

中学物理小丛书

ZHONGXUE

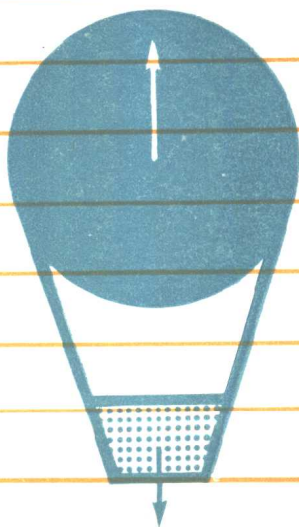
WULI

XIAOCONGSHU

动力学

李安椿 编

中国
青年
出版
社



动 力 学

李安椿 编

中国青年出版社

内 容 提 要

本书是《中学物理小丛书》中的第三册，内容包括：运动和力、力学单位制和牛顿运动定律的应用。根据中学物理大纲要求，围绕课堂内容，以典型示例叙述有关动力学的基本知识。全书以通俗笔法，深入浅出地解释有关动力学的基本概念。能帮助读者巩固课堂知识，并且加深对动力学基础知识 的正确理解，适当地开阔眼界，扩展深度和广度。适合中学生和自学青年阅读，也是中学物理教师的教学参考资料。

封面设计：王 跃 忠

动 力 学

李 安 椿 编

*

中国青年出版社出版

中国青年出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092 1/32 2.5印张 40千字

1984年6月北京第1版 1984年6月北京第1次印刷

印数1—30,000册 定价0.26元

前 言

物理学是中学一门重要的课程。为了帮助中学同学和同等程度的自学青年学好这门功课，我们计划编写一套《中学物理小丛书》。目的是想帮助读者在课堂学习的基础上继续自学，比较有系统地复习、巩固物理学知识，加深对物理学基础知识的正确理解，并且适当地开阔眼界，扩展深度和广度。

中国青年出版社支持我们的计划，并和我们反复讨论了具体的编写方案。

为了编好这套丛书，由王惠和同志负责联系和召集，我们成立了《中学物理小丛书》编写组。编写组的成员是：朱福源、李安椿、王惠和、钟振炯、柳云蛟、瞿东、陈岳、马国昌、陈晋，共九人。

小丛书根据教学大纲共分十五册。朱福源、柳云蛟、王惠和三位同志任主编，负责草拟编写提纲和全面审阅各册手稿。各册虽是分工执笔，但是在整个编写过程中全组同志相互反复磋商、提供有益意见或协助校阅、誊抄等等工作，各册字里行间都倾注了同志们的汗水、辛劳。

编写组的同志都是从事中学物理教学多年的教师，懂得课外读物对学生的重要作用，力求把小丛书编好，写得更加通俗一些、生动活泼一些、启发性更强一些，符合读者的实际需

要。但是,在着手编写的过程中,我们深感水平有限,书中不足之处在所难免。编写组全体同志恳切希望广大读者提出批评和指正。

中学物理小丛书总目

- | | |
|-------|--------------|
| 第 一 册 | 静力学 |
| 第 二 册 | 运动学 |
| 第 三 册 | 动力学 |
| 第 四 册 | 圆周运动和万有引力 |
| 第 五 册 | 功和能 |
| 第 六 册 | 动量 |
| 第 七 册 | 振动和波 |
| 第 八 册 | 气态方程和热力学第一定律 |
| 第 九 册 | 静电学 |
| 第 十 册 | 直流电 |
| 第十一册 | 磁场 |
| 第十二册 | 电磁感应和交流电 |
| 第十三册 | 电磁振荡和电磁波 |
| 第十四册 | 光学基础 |
| 第十五册 | 原子物理基础 |

目 次

一 运动和力..... 1

研究物体运动和受力关系的科学(1) 力学史上的谬误(3) 力不是维持运动的原因,而是改变运动状态的原因(4) 牛顿的第一运动定律和惯性的利弊(6) 加速度和力有什么样的关系?(8) 合外力相同,物体质量不同,产生不同的加速度(10) 惯性质量跟引力质量的区别和联系(11) 第二运动定律总结了决定物体加速度的内外因素(13) 力的矢量性、独立性和瞬时性(17) 牛顿第二运动定律的正交分解法是动力学解题的常用方法(19) 牛顿第三运动定律为正确分析物体受力情况提供了依据(21)

二 力学单位制.....23

物理量的统一单位制(23) 国际单位制正在逐步取代别的单位制(24) 质量和重量是两个不同含义的物理量(27) 物理量和基本量的联系(30)

三 牛顿运动定律的应用.....33

动力学问题的分类、解题的一般步骤和方法(33) 受约束沿水平方向运动的物体(36) 受约束沿竖直方向运动的物体(39) 沿着斜面方向运动的物体(43) 连接体和它的动力学的特点(47) 沿着水平方向运动的连接体(48) 沿着竖直方向运动的连接体(51) 沿斜面方向运动的连接体(53) 具有不同方向运动的连接体(55) 关联运动的物体具有大小不同的加速度(59) 牛顿力学的适用范围(68)

一 运 动 和 力

研究物体运动和受力关系的科学

在这套丛书的第二册《运动学》一书里，我们用位移、速度和加速度等物理量描述了物体的一些运动规律，但是没有涉及形成这些运动的原因。就象俗话所说的：“知其然，而不知其所以然，”这是不够的，因此，称不上是一门完善的科学。

这一册叫《动力学》，要讨论的正是物体的机械运动的“所以然”。因此，它是力学中必不可少的一部分。掌握了动力学，不仅能够解释机械运动的各种现象，而且能进一步去把握和控制各种机械运动。譬如，为了细致地观测预计将在 1985 年 10 月到 1986 年 3 月临近我们地球的那颗著名的“哈雷彗星”，和观测比“哈雷彗星”迟到一年的“坦佩尔 2 号彗星”，人类计划发射一艘宇宙飞船，让它先后运动到这两颗彗星近旁，以便对它们作深入的实地观测去揭开彗星之谜。这样就必须为飞船的发射选择恰当的时间，设计一条理想的、并且可以说是“一箭双雕”的运动轨道。要想准确无误、不失时机地完成这项发射，就得精确地计算地球和彗星的相对位置，同时算出飞船的质量、运载火箭的推力、各级火箭工作的时间、飞船所受到的地球引力、空气阻力等各方面的因素，这就必须掌握好

运动和力的相互关系的动力学,才能有效地控制飞船,达到预期的目的。也就是说,物体的质量和它的受力情况对物体的运动有直接的关系,而这种关系正是动力学所要探讨的主要内容。

当然,中学阶段的学习只要求掌握一些规律比较简单的机械运动,比如匀速直线运动、匀变速直线运动、抛体运动、匀速圆周运动和简谐振动等。应该指出的是,各种复杂的运动都是由一些简单的运动组合而成的。比如,在地面上滚动着的车轮上任意一点,它的运动轨迹是一条摆线,它是由随车身的直线运动和绕轮轴的圆周运动组合而成的。因此,只要牢固地掌握住各种基本运动的规律,以后再进一步研究比较复杂的运动,那就不是十分困难的事了。

我们学过的静力学,研究的是物体处于平衡状态下的情况,现在学习的动力学主要研究物体在非平衡力作用下的运动状态和力的关系。

被研究的对象可以作为质点处理的动力学,叫做质点动力学。这种动力学无需去考虑物体的转动,只讨论它的平动就可以了。此外,把被研究的对象作为刚体处理的动力学,叫做刚体动力学。这种动力学不仅要考虑它的平动,还要注意到发生转动的可能情形。

不论是质点动力学还是刚体动力学,我们所研究的都属于经典力学的范围,它们仅在一定的条件下成立。经典力学是建立在牛顿三大运动定律的基础上的,所以牛顿运动定律是动力学的核心,也是我们这本书学习的重点。目前我国中

学物理只要求学习质点动力学,因而下面讨论的物体,不加说明的时候,我们总把它作为质点处理。

力学史上的谬误

人类对自然界的认识经历了相当漫长而又曲折的斗争过程,它贯穿于人类存在的整个历史。人们在生活和劳动实践中获得对自然现象的感性认识,并逐步提高到理性认识。但是在进一步的实践中又往往发现自己的认识带有片面性、局限性,有时候甚至发现原来的认识有根本性的错误。社会发展进程中,唯心主义的宇宙观又经常从各方面来阻挠着科学的发展,因此,在几千年的人类文明发展史中,真理被抛弃,或者被虚假所蒙蔽,把谬误当成真理的情形,是屡有发生的。

就拿我们人类目前所居住的地球在宇宙中的地位一事为例,在一个很长的时期里人类没能得出正确的结论,而被看上去好象不动的大地所迷惑,得出“地球是宇宙的中心”、“太阳和星辰都东升西落围绕地球旋转”等错误观点,而且这种违背事实的“地心说”竟然统治了一千多年的时间。由于对宇宙不了解,唯心主义还胡编了一套“日、月、星辰和万物都是上帝创造的”邪说。但是科学是以实验事实作为基础的,由波兰天文学家哥白尼(1473-1543)创立的“日心说”在众多的科学家的支持下,经过了上百年的斗争,付出了血的代价,把自然科学从神学的束缚中解放出来。到了现代,由于科学技术的发展,特别是空间技术的发展,通过大量的观测已经知道:地球是太阳系里的一颗普通的行星,而太阳又是具有一千多亿颗恒星

的银河系里的一个普通恒星，它也是围绕银河系中心在旋转的，同时银河系同样是无限的宇宙里一个并不特殊的星系，类似银河系的河外星系是无穷无尽的。对这些事实，人们已经不再象几百年前那样不可理解、难以接受了。

即使简单的常见的机械运动，人们起初的认识也是很肤浅的，甚至是错误的。譬如，在一段相当长的时期里，人们认为要维持物体的继续运动必须要有力才行，并从日常经验中也能找出所谓“实践证明”：停放在地面上的一辆车子，不用力推，车子不会动，推动后一旦撤去推力，车子又会慢慢地停下来。这些人忽略了跟地面接触的车子和地面间的摩擦力，也没有注意到车子为什么是“慢慢地”停下来，而不是“立刻”停下来，被片面现象所迷惑的人，就接受了公元前三百多年古希腊科学家亚里士多德（前 384—前 322）的错误理论：“力是维持运动的原因”。可悲的是这样的错误竟延续了近两千年之久，直到十七世纪才被意大利的科学家伽利略（1564—1642）用实验和他的理论所推翻。

力不是维持运动的原因，而是 改变运动状态的原因

伽利略是一位物理学家、天文学家，他用著名的假想实验——斜面实验，分析纠正了历史上力和运动关系之间的谬误。伽利略通过深入的观察和实验，并加以分析推论后得出：沿光滑斜面向下运动的小球，应该是加速的；而沿斜面向上运动的小球必然是减速的；小球在没有倾斜的水平面上运动，应

当是既无加速、又无减速的匀速运动。他并且进一步指出,任何平面或多或少总会产生一些摩擦阻力,使物体速度变慢,只要阻力非常小,物体的运动就可以近似地看作是匀速运动,因而设想在没有摩擦的理想平面上,小球将以恒定的速度持续运动下去。伽俐略断言:一旦物体具有某一速度,只要在这之后不再有外力作用于它,这物体将保持原速的大小和方向,一直匀速地运动下去。

伽俐略斜面实验的分析推理,使我们信服地认识到,速度本身并不表明有没有外力作用于物体,也就是说,力不是维持物体运动的原因,而是改变物体运动状态的原因,或者说是产生加速度的原因。

上一节提到要用推力才会继续运动的小车,这推力是用来克服摩擦力的,并非用来维持运动。假如没有和相对运动相反的摩擦阻力,运动的车子是不需要推力就能运动下去的;反过来,存在摩擦阻力的情况下,如果没有推力去抵消摩擦力的作用,那么,摩擦力就会使车子“慢慢地”停止下来。

要物体完全不受外力作用,这是办不到的,因为那是一种理想境界。伽俐略描述的实验是一种理想实验,却是建立在可靠的事实基础上的。现代的实验设备已经可以接近这种理想的境界。比如,气垫导轨是把物体(滑块)放在一个导轨上,并设法在物体和导轨之间形成气层,使物体处于悬浮状态;当物体沿着这种气垫导轨运动的时候,摩擦力可以减低到十分微小,推动一下物体,可以观察和测量出物体沿水平气垫导轨的运动十分接近匀速直线运动。

牛顿的第一运动定律和惯性的利弊

英国科学家牛顿 (1642-1727) 在伽俐略等人研究的基础上,通过实验,他归纳成一个结论:“任何物体都保持静止或匀速直线运动的状态,直到有力迫使它改变这种状态为止。”这就是牛顿第一运动定律。物体这种保持原有运动状态的特性叫做惯性,它是物体本身固有的属性。因此,牛顿第一运动定律又叫做惯性定律。

前面讲过,通常是找不到一个完全不受到任何外力作用的物体的。更普遍的情况是物体受到各种力的作用,而这些力的合力却是零,也就是受到的是一组平衡力,这些力的作用效果互相抵消,因而物体的运动状态也不会发生变化。例如,放置在水平桌面上的物体,虽然受到重力和桌面的弹力,但是因为两力平衡,使物体处于静止状态。图 1 是一辆匀速行驶

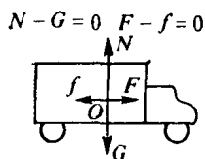


图 1. 匀速行驶的汽车。

的汽车,作用在汽车上的力如图所示,不仅重力 G 和弹力 N 的作用相抵消,而且向前的牵引力 F 和向后的阻力 f 也相互抵消。只有在物体所受外力失去平衡的时候,物体的运动状态才会发生变化。

外力使物体改变原来的运动状态,物体自身的惯性又要保持原来的运动状态。前者是外加的因素,后者却是内在的本性。这是事物的一对矛盾,它也常给我们带来一些麻烦。

一辆汽车或火车的起动，比正常行驶的时候要显得费劲，原因就在于起动的时候，车轴不仅要克服摩擦阻力，还要克服惯性的阻碍；一枚运载火箭的发射除了克服地球的引力，也要克服本身惯性对状态改变的阻碍作用；掷铅球者为了使原来静止的铅球能以较大速度斜抛出手，必须经一段时间用足全身力气去推铅球才行。

高速行驶的车辆要想一下子停车，不是一件轻而易举的事；百米赛跑的运动员冲刺到终点线后，不可能立刻站住停下来；高速公路上发生的交通事故，往往是一连串的；汽车突然开动的时候，站立在车上的人，上身向车后倾倒；汽车急刹车的时候，人体又向车前倾倒；这些都是因为有惯性的缘故。从开动着的车上跳下来的人为了不使自己向前倾倒，总是在落地的同时向前奔跑几步，让自己的上体和下体能以同样的水平速度向前移动，这些都是懂得惯性的道理后而采取的措施。

惯性给我们带来方便的情况也是很多的，比如：快跑的人当他用力向上腾空后，可以跳越鸿沟、飞过断桥；汽车到站前提前关闭油门，是司机利用惯性节约汽油的一种方法；为了让机器运转平稳，可以安装一个比较重的飞轮；锤柄松动了，倒过来把木柄朝硬实的地面撞击几下，锤头又能紧固在木柄上了。这些都是利用惯性的简单例子。

总之，惯性现象在日常生活中到处可见，有利也有弊。生活和生产技术上应用也很广泛，如拍灰尘、甩温度表、用铲子送煤、脱水机等。

加速度和力有什么样的关系？

前面的学习使我们明确了未受到外力的物体或者是物体受到的合外力等于零，那么它的运动状态不会改变，也就是说这时候物体的加速度等于零。

现在来研究一下物体所受合外力不等于零的时候的运动状态。通过观察和研究，发现当物体受力不平衡的时候，运动状态就发生变化，也就是产生了加速度。换句话说，一个物体获得加速度是因为它受力不平衡的结果。譬如，放在桌上的物体一旦失去桌面的支承弹力，那么，在只受重力的情况下将会自由下落；水平公路上行驶的汽车，当牵引动力超过摩擦阻力的时候，汽车就加速，反过来，当摩擦阻力超过牵引力的时候，汽车获得负加速度，速度就会减慢，图2就是一个汽车受力不平衡作变速行驶的示意图。

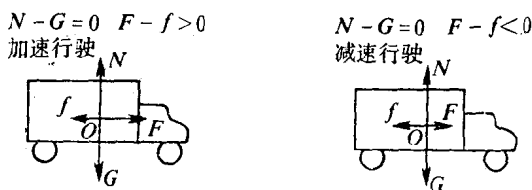


图2. 受力不平衡的汽车作变速行驶。

物体的加速度跟合外力有什么样的关系呢？为了简便起见，我们先讨论对给定的一定质量的物体在这方面的关系。如果你有一台气垫导轨的实验仪器，就可以做下面的实验，来分析、研究运动和力的关系。让一定质量的滑块沿着一定

倾角 α 的导轨由静止开始下滑, 滑块下滑的加速度 $\vec{a}$, 可以从拍摄一组连续闪光照片或用打点机定时记录的方法求出, 如图 3 所示。

滑块受到竖直向下的重力 $\vec{G}$, 还受到垂直于斜面的气垫托力 $\vec{N}$, 而这两力大小不等, 又不在同一直线上, 它们的合力 $\Sigma \vec{F}$ 不等于零, 而是等于 $G \sin \alpha$, 使滑块加速下滑, 因此就把 $G \sin \alpha$ 叫做下滑力。用一个测力计可以把这个力测量出来, 如图 4 所示。

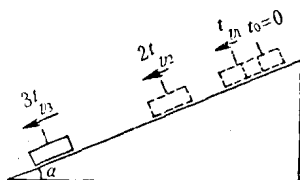


图 3. 测加速度。

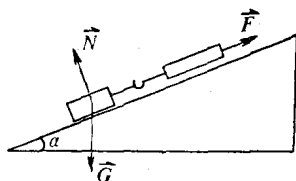


图 4. 测 G, N 的合力。

改变导轨倾角 α 的数值, 就能改变下滑力 $G \sin \alpha$ 的大小, 同时测得相应的下滑加速度 $\vec{a}$, 通过多次实验, 不难发现它们有正比的关系, 就是

$$\vec{a} \propto \Sigma \vec{F}.$$

也就是说, 一个运动物体的加速度跟它所受的合外力成正比。

还有许多实例, 比如: 足球被踢的瞬间, 球的运动状态的改变是明显的, 这是运动员踢球力大的缘故; 静卧的炮弹点火后, 在炮膛里受到很大的推力, 使它在 0.1 秒左右的时间里获得几百米每秒的高速度; 以相当速度行驶的汽车一旦遇到情

况,司机必须用急刹车加以制动才行,这就需要相当大的制动力,才能得到需要的减速度(负加速度)。生活中这些实例都能使我们发现,一个物体运动状态的改变是跟这个物体所受合外力情况相对应的,就是合外力越大,物体加速度的数值就越大。相信读者自己也一定能够举出不少这方面的实例。

合外力相同,物体质量不同,产生不同的加速度

我们得到了物体的加速度跟所受合外力成正比的结论,是不是能够说只要合力大,物体的加速度就一定大呢?不一定,还要看物体本身的质量大小。

乒乓健儿左右开弓,大力抽杀,银球飞舞,观众看得眼花缭乱,这不仅是由于运动员挥拍击球用力得当,也因为乒乓球质量很小,才能有这么精彩的表演。假如不用现在通用的乒乓球,而换用同样大小的实心金属小球,即使让它具有同样的弹性,让运动员去进行这场球赛是难以想象的。十分明显,物体的质量对它运动状态变化的影响不可忽视。

前一节讲过,滑块在斜面上获得下滑力的大小跟斜面的倾角以及滑块的质量有关,如果增加滑块的质量 m (可在滑块上加上砝码),那么,下滑力就会增大。同时又可以用减小斜面倾角 α 的方法,使下滑力和未加砝码的时候同样大小,就是让测力计的示数不变。然后放手让滑块自行滑下,并且用前面讲过的方法去测定下滑加速度,将会发现这时的加速度比上节的小,也就是说物体质量增加,而它受到的合外力数值不变,它的加速度减小。从实验中我们能够得出结论:当物体