萬有文庫
第二集七百種
王雲五主編

能之不滅

赫爾姆霍斯著
鍾間譯

商務印書館發行

譯者誌言

赫爾姆霍斯(Hermann von Helmholtz, 1821—1894)生於普魯士的波次但城，先習醫藥於柏林大學，在 1842 年，獲得學位. 在 1847 年，搜集當時的材料，寫成"能之不滅"一書，在 1881 年，增加這書的補遺. 一生發見甚多，卒於母校物理學教授的任上.

我們對於早日的科學著述，應當與文藝作品一同看待，一則藉以鑒賞前人的傑構，一則藉以追索進步的途徑. 況且赫爾姆霍斯能用九十年前的科學知識，來闡明"能之不滅"，使吾人讀牠還可以明瞭"能之不滅"是確切不移的議論. 且在最近所探討的現象，無一不根據於"能之不滅"，他所博引的結論，也與近來所見者相差甚微，我們不可小看了這書.

爲使容易閱看計，譯者對於原文中所用的舊物理學名詞，一概採用最近的譯名，因此，行文或欠妥當，希望讀者，不吝指教.

鍾 間誌

一九三七年二月四日

萬有文庫

第二集七百種

總編纂者

王雲五

商務印書館發行

目　　錄

緒論 ……………………………………………1

I. 動能不滅原則 ……………………………7

II. 能不滅原則……………………………13

III. 能不滅原則在力學上的應用……………21

IV. 熱的能當量……………………………26

V. 電現象中的能當量……………………37

VI. 磁和電磁的能當量……………………58

補遺 (1881) ……………………………69

能之不滅

緒論

討論“能之不滅”,決不可與物理學相違背,所以,我寫這本書時,不以哲學的理論作根據,完全把牠寫成一種物理假說的形式,詳述“能之不滅”在各分枝物理中的推論,再拿這些推論,同各現象中所求出來的實驗定律,互相比較. 我們可以從兩個起點,來闡明能之不滅,其一,以爲從自然物體中任一種化合的效應,是不能獲得無限制的工作能,其二,假定自然中一切效應,都可說是吸力及斥力所引起的,這二種力的大小,僅與工作點所隔的距離有關. 這兩個假定是相同的,從本書的前文,就可以看出來. 牠們對於普通物理學的最後眞正目的,還有一層重要意義,我在緒論這一章,將加以研究.

自然科學的問題,是在探尋一次定律,以後可用這些定律,作普通規則,來解釋自然中的簡單事件,並可推定其他簡單事件. 例如,光之屈折和反射定律,馬略特

(Mariotte) 和給呂薩克 (Gay Lussac) 的氣體容積定律，僅是些普通原則，一切與牠們有關係的現象，都可用牠們來理解。 一切這些定律的探尋，是自然科學中實驗研究的事情，理論研究卻從事件的可測效應，求事件的未知原因，並設法從原因律，來了解事件。 實驗研究的獲有結果，我們必須感謝和承認自然中的每個事變，必有牠所以發生的原因。 我們以爲從自然現象初次求出之原因，本身可以變化的，或可以不變化的，如果牠本身是變化的，我們必須繼續求出其他原因，一直等到尋出最後的原因，服從確切不移的定律者，因此，這最後的原因，在同樣的狀況之下，每次都會產生同樣的效應。 理論科學的惟一目標，是在從自然中求出一切事件的最後不變化的原因。

一切的事件是否都是起原於最後不變化的原因，自然是否必須因此纔可以完全理解，自然中發生的變化，是否可引起缺少一個重要理由的定律，因而在牠的範圍內發生特例及不受定律拘束的事件，本書爲篇幅所限，不能述及。

這都是很顯然的，以了解自然爲目標的科學，爲明瞭事件起見，常先做假定，即刻從假定可推出結論，研究原由，最後也許尋出無疑的事實，承認這次假定的弱點咧。

科學從兩種象徵,考慮外界的目標,蓋這些目標一旦存在以後,牠們在他種目標或感官上所生的效應,正如這種目標表現爲物質時的情形一樣,是可以觀察的. 物質本身的存在,對於我們是靜的,不做工作的,我們區別物質,是從牠們的容態和質量,我們彷彿以爲這兩種性質,是永不變更的. 物質的定性區別,此地不談,所以,我們說及不同的物質時,我們常以爲物質的不同,是在物質所生的效應不同,卽物質的能不同. 根據此點,物質的本身,除開作空間中的運動以外,不能作他種變化. 但自然中的目標,不都是不做工作的,我們普通是從牠們所生的效應,認識牠們,蓋牠們的效應,旣影響我們的覺官,故我們從效應可以推知一種工作. 因此,我們要物質的觀念現實時,也須物質能够在感官上產生效應,前文把效應當作目標的第二象徵,卽具有能力的東西,能產生效應,我們也可給與這種東西以能. 顯然.物質和能的這兩種觀念,在自然中應用時,是永遠不能分離的. 純粹的物質,其餘的本性,都不重要,因爲牠們永不能在他物質上或感官上產生變化,純粹的能,是一種應存在而不能單獨存在的東西,因爲我們把存在的東西,叫做物質. 正如

這句話有缺點一樣,物質有幾分是現實;"能"用一種初淺的觀念纔可以解釋,現實不相當於"能";物質與"能",好像是現實的象徵,爲同樣的方法所構成;我們祇能從物質的"能",知道物質,不能從物質的本身,知道物質.

我們在上文說通,現象可歸之於最後不變化的原因,進一步看起來,應可求出一種不變的能,爲最後不變化的原因. 具不變能(難改的性質)的物質,在科學上叫做化學元素. 我們以爲世界裂成許多性質不變的元素,因此,在這種系統中的惟一可能的變化,是空間中的運動爲能的效應所限制的表面情形,也祇能是空間性的. 因此,這種能是運動能,牠們的效應,祇與空間情形有關.

因此,卽刻決定,現象應歸之於具不變運動能的物質之運動,這種運動能祇與空間情形有關.

運動是指空間情形的變化,空間情形是對有限定的空間而言,不是對無限定的虛空而言. 因此,在實驗上,至少有兩個物體,相對地變更空間情形,纔有運動的概念,運動能旣爲運動之原因,至少須在兩個物體的相對情形中纔可以發生,所以,運動能界說爲兩個質體變更相對位置的效驗. 兩個整個的質體所互施之力,必可分成這兩

個質體中各部分所互施之力，因此，力學最後討論質點之力，所謂質點者，是質體所佔空間內之點．然點不如點間的距離一樣，是沒有因次的，點間的聯線，至少須空間還有兩點，纔可以決定這聯線的方向．因此，質體所互施之運動力，也祇能是變更距離的原因，或許是吸力，或許是斥力．從此有充足的理由，推出下面的結論，在兩個質體的位置完全知道以後，我們對於兩質體間所互施之力，祇須決定力之大小及方向．但因爲兩點間，祇有聯線所表示的一個方向，所以，兩點間所互施之力，必沿這聯線，力之大小祇能與距離有關．

物理學的問題，確是將現象歸之於不變的吸力和斥力，這二種力祇與距離有關．這個問題的解決，又是自然完全明瞭時期的狀況．計算力學，直到今天，尙未公認運動力的這個狹義解釋，有一次是因爲解釋原則所根據的理由尙未明瞭，以後因爲有了這個解釋以後，不能用運動單力解決之問題，也可用運動合力計算出來．然而幾個質體合併運動時，所有的普通原則，大多數是描寫不變的吸力或斥力所生的效應，這些普通原則是虛運動原則，自由轉動系中重點的運動主要轉動平面及轉動矩不變原

則,動能不變原則. 在地上的情形中,這些原則中,祇有頭末二個,是適用的,因爲其他原則,祇在自由系中, 十分適用的. 我們會指明,頭個是末個的特例,牠似乎是能不滅原則中最普通最重要的推論.

理論科學研究原則,不會中道停止的,所以,牠必使單力的性質之上述理論觀念,與其推論一致. 一旦現象可以完全歸之於簡單的力,及獲得證明以後,理論科學的事情,祇在證實這力是惟一的原因,非這力不能產生這個現象,從此,我們獲得自然的一個重要理解,用這個理解,又可描寫實在的境況.

I

動能不滅原則

我們首先假定,自然物體的每一化合,不能永久從無,創造運動能. 噶爾諾(Carnot)和克拉培隆(Clapeyron)[1]業已從這個假定,推出一條享大名的規則,卽他們從理論上,推出那些尙未經實驗證明的比熱和潛熱定律. 本書之目的,全在用同樣方法,細述動能不滅原則,在各分枝的物理中,都是適用的,一方面證明一切可用來硏究現象定律之情形,都可應用這條原則,一方面利用這條原則在各已知情形中的多方比論,使至今尙未澈底硏究的問題,再得一次結論,並將因此而做之實驗,寫在手册中.

動能不滅原則可述如下: 設有一系統内的許多物體,在一定的空間情形中,相對而立,在牠們所互施的力下,發生相對的運動,以後牠們移至他種位置,於是我們可把牠們所獲得的速度,當做機械工作,而把速度化成機

(1) Poggendorfs Annalen LIX 446, 566.

械工作．如果我們欲使同樣的力，發生二次的效用，以求再獲得同樣的工作一次，那麼，我們必須先用任何種方法，使物體從所移至的位置恢復至原有的位置，以後再把同樣力的工作量再獲得一次．在這種情形下，我們需要一個原則，以為這系統內的物體，從原來的位置動至第二位置而獲得的工作量，與從第二位置恢復至原來的位置而失去的工作量，無論是經過任何種手續、路程和速度都是不變的．任一路程所做的工作與他路程所做的工作相等，所以，我們在第一次有獲得的工作可以利用，在第二次，恢復原狀，在恢復原狀中，我們還可以祇應用所獲得的工作之一部分，因此，會獲得不定大小的機械能，構成一種永久動源，不但是這種動源，可以維持運動，並且牠在產生部分動能之後，還可以保存起來．

我們欲求出數式，表示這個原則，因此發明那著名的動能不滅定律．設 m 為所昇高物體的重，h 為所昇的高度，所獲得及可用的工作，顯然可寫作 mgh，此地，g 是重力的強度．物體 m 以速度 $v=\sqrt{2gh}$，自由地鉛直地昇上 h，落下時，也會獲得同樣的速度．因此，$\frac{1}{2}mv^2=mgh$，這 mv^2 的積數，在力學上，人人都知道，是叫做“物體的動

能值",在質體所在的各地位,可用$\frac{1}{2}mv^2$代表工作量.我欲使現在所用的量能制度,較爲一致起見,提議把$\frac{1}{2}mv^2$當作"動能的值",從此,動能的值與工作的值相等. 因爲我們至今應用動能的概念,祇受動能不滅原則所限制,不要這個提議,未始不可,但在以後,我們覺得這個提議有實在的好處. 現在,動能不變原則明白的說,當任何數目的質點,在牠們所互施力的影響下運動,或向一定中心運動時,如果每次同樣的相對位置,移至他組同樣的位置,那麽,在每次中動能的和數,都會相等,不管質點在運動中的軌道和速度若何. 我們假設動能施在一系統的各部分上,或使相當的質量昇至一定的高度,如上文所說的,在同一狀況下所做成的工作值,必定相等. 這個原則對於任何種可以討論之能,都可適用;在力學上,牠普通與虛速度規則,有密切的關係,在質點的情形下,牠祇能用吸力和斥力證明. 我們從此指明,用聯線方向發生效應及其強度與距離有關之質點力,可以解釋的一切效應力,纔可以應用動能不滅原則;在力學上,這種質點力,通叫做中心力. 返回來說,在自然物體的一切相互效應下,動能不滅原則,在物體中的各小部分,旣是一概適用,中心

力必是最簡單的基本力。

我們次考慮，質量爲 m 的質點，受 A 系中許多相聯物體的力之影響而運動，力學上有方法決定質點在每瞬的位置和速度。在做這種決定時，我們把 t 當做變數，認爲 m 在 A 系中的坐標 $x\ y\ z$ 與 t 有關係，正切速度是 f，與各軸平行的分速度，是 $u=\frac{dx}{dt}$，$v=\frac{dy}{dt}$，$w=\frac{dz}{dt}$，因此，效應力是

$$X=m\frac{du}{dt},\ Y=m\frac{dv}{dt},\ Z=m\frac{dw}{dt}.$$

按照我們的原則，如果 m 任系中佔着相同的位置，$\frac{1}{2}mq^2$ 以及 q^2 都是相同的，因此，牠們不但是可寫作變數 t 的函數，而且可寫作坐標 $x\ y\ z$ 的函數，卽

$$d(q^2)=\frac{d(q^2)}{dx}dx+\frac{d(q^2)}{dy}dy+\frac{d(q^2)}{dz}dz. \tag{1}$$

因 $q^2=u^2+v^2+w^2$，故 $d(q^2)=2\,u\,du+2\,v\,dv+2\,w\,dw$.

以 $\frac{dx}{dt}$ 代 u，以 $\frac{X\,dt}{m}$ 代 du，用同法處置 v, w，我們推得

$$d(q^2)=\frac{2\,X}{m}dx+\frac{2\,Y}{m}dy+\frac{2\,Z}{m}dz. \tag{2}$$

方程式 (1) 對於任何 $dx, d\ , dz$，都是適用的，顯然，

$$\frac{d(q^2)}{dx}=\frac{2X}{m},\quad \frac{d(q^2)}{dy}=\frac{2Y}{m},\quad \frac{d(q^2)}{dz}=\frac{2Z}{m}. \tag{3}$$

q^2 祇是 $x\,y\,z$ 的函數，從此推知效應力 $X\,Y\,Z$ 的方向和大小，祇是 m 在 A 系中位置的函數。

我們設以簡單的質點 a，代替 A 系，施力於 m 之上，如上所述，力的方向及大小，從 m 和 a 的相對位置，也可以決定。然 m 的位置與 a 的關係，僅就 ma 的距離，可以決定，故在這種情形之下，上述之定律須加以限制，即力的方向與大小，必是距離 r 的函數。我們假設表示 m 之位置的坐標系，以 a 爲原點，各軸可沿任何方向，因此，

$$m\,d(q^2)=2X\,dx+2Y\,dy+2Z\,dz=0 \tag{4}$$

和 $$d(r^2)=2x\,dx+2y\,dy+2z\,dz=0$$

即 $$dz=-\frac{x\,dx+y\,dy}{z}.$$

以上列之值，代入 (4)，獲得

$$\left(X-\frac{x}{z}Z\right)dx+\left(Y-\frac{y}{z}Z\right)dy=0.$$

上式可適用於任何 dx 和 dy 之值，故

$$X=\frac{x}{z}Z \text{ 和 } Y=\frac{y}{z}Z.$$

卽合力必向坐標系的原點,卽 a 點.

故服從動能不滅定律的系統,其簡單的力,必是中心力.

II

能不滅原則

中心力作用之情形,旣有上述之定律,我們更須爲牠,獲得一普通的數式。

設 ϕ 是在 r 方向的中心力,中心力是吸力時,把 ϕ 當作正,是斥力時,把 ϕ 當作負,因此,

$$X=-\frac{x}{r}\phi,\quad Y=-\frac{y}{r}\phi,\quad Z=-\frac{z}{r}\phi. \qquad (1)$$

上節之公式 (2), 卽可書作

$$m\,d(q^2)=-2\frac{\phi}{r}(x\,dx+y\,dy+z\,dz);$$

又 $$\frac{1}{2}m\,d(q^2)=-\phi\,dr.$$

當 Q 和 q 是正切速度, R 和 r 是距離的時候,

$$\frac{1}{2}mQ^2-\frac{1}{2}mq^2=-\int_r^R\phi\,dr. \qquad (2)$$

在方程式的右邊,我們知道 m 在兩個不同距離的動能不同。 我們再要知道 $\int_r^R\phi\,dr$ 一量之意義,我們設想