

馬赫對牛頓力學的評論

MARIO BUNGE 原著

鄧克俊 節譯

這篇文章是取材于 AM. J. Phys. 34, 585(1966)，原文頗為冗長，所以刪除了一大部分。全文討論馬赫對力學基礎的看法，雖然今日的發展已遠非馬赫的經驗主義觀，然而下述的分析或許還有助於初學者對力學基礎的注意及瞭解。

前言：

艾斯德·馬赫 (Ernst Mach 1838—1916) 是一個有名的實驗物理學家及精神物理學家，他對物理學基礎的建立具有極其深遠的影響力量，然而他的主要貢獻是批評性，而非建設性的。對某些基本的觀念，馬赫的批評很有些價值，尤其是在原子理論與牛頓力學方面。雖然他對前者的看法完全錯誤，但是馬赫對力學基礎的種種研討與牛頓力學似乎具有同等的地位。

馬赫一方面對絕對空間與絕對時間做了正確的批評，一方面又想極力消除力學中的某些重要角色，他的這兩項工作實在是受了經驗主義論者的影響。對一個急進的經驗主義論者而言，一切無法測度的觀念都是該死的，可厭的。除非它包含了經驗，否則就不能接受。這樣一來，任何無法測度的假設都該拋棄，甚至一切的理論都不可信賴，因為事實上，理論超越了經驗，而非遵循經驗；因此它是錯誤的。

馬赫——一個忠實的經驗主義論者，就想把物理學中一切不能測度的假設完全除去，祇保留含有「經驗」成分的部分及一些定義。因此，他對牛頓力學的批評，幾乎不僅是對古典物理的譴責，而是對整個理論物理的譴責。在攻擊牛頓力學時，他暗中排除當時頗為流行的獨斷主義論，以有助於創造新理論的氣氛，但是對不合於他哲學的新觀念也力加拒斥。事實上，馬赫這種狹隘的經驗主義論使得當時人們都不敢引介一些無法度量但極為有用的創新的觀念，而使得科學的進展延緩不少。

下面就讓我們看看馬赫對於牛頓力學的評論：

I. 時間的相對性：

馬赫反對牛頓的「絕對時間」的看法，亦即：「時間具有其根本的性質，均勻地流動而不受任何外在事物的影響。」他比較贊同所謂「關係論」或者說是「因果論」的說法，按照關係論的說法，時間本身並不存在，祇不過是一種發生事物的影子而已，假如說有許多不同的事物發生，那麼時間就是

由這些事物發生順序所獲致的一種抽象概念罷了。因此，絕對時間的觀念實在是一種愚蠢的玄想。即如經驗主義論者一樣，馬赫也得到了相同的結論，他認為時間是度量出來的，而非像理論物理中的獨變數，他曾說：「對自然的觀察者而言，時間的決定，不過是一事物與另一事物相互關係的簡潔敘述而已，除此之外，別無其他意義。」在度量時間時，兩個相互比較的事物之一可以是一個任意選擇的運動，以此做為時間的準則（或是鐘）。

由此可見，時間是相對的；更進一步說，它僅屬於發生事物當地的；甚至可以消除而捨棄它。事實上，雖然在宇宙的每一個地方，我們可以用一序列的事物來定義時間，然而，馬赫說：「對整個宇宙而言，時間並不存在。」（因此所謂宇宙的年齡便毫無意義）簡單的說，只有局部的時間，沒有宇宙的時間。更甚的，局部的時間並非其本身存在，而是現象與現象間的關係。因此馬赫相信，時間應該從所有的定律中除去而代之以現象間的關係。譬如說地球旋轉的夾角（然而他並沒有提出有效的數學方法來表明他的概念）。由上文看來，馬赫的激烈見解也不算太新，也不算很正確，下面讓我們再仔細看看。

一個較為嚴謹的關係論的時間觀念可用下法表明，將事物 x 與事物 y 之間的時間間隔定為某一實數 t ，更廣泛一點，我們可設 E 代表許多事物的點集合，又設 $E \times E$ 為事物的序對（ordered pairs） $\langle x, y \rangle$ 的集合，則兩事物間的時間間隔是一種歷經函數（Duration function）將 $E \times E$ 的點對應到實數 T 來，其中 T 是包含於實數 R 的，因此用符號表示即為： $D: E \times E \rightarrow T$ ，且 $T \subseteq R$ 。 T 中的任一個值 t ，就是那一瞬的時間，同時我們必須給予若干假設以決定此一函數 D ，其可能情況是這樣的：（a）對 E 中的任一 x ， $\langle x, x \rangle$ 的對應歷經函數值為零。（b）對 E 中任意的 x, y ；對應於 $\langle x, y \rangle$ 的函數值與負的 $\langle y, x \rangle$ 的函數值相等。（c）對 E 中任意 x, y, z ；對應於 $\langle x, y \rangle$ 與 $\langle y, z \rangle$ 的函數值之和應等於 $\langle x, z \rangle$ 的函數值。

如果我們再介紹一個新的，無法定義的物理量——參考座標時，這個時間的理論（非相對論的）就

更加完美了。

II 「時間」仍然合用：

上述的說明顯然必定為馬赫所反對。第一：上述的分析並不有助於消除時間的觀念而代之以現象，第二：我們所定義的函數與時鐘的讀數無相關聯，而且無法確切地應用到經驗的事實。因此上述的分析並非馬赫的觀點，而是萊布尼茲的關係論與牛頓宇宙時間的概念的一種綜合。

為明瞭將時間觀念除去的後果，我們看看，假如說：

a 發生於1966年1月1日， (1)

b 發生於1966年1月1日， (2)

其中a與b代表兩個事物，由(1)，(2)及「同時」的定義，我們可以除去「時間」而這樣說：

a發生與b發生同時， (3)

b發生與a發生同時， (4)

由「同時」的對稱性，(3)與(4)的意義是相同的。然而由(3)(4)，我們再也沒辦法回復到(1)(2)了，可見日期是很重要的，尤其是我們考慮的事物更多時，它就變得不可缺少了。總括來說，我們若真把「時間」拋棄，必定會損失許多寶貴的資料。所以，「時間」祇能加以更嚴格的分析，而不能捨棄。

最後，讓我們看看馬赫對時間標準的看法，馬赫說：「我們可任意選擇一種運動（如地球旋轉夾角或自由物體的運動），與我們對時間的感受幾乎平行相應的，來做為我們度量時間的準則。但是，這種說法是錯的：(a)時間準則應假設為時間的標準和我們對時間的感覺沒有多大關係，尤其是原子鐘（事實上是分子），根本毫無關聯。(b)決定時間的標準並非依賴我們對時間長短的不可信賴的知覺，而是某種理論可證明我們選擇為標準的運動的規則性。簡單說，馬赫的批評祇提供一小點事實——時間是相對的。但是運用他的哲學並無法發展出完美的東西來，何況愛因斯坦（1905）年發表相對論，我們知道時間不僅與發生事物有關，而且與參考座標也有關。

III 空間的相對性：

馬赫也反對牛頓絕對空間的觀念，亦即：「空間與任何外在事物無關。」馬赫認為這種看法純屬虛構，而且超出了經驗的範疇，那當然不可以。

馬赫反對絕對空間與絕對運動的看法雖然正確，然而他哲學上的理由是錯誤的，使得物理的理論只能局限於人類的經驗。他認為受b'物體影響下的b物體，其位置與速度僅可由第三個物體來決定。也就是說，空間本身並不存在任何座標源，如果我們在物理上必需應用到座標系，那麼這個座標系須是實物而非數學的玄想，所有物理上的幾何性質都由這個座標系決定，所以說，空間不是絕對的。馬赫的這些看法是對的，但是還混雜着一些不正確的觀念。

馬赫不明白 C. Neumann (1670) 已經提出的 Alpha body 學說是我們現在慣性座標系或 Galileo 參考座標系的前驅，他認為 Alpha body 完全虛幻，而且仍然為他自己的看法辯護。他說：「當我們說一個物件保持其方向與速度不變時，我們假設不過是以整個宇宙為參考基準罷了。」這可以說是馬赫的第一項誤誤。他的第二項錯誤：他認為一物體的位置與運動是由參考座標來決定的，而不是以參考座標為參考的基準。然而事實上我們知道，某些座標不是慣性座標系，而且與其上的物體有複雜的關係，是不適宜被選為參考座標的。可是馬赫無法跳出經驗哲學的範疇而免除這種混亂。對經驗主義論者言，若不用經驗的方法去度量東西，任何的決定都沒有意義；換句話說，經驗主義論者對事物的決定無法將本體論觀與認識論觀混為一談。

按照馬赫的看法，一切物體的運動，亦即其質量(馬赫認為二者互相關聯)，須由宇宙中其餘的物體來決定。雖然他的說明有些模糊，但是重力場論，宇宙論及基本粒子論中，我們常常引用到此種概念。然而因果論的假設與馬赫建議間的不協合的情形仍然不甚為人明瞭；況且如果馬赫理論是對的話，宇宙的總質量應為零，因為它無法與任何其他東西作用。

IV 質量與力的觀念的捨棄：

馬赫極端反對力與質量的觀念，尤其把質量當做對物質質量的一種度量，這是他絕不能忍受的。依馬赫的說法，我們必須把所有的現象記錄起來，再尋求現象間的關係。因為力學的現象是可感覺的物體的運動，因此我們就得把注意力局限於物體的運動現象了。為由此引出質量的觀念，馬赫假想在一個孤立的系統中，有兩個在「各方面都完全一樣」的物體（我們只能這樣說，因為我們還不知道他們的質量），他設想由實驗可得：兩者經相互作用後，若其加速度大小相等方向相反，則其質量相等。同樣的，若有兩個任意物體，設為1及2，則由此加速度 $-a_1$ ，與 $+a_2$ 之反比，可定為兩者的質量比，此式表之，即為：

$$-\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

用這種方法，我們可量出質量。馬赫再定義「力」為： $m \cdot a$ ，由此，他相信一切的玄想已被除去了，因為此刻，質量變成可觀察測度的東西，而力變成純粹的定義，同時他認為「原子」的構想已超越經驗的範疇，所以根本不必考慮其質量。事實上馬赫的理論可由牛頓的假設導出，可見後者較為廣泛，況且前者並非完全是現象的敘述，因為僅由觀察，我們無法推斷在座標中度量的位移變化（即加速度的度量）只受到兩個物體相互作用的影響而別無影響。

V 總結：

質量與能量的關係

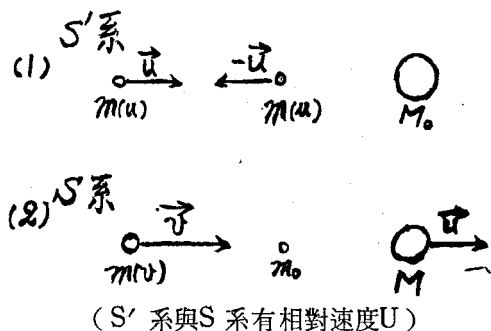
朱
耀
煌

物理學者所深信和常引以為依據的，就是一些守恆定律。但是守恆定律的假設有時往往是不正確的，所以與實驗的結果不合。與實驗的結果不合以後，人們又尋求更新，更完美的解釋，以滿足這些守恆定律。在量子方面的守恆定律有電荷守恆，重子守恆。能量的守恆是屢經修改而得的，最先是機械能的守恆，然後發現機械能並不守恆，只好把「熱能」加進去，來使得守恆定律繼續成立，當然現在我們知道熱功當量 $1\text{cal}=4.1858\text{ Joules}$ 。此外還有其他形式的能量，使我們覺得能量守恆定律似乎發展得很完美而且不應該有什麼問題了。同時在另一方面，人們也認為質量不會無中生有，也不會有中變無的消滅掉，這當然是天經地義的事，否則的話多不可思議？又不像古代的神話，可以變來變去的。但是不幸的（或者說是大幸的）是自從愛因斯坦的相對論提出以後，質量與能量竟然可以互換，這是大家所熟知的 $E=mc^2$ 。甚至我聽到一位教授在講心物合一論時，居然也把此公式提出作為精神與物質合一的旁證，這些閒話姑且不去管它，要緊的事，是如果我們能消滅一小量的質量，就能產生極大的能量，人們構想的結果產生了原子彈和氫彈，換句話說是「核分裂」和「核融合」的反應。人們利用這兩種核反應，達成了毀滅物質，轉換成能量的目的。人們卻沒有想到，這麼大的一個宇宙，這麼多的星體，需要多少的能量才能造得出來呢？

所以這篇討論，主要是要談到一個相反的問題，人們怎麼樣才能利用能量來製造或者說是創造出物質來呢？首先讓我們來看下面一段分析：

一般書上推證 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}}$ 都是用一個完全

彈性碰撞的模型來說明，現在讓我們用一個完全非彈性碰撞的模型來討論。在 S' 座標系中，有二質量相等的球，各以 $U, -U$ 的速度作完全非彈性的正碰撞。此現象在 S 座標中所見到的是一球以 V 的速度前進，而另一球則靜止，然後二球作完全非彈性碰撞。當然，碰撞後並不靜止，而是以 U 的速度繼續前進。



由 Lorentz—transformation，我們可以得到

$$v = \frac{2u}{1+u^2/c^2}, \text{ 爲便利計算起見，我們只取其純}$$

$$\text{量作運算，就是 } v = \frac{2u}{1+u^2/c^2} \dots\dots\dots ①$$

$$\text{由動量守恆：} m(v)V = Mu \dots\dots\dots ②$$

$$\text{由質量守恆：} m(v) + m_0 = M \dots\dots\dots ③$$

$$\text{消去 } M, \frac{m(v)}{m_0} = \frac{u}{v-u} \dots\dots\dots ④$$

再由①式中解 u ， $u = \frac{c^2}{v} (1 \pm \sqrt{1-v^2/c^2})$ 因為我們知道當 $v \ll c$ 時， $u \rightarrow \frac{v}{2}$ ，所以該解中只有

牛頓曾批評笛卡爾的物理是演繹的，他認為應該由觀察到的事物出發而建立起結論，他說：「在實驗哲學中，由觀察所演繹出的結論，是正確的，最近於真理的。」然而，事實上，牛頓根本不曾遵行他自己所說的演繹哲學，而且他還大胆地假設無法觀察到的量，例如「質量」，「質量中心」以及「力」。並且由這些「量」造成了假說，視本為真實運動的範式，最後才將結果與經驗所得的數據比較。因此，牛頓實在和笛卡兒一樣是「假設—演繹法」的實行家，可是他還自以為是追隨培根法蘭西斯實驗主義的英雄呢！

牛頓這種反牛頓哲學只能騙騙那些沒有哲學基礎的人，然而却不過 Kirchhoff, Mach 的銳利的眼睛，Kirchhoff 認為，可觀測的事物乃是建立「力學」的基石，哲學家 Hans Vaihinger 也說，質量與力是不可得的，因為它們不在人類的經驗範疇之中，我們不過因這些「輔助觀念」幫助我們瞭解事物

而已。然而牛頓的這種玄想式的哲學是很重要的，甚至在量子力學的創造者之中，仍有人接受這種看法。

事實上，物理學家常提出超越經驗的假說以幫助我們瞭解事物，因為：(a) 經驗無法提供超越經驗的觀念。(b) 物質上特殊的情況（經驗）可由更一般的論斷（假說）中推演出來，可是由特殊情况，我們無法獲致更廣泛的瞭解。

總括而言，馬赫的見解有些是對的，也有些是錯的，這大部分是由於他錯誤的哲學觀所致。他繼承了十八世紀休姆 (Hume) 與巴克萊 (Berkeley) 的感覺論，而想用他的哲學將物理重寫，雖然他沒有成功，然而細讀他的理論，對於瞭解力學的基礎仍然很有助益。當然，我們不希望重蹈他們的覆轍，但是，完全不顧所有哲學的話，你將會變成劣等哲學的奴隸了。