

北京市、上海市中学生物理
电视辅导讲座讲义

广东省教育局教研室 翻印
韶关市教育局教研室

目 录

北京市中学生物理讲座

- 第一讲 如何分析物体受力和运用牛顿定律
.....北京师范大学物理系 阎金鐸 (1)
- 第二讲 动量守恒和能量守恒
.....清华大学基础课部物理教研组 张三慧 (9)
- 第三讲 物理解题(一)
.....清华大学基础部物理教研组 丁俊华 (17)
- 第四讲 物理解题(二)
.....北京大学普通物理研究室 蔡伯廉 (26)
- 第五讲 谈谈物理实验
.....北京大学物理系普通物理实验室 虞宝珠 (31)
- 第六讲 现代物理学中的几个基本概念
.....中国科学技术大学天体物理系 方励之 (41)
- 第七讲 和中学生谈谈怎样学习物理
.....北京师范大学 钱 玄 (49)

上海市中学生物理讲座

- 第一讲 为什么要学和怎样学好物理学
.....复 大学 卢鹤绂 (59)

第二讲 运动学

.....复旦大学 贾起民 (61)

第三讲 牛顿运动定律及守恒定律

.....南市区教师进修学院 朱国祥 (70)

第四讲 弹性碰撞和非弹性碰撞

.....上海教育学院 汪思谦 (78)

第五讲 静电场

.....上海师范学院 张梦心 (84)

第六讲 直流电路分析

.....上海师范大学 宓子宏 (91)

第七讲 磁场和电磁感应

.....上海师范大学 宣桂鑫 (103)

第八讲 振动与波

.....同济大学 赵松令 (113)

第九讲 几何光学中的成象问题

.....上海师范大学 宣桂鑫 (120)

第十讲 光的本性

.....交通大学 陈中伟 (132)

第十一讲 气态方程

.....徐汇中学 徐寅 (140)

第十二讲 原子的今昔观

.....复旦大学 郑广垣 (147)

第十三讲 中学物理实验

.....上海教育学院 王为骥 (156)

第十四讲 物理综合题解析

.....上海师范学院 陈太年 (163)

北京市中学生物理竞赛

电视辅导讲座

第一讲 如何分析物体受力和运用牛顿定律

北京师范大学物理系 阎金铎

学习物理，不是单靠简单的记忆，而要理解。主要是掌握好基本概念、基本规律和基本研究方法。只有这样，才能深刻地理解物理现象和分析、解决实际问题。下面，我们以如何分析物体受力和如何运用牛顿定律为例来说明之。

大家已经知道，力是物体间的相互作用。如果甲、乙两个物体相互作用，则甲物体对乙物体施以力的作用，同时，乙物体对甲物体也施以力的作用。这一对力是同时出现的，大小相等，方向相反，而且分别作用在两个不同物体上。例如，你和桌子是两个物体，当你拍打桌子的时候，桌子也在拍打你，你打它的力大，它打你的力也大。不信，就可以试一试！你打桌子时，你手痛，你越用力，你手就越痛，就是一个很好的证明。所以，作用是相互的，施力的物体，也是受力的物体；受力的物体，也是施力的物体。

以上内容，大家记得很熟，但是，为什么一遇到实际问题，分析一个物体受什么力，往往感到很困难，甚至无从下手呢？这主要是对力的概念还只停留在背诵条文，没有把它具体化，因而易于从想当然出发，不从概念本身去分析。

因此，要求我们善于把先、后学到的关于力的知识总结、归纳，把力起源于物体间相互作用更具体化。我们可以按照两个物体相互作用的具体方式不同分类，在目前中学的范围内，常见的力的种类有场力、弹力和摩擦力。

一、场力。场是客观存在的一种特殊物质，有引力场、电场、磁场等。场具有两个重要的性质：第一是力的性质；第二是场力可以做功，说明具有能量。这里主要讨论力的性质。

1. 引力场。任何物体周围都存在着引力场，它对置于其中的物体施以吸引力的作用。

地球与物体之间的万有引力是通过引力场进行的。地球周围存在着引力场，它对物体施

以吸引力作用；同时，物体周围也存在着引力场，它对地球也施以吸引力作用。这一对力大小相等，方向相反，分别作用在物体和地球上。

一般物体与物体之间也应存在着互相吸引力，但是，由于它们周围存在的引力场都很微弱，所以，相互作用力极小，从而忽略不计。

在地球表面上或表面附近的任何物体，都要受到地球引力场的吸引力，一般叫做重力。

2. 电场。电荷周围存在着电场，电场对置于其中的电荷施以力的作用。

电荷与电荷之间的作用力是通过电场进行的。第1个电荷周围存在的电场对第2个电荷施以力的作用；同时，第2个电荷周围存在的电场对第1个电荷施以力的作用。这一对力大小相等，方向相反，分别作用在两个不同的电荷上。

我们用电场强度 $\vec{E}$ 来描写电场的力的性质，则置于电场中的电荷 q 所受到的电场力等于：

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

3. 磁场。任何电流周围存在着磁场，磁场对运动电荷或载流导线施以力的作用。

两条载流导线之间的相互作用力是通过磁场进行的。第1条载流导线 I_1 周围存在着磁场（用右手螺旋法则确定其方向），它对载流导线 I_2 施以力的作用（用左手法则确定力的方向）；同时，第2条载流导线 I_2 周围存在着磁场，它对载流导线 I_1 也施以力的作用，这两个力大小相等，方向相反，分别作用在两条不同的导线上。

总之，场力也是两个物体间的相互作用，是通过场来进行的。

二、弹力。两个物体相互接触，彼此发生相对形变时出现的力叫做弹力。

木块放在桌子上，木块与桌子相互接触，彼此发生了微小的形变。木块力图恢复形变，从而给桌子一个向下的力，施力的物体是木块，受力的物体是桌子，一般叫做木块给桌子的压力；同时，桌子也力图恢复形变，从而给木块一个向上的力，施力的物体是桌子，受力的物体是木块，一般叫做桌子给木块的支持力。这两个力是一对弹力，大小相等，方向相反，分别作用在两个不同物体上。

用绳子吊起一个物体，物体与绳子之间的作用力，也是弹力。

一般说来，只要两个物体相互接触，它们之间就有微小的形变，从而有相互作用的弹力。

注意：压力与重力是两回事，不能混为一谈。例如木块对桌子施以压力，施力的物体是木块，受力的物体是桌子，这是弹力；而木块的重力，施力的物体是地球，受力的物体是木块，这是场力。因此，压力与重力本质不同。然而，为什么易于混淆呢？那是因为这个例子中，木块和桌子都处于静止状态，木块所受的重力和木块给桌子的压力大小相等。实际上，在其他情况下，压力和重力的大小也不一定相等，甚至毫无关系。例如用手在墙上按一个图钉，手按图钉的压力和图钉的重力不仅是不同性质的两个力，而且在大小和方向上也都毫无关系。

三、摩擦力。两个物体相互接触，有相对运动或相对运动趋势时，由于物体间接触面的凹凸不平，而出现与运动方向或运动趋势方向相反的力，叫做滑动摩擦力或静摩擦力。

滑动摩擦力的大小等于：

$$f = \mu N,$$

式中： μ ——滑动摩擦系数， N ——正压力。

静摩擦力的大小由外力决定，最大静摩擦力等于：

$$f_{0M} = \mu_0 N,$$

式中： μ_0 ——静摩擦系数， N ——正压力。

这里应当指出：摩擦力不单是起阻碍物体运动的作用，有的情况也起推动作用。例如，汽车、自行车之所以能开动，是靠地面给车的静摩擦力。参阅图 1，在无滑动情况下，车轮与地面的接触点是经常改变的。当车的主动轮转动时，车轮与地面接触的瞬时接触点相对于地面有向后运动的趋势，所以地面给车轮以向前的静摩擦力，正是这个力的存在才能使车前进。设想如果没有摩擦或摩擦过小，则汽车发动机虽然在工作，车轮也只能在原地空转，车绝不能前进。平常说的汽车牵引力，实际上是地面给车的静摩擦力。再如，人所以能向前走，传送带所以能传送物体，也正是依靠静摩擦力的推动。

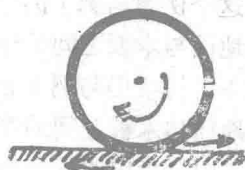


图 1

以上把力是物体间相互作用具体化，按具体相互作用性质进行归纳、分类，一方面帮助我们理解力的概念；另一方面对分析物体受力时有所帮助。

分析物体受力，是研究力学问题的关键。分析力时，不能无中生有的多一个力，也不能随意漏掉一个力。如何分析物体受哪些力呢？要从基本概念着手，要有依据，这个依据就是按照场力、弹力、摩擦力来逐步分析。

例 1：一块木板斜放在墙与地之间，如图 2 所示。试求木板受几个力？

解：取木板为研究对象。

首先分析场力，木板受一个竖直向下的重力 W ；

再分析弹力，木板与两个物体接触，所以有两个弹力：墙给木板水平向右的弹力 N_1 和地面给木板竖直向上的弹力 N_2 ；

最后分析摩擦力，木板与墙接触，木板有向下运动的趋势，从而墙给木板竖直向上的静摩擦力 f_1 ；木板与地面接触，木板有向右运动的趋势，从而地面给木板水平向左的静摩擦力 f_2 。

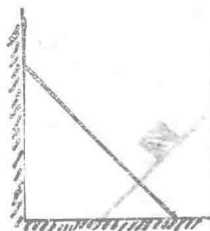


图 2

答：木板共受五个力：一个场力 W ；二个弹力 N_1 和 N_2 ；二个静摩擦力 f_1 和 f_2 ，如图 3 所示。

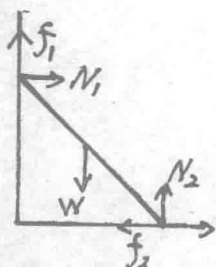


图 3

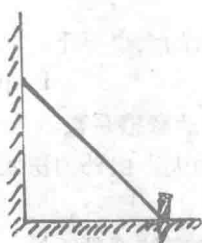


图 4

例 2：上题中，在木板与地面接触点前方钉一木楔，如图 4 所示，再求木板受几个力？

解：取木板为研究对象。

分析：这个例题与例 1 的区别是在于多一个木楔，因此有几种情况：

①如果地面与木板之间的摩擦力足够大，则加不加木楔，毫不影响木板的平衡。因此，在这种情况下，答案仍与例 1 相同。

②如果地面与木板之间的摩擦力不够大，不加木楔时，木板不能平衡，在这种情况下，除了受到例 1 中所指出的五个力以外，木楔还给木板以弹力 N_3 。即共受六个力。此时，地面与木板的摩擦力为最大静摩擦力。

③如果墙和地面是光滑的，则无摩擦力，在这种情况下，木板共受到四个力：一个重力 W ，三个弹力 N_1 、 N_2 和 N_3 。

例 3：如果在例 2 的基础上，木板上又放一木块，静止不动，如图 6 所示。这时，木板受几个力？

解：取木板为研究对象。

首先分析场力，木板受重力 W ；

再分析弹力，木板与四个物体接触，所以有四个弹力： N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 。

最后分析摩擦力，木板与墙、地、木楔均无相对运动或运动趋势。而木板与木块有相对运动趋势。由于木块有沿木板向下滑动的趋势，木板给木块沿木板向上的静摩擦力，所以木块给木板沿木板向下的静摩擦力 f 。

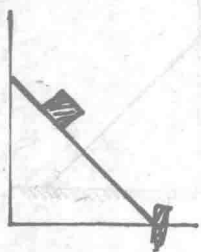


图 6

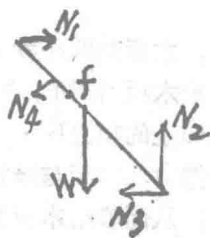


图 7

答：木板共受六个力：一个场力 W ；四个弹力 N_1 、 N_2 、 N_3 和 N_4 ；一个静摩擦力 f 。如图 7 所示。

例4：一无限长的 Π 形金属导轨，其所在平面与水平面夹角为 θ 。今有一根重为 W 的均匀金属棒 AB 放在导轨上，整个装置放在磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向上，如图8所示。设金属棒与导轨无摩擦，试求金属棒沿导轨运动过程中受几个力？

解：取金属棒 AB 为研究对象。

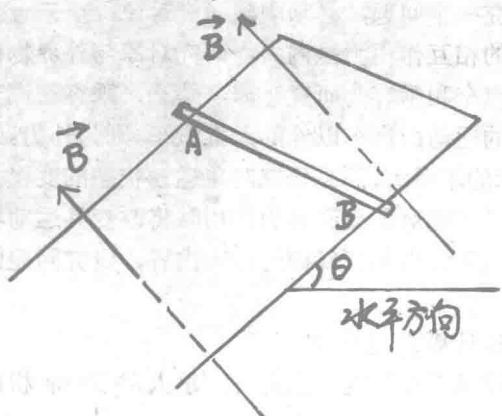


图8

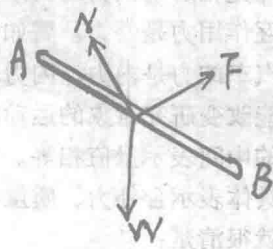


图9

首先分析场力，金属棒在地球引力场中受一个竖直向下的重力 W ；金属棒在磁场中运动时产生感应电动势，在闭合回路里产生感应电流，其方向由右手法则确定为从 B 流向 A 。这时，磁场对载流导线（金属棒 AB ）施以磁场力 F ，其方向由左手法则确定为沿导轨平面向上。

再分析弹力，金属棒分别与两条导轨接触，应受两个互相平行的、垂直于导轨平面向上的弹力，我们用一个合力 N 表示。

答：金属棒 AB 共受三个力：两个场力 W 和 F ；一个弹力的合力 N 。如图9所示。

例5：人造地球卫星在极稀薄高空中绕地球做近似匀速圆周运动，试求人造地球卫星受几个力？

解：取人造地球卫星为研究对象。

卫星只受到场力，即受到一个万有引力，无弹力和摩擦力。

有的同学可能说，还要受到一个向心力！那么，向心力是卫星与哪个物体相互作用呢？注意！分析力时不能想当然，要有依据。要知道，向心力是顾名思义而起的名字，因为作匀速圆周运动的物体所受的合力指向圆心，所以把这个合力叫做向心力。实际上，卫星只受一个场力，由于它指向圆心，就是向心力。

这里还应当指出：平常说的压力、支持力、拉力、张力、下滑力、上举力、向心力、汽车牵引力、挂钩牵引力……，都是顾名思义而起的名字，例如，一根细长的金属棒，两端受力使其拉伸，一般叫做拉力，实际上是弹力；又如，一条绳子受拉力使其伸张，一般叫拉力或张力，实际上也是弹力；汽车牵引力实际上是地面给汽车的静摩擦力，挂钩牵引力一般指汽车对拖车的拉力，这是弹力。因此，分析物体受力时，应当从力是物体间相互作用这一基本概念着手，绝不能脱离概念而想当然地去分析。只有掌握好基本概念，才能很好地分析问题和解决问题。

对于一个基本规律，也绝不能简单地背诵。如何运用基本规律，更不能想当然地找几个数字代进去，还要从基本概念和规律本身的内容着手，只有这样，运用它的研究方法、步骤

就会自然地得出。例如，对于质点和刚体平动所遵循的规律，

$$\Sigma F = ma$$

这是大家熟知的牛顿第二定律，这一数学公式表示什么物理内容呢？

公式的左端表示研究对象所受的合外力。研究一个问题，必须明确研究对象；至于合外力，外是相对于内力说的，研究对象内部物体间的相互作用力是内力，研究对象与外界物体的相互作用力是外力。譬如一辆汽车，如果选取汽车和乘客为研究对象，那么，乘客在汽车内推汽车的力是内力，内力不改变研究对象整体的运动；汽车以外的人推汽车，则为外力，外力才能改变研究对象的运动状态。公式的右端表示的不是力，而是研究对象运动状态的变化。公式的中间表示量值相等。可见，这一规律说明了研究对象受到外力作用时将改变其运动状态，具体表示合外力、质量和加速度之间的定量关系。明确了规律的物理内容，研究问题的步骤就很清楚：

第一、确定研究对象。主要根据问题的要求和计算方便来确定。

例如，体重60公斤的人站在升降机内，当升降机以加速度 a 上升时，求人对于升降机的压力等于多大？

取谁为研究对象呢？问题所要求的是人和升降机之间的作用力，所以，根据问题的要求取升降机或人都可以。但是，如果取升降机，则因为它所受的三个力（一个重力 W ；二个弹力，即人对升降机的压力和钢绳对升降机的拉力）都是未知的，所以计算很不方便，甚至计算不出来，如果选取人为研究对象，则易于计算。

第二、分析研究对象受力情况，分析的方法如前所述；

第三、考虑研究对象运动状态变化情况，即有无加速度；

第四、列方程，求解。

例6：体重为60公斤的人匀速向上爬绳，如图10（甲）、（乙）两种情况，各需用力多大？

解：取人为研究对象。

在第一种情况下，在竖直方向上，人受两个力：一个重力 W ；一个静摩擦力 F ，如图11（甲）所示；在第二种情况下，在竖直方向上，人受三个力：一个重力 W ；一个弹力 F_1 ，一个静摩擦力 F_2 ，如图11—（乙）所示。

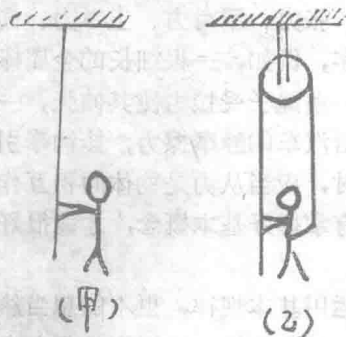


图 10

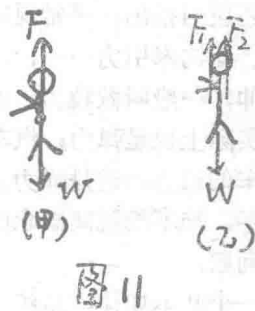


图 11

由于匀速运动，加速度等于零。

分别列出方程：

第一种情况： $F = W$, $\therefore F = 60$ 公斤

第二种情况： $2F = W$, $\therefore F = 30$ 公斤

根据牛顿第三定律，作用力和反作用力大小相等，方向相反，则人匀速向上爬绳用力分别为60公斤和30公斤。

例7：质量为 m 的汽车以大小不变的速度 V 前进，如图12所示。试求在A、B、C三种位置时，汽车对路面的压力各等于多大？（汽车在C位置时，已关闭了油门）。

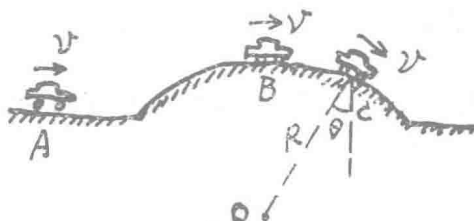


图 12

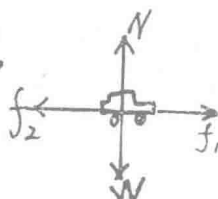


图 13

解：取汽车为研究对象。

在A位置时：汽车共受四个力，如图13所示，汽车在水平方向和竖直方向上均无加速度，则：

$$f_1 - f_2 = 0,$$

$$W - N = 0, \quad \text{即 } N = W$$

根据牛顿第三定律可知，汽车对路面的压力大小等于 W ，方向竖直向下。

在B位置时：汽车受力情况同前。汽车由于作匀速圆周运动，有加速度 $a = \frac{V^2}{R}$ ，方向竖直向下，则得：

$$f_1 - f_2 = 0$$

$$W - N = m \frac{V^2}{R}$$

所以

$$N = W - m \frac{V^2}{R}$$

根据牛顿第三定律可知，汽车对路面压力大小等于 $W - m \frac{V^2}{R}$ ，方向竖直向下。

在C位置时：汽车共受三个力，如图14所示。汽车同样作匀速圆周运动，有加速度

$a = \frac{V^2}{R}$ ，方向为C点的法线方向，则得：

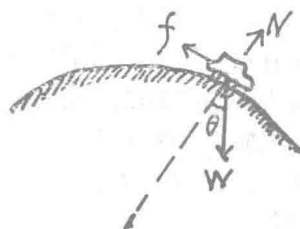


图 14

$$W \cdot \sin \theta - f = 0$$

$$W \cdot \cos \theta - N = m \frac{V^2}{R}$$

所以

$$N = W \cdot \cos \theta - m \frac{V^2}{R}$$

根据牛顿第三定律可知,汽车对路面的压力大小等于 $W \cdot \cos \theta - m \frac{V^2}{R}$, 方向为该点法线方向压桥。

例 8: 用手指斜压一直棍, 如图15所示。忽略直棍重量, 直棍与地面夹角 θ 为最小平衡角度 (角度再小时, 直棍即滑倒), 试求直棍与地面的静摩擦系数 μ 。

解: 取直棍为研究对象。

直棍共受三个力: 由于忽略重量, 无场力; 两个弹力 (手指给直棍的压力 F 和地面支持力 N) 和一个最大静摩擦力 $f = \mu N$ 。如图15所示。

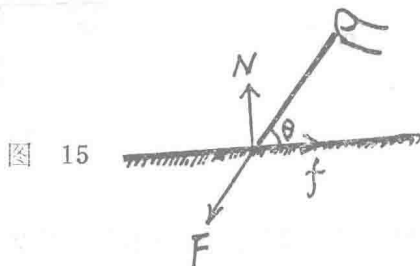


图 15

由于直棍平衡不动, 所以在水平方向和竖直方向均无加速度, 则得合力等于零, 即水平方向合力等于零, 竖直方向合力也等于零。

则得:

$$\mu N = F \cdot \cos \theta$$

$$N = F \cdot \sin \theta$$

以上两式相除, 得:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \\ &= \operatorname{ctg} \theta \end{aligned}$$

答: 直棍与地面的静摩擦系数 $\mu = \operatorname{ctg} \theta$ 。

从以上几个简单的例子可见, 必须掌握了基本概念和规律, 明确了处理问题的方法, 一些问题才有可能解决, 而不会束手无策。

上面所讲的内容虽然是一部力学知识, 但是, 我们可以看到: 学习物理不能生记硬背, 要理解物理概念和规律的物理内容、物理意义。要善于观察, 要善于分析、归纳, 要善于总结出解决问题的处理方法。也就是说必须培养我们要有实践的基础, 要有善于从实践中抽出本质的抽象思维能力和数学推理能力, 要有解决问题的科学方法, 即必须掌握好基本概念、基本规律和基本方法。希望同学们本着这样的精神, 对其他内容自己总结、概括, 进行学习。

第二讲 动量守恒和能量守恒

清华大学基础课部物理教研组 张三慧

在研究物理现象的规律时，人们发现某些物理量是守恒的。也就是说，对一个或一组物体来说（一组物体又叫做一个物体系统或简称“系统”），当它们的运动状态发生变化时，在一定条件下，表示它们的某些特征的物理量在整个变化过程中是保持不变的。这样的规律就叫守恒定律。大家都知道的有动量守恒定律、机械能守恒定律、普遍的能量守恒定律、电荷守恒定律等。此外还有角动量守恒定律以及研究基本粒子的运动时发现的重子数守恒、奇异数守恒、宇称守恒等规律。在这里我们只着重对动量守恒定律和能量守恒定律作一些较仔细の説明。

一、动量守恒定律

1. 冲量和动量

先说明动量这个概念，牛顿第二定律常写成以加速度表示的形式，即

$$F = ma$$

由于 $a = (V_2 - V_1)/t$ ，所以上式又可以写成

$$F = (mV_2 - mV_1)/t$$

在这里我们给动量下定义：物体在某一时刻的动量等于它在这一时刻的质量和速度的乘积，它是表示物体运动状态的一个物理量。上式中 mV_2 是物体在 t 秒末的动量，而 mV_1 是物体在 t 秒初的动量。 $(mV_2 - mV_1)$ 是物体经过 t 秒所发生的动量的变化。 $(mV_2 - mV_1)/t$ 就是单位时间内物体动量的变化，也叫动量的变化率。上式就说明：一个物体所受的外力等于它的动量的变化率。这是以动量变化来说明的牛顿第二定律，牛顿本人在发表他的定律时就是以这种方式说明的。

上式说明，同样的外力作用于不同的物体上，不管物体的质量如何，它们产生的动量变化率是一样的。动量的变化可以是质量不变由速度的变化引起的，也可以是由于运动过程中物体质量的变化引起的。不论哪种情况，外力的效果表现为动量的改变。这样我们就看到了在说明物体的运动和它们相互之间的作用的关系时，是动量的变化直接和外力相联系的，因此动量是力学中一个很重要的物理量。虽然动量是质量和速度的乘积，但在说明运动的规律时它的意义要比速度概念深刻得多，重要得多。

上述以动量变化来说明的牛顿第二定律公式，可以改写为

$$Ft = mV_2 - mV_1$$

此式中 Ft 又叫物体所受外力的冲量，这样牛顿第二定律也可以说成是：物体受外力作用一段时间后，它的动量的改变就等于它在这段时间内所受外力的冲量。也不以说，物体动量的改变以它所受的外力的冲量来量度。

冲量是表示力在一段时间内的作用的物理量。它是力和力作用的时间的乘积，大的力作用的时间短和较小的力但作用的时间较长，它们的总效果可能一样，只要力和作用时间的乘积相等，它们所引起的动量的改变就相等。

2. 动量守恒定律

对一个系统内的各个物体应用牛顿第二定律以及第三定律，可以导出动量守恒定律，推导过程中课本上有，不再赘述。动量守恒定律的内容是：一个物体系统，不受外力作用时（或合外力为零时），各个物体的动量会由于内部相互作用而改变，但其总动量保持不变。以两个球的碰撞为例，以 m_1 和 m_2 表示二者的质量，以 V_1 和 V_2 表示碰撞前二者的速度， V_1' ， V_2' 表示碰撞后二者的速度，则动量守恒可用下式表示：

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V_1' + m_2 V_2'$$

对动量守恒定律的应用要注意两点：一、要注意速度是有方向的，因而动量也是有方向的，列方程式时必须按速度的方向而取适当的正负号。二、要注意外力等于零这一条件，即必须是系统处于不受外力或所受合外力为零的条件下。在有些情况下，如果物体系统在某一方向上所受的外力为零，则在这个方向系统的总动量守恒。下面举两个例子说明这两点。

例 1. 一个速度为 $V_1 = 3.3 \times 10^7$ 米/秒的中子与一个静止的氮核相碰，碰后中子以 $V_1' = 2.86 \times 10^7$ 米/秒的速度折回相反的方向运动，求碰后氮核的速度，已知氮核的质量 m_2 是中子质量 m_1 的 14 倍。

解：我们分析中子和氮核组成的系统的动量的变化，它们所受的外力为零，因而动量守恒。由于速度有向前的，有向后的，所以列方程式时要事先规定正方向，图中以 X 的方向来定正负， V_1 和 V_2' 都是正的，

而 V_1' 是负的，在碰撞前系统的总动量为： $m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V_1$ ，（因为 $V_2 = 0$ ）

碰撞后系统的总动量为： $m_1 (-V_1') + m_2 V_2'$

根据动量守恒应有 $m_1 V_1 = m_1 (-V_1') + m_2 V_2'$

由此得

$$\begin{aligned} V_2' &= \frac{m_1 (V_1 + V_1')}{m_2} = \frac{1 \times (3.3 + 2.86) \times 10^7}{14} \\ &= 4.4 \times 10^6 \text{ 米/秒} \end{aligned}$$

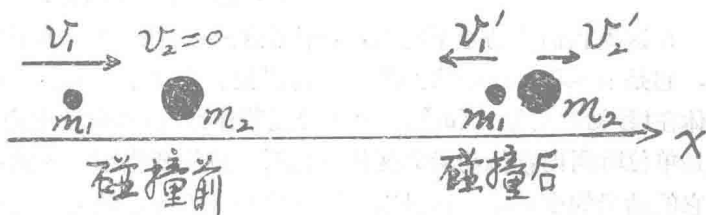


图 1

例2. 如图示, 停在水平钢轨上的炮车发射炮弹, 炮弹出口速度(对地面)为 V , 方向与水平面成 α 角。设炮车与炮弹的质量分别是 M 及 m , 求炮身反冲速度。

解: 发射过程中, 炮车和炮弹相互作用, 我们就以炮车和炮弹作为我们的分析对象。由于斜向上方发射, 发射时, 炮车要增大对钢轨的压力, 根据牛顿第三定律, 炮车就要受到钢轨对它的比它的重量大的反弹力, 这样, 炮车—炮弹系统所受的合外力不等于零, 不能对 v 和 V 直接用动量守恒定律。但是炮车和炮弹系统在水平方向上是不受外力作用的, 因而在这一方向上可以用动量守恒定律。在水平方向, 炮弹和炮车系统, 在发射前的总动量为零, 在炮弹出炮口时的总动量为:

$$M(-V) + mv\cos\alpha$$

由动量守恒, 得 $M(-V) + mv\cos\alpha = 0$

$$V = -\frac{m}{M} v\cos\alpha$$

从动量守恒定律来看, 动量这个量的重要意义更明显了。在相互作用中, 是系统的总动量守恒, 而不是总速度守恒。

在机械运动中可以从牛顿第二和第三定律推导出动量守恒定律, 可以说动量守恒是牛顿定律的必然推论。物理学的发展进入高速微观领域之后, 发现牛顿定律在这种场合下是不成立的, 在实验证明, 即使在这种情况下, 动量概念以及动量守恒定律都是适用的。在近代物理中分析基本粒子包括电子、质子、光子等等的相互作用时就常用动量守恒定律。当然, 这时的动量的定义公式也不简单是 mv 的乘积, 而是更为复杂的形式了。

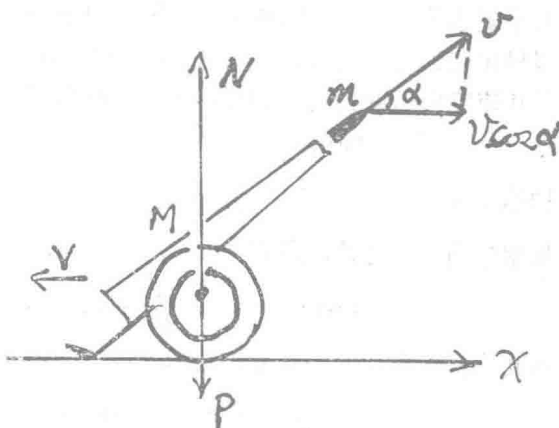


图 2

二、能 量 守 恒 定 律

能量的概念是和功直接相联系的, 讲能量守恒应先从功讲起。

1. 功 和 功 能

功的定义是力和距离的乘积。更严格些说, 力做的功是力沿位移方向的分量和位移的乘积, 如图示, 在力 F 作用下, 物体发生位移 S 时, 力 F 对物体做的功就是

$$A = FS\cos\alpha$$

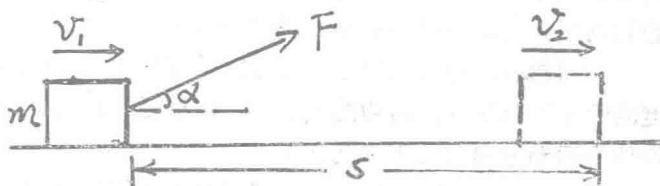


图 3

根据这个定义,如果 $\alpha = 0$,即力和位移方向一致,则 $A = FS$,为正值;如果 $\alpha = 180^\circ$,即力和位移方向相反,则此力将表现为阻力,它对物体做的功为 $A = -FS$,为负值。这时我们也常说是物体克服此阻力做功为 FS ,如果 $\alpha = 90^\circ$,则由于 $\cos 90^\circ = 0$, $A = 0$,即此力不对物体做功。

功的概念和我们日常说的劳动、工作的意义有些类似之处,但它的深刻的物理意义必须联系到物体运动状态的变化来理解,即做功可以使物体的运动状态发生变化,用牛顿定律可以导出它们之间的关系,如图3,设物体 m 在恒力 F 作用下沿光滑水平面运动,经过路程 S 后其速度由 v_1 变为 v_2 ,物体沿运动方向受的力为

$$F \cos \alpha$$

加速度为
$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2S}$$

根据牛顿第二定律,应有

$$F \cos \alpha = ma = \frac{m}{2S} (v_2^2 - v_1^2)$$

将此值代入求功的公式($FS \cos \alpha$)中,可得

$$A = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

这里我们看到力对物体做功能使物体的运动发生变化,而这个变化可以用 $\frac{1}{2} m v^2$ 这个量的变化来表示,这个量就定义为物体的动能,以 E 表示,即

$$E_k \equiv \frac{1}{2} m v^2$$

上式的右侧前后两项分别表示物体在 S 这段路程上的末动能和初动能。上式的意义就可以这样说:物体在外力作用下移动一段距离后,它的动能就发生改变,外力在这段距离内所做的功,就等于它的动能的增加。也可以说,物体动能的改变以力对它做的功来量度。

可以对动能再作一些说明。动能也是表示物体运动状态的一个物理量,物体的速度不同,它的动能就不同。前面已讲过动量的概念,并指出过它是表示物体运动状态的物理量。动量和动能不同,是从另一个角度表示机械运动的状态的。我们已指出,动量有方向,但是,动能没有方向。知道了动量可以知道物体运动的方向,知道了动能只能知道速度的大小而不能知道运动的方向。物体动量的变化用外力的冲量来量度,而动能的变化则用外力对物体所做的功来量度。利用功和动能的概念可以使我们不直接用牛顿定律而方便地解决某些关于物体运动速度的问题。但是,动能更深刻的意义在于研究运动形式的转化时,机械运动和其它运动形式的数量关系必须用动能来表示。

我们知道,外力与物体运动方向垂直时,此力在运动方向上不产生加速度,因而物体速度的大小不会改变。用功的概念来说,这是力对物体没有做功因而动能不变的结果(当然,物体的运动方向要发生改变)。

当外力为阻力时,牛顿第二定律指出物体的速度要减小。用功的概念来说,这是力对物体作负功因而动能减小的结果。

2. 势 能

把一个物体从地面上以一定的速度向上抛出，假定忽略空气阻力不计，我们知道它的速度是逐渐减小的。这个现象用功和动能的关系可以这样来说明：物体上升时，重力对物体做负功（或者说，物体克服重力做功），因而物体的动能减小了。当物体的动能减小到零时，它就达到了最高点。可以这样提出问题：这时物体的动能哪里去了？

我们知道，物体到达最高点后，由于受重力的作用会下降。下落过程中重力又要做功，当物体下落到原来抛出点高度时，它的速度的大小将和抛出时的速度一样，因而动能又恢复到原来的数值。这个现象可以这样看：抛出时物体的动能通过它上升时克服重力做功而贮存起来了。当物体下落时，通过重力对它做功，这贮存起来的动能又全部释放了出来。这个和重力做功相联系的贮存起来的动能叫重力势能。动能和势能统称为能量，它们是能量的两种不同的形式。动能可以转为势能的形式而贮存起来。

物体在一定的高度就具有一定的势能，势能的大小可以用物体下落到最低点时所释放出的动能的多少来说明。如图，物体从高度为 h 的地方由静止下落，重力 (mg) 将对它做功 mgh ，由功能的关系可知，这也就等于它到最低点时的动能，也就等于它在原来的高度 h 处时所具有的重力势能，以 E_p 表示重力势能，则

$$E_p = mgh$$

对重力势能，要注意几点：

1. 在地面上高度为 h 的物体，当它从此高度下落到地面时，不管沿什么路径，重力作的功都是一样的。例如物体沿竖直方向下落，重力的功为 mgh 。如果沿长为 l 的斜面下落，重力和功按定义为

$$mg \cdot l \cdot \cos \alpha = mgl \sin \theta$$

但由于 $l \sin \theta = h$ ，所以这个功仍然等于 mgh ，和竖直下落时一样，因而落到地面上时物体的动能也就一样。这就说明，物体在高度 h 处时所贮存的重力势能是一定的，这一点是引入重力势能概念的前提。如果不然，即重力的功随下落路径不同而不同，我们将不能说势能有确定的值，因而势能概念也就无意义了。（重力是万有引力的一种特殊形式，万有引力的功也具有这种与路径无关的特点。重力势能实际上是万有引力势能的一种特殊形式）

2. 重力势能这种能量的贮存显然和重力的存在直接相联系。重力是地球和物体之间的相互作用力，因此重力势能应该说是物体和地球这个系统所贮存的能量，而不能说是物体自身所具有的能量。

3. 由于高度 h 只有相对的意义，对于不同的基准面，同一物体的高度数值不同。因此，

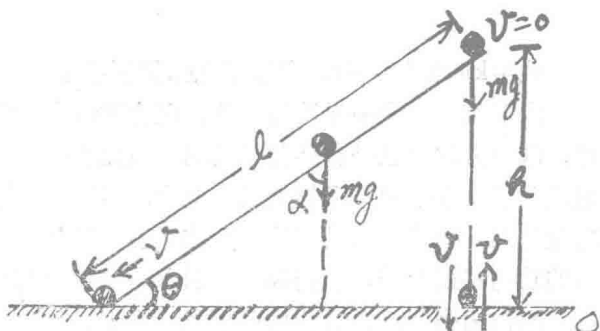


图 4

同一物体的重力势能还和基准面的选择有关。从这个意义上说，重力势能的大小是相对的。在既经选定基准面之后，在一定高度的物体（和地球系统）的重力势能当然就具有确定的值了。

除了重力势能外还有其它种贮存能量的方式，也就是有其它形式的势能。例如一个运动物体冲向一个弹簧时，它能压缩弹簧，同时也就被弹簧制动。弹簧受压缩到一定程度时，物体停止，动能没有了。这动能由受压缩的弹簧贮存起来了。此后弹簧由于恢复原状的弹力，又会把物体推回。当物体离开弹簧时，它又具有了原来的动能。弹簧在压缩（或伸长）状态时所储存的能量叫弹性势能。可以证明，当弹簧被压缩（或拉伸）的长度为 x 时，它所贮存的弹性势能 E_e 为

$$E_e = \frac{1}{2} k x^2$$

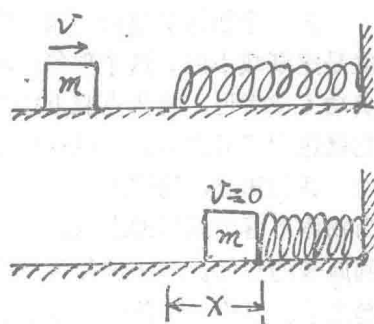


图 5

式中 k 叫弹簧系数，它等于把弹簧压缩（或拉伸）单位长度时所需要的外力。

除了重力势能和弹性势能外，在物理学中还有其它种势能。例如，电荷在电场中移动时，电场力的功也是和路径无关的。因此就引入了电势能的概念。分子间的作用力本质上是组成分子的电子和原子核之间的电力，当两个分子的相对位置发生变化时，分子间的力做的功也是和移动的路径无关的，因此又引入了分子间势能的概念。总之，对于一种力，只要它作的功与路径无关，我们都可以引入一个相应的势能概念。

摩擦力也能使运动物体停下来。能不能说通过摩擦力作用也把动能贮存起来了呢？不能！因为摩擦力制动后，物体并不能再由摩擦力作用又恢复到原来的速度和动能，因此不存在什么摩擦势能。这一点是和摩擦力做功的下述特点相联系的，即物体在粗糙表面上从一点到一点时摩擦力做的功和路径直接有关，走直线或绕远时摩擦力的功是有明显的差别的。

3. 机械能守恒定律

总结上面所讲可知，力对物体做功（正或负）可以使物体的动能发生变化，而通过重力或弹力做功，物体的动能又可以势能的形式贮存起来，而势能通过重力或弹力做功又能转化为动能被释放出来。对一个物体系统说，如果没有外力对它们作功，而它们之间的相互作用力又是重力、弹力等这种具有势能的力，那么在运动过程中，系统内物体的动能和势能可以相互转化，但其总和保持不变。系统的动能和势能之和又叫系统的机械能。上述规律就叫做机械能守恒定律。在分析机械运动时，常常要用到这条定律。下面举例说明它的应用。

例：在光滑的水平面上有一小车，质量为 M 如图。车上有一细棍悬吊一铁球，质量为 m 。从转轴到铁球中心的距离为 l 。今将细杆抬平，然后松手。求铁球到达最低点时的速度。忽略车与水平面以及各转轴处的摩擦力。