

中学物理教学参考书

力学

冯 麟 保

河北人民出版社

中学物理教学参考书

力 学

冯 麟 保

河 北 人 民 出 版 社

一九八二年·石家庄

中学物理教学参考书

力 学

冯 麟 保

河北人民出版社出版 (石家庄市北马路19号)

河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

787×1092毫米 1/32 19 3/4印张 418,000字 印数: 1—7,650 1982年6月第1版
1982年6月第1次印刷 统一书号: 7086·1066 定价: 1.45 元

内 容 提 要

本书是专为中学物理教师编写的教学参考书，也可供中学物理教师自修用，还可供大学一年级普通物理课教学参考，或选作函授、培训教材。

全书共七章，内容包括静力学、运动学、动力学、功和能、万有引力、流体力学及振动和波。

编 者 的 话

本书是为中学物理教师编写的教学参考书的《力学》部分。全书共七章，内容包括静力学、运动学、动力学、功和能、万有引力、流体力学及振动和波，论述了中学物理和大学普通物理中有关力学范畴的全部内容（仅未涉及必须使用微积分计算的部分和中学所没有的刚体力学）。

本书系在原河北师范大学物理系编写的高中物理教学参考资料《力学》一书的基础上加以全面改编修订而成的。当时参加该书编写的人有：冯麟保（一至六章）、马瑞芝（第七章）；全面审阅过手稿的有：张令孔、马瑞芝。定稿前参加过讨论的有：陈烈佐、孙开猷、刘广敏、王书俭等人；参与制图的有：王吉光、袁世明、余祖誉、王天元、田泽民等人。

这次修订，改写了将近三分之一的内容（第五章和第六章有较大的更动，第七章全章都是重新编写的），并对全书作了必要的增删订正，使论述较前更为准确清晰。此外，为了适应读者需要，还增添了百分之七十左右的例题和习题。本书的部分誊写和制图工作是由袁世明、赵建平和李燕担任的。

由于笔者水平不高，修订编写的时间又很仓促，因此缺点和错误一定很多，敬希广大教师和读者多加批评指正。

编 者

一九七九年于河北师大

目 录

第一章 静力学	(1)
第一节 物体的相互作用.....	(1)
一、力的概念.....	(1)
二、力的量度、力的特征及其图示.....	(3)
三、作用力和反作用力.....	(7)
四、弹力.....	(8)
第二节 力的合成和分解.....	(15)
一、共点力的合成.....	(15)
二、共点力的分解.....	(26)
三、力的正交分解法及力的合成.....	(35)
四、力矩及其矢量表示.....	(42)
五、平行力的合成 重心 力偶.....	(47)
第三节 物体的平衡.....	(59)
一、力的平衡.....	(59)
二、摩擦力.....	(70)
三、力矩的平衡 共面力的平衡.....	(76)
四、起重机械.....	(87)
五、桁架.....	(94)
习题.....	(105)
第二章 运动学	(125)
第一节 机械运动.....	(126)

一、相对运动和参照体·····	(126)
二、质点和刚体·····	(127)
三、平动和转动·····	(130)
四、位移矢量 运动的独立定律·····	(132)
第二节 直线运动·····	(135)
一、匀速直线运动·····	(135)
二、变速直线运动·····	(140)
三、匀变速直线运动·····	(155)
四、自由落体运动和竖直上抛运动·····	(164)
五、相对速度·····	(171)
第三节 曲线运动·····	(176)
一、运动的合成·····	(176)
二、斜抛物体运动·····	(181)
三、圆周运动·····	(194)
习题·····	(208)
第三章 动力学 ·····	(217)
第一节 牛顿运动三定律·····	(218)
一、牛顿第一运动定律·····	(218)
二、牛顿第二运动定律·····	(221)
三、力和质量的单位 力学单位制·····	(228)
四、重量和质量·····	(232)
五、牛顿第三运动定律·····	(236)
第二节 运动定律的应用·····	(239)
一、运动定律应用的举例·····	(239)
二、向心力和离心力·····	(262)
三、动态平衡 惯性力法·····	(271)

第三节 动量和动量矩	(280)
一、动量 力的冲量	(280)
二、动量守恒定律	(287)
三、反冲运动 火箭	(292)
四、动量矩守恒定律	(299)
习题	(307)
第四章 功和能	(321)
第一节 功和功率	(322)
一、功	(322)
二、功率	(334)
第二节 动能和势能	(338)
一、能量和机械能	(338)
二、功能定理 动能	(340)
三、重力势能和弹性势能	(347)
第三节 能量转化和守恒定律	(363)
一、机械能的转化和守恒定律	(363)
二、能量的转化和守恒定律	(370)
三、碰撞问题	(376)
习题	(394)
第五章 万有引力和人造卫星	(405)
第一节 万有引力	(406)
一、开普勒行星运动定律	(406)
二、万有引力定律	(411)
三、重力加速度随高度和纬度的变化	(419)
四、引力势能	(425)
第二节 人造卫星	(433)

一、三种宇宙速度	(433)
二、人造卫星的发射和运行	(441)
三、人造天体的运行轨道	(446)
习题	(459)
第六章 流体力学	(465)
第一节 流体的平衡	(466)
一、流体的压强及压强的传递	(466)
二、浮力和浮体的稳度	(480)
三、大气压强	(487)
第二节 流体的运动	(492)
一、稳恒流动 流体的连续原理	(492)
二、伯努利方程及其应用	(495)
三、机翼的升力	(506)
四、离心泵	(511)
习题	(523)
第七章 振动和波	(531)
第一节 简谐振动	(532)
一、简谐振动的位移、速度和加速度	(532)
二、弹簧振子	(539)
三、单摆及其他振动现象	(547)
第二节 振动的合成和分解	(552)
一、同方向同频率简谐振动的合成	(553)
二、同方向不同频率简谐振动的合成 拍	(556)
三、谐振分析	(559)
四、互相垂直的简谐振动的合成 利萨如图形	(562)
第三节 阻尼振动和受迫振动 共振	(571)

一、阻尼振动	(571)
二、受迫振动 共振	(575)
第四节 行波	(582)
一、横波与纵波	(582)
二、简谐波及其波长	(585)
三、波在媒质中的传播速度	(589)
第五节 驻波	(593)
一、叠加原理 波的干涉	(593)
二、驻波	(594)
三、简正模式	(599)
第六节 波的能量	(601)
一、行波的能量	(601)
二、波的强度和波的吸收	(604)
三、驻波的能量	(607)
习题	(610)

第一章 静 力 学

自然界的所有物质都在不断地进行着各种形式的运动，其中最简单而又最基本的运动是物体位置的变化，叫做机械运动，简称运动。力学的研究对象就是机械运动的客观规律及其应用。

力学是一门相当古老的物理学科。但是力学的基本概念和理论，不仅是其他物理学科借以引申和发展的依据和出发点，而且也是一切自然科学和工程技术的极其重要的理论基础；因此，力学知识的学习、掌握和运用，在今天仍然有着重大的现实意义。

对于物体运动规律的研究，首先要涉及到物体在空间的位置变化和时间的关系，继而阐述物体运动状态变化和力之间的关系，然后从运动和力出发，推广并建成完整的力学理论。我们由讨论物体平衡的静力学开始，着重阐述力的概念及与力有关的运算（包括力的合成和分解，以及力的平衡和力矩的平衡等），为深入掌握运动规律打好必要的基础。

第一节 物体的相互作用

一、力的概念

我们用手推动车辆或抛掷物体，都要用力；并逐渐意识到

是力在改变物体的运动状态。人们最初就是从日常生产活动中的推、拉、抛、举一类动作所引起的肌肉感觉来认识力的。然而，这些肌肉作用所产生的效果，同样可以通过其他方式实现。例如，把手上托着重物放到桌子上，这时桌面就代替了手承受着重物所施予的压力；我们设想，这一定是桌面和手一样，有力作用在这个重物上，才使它免于落向地面。在今天，随着近代的巨大生产力的发展，人们已经逐步摆脱了繁重的体力劳动，直接的筋肉动作只是用来控制和管理那些更为巨大的力源。例如，机动车取代了手推车，起重机能够提升成吨的器件，自地面腾空而起的宇宙火箭的重量就高达好几百吨。所有这些发明创造，都是广大人民辛勤劳动的成果。把力的概念从与肌肉感觉相联系推广到物体之间的作用，是认识的进一步深化。我们说力就是一个物体对另一个物体的作用。

力作用的结果，一般是使物体的运动状态发生变化；但也有可能只使物体的形状改变并引起内应力。我们说不受力作用的物体处于平衡状态；所谓平衡就是指物体的运动状态保持不变，这时物体依本身的惯性而运动。具体地说，平衡指的是物体的静止和物体的匀速直线运动，此外还包括物体的匀速转动。

事实上，在我们周围的物质世界里，物质客体之间总是互相联系、互相制约、互相依存、以至互相转化的，所以完全不受其他物体作用的孤立的物体是不存在的。然而，同时受到几个力作用的物体，只要这几个力使物体运动状态发生变化的作用（或趋势）恰好互相抵消，就有可能暂时保持平衡。因此，前面所说的“不受力作用的物体”还应推广到包

括“物体所受之力的作用互相抵消”的情形在内；只有这样，才概括得更全面，也与客观实际更相符合。一旦条件变了，平衡也就随之破坏，而物体的运动状态必将发生变化。

在这一章，有关平衡问题的讨论，如果不另外声明，就都指的是相对于地球为静止不动的物体的平衡。因为有了这方面的基本知识，就不难推广到物体处于其他运动状态（例如匀速直线运动等）的平衡问题。

力学最初就是从研究建筑（例如房屋、桥梁等）构件的平衡问题开始而逐步发展起来的。作为力学的一个分支，静力学专门研究物体的受力情况以及力的平衡规律。

二、力的量度、力的特征及其图示

为了量度力的大小，必须选定一个标准大小的力作为单位力，用来同其他的力进行比较。根据国际规定，取铂铱合金制的圆柱体原器在纬度45°的海平面处*的重量作为力的单位，叫做1千克（也称公斤）。这个法定原器最初是按照1升4℃（76厘米水银柱高的气压）的纯水制成的；稍后，更精确的测量表明：原器较1升水重了0.0027%。也就是说，

1升水的重量实际只有原器重量的99.9973%，即0.999973千克。但是标准不能随意更动，于是大家同意仍然规定原器的重量为1千克，并以千克原器作为法定标准。此外，还规定了一些辅助单位：吨、克、毫克等，它们的关系是：

$$1 \text{ 吨} = 1000 \text{ 千克},$$

$$1 \text{ 千克} = 1000 \text{ 克},$$

* 这两种规定是不可少的，因为物体的重量在不同高度和不同纬度处是不一样的。详见第五章第一节万有引力（三）。

1 克 = 1000 毫克。

我国现行的衡量单位（市）斤与千克的换算关系是：

1 千克 = 2（市）斤。

测量力的大小的仪器叫做测力计，最常用的是弹簧测力计（图 1-1）。生活和生产的实践表明，物体在力的作用下

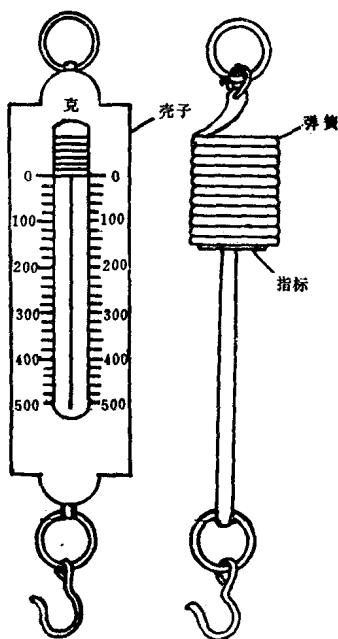


图 1-1

都会发生形状或体积的变化，我们把这种变化叫做形变。弹簧测力计（以后简称弹簧秤）是利用了力能使物体发生形变、和力与此形变间存在一定关系这一基本事实而制做的。它是由一端附有指针的螺旋弹簧为主体构成的，指针可以沿标尺自由移动；作用在弹簧秤一端的力，将使弹簧的长度改变。通过把以千克原器为标准制出的重量不同的砝码依次加于秤端，按照所引起的伸长定出标尺的刻度，就可以用来直接量度或比较力的大小。

人们从生产实践中认识到，一个物体在大小不同的力的作用下所得到的结果是不同的。例如推一辆车，没有足够大的力就推不动；而且用力越大，车就起动得越快。只说出作用在物体上的力的大小是不充分的；很明显，用同样大小的力推车向东或拉车向

西，走的是平道还是在爬斜坡，效果是不相同的。因此，还必须指明力的方向，即力的方位和指向。力的大小和方向一定了，但加到物体的不同部位上，所产生的效果往往是并不相同的。例如想放倒原是竖立着的油桶，就应当用力推桶的上半部，越高越好；要是把力加在桶的下半部，那么结果只是使桶向前挪移而不翻倒。所以要说明一个力，还必须指出这个力的作用点。总起来说，只有把一个力的大小、方向和作用点这三个特征一一指明，这个力才算完全确定了。力的这三个特征也叫做力的三要素。作用点与方位还可以用一条直线来表示，这条直线叫做力的作用线。

如果在所考虑的具体问题中，某一个力可以看成作用于物体的某一点上，那么这个点就是力的作用点；这样的力叫做集中力。实际上，不论什么力都不可能集中作用于一点，而是分布于相当的面积上或体积内，也就是说力都是分布力。分布作用于面积上的力，如直接接触的物体间因形变而产生的弹力或阻碍物体运动及运动发生的摩擦力等，叫做表面力。分布作用于一体积内的力，如物体间相互吸引的万有引力或地球吸引物体的重力等，叫做彻体力。如果表面力所作用的面积比起物体的全表面来小得很多，则为了简化计算，可以把这个力看成集中作用于物体的一点。物体所受的重力一般假定为集中作用于物体的重心处。

我们可以用一条带箭头的线段来表示力，这种方法叫做力的图示法。这就是从力的作用点起，沿力的作用线方位画一条线段，选用适当的长度表示力的大小，然后在线段末端

• 详见本章第二节（五）

画一个箭头，表示力的指向，于是这个带箭头的线段就把力的三个特征都表示出来了。举例来说，我们用绞盘把磨床从地面沿斜板（磨床下边垫有滚杠）拉到卡车上（图1-2甲），这时如果磨床受到钢绳的拉

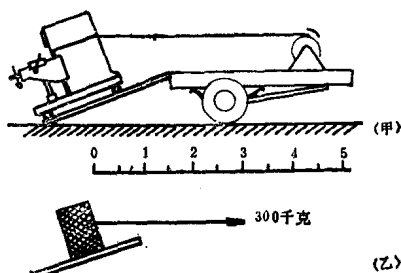


图 1-2

力的大小是 300 千克，我们就可以用如图 1-2（乙）所示的力图来表示。再例如，压路机沿山路的坡道推动巨大的圆木料（图 1-3 甲），如果圆木料所受压路机前挡板的推力的大小是 200 千克，则可用如图 1-3（乙）所示的力图来表示；但有时为了便于对物体的受力情况进行分析，常把表示推力（或压力）的箭头画在力的作用点处，如图 1-3（丙）所示。

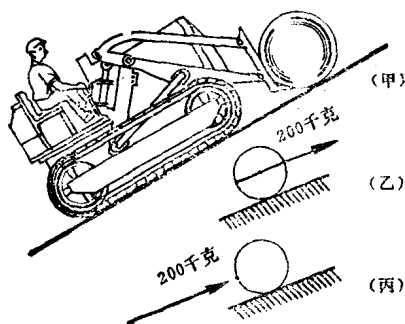


图 1-3

注意，所有其他作用在磨床（或圆木）上的重力、板面（或地面）对它的支承力以及摩擦力等等，在图中都没有画出。以后凡遇到只限于分析某一、两个力的合成和分解（包括力本身的图示）时，其余与要讨论的问题无关的力，一般也不一定画出。

三、作用力和反作用力

我们知道，作用在物体上的力，都是来自其他物体的，因此，这个力只是两个物体间的相互作用的一个方面。对大量现象的观察表明，物体间的作用是相互的；也就是说，力总是成对出现的；我们把其中一个力叫做作用力，把另一个力叫做反作用力。所以，我们把力的定义引申为物体之间的相互作用，就更能完整地反映出物体间客观存在的这一联系。

相互作用着的两个物体，互相以力作用于对方；这一对力一点也不表示因果关系，所以把其中随便哪一个力叫做作用力，哪一个力叫做反作用力，是无关紧要的。它们以对方为自己存在的前提，总是同时产生，同时消失；因此它们是互相对立，互相联系和互相依赖的。

大量事实证明：两个物体间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，且沿同一直线。这个规律叫做作用反作用定律，用公式表示时可以写作：

$$F_1 = -F_2, \quad (1-1)$$

式中的负号表示力 F_1 和 F_2 的方向相反。

必须注意，作用力和反作用力是作用在不同的物体上的；因此尽管它们总是等值反向，但对它们绝谈不上什么相互平衡的问题。例如，被吊起重物对起重机上的钢绳有一个向下的拉力，这时钢绳对重物也有一个向上的拉力；弹簧秤下端悬挂的砝码向下拉长弹簧的同时，弹簧也给砝码一个向上的反作用力；空气锤锻打放在大铁砧上面的工件时，锤以力作用在工件上，工件也沿相反方向以力作用在锤上。钉