



华东师范大学
函授教材

力学讲义

华东师范大学物理系师生合编

(第二册)

华东师范大学出版社



华东师范大学函授教材

力 学 讲 义

华东师范大学物理系师生合編

(第二册)

华东师范大学出版社

1959年

力 学 讲 义

(第二册)

华东师范大学物理系师生合编

华东师范大学出版社出版

(上海中山北路3663号)

上海市书刊出版业营业登记证出 088 号

商务印书馆上海厂印刷 新华书店上海发行所发行

开本 78×109 2 公厘 1/27 印张 6 8/27 字数 149,000

1959 年 3 月第 1 版

1959 年 3 月第 1 次印刷

印数 1—4,900

统一书号：13135·22

定价 0.76 元

目 录

第三章质点动力学

I. 基本概念与基本定律	1
3-1 力的初步概念	1
3-2 牛顿运动第一定律	3
3-3 牛顿第二运动定律	4
3-4 力和质量的单位 单位制和量纲	8
3-5 牛顿第三运动定律	10
3-6 惯性质量与引力质量	11
3-7 惯性系	14
3-8 质点动力学的基本任务	15
II. 牛顿第二运动定律的推论	18
3-9 动量定理 动量守恒定律	19
3-10 动量矩 力矩 动量矩定理 动量矩守恒定律	23
3-11 功与能 功率 动能与位能的浅近说明	29
3-12 动能变值定理 机械能守恒定律	37
III. 质点的自由运动	45
(一) 直线运动	46
3-13 自由落体运动	49
3-14 质点在阻尼介质中的运动	49
3-15 质点在重力及空气阻力的作用下垂直降落	52
3-16 谐振动	55
3-17 阻尼振动	58
3-18 强迫振动	63
3-19 无阻力情形下的共振	68
(二) 曲线运动	69
3-20 质点的斜抛运动	71

3-21 質点在中心力作用下的运动	79
3-22 行星的运动	83
3-23 万有引力定律	86
3-24 牛頓問題	87
3-25 人造衛星的运动	90
3-26 α 質点的散射	92
IV. 質点的約束运动	96
3-27 約束的分类	97
3-28 約束力和直受力	98
3-29 数学摆	100
V. 非慣性坐标系內的質点动力学	108
3-30 質点的相对运动	108
3-31 牛頓力学的相对性質原理	109
3-32 非慣性坐标系	112
3-33 随移慣性力	114
3-34 随轉慣性力	116
3-35 科里奧利定理	117
3-36 科里奧利慣性力	133
3-37 地面重力加速度与緯度的关系	136
3-38 落体偏东現象	138
3-39 傅科摆	142
3-40 与科里奧利慣性力有关的几个現象	145

第三章 質点动力学

上面两章說明了質点和剛体的运动状态和描写这些运动所需要的概念。現在要說明質点作机械运动时所遵守的各种規律。質点运动的基本定律是牛頓的三条运动定律。

牛頓运动定律是在实践的基础上建立起来的,它是从人类在長时期中积累起来的感性認識中發展出来的理性認識。从牛頓运动定律,我們还可以导出固体、流体等的运动規律,而建立起整个古典力学系統;因此,在古典力学范圍內,牛頓运动定律不仅是質点运动的定律,而且是一切物質的机械运动的基本定律。

在本章中,我們分五个部份叙述。第一部份說明力和質量两个基本概念和牛頓的三条运动定律。第二部份說明动量、动量矩、功、能以及与这些概念有关的几个定理和定律。第三与第四部份分別討論質点的自由与約束运动。最后一部份討論質点的相对运动。

I. 基本概念与基本定律

§ 3-1 力的初步概念

我們对于力的認識最初是从推、拉、举、抛等肌肉的运动中获得的;例如,用手推車子,举槌打鉄,使竹杆弯曲时,我們必須使出一定的勁来。这时,我們說,我們对車子、槌、或竹杆施了力,而車子、槌、或竹杆同样地也对我們施了力。

經驗告訴我們,在用力弯曲竹杆时,竹杆的形状会改变。当我们推車子时,可使它由靜止变为运动,如果再順着它的运动方向推它,可使它的运动加快;如果逆着它运动的方向推它,可使它的运动变慢;如果在运动的垂直方向推它,可使它的运动改变方向。这些以及其他类似

的情形,使我們認識到力有两种表現,一是改变物体的形状和大小,二是改变物体的运动状态。这两种表現,使我們能够对力的性質作进一步的研究。

我們知道,在两个皮球互相碰撞时,每一个皮球都被压扁了一些。在开炮的时候,炮彈向前飞去,同时炮身要向后退。無論是形状的改变或运动状态的改变,都使我們認識到,物体之間的作用是相互的。甲物体受到乙物体的作用力时,乙物体同时也要受到甲物体的作用力。甲乙两物体都是力的作用者,同时也是力的被作用者。單独的一个力沒有在实际中被發現过。

在作拔河比賽时,如果两队都不能把繩子拉过来,(即繩子保持靜止,运动状态不改变),我們就說这两队势均力敌。如果有一队把繩子拉了过来(即繩子由靜止变为运动),我們就說,这一队的力大些。从这一类例子中,我們可以認識到两个方向相反大小相同的力作用在同一物体上时,在改变运动的状态方面,它們的作用是互相抵消的。如果方向相反,大小不等,它們在这方向上的作用也可抵消一部份。如果两个方向不同但不是方向相反的力同时推着一个物体。这物体会在两个方向之間的另一个方向运动,恰和用一个力在这方向推它一样,这里我們也可以認識到,两个方向不同的力在改变物体运动状态方面的作用,可以等于在另一方向的一个力的作用。

地球上的任何物体在被其他物体支持着的时候,可以保持靜止不动,而在失去支持的时候,都要从靜止变为向下运动。根据这个事实,我們認識到,在地球上的物体,在任何时候都受到一个向下(向地球中心)的力。这力就是我們熟知的物体的重量。在物理学中,我們知道这是地球吸引物体的力,所以称为重力。

根据以上所述,我們对于力的認識,可簡單总结如下:

- (1) 力的起源是物質,它是物体之間相互作用的結果。
- (2) 物体运动状态的改变是在力的作用下發生的。
- (3) 力有大小和方向,两个或两个以上的力同时作用在一个物体上时,它們在改变物体运动状态方面的作用,可以全部抵消,或等于另一个力的作用。

§ 3-2 牛頓运动第一定律

把一塊石子, (或者一輛車子) 在地平面上推一下, 石子滑了一段路程以后, 就会靜止下来。我們可以看到, 石子的速度, 不是立刻变成零, 而是漸漸地减小至零的。如果我們把石子沿道路、地板、或冰面上擲出去, 比較一下石子所走过路程的長短, 我們就会發現前者最短, 后者最長。这就是說, 前者速度改变最快, 后者速度改变最慢。我們知道石子在水平面上运动时, 所受地球的重力和平面的托力两者的作用是相互抵消的, 剩下来, 石子所受的力除了空气阻力以外, 就是平面的摩擦力。同时, 我們也知道, 石子与冰面之間的摩擦力最小, 与地面之間的摩擦力最大。因此, 我們知道, 石子所受摩擦力愈小时, 石子所走过的路程愈長, 也就是速度的改变愈慢。在实际应用上我們在車軸上塗油, 或把路面修平, 就是要减小摩擦力, 使車子在我們停止用力以后, 它能繼續前进較長的一段距离。也就是使車子的运动維持得長久一些而接近于匀速运动。从这个例子 (以及其他类似情况) 我們很可以作出这样的結論: 如果消除了作用在物体上的力的影响, 那么物体就会作匀速运动。伽利略和牛頓在十七世紀时根据实验和观察 (其中最有名的是伽利略斜面实验) 总结了很多人的經驗, 也曾推出过这样的結論。这个結論就称为牛頓运动第一定律。这个定律的陈述如下:

任何物体都保持靜止或匀速直綫运动状态直到其他物体所作用的力迫使它改变这种状态为止。

对于牛頓第一运动定律, 我們應該注意下列几点:

(1) 牛頓第一运动定律是从客观事实中, 間接推出的結論。因为在实际上, 我們不可能使一个物体完全孤立而絲毫不受到其他物体的力的作用, 所以我們不可能用实验来直接验证第一运动定律的正确性。牛頓第一运动定律的正确性主要在于, 以这个定律作为基础而得到的推論都很好地与实践結果符合。

(2) 第一运动定律中所提到的物体是指被当作質点看待的物体, 定律中所說明的只涉及物体的移动, 不涉及物体的轉动。

(3) 第一运动定律中所提到的“保持靜止或匀速直綫运动”就是指

保持速度不变,因为靜止是速度不变的特例,保持靜止就是保持速度不变。我們早已知道,保持速度不变包含两方面的意义;因为速度是一个矢量,它有大小和方向,保持速度不变的意义是指保持速度的大小不变,同时保持速度的方向不变。

下面我們再来討論第一运动定律所包含的两个重要結論。首先,第一运动定律肯定了力的意义。它說明了物体不受外力(即其他物体对它所作用的力)时,速度保持不变;而在受到外力时,物体的速度要改变。因此,我們可以給出力的最普遍的定义就是:能够給物体(或物体各部份)以加速度的任何原因都是力。这个力的定义,又含有两个重要的作用:(1)我們知道,物体之間的相互作用力是具有多种形式的,例如重力,电力,磁力等等。但在力使物体改变速度或产生加速度这一意义上,各种形式的力被全部統一了起来。(2)由于力的定义,使我們有可能从客觀事实中去研究一个物体是否受有其他物体的作用力,或所受到的作用力是否相互平衡。力学就是以这一类問題作为研究的内容的。

其次,从第一运动定律所叙述的事实中;我們可以看到,任何物体都具有一种特性,这特性表現在物体不受外力作用时保持速度不变。我們把这种特性称为慣性。所以第一运动定律也称为慣性定律。物体的慣性还表現在受到外力作用时容易不容易改变速度这一事实上。在相等的外力作用下,某些物体容易改变速度(加速度大),另一些較难改变速度(加速度小)。凡是容易改变速度的物体,我們就說它的慣性小,而不容易改变速度的物体,我們就說它的慣性大。因此,物体的慣性是物体企图保持速度不变的頑强性,而改变速度的难易程度是这受力物体的慣性大小的判断。慣性大小的量度,我們称为質量。一般規定,慣性大的物体,它的質量也大,慣性小的物体,它的質量小。

§ 3-3 牛頓第二运动定律

第一运动定律只說明物体不受外力作用时的情形,以及力和慣性两个概念的意义。第二运动定律在第一运动定律的基础上,进一步說明物体在受到外力作用时的情形,并确立:力、質量和加速度三者之

間的关系。第二运动定律是从許多事实中归納出来的客觀規律，并且在无数事实中获得驗證。我們現在根据簡單的实验，來說明它的內容。

从实践中我們知道，加速度有大小和方向，力也有大小和方向。要得到力和加速度之間的关系，必須先規定力的量度方法，然后用实验方法来求出这种关系。在这里，我們不預备对力和加速度的量度方法，加以詳細叙述，因为我們在中学里或日常生活中早已知道了。下面，我們直接来研究力和加速度之間的关系。

用不同大小的力，先后按次分別作用在同一物体上。（例如把一个小車，放在光滑平面上，然后用彈簧秤在水平方向来拉它）。实验的結果証明：同一物体所获得的加速度的大小和它所受外力的大小成正比，加速度的方向，总在外力作用的方向。或者，用数学比例式来表示，即

$$|\vec{J}_1| : |\vec{J}_2| = |\vec{F}_1| : |\vec{F}_2| \quad (3-3.1)$$

式中， $\vec{J}_1$ ， $\vec{J}_2$ 分別代表同一物体在外力 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 作用下所获得的加速度。上面的比例式，也可以写成：

$$\vec{J} \propto \vec{F} \quad (3-3.2)$$

如果我們用各种不同的物体来做实验，那么我們还可以發現下述結果：在大小相等的外力作用下，不同物体所获得的加速度，不仅由外力所決定，并且由物体本身所具有的一种特性所決定。这一种特性就是上节所說的慣性。慣性大小的量度，我們已說过，就称为質量。根据上节所述，我們很自然地作出下面的規定：在相等的外力作用下，各物体的質量和它們在这个外力作用下所获得的加速度的大小成反比。假設任意两个物体在相等的外力作用下所获得的加速度分別为 J_1 和 J_2 ，那么这两个物体的質量 m_1 和 m_2 应滿足下面規定：

$$m_1 : m_2 = |J_1| : |J_2| \quad (3-3.3)$$

或者一般地說，在大小相等的外力作用下，

$$m \propto \frac{1}{|J|} \quad (3-3.4)$$

这样我們只要选定一个标准物体，規定它的質量等于一个單位（就是 $m=1$ ），然后用相等的力，分別作用在标准物体和另一物体上，求出它

們的加速度比值,就可以定出另一物体的質量,实验也証明了,用这个方法定出来的每一个物体的質量,是一个恒量(常数),不因作用力的不同而有所改变。

用上面方法所測得的質量,有时也称为物体的慣性質量,因为它是物体在机械运动中所表現的一种特性(慣性)的量度。一切物質都具有質量;构成原子的电子、質子、中子等以及电磁波或光子等沒有一种不具有質量。因此質量的概念是物理学中最基本的概念之一。

合并(3-3.2)和(3-3.4)两式,就可以得到

$$|\vec{J}| \propto \frac{|\vec{F}|}{m} \quad (3-3.5)$$

或把(3-3.5)改写为:

$$\vec{F} = km\vec{J} \quad (3-3.6)$$

式中 k 是比例系数。

上面只談到了一个外力作用在物体上的情形。现在来討論两个外力同时作用在同一物体上的情形。先用一个力 $\vec{F}_1$ (圖 3-3.1a) 作用在一个質量为 m 的物体上,根据实验所測得的加速度为 $\vec{J}_1$, 所以:

$$\vec{J}_1 = \frac{\vec{F}_1}{km} \quad (3-3.7)$$

另用一个力 $\vec{F}_2$, 作用在这个物体上 (圖 3-3.1b) 实验結果表明物体的

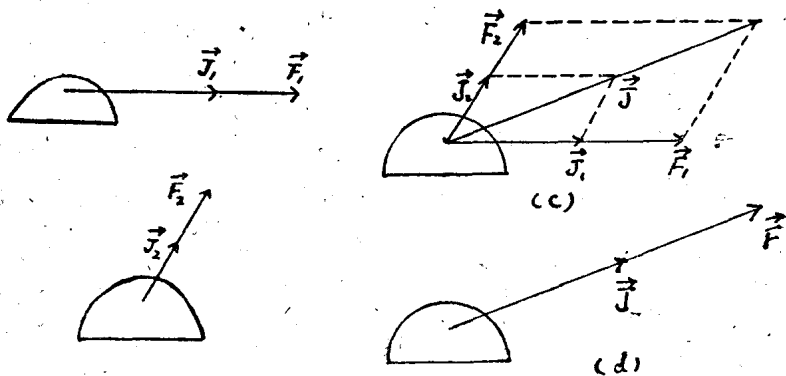


圖 3-3.1

加速度为 $\vec{J}_2$, 而且

$$\vec{J}_2 = \frac{\vec{F}_2}{km} \quad (3-3.8)$$

現在使 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 同时作用在这个物体上(圖 3-3.1c) 实验証明所得的加速度 $\vec{J}$, 恰巧等于 $\vec{J}_1$ 和 $\vec{J}_2$ 的矢量和:

$$\vec{J} = \vec{J}_1 + \vec{J}_2 \quad (3-3.9)$$

如果不用 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$, 而用另外一个力 $\vec{F}$ (圖 3-3.1d) 作用在物体上, $\vec{F}$ 等于 $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 的矢量和, 即

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (3-3.10)$$

由实验所得出的加速度, 仍旧是 $\vec{J}$, 即

$$\vec{J} = \frac{\vec{F}}{km} \quad (3-3.11)$$

这个实验証明了: 当两个力同时作用在一个物体上时, 所产生的加速度, 等于一个單力作用在同一物体上所产生的加速度, 而这个單力等于前述两力的矢量和。由此可見力是矢量, 它不仅有大小的方向, 而且是按照平行四边形法則合成的(求矢量和的方法)

由上述实验, 我們也可以知道, 当两个力作用在同一物体上时, 每一力各自产生它自己的加速度, 对另一个力的存在或不存在并无关系。例如 $\vec{F}_1$ 使物体所产生的加速度 $\vec{J}_1$, 并不因为 $\vec{F}_2$ 的存在而有所改变。这个实验事实, 称为力的独立作用原理, 也称为力的叠加原理。

由于力的矢量性, 我們可以把(3-3.6)式, 或(3-3.11)式写成:

$$\Sigma \vec{F} = km\vec{J} \quad (3-3.12)$$

式中 $\Sigma \vec{F}$ 代表作用在物体上的合力, m 代表物体的質量, $\vec{J}$ 代表物体的加速度。用文字来叙述(3-3.12), 就是

物体受到外力作用时, 物体所获得的加速度的大小和合外力 $\Sigma \vec{F}$ 的大小成正比, 并和物体的質量成反比, 加速度的方向和合外力的方向相同。

上面的結果, 我們常称为牛頓第二运动定律。事实上牛頓的原来陈述不是这样的, 这在以后我們还要提到。

(3-3.12)中的比例系数 k 决定于力、質量和加速度的單位。如果

选用适当的單位,可得 $k=1$,于是(3-3.12)可化为:

$$\Sigma \vec{F} = m\vec{f} \quad (3-3.13)$$

上式是質点动力学的基本方程式。因为从这个方程式可以根据已知的外力作用,求出受力物体的位置和时间以及速度和时间等关系,所以(3-3.13)也称为質点的运动方程式。

在应用第二运动定律时,应该注意下列几点:

(1) 第二运动定律只适用于質点的运动。

(2) 在应用第二运动定律时,必須包括所有作用于質点的外力,(包括摩擦力,空气阻力,重力等)

(3) 第二运动定律說明力,和加速度,質量之間的瞬时关系, f 表示瞬时加速度,力改变时,瞬时加速度也同时随着改变,当力等于零时,加速度也变为零,所以加速度只在有力作用时才产生,并不是物体获得加速度后就永远保持这个加速度。

(4) (3-3.13)是一个矢量式,在实际应用时常常用分量式来进行計算,例如在直角坐标系中它的三个分量为:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma F_x &= mJ_x = m \frac{d^2x}{dt^2} \\ \Sigma F_y &= mJ_y = m \frac{d^2y}{dt^2} \\ \Sigma F_z &= mJ_z = m \frac{d^2z}{dt^2} \end{aligned} \right\} \quad (3-3.14)$$

在应用上述分量式时,应注意各分量的正負和坐标軸方向的关系。

§ 3-4 力和質量的單位 單位制和量綱

上面說过,如果力、質量和加速度三个量的單位选择适当,可以得出(3-3.12)式中的 k 等于1。我們早已知道,如果用[厘米],[秒]分别为長度和時間的單位,則速度和加速度的單位为[厘米][秒]⁻¹和[厘米][秒]⁻²。如果長度和時間的單位分别用[米]和[秒],則速度和加速度的單位为[米][秒]⁻¹和[米][秒]⁻²。所以現在我們只要討論力和質量的單位。

在常用的几种單位制中,力和質量的單位采用两种不同的方法来規定。第一种方法是先規定質量的單位,然后根据(3-3.13)式規定力的單位。采用这种方法的單位制叫作絕對單位制。常用的絕對單位制有两种。一种叫作米-千克-秒制,在这單位制中,質量的單位是[千克],它是保存在巴黎国际度量衡局里的用铂銻合金制成的柱体,称为千克原器的質量。另一种叫作厘米-克-秒制,在这單位制中,質量的單位是[克],它是千克原器的質量的千分

之一。有了質量的單位，就可以規定力的單位。在米-千克-秒制中，力的單位是[牛頓]。1[牛頓]是这样大小的力，在它的作用下，1[千克]質量的物体得到1[米][秒]⁻²的加速度，即

$$1[\text{牛頓}] = 1[\text{千克}] \times 1[\text{米}][\text{秒}]^{-2}$$

在厘米-克-秒制中，力的單位是[達因]。1[達因]是这样大小的力，在它的作用下，1[克]質量的物体得到1[厘米][秒]⁻²的加速度，即

$$1[\text{達因}] = 1[\text{克}] \times 1[\text{厘米}][\text{秒}]^{-2}$$

很容易証明：

$$1[\text{牛頓}] = 10^5[\text{達因}]$$

第二种方法是先規定力的單位，然后根据(3-3.13)式規定質量的單位。采用这种方法的單位制叫作重力單位制，因为它是利用地球对物体的重力來規定力的單位的。常用的重力單位制有一种叫作工程制。在工程制中，力的單位是[千克力]，它是在緯度45°的海平面上地球对千克原器的吸引力。因为这个力的大小不易量得准确，而且有随时間变化的可能，所以国际度量衡委员会規定：

$$1[\text{千克力}] = 9.80665[\text{牛頓}] = 9.80665 \times 10^5[\text{達因}]$$

在普通应用时，如不求十分精确，可設

$$1[\text{千克力}] \approx 9.81[\text{牛頓}] = 9.81 \times 10^5[\text{達因}]$$

有了力的單位，就可規定質量的單位。在工程制中質量的單位沒有專用名称，1[質量工程單位]是这样大小的質量，它在1[千克力]的力作用下，得到1[米][秒]⁻²的加速度，即

$$1[\text{千克力}] = 1[\text{質量工程單位}] \times 1[\text{米}][\text{秒}]^{-2}$$

从上列各式，很容易求得各質量單位的換算式如下：

$$1[\text{質量工程單位}] = 9.81[\text{千克}] = 9.81 \times 10^3[\text{克}]$$

在上面規定單位的說明中，可以明白，在应用(3-3.13)式时，式中各量必須用同一單位制的單位。

現在我們來簡單地說明基本量，导出量和量綱的意义。我們可以看到，在选定長度和時間两个單位后，速度和加速度的單位就可以按照定义从这两个單位导出。在上面我們又看到，在选定質量和加速度或力和加速度的單位以后就可以根据第二运动定律导出力或質量單位。一般地說來，各个物理量之間，常常存在着一定的联系，因此我們选定几个量和它們的單位，就可通过定义或定律导出其他各量和它們的單位。这样，选定的几个量就称为基本量，它們的單位称为基本單位，其它从基本量导出的量称为导出量，它們的單位称为导出單位。

在絕對單位制中，选定長度、質量和時間作为基本量，所以米-千克-秒制和厘米-克-秒制两种單位制的名称就是說明它們所采用的基本單位的。在重力單位制中，选定長度、力和時間作为基本量，所以工程制的基本單位是[米]，[千克力]和[秒]。力学中其他各量和它們的單位，在上述任何一种單位制中，都可从基本量和基本單位导出，所以都是导出量和导出單位。

既然导出量可从基本量导出，那么每个导出量一定可用基本量的某种組合表示出来。表示每个物理量怎样由基本量組成的式子称为量綱。在絕對單位制中，我們用字母 L 、 M 和 T 分别代表長度、質量和時間的三个基本量。因此力学中其他各量的量綱就可用这三个字母的組合来表示，例如，速度的量綱是 LT^{-1} ，加速度的量綱是 LT^{-2} ，力是 MLT^{-2} 。在工程制

中,也可用字母来代表基本量,并写出每个物理量的量纲,但因为不常用,所以从略。

物理量的量纲能够很简单地告诉我们物理量的性质和各量间的基本关系。此外,量纲有下述两种主要用途:(1)用量纲来换算单位。如以 L, M, T 分别代表三个基本单位从一种单位制换到另一种单位制时的换算数值,那么其他物理量的量纲就代表它们的单位的换算数值。例如,力的量纲是 MLT^{-2} , 从米-千克-秒制单位换到厘米-克-秒制单位时,质量,长度和时间的换算数值分别是 $M=10^3, L=10^2$ 和 $T=1$, 所以力的换算数值是 $M L T^{-2} = 10^3 \times 10^2 \times 1 = 10^5$, 即可得 $1[\text{牛顿}] = 10^5 [\text{达因}]$ 。(2)用量纲来检验等式。在复杂的等式中,常包括若干项的和或差,那么这些项一定有相同的量纲。因此检验复杂等式中各项的量纲,就可知道等式是否正确。例如匀速直线运动方程式是

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

我们很容易看出,上式中每一项的量纲都是 L , 所以依照量纲的检验,等式是正确的(式中数字正确与否不能用量纲检验出来)。

§ 3-5 牛顿第三运动定律

我们在前面已讲过,力起源于物质,是物体之间相互作用的结果,如果甲物体受到乙物体的力作用时,乙物体同时也要受到甲物体的作用力,现在,我们就来研究两个物体相互作用时,它们的作用力和反作用力之间的关系。

图 3-5.1 中表示放在光滑轨道上的两辆小车。我们可以用任何便利的方法,把两小车联结起来,使它们相互之间有力的作用(例如用弹簧联结起来)。实验证明,用任何方法使它们相互作用时,在任何

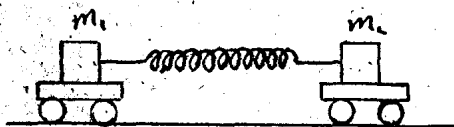


图 3-5.1

时刻,两小车的质量和加速度的乘积等值而反向,即

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2$$

按照第二运动定律,立刻可以看出它们之间的相互作用力,必是等值而反向。

许多日常生活中的例子,也证明了两个物体之间的作用力和反作用力,等值而反向,例如:(1)一人推一小车,人施于小车上使它向前的力为 $\vec{F}_1$ 时,必有一大小相同而方向相反的力 $\vec{F}_2$ 施在人的手上,(2)以锤敲钉时,锤以力 $\vec{F}_1$ 作用于钉上,必有一 $-\vec{F}_1$ 的力,作用于锤上。

(3) 用繩子从井中吊水桶上升, 施于桶上的力 $\vec{F}_1$ 向上, 同时, 必有一向下的力 $\vec{F}_2$ 施于繩子上。 $\vec{F}_2$ 的大小和 $\vec{F}_1$ 的大小相等。

这样, 我們从无数的实验事实中, 得到了下面的結論:

当甲物体以力 $\vec{F}_1$ 作用于乙物体时, 乙物体也以力 $\vec{F}_2$ 作用于甲物体, $\vec{F}_1$ 和 $\vec{F}_2$ 在一条直线上, 大小相等而方向相反, 即

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (3-5.1)$$

这个結論, 称为牛頓的第三运动定律。第三运动定律中所提到的物体是指質点。实验也証明了, 当把物体看成由許多質点所組成时, 那么第三定律也可适用于物体。必須注意, 作用力和反作用力是作用在不同物体上的。甲物体受到乙物体作用力时, 可以获得加速度, 同时乙物体也必受到甲物体的反作用力, 也可以获得加速度, 作用力和反作用力永远不会作用在同一物体上, 因此一个物体所受的作用力决不能和这个力的反作用力相互抵消。例如人走路时, 如以脚推地面的力为作用力, 則地面作用于脚的力是反作用力, 人受到地面推脚的力时, 产生加速度而前进。又例如: 机車(火車头)拉列車时, 如以机車的拉列車的力为作用力, 則列車拉机車的力是反作用力。另外, 机車車輪和路軌之間, 列車車輪和路軌之間各有一对力。如以机車車輪推路軌的力为作用力, 則路軌推机車車輪的力是反作用力。机車所受路軌的力(指水平方向的力)如大于所受列車的力, 則机車作加速运动。列車所受机車的力如大于所受路軌的力(也指水平方向), 則列車也作加速运动。

§ 3-6 慣性質量与引力質量

牛頓在發表他的三条运动定律时, 还同时發表了他的万有引力定律, 牛頓的运动定律和引力定律都是从許多观察到的客观事实中推得的結論, 其中主要的根据, 是伽利略自由落体定律和开卜勒行星运动定律。在牛頓时代, 人們虽然已發現后两定律和其他許多事实, 但还不能用一种理論来作概括的解釋。牛頓在經過了長时期研究, 認為天空中星体的运动和地面上物体的运动应服从同一的客观規律, 而最后發現了运动定律和引力定律。

关于开卜勒行星运动定律和万有引力定律我們在本章后面还要提

到,現在先把万有引力定律的陈述,写在下面:任何两个物体都要相互吸引,引力的大小和两物体质量的乘积成正比,和两物体之間距离的平方成反比,引力的方向在两物体的連綫上。

設以 m_1 和 m_2 分別代表两物体的引力質量, r 代表它們之間的距离, F 代表引力的大小,則

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (3-6.1)$$

式中 G 是比例系数,称为引力恒量(引力常数)

引力定律中所提到的物体是指質点,当物体不能看作質点时,須將两物体看成由許多質点所組成,一物体的許多質点对另一物体的許多質点的引力的合力,就是前一物体对后一物体的引力。用积分法可以証明,在計算均匀球体之間的引力时,可将球体的引力質量看成集中在球心。

(3-6.1)式中的引力恒量 G 的数值最近的測定值是

$$G = 6.670 \times 10^{-8} \text{ [达因] [厘米]}^2 \text{ [克]}^{-2}$$

一个物体的重量,是地球对这个物体的吸引力,所以也称重力。設地球和物体的引力質量分別为 M 和 m ,物体离开地球中心的距离为 R ,則按照万有引力定律,物体所受重力 P 是

$$P = G \frac{Mm}{R^2}$$

或

$$m = P \frac{R^2}{GM} = P\alpha \quad (3-6.2)$$

式中 α 代表 $\frac{R^2}{GM}$, 是一个恒量(因为物体在地球表面附近时, R 可看作近似地不变)。因此,知道了物体所受的重力,就可以利用(3-6.2)式来規定物体的引力質量 m 。

我們現在的問題:从(3-6.2)式所得出的物体的引力質量 m 是否与根据牛頓第二运动定律所得出的慣性質量 m 相等? 为了区别同一物体的引力質量和慣性質量,我們用 $m_{\text{引力}}$ 来表示引力質量,用 $m_{\text{慣性}}$ 来表示慣性質量,于是(3-6.2)可以写成