

# 慣性

憶遠詳

牛頓認為慣性是物質的固有性質，但是一些物理學家認為慣性是宇宙內全部物質相互作用的結果。

本文譯自 Scientific American February 1957

原文作者 Dennis Sciama

大家都知道，要使一物體運動必須外加力量，通常我們稱這物體具有慣性（inertia）。自從牛頓（Issac Newton）以來，古典的觀念皆認定慣性是物質固有的性質（Intrinsic property），也就是說物體的慣性不受周圍環境的影響。但是一些物理學家不以為然，他們認為物體之所以有慣性，是由於它和其他物體相互作用的結果。本文舉出三項實驗來說明物體的慣性係源於宇宙內其他物體的可能性。

第一個實驗是牛頓做過的：將水桶盛水後繫於一繩，再將繩子扭轉若干圈而後放鬆，水桶即開始轉動，並且帶動桶內的水使之轉動，而且水面成凹面，此時若使水桶停止轉動，我們會發現水仍然成凹面繼續轉動，最後水面漸平，水慢慢靜止下來。

牛頓這個實驗是用來解釋他的第二運動定律的。他假定有所謂絕對空間（absolute space），而他的運動定律即適用於這種空間內的運動：絕對運動（absolute motion）。

他認為水桶內水的轉動是絕對的轉動（absolute rotation），因此，水桶內的水轉動後，不論水桶轉動與否，其表面都是凹面形的。

19世紀，Jean Foucault發明Foucault Pendulum，其運動面每24小時轉動一圈，若依照上面的說法，則牛頓對這現象的解釋將是：對於一絕對空間而言，Foucault Pendulum的運動面是固定的，而其運動面的轉動仍表示地球的自轉。

牛頓提出物體的慣性理論後廿年，哲學家Bishop Berkeley認為牛頓的說法不見得正確。他認為所謂絕對空間是不存在的。並且他指出牛頓的水桶與水實驗的解釋不正確。因為牛頓認為水的轉動是和水與其他物體之間的相對運動互不相干的，不

過，Bishop Berkeley則主張水的運動受宇宙內其他物體（例如遠處的星體（fixed stars））的影響。如果宇宙內這些物體不存在，則水面永遠是平的。

這種理論受到各方面的嘲諷。因為牛頓定律能很成功地解釋恒星的軌道運動。可是約兩百年後，科學家Ernst Mach重提Bishop Berkeley的理論，茲摘錄其要點如下：

「地球自轉是大家都知道的，不過我們可以把地球想像成靜止，而其他星體則繞着地球轉動，就幾何上來說，這兩種地球與天體間的相對運動是一樣的。不過我們若想像後者的說法，那麼，依照我們通常的慣性觀念，就不會有Foucault的實驗，地球也不會成為扁球狀。這問題的困難可有兩個解決辦法，我們可以說地球是在作絕對的轉動，或者說，牛頓的慣性理論並不完全正確。我贊成第二種說法：因為如果牛頓的理論是正確的話，則地球與天體間相對運動的兩種說法應該得到同樣的結果。因此，我認為慣性理論應把宇宙內的一切物體都考慮進去……。」

Ernst Mach的理論仍然遭受同樣的命運。多數人認為像Foucault pendulum的現象會受到遠處星體的影響是難以置信的。牛頓的理論雖不涉及遠處星體的性質及其距離，可是它確實能解釋很多的現象。因此，假如Mach的理論與牛頓的計算方法都是正確的，那麼縱然我們還不大明瞭遠處星體的分佈情形，其所產生的影響也可以計算出來。

我所要提出的第二個實驗是伽利略（Galileo）的自由落體實驗。根據伽利略實驗的結果，不同物體所受的重力加速度是相等的，也就是說物體所受的重力（gravitational force）與其質量成正比

。現在我們假定地球是靜止的，則地球必然會受到太陽的重力，但依照牛頓的運動定律，地球必須受另外一個力，即所謂慣性力（inertial force 此時即離心力 centrifugal force），來平衡太陽的重力。此慣性力的大小也與質量成正比。這種力與質量成正比的性質與伽利略所作實驗的結果是相似的。

由於重力與慣性力的相似性質，使愛因斯坦想到它們之間的關聯。牛頓認為慣性是物體的固有性質，因此慣性力是一種虛構力（fictitious force），但愛因斯坦認為慣性力不是虛構力，它是宇宙天體的重力作用所產生的。

愛因斯坦為了進一步解釋重力與慣性力的性質於是提出了一般相對論（general theory of relativity）。這個理論是很成功的，但是對於慣性力的解釋仍然在爭論之中。在此我願意提出我的理論（an approximate theory），當然這理論不如愛因斯坦的理論有廣泛的正確性，但已經足夠說明慣性的可能性質。

這個理論有兩個基本假設（postulates）：

1. 粒子（particle）所受的重力作用，可用與帶電體（charge）所受電磁作用相似的方法計算出來。

2. 一個粒子若是靜止的，則其所受到宇宙內一切粒子的重力作用之和等於零。換句話說。由粒子本身看來，它是不受重力場影響的。這個假設說明了沒有所謂虛構力：即任何力皆有其來源（physical origin in actual matter）。

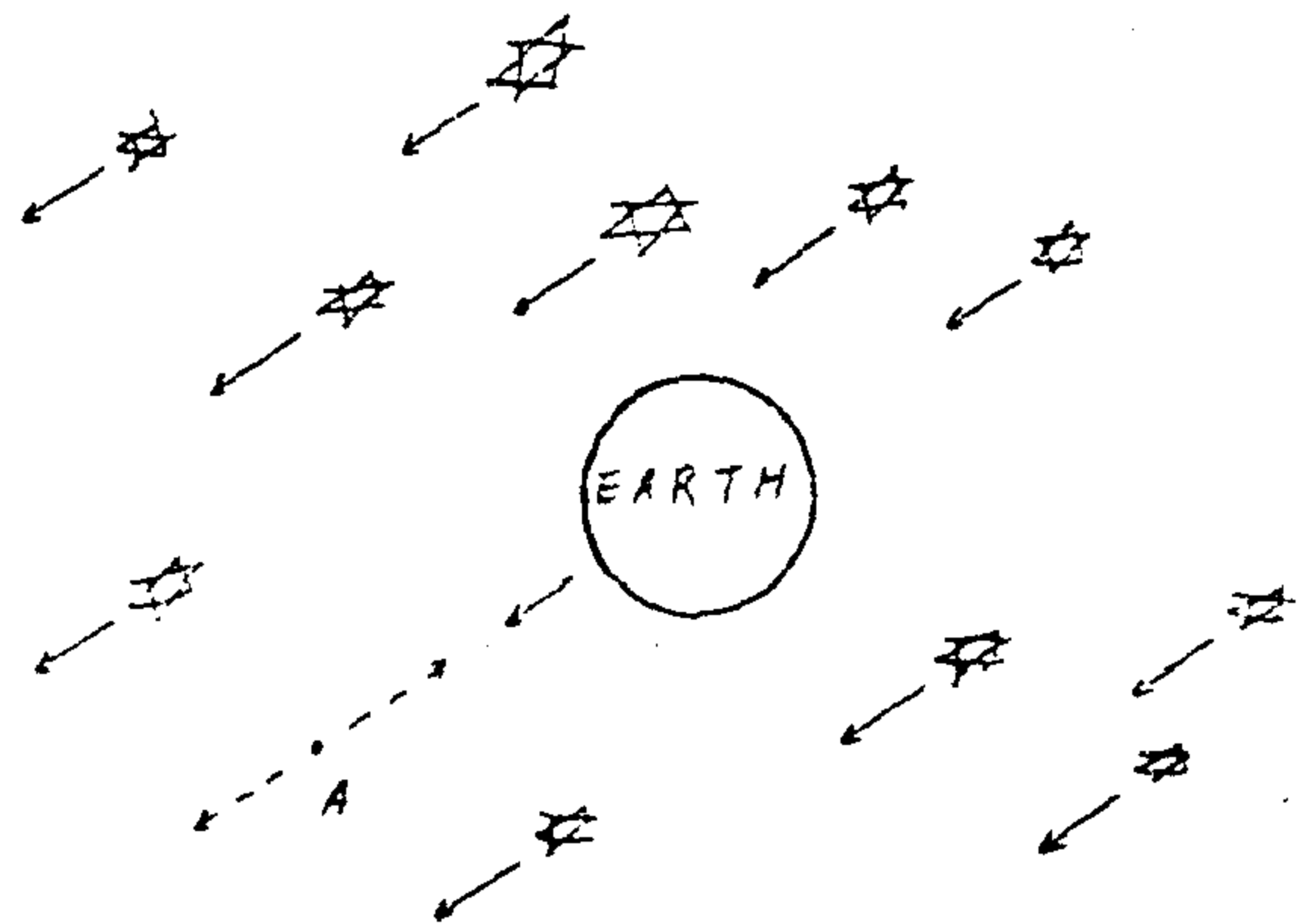
現在來說明這兩個假設的意義。假定我們坐在一個粒子上面，受地球的重力作用。我們當然認為自己是靜止的。根據上面的假設，則地球與宇宙內其他天體的運動，其結果會使粒子所受的重力作用之和等於零。這是說，宇宙天體運動所產生的重力作用，恰與地球所產生的重力相平衡。宇宙內天體所產生的重力作用也就相當於牛頓所謂的慣性力。我們由第一個假設所計算得到的這個慣性力與天體對粒子的相對加速度成正比，因此天體對粒子的相對加速度可由地球的重力決定出來。（請看附圖）

可是宇宙內天體的重力作用還與其分佈的情形及質量有關。因此，這個相對加速度與宇宙天體的分佈情形一如宇宙的平均密度一有關。

現在我提出第三個實驗—牛頓的重力定律（Newton's law of gravitation）；兩物體間之力與兩物體質量的乘積成正比，與其間距離的平方或反比。其比例常數稱為重力常數（gravitational constant）。這常數已經由實驗測定出來。依照牛頓的慣性理論這常數可為任意值，但是如果我們的理論正確的話，則這常數實決定於宇宙天體的分佈情形。

牛頓的理論就是假定重力常數可為任意值，而且可以選定絕對的座標系統（absolute reference system），所以牛頓的理論雖不考慮宇宙天體的分佈及其可能產生的影響，也能圓滿地解釋很多現象。

最後假定地球是靜止的，宇宙其他星體則繞地球轉動，那麼依照我們的基本假設，地球所受的重力作用可以計算出來。Foucault pendulum 所受的力就相當於圓環形電流（circular current）所產生的磁場作用，所謂離心力則相當於電場作用。這些皆足以說明局部性的現象（local phenomena）受宇宙天體的影響。



物體 A 可視為靜止，則地球及其他星體對 A 有加速度（實線箭頭），地球施予 A 的重力（引力）與宇宙內星體所產生的力（虛線箭頭）互相平衡。

結 論

依照我們的理論，物體之有慣性，是因為與宇宙天體相作用而產生的，故慣性的大小實與宇宙內物質的多少有密切的關係。所以上面說重力常數與宇宙的平均密度有關。而且，慣性主要還決定於極遠處的星體，這些物質雖然距地球很遠，可是它們

很大的分辨力。此外，從前用發散的X光 (divergent X-ray) 來放大物體得到的結果不够清楚，分辨力只有 1000 Å，用立體照像術能使分辨力大增。

二、立體照像術能立刻把運動中物體的照片攝下，故能用以研究高速運動的微小粒子的形狀，此為立體照像術在質點大小的測量 (particle-sizing) 上的一項應用。

三、立體照像術能消滅透鏡像差，其法先用底片照一個被像差扭曲的像然後在影像，重現 (reconstruction) 時，將此底片置於攝片時與物體所有的相對位置上，則由像差產生的相差可以抵銷，而得到原物體的形狀。

四、與上同理，一個擋住視線的不透明體對物體的像產生的改變可以由立體照像術消除之。

五、如果你想把一頁書中的字母A全找出來，先做一個A字的底片，則書中A字來的光線和底片上的條紋抵銷，只剩下一個亮點。如每個字母用一種波形則所有書中的字母可以同時認出。

六、立體照像術最重要且應用最多的方面是對物體振動 (vibration) 的測量，一個在共振 (resonance) 中的物體經過立體照像術能使原來靜止的部分 (如節 (node)) 變成白色，運動部分 (antinode) 變成黑色。用這種方法我們會得到不少令人驚奇的結果，用這種方法我們也有辦法求出此物體的共振頻率，振動波形及振幅。

七、進展方面，現在已有了用三條光線的立體照像術，也就是 3-beam holography (二條參考光線)，這種方法只要一步 (普通立體照像術還要重現的手續) 就能得到像。此外，此法對相位差的靈敏度較高。

八、最近的一項進展能用日光代替雷射供影像重現，因為布拉格反射能選擇光線，若各色光線同時照在底片上，唯一反射的是原來造成底片時用的光線，所以當日光中含有與使用的雷射光相等波長的光時，影像仍可重現。

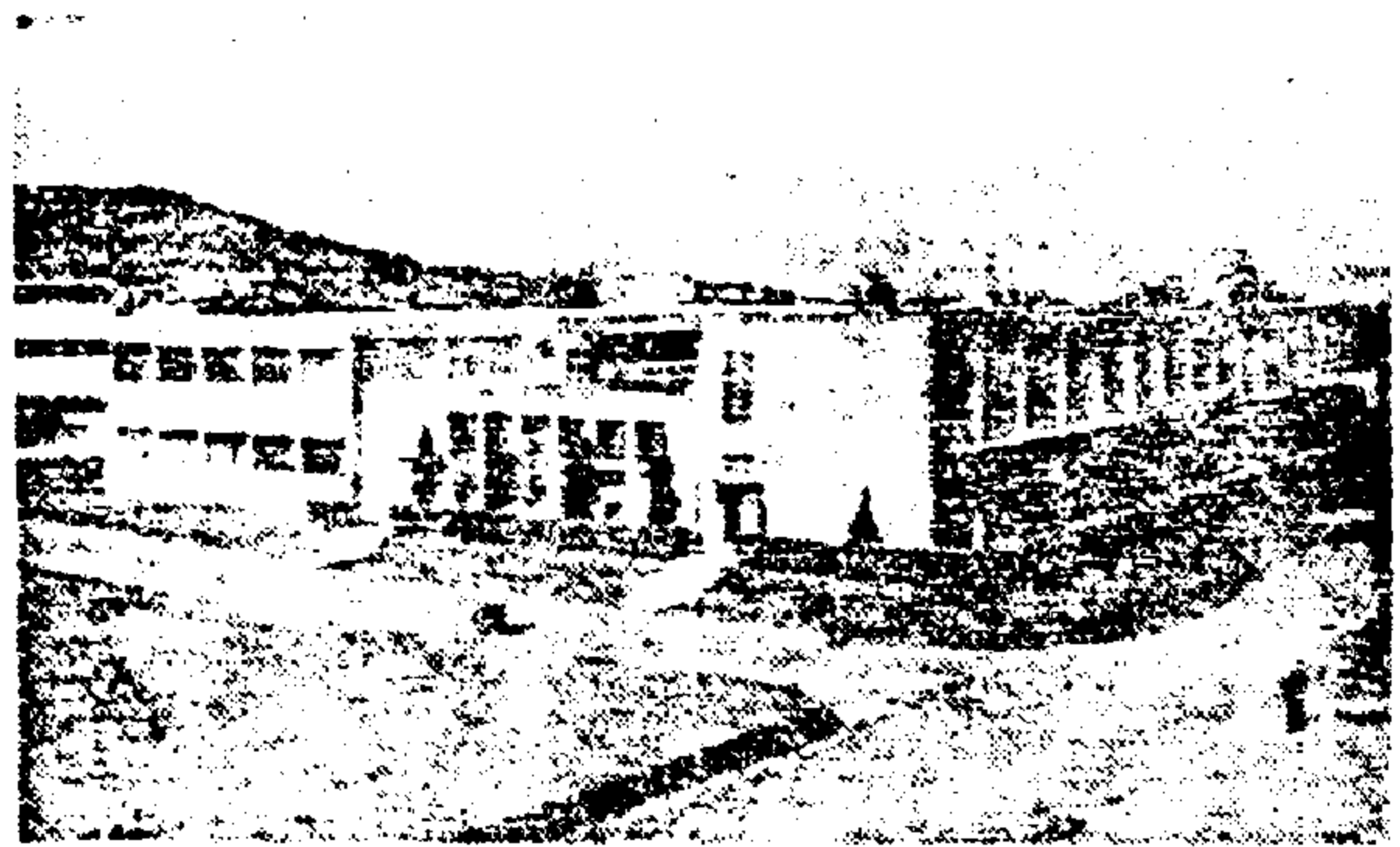
參考書籍

- 一、Wireless World Feb. 1967
- 二、E. Lieth & J. Upatnieks J. Opt. Soc. Am. 52, 1123 (1962)
- 三、同上53, 1377 (1963)
- 四、同上54, 1295 (1964)
- 五、Scientific Research, 1966

上接 41 頁 慣性

的體積卻非常大。例如太陽對慣性所產生的影響不過為全部的一億分之一。因此，重力常數實則告訴我們遠距離 (大於 200英寸望遠鏡所能看到的距離) 物質的平均密度。

因此如果這些理論屬正確的，則在地球上作簡單的實驗，就能得到有幾極遠處物質的資料。這告訴我們可能宇宙對其他的物理現象有重大的影響。例如，電子所帶的電量 (Charge on an electron) 一向被視為常數 (fundamental constant)，像慣性一樣，被認為不受周圍環境的影響。但它很可能是長距離相互作用 (long-range interaction) 的結果。要是原子的性質確實可以遠處決定出來，則遠處物體影響局部性的物理現象 (local phenomena)，這些物理現象又可以供給我們遠處物體的資料。「由一粒沙，而窺大千世界」，科學家們將可由一個原子而知道整個宇宙！



物理館外觀

上接 31 頁 示波器分析

pull) 。hp 120B 型的對稱放大電路就是用這種方法。用電場控制電子偏向的方法有上述幾項缺點。因此用在高頻率訊號的示波器改以由線圈產生的磁場來控制電子偏向及聚焦。

一般用的示波器可以量訊號的量，頻率，形狀及與另一訊號的相位關係 (phase difference)。為了適應特殊用途也可以加上特殊設計。為了上幾項用途得有電壓減低，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路。附帶的，還有低壓及高壓直流電源電路以供給陰極射線管，訊號放大電路及鋸齒形訊號發生電路作用所需的電壓。