

1978年北京市中学生物理竞赛

电视辅导讲座讲义

(合订本)

江西省中小学教材编写组翻印

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，而要了解，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、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？那是因为在这个例子中，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 为滑动摩擦系数， N 为正压力。

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 为静摩擦系数， N 为正压力。

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，人所以能向前走路，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 ；

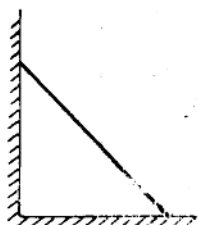


图 2

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 。

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。

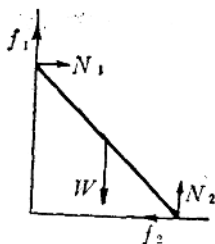


图 3

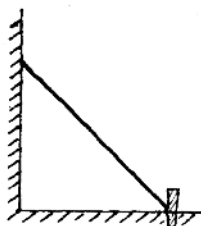


图 4

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。这个例题与例1的区别在于多一个木楔，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，这时木板共受四

个力：一个场力 W ；三个弹力 N_1 、 N_2 和 N_3 ，如图5所示。

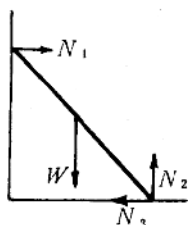


图 5

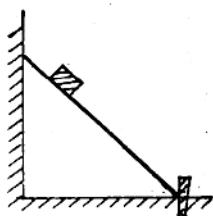


图 6

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 。

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

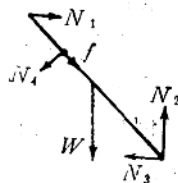


图 7

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。

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

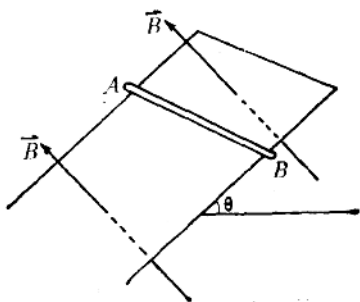


图 8

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。

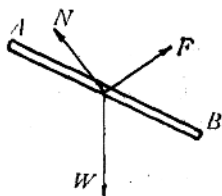


图 9

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，

$$\sum \vec{F} = m \vec{a},$$

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 ，一个静摩擦力 F ，如图 11 (乙) 所示。

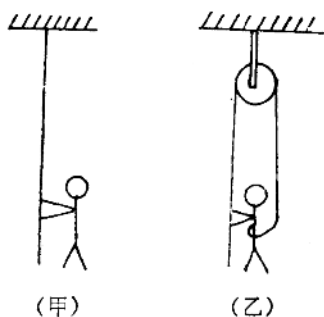


图 10

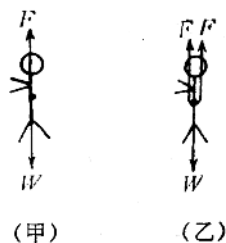


图 11

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）。

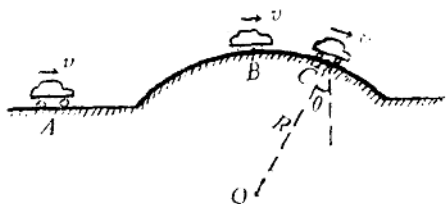


图 12

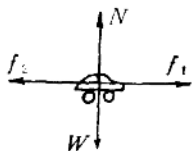


图 13

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：

$$f_1 - f_2 = 0,$$

$$W - N = 0, \text{ 即 } N = W$$

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

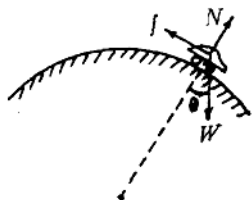


图 14

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。汽车同样作匀速圆运动，有加速度 $a = \frac{V^2}{R}$ ，方向为C点的法线方向，则得：

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

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

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

根据牛顿第三定律可知，汽车对路面的压力大小等于 $W \cos \theta - m \frac{V^2}{R}$ ，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（手指给直压的棍力 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。

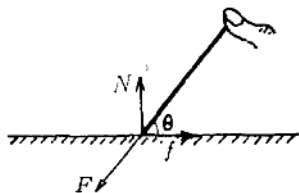


图 15

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：
$$\mu N = F \cos \theta$$

$$N = F \sin \theta$$

以上两式相除，得：

$$\mu = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

$$= \operatorname{ctg} \theta$$

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分力学知识，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。也可以说，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