簡化示意圖

