

成人高等教育基础学科练习丛书

力学练习解答

李正顺 李佳立 编



佳木斯市教育学院学报编辑部

这是写给成人学习“力学”部份的一本教学参考书。由于它不是教科书，所以就其内容来说，就不可能面面俱到，广泛涉猎。考虑到成人学习特点，从内容的选材上，我们力争做到“少而精”，突出基本概念，突出主要问题。

由于多数人的学习基础都较差，而物理学中知识的连贯性又较强，所以学好中学里的有关力学知识，对于学好大学物理是特别重要的一件事情。经验表明，中学物理学得较好的人，到了大学再学习就感到很轻松；否则，就会感到非常吃力。实际上，中学和大学物理（主要是普通物理）的体系都是一样的。如开始都要讲质点运动学、动力学等，只是在知识的广度和深度上，大学中有所加强。尤其是大学中运用了高等数学，所以可以处理各种变量问题，这样就使解题的路子更宽。但是，应当看到，大学中有不少力学问题是和中学中的问题相类似的，这在知识所处的位置来看属于连接部位。这一部份问题的特点是：对中學生来说，从难度上是显得稍难了一些。面对大学生说，这一部份知识又显得简单了一些，但是这一部份知识起到了承上起下的作用，它对于我们理解物理概念，锻炼解题能力，对于成年人的学习都是既适当而又重要的一件事情，所以本书选择了不少这样的练习。

我们认为，解题的目的主要是为了解决问题，目的是主要的，方法是次要的，有些问题，不论你采用初等数学、还是高等数学手段，只要解决了问题，就算达到了我们的目

的。这里没有必要强调一定要用高等数学来作。

学好物理，要抓好“基本概念”和“演题能力”这两个重要环节。概念不清，演题再多，也不会收到好的学习效果，因为这样作不仅容易把题算错，而且有时解题由于缺乏理论指导，所以解题过程中就带有很大盲目性。有时题目既或作对了，但也不知其所以然，因而不能举一反三。

要学好物理中的概念，只凭死记硬背书上的定义是不行的。因为我们大凡要认识一个事物，只是从该事物的正面孤立地去认识它，往往就会很肤浅。如果我们是在运动中，是在和它周围事物的联系中，是从该事物的不同侧面（尤其是反面）去认识它，那么就会深刻得多。所以为了帮助同学们学好物理概念，这里除了选择一部份概念精讲外，主要还是用思考题，选择题的办法，让大家去从各种说法中去辨认，从而能知道，什么是对的，什么又是错的。只有这样，我们对基本概念的理解才会加深、加固。

掌握好基本概念，还要付诸于实践。我们这里所说的实践就是作题，应当指出，概念和演题还不是一回事情。如果一个人只重视概念的学习，而题却做的很少，这样就会出现不少人反映的“课堂一听都懂，实际一作题就全不会”的被动局面。实际上，他对物理概念也没有真懂。

作题，应该说它是对你所学到知识的全面考验，这里包括物理知识，也包括数学技巧。这里只要一个环节出错，就好象计算机中的程序一样，下面就进行不下去了。所以它对你知识的精度（准确性）和广度（知识面）提出了更高的要求，不少人反映物理难学，实际上是反映了要全面掌握物理、数学方面的知识要下的功夫要多。

为了提高同学们的作题能力，这里按问题类型，选择了

较多的典型例题和练习。这样作的好处是可以使同学们增长见识，摸清力学各种领域大致都有哪些类型问题，大致有几种解法，从而可以作到心中有数。考虑到成人的学习和基础，本书对练习也几乎全部详细的给作出了答案，为了能够起到举一反三的演题效果，我们除了突出解题思路外，另一方面又从解题规律上作了尝试。

由于本书是写给成人的，所以就其内容的深度上，是相当浅显的，从解题步骤上，甚至显得有些繁锁，但我想这对成人学习可能还会带来方便之处。

由于时间紧迫，错误和不当之处一定不少，望读者批评指正。

《目 录》

《前言》

第一章：质点运动学	(1)
一、概述	(1)
二、坐标系的选择	(4)
1、坐标系可以任意选择吗？	(4)
2、怎样选择坐标系,才能使问题简单？	(8)
三、路程和位移	(10)
1、路程和位移有何差别？	(10)
2、速度和速率有何差别？	(11)
〈 练 习 〉	
四、速度与加速度	(13)
1、平均速度	(13)
2、速度的合成	(18)
〈 练 习 〉	
3、速度与加速度	(25)
〈 练 习 〉	
五、运动图象	(31)
1、 $X-t$ 图象	(32)
2、 $V-t$ 图象	(33)
3、描述质点运动的三种方法	(34)
六、抛体运动	(35)
1、概述	(35)

2、用运动方程统一处理抛体运动问题... (36)

〈练习〉

3、有阻力时的抛体运动 (54)

〈运动学小结〉

第二章：质点动力学的基本规律..... (61)

一、牛顿运动定律 (61)

1、牛顿运动定律 (61)

2、牛顿运动定律思考题..... (64)

二、运用牛顿定律解题的一般方法..... (71)

〈练习〉

第三章：动量和机械能守恒..... (119)

一、动量与冲量 (119)

二、动量守恒 (125)

1、概述 (125)

2、动量守恒定理的应用..... (127)

〈练习〉

三、动能定理，作功问题..... (134)

1、动能定理 (134)

2、作功问题 (138)

四、机械能守恒 (142)

1、概述 (142)

2、机械能守恒定理的应用..... (146)

五、碰撞..... (156)

1、概述..... (156)

2、碰撞问题..... (158)

第四章：刚体力学	(181)
一、基本概念.....	(182)
二、基本定律.....	(185)
三、刚体力学解题的一般方法.....	(191)
〈 练 习 〉	
第五章：振动与波	(223)
一、概述	(223)
二、基本概念	(224)
〈 思考题 〉	
三、解题指导	(231)
〈 练 习 〉	
第六章：流体力学	(262)
一、概述	(262)
二、基本概念	(263)
三、重要定律	(264)
〈 练 习 〉	

第一章 质点运动学

一、概 述

自然界的一切物质皆处于运动状态。不动的物体是找不到的。这就是我们通常所说的“运动的绝对性”。物理学的任务就是研究各种物质在不同条件下的运动规律，掌握这些规律，我们就有可能利用和控制这些规律为人类造福。所以研究运动规律也是一件很重要的事情。

由于物质运动形式的多样性。因而物理中的学科比任何一门学科的分支都要多。诸如：研究分子运动，有“分子物理学”，研究电磁波运动，有“电动力学”“电波传播”，研究光子运动规律，有“光学”，等等。近几年来，随着科学、技术发展的需要，还出现了许多边缘学科、如专门研究爆炸现象的，有“冲击波物理”“爆炸物理”，专门研究物体表面现象的，出现了“表面物理”这样的新学科。还有人将通讯理论，信息论应用到光学中，这样就出现了所谓“近代光学”“Fourier光学”“图象处理”等各种新学科。现在已进入了信息时代，其特点之一是信息已指数向上增长，出现了所谓的“信息爆炸”。这其中，物理方面的知识是占首位的，所以物理学最近十几年来发展得很快。

我们这里现在仅去研究那些与物体位置变化有关的各种运动现象，即所谓的机械运动，这就是我们力学研究的内容。这一部份内容显然比较古老、经典，但从它在物理学所占的地位来说，是比较重要的。因为它的应用相当广泛，任

何尖端研究中，都离不开力学。

力学也有很多分支。但从运动的角度，大体上可将它分为“运动学”和“动力学”二部份。所谓运动学，主要是讨论有关物体运动的一些规律性问题，如讨论一个自由落体，它的位置、速度、加速度和时间是怎样的函数关系。为了区分物体是质点，还是刚体，所以我们特意在运动学前加上了“质点”二字。有关质点和刚体的概念，我们以后要专门研究。

动力学，主要是讨论和研究物体运动状态发生变化的原因，即研究物体是运动和受力之间关系的。

我们可以从整个力学学习中发现，力学的基础就是牛顿三大定律，尽管在不同力学中，这三大定律的表述形式（主要指数学表述形式）不同，但它们解决问题的方法，研究物体运动的基本规律，全是以牛顿定律为核心。在我们研究质点运动是这样，刚体运动是这样，流体力学也是这样。因而可以说，牛顿定律，奠定了整个力学的理论基础，所以我们在学习力学中，也紧紧抓住牛顿运动定律这一纲，并能灵活、准确地运用它，就显得特别重要。

牛顿运动定律共有三个，它们不是孤立的，而是相互联系，互为补充的。这里，要特别强调牛顿第二定律，虽然它的公式很简单，但它的意义很深刻。它可以将物理上许多重要量用一个简单公式联系在一起，它所涉及到的领域很广泛，如动量、冲量、动能……甚至分析物体受力，也要用到牛顿第二定律方能最后解决受力方向问题。所以牛顿第二定律，可称得上力学中核心的核心了。

在本章中我们，首先要讨论一些为了描述物体运动而引入的物理概念，诸如“坐标系”“质点”“位移”一类问题。

对这些概念的掌握和理解，直接影响到后面有关速度，加速度等问题。实际上，不少人在运动学上之所以常常出现不少错误，有时是和掌握这些基本概念有关的。我们这里是采取“精讲”和“出思考题的办法，让同学们在不同的说法中，辨别出正确的答案，从而加深对这些基本概念的理解。

在如何描述物体运动上，我们这里列举了三种基本方法，并作了比较。这里面，我们特别强调采用“运动方程”方法来处理运动学的有关问题，因为运动学的问题，绝大部分可由物体的运动方程得到，根据物体运动情况，建立运动方程，再根据初始条件，把方程解出，这就是求解运动学问题的一般规律。我们通过实际例子可以看到，掌握运动方程法，要比其它方法要简单得多。为使同学们掌握这一方法，我们列举了较多例题。

对速度和平均速度的计算，也是运动学常见到的一种问题类型。由于一般人认为它简单，所以往往容易忽略这些计算。实际上，不少人往往在简单的问题上容易出错。物理上有不少这样似是而非的所谓简单问题，当你稍一马虎，或者你还没有真正把知识学透的时候，就会造成错误。速度和平均速度就是一例。这里想通过速度、速率等基本概念的比较，使同学们对直线运动和曲线运动的特点，有一较深刻的认识。

最后，我们利用了物理学惯用的“正交分解法”，把上抛、斜抛、平抛等一切抛体运动，按垂直和水平二个方向进行了速度分解，然后建立了运动方程，进行了统一的处理。这样就使抛体问题变得容易掌握了。

当然，用运动方程来求解质点运动的速度，并不是唯一的方法。后面我们将看到，利用机械能守恒定律，我们也可

以求出抛体在任一点的速度。这个方法有时要比运动方程的方法还要简单，有关这样一类问题，我们还要在第三章中的机械能守恒一节进一步研究，这里就不再复述。

一、坐标系的选择

1、坐标系可以任意选择吗？

要想搞清这个问题，首先我们要搞清楚什么是“参考系”，什么又是“坐标系”。

前面已谈到运动是物质存在的基本形式，物质运动具有其绝对性，不动的物体是不存在的。但是我们要定量的描述物体运动，如果把物体都看成动的，这就增加了问题的复杂性。我们为了使问题简化，完全有理由假定某一个物体不动，而另一个物体是相对这个不动物体而运动，这样我们就引出了运动的‘相对性’的概念，即物体运动既有它的绝对性一面，又有其相对性一面，这是矛盾的二个方面，是对立的统一。在物理上，我们把那个固定不动的物体就称为“参照物”。由此可见，“参照物”这一概念的引入，纯属是为了描述物体运动而引入的，因而参照物可以任意选定。如火车运动，我们可以选地面为参照物，但也可选一个在公路上跑着的汽车作参照物。为了定量的描述物体运动，仅仅有一个参照物还是不够的，还必须在此参照上面建立起一个坐标系，然后运动物体在此坐标系内的运动就可以定量的描述了。如上所述，既然参照系可以任选，当然坐标系因为是选在参照系之上，那么当然也可以任选。但是，这里有下面几个问题要特别注意：

1)、参照系的运动状态必须已知

通常，我们是把地面选为参照系，由于它是不动的，因

而在此参照系中描述一个物体运动就显得非常清楚和方便。但是，这不是唯一的方法，如刚才我们所说的汽车，如果我们知道它是和火车同向行驶，且速度为80公里/小时，那么如果我们选汽车为参照系，火车的速度为20公里/小时，那么就可以算出，火车对地面的速度是100公里/小时。这和一开始就选地面为参照系的结果是一样的。在有些问题中，选这种运动物体为参照系，即所谓动坐标问题，比选静坐标还要方便一些，如流体力学中，可以选欧拉坐标（静坐标），但更多的是采用拉格朗日坐标，即动坐标，把坐标系建立在运动的粒子上面，这样粒子的运动方程就显得更加简单。但这里有一个前提，即参照系的运动情况是已知的。就象那个汽车，如果运动速度的大小和方向都不知道，我们只说火车相对汽车的速度大小，那就无法确定火车运动速度的大小。通过这个例子，我们可以看到坐标系的任意选择，也是带有条件的。搞清楚了这个条件，我们就可以回答：“几何点可以作为坐标系的原点吗”、“质点可以作为坐标系原点吗？”一类问题。我们知道，数学上的“点”，或称为“几何点”的物理上的“质点”的概念不同。它们虽然都是一个没有大小的一个点，但物理上的点是物体的抽象，它具有一定的质量。如我们研究地球相对于太阳运动，由于地球到太阳的距离比起地球本身的线度来说要大得多，所以此时我们可以把地球看为具有一定质量的点，即物理学所说的“质点”。由于它是对其实际物体的抽象，所以质点本身的运动情况是可知的，如前面所说的汽车，我们也可以把它视为一个质点，这样坐标系也可以建立在质点上面。但是几何点就不同了，由于它不代表哪一个物体，几何点的运动是不可知的，因而坐标系不能选在几何点上。

2、参照系要当成一个整体

参照二字本身就说明它是一个物体相对另一物体而言。一个物体构成不了参照系。

为了深刻理解参照系的整体概念，我们不妨先看看下面一个简单例子。

一个物体质量是 m ，沿着地面作匀速直线运动，若物体与地面的摩擦系数为 μ ，求当物体走了路程 S 后，物体克服阻力所作的功。

这是一个初中学生就会作的一道习题。有人可能认为太简单了。实际上，人们往往是对简单问题没有很好理解，对简单问题，往往又会搞错。

解做功问题之前，实际上是先要选择参照系，如前所述，只要参照系的运动状态已知，我们可以任选，我们先来选择地面为参照系，由功的定义： $W = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

S 为位移，这里相对地面的位移就是路程 S

F 可认为就是摩擦力。 $F = \mu \cdot mg$ W 为功

$$\therefore W = \mu mg \cdot S$$

如果我们选取物体本身为参考系，此时不论该物体的运动速度是多大。 位移 $S = 0$ ， $\therefore W = F \cdot S = 0$

我们从物体做功效果来看，由于摩擦生热，我们可以说，由于物体克服阻力做功，一部份能量转化为热能，对选地面作参考系来说，功能转换，这一点很好理解，对第二种选择坐标系方法，即坐标系选在运动物体上的情形，由于位移为零，算出的功也为零，但是不管坐标系选在何处，摩擦生热是客观存在，问题是热量是从何转化来的？物体既然不作功，为什么还会产生出热量？是否能量守恒在这里不成立了？

我们说，能量守恒是物理中的一条最基本、最重要的一个规律，它是久经考验的规律，甚至可以说是一个“永恒的真理”。对能量守恒不容怀疑，怀疑它只能说明你自己是错误的。那么问题究竟出在哪里？问题是否出在坐标系的选择和物体有关的问题上？如果有关，那么前面讲的坐标系可以任选又如何解释？

原来，我们平常对一些简单现象，往往存在着一些不正确的偏见。如物体和地面，虽然参照系可能选在地面、也可能选在物体上，但不管选在何处，二者都构成了一个“系统”，而这个系统和选哪一个参照物是无关的，我们所说的能量守恒以及后面要讨论的动量守恒，都是针对某一系统而言，而绝不是对哪一个物体的。我们运用系统的观点，看看摩擦力做功问题，能量是否守恒？

将坐标选在地面上时，按上作法，能量是守恒的。物体克服阻力作的功，一部份产生了热能，问题是选取动作标时，此时确因 $S = 0$ ， $\Rightarrow W = 0$ ，但此时不要忘了物体和地面是一个整体，对此系统而言，虽然物体的位移为 0，但地面相对该物体却移动了 $-S$ 的距离，且摩擦力，既然称为力，它就是相互作用的。地面给物体一个摩擦力，但因它的位移为 0，而没起作用。物体给地面一个摩擦力，方向和物体所受的摩擦力相反，由于地面又有位移，因此地面作的功就为：
$$W = \mu mg(-S) = -\mu mgs$$

若不考虑位移的方向，则二者作的功在数值上完全相等即 $W = \mu mgs$ ，所以在该系统中，能量仍然是守恒的。它和坐标选择无关。

通过以上例题，我们可以建立“系统”的概念，这正是一般人常常忽略的地方。

2、怎样选择坐标系，才能使运算简单？

既然坐标系的选择具有任意性，那么究竟应该怎样选取坐标系呢？

我们在实际作题中都可能有这样的体会：即坐标选择的比较合理，可以使方程简单、解题简化。坐标选的不好，方程形式就比较复杂，解起来也比较困难。当然，最终结果还是一样的。

坐标的选择，是一个灵活性较大的经验问题。一般说来，要看问题性质，方程的性质，边条件。对于我们遇到的大量力学问题，一般都比较简单，坐标系的选择也相对简单一些。我们经常采用的坐标系是直角坐标系，即XYZ坐标，通常只是X—Y坐标，或一个X坐标二种，即是一个二维或一维的问题。显然为了使方程简单，要使X轴或Y轴和某一个力的方向一致，或和某一斜面的特定方向一致，一般说来，若使力与所有坐标方向都一致是不可能的，此时只要有几个力一致，就可以使问题简化，这里应用正交分解，选择直角坐标较好。

对稍复杂的运动，如曲线运动，选极坐标 r, θ 就比直角坐标系方便。

至于一些物理上的特定问题，坐标系也可相应灵活改变。如研究X光与晶体的相互作用，如果X光是斜入射，则选择“斜坐标”较为方便，（即 $\angle XOY$ 不为 90° ），此时方程的初始条件就好写，因X光入射和衍射方向全和坐标轴一致。

在量子力学中，如解薛定谔方程，我们可以选取双曲线坐标来进行计算。这比其它坐标就显得简单，我们现在不去研

究这些数学技巧问题，而是关心力学中一些坐标方向的取法问题，请看下面的例子。

质量为 m 的木块放在光滑的三角形斜面上，若地面与斜面没有摩擦，问滑块以多大加速度 a 作水平运动时，木块相对于滑块相对静止？

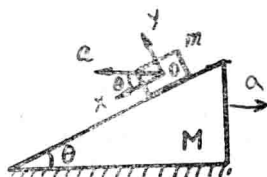


图 1—1

〔解法 1〕、先进行受力分析。

若下面的大三角形滑块质量为 M ，则上面的木块受到二个力的作用，一是重力，二是大滑块对它的支持力，若在斜面上小的

木块的重心 O 处建立起直角坐标系 XOY ，（方向如图）

则牛顿第二定律可表述如下：

$$mg \cdot \sin\theta = ma \cos\theta \dots\dots\dots 1)$$

$$N - mg \cos\theta = ma \sin\theta \dots\dots\dots 2)$$

若不计算支持力时，方程 2) 可以不列出。

由 1) 式可得 $a = g \cdot \tan\theta$

这里，经常犯的错误有：

有人将下滑加速度 $g \cdot \sin\theta$ 再向 a 方向投影，则得：

$$a = g \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta$$

由于 a 不是 $g \cdot \sin\theta$ 的分量，故这样算的结果是错误的。

还有人将 g 向 X 、 Y 轴分别投影、得：

$$g_x = g \cdot \sin\theta \quad g_y = g \cos\theta = a_y$$

再将 g_x 向 a 投影，得 $a_x = g \sin\theta \cos\theta$

$$\therefore a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(g \cos\theta)^2 + (g \sin\theta \cos\theta)^2} \\ = g \cos\theta \sqrt{1 + \sin^2\theta}$$

问题出在 $g \sin\theta$ ， $g \cos\theta$ 不是 a 在 X 、 Y 轴的二个分量，

〔解法 2〕、选水平方向为X轴，（如图所示）。

此时方程的形式为：

$$N \cdot \sin \theta = ma \cdots \cdots 1)$$

$$N \cdot \cos \theta - mg = 0 \cdots \cdots 1)$$



图 1—2

由 2) : $N = \frac{mg}{\cos \theta}$ (注意此时正压力

不等于 $N \cos \theta$)

代入 1) 得 $a = \frac{N \cdot \sin \theta}{m} = \frac{g \cdot \sin \theta}{\cos \theta} = g \tan \theta$

与方法 1) 得到的结果相同

显然方法 2) 要比方法 1) 简单，主要是在方法 2) 中，X轴的方向和小木块和大滑块水平加速度的方向一致了。坐标轴的方向与加速度的方向（或力的方向）重合的愈多，方程的形式就愈简单。

注意，此题是问的小木块下滑时，要想使小木块下面大滑块保持静止，要给大滑块多大水平加速度，即要给大滑块多大的力，如果不给力，它们永远也不能相对静止，所以不要误解小滑时会自然保持静止。

三、路程和位移

1、路程和位移有何差别？

路程和位移的概念是运动学中的重要概念。如果它们差别搞不清楚，后面的速度和速率的概念，平均速度的概念都要受到影响，因此许多书上都要专门讲路程和位移的差别问题。

回忆我们在初中学直线运动时，路程和位移是不加区分