

世 界 名 著

近代物理概論

ARTHUR BEISER 著

王 唯 農 譯
袁 偉 堅

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
世界書局印行

世界名著

近代物理概論

拜勒勤
ARTHUR BEISER 著

王 唯 農
袁 偉 堅 譯

國家科學委員會補助

國立編譯館出版
世界書局印行

中華民國六十二年七月初版

世界名著 近代物理概論 (全一册)

精裝本 基本定價 玖元玖角伍分
平裝本 基本定價 捌元玖角伍分

著者：ARTHUR BEISER

譯者：王唯農

漢譯權所有人：國立編譯館

補助機關：國家科學委員會

發行人：吳開先

內政部登記證內版臺業字第〇一八八號

出版者：世界書局
印刷者：世界書局
發行所：世界書局

臺北市重慶南路一段九十九號

版權所有 禁止翻印

序

我寫這本「近代物理概論」的目的是爲了對原子、分子、固體及原子核的一些基本性質的根源作介紹，這些知識既可使將來預備在這些科目裏（如物理或化學的學生）追求進一步研究的人做鋪路的工作，亦可爲學其他學科者（如生物及工程學生）對近代物理有相當之認識。本書不對任一題材作過深之探討或如百科全書的廣泛涉獵。我相信對這些基本原理作研討是在學習過程中有效的方法，在學習中不忘却其物理的內涵。關於那些希望對某特殊題材得到深入或更廣知識的讀者，我相信他在有了本書這些基礎後，將有能力自行閱讀有關的文獻。

解決有些題目的方法是採取在實驗室中之研究者試行瞭解他們所得到的結果所採取的觀點來解釋，大部份的時候却是以坐在研究桌旁的學者利用已爲實驗證明之理論或模式來瞭解物質的結構及其性質。雖然所有的近代物理——其實是所有的科學——建築在實驗的基礎上，但是常常學生由實驗資料歸納而出的觀念入手比自實驗的方法或實驗的結果學習更爲有效。

本書特別重視在可能情況下對基本觀念及解決問題之方法在多方面之解說及應用。一方面着重於其廣泛應用性，另一方面使學生對物理理論之內涵得進一步的認識。例如在論及分子光譜之理論時涉及量子化角動量，量子簡諧振子及統計力學等，此等學理均有其獨特之性質並非討論分子光譜之目的，但在述及分子光譜理論中亦作相關性的統籌商討。

對每一問題的處理本書特別注重其物理意義而非數學的演導。本書着重在如何逐步獲得這些數據的結果而非僅告知怎樣去解這些問題。因爲本書是一本教科書，故在引證中均逐步說明不作步驟省略的簡化

而保持合理程度的完整性，希望對數學沒有高深基礎的讀者亦能愉快地學習。事實上從本書逐步推論的引導，讀者除對近代物理有所瞭解外，並增加其對數學的應用能力。本書是一本近代物理的教科書而非量子力學或統計力學的書籍，故此書中談及上述兩學科之處甚多，但均以能幫忙瞭解原子、分子、固態、原子核等知識的觀念為依歸。

目 錄

第一章	特殊相對論	1
第二章	相對論力學	37
第三章	波的粒子性質	63
第四章	粒子的波動性質	93
第五章	原子構造	122
第六章	波耳原子模型	147
第七章	薛定諤方程式	172
第八章	量子力學之應用	200
第九章	氫原子之量子理論	230
第十章	多電子之原子	263
第十一章	原子光譜	296
第十二章	化學鍵	314
第十三章	分子構造	341
第十四章	分子光譜	372
第十五章	統計力學	409
第十六章	量子統計	433
第十七章	固體中之鍵	459
第十八章	晶體結構	485
第十九章	固體的比熱	511
第廿章	固體之能帶理論	537
第廿一章	原子核	568
第廿二章	原子核力及原子核模型	590

第廿三章	放 射 性	611
第廿四章	原子核反應	641
第廿五章	基本粒子	667
索引		695

第一章 特殊相對論

我們學近代物理始於對特殊相對論的認識。這是一個合理的起點，因為物理學最後的目的是從事量度與相對關係的研究，它包括分析量度如何隨觀察者而變以及量度如何隨觀察物而變。由於相對關係，顯示出一種新的力學，在這種新的力學裡，有空間與時間，質量與能量的密切關係。如果沒有這些相互關係，我們不可能了解原子內部的微觀世界，這種對原子的說明即為近代物理學的中心問題。

§ 1-1 邁克遜—摩理實驗 (The Michelson-Morley Experiment)

光波的電磁性質被發現以前，光的波動說已被推出，並且業已改良完善幾達數十年之久，光學的先進者有足夠的理由認為光波是在一種充滿各處的彈性介質中的波動，這種充滿各處的彈性介質被稱為以太 (ether)。用以太波解釋繞射與干涉的現象非常成功，因之我們對以太的觀念十分熟悉，所以以太的存在毫無疑問地被我們接受。

1864年馬克斯威爾 (Maxwell) 對光之電磁理論發展，與1887年赫茲 (Hertz) 在實驗方面對這一理論的證明，摒棄了許多以太的性質，但是，在那時候，似乎沒有人願意丟除曾用以以太說明的基本觀念：光是相對着某種全宇參考系 (Universal frame of reference) 傳遞的。讓我們舉一例題，並藉此例題與上述觀念具有簡單類似的性質，我們可以從而得知這種觀念所隱含的意義。

圖 1-1 為一條河流，其寬度為 D ，水流速率為 v ，兩船以相同的速率 v 從一岸出發，船 A 直接朝向正對岸橫渡，然後回來，船 B 向下

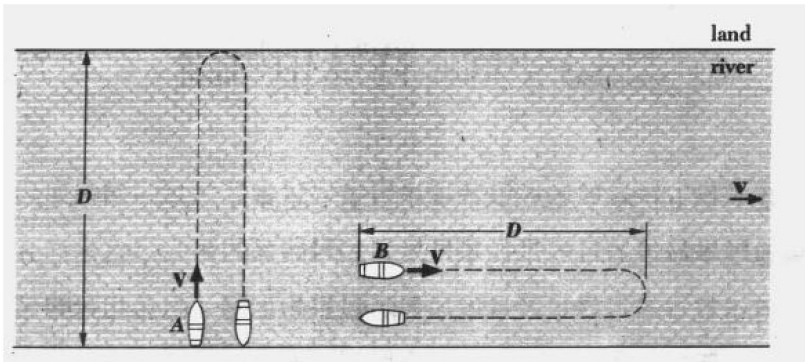


圖 1-1 船 A 直接朝向對岸橫渡，然後回到它的始點，船 B 朝下游航行相同的距離，然後回來。

游行 D 距離後回到始點，試計算每種情形下來回所需之時間。

首先我們討論 A 船的情形。假如 A 船正朝向對岸橫渡，則水流把它從對岸的目的地帶往下游（如圖 1-2），因此它必須稍偏向上游方

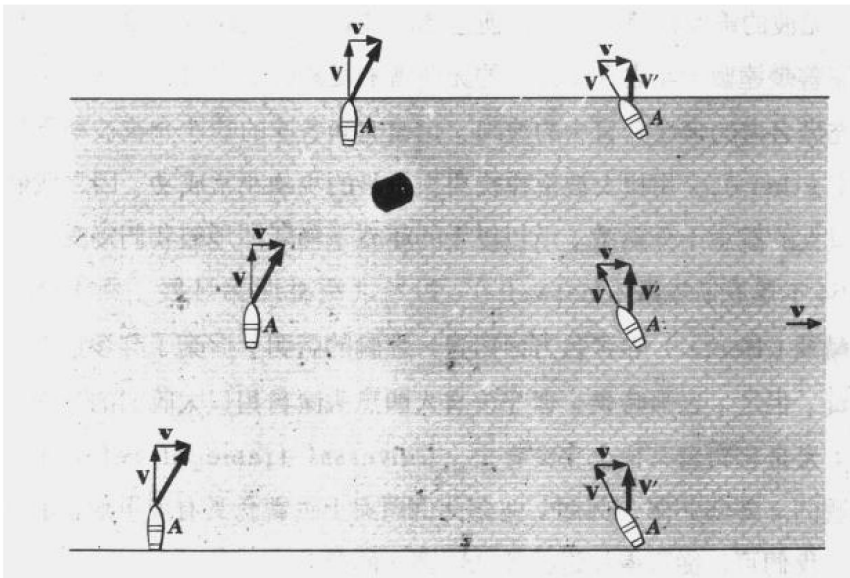


圖 1-2 如果船 A 直接朝向對岸橫渡，爲了要抵消水速，船 A 必須偏向上游。

向行駛以抵消水流。爲了達成此目的，其速度在上游方向的分向量必須恰好爲 $-v$ 才可以與水流速率 v 相抵消，餘下的分向量 V' 卽爲橫渡河流的淨速率，由圖 1-2 我們得到這些速率的關係式：

$$V^2 = V'^2 + v^2$$

所以 A 船用於橫渡河流的真正速率爲：

$$\begin{aligned} V' &= \sqrt{V^2 - v^2} \\ &= V \sqrt{1 - v^2/V^2} \end{aligned}$$

因此以第一種情形橫渡河流所需之時間爲距離 D 除以速率 V' ，由於回程所需之時間與去時相同，所以來回所需之時間 t_A 爲 D/V' 的兩倍，或者

1-1

$$t_A = \frac{2D/V}{\sqrt{1 - v^2/V^2}}$$

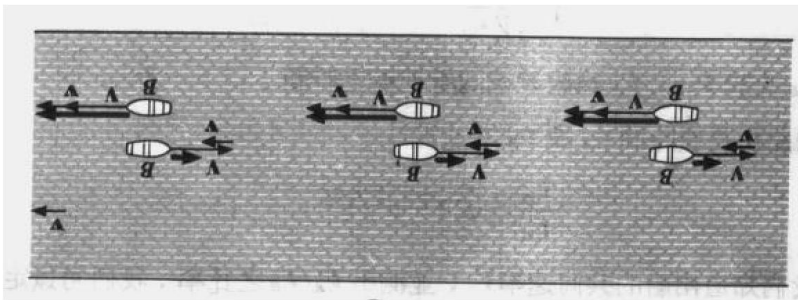


圖 1-3 船 B 向下游航行時其與河岸相對之速率多加了水流速度，但當它向上游航行時則減少了同樣的水流速率。

船 B 的情形稍異於船 A ，當它向下游航行時，它與河岸間的相對速率是爲它本身速率 V 加上河流速率 v （如圖 1-3），它向下游航行 D 距離所經歷的時間爲

$$\frac{D}{V + v}$$

當回航時，船 B 與河岸間的相對速率是爲它本身速率 V 減去水流速率

v ，因此需要較長時間

$$\frac{D'}{V-v}$$

才能向上游回航 D 距離至始點。來回所經歷的全部時間 t_B 等於這兩種時間之和，即

$$t_B = \frac{D}{V+v} + \frac{D}{V-v}$$

通分後得

$$\begin{aligned} t_B &= \frac{D(V-v) + D(V+v)}{(V+v)(V-v)} \\ &= \frac{2DV}{V^2 - v^2} \\ &= \frac{2D/V}{1 - \frac{v^2}{V^2}} \end{aligned}$$

1-2

t_B 大於 t_A ， t_A 為船 A 來回所經歷之時間。

兩船所經歷時間 t_A 與 t_B 之比為

$$1-3 \quad \frac{t_A}{t_B} = \sqrt{1 - v^2/V^2}$$

假如我們知道兩船的共同速率 V ，並測出 t_A/t_B 之比率，我們可以定出水流速率 v 。

用於這問題的原理，可移用於光波在以太中傳播的類似問題上。

設想有一充滿以太的空間，我們至少可以地球繞太陽運轉的速率 3×10^4 米/秒（18.5哩/秒）運動於其中，假如太陽亦動，我們穿過以太之速率則較大（圖 1-4）。對地球的觀測者而言，以太穿過地球而動；欲想測量這種運動，我們可以把從半鍍銀鏡產生的二組光線取代兩條船，（圖 1-5），這兩組光線中的一組，沿着與以太流動

第一章 特殊相對論

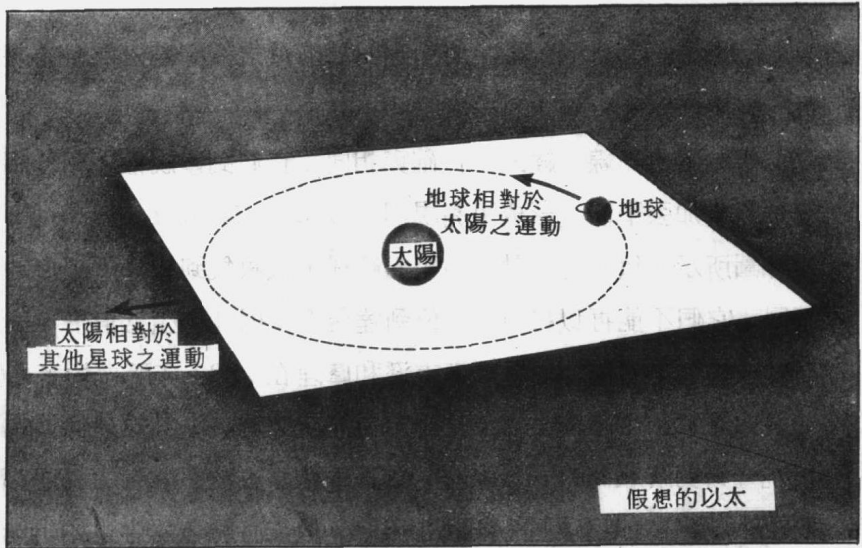


圖 1-4: 地珠穿過假想中的以太之運動

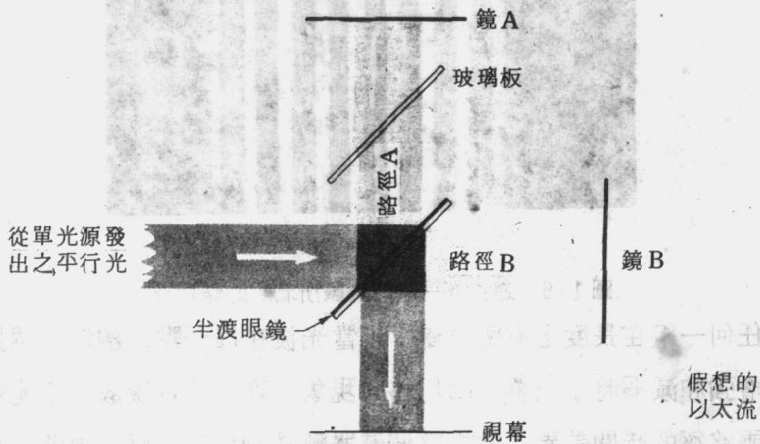


圖 1-5 邁克遜—摩理實驗

方向垂直的路徑照射到一鏡面上，另外一組光線，則沿着以太流動的方向照射在另一鏡面上。利用光學的裝置，可使兩組光線回到同一視幕

上 (Viewing screen) 。使用透明玻璃片之目的是使兩組光線通過相同的空氣厚度與相同的玻璃厚度。

假如兩組光線所經的路徑確實相同，它們到達視幕之相位相同，於是產生加強干涉，形成明亮視場 (Bright field of view) ，由於 (如圖所示) 以太的流動，兩組光線從半鍍銀鏡到視幕所經歷的時間不同，它們不能再以相同的相位到達視幕，因此產生抵消干涉。大體而言，這就是美國物理學家邁克遜和摩理在 1887 年所做的著名實驗。

真正實驗中，兩面鏡子是不可能完全垂直的，其結果使得視幕上出現一系列明暗相間的干涉條紋，這種干涉條紋的出現是由於相鄰近光波所經的路徑長度不相同 (如圖 1-6) 。假如實驗儀器中，兩組光程中

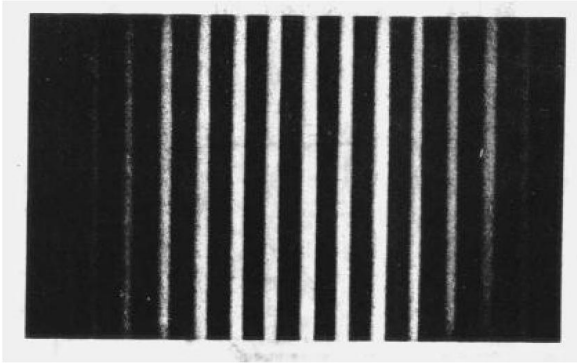


圖 1-6 邁克遜—摩理實驗所看到的條紋形式

的任何一組在長度上有所改變，則當光波在每一點連續地一個接一個地增強和減弱時，視幕上出現移動現象。靜止的實驗儀器不能告訴我們兩路徑的時間差異；當把整個儀器轉動 90° 時，原來兩路徑相對於設想的以太流改變了方向，因此原來需要 t_A 時間來回照射一次的光線，現在需要 t_B ，而原來需要 t_B 時間的，現在需要 t_A 。假如 t_A 與 t_B 不相同，則當儀器轉動 90° 時，條紋會在視幕上產生橫移現象。

讓我們計算這種基於以太學說所預料的條紋移動。由於以太流動，

二路徑的時間差，可從等式 1-1 與 1-2 得

$$\begin{aligned}\Delta t &= t_B - t_A \\ &= \frac{2D/V}{1 - v^2/V^2} - \frac{2D/V}{\sqrt{1 - v^2/V^2}}\end{aligned}$$

v 為以太速率，我們將取用地球軌道的速率 3×10^4 米/秒； V 為光速率 c ，而 $c = 3 \times 10^8$ 米/秒，因此

$$\begin{aligned}\frac{v^2}{V^2} &= \frac{v^2}{c^2} \\ &= 10^{-8}\end{aligned}$$

此數值比 1 小很多，根據二項式定理

$$(1 \pm x)^n = 1 \pm nx + \frac{n(n-1)}{2!}x^2 + \frac{n(n-1)(n-2)}{3!}x^3 + \dots$$

此式對 $x^2 < 1$ 有效，當 x 比 1 小很多時，則

$$(1 \pm x)^n \simeq 1 \pm nx$$

因此，我們可以用下列有效近似值表示：

$$\begin{aligned}\Delta t &= \frac{2D}{c} \left[\left(1 + \frac{v^2}{c^2} \right) - \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) \right] \\ &= \left(\frac{D}{c} \right) \left(\frac{v^2}{c^2} \right)\end{aligned}$$

此式中， D 為半鍍銀鏡至另外兩鏡子的距離，二路程差 d 所對應的時間差 Δt 為

$$d = c \Delta t$$

假如 d 相當於 n 條紋的移動

$$d = n\lambda$$

λ 為所取用光的波長，令上二式 d 相等，我們得

$$n = \frac{c \Delta t}{\lambda}$$

$$= \frac{Dv^2}{\lambda c^2}$$

真正實驗中，邁克遜與摩理利用多次折射可使 D 約為10米的有效長度，他們所用光的波長約為5000埃，（1埃 = 10^{-10} 米）當儀器轉動 90° ，預料每一路徑的條紋移動數為

$$n = \frac{Dv^2}{\lambda c^2}$$

$$= \frac{10 \text{ 米} \times (3 \times 10^4 \text{ 米/秒})^2}{5 \times 10^{-7} \text{ 米} \times (3 \times 10^8 \text{ 米/秒})^2}$$

$$= 0.2 \text{ 條紋}$$

由於兩路徑都受到同樣的條紋移動，所以全部條紋移動數應為 $2n$ 或0.4條紋。像這般大小的移動，理應觀察得到，因此邁克遜與摩理期待着直接確定以太的存在。每個人都很驚訝，居然沒有看到條紋移動。當在不同地方與不同的季節從事這項實驗，並且爲了同樣目的試做其他實驗，其結果總是一致：我們測不到通過以太的運動。從邁克遜 - 摩理實驗的否定結果，得到兩種結論：第一，闡述以太具有不能測量的性質之論證，不能支持以太的假說——曾經一度被尊重的觀念却變成爲一種蒙羞的結局。第二，提出一種新的物理原理：在自由空間裡，各處的光速都相同而與光源或觀測者的運動無關。

§ 1-2 特殊相對論

前面我們已經提過，以太的作用是爲了有一種全宇參考系，並設想光波對着它傳播。每當我們談到“運動”一詞時，誠然，我們真正的意思是“相對着一參考系運動”，這參考系可能是一條路，地球表

面，太陽或者是我們銀河的中心；但是，每次我們必須把這參考系表明清楚。在澳洲的 Bermuda 與 Perth 兩個地方，丟下去的石頭都會“落下”，然而，相對於地心而言，這兩塊石頭確實朝相反方向運動。在這種情形下，參考系的正確位置到底是在地球的表面抑或是在地心？結果是所有參考系都同樣正確，雖然爲了方便起見，每個人可能選用某一特定情況。假如有一種以太充滿在空間，我們可把所有的運動相

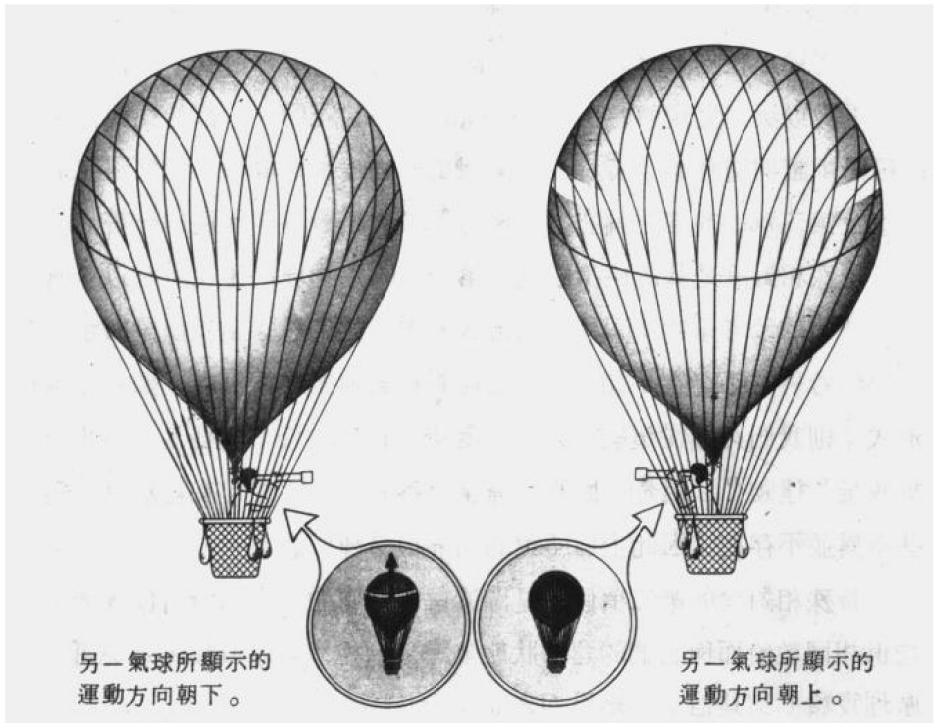


圖 1-7 所有運動都是相對於觀測者而言

對於它來討論，這樣 Bermuda 與 Perth 的居民便可從迷惑中解脫出來。沒有以太意味着沒有全宇參考系，所有運動只相對於觀測它的人或測量它的儀器而存在。假如我們在一個自由飛行於均勻雲堆上的氣球裡。看另一個自由飛行的氣球相對着我們變更位置，我們無法知道到底是那一個氣球“真正”運動（圖 1-7），即使我們把自己孤立在一

宇宙中，我們亦無法決定是否自己在運動，因為如果沒有參考系，運動的觀念便失去意義了。

相對論是由分析那些缺少全宇參考系的物理結果而引起，特殊相對論是愛因斯坦（Albert Einstein）在1905年發展出來的。它討論涉及慣性參考系（Inertial frames of reference）的問題。所謂慣性參考系是指那些彼此相對以等速運動的參考系。十年後，愛因斯坦又提出了廣義相對論，它討論那些涉及彼此相對以加速運動之參考系的問題。在隔離實驗室中的觀測者，能夠測定加速度，任何曾經乘過電梯或玩過兒童轉盤（Merry-go-round）的人，都能從他自己的經驗中證明這件事。特殊相對論對全部物理影響很深，我們將在這一章以及第二章的前部討論它，然後再對廣義相對論作簡短的一瞥。

特殊相對論是基於兩項假設；第一，闡述物理定律在所有以等速相對運動的參考系中，可用相同形式的方程式表示。這項假設顯示了全宇參考系的不存在；如果物理定律對相對運動的觀測者，顯示不同形式，則我們可以從這些差異中決定空間裡的物體，那些是“靜止”，那些是“運動”。但是，因為沒有全宇參考系，所以，在自然界中這些差異並不存在。因此上面所說的第一項是種假設。

特殊相對論的第二項假設是闡述自由空間的光速對所有觀測者，均俱相同數值而與它們的運動狀態無關。這種假設，直接由邁克遜—摩理實驗（與其他）的結果而來。

起初看來，這兩項假設似乎不是基本的，事實上，它們幾乎推翻了全部我們由日常經驗所累積的時間與空間的直覺觀念。茲舉一簡單的例子來說明這種情形。在圖1-8中，我們再度以 A 與 B 兩船為例，船 A 靜止於水中，船 B 以等速度 v 航行，四週濃霧瀰漫，因此在兩船上的觀測者都分不出那一條船在動，當 B 與 A 並排的那瞬間，一閃光信號發出，根據特殊相對論的第二項假設，閃光信號發出的光均勻地