

物理通报丛书

力学热学分子物理学
问题介绍

物理通报编委会编

科学技术出版社

力学 热学 分子物理学 問題 介紹

物理通报編委会編

科学技术出版社

1959年·北京

出版者的話

历年来，“物理通报”發表了不少对物理教学实际有用的文章，也發表了不少帮助讀者进修物理学和扩大物理学知識領域的文章，受到了讀者的欢迎，并写信要求将这些文章彙訂出書。因此，物理通报編委会特将 1951—1957 年（部份选至 1958 年）所發表的文章分成“高、初中物理教材和教法分析”、“中学物理教学的一般問題”、“中学物理实验專輯”、“力学热学分子物理学問題介紹”、“电学光学原子物理学問題介紹”、“現代物理学介紹”六方面选編出書，可供广大讀者、物理学爱好者以及中等学校和工农业余中学的教师参考。

“力学热学分子物理学問題介紹”便是这丛書中的一本。

总号：1164

力学热学分子物理学問題介紹

編 者：物 理 通 报 編 委 会

出 版 者：科 学 技 术 出 版 社

（北京市西直門外都家灣）

北京市書刊出版業營業許可証出字第091號

發 行 者：新 华 書 店

印 刷 者：北 京 五 三 五 工 厂

开 本：850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張：10 $\frac{7}{16}$

1959 年 3 月 第 1 版 字數：210,000

1959 年 3 月 第 1 次印刷 印數：12,055

統一書号：13051·222

定 价：（8）1 元 1 角

目 次

1. 牛頓运动第二定律是不是定义的問題	1
2. 关于力学中三条守恒定律的适用范围	7
3. 关于牛頓定律和質量定义	16
4. 質量	20
5. 苏联关于質量問題的討論	25
6. 对于“質量与重量”一文的意見 (附原文)	37
7. 解答几个关于离心力的問題	44
8. 离心力	51
9. 关于向心力的几个具体問題	66
10. 跳船問題的分析	73
11. 帆船走風的分析	87
12. 力的分解的一个实际应用	92
13. 关于摆的振动	99
14. 汽車牵引力是怎样形成的	102
15. 摩擦	105
16. 冰为什么滑	112
17. 炮弹怎样在空中飞行	117
18. 一个关于轉动的計算題的討論	123
19. 关于“磨”的一点意見	127
20. 力学中的解題法——隔离法	128
21. 質量和能量	140
22. 动量守恒和能量守恒原理	147
23. 关于功与能的定义的几个問題	184
24. 引力恒量	198
25. 热的本質	208
26. 气体动力論的基本概念	219
27. 能量均分的概念及其在气体比热中的应用限度	234
28. 分子的大小	239

29. 关于物理課本中“热机”的一些問題	245
30. 关于噴气式航空發动机	255
31. 液体內压强和分子力	267
32. 胁强	280
33. 临界态	286
34. 液化法和液态气体的应用	294
35. 談談在物理教学中与气象学有关的几个問題	307
36. 超声場的显现	314

牛頓運動第二定律是不是定義的問題

虞 福 春

引 言

牛頓運動第二定律是不是一個定義，應當認為是一個原則性的問題。我們所以提出這個問題，是因為有些物理學教科書，對這個問題搞不清楚，曾經認為第二定律僅僅是個定義，甚至宣稱用實驗去証實第二定律是多餘的。這裡試引証席爾斯所著物理學的原理一書中的話。席爾斯一方面承認第二定律“乃系由觀察實驗的結果而導出”的。但是他又寫道：“當我們細察這些物理量（指力、加速度和質量）的測定法時，則立刻發現牛頓、達因和斯勒格的定義是基於 F 等於 m 和 a 的乘積這個假定的。故此等式符合以後許多試驗，實不足奇；不過是相當於在米-千克-秒和厘米-克-秒二單位制中用等式 $F=ma$ 定義 F ，或用 $m=F/a$ 定義 m ，故第二定律僅為 F 或 m 的定義而已，用試驗去証實是多餘的。”^①現在不管“定義”本身的涵義如何，如果我們把第二定律作為不要實驗去証實的某種關係，那是大錯特錯的，因為，力、加速度和質量這些基本概念，都是反映存在於客觀物質世界中的各種對象的共同的本質的屬性的思想，因為表示物體相互作用的“力”這一概念和由它所引起的物體機械運動狀態的改變（加速度）以及物體本身屬性（質量）之間的關係，是不以人們意識為轉移的客觀的規律，它的科學性的標準是實踐。所以，我們說，如果把第二定律作為不要實驗証實的某種關係，是大錯特錯的。本文的目的，試圖把這個問題作一

① 王子昌等譯，席爾斯物理學第一冊第 75 頁。着重點是本文作者加的。

簡單的分析。因為這個問題是個原則性的問題，作者所見不可避免地仍會有些片面的看法，希望讀者加以指正。為了正確地分析這個問題，正確地引入“力”這一基本概念，作者不得不牽涉到運動第一定律的內容以及第一定律的主要根據。

力的概念

一般的物理教科書中，講牛頓運動定律有兩條路線，從兩個根本不同的觀點出發。一條路線是由直觀引入“力”這一個基本的物理概念。例如，力是日常生活中的推或拉；伸長彈簧有力的作用；又如地球吸引物體的力，電力，磁力等等。由直觀引入“力”的概念後，再用物體的重量確定力的量度和單位。這樣地引入“力”這一基本概念，除使初學物理學的人容易接受以外，實際上是不科學的，不能使人對“力”的本質有深刻的認識，因為這種方法僅只羅列一些自然界的“力”的現象，只占據這些初步的感性材料，並沒有經過科學的加工，並沒有由上述日常生活中所觀察到的現象，抽象出來它們的共同特征（即使物體改變它的機械運動狀態這一共同特征），而建立具有廣泛概括性的“力”的概念。另一條路線是由這些日常生活中所觀察到的現象，抽象出“力”的使物體改變它的機械運動狀態這一共同特征，即牛頓運動第一定律所規定的“力”是物體產生加速度的原因，然後用某一標準物體在“力”的作用下所產生的加速度來確立“力”的量度，來確立“力”的大小和方向。這種方法是由大量包含“力”的作用的感性材料，抽象出來其中最本質的東西，確立具有廣泛概括性的“力”的概念。這就是運動第一定律所完成的任務，因此，“力”的概念是必須建立在運動學基礎上的。有些普通物理教科書，先講靜力學，不應當認為是正確的，是不符合科學系統性的。

根據上述的觀點，首先必須承認“力”這一基本概念是被第一定律所規定了的，不能帶有任何主觀隨意性在內。因此，正確了解“力”這一基本概念，我們必須從第一定律開始。第一定

律的陈述，在不同物理教科書中，略有不同。像这样的陈述：“物体若不受外力之作用，則靜者恒靜，动者恒沿直綫作匀速运动。”^①这种陈述，是不很正确的，因为，有人会認為“第一定律实不过为力之定义”^②，以致对“力”这一基本概念仍旧沒有正确認識。作者在此引用苏联普通物理書中关于第一定律的陈述如下：“任何物体（把它看作質点）都保持靜止的或匀速直綫运动的状态，直到其他物体的作用迫使它改变这种状态为止。”現在讓我們根据这个陈述，分析一下第一定律。首先，因为物体的机械运动（位移，位移的变更），只能相对其他物体而發生，我們必須肯定其他物体的存在，以这些其他物体作为描述这物体机械运动的参考系統。因此，第一定律所指的靜止的或匀速直綫运动状态，必須相对某一参考系統而言。观察一个物体机械运动状态的变更，也必須相对于这参考系統而言。其次，如果我們承認改变物体的运动状态，如第一定律所陈述的，不是甚么抽象的神秘的原因，是由于其他客观存在的真实物体的作用，那么，体现在第一定律中的客观規律性不是对任意参考系統都能成立的，只能对某些参考系統才能正确地成立。这样一个参考系統，通常叫作慣性系統。我們不能認為慣性系統的存在是一个假設，甚至認為第一定律不过是慣性系統的定义。判断一个参考系統是否一个慣性系統，是以实验为依据的。例如，在一个参考系統內我們發現一个物体的机械运动有所改变，那么，我們首先要研究一下，这个物体运动状态的改变，是否由其他物体作用而引起的。如果我們找到这样物体和作用（人类无穷的認識能力一定能够找到这样物体和它的作用，如果这样物体是存在的。），那么，我們的参考系統是一个慣性系統。否則，我們的参考系統就不是一个慣性系統。例如，在一加速的火車廂內，观察一个放在完全光滑的水平桌面上的物体（即无摩擦力的作用）。虽然表面上这物体相对于

① 严济慈，普通物理学（大学用）上册第34頁。

② 福里斯和季莫列娃，普通物理学第一卷第47頁。

火車廂的機械運動狀態有所改變，但是這種改變不是由任何其他真實物體的作用（指相互作用）而引起的。這樣一個加速火車廂不是一個慣性系統。客觀的規律是這樣：找到一個慣性系統，凡相對於這個慣性系統作勻速直線運動的參考系統都是慣性系統。因此，我們說，慣性系統這一基本概念是第一定律的根據。再次，我們必須着重指出，相對於一慣性系統，物體的靜止的或勻速直線運動狀態的改變是由于其他客觀存在的物體的作用。因此，“力”這一基本概念是用來概括一物體對另一物體的引起機械運動狀態變更的作用。我們絕對不能把作用于一物體的“力”當作抽象的東西，必須認識到，沒有物體，沒有物體間的相互作用，是談不到什麼“力”的。如果我們說，規律是“發展着的世界各現象的相互聯系相互制約的表現”，是“客觀世界各事物間本質的關係”，那麼，第一定律正是表現了這種必然的“本質的關係”，表現為物體間的相互作用和它們的機械運動狀態的“本質的關係”。離開了第一定律的主要根據“慣性系統”，沒有明確提出“力”是物體間相互作用的一種表現，而把第一定律當作“力之定義”，就完全有可能忽略了“力”的真實意義，以致誤認在一加速參考系統內，表面上的物體機械運動狀態的變更，是力之作用（事實上物體沒有受其他物體的作用）。搞清力的概念後，我們才能進一步提出這個問題：到底在慣性系統內力與加速度之間的關係是怎樣呢？這正是是在觀察實驗的基礎上得出的第二定律所回答的問題。

力 的 量 度

為甚麼有人認為第二定律是力之定義呢？這個問題所以發生，是把確定力的量度和單位的方法與力與物體機械運動狀態相互聯系相互制約這一客觀規律，混為一談了。沒有第一定律，是無從確立“力”這一基本概念的內容的。因此，我們不能進一步確定“力”的量度。我們所以能夠確定“力”的量度，是由于我們事先認識到，在慣性系統內“力”與物體加速度相互聯系

这一客观规律，我們能利用这种联系来确定“力”的量度。斯大林同志在他的“苏联社会主义經濟問題”这一偉大的著作中，談到客观法則时写道，“馬克思主义把科学法則……了解为不以人們意志为轉移的客观过程的反映。人們能發現这些法則，認識它們，研究它們，在自己的行动中估計到它們……但是人們不能改变或廢除这些法則，尤其不能制定或創造新的科学法則”。^①因此，力的量度的根据是人們發現了第一定律，認識了第一定律，研究了第一定律从而找到的科学方法。人們在这里的作用，只不过是利用了这个客观规律，人們的作用是受了这个客观规律的約束，不能帶有任何主观随意性的。

力的量度可以由它对一事先取定的标准物体，在一慣性系統內，所产生的加速度来确定的。必須注意，在这里我們选定了一个标准物体，只是利用这个标准物体在慣性系統內受另一物体的作用所获得的加速度，来确定这作用（即“力”）的大小和方向。我們說，“力”的方向是和标准物体的加速度的方向一致，“力”的大小与这标准物体的加速度的大小成正比。用矢量 F 表作用于这标准物体的力， a 表标准物体的加速度，那么，我們所确定的力的量度可用下列数学形式表示：

$F \propto a$ （只对标准物体而言）……（1）我們所以能够这样地作，因为（1）式是仅只对一个物体而言。因此，“力”这一基本概念不但在質上而且在量上（仅仅差一常数）都确定了。（1）式可以認為是一个定义，但（1）式并不代表第二定律，因为它仅只对一标准物体而言。

第二定律是一个定律

我們可以問：仅只对标准物体所建立的（1）式，是否对其他物体也能成立呢？例如，力 f_1 使标准物体 A 产生一向正西的 1 米/秒^2 的加速度，力 f_2 使标准物体 A 产生一向正南的 2 米

^① 斯大林，苏联社会主义經濟問題（人民出版社）第2頁。

/秒²的加速度，那么， f_1 和 f_2 作用在另一物体 B 上将产生甚么结果呢？回答这个问题，完全不能根据(1)式推导出来，必须用实验的结果作根据。实验证明， f_1 作用于 B 上也使 B 产生一向正西的加速度，但大小不一定等于1米/秒²； f_2 作用于 B 上也使 B 产生一向正南的加速度，但大小不一定等于2米/秒²。但是，这两个加速度大小的比值仍然是1:2。大量实验的数据，证实(1)式在惯性系统内对任何宏观物体都正确地成立的，即

$F \propto a$ (对任何物体而言)……(2)这才是第二定律所表现的客观过程的规律性，不以人们意志为转移的客观法则。第二定律的内容不是第一定律所能概括。从科学系统来看，应作为一新的更深刻的运动定律。一般教科书对于从(1)式过渡(2)式的物理意义没有很好地分析，以致造成第二定律是一个定义混乱思想。

第二定律是不是质量的定义？

第二定律不能认为是给物体的质量下一个定义。必须再度指出，第二定律是表示物体一个基本属性，物体的机械运动状态，物体与其他物体间相互作用，三者之间的关系。然而决定一个物体的某些属性，是必须根据这物体与其他物体相互作用所引起的物体运动状态的改变的。恩格斯说，“实物本身的各种形态和种类又只有通过运动才能认识，物体的属性只有在运动中才能显示出来。”^①因此，在物体相互作用下彼此机械运动状态的改变的过程中，物体的一个基本属性才显示出来。 F/a 的值，对一个物体讲，是不变的，对各个物体讲，又彼此不同，正是表征物体的一个属性的出现。称 $F/a=m$ 为物体的质量，是有客观现实意义的。我们不能凭空认识物体的质量，因为物体的属性与物体间的相互联系相互制约的关系，是不可

^① 恩格斯自然辩证法 1955年2月第一版 207页，人民出版社。

分割的。發現了，認識了，研究了物体相互作用所引起它們的机械运动状态的改变，才能抽象出来物体这一基本屬性。我們不是用 F/a 去定义物体的質量而是 F/a 的关系正确地反映这一客觀現實的。在物理学中，这种例子很多。例如，能是表征物体状态的一个基本屬性。我們不能凭空去認識能，我們对能的認識是基于这一事实：物体的相互作用，如做功、热量傳遞等，所引起能的变化。由它們間的相互联系相互制約的規律，認識到能这一基本概念，而且我們对能的認識是和我們發現能的傳遞和轉換方式的多种多样性而逐漸加深的。

关于力学中三条守恒定律的适用范围

魏 墨 金

在普通物理的教学中，講到力学中机械能守恒定律、动量守恒定律和角动量守恒定律的时候，我們对于这三条定律的适用范围，往往不很強調或不很注意。我們摘引梁宝洪所譯的福里斯-季莫列娃普通物理学中的几段有关材料来看一下。在第一卷第 66 頁上有着关于动量不灭定律的叙述：“构成一封闭系統的各物体底动量底向量和，即这封闭系統底总动量向量，在整个的运动期間內保持不变”。而关于封闭系統的叙述則是“物体彼此之間相互作用，但不与这系統外部的物体相互作用”。在 93 頁有着能底不灭和轉換定律的叙述：“对于一封闭的系統（外力之功等于零），当一切过程在这系統內部發生时，这系統底能量保持不变，在此情形下，能量可以从某种形式轉变为另一种形式，但是能底总量保持不变”。在 101 頁，关于机械能守恒定律的叙述是“就一封闭的力学系統而言，它的总能量 E 等于动能 E_k 与位能 E_p 之和，这总能量 E 保持恒定”。在其他力学書上也常有“在一个封闭系統中角动量守恒，这就是角动

量守恒定律”的叙述。这里面至少可以引起下面几个问题：“封闭系统和封闭的力学系统的意义与区别究竟如何？机械能守恒定律是否一定要在封闭的力学系统中才能适用？动量守恒定律和角动量守恒定律是否一定要在封闭系统中才能适用？本文的目的是想对这些問題提出一些討論。首先說明封闭系统和封闭的力学系统这两者的意义，再从功、力、力矩的观点上討論上述三条守恒定律的适用范围。着重概念的叙述和用数学上常遇到的例子来帮助說明，至于数学的推导則从略。又在本文中，始終限于經典力学的范围，并且假設所选的参考系统是慣性系统。

第一部份 封闭系统和封闭的力学系统

封闭系统的意义显然应该是指系统内的物体不与系统外部任何物体相互作用。但是这样一个系统是不存在的。物体之間相互作用相互影响，不可能有一系统物体和其它物体完全絕緣。所以事实上，当一个系统所受系外的作用互相抵消，我們就可以認作是一个封闭系统，而当一个系统所受系外的作用与系内所起的相互作用比較起来是小得可以忽略的时候，也可以認作是一个近似的封闭系统。

一个封闭系统所受外力的功当然等于零。可是当一个系统所受外力的功等于零时，这系统却不一定就是封闭系统。

一个系统不受外功时尽可以受到系外的其它性质的作用，甚

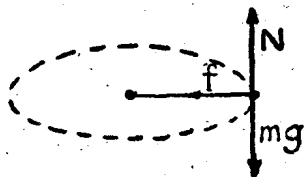


圖 1

至一个系统所受的外功等于零时，尽可以仍然受着外力的作用，一个極簡單的例(圖 1)就說明了这点：当一物体系于繩之一端，在光滑的水平面上繞繩的另一端作等速率圆周运动时，这物体受到三个力，重力 mg ，水平面的反作用力 N ，与由繩給这物体的向心力 f ，这三个力都不对这物体作功，因为力的

方向都与运动方向垂直。可是这三个力并没有抵消，合力就是向心力 f ，物体正因受到这个力，才能作等速圆周运动。在这个例中，就很明显地说明这物体所受外力的功虽等于零，但却仍受着外力的作用，因此决不可把它当作一个封闭系统。

其次我们来看封闭的力学系统。粗枝大叶地一想，可能会认为所谓封闭的力学系统就是指一个系统不受外力的作用（或所受的外力作用互相抵消）。福里斯普通物理学中虽未对封闭的力学系统加以定义，但是认为在封闭的力学系统中机械能是守恒的。就根据这一点，我们已可以说明上面所说的那种想法是不够的，下面一个简例就可以说明当一个系统所受外力的作用互相抵消时，机械能却可以不守恒，也就是说这个系统可以不是封闭的力学系统。当炮弹水平地向前发出时，炮身向后退，炮弹炮身所构成的系统所受的外力是互相抵消的，它们的运动仅是内力的作用。可是它们原来是静止的，后来两者都具有动能了，机械能并不守恒。足见如果承认在封闭的力学系统中，机械能应该守恒，那么当一个系统所受外力作用互相抵消时这系统还不一定是封闭的力学系统。现在就来对封闭的力学系统试下一个定义：封闭的力学系统应该指一个系统，它所受的外力的作用互相抵消，而且与系统有关的机械能与非机械能的转换并不发生。上例炮弹炮身的系统中，就因为化学能转换成动能所以不是封闭的力学系统。对封闭的力学系统这样地定义后，在封闭的力学系统内，机械能的确是守恒的，但是是否一定要在封闭的力学系统内，机械能守恒定律才可适用呢？这却还应该讨论。

第二部份 机械能守恒定律

是否一定要在封闭的力学系统中，机械能才会守恒呢？就从上面举过的两个例子来考虑一下：图1的例中作等速圆周运动的物体，所受的外功等于零，所受外力的作用并不抵消，不是一个封闭的力学系统，但是物体具有不变的动能，也并没有

非机械能与机械能的轉換，它的机械能是守恒的。开炮的例中則外力的作用虽抵消，外力的功也等于零，但因有化学能的变成动能，所以机械能不守恒。归納上面所說的可以提出机械能守恒的条件如下：当一个系統所受的外力之功等于零，而且与系統有关的机械能和非机械能的轉換并不發生，則在这个系統中，机械能守恒。这才是机械能守恒的必要充分条件。而在封閉的力学系統中机械能守恒，但机械能守恒却不一定要在封閉的力学系統中。

关于机械能守恒定律的使用，还有两点值得注意：一点是关于位能的問題，一点是关于外功的計算。

首先来看一下位能的問題。很多过去物理方面的文句中往往提到一个物体的位能，其实，把位能認作属于一个物体的說法是不太严格的。一个系統中物体之間有相互的作用力（內力），并且当这种力是保守力，就是說，这种力所作的功只与作用点的始点終点的位置有关，而与所經過的路徑无关，則物体的相互位置变化时，就有位能的变化。位能不是属于系統中某一个物体的，而應該認为是属于这整个系統的。以重力位能为例，一个質量为 m 的物体受重力而落下了一段高度 h ，我們說位能减小了 mgh ，但應該注意这是說此物体与地球所构成的系統的位能减小了。如果沒有地球和这物体間的相互引力，就根本无所谓位能了（在电学上，位能不屬於系統中某一物体的概念就很明显）。所以当我們对一个系統用机械能守恒定律时，如果在計算位能时把重力位能的变化参加在內，那就是說我們把地球当作为这系統中的一份子，而重力是被看作系統的內力。如果我們把地球算在系統之外，則重力是外力，位能一項中不能計入重力位能，重力对系統作的功是外功，如果这重力的功不能和其它外力所作的功抵消，則这个系統就不能用机械能守恒定律而只好用功能定律（即系統所受的外功等于系統能量的增量）。

其次應該注意外力所作功的計算，不可只算了質心运动中

外力所作的功而忘了計算对質心的轉动中外力所作的功。

举一个例(圖 2): 一个圆柱体, 質量 m , 半徑 R , 在傾角为 ϕ 的斜面上, 由 A 点从静止起滾下一段長度 l 而到达 B 点, 假設沒有滾动摩擦, 求在 B 点时的質心速度。

圆柱体所受的力有三: 重力 mg ; 斜面的垂直反作用力 N 与沿斜面而与运动方向相反的摩擦力 f (这个力如不存在, 就不会滾动而只滑动了)。

如果我們把地球与圆柱体看成一個系統, 則重力是內力。現在考虑两个

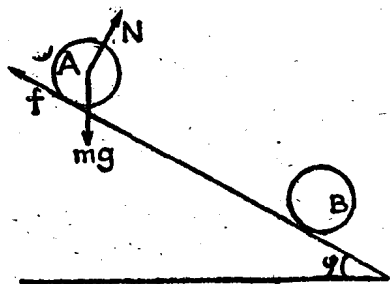


圖 2

外力所作的功。力 N 通过圆柱体的質心又垂直于質心运动的方向故所作之功显然为零。力 f 所作的功可以分两部份来考虑, 在質心移动中的功是 $-fl$, 而在繞質心的轉动中所作的功是 $f \cdot R \cdot \theta = f \cdot R \cdot l / R = f \cdot l$, 結果力 f 所作的功亦为零。因此外力的功等于零并且也沒有什么机械能与非机械能的轉換, 这样, 我們断定这一題可以用机械能守恒定律来計算。

第三部份 动量守恒定律

关于动量守恒定律的敘述, 許多書上都与福里斯普通物理学的提法相类似, 就是說在封閉系統內总动量守恒。像这样的敘述法是对的, 但是却很容易令人認為封閉系統是动量守恒的必要条件。其实封閉系統內总动量是守恒的, 但并不一定要在封閉系統內动量才守恒。現在先提出动量守恒定律的必要和充分的条件, 然后再通过例题来詳細分析一下。

依据理論力学, 一質点組之动量的矢量和对于時間的导函数等于作用在質点組上的外力的矢量和

$$\frac{d}{dt} (\Sigma m\mathbf{V}) = \Sigma \mathbf{F} \dots\dots\dots (1)$$

故当 $\Sigma \mathbf{F} = 0$ 时即得

$$\Sigma m\mathbf{V} = \text{恒量} \dots\dots\dots (2)$$

即当外力的矢量和为零时，质点组的动量的矢量和（或总动量）守恒。这就是动量守恒定律。所以对于一系物体来说，要可以使用动量守恒定律，其必要充分的条件，就只是这系统所受外力的矢量和等于零。

有四点值得注意的地方，在这里提出来分析一下：

(1) 在一个封闭的力学系统内，外力的作用既互相抵消，外力的矢量和当然等于零，因此动量当然守恒。但是像开炮的例中，外力是抵消的，总动量是守恒的，而因为有化学能转换成动能，这不是一个封闭的力学系统。足见即使有机能与非机械能的转换，不是封闭的力学系统，但只要外力的矢量和等于零，总动量就守恒。

(2) “物体在平衡状态”“外力的作用互相抵消”和“外力的矢量和等于零”这三者必须区别清楚。必须当系统内的每个物体都由于外力内力的作用而处于平衡状态时，整个系统才算在力学的平衡状态中。必须当系统内各物体所受的外力的作用互相平衡时，才叫外力的作用互相抵消。为了易于说明起见，观察二个相互吸引的物体 A 及 B，放在无摩擦的水平面上（见图3）。

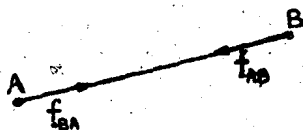


图 3

把这两个物体看作一个系统，两物互相吸引的力是内力 (f_{BA} 及 f_{AB})，而每物所受的重力与水平面之反作用力抵消，故外力互相抵消，但这系统并不在平衡状态，因为在内力作用之下，A、B 都要改变其运动状态。但是外力的矢量和等于零，所以可以用动量守恒定律。

如果在这两个物体上再各加上一个外力 $\mathbf{F}_A$ 及 $\mathbf{F}_B$ ，大小相