

重力概念的起源

蘇賢錫

國立臺灣師範大學物理系

重力概念的根源可以回溯到古希臘時來。柏拉圖 (Plato 427 — 347 BC) 留下的記載：「各種物體分別移向與自己同族的物體。移動的物體叫做重物，移動的目的地叫做下方。」這種想法刺激了中世，文藝復興時期，以及 17 世紀的學者。

亞里斯多德 (Aristotle 384 — 322 BC) 一方面繼承恩師柏拉圖的思想，一方面建立自己獨特的自然科學體系，他的學說大幅度影響後世。他認為物體具有重 (gravity) 與輕 (levity) 的性質，但是這些性質不是像冷、熱、乾、濕等可以直接感覺的明顯性質，而是隱藏的性質 (occult qualities)。換言之，物體不但有重量，而且如果不加以支持，物體將因其重量而朝向下落 (gravitate)。這是含有重力概念的性質。亞里斯多德認為，這種性質存在於因重量而落下的物體內。所謂朝向下方的意思是朝向地球的中心，就亞里斯多德的階層性宇宙而言，這也是代表宇宙的中心。這並不是整個宇宙的

普遍性質，而只是在月下世界的現象。即使在月下世界，這也不是普遍性質，例如，火因其輕質而朝向上方移動。重物朝向下 (亦即宇宙中心) 移動，輕物朝向上方移動，各作自然運動，反之，就是強迫運動。自然運動不需外在的原因或動因。天體的自然運動是圓周運動，而地上的重物具有移向地球中心的傾向。例如落下的自然運動與其他強迫運動，後來發展成為自由落體與拋射體運動這兩大問題，形成古典的近代力學。

根據亞里斯多德的理論，僅在原動者 (亦即力) 與運動體互相接觸時，運動始能發生。換言之，超距作用力完全被否定。若用古典力學的措詞，亞里斯多德的運動論是：運動體的速度與所加的外力成正比，與物體的重量成反比。然而，此處產生兩個重大的問題。第一，原動者 (力) 的接觸消失時，運動應該立即停止，但是，實際上運動仍然繼續。第二，自由落體運動者是該運動體本身的重量，係保持一

定不變，然而，實際上自由落體却獲得加速度。這些事實應該如何說明，便是後世學者的課題。

歐洲的學者，在13世紀才開始正式研究亞里斯多德的自然科學。同時，在亞里斯多德自然科學的架構中，實施若干修正和思辯。特別是與重力概念關係最密切的落體運動，有關其原因的各種說明如下。義大利的哲學家聖·布納芬杜拉（Bonaventure 1221—1274）認為，物體落下的原因是諸天體之間的排斥作用。這種學說是超距作用，違背亞里斯多德的理論。同時，如果因為天體的排斥而開始落下運動，則初期速度應該最大，隨著超距作用而逐漸變小才對，然而，事實上是恰恰相反。英國科學家培根（Roger Bacon 1214—1294）提倡一種場論，認為來自天體的某種力充滿著空間，以地球為中心，在月下世界擴展成為球狀，其力的強度隨距離的增大而減小，而這種力使重物落下。

1294年，聖·布納芬杜拉改提引力說，認為物體被其固有場所來牽引。這也是超距作用，普受反對，雖然如此，卻是符合落體運動獲得加速度這項事實。

除此而外，又出現另外一種看法，認為重物不但具有完全聽從落下運動的擺布這種被動的運動性質，而且具有主動朝向下固有所移動的內在性質。換言之，落體的動態略似生物，而重量（gravity）

的概念逐漸接近重力的概念。

巴黎學派的學者利用衝力理論，順利說明自由落體的重力加速度。物體落下時，起初只受重力（gravity）的作用而落下，然後增加衝力，因而運動獲得加速度，衝力更為增大。雖然 gravity 是一定值，但是衝力逐漸增大，所以物體的速度逐漸變大。

各種物體各自移向與自己同族的物體，柏拉圖的這種思想也復活了。換言之，重物因為落下而與自己同族的本體互相結合。波蘭的天文學家哥白尼（Nicolaus Copernicus 1473—1543）也認為，物體除了亞里斯多德所說那種朝向固有場所的傾向外，並有朝向同族的傾向。

到了文藝復興時期，哥白尼的地動說出現，推翻亞里斯多德的傳統地球中心的宇宙論。地球再也不是宇宙的中心，因而月下世界也沒有重物的固有場所。哥白尼認為 gravity 不是朝向宇宙中心的傾向，而是與同族物體互相結合的傾向，各種天體依靠這種結合而獲得形狀變成球形的傾向。地球、月球，以及各種行星上的物體，分別具有朝向其中心的 gravity，而宇宙出現許多的 gravity 中心。同時，哥白尼放棄亞里斯多德的輕質（levity）概念。

16世紀後半葉，根據歷史上最精密的天文觀測結果，希臘時代以來的天球概念終被拋棄。帶著行星運動的無色透明硬綑綑的同心天球既然沒有，那麼，在空蕩

蕩的天空，行星究竟靠什麼來運動？科學家要求行星動力學的出現。對這問題作大致上的解答的就是，17世紀的德國天文學家兼物理學家刻卜勒（Johannes Kepler 1571—1630）。

刻卜勒對 gravity 所下的定義是，同族物體像磁力般互相吸引的作用。如此，gravity 變成可以譯成「重力」的概念。互相牽引的想法也是一大革新。牛頓重力定律的本質可以說已經出現在刻卜勒的定義中。但是，刻卜勒雖然認為地球與月球是同族，互相吸引，卻不認為太陽與諸行星是同族。他利用太陽所發散的一種力量（運動靈魂 anima-motrices）與磁力來說明行星的運動。關於天體的運動，刻卜勒不僅在運動學上發現行星的三大定律，而且進行動力學上的研究，這是極其值得注目的。

刻卜勒的第三定律，其重大意義在於，令人深信行星體系確實可以利用數學方法來處理。義大利的物理學家兼天文學家伽利略（Galileo Galilei 1564—1642），完全置動力學的探討於不顧，純粹從運動學的觀點來順利完成自由落體運動的數學分析，所得的結果是：物體落下距離與落下時間的平方成正比。這是自然科學與數學順利結合的第一個例子。雖然如此，伽利略仍然認為 gravity 是物體朝向地球中心移動的一種內在趨勢。

然而，伽利略的門生開始認為重力（

gravity）是一般性的力，它不再是物體內在的傾向，而是作用在物體上，使物體產生加速度的外力。

動力學的重要基礎——慣性定律，由法國哲學家兼數學家笛卡爾（René Descartes 1596—1650）寫成公式，但是另外一個基礎——力的概念，更不容易寫成公式。本來，力是容易被擬人化的，也是容易令人做曖昧的聯想，因此，除非經過嚴密的定義，不能成為科學名詞。首先，必須要求外力是產生加速度的原因。為此目的，必須引進質量與重量的區別。本來，大家一直認為力是運動的原因，但是，現在大家認為力也是運動的結果，猶如迴旋運動的結果產生離心力一樣，重力是物體落下的原因，同時也是微小物質旋轉的結果。如此渾沌的力之概念，使它擁有秩序，變成有系統的運動定律的是，英國科學家牛頓（Sir Isaac Newton 1642—1727）。

根據笛卡爾倡導的17世紀機械論，物體只有與其他物體發生碰撞時始改變運動狀態。然而，牛頓引進超距作用力的新概念，認為力是速度向量變化的原因。如此，與機械論者之間劃一條清晰的界線。同時代的人認為這種超距力太神秘而極力譴責。重力是作用在任何物體的不變力，同時也是產生加速度的力。亞里斯多德的動力學是，物體受力而產生與力成正比的速度；牛頓的動力學是，物體受力而產生

與力成正比的加速度。

牛頓創造向心力的概念，認為重力是向心力的一例，證明刻卜勒的第二定律—受向心力作用的運動中，面積速度一定。同時，牛頓也證明刻卜勒的第一定律（橢圓軌道），就太陽與行星問題而導出，力的大小與離開力中心的距離之平方成反比。此外，他將單方面的向心力作用改為相互引力的作用，而且他認為繞太陽運行的行星，繞地球運行的月球，落在地上的石頭或蘋果，都是受到同一重力的吸引作用。這是普遍性重力（萬有引力）的思想，哥白尼、刻卜勒與伽利略均意想不到。刻卜勒與伽利略分別處理天體力學與地上力

學。笛卡爾把天體與地上的現象統一成為單一的概念。然而，這是微小物質的旋轉這種非數學而極其思辯性的自然科學。牛頓發現歷史上第一個原理（*principia*），他根據少數公理與定義，利用數學演繹法來闡明天體與地上的廣泛力學現象。如此，非數學性自然科學與純粹數學永遠結合在一起。20世紀始實現的人造衛星，其可能性早在250年前就被預言在牛頓的著作中。

（取材自「數理科學」No. 235，
JANUARY 1983）

中研院第十五屆 新選數理及生物組院士簡介

編輯室

林聖賢（數理組）

民國廿六年九月生，台灣彰化人，美國阿歷桑那州立大學正教授。

目前對於多原子分子的種種複雜能量轉移現象的理論瞭解，林聖賢居於領導地位，尤其是分子非輻射變遷，單一分子與分子在媒介中的振動鬆弛課題上，無人能出其右。

歐陽兆和（生物組）

民國八年五月生，台北市人，現為台大醫學院藥理學教授。

他卅八年來主要從事於蛇毒對血液凝固及血小板功能之影響研究，是使國內蛇毒研究領先全球的功臣之一。

由於他的當選，台大藥理學系已擁有三位院士，另兩位是李鎮源、張傳燭，是擁有院士最多的單一科系。