



典範 愛因斯坦

張海潮



【本著作除另有註明，作者皆為張海潮教授，所有內容皆採用 [創用](#)
[CC 姓名標示-非商業使用-相同方式分享 3.0 台灣](#) 授權條款釋出】

- ▶ 1879 生於德國Ulm，猶太人。
- ▶ 1880 遷慕尼黑。父叔合開小電器工廠。
- ▶ 1884 羅盤經驗。
- ▶ 1889-1894 進慕尼黑教會中學，對教育極端失望而後退學。
- ▶ 1891 獨立證明畢氏定理(相似形)，讀科學讀物，自學歐幾里得幾何(垂心)。
- ▶ 1892 讀康德。
- ▶ 1894 退學後去米蘭與家族團聚(之前父工廠倒閉)。
- ▶ 1895 自學完微積分，是年16歲。

- ▶ 1895 投考瑞士蘇黎世工業大學，未錄取。
數學與物理考得好，但語言和生物
失敗。進Aarau中學補高中課程。
- ▶ 1896 8月在阿勞高中畢業，10月進蘇黎世
工業大學師範系主修物理。
- ▶ 1900 8月大學畢業，立刻失業。當代課老
師，當家教
- ▶ 1902 6月到瑞士伯恩(Bern)專利局試用三級
技術員。

- 1904 正式三級技術員。
- 1905 發表光量子論(light-quantum)，以論文「分子大小的新測定法」向蘇黎世大學申請並取得博士學位。
6月寄出“論動體的電動力學”人類史上第一篇相對論的論文－狹義相對論(光、電磁波與時空的理論，但無重力)。
9月寄出論文 $E=mc^2$
- 1906 升二級技術員

- ▶ 1907 開始研究廣義相對論(重力及時空的理論)。
提出等效原理
- ▶ 1909 10月辭專利局工作，在專利局工作7年。
任蘇黎世大學理論物理副教授。
- ▶ 1916 完成「廣義相對論的基礎」。



- ▶ 什麼是時間?如何量時間?
- ▶ 週期運動與時間(一年，一月，一日)，
時間的分割(沙漏，水漏，燒香，脈搏)。
- ▶ 單擺，發條鐘，石英鐘，電子鐘，原子鐘。
- ▶ 什麼是空間?如何量空間?
- ▶ 什麼是長度? 一公尺
(北極過巴黎到赤道經線的1000萬分之一)。
某種光的波長。
- ▶ 什麼是光速?299,792,458公尺/秒(真空中)
- ▶ 什麼是公尺?光每秒速度的299,792,458分之一。

- ▶ 絕對空間與絕對時間

火車→ v

月台

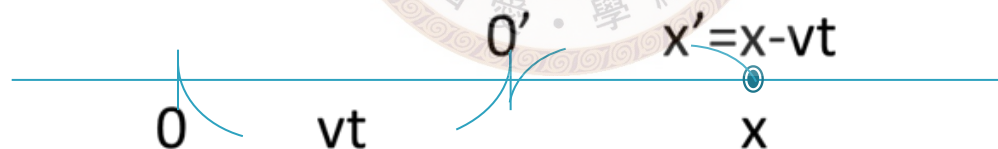
- 火車(x',t)，月台(x,t)，伽利略變換

$$x' = x - vt$$

$$t' = t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$



- 牛頓第一定律和第二定律 $F=ma$ 在兩個系統中均成立。

- ▶ 第一定律又稱慣性定律，不受外力影響的物體，靜者恒靜，動者維持等速直線運動。
- ▶ 火車與月台之間互以等速運動，如果在月台上看到 $x=wt$ ，由伽利略變換

$$x' = x - vt = wt - vt = (w - v)t$$

從火車上看，仍然是等速直線運動。

- ▶ 凡是慣性定律成立的坐標系，稱為慣性系或慣性坐標系。
- ▶ 地球上的月台若是只看平面運動是一個近似的慣性坐標系，火車相對月台以等速運動，也是一個近似的慣性坐標系。

相對空間與相對時間

- 月台和火車各自有自己的時空坐標系。先在月台上的一個工廠製作好尺和鐘，分送給月台和各火車司機，用以建立自己的坐標系。
- 空間坐標的建立主要靠尺和平行公理。
- 時間坐標的建立靠各地校準的鐘，設A,B在月台系統中的兩點，相對月台靜止，則從A點向在B點在時間 t_A 放一束光，在 t_B 時間到達B點，旋即反射而在 T_A 時間回到A點,要求

$$T_A - t_B = t_B - t_A$$

- ▶ 愛因斯坦提出光速不變原理;在任何慣性系中(用自己的尺鐘)量得的光速均為299,792,458公尺/秒。不管光源是靜止的還是等速的運動。
- ▶ 上述在各火車中用以校準A,B時鐘的光，光速在各火車看來均為常數 c 。
- ▶ 我們因此在各火車中建立了空間和時間坐標軸。以下均假設火車頭通過月台時， $t=t'=0, x=x'=0$ 。
- ▶ 我們想要了解 (x,t) 和 (x',t') 的轉換關係。

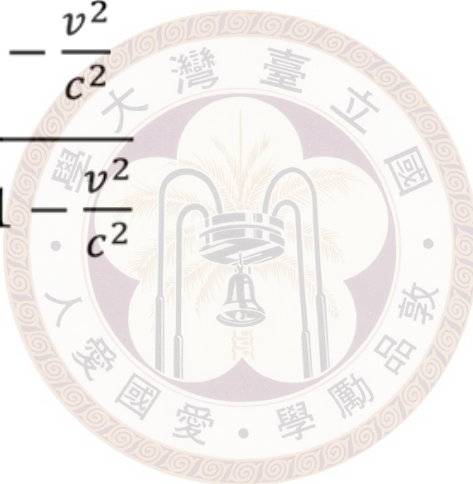
- 愛因斯坦說:首先，這些方程式顯然都是線性的，因為我們認為空間和時間都是具有均勻性(homogeneity)的。
- 什麼是線性?就是轉換時，各個變數均以一次出現，愛因斯坦得到的轉換式

$$x' = x - vt / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$t' = t - \frac{v}{c^2} x / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$



稱為勞倫茲轉換。

- 反過來

$$x = x' + vt' / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
$$t = t' + \frac{v}{c^2} x' / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$
