



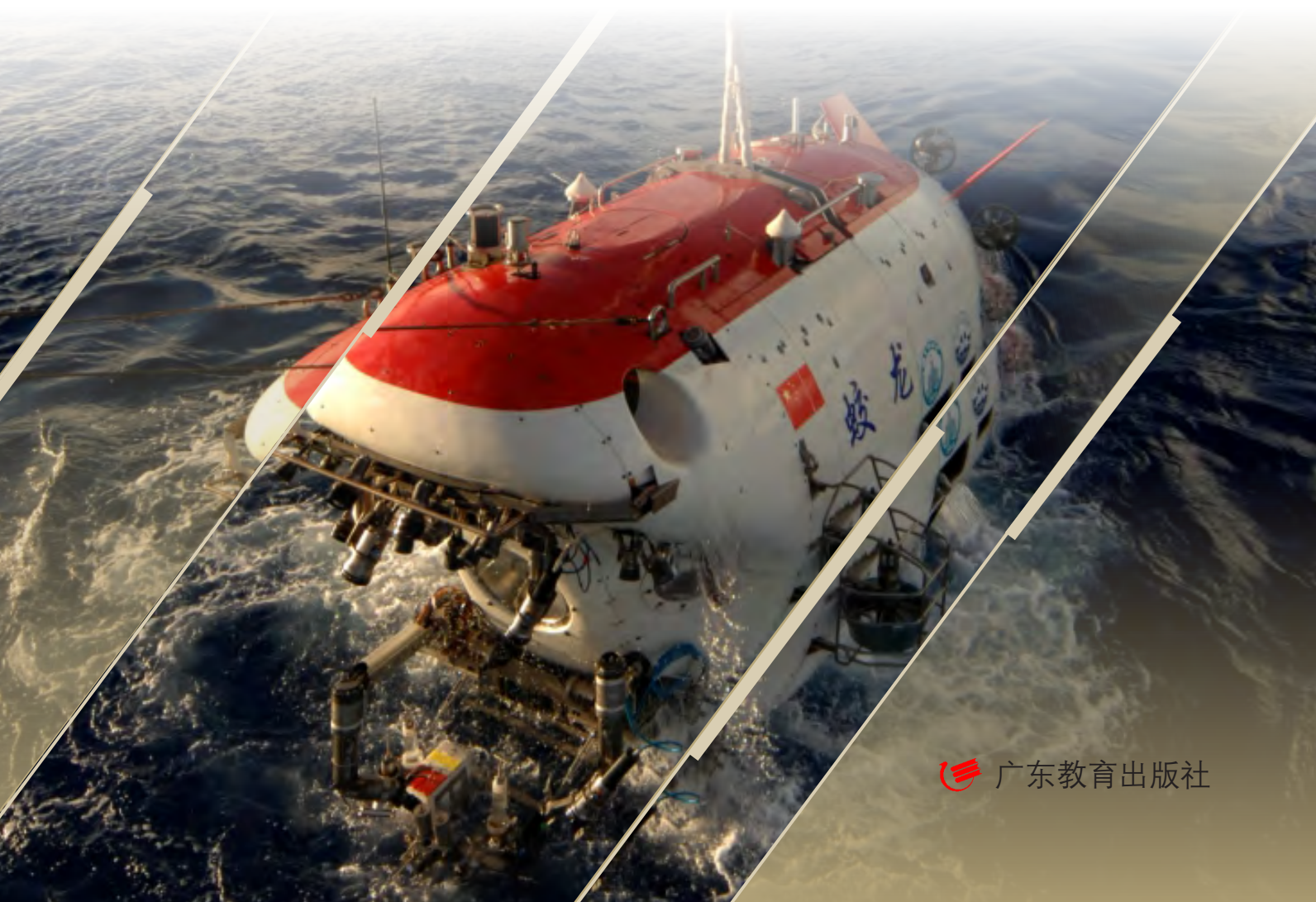
普通高中教科书

W U L I

物理

必修

第一册



 广东教育出版社

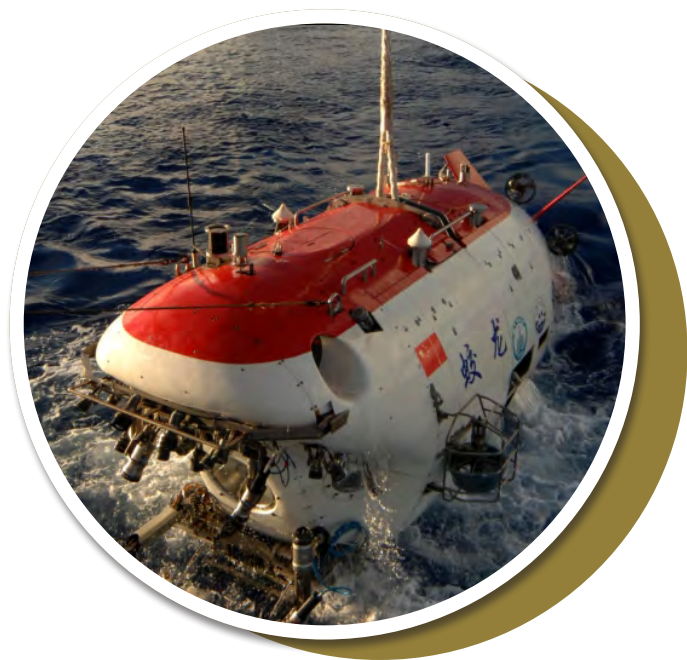
普通高中教科书

物理

必修

第一册

主编 熊建文



 广东教育出版社

· 广州 ·

图书在版编目(CIP)数据

物理：必修. 第一册 / 熊建文主编. —广州：广东教育出版社，2019.8（2021.12重印）

普通高中教科书

ISBN 978-7-5548-2528-0

I. ①物… II. ①熊… III. ①中学物理课—高中—教材
IV. ①G634.71

中国版本图书馆CIP数据核字（2019）第091621号

编写单位 广东教育出版社

主 编 熊建文

副 主 编 王笑君 姚跃涌

本 册 主 编 张军朋

本册副主编 陈信余

核心编写人员（以姓氏笔画为序）

许桂清 李朝明 李德安

何琴玉 周少娜 詹伟琴

廖小兵

出 版 人 朱文清

责任编辑 陈洁辉

责任技编 杨启承 陈 瑾

装帧设计 何 维 梁 杰

物理 必修 第一册

WULI BIXIU DIYI CE

广东教育出版社出版

（广州市环市东路472号12-15楼）

邮政编码：510075

网址：<http://www.gjs.cn>

广东新华发行集团股份有限公司发行

广州市新思程印刷有限公司印刷

（广州市番禺区沙头街大富村白仙岗4号）

890毫米×1240毫米 16开本 9印张 225 000字

2019年8月第1版 2021年12月第6次印刷

ISBN 978-7-5548-2528-0

定价：10.59元

批准文号：粤发改价格〔2017〕434号 举报电话：12315

著作权所有·请勿擅用本书制作各类出版物·违者必究

如有印装质量或内容质量问题，请与我社联系。

质量监督电话：020-87613102 邮箱：gjs-quality@nfc.com.cn

购书咨询电话：020-87772438

绪 论

物理学是自然科学领域的一门基础学科. 它始终引领着人类对自然奥秘的探索, 深化着人类对自然界的认识, 对人类文明和社会进步做出了巨大贡献. 在进入高中物理学习之际, 让我们先了解一下物理学是研究什么的, 物理学的发展给人类文明进步带来哪些成果, 物理学与我们的生活如何相关; 然后从学习的角度认识高中物理与初中物理有什么不同, 思考我们如何学习高中物理.

物理学——科学百花园中璀璨的明珠

物理学作为一门独立的学科诞生于17世纪后半期, 伽利略 (G. Galilei, 1564—1642)、开普勒 (J. Kepler, 1571—1630)、牛顿 (I. Newton, 1643—1727) 等科学家做出了奠基性的贡献. 物理学是一门自然科学, 它研究物质运动的一般规律、物质的相互作用以及物质的结构. 经过四个多世纪的发展, 物理学已建立起以力学、热学、电磁学和光学为基础的经典物理学, 以及以量子力学、相对论为基础的现代物理学. 在此基础上, 粒子物理学、原子核物理学、原子与分子物理学、凝聚态物理学、等离子体物理学、天体物理学和生物物理学等得到迅速发展.



(a) 黑洞示意图



(b) 原子结构示意图

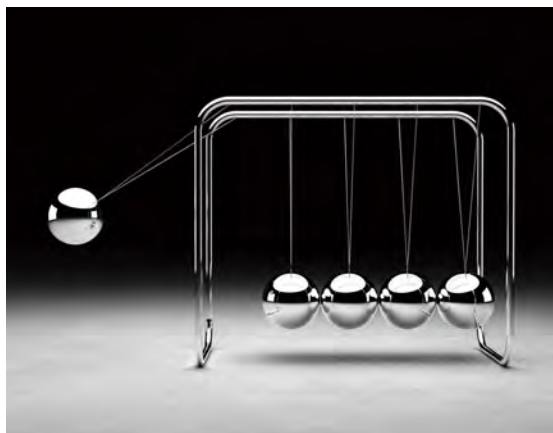
图1 物理学是打开自然奥秘的钥匙

物理学是以实验为基础的学科. 物理学中任何新思想正确与否需由实验检验. 在物理学发展史中, 人类很早就表现出观察和思辨的才能. 然而, 将实验作为研究手段并将物理学视为实验科学, 是物理学真正进步的开端.

物理学研究问题总是从最简单的情况入手. 面对复杂问题时, 我们根据研究需要, 抓住主要因素, 忽略次要因素, 找出其中最本质的内容, 建立理想化物理模型; 通过对理想化物理模型的行为描述来揭示物质运动的规律, 这是物理学常用的研究方法.



(a) 水滴滴入水中的瞬间



(b) 牛顿摆

图2 自然界和生活中有许多奇妙的现象

物理学崇尚理性, 重视科学思维. 物理学的许多规律是从实验中总结出来的. 然而, 许多重大理论的发现, 绝非简单实验结果的总结, 它既需要严谨的数学推理、严密的逻辑思维、深刻的洞察力, 也需要直觉和想象力, 大胆地猜测和假设. 这常常是一个曲折的探究过程.

物理学是一门严密的理论学科. 它以为数不多的物理概念为基石, 以物理定律为核心, 建立了经典物理学、现代物理学及各分支的严密逻辑体系.

物理学是一门精密的定量学科. 自从伽利略开创了把观察实验、抽象思维同数学方法相结合的研究途径以后, 物理学就迅速发展为一门精密的定量学科. 在物理学中, 许多物理概念和物理规律都具有定量的含义, 基本定律和公式都是运用数学的语言予以精确表达. 此外, 数学还是物理学研究的重要推理论证的工具和手段, 物理学与数学有密切的关系, 物理学的发展离不开数学.

物理学是一门带有方法论性质的学科. 物理学在长期的发展过程中, 形成了一整套研究问题和解决问题的科学方法. 这些方法不仅对物理学的发展起了很重要的作用, 而且对其他学科的发展也产生了一定的影响, 深刻影响着人们的思想、观念和思维方式.

展望物理学的未来, 充满着机遇与挑战. 李政道先生在《物理的挑战》一文中, 曾提出21世纪物理领域所面对的四大难题: 为什么一些物理现象在理论上对称, 但实验结果不对称? 为什么一半的基本粒子不能单独存在而且看不见? 为什么全宇宙90%以上的物质是暗物质? 为什么每个类星体的能量竟然是太阳能量的 10^{15} 倍? 这些问题激励着人们不懈探索. 可以预见, 一旦拨去这些笼罩在物理天空中的“乌云”, 物理学将会展现出更加灿烂的前景.

物理学与其他自然科学——人类文明进步的基石

物理学是自然科学的基础之一，物理学的研究成果和研究方法，在其他自然科学的各个领域中发挥着重要的作用。

物理学和化学向来就是并肩前进的。19世纪，科学家们应用物理热力学的理论和方法研究化工生产中的化学平衡、反应速度等问题，产生了化学热力学、化学动力学和催化理论，形成了物理化学这门应用物理学的原理和方法来研究有关化学现象和过程的交叉学科。20世纪，随着量子力学的建立，研究化学现象的微观机理的量子化学应运而生。



图3 化工厂里的电解车间

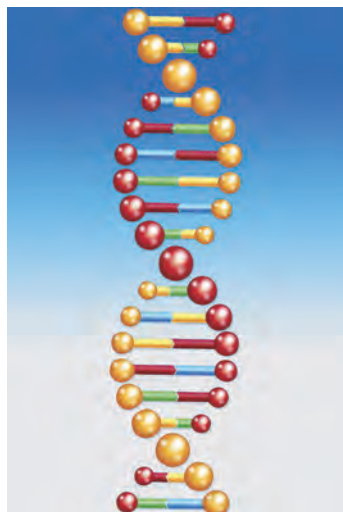


图4 DNA双螺旋结构模型

物理学的研究成果和研究方法向生物学渗透，形成的生物物理、分子生物学等新学科，对生命科学研究带来了极其深刻的影响。在两学科的交叉点上产生的一系列重大成就，如DNA双螺旋结构的确定、耗散结构理论的建立等，就充分证明了这一点。21世纪是物理学全面介入生命科学的世纪。

物理学和天文学有着由来已久的“血缘关系”，特别是19世纪中叶以后，物理学的光度测量和光谱分析被应用于天文学，使天文学家能够研究天体的温度分布、化学构成、物理结构和演化过程等。天文学从观察、研究天体的机械运动到深入探索天体的本质，由此产生了标志着天文学新的发展水平的天体物理学，使人类进入了认识宇宙的新阶段。



图5 哈勃望远镜拍摄的太空深处星系的光学照片

物理学与现代社会——人类文明进步的助推器

物理学的发展推动了科学技术的高速发展。几乎所有重大新技术的创立，如原子能技术、激光技术、电子和信息技术等，都是在物理学中经过长期酝酿，在理论上和实验上取得突破，继而转化为技术成果的。

现代社会生活中计算机的应用已随处可见，它对我们的生活产生了重要的影响，以现代计算机为基础发展起来的电子信息技术已然昭示“信息时代”的到来，它的创立、发展

都是以物理学的成果为基础. 尤其是由量子物理孕育出来的技术成果——晶体管、半导体集成电路、大规模集成电路的发明与创造, 逐渐实现了现代计算机的小型化和智能化.

目前, 许多国家都建起了核能发电站, 核能发电量约占世界发电总量的30%. 如果没有卢瑟福的 α 粒子散射实验和爱因斯坦的质能方程, 就不会有今天核能的利用.

激光唱机能发出音色纯美的声音, 得益于1917年爱因斯坦提出光的受激辐射理论. 正是基于这一理论才有了1960年第一台激光器的诞生. 迄今, 激光技术已在基础科学、军事、通信、医学、工业、生物工程、生产领域和日常生活等各个方面起着重要的作用. 光通信依赖的基础器件便是激光器, 大功率激光器被用于受控核聚变研究, 医学激光治疗已可以治疗数百种疾病. 激光被誉为20世纪的“世纪之光”.



图6 我国光量子实验室



图7 我国第一座核电站——秦山核电站



图8 我国首台高功率光纤激光器

以物理学为基础的科学技术的高速发展, 直接推动了人类社会文明的进步, 改变了人们的思维方式和生活、工作方式, 创造了一个接一个的新时代. 18世纪得益于牛顿力学和热学的研究而发明的蒸汽机, 使人们进入了蒸汽时代; 19世纪以电机的发明和电力的应用为标志的电力技术革命, 使人类社会全面进入了电气时代; 属于20世纪最伟大的科学成就之一的原子能技术, 把人类社会带入了原子时代; 20世纪后期, 电子信息技术和通信技术又为人类创造了一个新时代——信息时代. 21世纪, 物理学将在极小的尺度上探索物质更深层次的结构, 在更宏观的尺度上寻求宇宙的起源和演化. 毋庸置疑, 以物理学为基础的科学技术已成为人类社会文明进步的强大助推器.

物理学与现代生活——人类文明的新向往

现代生活中, 物理学技术成果的运用随处可见. 例如: 厨房里有电冰箱、微波炉; 客厅里有电视机、空调器; 书房里有电话、电脑; 医院里有X光透视仪、超声波治疗仪、CT检查仪、激光手术仪; 商场里有琳琅满目的科技产品……人们充分地享受着科学技术创造的成果, 这些成果正在深刻地改变着人们的生活方式.

航天技术与现代生活密不可分. 从“牛顿大炮”的科学猜想到人造地球卫星的发明, 花费了数代科学家的毕生精力, 中国科学家们的表现也身手不凡. 2007年, 随着“嫦娥一号”顺利进入环月工作轨道, 中国成为“月球俱乐部”成员之一. 探月工程充分展示了中国的综合国力, 也凸显了科技强国的信心. 如今, 通过同步通信卫星的实况转播, 我们可以看到来自世界各地丰富多彩的电视节目, 了解世界正在发生的重大事件. 北斗卫星导航系统正与世界其他卫星导航系统携手服务全球, 造福人类.



(a) 2008年北京奥运会开幕式



(b) 2016年G20杭州峰会开幕式

图9 大型活动的现场图景通过卫星向全球直播

移动通信是在人造地球卫星和微波通信技术基础上发展起来的. 在当今互联网时代, 移动通信产业以惊人的速度迅猛发展, 已经成为带动全球经济发展的主要高科技产业之一, 引领人类生活和社会发展新时尚. 以移动支付等为代表的数字化经济正在改变我们的生活方式.

高铁因为省时、快速、舒适、安全等特点, 已成为人们出行的首选交通工具. 中国高铁技术成果引领世界, 正成为与世界交往的响亮“名片”.



图11 中国高铁



图10 移动支付正在改变我们的生活方式

物理学的技术成果在给人类带来深刻影响的同时, 也给人们带来了一些忧虑, 如环境污染、能源危机、核战争的威胁等. 我们应当辩证地认识科技成果的作用, 避免技术的滥用, 让技术更好地服务于人类.

怎样学习高中物理

我们在初中已开设物理课程. 将要学习的高中物理课程与初中物理课程主要有三个方面的不同: 一是高中物理课程的知识面更广, 知识更系统, 内容更丰富; 二是初中物理课程较多是定性的, 而高中物理课程则有较多的定量要求; 三是初中物理课程以现象为主,

比较直观，高中物理课程对思维能力的要求较高，更加强调现象与结论间的思维过程和方法。那么，我们该如何学习高中物理课程呢？

杨振宁先生曾提到，很多学生在学习中已形成一种印象，以为物理学就是一些演算。其实，演算仅仅是物理学的一部分，而且不是最重要的部分。绝大部分物理学是从现象中来的，现象是物理学的根源。

学习物理要善于观察、勤于实践、独立思考、勤学多问、乐于探究和敢于担当。

善于观察不是随便看看，而是要进行有目的的观察，要将观察和思考结合起来。不仅在做实验时要留意观察，课堂上也要注意观察教师的演示，同时也要留心观察生活中的现象。

勤于实践就是多动手操作。除了要完成教科书中规定的实验外，还要利用课外时间，完成力所能及的课外实验、课外制作、课外课题研究，形成积极主动探索和实践的意识。

独立思考就是要深入思考，多问几个为什么。只有独立思考，才能真正做到对知识的理解，才能有效地提高思维能力。

勤学多问就是要敢于质疑，大胆提问，发表见解。遇到疑难不退缩，养成刨根问底的习惯。要想在学业上有所建树，必须有好奇之心、善问之意。

乐于探究就是能从司空见惯的事物和现象中发现自己感兴趣的问题，进而努力探究，对产生的假想和怀疑的对象进行证伪验真，也就是有解决所提出问题的能力，并且对自己探究的结果有自信、有恒心。

敢于担当就是实事求是，尊重事实，尊重证据，不盲从，不轻信。我们不仅要为中国“嫦娥”飞天、“蛟龙”深潜、“量子纠缠”等领先领域感到自豪，更要有为社会发展和人类进步做出努力的境界与负责任的襟怀。

科学是一个不断探究的过程。科学探究是有趣的、令人愉快的和引人深思的。我们生活在一个科学的世界里，我们周围有许多值得观察的事物，有许多需要了解的科学过程，有许多亟待解答的科学问题。让我们共同来探究我们周围的物理世界吧！

前言

欢迎同学们进入高中《物理》必修第一册的学习。

在高中《物理》必修第一册中，进入我们视野的是丰富多彩的运动世界。如何研究运动？如何描述运动？如何探究运动背后的原因和规律？这些是我们进入本册学习首先要解决的问题。这就需要引入一些描述运动所需的基本概念，诸如“质点”“位移”“时间”“速度”“加速度”等；需要探究引起物体运动状态变化的原因，为此就要从常见的现象入手，建立力的概念，形成相互作用的观念；需要探究力和运动之间的关系，也就是要揭示力和运动关系的牛顿运动定律。

高中《物理》必修第一册中涉及的力学知识、技能和方法是进一步学习物理的基础，希望同学们在学习过程中不会因为它们“简单”而觉得不重要，也不会因为它们要严格定义而觉得枯燥。爱因斯坦曾说过：“科学必须创造自己的语言和自己的概念，供它本身使用。科学的概念最初总是日常生活中所用的普通概念，但它们经过发展就完全不同。它们已经变换过了，并失去了普通语言中带有的模糊性质，从而获得了严格的定义，这样它们就能应用于科学的思维。”比如说，在本书中将要学到的牛顿第二定律，揭示了有力与速度改变之间的关系，而不是人们以直觉所想的力与速度之间的关系。人们从后者达到前者的认识花费了两千多年，因为古人早就有许多关于运动的描述，但都含糊不清。直到四百多年前，才有了科学的概念和语言，运动才成为科学。也可以说，从此才有了物理学。可见，“力”和“速度”这些概念多么重要！所以说，准确掌握和理解这些概念是我们学好物理的“基本功”。以后大家会体会到它们并不“简单”，稍不准确就会引起错误或者混乱。当然，“基本功”不只是掌握概念与规律，还包括实验技能、研究方法等。物理学的研究犹如侦探破案一样，当“发现”一个问题，我们首先要收集证据、分析线索，对问题的答案进行猜测和假设，然后有目的地进行实验，或排查假象和干扰因素，或从证据和实验记录中寻找联系，验证假设，从而找到规律。学习物理亦是如此。

学习物理是一个动手动脑、体验物理学魅力的过程，为此，本书设计了一系列引人入胜的栏目。“观察与思考”栏目，锻炼我们观察、描述、分析物理现象的能力。“实验与探究”栏目，使我们体会问题、证据、解释、交流等要素在开展科学探究中的重要性。

“讨论与交流”栏目，让我们展示对物理问题的见解，感受思维碰撞的乐趣。“实践与拓展”栏目，使我们发散思维，在实践性的课题探索中提升创新能力，认识科学、技术、社会与环境发展的关系。“资料活页”栏目，让我们感悟物理学史上科学家们的智慧，感受

前沿科技的成就。“练习”和“习题”栏目，巩固我们对物理概念与规律的理解以及解决实际问题的方法。“本章小结”栏目，通过知识结构图梳理全章的知识主线，让我们回顾和整理学习成果，反思自己的学习情况。

学习物理，不仅是为了记住物理概念和认识物理规律，而且是为了帮助我们形成正确的物理观念，指导我们认识自然万物；培养科学思维，辩证地分析实际生产和生活中遇到的问题；学会科学探究的方法，培养基于观察和实验探究自然规律的能力，形成正确的科学态度与社会责任意识。这才是物理学习的要义。

新学期，新课程，千里之行，始于足下。让我们从必修第一册开始，共同启程学好物理吧！

目 录



第一章 运动的描述 1

第一节	质点 参考系 时间	2
第二节	位置 位移	8
第三节	速度	14
第四节	测量直线运动物体的瞬时速度	19
第五节	加速度	24



第二章 匀变速直线运动 31

第一节	匀变速直线运动的特点	32
第二节	匀变速直线运动的规律	37
第三节	测量匀变速直线运动的加速度	42
第四节	自由落体运动	46
第五节	匀变速直线运动与汽车安全行驶	52



第三章 相互作用

61

第一节	重力	62
第二节	弹力	66
第三节	摩擦力	72
第四节	力的合成	78
第五节	力的分解	82
第六节	共点力的平衡条件及其应用	87



第四章 牛顿运动定律

97

第一节	牛顿第一定律	98
第二节	加速度与力、质量之间的关系	103
第三节	牛顿第二定律	108
第四节	牛顿第三定律	112
第五节	牛顿运动定律的应用	117
第六节	失重和超重	120
第七节	力学单位	125

第一章

运动的描述

我们生活在一个运动的世界中，在我们的周围，处处可以看到物体的运动：流星在夜空中划过，鸟儿在空中飞翔，河水在奔流，树叶在摇曳，车辆在行驶，机器在运转……自然界中的一切物体都在不停地运动。通常认为不动的物体，如树木、高楼、桥梁、山脉等其实也每时每刻随着地球的公转和自转在运动着。宇宙中的一切，大到星系、星系团，小到微观世界的分子、原子，都处在永恒的运动中。运动是宇宙中的普遍现象。

如果仅研究物体的运动情况，不涉及引起运动变化原因的问题，则属于运动学的研究范畴；如果涉及物体间相互作用对物体运动的影响问题，则属于动力学的研究范畴。

本章从物体的运动问题入手，运用科学抽象和理想模型的方法，逐步建立描述物体运动的位置、位移、速度、加速度等概念，从而为后续的学习打下基础。



第一节 | 质点 参考系 时间



我们把物体相对于其他物体在空间位置上随时间的变化，叫作**机械运动**（mechanical motion），简称**运动**。

自然界中，物体运动的形式是多种多样的：有沿直线的，也有沿曲线的；有变速的，也有匀速的；有来回往复的，也有旋转的；有在同一平面上的，也有在空间中的……多种多样的运动形式，为我们展示了自然界一幅幅生动多彩的画卷。实际的运动是复杂多变的，为了便于研究，我们先引入几个与运动描述相关的基本概念。

质点

研究物体的运动，首要问题是如何确定物体的位置及其位置的变化。任何物体都有一定的大小和形状。一般来说，物体运动时，内部各点的位置变化各不相同。例如：在空中翱翔的雄鹰既有身体的向前运动，也有翅膀的上下运动；在绿茵场上飞滚的足球，在向前运动的同时，还有球自身的滚动；汽车在高速路上疾驰的同时，车轮也在飞快地旋转。因此，要精确描述物体的位置及其变化，并不是一件简单的事情。

如果能忽略物体的大小和形状，物体运动的描述就会变得简单了。请看下面两个实例。

一列高速动车从广州开往上海，当我们讨论这列动车从广州到上海的运行时间时，动车的长度与广州到上海的距离相比要小得多，就可以不考虑动车的长度，这时就可用一个“点”的运动代替整列动车的运动。如果讨论的是这列动车通过隧道或道口的时间，动车的长度就不能忽略，也就不能用一个“点”来代替了。



我们生活的地球在绕太阳公转，同时又在自转（如图 1-1-1 所示）。因此，地球各部分离太阳的距离在不断变化。在研究地球绕太阳公转时，由于地球的直径（约 $1.3 \times 10^4 \text{ km}$ ）较之于地球到太阳的平均距离（约 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ）小得多，因此地球上的各点相对于太阳的运动基本上可视为相同的。

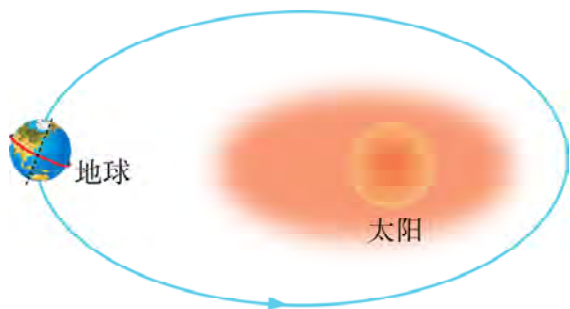


图 1-1-1 地球在绕太阳公转的同时又在自转

也就是说，在忽略地球的大小和形状的情况下，可以把地球看作一个“点”；但如果在研究地球的自转时，仍把地球看作一个“点”，显然就没有实际意义了。

在研究物体的运动时，如果物体各点的运动情况相同，或者它的大小和形状在所研究的问题中可以忽略，这时我们就可以把物体简化为一个有质量的点，或者说，用一个有质量的点来代替整个物体。用来代替物体的有质量的点叫作**质点**（mass point）。这样对实际物体运动的描述，就简化成对质点运动的描述。

在本书中，我们只研究可简化为质点的物体的运动，对于“物体”和“质点”两个术语往往不加区分。

根据问题的内容和性质，抓住问题中的主要因素，忽略次要因素，建立一个与实际情况差距不大的理想化模型来进行研究，使复杂问题得到简化，这是一种重要的科学研究方法。质点就是一个理想化模型。



讨论与交流

有人认为，体积很小的物体可以被看成质点，体积很大的物体不能被看成质点；只有低速运动的物体才可被看成质点，高速运动的物体不可被看成质点。上述观点正确吗？

质点是由实际物体抽象出来的理想化模型。然而，并不是所有情况下物体都可被看成质点。一个物体能否被看作质点，要根据问题的具体情况而定。

参考系

地球在不停地自转，生活在地球上的我们，却感觉不到地球在动。当我们坐在平稳行驶的高速动车上，也会有类似的感觉，根本不知道动车是否在前进，除非我们向窗外看。怎样判断一个物体是否在运动呢？



讨论与交流

在一列行驶的动车上，两名旅客相对而坐，如图 1-1-2 所示，有些人认为他们是静止的，有些人认为他们是运动的。为什么人们的看法会不一样？



图 1-1-2 在行驶的动车上的两名旅客

要确定一个物体是否在运动，首先要选择另一个物体作为参考，然后研究这一物体相对于参考物体是如何运动的。研究一个物体运动时，选来作为参考的物体，称为**参考系** (reference frame)。

在图 1-1-2 中，如果我们以地面为参考系，两名旅客就是运动的；如果我们以车厢为参考系，那么这两名旅客就是静止的。由此可见，同一物体的运动，所选参考系不同，对物体运动的描述就会不同。

描述一个物体的运动时，参考系的选择是任意的，但应以观察方便和使运动的描述尽可能简单为原则。研究地面上物体的运动，常选择地面为参考系。

自然界中的一切物体都处于永恒不息的运动之中，绝对静止的物体是不存在的，这是运动本身的绝对性。但在不同的参考系中，对同一物体的运动有不同的描述，这是运动描述的相对性。

为了定量描述物体的位置及位置的变化，需要在参考系上建立适当的**坐标系**。如果物体沿直线运动，我们就以这条直线为 x 轴，在直线上规定原点、正方向和单位长度，建立直线坐标系。如图 1-1-3 所示，若某一物体运动到点 A ，此时它的坐标 $x_A = 2 \text{ m}$ ；若它运动到点 B ，则此时它的坐标 $x_B = -1 \text{ m}$ 。

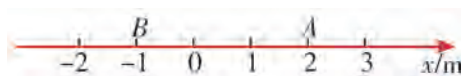


图 1-1-3 直线坐标系

建立坐标系后，我们就可以用坐标表示质点的位置，用坐标的变化描述质点的位置变化。

时间与时刻

任何物体的运动离不开时间和空间。对于时间这个术语，我们并不陌生，那么时间的含义是什么呢？



讨论与交流

我们在利用网络平台购买机票时，可以从如图 1-1-4 所示的页面中得知某一航班的时间信息：该航班从广州起飞的时间为 14:00，到达北京的时间为 17:05，飞行时间为 3 小时 5 分钟。请问以上对“时间”的说法有什么不同？



图 1-1-4 航班信息图

钟表指针指示的一个示数对应着某一瞬间，也就是**时刻**。人们把两个时刻之间的间隔称为**时间**。这样，物理学中的时间和时刻就有了不同的含义。时间与时刻的关系可以表示为 $\Delta t = t_2 - t_1$ ，式中 t_1 和 t_2 分别表示先后两个时刻， Δt 表示这两个时刻之间的时间。在国际单位制中，时间和时刻的单位都是秒，符号是 s。常用的单位还有分、时，符号分别是 min、h。

时刻和时间可以在时间轴上表示出来。时间轴上的一个点表示的是某一时刻，时间轴上一条线段表示的是一段**时间**。

时间的计算有一个零点选择的问题。原则上，任何时刻都可以作为时间零点。我们常常以问题中的初始时刻作为时间零点，这样下一个时刻 t 就可用来表示相对于时间零点的时间。

在现实生活中，每一个国家（或地区）由于所处的时区不同，都规定了本国（或本地区）的零点时刻，由此产生了北京时间、纽约时间、格林尼治时间等。



实践与拓展

我国古人很早就利用圭表知道一年约等于 365 天。以 3~5 人为一组，去图书馆查阅资料或上网搜索，尝试制作一个圭表模型。

“天宫二号”上的冷原子钟

时间是物理学的七个基本物理量之一。时间的精度与长度、磁场强度、电场强度、温度等其他基本物理量的测量息息相关，因此时间是现代物理计量的基础。

人们自古以来就为时间的精确测量而不断探索，从太阳、月亮等自然钟，到日晷、沙漏等人造计时装置，再到摆轮钟、机械钟、石英晶体钟等，时间的测量精度约1秒/年。这一精度可以满足人们的日常需要，但还远远未达到科学研究的需求。

随着原子物理学、射电微波技术和激光冷却原子技术等现代科学技术的发展，科学家们利用原子超精细结构跃迁能级时具有非常稳定的跃迁频率这一特点，研发出更高精度的原子钟和冷原子钟。

2016年9月25日，由中国科学院上海光学精密机械研究所研制的“空间冷原子钟”随“天宫二号”空间实验室进入太空，成为国际上首台在轨运行并开展科学实验的空间冷原子钟，将目前人类在太空的时间计量精度提高了1~2个数量级（约3000万年误差1秒），是基于冷原子的空间量子传感器领域发展的一个重要里程碑。

在存在地球辐射带干扰以及复杂的空间环境下，稳定运行一台精密的空间冷原子钟面临极大挑战。研究团队经过十余年的攻关，突破了微重力环境下运行的冷原子钟物理系统、长期自主运行的冷原子制备与操控激光光学系统、铷原子钟超低噪声微波频率源等一系列关键技术，最终在国际上首次实现了冷原子钟的在轨稳定运行。

能在空间环境下可靠运行的高精度原子钟将有助于我国科学技术的发展。如应用于导航定位系统，将会提升系统自主运行能力，提高导航定位精度；在基础物理研究方面，对推进基本物理常数测量、广义相对论验证等的发展具有重要意义；空间冷原子钟的相关技术还可以应用于空间量子传感器等多个领域。



图1-1-5 “天宫二号”载人航天飞行器模拟图



图1-1-6 空间冷原子钟

练习

1. 研究运动员以不同方式跳高时，是否可将运动员看成质点？研究运动员以不同方式跳高所取得的成绩时，是否可将运动员看成质点？请说明理由。

2. 一列动车停靠在站台上，车厢内的乘客看着窗外另一列动车，感觉自己乘坐的动车动了，可等一会却发现乘坐的动车还在站台上未动。出现这种现象的原因是什么？

3. 如图 1-1-7 所示是我国发行的《同步通信卫星》纪念邮票。我国自 1984 年 4 月 8 日发射第一颗地球同步通信卫星以来，已经陆续发射了多颗通信卫星。同步通信卫星虽然绕地球转动，但是地球上的人却觉得它在空中始终是静止不动的，这是为什么？它绕地球转动一周需要多长时间？



图 1-1-7

4. 据报道，2016 年 10 月 17 日 7 时 30 分，搭载“神舟十一号”载人飞船的“长征二号”运载火箭，在酒泉卫星发射中心点火发射。约 575 秒后，“神舟十一号”载人飞船与火箭成功分离，进入预定轨道，发射取得圆满成功。“神舟十一号”飞船入轨后，在 2 天内完成了与之前发射成功的“天宫二号”空间实验室自动交会对接，在轨飞行 33 天后于 11 月 18 日 14 时 03 分顺利返回地面（如图 1-1-8 所示）。

在上面的新闻报道中，哪些是时间，哪些是时刻？

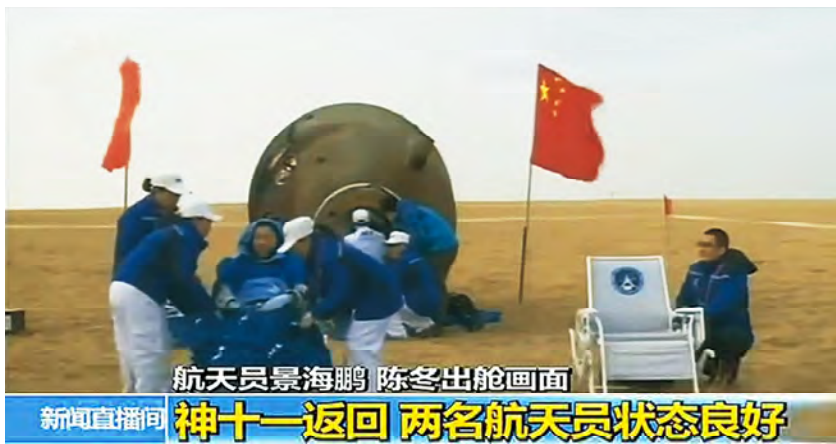


图 1-1-8

第二节

位置 位移



我国西部的塔克拉玛干沙漠（如图 1-2-1 所示），远眺不见边际，抬头不见飞鸟，沙漠中布满了一两百米高的沙丘，像大海的巨浪。塔克拉玛干沙漠又被称为“死亡之海”。



图 1-2-1 塔克拉玛干沙漠

如果一支探险队要进入该沙漠探险，那么他们需要弄清楚三个重要的问题：身处何方？要去哪里？最佳路线是什么？而这三个问题涉及描述物体运动的三个物理量：位置、位移和路程。

位置

在生活、生产和技术应用中，人们经常要关心或考虑物体的位置及位置的变化，如行驶的汽车、航行的船只、移动的台风、飞行的火箭等。位置是指运动质点某一时刻在空间所处的地方。

为了表示运动质点的位置，首先应该选取一个参考系，然后在参考系上建立坐标系。质点的位置，可由质点在坐标系中的坐标来确定。

物体做直线运动时，其位置可用直线坐标系的坐标 x 表示。当 $x > 0$ 时，表示质点的位置在原点的右边；当 $x < 0$ 时，表示质点的位置在原点的左边。如图 1-2-2 所示，一个物体从点 A 运动到点 B ，点 A 的位置可以用坐标 $x_A = 2 \text{ m}$ 表示，点 B 的位置可以用坐标 $x_B = 4 \text{ m}$ 表示。

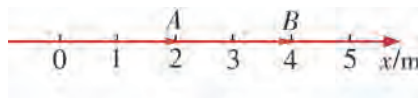


图 1-2-2 用坐标表示物体做直线运动的位置

同理，物体在某一平面上运动时，其位置可用平面直角坐标系的坐标来表示。

位移

质点在运动过程中，它的位置随时间不断地变化，那么怎样表示质点位置的变化呢？

如果我们计划从广州白云国际机场到佛山祖庙，我们可以用手机导航软件选择出行路

线. 打开导航软件, 输入出发地点“广州白云国际机场”和目的地“祖庙”后, 软件界面上会显示出多条不同的路线 (如图 1-2-3 所示).

我们知道, **路程**是物体运动轨迹的长度. 在上例中, 我们所选择的出行路线不同, 经过的路程也就不同. 为此, 我们需要引入一个新的物理量描述物体位置的变化.

一般而言, 当物体从起始位置 A 运动到末位置 B 时, 尽管可以沿不同的轨迹、经历不同的路程, 但位置变动的大小和方向是确定的, 在物理学中就用**位移** (displacement) 来表示质点的位置变化. 位移用从物体运动的起始位置指向末位置的有向线段来表示. 如图 1-2-4 所示, 质点从点 A 运动到点 B 的位移可以用从起始位置 A 指向末位置 B 的有向线段 AB 来表示, 其大小就是有向线段 AB 的长度, 其方向是有向线段 AB 的方向.

物体的位移既有大小又有方向. 一旦确定物体的起始位置和末位置, 物体的位移就确定了. 质点的位移与运动路径无关, 只与始、末位置有关. 位移与路程不同, 路程是质点运动轨迹的长度 (如图 1-2-4 中从 A 到 B 的曲线 1 和曲线 2), 只有大小没有方向.

位移和路程在国际单位制中的单位都是米, 符号为 m . 常用的单位还有千米 (km)、厘米 (cm)、毫米 (mm) 等.

位移一般用符号 s 来表示. 当物体做直线运动时, 位置常用直线坐标系中的坐标 x 表示. 这时位移可以用末位置 (x) 和起始位置 (x_0) 的坐标之差 (Δx) 来表示, 即 $\Delta x = x - x_0$. Δx 的正负表示运动质点的位移方向, Δx 的绝对值等于位移的大小. 如图 1-2-5 所示, 当 $\Delta x > 0$ 时, 表示位移的方向与 x 轴正方向相同; 当 $\Delta x < 0$ 时, 表示位移的方向与 x 轴正方向相反.

可见, 要描述直线运动的位置和位移, 只需建立一维坐标系, 用坐标表示位置, 用位置坐标的变化量表示物体位移. 这样, 用一个带有正负号的数值就可以把位移的大小和方向表示出来.

为了计算方便, 计算位移时常取起始位置作为坐标原点, 即 $x_0 = 0$, 这时质点的位移就可以用末位置的坐标来表示, 即 $s = \Delta x = x$.



图 1-2-3 手机导航软件界面

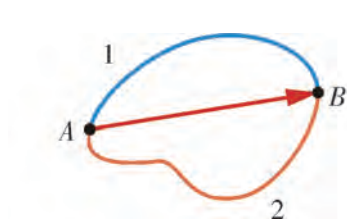


图 1-2-4 质点的位移

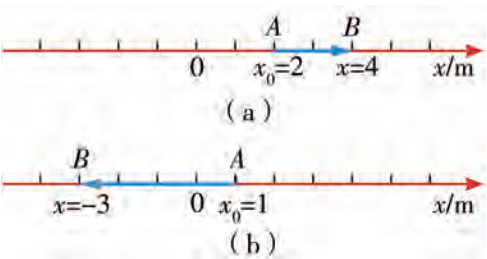


图 1-2-5 物体做直线运动的位置和位移



讨论与交流

有一可看成质点的电动小车 P ，在水平面上前 3 秒沿直线先向东运动，后 3 秒向西运动。在该直线上建立由西向东的一维直线坐标系，测得在不同时刻小车 P 的位置坐标如表 1-2-1 所示。

表 1-2-1 不同时刻小车 P 的位置

t/s	0	1	2	3	4	5	6
x/m	0	7	10	14	12	8	-3

(1) 利用表中数据能求出小车 P 在前 3 秒内、第 3 秒、前 6 秒内和第 6 秒的位移和路程吗？为什么？

(2) 根据题中所给出的信息，试在一维直线坐标系的坐标轴上画出小车 P 的运动过程的示意图。

(3) 试用一段话把小车 P 的运动过程表述出来。

位移—时间图像

当质点做直线运动时，可以把位置看成是一种特殊的位移，即物体相对于坐标原点的位移，它的起点在坐标原点，终点在该时刻物体所在的位置。

我们可以用多种方法来描述一个物理量随另一个物理量变化的情况，如在上述问题中，我们用列表的方法描述小车 P 的位置随时间变化的情况；我们也可以以时间 t 为横坐标，以位移 s 为纵坐标，通过在坐标纸上描点作图的方法来描述小车 P 的位移随时间变化的情况。我们把这种描述方法称为图像法，以此得到的图像称为**位移—时间图像**或 $s-t$ 图像。从图 1-2-6 中可以形象地看出，纵坐标 s 是小车 P 相对于坐标原点在时间 t 内的位移。

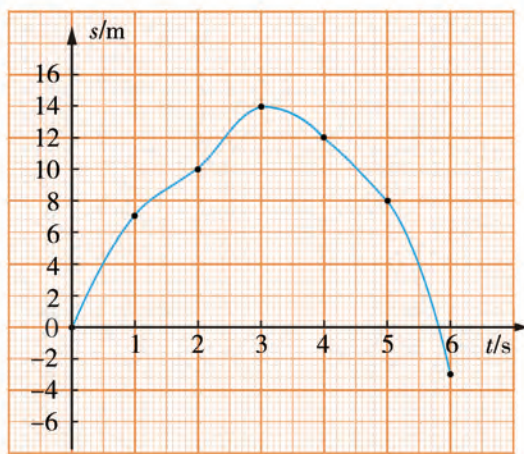


图 1-2-6 小车 P 的位移—时间图像

用图像能形象直观地描述物理现象及其规律，它是物理学中研究问题的一种常用方法。在后面的学习中，我们将会接触到更多有关图像的知识。

矢量和标量

在物理学中，像位移这样的物理量叫作**矢量**（vector），它既有大小又有方向；而像温度、质量、体积、长度、时间、路程这些只有大小没有方向的物理量，叫作**标量**（scalar）。矢量和标量的算法遵从不同法则。

例题：一支 150 m 长的抢险救灾队伍匀速前进，队长从队尾放出无人机到前方 1000 m 处侦察受灾路况，拍照后立即返回，当无人机返回队长处时，队伍已前进了 200 m。则在全过程中，无人机位移的大小和路程分别是多少？

分析：画出无人机的运动轨迹图，确定无人机的始、末位置，以及它由初始位置到末位置的**运动轨迹**的长度，即可求出无人机的位移和路程。

解：无人机的运动轨迹，如图 1-2-7 所示。由图可知，无人机位移的大小为 200 m，路程为 $(1000 \times 2 - 200) \text{ m} = 1800 \text{ m}$ 。

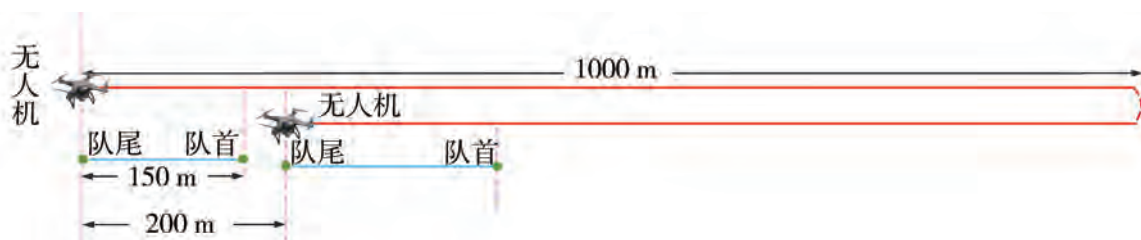


图 1-2-7 无人机的运动轨迹

北斗卫星导航系统

在中国古代，人们利用北斗七星来辨识方位，并发明了世界上最早的导航装置——司南，促进了人类文明的发展。今天，卫星导航正在使世界政治、经济、科技、文化发生革命性的变化。北斗卫星导航系统（BeiDou Navigation Satellite System，英文缩写 BDS）是我国自行研制的全球卫星导航系统，致力于向全球用户提供全天时、全天候、高精度的定位、导航和授时服务。

20 世纪 80 年代初，中国开始积极探索、研发适合国情的卫星导航系统。2000 年，北斗卫星导航试验系统建成，标志着中国成为继美、俄之后世界上第三个拥有自主卫星导航系统的国家。现时，北斗卫星导航系统已面向“一带一路”沿线及周边国家提供基本服务；预计 2020 年前后，可为全球用户提供服务；争取到 2035 年，建成空天地海无缝覆盖、高精度、安全可靠、万物互联、万物智能的国家综合定位导航授时体系。

北斗卫星导航系统由空间星座、地面控制和用户终端三部分构成。空间星座由 5 颗地球静止轨道卫星和 30 颗非地球静止轨道卫星组成，主要工作为监测目标与发射导航信号；地面控制主要负责收集数据、处理数据和监测卫星运转状态；用户终端可追踪卫星，并实时计算终端所在位置的坐标。这个系统通过这三部分的联合工作实现精确定位。

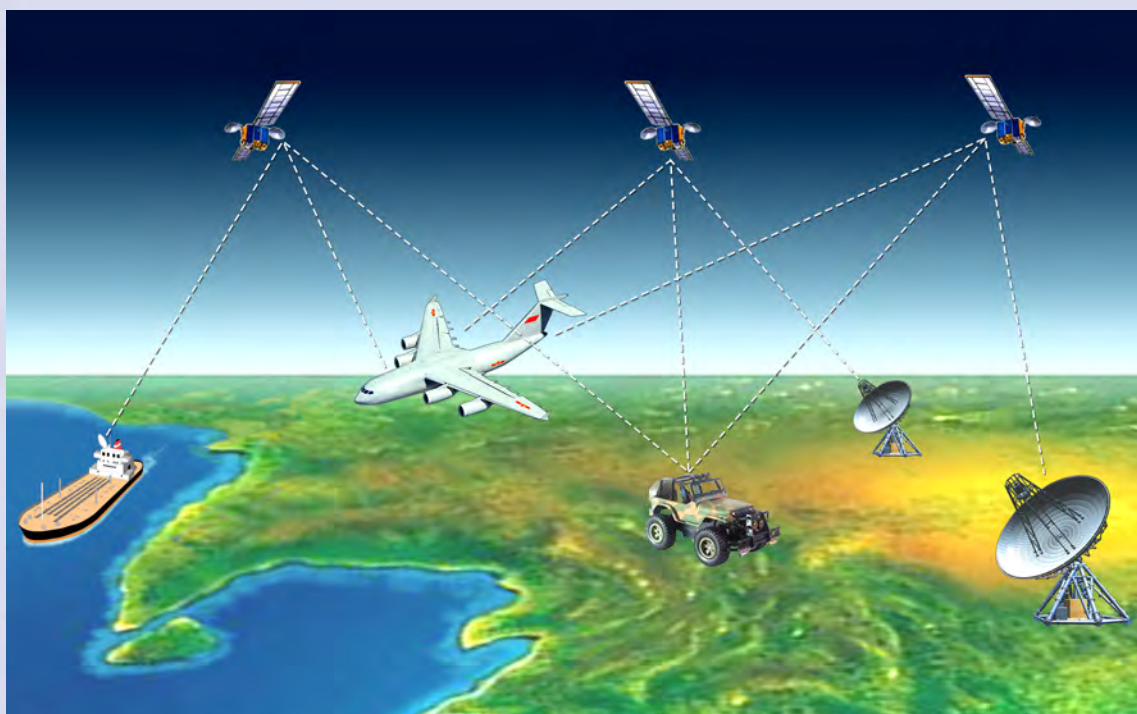


图 1-2-8 北斗卫星导航系统可以提供高质量的定位、导航和授时服务

北斗卫星导航系统现正服务于国家安全、经济建设、科技发展和社会治理等方面，并逐步推广到交通运输、海洋渔业、水文监测、气象预报、森林防火、通信授时、电力调度和救灾减灾等诸多领域，产生了巨大的社会效益和经济效益。从航天器的对接、人工智能汽车的应用，到海上钻井平台的定位、灾区的救援工作等，都与卫星导航息息相关。

北斗卫星导航系统的建设与发展，既满足国家发展需求，又维护国家权益，从而增强了综合国力。通过与世界其他卫星导航系统携手，北斗卫星导航系统将共同推动全球卫星导航事业的发展，促进人类文明和社会进步，服务全球、造福人类。

练习

1. 位移与路程有什么区别？在什么情况下两者的量值相等？在什么情况下两者的量值不相等？

2. 一辆汽车向西行驶了 4 km，接着向北行驶了 3 km，然后停下来. 图 1-2-9 中点 O 为汽车的起始位置.

(1) 请在图中标出汽车停车的位置.

(2) 求出汽车通过的路程.

(3) 求出汽车位移的大小和方向.

3. 如图 1-2-10 所示，学校田径场跑道周长为 400 m. 校运会 100 m 短跑赛选用了跑道的直道部分，那么运动员们跑完全程的路程是多少？位移的大小是多少？进行 800 m 跑时，运动员们跑完全程的路程是多少？位移的大小是多少？

4. 如图 1-2-11 所示，每层楼高度都相同，楼梯倾斜角度为 45° . 如果一个人从大门走到 3 楼，他走的路程与位移的大小之比是多少？如果他从大门走到房门口，他走的路程与位移的大小之比是多少？

5. 傍晚，小明在学校校园里散步，他从宿舍楼 (A 处) 出发，先向南走了 60 m 到达食堂 (B 处)，再向东走了 80 m 到达实验室 (C 处)，最后又向北走了 12 m 到达校门口 (D 处). 则：

(1) 小明散步的总路程和位移各是多少？

(2) 要比较确切地表示小明散步的最终位置，应该用位移还是用路程？

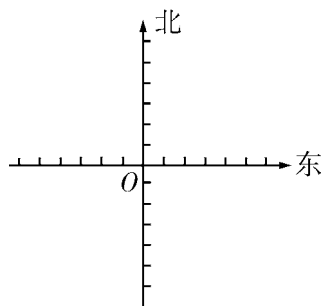


图 1-2-9



图 1-2-10



图 1-2-11

第三节

速度



曾有这样一则笑话：一名司机由于驾车超速被交警拦住，交警对他说：“您好，您刚才的车速是 100 km/h！”这名司机反驳说：“不可能的！我才开了 7 分钟，还不到一个小时，怎么可能走了 100 km 呢？”“我的意思是：如果您继续像刚才那样开车，在下一个小时里您将驶过 100 km。”“这也是不可能的，我只要再行驶 10 km 就到家了，根本不需要再开 100 km 的路程。”

在上面的笑话中，交警所说的“100 km/h”指的是什么？这名司机狡辩的根据是什么？学习了本节内容，我们就能更准确地回答上述问题。

认识速度

物体的运动有快有慢。即使同一物体，不同时刻或不同时间内的运动快慢也有可能是不同的。对于物体的运动，我们既要知道它们的运动快慢，也要了解它们的运动方向。

在初中物理中，我们把物体通过的路程与所用的时间之比叫作“速度”。这样定义的“速度”只能反映一段路程上物体运动的平均快慢情况，而不能精确地描述物体的运动方向及运动中位置变化的快慢。那么，怎样才能准确地定义速度呢？

在直线运动中，比较物体运动快慢的方法有两种。一种是比较在相等时间内物体运动位移的大小。在相等时间内，物体运动位移大的就运动得快。例如，在平直的公路上，甲车 2 h 行驶了 80 km，乙车 2 h 行驶了 100 km，则乙车比甲车快。另一种是比较相同的位移所用时间的长短。运动相同的位移所用时间短的就运动得快。例如，在百米赛跑中，甲运动员的成绩为 10 s，乙运动员的成绩为 12 s，则甲运动员比较快。如果两个不同的运动物体，各自在不同的时间内运动不同的位移，又该如何比较这两个物体的运动快慢呢？解决的办法就是找一个统一的比较标准。为此，我们引入速度的概念。

速度（velocity）是反映物体运动快慢和方向的物理量，用位移跟发生这段位移所用时间之比来表示。若用字母 v 表示速度， s 表示时间 t 内的位移，则有

$$v = \frac{s}{t}$$

(1.3.1)

在国际单位制中，速度的单位是米每秒，符号是 m/s 或 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。常用单位还有千米每小时 (km/h 或 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)、厘米每秒 (cm/s 或 $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$) 等。

速度是矢量，既有大小，又有方向。

平均速度

一般而言，物体在不同时间内（或不同位移上）的运动快慢是不同的。由式 (1.3.1) 求得的速度，只是表示物体在时间 t 内的平均快慢程度，称为**平均速度** (average velocity)，通常用 $\bar{v}$ 表示。

平均速度也是矢量，它的方向由位移的方向决定，它的大小表示物体在这段时间内运动的快慢。平均速度是位移与相应时间之比，而非路程与相应时间之比。实际上，初中物理定义的路程与相应时间之比，可称为**平均速率**。

平均速度描述的是某一段时间内或某一段位移上物体运动的平均快慢程度。因此在提到平均速度时，需要明确是哪段时间内（或哪段位移上）的平均速度。



讨论与交流

1. 平均速率是平均速度的大小，这种说法对吗？为什么？

2. 甲、乙、丙三个可视为质点的物体同时从点 A 出发，沿不同的路径运动同时到达点 B ，如图 1-3-1 所示。试比较三个物体在这个过程中的平均速度。

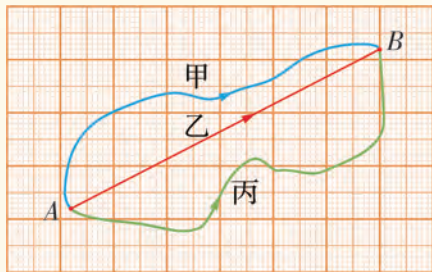


图 1-3-1 三个物体从点 A 到点 B 的运动路径

瞬时速度

平均速度只是粗略地反映了物体在某段位移上或某段时间内的运动快慢和方向。比如，城市 A 和城市 B 之间的距离是 300 km ，一汽车从城市 A 行驶到城市 B 所用的时间是 $4\text{ h } 10\text{ min}$ 。那么，该汽车的平均速度的大小是 20 m/s 。但这个平均速度并不能反映汽车行驶过程中任意时刻的快慢，例如途中加速和减速，甚至中途加油停车等。如何才能精确描述物体在任意时刻运动的快慢和方向呢？



讨论与交流

如图 1-3-2 所示, 一辆汽车在平直的公路上运动, 点 O , A , A_1 是其运动轨迹上的点. 如何描述汽车在点 A 的运动快慢呢?



图 1-3-2 汽车运动轨迹上的几个点

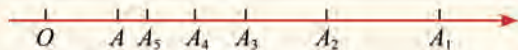


图 1-3-3 描述汽车在点 A 的运动快慢

(1) 若测得汽车在 AA_1 段位移的大小和所用时间, 则可计算出平均速度. 可否用这个平均速度来表示汽车经过点 A 时运动的快慢?

(2) 若在 AA_1 之间找一点 A_2 , 如图 1-3-3 所示, 用同样的办法计算出 AA_2 段的平均速度, 相比 AA_1 段而言, 能否更精确地反映汽车经过点 A 的运动快慢? 如果选取 AA_3 , AA_4 , AA_5 呢?

(3) 当位移足够小、所用的时间间隔也足够小时, 可否认为这段时间内汽车做匀速运动呢?

平均速度只能粗略地描述物体运动的快慢. 时间间隔取得越小, 平均速度就越能准确地描述在这一小段时间内的运动快慢. Δt 取得越小, 物体在 t 到 $t + \Delta t$ 时间内的平均速度就越接近物体在时刻 t 的速度. 我们把在时刻 t 的这个速度叫作**瞬时速度** (instantaneous velocity).

瞬时速度是运动物体在某一时刻或经过某一位置时的速度. 某一时刻的瞬时速度, 我们可以通过求运动物体在该时刻前后无穷短时间内的平均速度得出. 某位置的瞬时速度, 我们可以通过求无限逼近该位置附近位移内的平均速度得出.

瞬时速度是矢量. 其大小反映了物体在该时刻的运动快慢, 方向就是物体在该时刻的运动方向, 即在物体运动轨迹中该点的切线方向. 我们通常把瞬时速度简称为速度.

在直线运动中, 速度的方向可用正、负号来表示. 一般选取某一物体初始运动的方向为正方向. 其他速度的方向与之相同, 则速度为正; 与之相反, 则为负.

瞬时速度的大小叫作**瞬时速率**. 汽车上的车速表 (如图 1-3-4 所示) 能显示汽车行驶过程中每一个瞬间的速度的大小, 但不能显示汽车运动的方向. 因此它的示数实际上是汽车的瞬时速率. 日常生活中所说的“速度”, 通常是指**速率**.

我们在初中学过的匀速直线运动, 就是瞬时速度保持不变的运动, 在这种运动中, 瞬时速度与平均速度相等.



图 1-3-4 汽车车速表

速度—时间图像

物体的速度也可以用图像法来描述. 那么, 如何用图像来表示物体运动的速度呢?

用纵坐标表示物体运动的速度 v , 用横坐标表示时间 t , 在坐标纸上建立直角坐标系, 根据物体在各个时刻的速度, 将 (t, v) 作为一组坐标在坐标系中描点, 将点连线后得出的图像称为**速度—时间图像**或 $v-t$ 图像.

一辆小汽车甲向右做直线运动, 速度逐渐增大, 其速度与时间的关系如图 1-3-5 (a) 所示. 将速度与时间的关系绘制成坐标图, 得到一条向右上方倾斜的直线, 如图 1-3-5 (b) 所示, 表明汽车的速度越来越快.

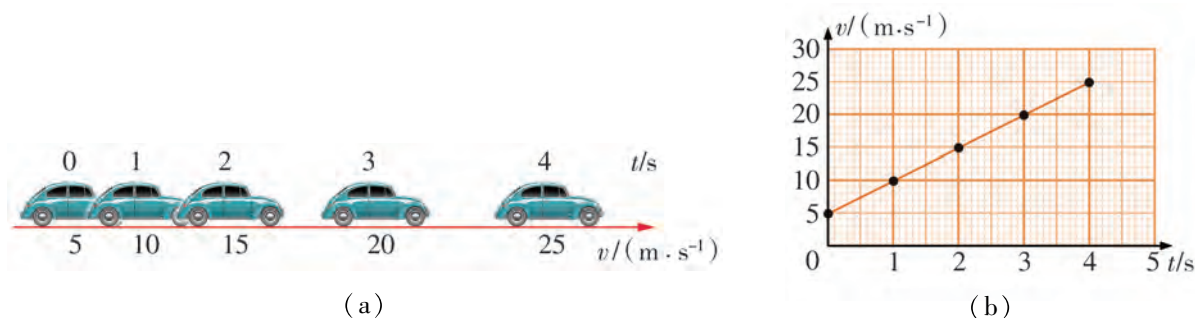


图 1-3-5 小汽车甲做速度逐渐增大的直线运动

另一辆小汽车乙向右做直线运动, 速度逐渐减小, 其速度与时间的关系如图 1-3-6 (a) 所示. 将速度与时间的关系绘制成坐标图, 得到一条向右下方倾斜的直线, 如图 1-3-6 (b) 所示, 表明汽车的速度越来越慢.

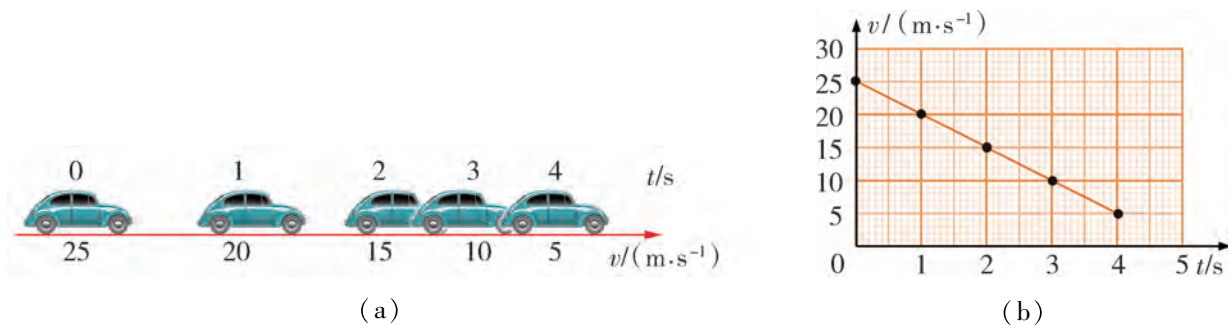


图 1-3-6 小汽车乙做速度逐渐减小的直线运动

交通区间测速系统

交通区间测速系统是通过在道路卡点架设摄像机而建立的监控抓拍系统. 这种测速系统对道路卡点监测区域内所通行的车辆进行实时监控、抓拍, 以获取车辆行驶速度、交通流量、车辆的牌照号码以及驾驶员特征等信息, 再将信息通过网络传输到公安交通指挥中心和交通控制分中心的数据库中进行数据存储、查询、

比对等处理，以便进行集中有效的管理。同时也为公安部门有效打击违章超速、肇事逃逸、可疑车辆等各种违法行为提供有效的技术支持。

区间测速的原理如图 1-3-7 所示，在同一路段上布设前后两个监控点，通过测出车辆经过这两个监控点的时间来计算车辆在该路段上的平均行驶速度，并依据该路段上的限速标准判定车辆是否超速违章，并在 LED 大屏幕上实时发布交通违章车辆信息，以对违章车辆进行告知及警示其他车辆。

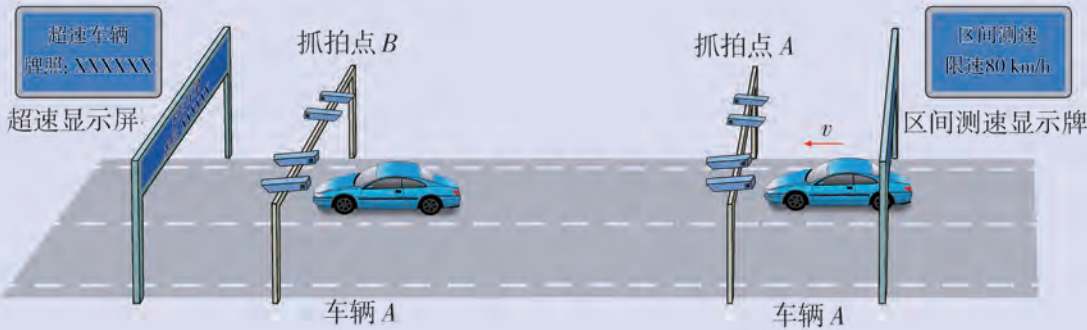


图 1-3-7 区间测速原理示意图

以往采用的单点测速仪，司机在熟知测速点的情况下，可以通过刹车降低车速逃避处罚，很容易造成追尾事故。而区间测速采取计算平均车速的方法来检测车辆是否超速，堵住了司机的投机取巧，手段更加科学公正。

练习

1. 平均速度与平均速率有何区别？在什么情况下两者的量值相等？瞬时速度与平均速度的关系和区别是怎样的？瞬时速率与平均速率的关系和区别又是怎样的？
2. 一辆汽车沿平直的公路行驶，第 1 s 内通过 5 m 的距离，第 2 s 内和第 3 s 内都通过 20 m 的距离，第 4 s 内又通过了 15 m 的距离。求汽车在最初 2 s 内的平均速度和这 4 s 内的平均速度。
3. 做实验测量树叶下落的平均速度的大小，应测量哪些物理量？需要选用哪些器材？写出测量步骤和下落速度的表达式。设计表格，记录测量数据。

第四节

测量直线运动物体的瞬时速度

当物体沿直线运动时，其位移在不断变化。我们要研究物体的运动规律，首先要准确记录物体运动的信息。直接测量物体运动的速度在技术上是比较复杂的，我们可以使用秒表和刻度尺来测量物体运动的时间和位移，再经过计算或作图来判断物体的运动情况。但当物体的运动速度太快时，采用这种方法测量的误差较大。打点计时器是一种记录物体运动位移和时间信息的仪器，我们可以利用它来测量和计算物体运动的速度。

打点计时器

打点计时器是一种通过在纸带上打出一系列的点来记录物体运动信息的仪器。通过分析纸带上的点，可以研究物体的运动规律。实验室常用的打点计时器有电火花计时器和电磁打点计时器两种。

电火花计时器的工作电源是220 V的交流电源，它通过每间隔一个固定的时间（即周期）放电产生的火花在纸带上打出一系列的点。当电源频率是50 Hz时，每隔0.02 s打一次点。如图1-4-1所示是电火花计时器的构造图，图中标出了主要部件的名称。

电磁打点计时器的工作电源是4~6 V的交流电源，通过线圈和永久磁铁的作用带动一个上下振动的振针，在纸带上打出一系列的点。振针上下振动的时间间隔不变（即发生周期性振动）。当电源频率是50 Hz时，纸带上每打出两个相邻点所经历的时间（即周期）都是0.02 s。如图1-4-2所示是电磁打点计时器的构造图，图中标出了主要部件的名称。

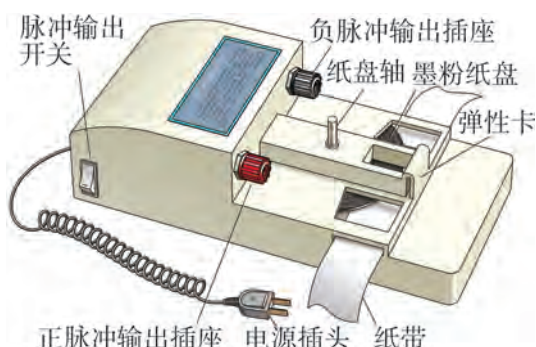


图 1-4-1 电火花计时器

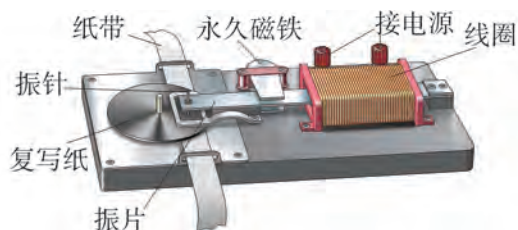


图 1-4-2 电磁打点计时器

电火花计时器和电磁打点计时器的计时原理基本相同，当电源频率为 50 Hz 时，打点的时间间隔都是 0.02 s，本书把它们统称为打点计时器。

 讨论与交流

- 1. 为什么打点计时器不能使用直流电源？
- 2. 假设交流电源的频率是 80 Hz，那么它将每隔多长时间打下一个点？

用打点计时器测量瞬时速度的方法

在直线运动中，要测量物体在某一点的瞬时速度，可以用测量包含这一点的平均速度来近似替代。如图 1-4-3 所示的是物体做直线运动时打点计时器记录物体运动轨迹打出的纸带。测量出包括点 E 在内的 D、F 两点间的位移 Δx

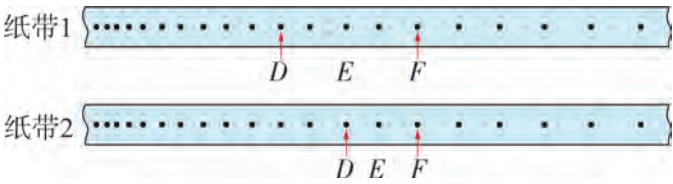


图 1-4-3 研究物体做直线运动的纸带

和时间 Δt ，算出纸带在这两点间的平均速度 $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，用这个平均速度近似表示纸带经过点 E 时的瞬时速度（如纸带 1 所示）。D、F 两点离点 E 越近，算出的平均速度越接近点 E 的瞬时速度（如纸带 2 所示），然而 D、F 两点距离过小则测量相对误差增大。因而，应该根据实际情况选取这两个点。

根据以上粗略表示某点瞬时速度的方法，在打出的纸带上，选择合适的计数点，测量包含这个点的一段时间内的位移 Δx ，同时记录对应的时间 Δt ，就可算出各点附近的平均速度，把它当作计时器打下这些点时的瞬时速度。

 实验与探究

实验 1：练习使用打点计时器

在动手练习使用打点计时器之前，请思考如下问题：

纸带上的点与物体的位移和时间是如何对应的？怎样将纸带上的点转化成相关的数据？怎样根据纸带上的点迹计算纸带的平均速度？

(1) 把打点计时器固定在水平桌面上。观察打点计时器，阅读使用说明书，了解它的结构，按照说明书安装好纸带。

(2) 接通交流电源，用手水平拉动纸带，纸带上就打出一系列点迹，然后关闭电源。

(3) 取下纸带，选择某个清晰的点，往后数出若干个点，如果数出 n 个点，则第 n 个与第 1 个点之间的间隔数为 $(n-1)$ 个，由 $\Delta t = 0.02(n-1)\text{s}$ 计算出纸带从第一个点运动到第 n 个点的时间。

(4) 用刻度尺测量出从第一个点到第 n 个点的距离 Δx 。把测量值和计算结果填入表 1-4-1 中。

表 1-4-1 实验数据表

点数 n /个	点间隔数 $(n-1)$ /个	时间 Δt /s	位移 Δx /m

实验 2：测量沿斜面运动小车的瞬时速度

(1) 如图 1-4-4 所示，把打点计时器固定在斜面的顶端，将一辆系有纸带的小车放置在斜面上。接通打点计时器的电源，让打点计时器开始打点，然后放手让小车带动纸带运动，在纸带上打出一系列的点，记录下小车的运动信息。

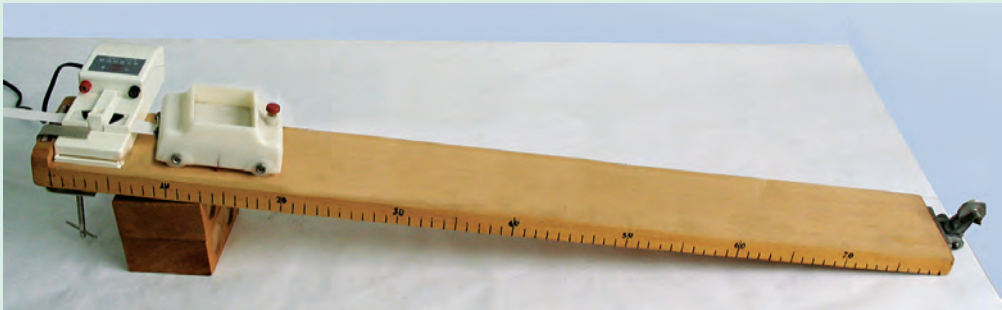


图 1-4-4 用打点计时器记录小车的运动信息

(2) 在纸带上选取点迹清晰的一段，将某个能看清的点标为 0，以后每隔 0.1 s 标一个计数点，相邻计数点间的位移为 s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 （如图 1-4-5 所示）。用刻度尺测量相邻计数点间的位移，将测量结果填入表 1-4-2 中。

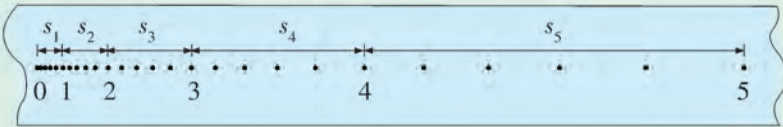


图 1-4-5 实验中选取的纸带

(3) 计算包含某个计数点在内的一段位移 Δx ，同时记录对应的时间 Δt （电源的频率 $f=50\text{ Hz}$ ），利用 $v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 计算该计数点的瞬时速度，将结果填入表 1-4-2 中。

表 1-4-2 相邻计数点间的位移和各计数点的速度

计数点	相邻计数点间的位移 s/m	各计数点的速度 $v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$
0	——	——
1	$s_1 =$	$v_1 =$
2	$s_2 =$	$v_2 =$
3	$s_3 =$	$v_3 =$
4	$s_4 =$	$v_4 =$
5	$s_5 =$	——

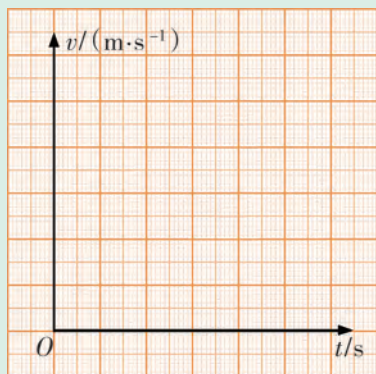


图 1-4-6 小车运动的 $v-t$ 图像

根据表中的数据，在图 1-4-6 中作出 $v-t$ 图像（以 0 计数点作为计时起点），并根据图像说明小车的运动情况。

数字计时器

数字计时器是一个可以将采集信息的时间显示出来的仪器。如图 1-4-7 所示的是由数字计时器和光电门组成的计时测量装置。光电门的外形像门，其一边安装发光装置，另一边安装光线接收装置，并都与数字计时器连接。当宽度一定的物体通过光电门时，光线被遮挡，数字计时器开始计时；当物体离开光电门时，数字计时器停止计时。这样就可以记录物体遮挡一个光电门光线的短暂时间。数字计时器还可以记录物体经过两个光电门之间的时间以及测量物体运动的瞬时速度和平均速度。

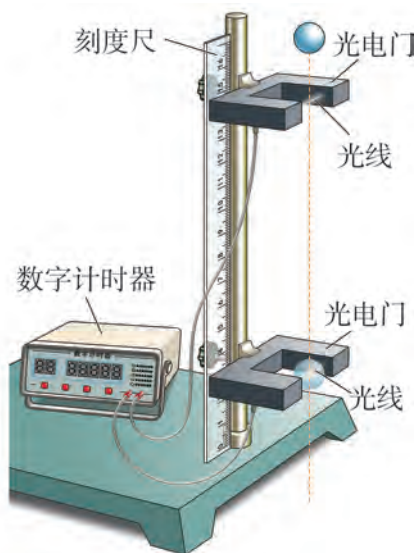


图 1-4-7 由数字计时器和光电门组成的计时测量装置



实践与拓展

查阅资料，以“人类历史上的计时工具”为主题，做一个小课题研究。

练习

1. 通过网络查阅电磁打点计时器和电火花计时器的说明书，说一说两者之间的相同点与主要区别.

2. 如图 1-4-8 所示是甲、乙两个物体运动的 $v-t$ 图像，试说明它们的速度是怎样变化的.

3. 如图 1-4-9 所示是一名同学使用打点计时器得到的一条纸带，请分析判断，该纸带在什么范围内做匀速直线运动，在什么范围内做变速直线运动？并说明理由.

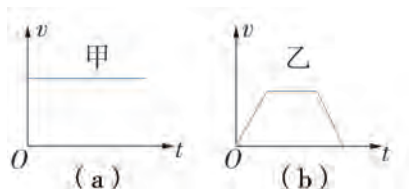


图 1-4-8



图 1-4-9

4. 在学校运动会中，某同学以 12.21 s 的成绩获得高一年级 100 m 赛跑的冠军. 请在图 1-4-10 中粗略画出这名同学在比赛中的 $v-t$ 图像.

5. 如图 1-4-11 所示是用打点计时器测小车瞬时速度时得到的一条纸带的一部分. 从 0 点开始，依照打点的先后次序标为 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, …, 现在量得 0, 1 点的间距 $x_1 = 5.18$ cm, 1, 2 点的间距 $x_2 = 4.40$ cm, 2, 3 点的间距 $x_3 = 3.62$ cm, 3, 4 点的间距 $x_4 = 2.78$ cm, 4, 5 点的间距 $x_5 = 2.00$ cm, 5, 6 点的间距 $x_6 = 1.22$ cm. (电源的频率 $f = 50$ Hz)

(1) 根据上面的记录，计算小车在 1, 2, 3, 4, 5 点时的速度并填在表 1-4-3 中.

(2) 根据表 1-4-3 中的数据，在图 1-4-12 中描绘出小车的 $v-t$ 图像.

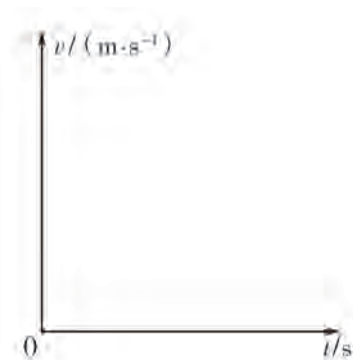


图 1-4-10

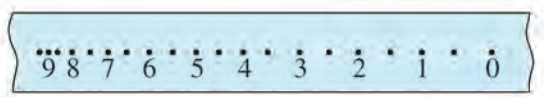


图 1-4-11

表 1-4-3 数据记录表

位置	1	2	3	4	5
$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$					

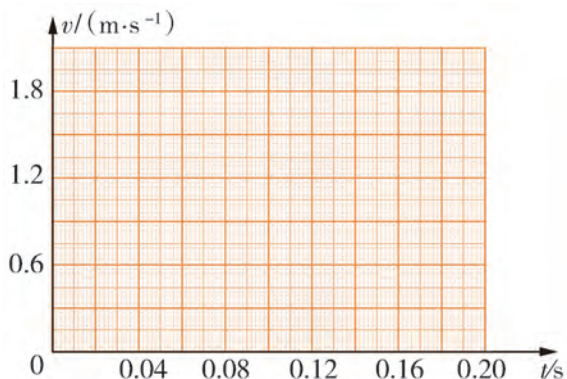


图 1-4-12

第五节

加速度



物体运动的速度常常在变化，如电梯的升降、篮球在空中的运动等。我们通常用“加速”和“减速”这两个用语来描述物体运动中速度的大小变化的情况。人们日常所说的“加速”是指“提高速率”或“速度逐渐增大”，“减速”是指“减小速率”或“速度逐渐减小”。这两个用语可否用于精确描述物体运动速度的变化情况呢？在物理学中，可否引入一个统一的概念来描述物体运动速度变化的快慢呢？

认识加速度



讨论与交流

一架飞机以 200 m/s 的速度匀速飞行；一辆汽车从静止开始经过 20 s 后，其速度变为 20 m/s；一名运动员冲刺后的速度由 10 m/s 经过 5 s 变为零。

- (1) 哪一个物体的速度变化最大？哪一个物体的速度变化最小？
- (2) 哪一个物体的速度变化要快一些？判断的依据是什么？
- (3) 运动速度越大的物体，其速度变化越大吗？

通过上面的讨论可知，物体的速度变化有快有慢，速度变化的大小并不能描述物体速度变化的快慢。速度变化的快慢，既与速度变化的大小有关，也与相应的时间有关。为此，我们引入一个新的物理量来描述物体运动速度变化的快慢。

物体的**加速度**（acceleration）等于物体速度的变化（ $\Delta v = v_t - v_0$ ）与发生这一变化所用时间 t 之比，用符号 a 表示，即

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \quad (1.5.1)$$

式中 v_0 表示开始时刻的速度，称为初速度， v_t 表示结束时刻的速度，称为末速度。

在国际单位制中，加速度的单位是米每二次方秒，符号是 m/s^2 或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ 。

1 m/s^2 的加速度究竟有多大呢？我们把斜面的高度调节为斜面长度的 $\frac{1}{10}$ ，让小球在斜面槽上滚下，小球在这个斜面槽上运动的加速度大约是 1 m/s^2 ，其含义为小球每秒的速度变化量是 1 m/s 。

加速度的方向

两个物体以相同大小的速度变化率运动，但速度的变化情况不同，有可能一个速度越来越大，另一个速度越来越小。因此，仅凭速度变化率的大小不能完全反映速度变化的情况。

加速度是速度的变化率。物体速度的任何变化，不论是速度的增大、减小还是方向的改变，都会有加速度。

加速度是矢量，不仅有大小，而且有方向。加速度定义式 (1.5.1) 中时间 t 属于没有方向的标量，因此加速度 a 的方向跟速度变化量 Δv 的方向相同。

在直线运动中，若取初速度的方向为正方向，则 a 的方向可用正、负号来表示。在加速直线运动中，加速度的方向和初速度的方向相同， a 为正值，如图 1-5-1 (a) 所示。在减速直线运动中，加速度的方向和初速度的方向相反， a 为负值，如图 1-5-1 (b) 所示。



图 1-5-1 加速度的方向

如果物体的加速度保持不变，该物体的运动就是匀变速运动。匀变速运动又分为**匀变速直线运动**和**匀变速曲线运动**。在本书中，如果没有特别说明，均是研究匀变速直线运动。如同平均速度与瞬时速度那样，加速度也有平均加速度和瞬时加速度之分。在匀变速运动中，速度随时间均匀变化，其瞬时加速度与一段时间内的平均加速度相同。

例题：某高层建筑物内有一台正在向上运行的电梯，乘客按下楼层键后，电梯的速度在 1.5 s 内由 2.4 m/s 均匀减小到零。求该电梯的加速度。

分析：电梯的速度是均匀减小的，即电梯在做匀变速直线运动。考虑到速度和加速度都是有方向的矢量，解题时要先选定一个正方向。若选定电梯初速度的方向为正方向，则加速度为负值。

解：电梯在做匀变速直线运动，选取竖直向上（初速度的方向）为正方向。根据加速度的定义，可得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 2.4}{1.5} \text{ m/s}^2 = -1.6 \text{ m/s}^2.$$

电梯的加速度的大小为 1.6 m/s^2 ，方向竖直向下。

$v-t$ 图像中的加速度表示

通过 $v-t$ 图像, 我们不仅能够描述物体运动的速度随时间变化的情况, 还能知道物体运动的加速度.



讨论与交流

图 1-5-2 中两条直线 b_1 , b_2 分别是两个物体运动的 $v-t$ 图像, 哪个物体运动的加速度比较大?

我们可以从直线上任意选择间隔较大的两点. 这两个点间的速度变化量为 Δv , 时间间隔为 Δt . 由加速度的定义式

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ 可求出加速度的大小.}$$

由图 1-5-2 可知, 直线 b_1 的斜率比直线 b_2 的斜率更大, 也就是我们常说的更陡些, 所以直线 b_1 所对应物体的加速度大.

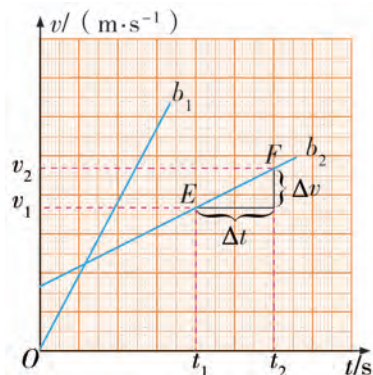


图 1-5-2 从 $v-t$ 图像
看物体的加速度



练习

1. “上海磁悬浮列车的最高速度可达 430 km/h, 所以它的加速度一定很大.” 这一说法对吗? 为什么?

2. 运载火箭在点火后的极短时间内, 速度的变化是很小的, 那么它的加速度一定很小吗?

3. 关于加速度, 下列说法是否正确? 为什么?

(1) 加速度为零的物体一定处于静止状态.

(2) 有加速度的物体, 其速度一定增加.

(3) 物体的速度有变化, 则一定具有加速度.

(4) 加速度越大, 则物体速度的变化量一定越大.

4. 如图 1-5-3 所示是一客运电梯某段时间内上升的 $v-t$ 图像, 则前 2 s 内、2~6 s、6~10 s 电梯运动的加速度各为多少?

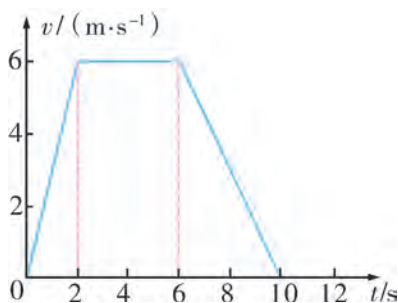
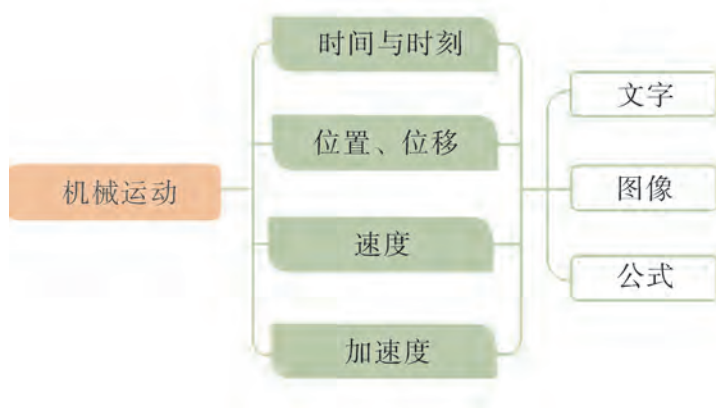


图 1-5-3

本章小结

知识结构

参考下面的知识结构，请进一步梳理本章的知识。



回顾与评价

1. 本章学习的质点模型有何意义？其建构过程对学习物理有何启示？
2. 结合生活中的运动例子，说一说如何用本章学习的物理量进行描述。
3. 在建构瞬时速度和平均速度概念的过程中，主要用到了哪些研究问题的方法？
4. 本章学习了哪些测量速度的方法？
5. 本章学习的内容有哪些比较难理解？我们如何克服学习中遇到的困难？

习题一

1. 2013 年 11 月 26 日上午,我国第一艘航空母舰辽宁舰(如图 1-1 所示)在海军导弹驱逐舰沈阳舰、石家庄舰和导弹护卫舰烟台舰、潍坊舰的伴随下赴南海进行训练.下列说法正确的是().



图 1-1

A. 辽宁舰上的观察员感觉海水向后退,他选择的参考系是海水

B. 辽宁舰上的观察员感觉海水向后退,他选择的参考系是航空母舰

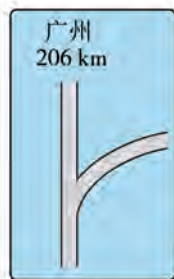
C. 辽宁舰上的观察员感觉其他舰没有动,则其他舰一定是静止的

D. 辽宁舰上的观察员感觉白云没有动,则航空母舰一定是静止的

2. 为了使交通安全、有序,公路旁设置了许多交通标志.如图 1-2 所示,甲是限速标志,表示允许行驶的最大速度是 80 km/h ;乙是路线指示标志,表示从此处到广州还有 206 km .下列对这两个数据的理解正确的是().



甲



乙

图 1-2

A. 甲表示瞬时速度,乙表示位移

B. 甲表示瞬时速度,乙表示路程

C. 甲表示平均速度,乙表示位移

D. 甲表示平均速度,乙表示路程

3. 频闪照片是用照相机在时间间隔相同的连续闪光下拍摄的,能在一张底片上经过多次曝光,记录下物体连续运动过程中的各个状态,得到物体的运动轨迹.如图 1-3 所示是一张小球做单向直线运动的频闪照片示意图,频闪周期为 0.04 s ,则小球在图中三段频闪过程中平均速度的大小是().

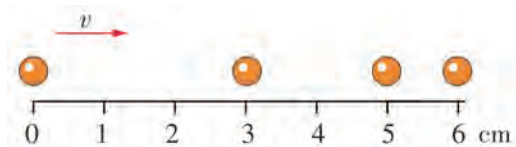


图 1-3

A. 1.80 m/s

B. 1.50 m/s

C. 0.60 m/s

D. 0.50 m/s

4. 如图 1-4 所示, 由于风的缘故, 河岸上的旗帜向右飘. 而两条船上的旗帜分别向右和向左飘. 两条船的运动状态是 ().

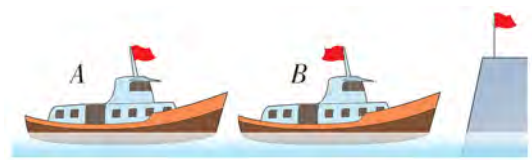


图 1-4

- A. A 船肯定是向左运动的
 - B. A 船肯定是静止的
 - C. B 船肯定是向右运动的
 - D. B 船可能是静止的
5. 关于速度、速度的变化和加速度的关系, 下列说法中可能正确的是 ().
- A. 若速度变化的方向为正, 则加速度的方向为负
 - B. 物体加速度增大, 速度反而越来越小
 - C. 速度越来越大, 加速度反而越来越小
 - D. 速度的方向为正, 速度变化的方向为负

6. 如图 1-5 所示, 汽车向右沿直线运动, 原来的速度是 v_1 , 经过一小段时间之后, 速度变为 v_2 , Δv 表示速度的变化量. 由图中所示信息可知 ().

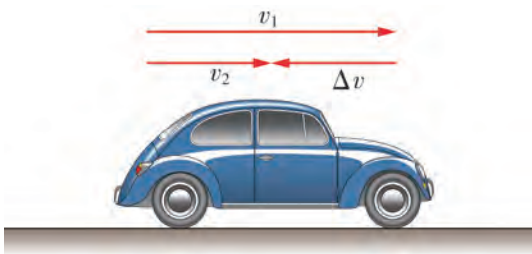


图 1-5

- A. 汽车在做加速直线运动
 - B. 汽车的加速度方向与 v_1 的方向相同
 - C. 汽车的加速度方向与 v_1 的方向相反
 - D. 汽车的加速度方向与 Δv 的方向相反
7. 一列火车和一辆汽车沿直线做匀变速运动, 其速度分别为 v_1 和 v_2 . v_1, v_2 在各个时刻的大小如表 1-1 所示. 从表 1-1 中的数据可以看出 ().

表 1-1 火车与汽车各个时刻的速度

t/s	0	1	2	3	4
$v_1/(m \cdot s^{-1})$	18.0	17.5	17.0	16.5	16.0
$v_2/(m \cdot s^{-1})$	9.8	11.0	12.2	13.4	14.6

- A. 火车的速度变化较慢
 - B. 汽车的加速度较小
 - C. 火车的位移在减小
 - D. 汽车的位移在增大
8. 通过打点计时器在纸带上打出的点迹, 可以记录纸带的运动时间. 如果把纸带和运动的物体连接在一起, 纸带上的点就相应地表示出运动物体在不同时刻的位置. 研究纸带上的点与点之间的间隔, 就可以了解运动物体在不同时间内发生的位移, 从而了解物体的运动情况. 请用简洁的语言描述如图 1-6 所示每条纸带记录的物体的运动情况.

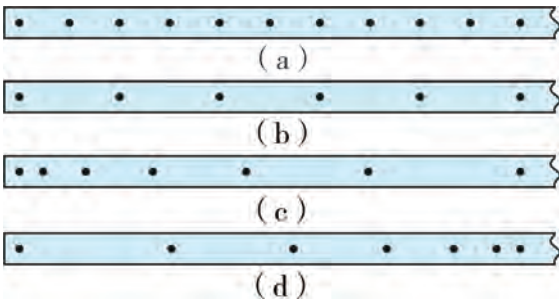


图 1-6

9. 2016 年 12 月 11 日零时 11 分, 我国在西昌卫星发射中心用“长征三号”运载火箭成功发射“风云四号”卫星(如图 1-7 所示). 经五次机动变轨, 12 月 17 日, “风云四号”卫星成功定点于东经 99.5° 赤道上空, 距离地球 36 000 千米. “风云四号”卫星实现了我国静止轨道气象卫星的升级换代和技术跨越, 将大幅提高我国天气预报和气候预测的能力.



图 1-7

(1) 上述材料中的静止轨道气象卫星最终定点在东经 99.5° 赤道上空, 是以什么为参考系来描述卫星的运动的?

(2) 人们把具有上述特点的卫星称为同步卫星. 除了用于气象监测外, 同步卫星还有什么用途?

10. 一名同学从操场中心 A 出发, 向北走了 40 m, 到达点 C , 然后向东走了 30 m, 到达点 B . 用有向线段分别表示他第一次、第二次的位移和两次行走的合位移(即代表他的位置变化的最后结果的位移). 这三段位移的大小各是多少?

11. 某同学利用安装在铁轨上的声音传感器, 根据车轮通过两段铁轨交接处所发出的响声来估算火车的速度. 他从车轮发出的某一次响声开始计时, 并同时计算车轮发出响声的次数. 当他算到 21 次时, 表上显示的时间是 15 s. 已知每段铁轨长 12.5 m, 试根据这些数据估算出火车的速度.

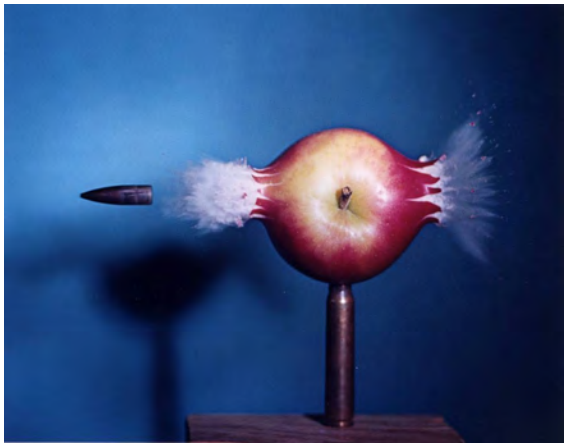


图 1-8

12. 如图 1-8 所示是利用高速摄影机拍摄到的子弹穿透苹果瞬间的照片. 该照片经放大后分析出, 在曝光时间内, 子弹影像前后错开的距离为子弹长度的 1% ~ 2%. 已知子弹飞行速度约为 500 m/s, 试估算出这幅照片的曝光时间.

13. 有些国家的交通管理部门为了交通安全, 特别规定了死亡加速度为 $500g$ ($g = 10 \text{ m/s}^2$), 以警告世人, 意思是如果行车加速度超过此值将有生命危险. 那么大的加速度, 一般情况车辆是达不到的, 但如果发生交通事故, 就有可能达到这一数值.

(1) 一辆以 72 km/h 的速度行驶的汽车在一次事故中撞向停在大路上的大货车, 设大货车没有被撞动, 汽车与大货车的碰撞时间为 $2 \times 10^{-3} \text{ s}$, 汽车驾驶员是否有生命危险?

(2) 若汽车内装有安全气囊, 缓冲时间为 $1 \times 10^{-2} \text{ s}$, 汽车驾驶员是否有生命危险?

14. 为保障行车安全, 车辆在道路上行驶时, 需要与前车保持一定的安全距离. 通过查阅汽车技术信息, 结合路面建筑物分布和道路限速要求, 试设计一个方案, 保障各类汽车在某路段安全行驶.



第二章

匀变速直线运动

现代交通工具在给人们的生产、生活带来便利的同时，也带来了交通安全事故等社会问题。频繁发生的交通事故时刻提醒人们：珍惜生命，注意交通安全。其实，交通安全与人们对变速运动规律的认识密切相关。

做匀速直线运动的物体其速度不随时间而变化。实际上，生活中大多数物体的运动都是变速运动，如飘落的树叶、投掷出去的铅球、踢出去的足球等，它们的运动情况比较复杂。如果物体沿着直线运动，并且速度随时间的变化是均匀的，那么这是一种最简单的变速运动，称为“匀变速直线运动”。在平直的轨道上行驶的高速列车遇到紧急情况刹车时的运动，公交车从车站开出或进站的一段时间内的运动，滑板运动员站在滑板上从坡顶滑下或从坡底滑上时的运动等，都可以近似看成是匀变速直线运动。

本章将通过实验探究、科学推理与数学推演相结合的方法，探究匀变速直线运动的特点和规律。通过日常经验与科学实验的思维碰撞，探究自由落体运动的特点与规律。通过科学模型的建构过程，领略科学思维的魅力。

第一节 匀变速直线运动的特点

意大利物理学家伽利略经过大量的实验研究后，认为从静止开始，在相同的时间内，速度变化相同的运动是最简单的变速直线运动。从倾斜直槽滚下的小球的运动就是这样的运动。现在我们就从这种最简单的变速直线运动开始学习。

匀变速直线运动的速度特点

我们通过实验，探究小球沿倾斜直槽运动速度变化的特点。



实验与探究

如图 2-1-1 所示，将直径 $D=0.02\text{ m}$ 的小球从紧靠竖直支架 A 的位置由静止释放，小球沿着粗糙程度均匀的倾斜直槽向下滚动。

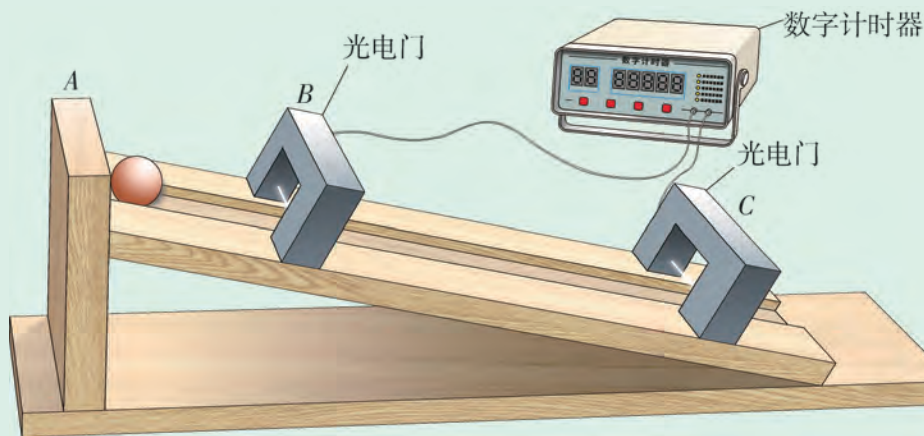


图 2-1-1 探究小球沿倾斜直槽运动的速度变化特点

在实验操作前，注意思考以下问题：

- (1) 如何测量小球经过光电门 B 、 C 的瞬时速度？
- (2) 如何计算小球在两个光电门 B 、 C 之间的平均速度？
- (3) 需要测量和记录哪些数据？

用数字计时器分别采集小球经过 B 、 C 两个光电门的时间，计算得到小球通过光电门 B 、 C 的瞬时速度。这两个瞬时速度就是小球在 B 、 C 之间运动时的初速度和末速度。从同一位置 A 再次由静止释放小球，通过数字计时器测量小球经过两个光电门之间的时间，完成一次测量。改变光电门 C 的位置，重复上述操作过程，将五次测量获得的实验数据填入表 2-1-1 中。

表 2-1-1 小球经过两个光电门实验数据表

小球直径 $D=0.02\text{ m}$

项 目	实验次数				
	1	2	3	4	5
小球经过光电门 B 的遮光时间 t_1/s					
小球经过光电门 B 的瞬时速度 $v_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$					
小球经过光电门 C 的遮光时间 t_2/s					
小球经过光电门 C 的瞬时速度 $v_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$					
小球经过两个光电门之间的位移 s/m					
小球经过两个光电门之间的时间 t/s					

以小球经过两个光电门之间的时间 t 为横轴，小球经过光电门的速度 v 为纵轴，在图 2-1-2 中描点作出小球运动的 $v-t$ 图像。

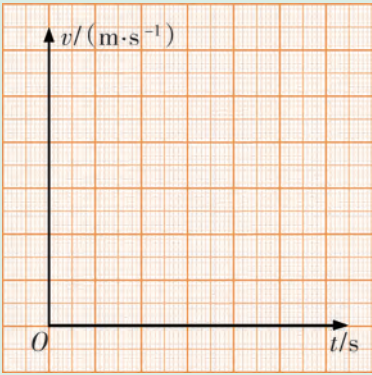


图 2-1-2 小球运动的 $v-t$ 图像

由图像可知，各点在 $v-t$ 图像中可大致拟合成一条直线，这说明小球在倾斜直槽内运动时，速度随时间均匀地变化，即在相等时间内速度的变化相等。根据加速度的定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 可知，小球在倾斜直槽内的加速度不变。在物理学上，我们把加速度恒定不变的变速直线运动叫作匀变速直线运动。

采集实验数据并在直角坐标系中进行描点，研究这些点所组成的图线从而发现规律，是科学探究的基本方法之一。

匀变速直线运动的速度特点：做匀变速直线运动的物体，在相等时间内的速度变化相等，加速度恒定.

匀变速直线运动的位移特点

图 2-1-1 的实验研究表明，小球在倾斜直槽内的运动是匀变速直线运动. 下面用同一装置来研究匀变速直线运动的位移特点.

观察与思考

将小球从紧靠竖直支架 A 的位置由静止释放，小球沿着倾斜直槽向下运动. 用频闪照相机对小球的运动进行拍照，示意图如图 2-1-3 所示.

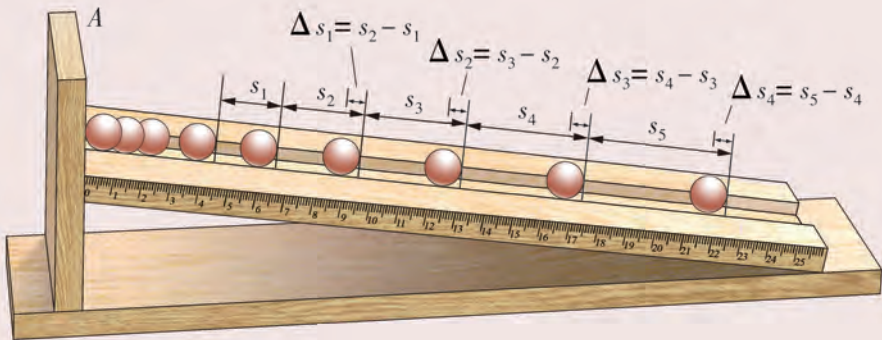


图 2-1-3 研究小球沿倾斜直槽运动的位移变化特点

根据上图对应刻度上的示数，选取连续的几段，对位移的变化进行研究，可以发现什么规律？

从上面的研究可以发现，每一相等时间内的位移不相等而且在增加，即图 2-1-3 中的 $s_1 < s_2 < s_3 < s_4 < s_5$. 但每一连续相等时间内增加的位移是相等的，即图 2-1-3 中的 $\Delta s_1 = \Delta s_2 = \Delta s_3 = \Delta s_4$.

匀变速直线运动的位移特点：做匀变速直线运动的物体，在任意两个连续相等的时间内的位移之差是相等的.

伽利略对匀变速运动的研究

伽利略作为成功地研究匀变速运动的物理学家，提出了匀变速运动的定义，并且通过实验证明了他给出的定义符合许多常见的变速运动。

在伽利略的时代，技术比较落后，通过直接测定瞬时速度来验证一个物体是否做匀变速运动是困难的。但是，伽利略应用巧妙的数学推理，得出初速度为零的匀变速运动物体经过的距离与所用时间的平方成正比，即 $s \propto t^2$ 。这样，只要测出做变速运动的物体经过不同距离所用的时间，就可以验证这个物体是否在做匀变速运动。这在当时的实验技术条件下是可以做到的。

在推导出 $s \propto t^2$ 以后，伽利略着手进行实验验证。他让一个铜球沿斜面滚下，做了上百次的实验，终于证明了他得出的匀变速运动规律是正确的。他写的《两种新科学的对话》一书，具体介绍了他的实验方法和过程：

“取长为 12 库比特（注：古时欧洲用的一种长度单位，1 库比特 = 45.7 cm），宽约半库比特，厚约三指的木板，在边缘上刻一条一指多宽的槽。槽非常平直，经过打磨，在直槽上贴上一层羊皮纸，尽可能使之平滑。然后把一个非常圆且硬的光滑黄铜球放在槽中滚动。我们将木板的一头抬高一两个库比特，使之略



图 2-1-4 伽利略的斜面实验（油画）

倾斜。把球放在槽顶让它沿着槽滚下，记录滚下的时间。我们不止一次重复这一实验，使两次观测的时间相差不超过一次脉搏的 $\frac{1}{10}$ 。在完成这一步骤并确认其可靠性之后，让铜球滚下全程的 $\frac{1}{4}$ ，并测出滚下的时间。我们发现它刚好是滚下全程所需时间的 $\frac{1}{2}$ 。下一步，我们用另一些距离进行实验，把全程所用的时间与全程的 $\frac{1}{2}$ ， $\frac{2}{3}$ ， $\frac{3}{4}$ ，或者其他任何分数所用的时间相比较。像这样的实验，我们重复了整整一百次，结果总是经过的距离与时间的平方成比例，并且在各种不同坡度下进行实验，结果也都是如此……”

这个实验最关键的是测量小球滚下所用的时间。伽利略用的计时器是一架水钟，这是当时最准确的计时装置。对这种装置，伽利略做了如下的描述：

“为了测量时间，我们用了一个放在高处的大贮水容器。这个容器底部焊着一支直径很小的管子，从它得到很细的水柱。物体每次沿整个槽长或部分槽长

滚下的那段时间里，我们将流出的水用小杯子分别收集起来，在一个很准确的天平上称出水的重量；这些重量差及重量比就表明时间差及时间比。”

以上两段引用，不仅叙述了伽利略所使用的仪器设备和实验步骤，而且可见其严谨的科学态度。伽利略将实验与逻辑推理结合在一起探究科学真理的方法，为物理学研究开创了新的一页。

练习

1. 某人观察物体做直线运动时记录的数据如表 2-1-2 所示。

表 2-1-2 数据记录表

时间 t/s	第 1 s 内	第 2 s 内	第 3 s 内	第 4 s 内
位移 s/m	2	6	10	14

由此他判断该物体一定做匀加速直线运动。这个判断是否正确？为什么？

2. 下列说法是否正确？并简要说明理由。

(1) 任何一段位移的平均速度都相同，那么物体的加速度一定为零，物体一定做匀速直线运动。

(2) 若物体做初速度为零的匀加速直线运动，则物体的平均速度总是末速度的一半。

(3) 匀加速运动是加速度不变的运动，因此匀加速运动一定是直线运动。

3. 小车拖着穿过打点计时器的纸带做匀加速直线运动，如图 2-1-5 所示是实验时获得的一条纸带。

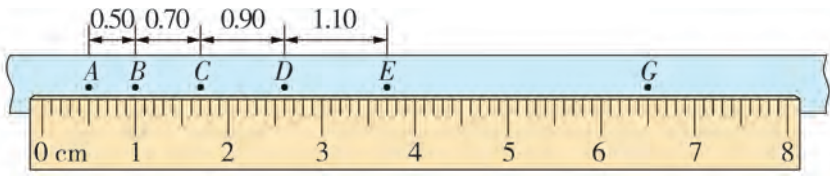


图 2-1-5

(1) A, B, C, D, E, F, G 是纸带上七个连续的点，点 F 由于不清晰而未画出。试根据纸带上的数据，推测点 F 的位置并在纸带上标出。

(2) 已知打点计时器电源频率为 50 Hz。根据纸带上的数据，求小车做匀加速直线运动的加速度 a 。（计算结果保留两位有效数字）

4. 匀速直线运动和匀变速直线运动有哪些不同？

第二节 匀变速直线运动的规律

当我们坐在行驶于平直公路上的汽车内时,如果汽车速度表的指针稳定在某一数值上,这时汽车做匀速直线运动.如果汽车从静止开始在平直公路上行驶,我们看到汽车速度表的指针从0开始随时间均匀地按顺时针转动指示10,20,30,⋯,这时汽车在做匀变速直线运动.假如汽车正以100 km/h的速度在高速路上行驶(如图2-2-1所示),该车与前面的车辆保持50 m的车距是否安全?学习了本节之后,我们就会明白在高速公路上行驶的车辆要保持一定前后车距的重要性.



图 2-2-1 在高速路上行驶的车辆要保持一定的前后车距

速度与时间的关系

通过实验研究,我们知道匀变速直线运动的物体在相等时间内的速度变化相等,加速度恒定.由加速度的定义式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$, 变形可得

$$v_t = v_0 + at \quad (2.2.1)$$

这就是匀变速直线运动速度随时间变化的关系,称为匀变速直线运动的速度公式.

我们可以用 $v-t$ 图像更形象直观地表达匀变速直线运动的速度与时间的关系.如图2-2-2所示,做匀变速直线运动物体的 $v-t$ 图像是一条倾斜的直线,直线与纵轴的交点即为物体的初速度.任意选取时间 t 的变化量 Δt , 对应速度 v 的变化量 Δv , Δv 与 Δt 之比都一样,也就是说直线的斜率 $k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{常数}$, 这个斜率就是物体运动的加速度,即物体运动的加速度恒定不变.

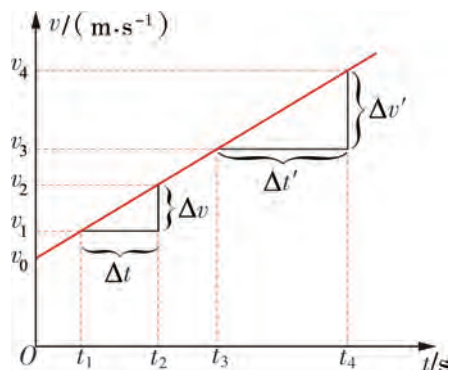


图 2-2-2 物体做匀变速直线运动的 $v-t$ 图像



讨论与交流

1. 如图 2-2-3 所示是三个质点运动的 $v-t$ 图像. 图线①②③表示的运动情况是怎样的? 图像中图线的交点表示什么含义?

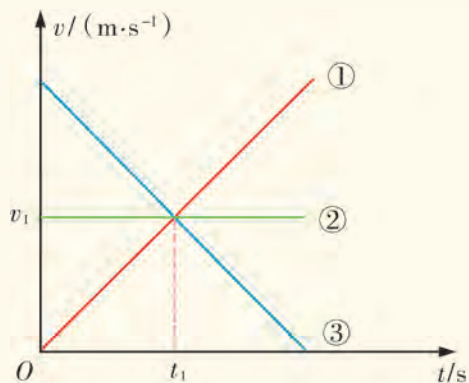


图 2-2-3 三个质点运动的 $v-t$ 图像

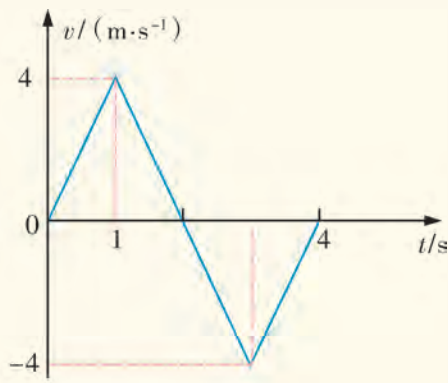


图 2-2-4 某质点运动的 $v-t$ 图像

2. 如图 2-2-4 所示是某质点运动的 $v-t$ 图像. 试描述该图像与物体运动实际情况的对应关系.

位移与时间的关系

如果物体做匀速直线运动, 它的速度 v 不随时间 t 变化, 其 $v-t$ 图像是一条平行于时间轴的直线, 如图 2-2-5 所示. 在时间 t 内的位移 $s = vt$, 正好对应着 $v-t$ 图像中阴影矩形的面积.

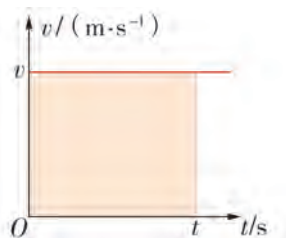


图 2-2-5 物体做匀速直线运动的 $v-t$ 图像



讨论与交流

某物体以初速度 v_0 做匀变速直线运动, 运动到时刻 t 的速度为 v_t , 其 $v-t$ 图像如图 2-2-6 所示. 在时间 t 内的位移是否对应 $v-t$ 图像中阴影梯形面积? 试证明.

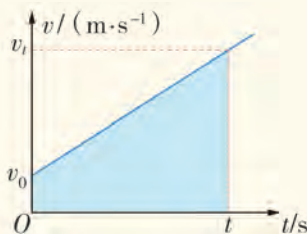


图 2-2-6 物体做匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

通过上述讨论可知, 以初速度 v_0 做匀变速直线运动的物体在时间 t 内位移的大小等于阴影梯形的面积.

由图 2-2-6 可知, 时间 t 内的位移 s 对应 $v-t$ 图像中阴影梯形面积, 即

$$s = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$$

把匀变速直线运动的速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

代入上式, 可得

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2.2.2)$$

式 (2.2.2) 中 a 为加速度, v_0 为初速度, s 为时间 t 内的位移.

这就是匀变速直线运动位移随时间变化的关系, 称为匀变速直线运动的位移公式.

速度与位移的关系

由匀变速直线运动的速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

及位移公式

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

消去 t 后, 可以推出一个新公式, 化简可得

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as \quad (2.2.3)$$

式 (2.2.3) 直接表明了初速度 v_0 、末速度 v_t 、加速度 a 和位移 s 之间的关系, 在解决很多实际问题时使用特别方便.

设在匀变速直线运动中, 物体的初速度为 v_0 , 经过两个连续相等的时间后末速度为 v_t , 中间时刻速度为 $v_{\frac{t}{2}}$, 则有

$$v_{\frac{t}{2}} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

$$v_t = v_{\frac{t}{2}} + \frac{1}{2}at$$

消去 $\frac{1}{2}at$, 整理可得

$$v_{\frac{t}{2}} = \frac{v_0 + v_t}{2} \quad (2.2.4)$$

式 (2.2.4) 表明, 在匀变速直线运动中, 某一段时间内中间时刻的瞬时速度等于该段时间内的平均速度.

例题：如图 2-2-7 所示，一艘快艇以 2 m/s^2 的加速度在海面上做匀加速直线运动，快艇的初速度是 6 m/s 。求这艘快艇在 8 s 末的速度和 8 s 内的位移。

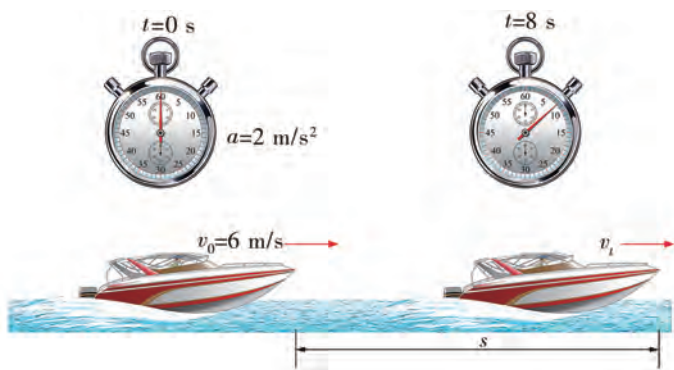


图 2-2-7 快艇做匀加速直线运动

分析：该快艇做匀加速直线运动，它的运动情况满足匀变速直线运动规律。已知加速度、初速度和运动的时间这三个物理量，可以直接运用公式得出结果。加速度和速度都有方向，解决问题的过程中必须选定一个正方向。

解：快艇的运动情况如图 2-2-7 所示。选定初速度方向为正方向，因快艇做匀加速直线运动，根据匀变速直线运动规律

$$v_t = v_0 + at,$$

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2.$$

代入数据，可得快艇在 8 s 末的速度为

$$v_t = v_0 + at = (6 + 2 \times 8) \text{ m/s} = 22 \text{ m/s}.$$

快艇在 8 s 内发生的位移为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 = \left(6 \times 8 + \frac{1}{2} \times 2 \times 8^2 \right) \text{ m} = 112 \text{ m}.$$

即此快艇在 8 s 末的速度为 22 m/s ， 8 s 内经过的位移是 112 m 。

在本例题中，由于先求得 8 s 末速度，所以在求 8 s 内经过的位移时，我们也可利用公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 求解。



讨论与交流

如果该快艇以 2 m/s^2 的加速度做匀减速直线运动，其解答过程是不是上述解答过程的简单重复呢？说明理由。

另类匀变速直线运动

伽利略在猜测落体运动规律时考虑了两种可能：一种是速度的变化对时间来说是均匀的，即 v 与 t 成正比；另一种是速度的变化对位移来说是均匀的，即 v 与 x 成正比。后来发现，如果 v 与 x 成正比，将会推导出十分复杂的结论。所以，伽利略开始通过实验来检验 v 与 t 成正比的猜想是否正确。

1638 年，伽利略在《两种新科学的对话》中，不仅定义了速度与加速度等描述运动的物理量，而且把实验和逻辑推理和谐地结合起来，验证了自由落体运动是初速度为零的匀变速直线运动，即 v 与 t 成正比。著名物理学家爱因斯坦曾称赞道：“伽利略的发现以及他所应用的科学的推理方法，是人类思想史上最伟大的成就之一，而且标志着物理学的真正开端。”

伽利略基于最简单的变速直线运动的速度随时间均匀变化，定义了现行高中物理教科书所呈现的加速度的定义 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ 。如果按照最初伽利略的“速度随位移均匀变化”的猜想，“加速度”就可以定义为 $A = \frac{\Delta v}{\Delta x}$ 。人们通常将这种在相等位移内速度变化相等的单向直线运动称为“另类匀变速直线运动”。



练习

1. 试证明做匀变速直线运动的物体的平均速度 $\bar{v}$ 等于其初速度 v_0 与末速度 v_t 之和的一半，即 $\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)$ 。
2. 物体做匀加速直线运动，加速度为 4 m/s^2 。下列说法哪些是正确的？并简要说明理由。
 - (1) 任何 1 s 的末速度比初速度大 4 m/s 。
 - (2) 任何 1 s 的初速度比前 1 s 的初速度大 4 m/s 。
 - (3) 物体运动的速度与经过的时间成正比，第 2 s 末的速度是第 1 s 末的速度的 2 倍。
 - (4) 运动中增加的速度与所需的时间成正比，且增加的速度方向始终和加速度方向相同。
3. 训练场上，足球被踢出后在水平草地上做匀减速运动，加速度的大小为 0.6 m/s^2 ，经过 20 s 停下来。求足球被踢出时速度的大小。
4. 某住宅楼的升降电梯向上运动的 $v-t$ 图像如图 2-2-8 所示。分别求出 $0 \sim 2 \text{ s}$ 、 $2 \sim 5 \text{ s}$ 、 $5 \sim 6 \text{ s}$ 内的加速度，指出哪段时间内运动最快，哪段时间内速度变化最快。求出 $0 \sim 6 \text{ s}$ 内通过的位移。
5. 某一可被视为质点的物体做匀加速直线运动，初速度为 0.5 m/s ，加速度为 1.0 m/s^2 ，在某一秒内通过的位移为 5.0 m 。求这一秒前物体运动的时间。

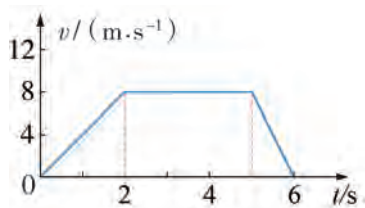


图 2-2-8

第三节

测量匀变速直线运动的加速度

通过第一节的实验研究，我们知道了匀变速直线运动的特点：速度均匀变化，加速度恒定；连续相等时间内的位移不等，而位移变化量相等。本节我们利用打点计时器，通过实验测量匀变速直线运动的瞬时速度和加速度。

设物体做匀变速直线运动的加速度为 a ，如图2-3-1所示，在两个连续相等时间 T 内的位移分别为 s_1 ， s_2 ，通过 A ， B ， C 时的速度分别为 v_A ， v_B ， v_C ，则

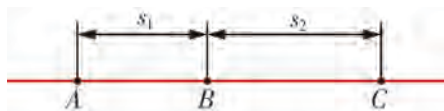


图2-3-1 做匀变速直线运动的物体在两个连续相等时间里的位移

$$s_1 = v_A T + \frac{1}{2} a T^2, \quad s_2 = v_B T + \frac{1}{2} a T^2$$

又

$$v_B = v_A + aT$$

由此可以推导出

$$\Delta s = s_2 - s_1 = aT^2$$

$$a = \frac{\Delta s}{T^2} \quad (2.3.1)$$

$$v_B = \frac{s_1 + s_2}{2T} \quad (2.3.2)$$

式(2.3.1)表明，匀变速直线运动的加速度等于两个连续相等时间里的位移变化量与这个时间平方之比。

式(2.3.2)表明，匀变速直线运动的物体，在两个连续相等时间里，中间时刻的速度等于这两段时间里的平均速度。



实验与探究

利用打点计时器、纸带、复写纸、交变电源、小车、细绳、一端附有定滑轮的长木板、刻度尺、钩码、导线等器材测量匀变速直线运动的加速度。

在实验操作之前，请思考下列问题.

- (1) 本实验的原理和方法是什么？
- (2) 本实验要解决的关键问题是什么？

实验步骤如下：

(1) 如图 2-3-2 所示，把一端附有定滑轮的长木板平放在实验桌上，将滑轮端伸出桌面. 将打点计时器固定在木板上没有滑轮的一端，连接好电路（若使用电磁打点计时器，接 4~6 V 的低压交流电源；若使用电火花计时器，接 220 V 的交流电源）.

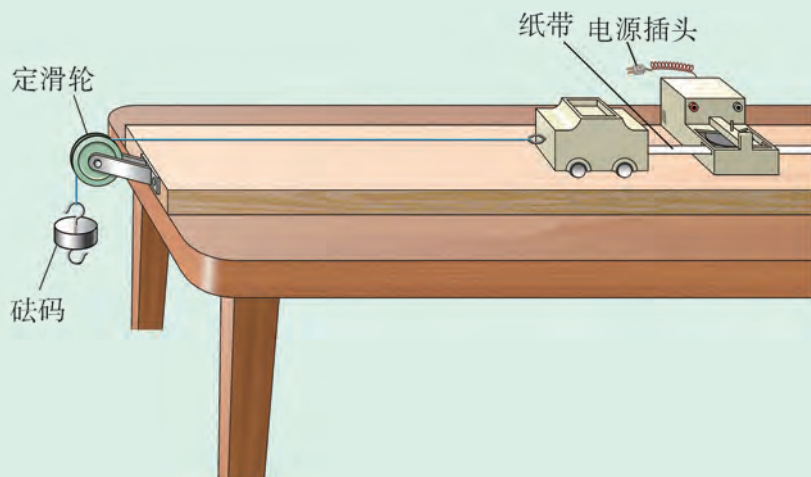


图 2-3-2 研究匀变速直线运动的实验装置

(2) 在让纸带穿过打点计时器的限位孔后，将其一端夹在小车尾部正中央. 把小车靠近打点计时器，在小车前端系上细绳. 细绳、纸带与木板平行，且细绳、纸带、限位孔要在一条直线上. 细绳长度略短于定滑轮离地的高度. 细绳跨过定滑轮，挂上适量的钩码.

(3) 启动打点计时器，然后释放小车，让它拖着纸带运动，适时阻止小车与滑轮相碰. 及时关闭电源，更换纸带，重复做三次.

(4) 选择点迹清楚、没有漏点的纸带，舍弃开始点迹密集的一段，找一个合适的点作为开始点. 为了测量方便和提高测量精度，把每打五次点的时间作为时间单位，则时间间隔 $T=0.02\text{ s}\times 5=0.1\text{ s}$.

确定恰当的计数点，并标上序号 0, 1, 2, 3, ..., 如图 2-3-3 所示. 每两个相邻计数点间的距离分别为 $s_1, s_2, s_3, \dots$

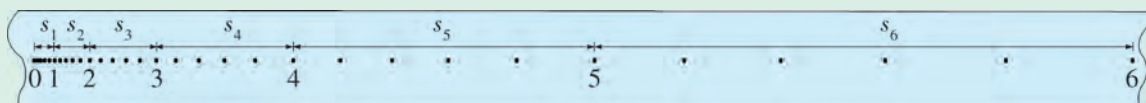


图 2-3-3 记录运动信息的纸带

(5) 设计实验数据记录表格，分析处理数据.



讨论与交流

(1) 根据匀变速直线运动的特点, 从纸带的运动信息分析判断小车的运动是不是匀变速直线运动.

(2) 选取哪些计数点计算此处的加速度比较合适? 说出理由并由此求出加速度的平均值 $\bar{a}$.

(3) 由 $\Delta s = aT^2$ 可以分析得出, $a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}$, $a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}$, $a_3 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2}$, 由此求出加速度的平均值 $\bar{a}$. 想一想, 为什么这样做能减小实验误差?

(4) 如何计算对应每一个计数点的小车瞬时速度, 然后求得小车做匀变速直线运动的加速度?

以如图 2-3-3 所示的纸带为例处理实验数据. 测量六段位移 $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$, 把测量结果填入表 2-3-1 中. 利用 $\bar{v} = \frac{s_i + s_{i+1}}{2T}$, 求得对应每一计数点的小车瞬时速度 v_i ; 利用 $a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2}$, $a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2}$, $a_3 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2}$, 分别求得 a_1, a_2, a_3 , 并将计算结果填入表 2-3-1 中.

表 2-3-1 实验数据记录表

计数点	位移 s/m	速度 $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	加速度 $a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
0	——	——	——
1	$s_1 =$	$v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2T} =$	——
2	$s_2 =$	$v_2 = \frac{s_2 + s_3}{2T} =$	——
3	$s_3 =$	$v_3 = \frac{s_3 + s_4}{2T} =$	——
4	$s_4 =$	$v_4 = \frac{s_4 + s_5}{2T} =$	$a_1 = \frac{s_4 - s_1}{3T^2} =$
5	$s_5 =$	$v_5 = \frac{s_5 + s_6}{2T} =$	$a_2 = \frac{s_5 - s_2}{3T^2} =$
6	$s_6 =$	——	$a_3 = \frac{s_6 - s_3}{3T^2} =$

小车做匀变速直线运动的加速度的平均值 $\bar{a} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} =$ _____.

我们也可以用图像法处理实验数据, 求出小车的加速度. 以 t 为横坐标、 v 为纵坐标建立直角坐标系, 如图2-3-4所示. 根据每一个计数点对应的时间和小车的瞬时速度, 作出最佳拟合曲线 (或直线), 尽量让各数据对称分布在这条曲线 (或直线) 的两侧.

如果没有实验误差的影响, 所作 $v-t$ 图像应该是一条倾斜的直线. 选取图线中容易读取的两个点 (t_1, v_1) 和 (t_2, v_2) , 根据 $k = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$ 求得直线的斜率, 即为小车运动的加速度 a .

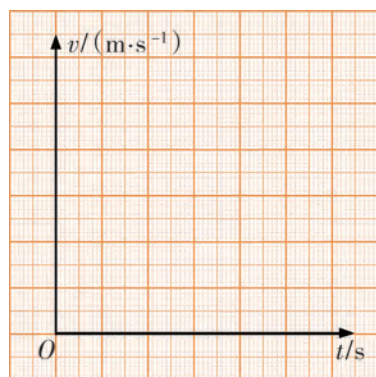


图2-3-4 小车的速度随时间变化的 $v-t$ 图像

练习

1. 实验室常用的电磁式打点计时器用的是频率为 50 Hz 的低压_____ (选填“直流”或“交流”) 电源. 某次实验连续打了一系列点的纸带如图2-3-5所示, 由此可以判断, 这段纸带的运动属于_____ (选填“匀速”或“匀变速”) 直线运动. 纸带上 AB 段运动的时间 $t =$ _____ s, AB 段的平均速度 $\bar{v} =$ _____ m/s. (计算结果保留三位有效数字)

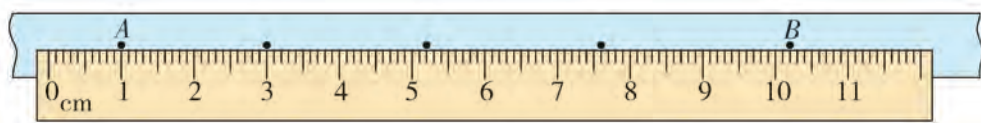


图2-3-5

2. 如图2-3-6所示是某同学在匀变速直线运动实验中获得的一条纸带.

(1) 已知打点计时器电源频率为 50 Hz, 则纸带上打相邻两点的时间间隔为_____.

(2) A, B, C, D 是纸带上的四个计数点, 每两个相邻计数点间有四个点没有画出. 从图2-3-6中读出 A, B 两点间距 $s =$ _____, 点 C 对应的速度是_____. (计算结果保留两位有效数字)

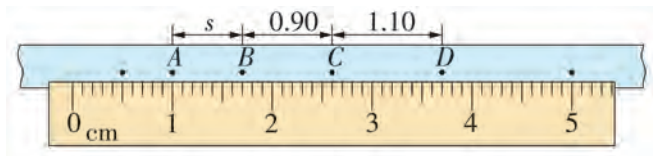


图2-3-6

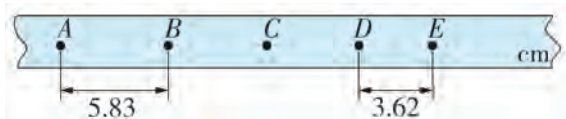


图2-3-7

3. 在“研究匀变速直线运动”的实验中, 小车拖着纸带运动, 打点计时器每隔 0.02 s 打一个点, 打出的纸带如图2-3-7所示. 选出 A, B, C, D, E 共五个计数点, 每相邻两点间还有四个点 (图中未画出). 已知靠近点 A 一端的纸带与小车相连, 由此可得小车运动的加速度的大小为_____ m/s^2 , 方向与小车的运动方向_____ (选填“相同”或“相反”); 打点 C 时, 小车运动的速度的大小为_____ m/s.

第四节

自由落体运动



物体由静止从某一高处下落的运动是一种常见的现象，如树叶从树上飘落下来，雨滴从空中落下来……你思考过这类现象吗？物体下落的运动有没有一定的规律可循呢？本节我们就一起经历对这种运动的探究之旅。

影响物体下落快慢的因素

在日常观察中，不同物体下落快慢是不同的。大多数人对落体运动都有这样的认识：重的物体比轻的物体下落快。例如，从树上落下的苹果就比飘下的树叶下落得快。但是，重的物体一定下落得快吗？

历史上，古希腊学者亚里士多德曾认为，重的物体下落快，轻的物体下落慢，并断言物体下落快慢是由它们的重量决定的。两千多年后，意大利的青年学者伽利略对亚里士多德的论断表示了怀疑。他认为，根据亚里士多德的论断，一块大石头的下落速度要比一块小石头的下落速度大。假定一块大石头的下落速度为8，小石头的下落速度为4，当我们把两块石头拴在一起时，大石头的下落速度会被小石头拖着而减慢，整个系统的下落速度应该小于8；但两块石头拴在一起，总的重量比大石头的重量还要大，因此整个系统下落的速度要比8还大。这样，就从“重的物体比轻的物体落得快”的前提推断出互相矛盾的结论。伽利略由此推断，重的物体不会比轻的物体下落得快。下面我们通过实验进一步探究影响物体下落快慢的因素。



实验与探究

1. 将面积相同的硬币和纸片同时从同一高度由静止释放。仔细观察，看看有什么发现。
2. 按表2-4-1中的实验内容进行实验，看看有什么发现，并将实验现象以及对应的结论填入表格中。

表 2-4-1 实验记录表

实验内容	实验结果	结论
两张一样的纸，将其中一张搓成团，另一张铺平，从同一高度同时由静止开始释放		
一张大纸和一张小纸，将小纸搓成团，大纸铺平，从同一高度同时由静止开始释放		

从上面的实验结果可以初步看出：物体下落快慢与物体的轻重无关.

自由落体运动

影响物体下落快慢的因素可能是下落过程中受到空气的阻力. 下面我们针对空气阻力因素来进行实验研究.

观察与思考

如图 2-4-1 所示，把形状和质量都不同的物体（如小金属片、小羽毛）放入一端封闭、另一端有开关的牛顿管. 在以下三种情况下，观察把牛顿管倒立过来后这些物体下落的快慢情况.

- (1) 牛顿管内有空气.
- (2) 牛顿管内的空气被抽出一些.
- (3) 牛顿管内空气被全部抽出（近似真空）.



图 2-4-1 牛顿管内物体的下落运动

实验结果表明，牛顿管内有空气时，金属片和羽毛下落的快慢不同；被抽去部分空气时，它们下落的快慢比较接近，被抽去的空气越多，它们下落的快慢就越接近；当把牛顿管中空气全部抽去后，它们下落的快慢就完全相同了。

由此可见，影响下落物体运动快慢的因素是空气阻力的作用，没有空气阻力时，轻重不同的物体只受重力作用，下落的快慢相同。

物体只在重力作用下从静止开始下落的运动，叫作**自由落体运动**（free - fall motion）。这种运动只有在真空中才能发生。在有空气存在的空间里，如果空气阻力的作用较小，可以忽略不计，物体的下落可以看作自由落体运动。

自由落体运动的规律

通过前面的学习，我们知道自由落体运动是初速度为零的加速直线运动。遵循简单性原则，我们猜想：自由落体运动是一种简单的加速运动，即匀加速直线运动。下面我们就来检验这一猜想。

讨论与交流

如图 2-4-2 所示是小球做自由落体运动的频闪照片，请根据照片提供的信息思考下列问题。

(1) 任意两个连续相等的时间里，小球下落的位移之差是否相同？是否验证了上述猜想？

(2) 如果猜想正确，小球做自由落体运动的加速度是多少？

自由落体运动是一种初速度为零的匀加速直线运动。在同一地点，一切物体自由下落的加速度都相同，方向总是竖直向下的，这个加速度叫作**自由落体加速度**，也叫**重力加速度**，用符号 g 表示，它的大小可以用实验的方法来测定。精确的实验表明，在地球不同的纬度， g 的大小是不同的，赤道地区的 g 为 9.780 m/s^2 ，北京的 g 为 9.801 m/s^2 。通常的计算可以把 g 取作 9.8 m/s^2 ，粗略计算可以把 g 取作 10 m/s^2 。表 2-4-2 列出了一些城市或地区重力加速度。

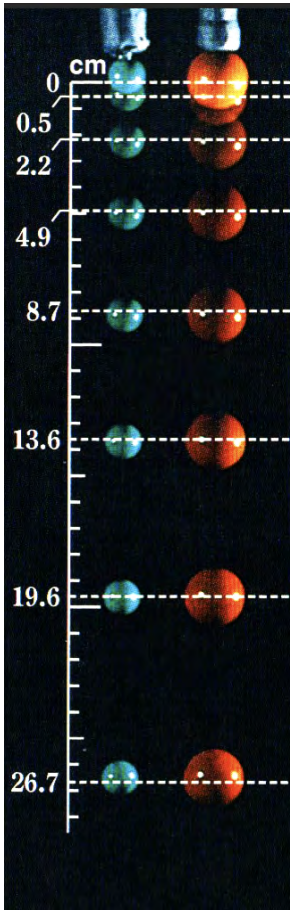


图 2-4-2 自由落体的频闪照片（曝光时间为 $\frac{1}{30} \text{ s}$ ）

表 2-4-2 一些城市或地区的重力加速度

城市或地区	纬度	重力加速度 $g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
赤道	0°	9.780
广州	$23^\circ06'$	9.788
武汉	$30^\circ33'$	9.794
上海	$31^\circ12'$	9.794
东京	$35^\circ43'$	9.798
北京	$39^\circ56'$	9.801
纽约	$40^\circ40'$	9.803
莫斯科	$55^\circ45'$	9.816
北极	90°	9.832

由于自由落体运动是初速度为零、加速度为重力加速度的匀加速直线运动，因此匀变速直线运动的基本公式及其推论都适用于自由落体运动，只需把初速度 v_0 取为零，并用 g 代替加速度 a 。

自由落体运动的速度公式和位移公式可以写成

$$v_t = gt$$

(2.4.1)

$$s = \frac{1}{2}gt^2$$

(2.4.2)

例题：如图 2-4-3 所示，椰子从距地面高度 h 为 20 m 的树上由静止落下。不计椰子下落时受到的空气阻力，取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求椰子落地的时间和到达地面时的速度。

分析：椰子下落过程是初速度为零的匀加速直线运动，忽略空气阻力影响，椰子做的是自由落体运动，可以运用自由落体运动规律求解。物体运动的加速度和速度都是矢量，解题时要考虑其方向性，首先要选定一个正方向。本题选定竖直向下为正方向。

解：选定椰子最初下落点为位移的起点，竖直向下为正方向。由自由落体运动的位移公式

$$h = \frac{1}{2}gt^2,$$



图 2-4-3 椰子树

可得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{10}} \text{ s} = 2 \text{ s}$.

又 $v = gt = 10 \times 2 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$.

即椰子下落到地面的时间是 2 s，瞬时速度大约是 20 m/s.

速度的计算也可应用匀变速直线运动的推论 $v^2 = 2gh$ 求解.



实践与拓展

1. 查阅资料，了解亚里士多德关于力与运动的主要观点和研究方法.
2. 查阅资料，了解伽利略研究自由落体运动的实验和推理方法.

微重力落塔

物体的自由落体运动在科研上可以应用于微重力科学等领域的研究. 中国科学院力学研究所于 2000 年建成了微重力落塔（如图 2-4-4 所示），它是我国自行研制的地基微重力实验设施，是继德国 Bremen 落塔（ZARM）之后世界上第二座在地面上建成的超百米落塔.

中国科学院微重力落塔高 116 m，能使自由落体实验获得 3.60 s 的微重力时间，微重力水平可达到 $10^{-5} g$ 量级. 落塔配有先进的测量、监测与控制设备，为微重力研究提供了良好的模拟环境，可以开展我国空间计划重要项目的预先研究.

落塔可进行流体物理、非金属材料燃烧、液体管理等微重力实验研究，为航天飞行器载荷搭载实验及其防火技术预研提供了便利的实验手段. 在某种程度上，中国科学院微重力落塔标志着我国在微重力科学和应用领域内的发展水平.



图 2-4-4 中国科学院微重力落塔

练习

1. 根据图 2-4-5 所示的漫画讨论：它们采用了什么方法估测洞的深度？请指出这种方法的优点与不足。



图 2-4-5

2. 人对周围发生的事情，都需要一段时间来作出反应。从人发现情况到采取行动所经历的时间，被称为反应时间。下面的实验能测出反应时间。如图 2-4-6 所示，让甲同学在乙同学的手部正上方捏住一把直尺，乙同学的大拇指与食指之间的距离保持在 3 cm 左右。在没有任何预示的前提下，甲同学突然放开直尺，乙同学尽快用手指去夹住它。尝试做此实验，并运用学过的知识估算出反应时间。



图 2-4-6

3. 一颗自由下落的小石头，经过某点时的速度是 9.8 m/s ，经过另一点时的速度是 39.2 m/s 。求这两点间的距离和经过这段距离所用的时间。

4. 在苏州园林中，有不少亭台的设计非常巧妙，下雨时可清晰地听到雨滴落下的滴答声。某同学据此借助高速照相机设计了一个探究实验：雨滴自檐边由静止滴下，每隔 0.2 s 滴下一滴，第 1 滴落地时第 6 滴恰欲滴下，此时测得第 1、第 2、第 3、第 4 滴之间的距离依次为 1.62 m ， 1.26 m ， 0.90 m 。假定落下的雨滴的运动情况完全相同，则此时第 2 滴雨滴下落的速度为多少？（不考虑雨滴受到的空气阻力）

第五节

匀变速直线运动 与汽车安全行驶

根据我国道路交通管理的相关规定，同一车道行驶的机动车，后车必须根据行驶速度、天气和路面情况，与前车保持必要的安全距离。如图 2-5-1 所示的安全距离示意图，标出了一般情况下汽车在不同行驶速度下所对应的大致安全距离。在通常情况下，驾驶者的反应时间（从司机意识到应该停车至操作刹车的时间）与其注意力集中程度、驾驶经验和体力状态有关，平均为 $0.4 \sim 1.5 \text{ s}$ ，驾驶员酒后的反应时间则可能会大大增加。图 2-5-1 中的数据是怎样得出的呢？我们可以从下面的例子中得到启示。

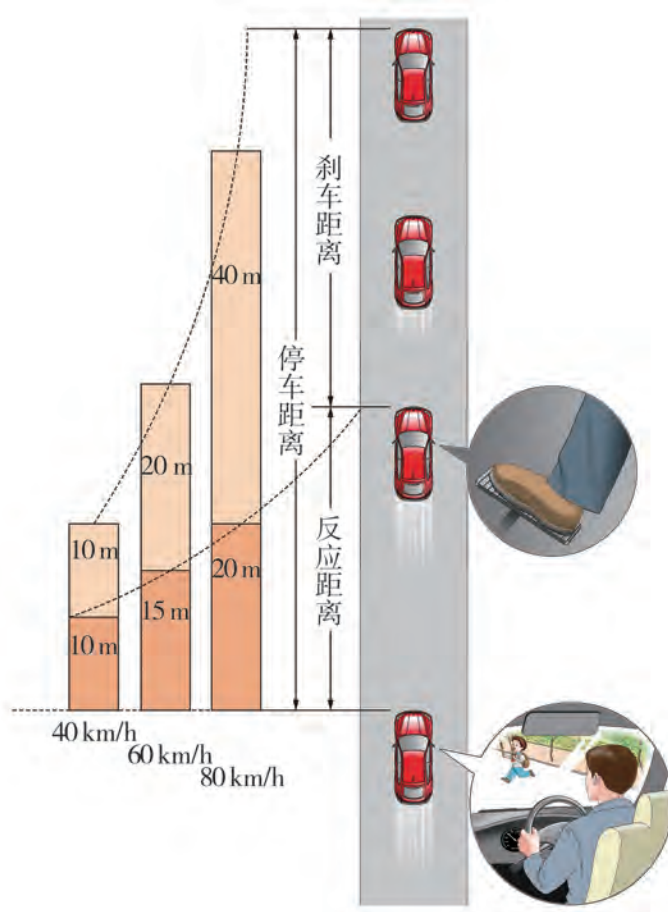


图 2-5-1 汽车行驶的安全距离示意图

例题 1：一辆汽车在高速公路上行驶的速度为 108 km/h. 当驾驶员发现前方 80 m 处发生了交通事故时，马上紧急刹车，并以 7.5 m/s^2 的恒定加速度减速行驶. 该汽车行驶是否会出现安全问题？

分析：驾驶员采取刹车措施后，汽车做匀减速直线运动. 判断汽车是否会出现安全问题，就是要把从刹车到完全停下来（即 $v_t = 0 \text{ m/s}$ ）所通过的位移 s 与题中“前方 80 m 处”进行比较. 若 $s < 80 \text{ m}$ 就没有安全问题，否则就会有安全问题. 在已知初、末速度求位移的情况下，可以选用公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 来处理.

解：刹车后汽车做匀减速直线运动. 设其加速度为 a ，从刹车到停止运动通过的位移为 s . 运动过程如图 2-5-2 所示，选定汽车行驶的初速度方向为正方向. 依题意，汽车的初速度为 108 km/h，即 $v_0 = 30 \text{ m/s}$ ，末速度 $v_t = 0 \text{ m/s}$ ， $a = -7.5 \text{ m/s}^2$.

为了突出主要因素，研究时我们将汽车运动作了近似的处理.

根据题目给出的条件，画出示意图，能帮助我们正确认识物理过程.

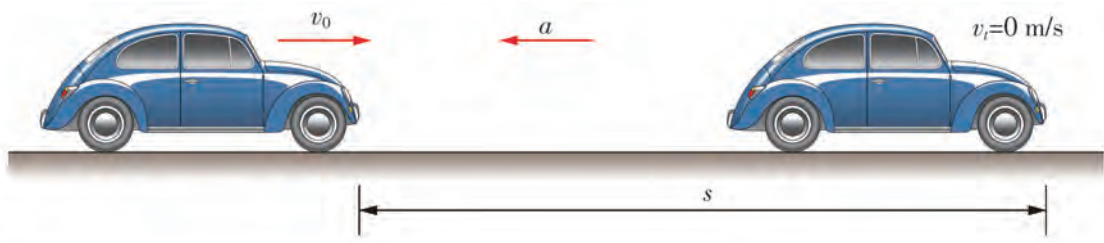


图 2-5-2 驾驶员刹车后，汽车的运动示意图

根据 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$,

汽车由刹车到停车所经过的位移为

$$s = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - 30^2}{2 \times (-7.5)} \text{ m} = 60 \text{ m}.$$

由于前方距离有 80 m，汽车经过 60 m 就已停下来，所以不会出现安全问题.

例题 1 没有考虑到驾驶员的反应时间，但在现实生活中，反应时间是行车安全中不可忽略的一个因素.

例题 2：在例题 1 中，如果驾驶员看到交通事故时的反应时间是 0.5 s，该汽车行驶是否会出现安全问题？

分析：该汽车的实际运动可分为两部分：当驾驶员看到交通事故时，在反应时间内，汽车做匀速直线运动；当驾驶员刹车后，汽车以原行驶速度为初速度做匀减速直线运动. 汽车的总位移为这两部分运动位移之和. 我们解决问题时，要分别对不同的运动情况进行求解.

解：在驾驶员刹车前，汽车做匀速直线运动，刹车后汽车做匀减速直线运动，其运动情况如图 2-5-3 所示。选定汽车行驶的初速度方向为正方向。

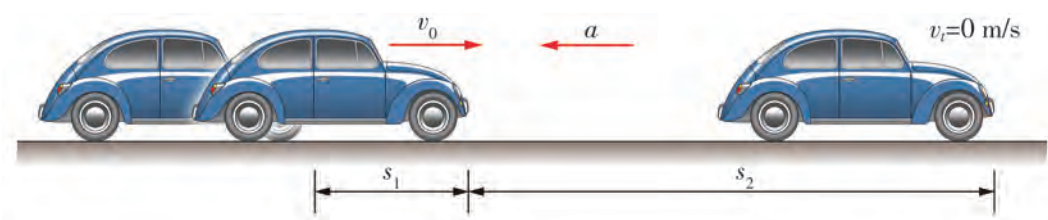


图 2-5-3 驾驶员发现交通事故后，汽车的运动示意图

汽车做匀速直线运动的位移为

$$s_1 = v_0 t = 30 \times 0.5 \text{ m} = 15 \text{ m}.$$

汽车做匀减速直线运动的位移解法同例题 1， $s_2 = 60 \text{ m}$ 。

汽车停下的实际位移为

$$s = s_1 + s_2 = (15 + 60) \text{ m} = 75 \text{ m}.$$

由于前方距离有 80 m，所以不会出现安全问题。

例题 3：一般人的刹车反应时间为 $t_0 = 0.5 \text{ s}$ ，但饮酒会引起反应时间延长。在某次试验中，一名志愿者少量饮酒后驾车以 $v_0 = 72 \text{ km/h}$ 的速度在试验场的水平路面上匀速行驶。从发现紧急情况到汽车停下，行驶距离为 $L = 39 \text{ m}$ 。减速过程中汽车位移 $s = 25 \text{ m}$ ，此过程可以视为匀变速直线运动。求：

- (1) 减速过程中汽车加速度的大小和所用时间。
- (2) 饮酒使志愿者的反应时间延长了多少？

分析：当志愿者发现紧急情况后，在反应时间内，汽车仍以原来的速度做匀速直线运动；刹车后，汽车匀减速滑行。所以，刹车过程中汽车先后经历了两种不同的运动，行驶的安全距离应等于两部分位移之和。其运动情况如图 2-5-4 所示。

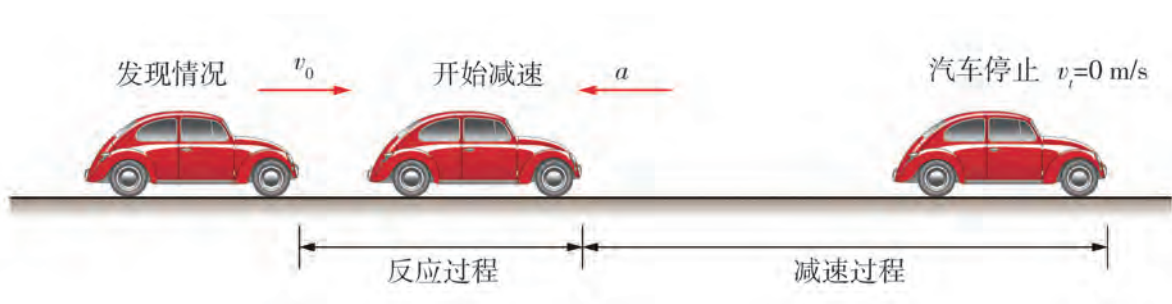


图 2-5-4 志愿者发现紧急情况后，汽车的运动示意图

解：(1) 依题意，汽车初速度 $v_0 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ ，末速度 $v_t = 0$ 。设减速过程中加速度的大小为 a ，所用时间为 t ，通过的位移为 s ，选定汽车行驶的初速度方向为正方向，有

$$v_t^2 - v_0^2 = 2(-a)s, \tag{1}$$

$$v_t = v_0 - at. \tag{2}$$

将 $v_0 = 20 \text{ m/s}$, $v_t = 0$, $s = 25 \text{ m}$ 代入①式, 求得 $a = 8 \text{ m/s}^2$.

将 $a = 8 \text{ m/s}^2$ 代入②式, 求得 $t = 2.5 \text{ s}$.

(2) 设志愿者的反应时间为 t' , 反应时间的延长值为 Δt , 则

$$L = v_0 t' + s.$$

将 $L = 39 \text{ m}$, $v_0 = 20 \text{ m/s}$, $s = 25 \text{ m}$ 代入, 求得 $t' = 0.7 \text{ s}$.

反应时间的延长值

$$\Delta t = t' - t_0 = (0.7 - 0.5) \text{ s} = 0.2 \text{ s}.$$



讨论与交流

若例题2中的驾驶员是酒后驾驶, 是否会出现安全问题?

由于饮酒会引起反应时间延长, 而在反应时间内, 汽车仍以原来的速度做匀速直线运动, 所以司机的反应迟缓, 会导致汽车滑行的距离增长, 增加了交通安全隐患. 因此, 《中华人民共和国道路交通安全法》明确规定: 严禁酒后开车!

从被动到主动的汽车制动

汽车制动性能是影响汽车行驶安全的重要性能之一. 许多交通事故都是由汽车制动距离过长、紧急制动时丧失方向稳定性等因素造成的. 汽车制动的基本原理就是利用摩擦力消耗汽车的动能, 最终使汽车停下来. 随着科技的发展, 各种各样的制动技术被应用于汽车制造, 以提高汽车的安全性能.

防抱死制动系统 (ABS, Anti-Lock Braking System)

没有装配 ABS 的汽车在紧急制动时, 如果四个轮子被完全抱死, 汽车将丧失转向能力, 汽车受到轻微的侧向力 (比如行驶在倾斜的路面或者压到一块小石头), 就有可能发生侧滑, 甚至侧翻.

装配了 ABS 的汽车在刹车时, ABS 通过控制刹车油压来控制汽车的制动力, 使车轮既受到制动又不致抱死, 直至汽车完全停下来. ABS 能显著改善汽车的制动性能, 有效保障驾驶员与乘客的安全.

电子制动力分配 (EBD, Electronic Brakeforce Distribution)

EBD 技术在本质上是 ABS 的辅助功能. 汽车制动时, 如果四个轮子附着地面的情况不同, 其与地面的摩擦力也不同, 汽车在制动时就容易导致打滑、倾斜和侧翻等. EBD 的功能就是在汽车制动的瞬间, 探测四个轮子受到的地面摩擦力,

然后调整制动装置,使汽车制动力与其所受的地面摩擦力相匹配,以保证汽车刹车过程的平稳与安全.

电子稳定程序 (ESP, Electronic Stability Program)

ESP 系统由传感器、ECU (中央控制处理单元) 和执行器三大部分组成. 在电脑实时监控汽车行驶状态的前提下, ESP 对发动机及制动系统进行干预和调控. ESP 最重要的特点就是它的主动性. 如果说 ABS 和 EBD + ABS 是被动地作出反应, 那么 ESP 就可以做到防患于未然.

ABS、EBD 和 ESP 等保障汽车安全行驶的技术与物理学息息相关, 可以说, 物理知识的运用推动了技术的不断发展.



练习

1. “歼-10”战斗机着陆时的速度很大, 可用阻力伞使它减速 (如图 2-5-5 所示). 假设一架“歼-10”战斗机在一条笔直的水平跑道上着陆, 刚着陆时速度为 120 m/s , 在着陆的同时立即打开阻力伞. 由于阻力的作用, 战斗机加速度的大小为 6 m/s^2 . 这条跑道至少要多长?



图 2-5-5

2. 按规定, 卡车在市区行驶的速度不得超过 40 km/h . 一辆卡车在紧急情况下刹车, 测得卡车滑行过程中车轮在路面上擦过的笔直的痕迹长 9 m . 从监控资料上知道, 该车急刹车后经过 1.5 s 停止. 试判断该车是否超速.

3. 某高速公路边的交通警示牌有如图 2-5-6 所示的标记, 表示车辆的瞬时速度不得超过 100 km/h . 若车辆驾驶员看到前车刹车后也相应刹车的反应时间是 1 s , 假设车辆刹车的加速度相同, 安全距离是保证两车不相碰的距离的 2 倍, 则车辆行驶在这条公路上的安全距离是多少米?



图 2-5-6

4. 一辆具有良好制动装置的汽车如果以 v_1 的速度行驶, 能在 s_1 的距离内被刹住; 如果以 v_2 ($v_2 < v_1$) 的速度行驶, 能在 s_2 的距离内被刹住. 假定驾驶员的反应时间以及使用制动器后汽车的加速度对于这两种速度都相同. 求驾驶员的反应时间以及制动后汽车加速度的大小.

本章小结

知识结构

参考下面的知识结构，请进一步梳理本章的知识。



回顾与评价

1. 生活中哪些运动可以看作匀变速直线运动？学习匀变速直线运动规律有何意义？
2. 本章学习了哪些研究匀变速直线运动规律的方法？
3. 从伽利略对自由落体的研究中，我们受到了什么启示？
4. 结合本章的学习和生活实例，谈一谈用证据支持或表达观点的重要性。
5. 结合本章的知识，提几点关于交通安全的忠告和建议。

习题二

- 物体做匀变速直线运动时, ().
 A. 在相等的时间内位置变化相等
 B. 在相等的时间内速度变化相等
 C. 速度大小不断改变, 方向一定不变
 D. 加速度只改变速度大小, 不改变速度方向
- 关于自由落体, 下列说法正确的是 ().
 A. 同一地点所有自由落体的加速度都相等
 B. 在任何相等时间内位移变化相同
 C. 某段时间的平均速度等于初速度与末速度和的一半
 D. 某段位移的平均速度等于初速度与末速度和的一半
- 物体做匀变速直线运动, 当 $t_0 = 0$ 时, 速度的大小为 12 m/s , 方向向东; 当 $t_1 = 2 \text{ s}$ 时, 速度的大小为 8 m/s , 方向仍然向东; 若速度的大小变为 2 m/s , 则 t 可能等于 ().
 A. 3 s B. 5 s C. 7 s D. 9 s
- 竖直升降电梯经过启动、匀速运行和制动三个过程, 从低楼层到达高楼层, 启动和制动可看作是匀变速直线运动. 电梯竖直向上运动过程中速度的变化情况如表 2-1 所示.

表 2-1 电梯运动过程中速度的变化情况

t/s	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0	2.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.0	0

- 则前 5 s 内电梯通过的位移的大小为 ().
 A. 19.25 m B. 18.75 m C. 18.50 m D. 17.50 m
- 甲、乙、丙三辆汽车以相同的速度同时经过某一路标, 之后甲车一直做匀速直线运动, 乙车先加速后减速, 丙车先减速后加速. 它们经过下一路标时的速度又相同, 则 ().
 A. 甲车先通过下一路标
 B. 乙车先通过下一路标
 C. 丙车先通过下一路标
 D. 三辆车同时到达下一路标

6. 在伽利略羊皮纸手稿中发现的斜面实验数据如表 2-2 所示. 人们推测第二、第三列数据可能分别表示时间和长度. 伽利略时代的 1 个长度单位相当于现在的 $\frac{29}{30}$ mm, 假设 1 个时间单位相当于现在的 0.5 s, 由此可以推测实验时, 光滑斜面的长度至少为 _____ m, 物体沿光滑斜面下滑的加速度约为 _____ m/s^2 . (g 取 10 m/s^2)

表 2-2 伽利略手稿中的数据

1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1192
49	7	1600
64	8	2104

7. 沿平直公路做匀加速运动的汽车通过连续三根电线杆之间的间隔所用时间分别为 3 s 和 2 s. 已知相邻两根电线杆的距离都是 60 m, 则汽车的加速度 $a =$ _____.

8. A 球从塔顶自由落下, 当落下距离为 d 时, B 球从与塔顶距离为 D 的地方开始自由落下, 两球同时落地, 则塔高 $H =$ _____ m.

9. 为了安全, 在高速公路上行驶的汽车之间应保持必要的距离. 已知某段高速公路的最高限速 $v = 108 \text{ km/h}$. 假设前方车辆突然停车, 后面车辆司机从发现这一情况起, 操作刹车到汽车开始减速经过的时间 (即反应时间) $t = 0.5 \text{ s}$, 刹车时汽车加速度为 $a = 5 \text{ m/s}^2$. 该段高速公路上汽车间的距离 s 至少应为多少才能保证车辆安全行驶.

10. 某短跑运动员 100 m 和 200 m 短跑项目的成绩分别是 9.69 s 和 19.30 s. 假定他在参加 100 m 比赛时, 从听到发令到起跑的反应时间是 0.15 s, 起跑后做匀加速运动, 达到最大速率后做匀速运动. 200 m 比赛时, 反应时间及起跑后加速阶段的加速度和加速时间与 100 m 比赛时相同, 但由于弯道和体力等因素的影响, 之后的平均速率只有跑 100 m 时最大速率的 96%. 求:

- (1) 加速所用时间和达到的最大速率.
- (2) 起跑后做匀加速运动的加速度. (计算结果保留两位小数)

11. 以 54 km/h 的速度行驶的货运列车, 因故障需要在中途停车. 如果停留的时间是 1 min, 刹车的加速度的大小是 0.3 m/s^2 , 起动产生的加速度的大小是 0.5 m/s^2 , 求货运列车临时停车所延误的时间.

12. 短跑运动员完成 100 m 赛跑的过程可简化为匀加速直线运动和匀速直线运动两个阶段. 一次比赛中, 某运动员用 11 s 跑完全程, 已知该运动员在加速阶段的第 2 s 内通过的位移为 7.5 m, 求该运动员的加速度及在加速阶段通过的位移.

13. 每年全国由于行人不遵守交通规则而引发的交通事故达上万起, 死亡上千人. 只有科学设置交通管制, 人人遵守交通规则, 才能更好地保障行人的生命安全. 如图 2-1 所示,

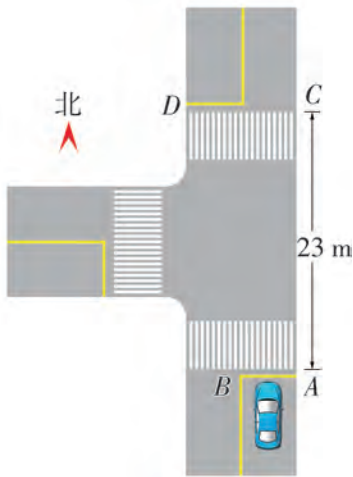


图 2-1

停车线 AB 与前方斑马线边界 CD 间的距离为 23 m . 一辆质量为 8 t 、车长为 7 m 的卡车以 54 km/h 的速度向北匀速行驶, 当车前端刚驶过停车线 AB 时, 前方的机动车交通信号灯由绿灯变黄灯.

- (1) 若此时前方 C 处人行横道路边等待的行人抢先过马路, 卡车司机发现后立即制动, 制动后卡车的加速度为 3.75 m/s^2 , 求卡车的制动距离.
- (2) 若人人都遵守交通规则, 该车将不受影响地驶过前方斑马线边界 CD . 为确保行人安全, D 处人行横道信号灯应该在南北向机动车信号灯变黄灯后至少多久才变为绿灯?

14. 某实验小组为了研究小车在水平桌面上直线运动的情况, 用自制滴水计时器测量时间. 实验前, 将该计时器固定在小车旁边, 如图 2-2 (a) 所示. 实验时, 用手轻推一下小车, 使其运动. 在小车运动过程中, 滴水计时器等时间间隔地滴下小水滴. 如图 2-2 (b) 所示是实验记录桌面上连续 6 滴水滴的位置. (已知滴水计时器 30 秒内共滴下 46 滴水滴)

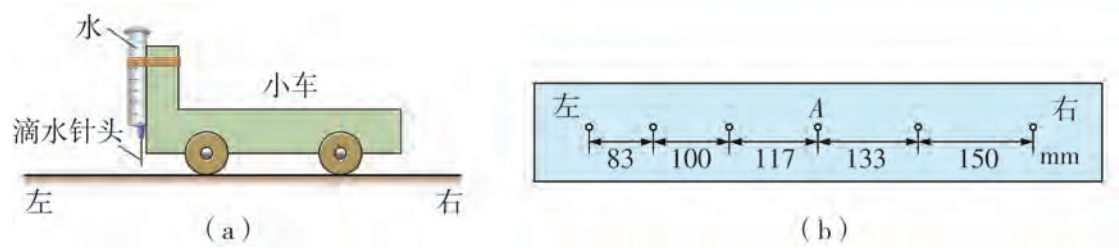


图 2-2

- (1) 由图 2-2 (b) 可知, 小车在桌面上是_____ (选填“从左向右”或“从右向左”) 运动的.
- (2) 该小组的同学根据如图 2-2 (b) 所示的数据, 判断出小车做匀变速直线运动. 小车运动到如图 2-2 (b) 所示点 A 位置时速度的大小为_____ m/s , 加速度的大小为_____ m/s^2 . (计算结果均保留两位有效数字)

第三章

相互作用

人类对相互作用的认识最早源于人对物体的作用。人在提、推、拉、挤、压物体时，物体的位置或形状发生了变化，同时人也感到肌肉紧张，说明人对物体作用时，物体对人也有作用。人们把这种物体与物体之间的相互作用称为力。

人类对力的认识经历了一个漫长的过程。通过伽利略、笛卡尔和惠更斯等科学家对力的研究，人们对力有了相对明确的认识。最终牛顿集前人之大成，揭示出力的含义，奠定了经典力学的基础。

在本章中，我们将通过对日常生活中物体受力情况的探究，认识常见的重力、弹力、摩擦力；通过实验认识力的平行四边形定则和共点力物体平衡的条件，从而为深入研究物体之间的相互作用、力和物体运动之间的关系做好准备。



第一节

重力



我们在初中学过力（force）的初步概念，知道力是物体之间的相互作用，施力物体和受力物体同时存在。力的作用效果既可以改变物体的运动状态，也可以使物体发生形变；还知道力的三要素（大小、方向和作用点），力可以用力的示意图来表示。本节在初中学习重力的基础上，进一步认识与重力相关的知识。

认识重力

地球对其周围的一切物体都有吸引作用，这种由于地球的吸引而使物体受到的力叫作**重力**（gravity）。重力是矢量，不仅有大小，而且有方向。重力的方向是竖直向下的，利用这一点，我们常常可以检查物体是否竖直或水平放置，也可以检查物体的倾斜程度。

用弹簧测力计可以测量物体重力的大小，用磅秤、电子台秤也可以测量重力。随着技术的发展，测量重力的设备越来越先进，如电子地上衡（如图3-1-1所示）是利用传感器制成的一种测重设备，将其平放在地面上，物体对它的压力通过传感器转换成电信号，即可在显示器上显示物体的重力。



图 3-1-1 电子地上衡

物体重力的大小与物体的质量成正比。我们可以用公式 $G = mg$ 计算重力的大小，式中的 G 表示物体的重力， m 表示物体的质量， g 就是前面学过的自由落体加速度。重力的单位是牛顿，简称牛，用符号 N 表示。

在物理学中，通常用力的示意图或力的图示来简明地表示某个力。如图3-1-2所示，用一条带箭头竖直向下的有向线段表示梨的重力，得到的图就称为重力的示意图。选定标度后，用与标度成比例的长度表示重力的大小，有向线段的箭尾表示重力的作用点，得到的图就称为重力的图示，如图3-1-3所示。

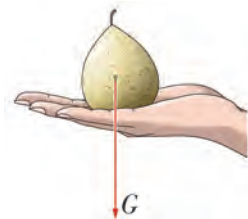


图 3-1-2 力的示意图

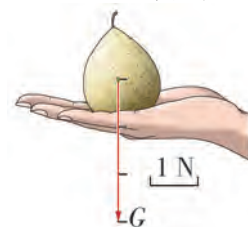


图 3-1-3 力的图示

重心

一个物体的各个部分都受到地球的吸引,从效果上看,可以认为各部分受到的重力作用集中于一点,这一作用点就叫作物体的**重心**.

质量分布均匀的物体(称为均匀物体),其重心的位置只跟物体的形状有关.形状规则的均匀物体,它的重心就在其几何中心,如图3-1-4所示.

质量分布不均匀的物体,重心的位置除了与物体的形状有关外,还与物体内部质量的分布有关.载货汽车的重心随着装货量和装载位置而变化,如图3-1-5所示.

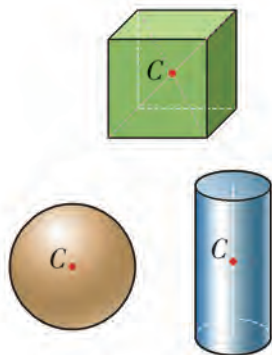


图3-1-4 质量分布均匀的物体其重心的位置

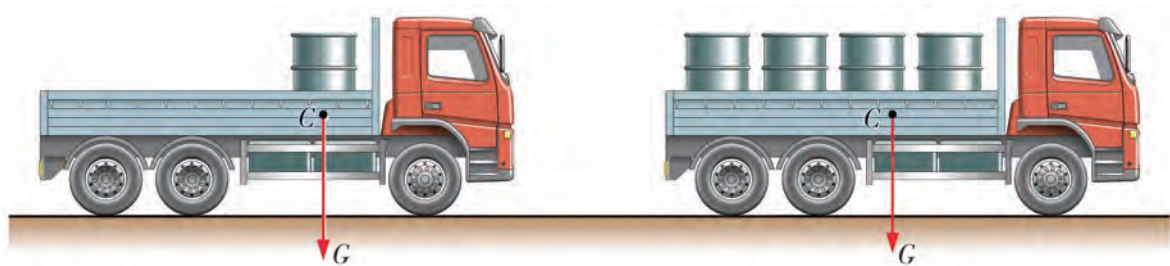


图3-1-5 质量分布不均匀的物体其重心的位置

重心位置在工程应用中有相当重要的意义.例如起重机在工作时,若重心位置不合适,就容易翻倒;高速旋转的轮子,若重心不在转轴上,就会引起激烈的振动.



讨论与交流

找一块不规则的薄板,用如图3-1-6所示的悬挂法确定该薄板的重心.想一想:这样做的道理是什么?

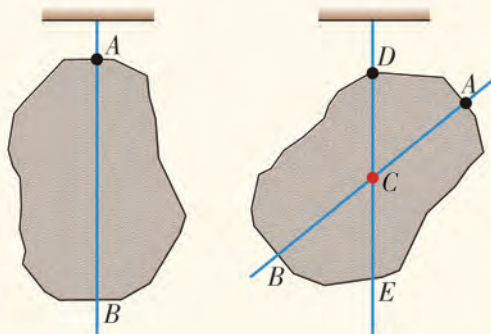


图3-1-6 确定薄板的重心

重力的应用

我们生活在地球上，重力无处不在。建筑工人在砌墙时利用重垂线来检验墙身是否竖直（如图 3-1-7 所示），农业生产中的抛秧（如图 3-1-8 所示）也是利用重力的方向竖直向下这一原理。此外，如果某地区有密度较大的矿石，其重力加速度要比周边地区稍大些，利用重力的差异可以探矿，这种方法叫重力探矿。如果没有重力，茶壶里的水无法倒进杯子里，人起跳后无法落回地面，飞舞的尘土会永远飘浮在空中。

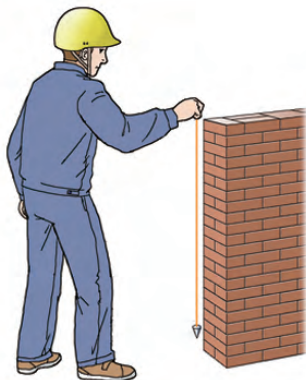


图 3-1-7 利用重垂线检验墙身是否竖直



图 3-1-8 抛秧

重力感应

重力感应器也称为加速度传感器，它能够感应重力加速度的变化。目前许多设备上都安装有加速度传感器。

手机重力感应技术

加速度传感器在智能手机和平板电脑中成了不可或缺的配置，它不但能提高手机游戏中的智能交互特性，而且能够使一些手机应用变得妙趣横生。例如，在游戏中无须按键操作，只需要对手机进行倾斜、摇晃等操作，便可以完成游戏任务。另外，加速度传感器的数据可用于调用相应的手机音乐和震动功能，为用户带来新鲜的体验。

手机重力感应技术是利用压电效应原理来工作的，简单来说，就是通过测量内部一片重物（重物和压电片做成一体）的重力在正交两个方向的分力的大小，来判定水平方向。目前智能手机、平板电脑采用的基本都是三轴重力感应。

三轴重力感应按测量的方向分为 x 轴、 y 轴和 z 轴，这三个轴所构成的立体空间足以侦测到手机及平板电脑上的各种动作。这种坐标朝向永远是固定的，无论将手机横拿还是竖放。如果手机是静止不动的，加速度传感器的矢量方向永远是指向地心的。如果矢量的长度为 1 的话，称之为 $1g$ 。当使用者正拿着手机时，

加速度传感器的矢量为 $(0, -1, 0)$ ，方向指向地心。逆时针旋转 90° ，加速度传感器矢量变为 $(-1, 0, 0)$ 。再逆时针旋转 90° ，加速度传感器矢量变为 $(0, 1, 0)$ 。如果以一定角度握持手机，那么这 $1g$ 的力会分布到不同的轴上，这取决于握持手机的方式。正常使用时，加速度传感器在任意轴上都不会检测到远大于 $1g$ 的值。如果检测到的加速度远大于 $1g$ ，那么即可判断这是个突然动作，如摇动、坠落或是投掷手机。

硬盘重力感应技术

科学实验证明，一般存储器在不通电的时候，抗震性有 $1000g$ ，而通电工作之后，抗震性不足 $200g$ ，非常轻微的磕碰都有可能造成磁盘损坏。利用重力感应技术，可使存储器的抗震性能达到甚至超越无电状态下的抗震水平。

硬盘重力感应装置包括感应器、处理器和控制器三个部分。感应器负责侦测存储器的状态，计算存储器的重力加速度值；处理器则对加速度值是否超出安全范围进行判断；而控制器则负责控制将磁头锁定或者释放出安全停泊区。一旦感应器侦测并经处理器判断当前的重力加速度超过安全值之后，控制器就会通过硬件控制磁头停止读写工作，并快速归位，锁定在专有的磁头停泊区。这一系列动作会在 200 毫秒内完成。当感应装置探测到加速度值恢复到正常值范围之后，产品才会恢复工作。

重力感应技术在其他方面也得到了应用，如智能电动车、游戏机等。



练习

1. 重力是如何产生的？如何确定其大小和方向？同一地点物体受到的重力与物体位置、运动状态是否有关系？请举几个生活中的例子。
2. 铁球在空中飞行时受到的重力的大小为 60 N 。试画出该铁球的重力示意图和图示，并指出铁球所受重力的施力物体。
3. 如何用弹簧测力计和钩码测量当地重力加速度的值？

第二节

弹力



拉弓射箭、蹦极、跳水是大家喜闻乐见的运动项目。这些项目有一个共同特点，就是都利用了物体的弹性。本节就来研究与弹性相关的问题。

形变

物理学中，把物体发生形状或体积的变化称为形变。在生活中，形变随处可见。人坐在沙发上时，会观察到沙发有了形变；用力拉橡皮筋时，能看到橡皮筋发生了形变……



图 3-2-1 拉弓射箭



观察与思考

如图 3-2-2 所示，取一根弹簧和一块橡皮泥，分别用力压弹簧和橡皮泥。停止用力，看一看它们的形变情况有什么不同。



(a)



(b)

图 3-2-2 弹簧与橡皮泥

我们看到，用适当的力压弹簧，弹簧产生形变；停止用力，形变消失，弹簧恢复原状。用力压橡皮泥，橡皮泥产生形变；停止用力，形变保持，橡皮泥不能恢复原状。

物体受力后发生的形变有两类：

第一类，停止用力后物体能完全恢复原状的形变叫作**弹性形变**。物体具有恢复原状的性质称为**弹性**。对于弹性形变，如果外力过大，撤去外力后，物体形状不能完全恢复，我们称这种现象为超过了物体的**弹性限度**，如图 3-2-3 所示。



图 3-2-3 形变超过弹性限度的弹簧不能恢复原状

第二类，停止用力后，物体不能恢复原状的形变叫作**范性形变**。

形变按形式可分为压缩形变、拉伸形变、弯曲形变和扭曲形变等，如图 3-2-4 所示。

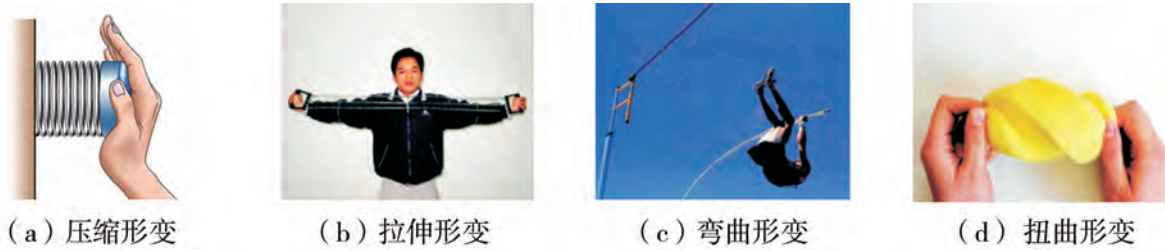


图 3-2-4 各种形变

任何物体受力时都会产生形变，只是形变有时很明显，可以用肉眼直接观察；有时很微小，需要借助仪器将其“放大”才能观察到。如图 3-2-5 所示的装置可以显示出硬木板的微小形变，如图 3-2-6 所示的装置则可以显示出玻璃瓶的微小形变。

把微小变化放大以利于观察或测量的实验方法，叫作“微小放大法”。这是物理学中研究问题的重要方法之一。

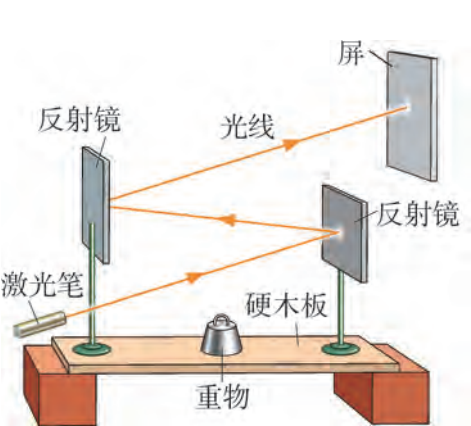


图 3-2-5 形变通过光线“放大”

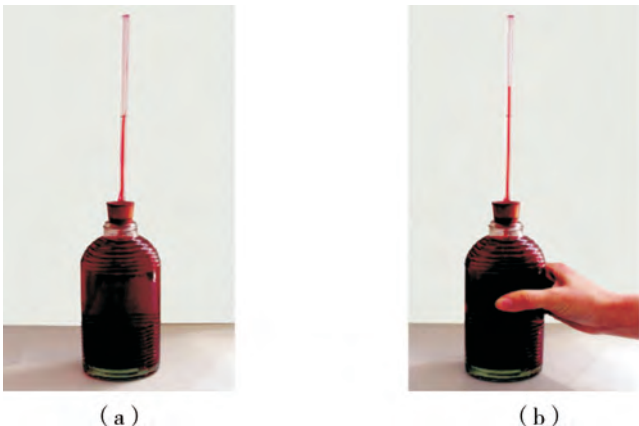


图 3-2-6 形变通过液柱高度变化“放大”

认识弹力

人用手压弹簧，弹簧被压缩，同时手会感受到弹簧对手的作用力。

蹦极时人自身的重力使其下落，被拉伸的绳子又会对其施加一个向上的力，把人拉上去，如图 3-2-7 所示。

如图 3-2-8 所示，被拉伸的弹簧对小车施加一个向右的力，被压缩的弹簧对小车施加一个向左的力。

上述例子说明，发生弹性形变的物体，由于要恢复原状，对与它接触的物体会产生力的作用，这种力称为**弹力**（elastic force）。具有弹性形变的物体对与之接触的物体都会有弹力的作用。那么，如何确定弹力的作用点和方向呢？

弹力的作用点可以从相互作用的物体直接接触并使物体发生形变的位置去确定。弹力的方向可以从发生弹性形变的物体恢复原状的方向上去确定。一般而言，弹力的作用点在物体与物体接触的点或表面上，弹力的方向总是指向使形变的物体恢复原状的方向。

弹力是一种普遍存在的力。通常人们所说的拉力、压力、推力、支持力都属于弹力。如图 3-2-9 所示，一铁块放在海绵块上，铁块和海绵块都产生了形变。海绵块要恢复原状，会对铁块产生向上的弹力，这个弹力就是海绵块对铁块的支持力；铁块要恢复原状，也会对海绵块产生向下的弹力，这个弹力就是铁块对海绵块的压力。支持力和压力的方向都垂直于物体的接触面。

用绳子吊着一个物体，绳子会产生形变。为了恢复原状，绳子会对物体产生一个弹力，称为**拉力**。拉力的方向是沿绳子指向绳子收缩的方向。蹦床游戏就是利用橡皮绳的弹力来保护人的安全的，如图 3-2-10 所示。

胡克定律

我国东汉时期的学者郑玄，在为《考工记》作注解时写道：“假令弓力胜三石，引之中三尺，弛其弦，以绳缓擻之，每加物一石，则张一尺。”可见，我国古代学者已注意到弹力的大小与形变的定量关系。形变越大，弹力也越大；形变消失，弹力也随之消失。

弹力与形变的定量关系，一般来讲比较复杂。而弹簧的弹力与弹簧的伸长量（或压缩量）的关系则比较简单。



图 3-2-7 蹦极运动

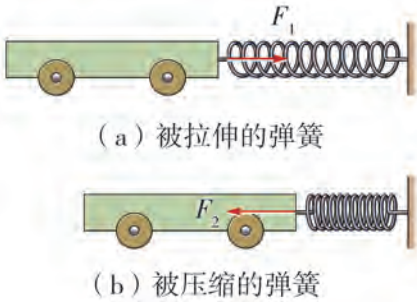


图 3-2-8



图 3-2-9 铁块使海绵块产生形变



图 3-2-10 绳的弹力
保护人的安全



实验与探究

用铁架台、下端带挂钩的不同弹簧若干、50 g 的钩码若干、刻度尺等，探究弹簧弹力的大小与伸长量之间的定量关系。

在实验操作之前，思考下列问题。

- (1) 如何测量弹簧的弹力？
- (2) 如何测量弹簧的伸长量？
- (3) 如何保证测量的准确性？

如图 3-2-11 所示，将弹簧一端固定在铁架台上，让弹簧自然下垂，用刻度尺测量并记录弹簧的原长 L_0 ；在弹簧的挂钩上，挂上一个钩码，测量弹簧伸长后的长度，计算此时弹力的大小并将数据填入表 3-2-1 中。依次增加钩码，重复上述操作。

实验时要注意：

(1) 本实验要求定量测量，因此要尽可能减小实验误差。标尺要竖直且紧靠指针以减小读数带来的误差。每次改变悬挂钩码个数后，要待系统静止后再读数。

(2) 实验中所提供的刻度尺分度值为 1 mm，读数应估读到下一位。

(3) 注意弹簧的弹性限度，使用时不要超过它的弹性限度。

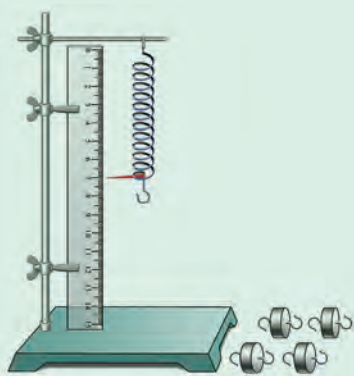


图 3-2-11 实验装置图

表 3-2-1 实验数据记录表

弹簧原长： $L_0 =$ _____ cm

实验次数	钩码的重力 G/N	弹簧的长度 L/cm	弹簧的伸长量 x/cm	弹力的大小 F/N

想一想：弹簧弹力 F 的大小与弹簧的伸长量 x 有何关系？如果将实验数据在伸长量 x 与弹力大小 F 的坐标平面内（如图 3-2-12 所示）绘制图线，会得到怎样的图像呢？

再用两条不同的弹簧重做上述实验，并在 $F-x$ 坐标平面内作图比较。

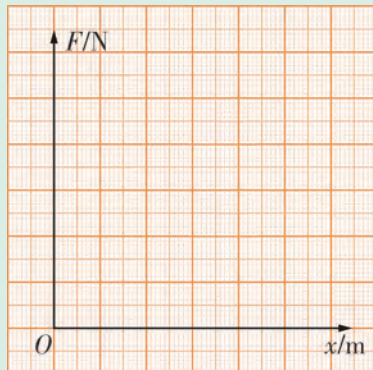


图 3-2-12 绘制 $F-x$ 图像

1678 年，英国物理学家胡克（Robert Hooke，1635—1703）研究后得出结论：在弹性限度内，弹簧弹力 F 的大小与弹簧的伸长量（或压缩量） x 成正比。其表达式为

$F = kx$

(3.2.1)

这一结论称为胡克定律（Hooke law）。式中 k 称为弹簧的劲度系数，单位是牛顿每米，符号是 N/m。不同的弹簧，其劲度系数不同， k 是表征不同弹簧品质的重要指标，在 $F-x$ 图像中表示不同的斜率，如图 3-2-13 所示。它在量值上等于弹簧伸长或压缩单位长度所需的力。生活中常说有的弹簧“硬”，有的弹簧“软”，指的就是它们的劲度系数不同。弹簧的劲度系数跟弹簧的粗细、材料、孔径、绕法等有关。

弹簧都有一定的弹性限度。当弹簧的形变超出这个限度时，胡克定律就不再适用。

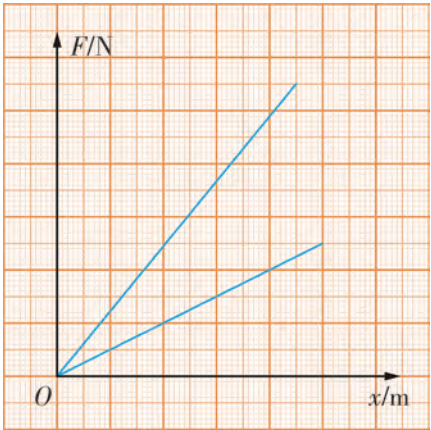


图 3-2-13 不同弹簧的 $F-x$ 图像

弹力的应用

弹力在生活中有着广泛的应用。例如，自动铅笔和自动圆珠笔控制笔芯伸缩、撑竿跳高等，都用到了弹力。

弹簧的弹性具有缓冲减震的作用。汽车和火车底部不仅安装有螺旋弹簧，还有弯曲的弹性钢板。当车辆运行时，利用弹簧形变产生缓冲作用，能够减小车身的震动。常见的跳高垫子、沙发及床垫中的弹簧、自行车车座下的弹簧等，也都起到有效的减震作用。人体内的各个关节中也有“弹簧”，当关节受压或受冲击时，关节处的软骨改变形状，使震动得到缓冲，从而起到保护关节的作用。

弹簧也可以起到自动复位的作用。自行车的左右把下面各有一根闸把，分别用来控制后闸和前闸。闸把和车轮闸皮支架上都装有扭转弹簧，分别使闸把和闸皮在刹车结束时能回到原来位置。

弹簧在各种安全阀超压保护装置中也是不可缺少的。当设备或管路内压力超过规定值时，阀门被冲开，继而排气减压；当压力降到规定值时，在弹簧作用下，阀门自动关闭，从而保证设备和管路的正常工作。

在工程应用中，选择适当劲度系数的弹性材料是很有学问的。例如，机床主轴很小的形变就会影响加工精度，因此必须选择劲度系数较大的材料，保证主轴具备足够抵抗形变的能力。不同劲度系数的材料搭配利用，可以改善材料的性能。例如，混凝土坚硬，但缺乏弹性，容易在拉伸时断裂，而钢筋耐拉伸，所以常把它们结合起来使用。在混凝土发生拉伸的地方敷设钢筋，制成钢筋混凝土材料，既抗压又抗拉。



实践与拓展

1. 如图 3-2-14 所示, 将直尺架在两本书之间, 用力向下压直尺. 观察直尺的形变, 体会产生弹力的大小和方向. 结合实际, 谈谈桥梁的形变与哪些因素有关.

2. 调查生产生活中所用弹簧的形状及其使用目的.



图 3-2-14 直尺的形变



练习

1. 如图 3-2-15 所示, 水平地面上堆放着原木. 试画出原木 P 的支撑点 M , N 处所受弹力的方向.

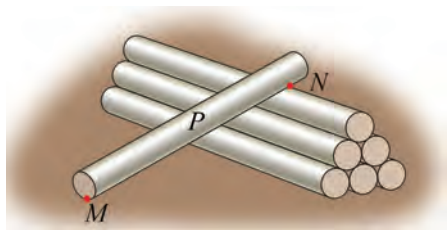


图 3-2-15

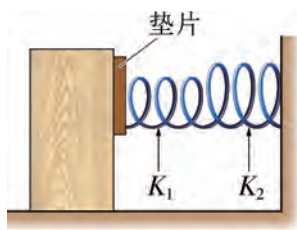


图 3-2-16

2. 弹力在日常生活和工农业生产中有着广泛的应用. 如生活中的缓冲装置就是利用弹簧的弹力作用来实现的. 某缓冲装置可抽象成如图 3-2-16 所示的简单模型, 图中 K_1 , K_2 为原长相等、劲度系数不同的轻质弹簧. 请回答下列问题.

- (1) 缓冲效果与弹簧的劲度系数有无关系?
- (2) 垫片向右移动时, 两弹簧产生的弹力的大小是否相等?
- (3) 垫片向右移动时, 两弹簧的长度是否始终保持相等?

3. 如图 3-2-17 所示, 弹簧的劲度系数为 500 N/m .

图 3-2-17 (a) 是分别用 $F = 50 \text{ N}$ 的力拉弹簧的两端;

图 3-2-17 (b) 是将弹簧一端固定, 另一端用 $F = 50 \text{ N}$

的力拉弹簧. 试问:

- (1) 这两种拉弹簧的方式, 弹簧的伸长量是否相同? 为什么?
- (2) 弹簧的伸长量分别是多大?



图 3-2-17

第三节

摩擦力



摩擦力 (friction force) 是自然界常见的一种力。两个相互接触的物体之间发生相对运动或有相对运动趋势时，摩擦力便产生了。鞋子穿久了，鞋底的花纹就会被磨平；机场利用传送带运送旅客行李；行驶中的汽车需要通过刹车装置才能停下来；用小提琴演奏时，需要用琴弓在弦上拉动才能奏出美妙的音乐。这些都是生活中与摩擦力有关的现象。

滑动摩擦力

在初中物理中，我们知道，两个相互接触并有挤压的物体之间发生相对运动时，产生的摩擦叫作**滑动摩擦**。在滑动摩擦中，在接触面上产生的阻碍物体相对运动的作用力，叫作**滑动摩擦力** (sliding friction force)。滑动摩擦力的方向总是与物体相对运动的方向相反，与它们的接触面相切。

滑动摩擦力的大小与两个物体间的压力、物体接触面的粗糙程度有关。压力越大、物体的接触面越粗糙，两个物体间的滑动摩擦力就越大。那么，滑动摩擦力的大小与这两个因素之间有什么定量关系呢？



实验与探究

用带滑轮的长木板、电动机、平板小车、毛巾、木块、砝码、细线、弹簧测力计等，探究滑动摩擦力的大小与压力、接触面粗糙程度之间的定量关系。

设计实验时，思考下列问题。

- (1) 如何改变压力？怎样测量压力？
- (2) 怎样改变物体与接触面的性质？
- (3) 如何测量木块受到的滑动摩擦力的大小？

如图 3-3-1 所示，用弹簧测力计测出木块的重力的大小，即为木块对平板小车的压力。用电动机带动平板小车向左缓慢匀速运动，注意观察弹簧测力计指针位置。当指针位置保持相对稳定时，读出其示数，即为木块所受滑动摩擦力的大小，将结果填入表 3-3-1 中。

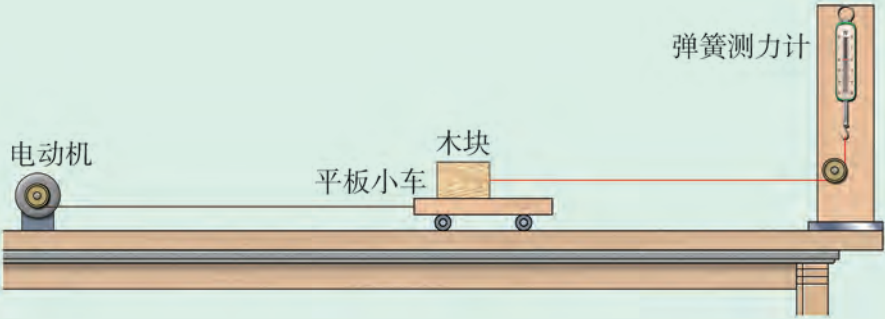


图 3-3-1 滑动摩擦装置图

保持木块与平板小车间接触面的粗糙程度不变，在木块上方依次增加砝码，重复上述步骤。

保持压力不变，改变接触面的粗糙程度，重复上述实验。

表 3-3-1 实验数据记录表

实验次数 n	1	2	3	4	5
压力 F_N/N					
接触面 1：弹簧测力计的示数 f/N					
接触面 2：弹簧测力计的示数 f/N					

根据表格中的两组实验数据，在图 3-3-2 所示的坐标平面内，分别作出 $f-F_N$ 图像，可以从中发现什么规律？

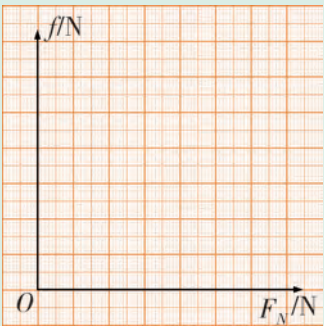


图 3-3-2 绘制 $f-F_N$ 图像

从作出的 $f-F_N$ 图像可以发现，对同一接触面，图线呈一条倾斜的直线，直线斜率为 $\frac{f}{F_N}$ ，说明滑动摩擦力与压力的大小成正比。对不同的接触面， $\frac{f}{F_N}$ 的值不同，反映出接触面的性质（粗糙程度）不同。 $\frac{f}{F_N}$ 的值越大，则表示接触面越粗糙。

同一接触面的 $\frac{f}{F_N}$ 是一个定值，不同接触面的 $\frac{f}{F_N}$ 值不同。 $\frac{f}{F_N}$ 的值大，意味着在相同的压力情况下，滑动摩擦力大。我们把 $\frac{f}{F_N}$ 的值定义为**动摩擦因数**，用符号 μ 表示。动摩擦因数与接触面的材料和粗糙程度有关。表 3-3-2 为几种常见材料间的动摩擦因数。

表 3-3-2 几种常见材料间的动摩擦因数

材 料	动摩擦因数	材 料	动摩擦因数
钢—冰	0.02	钢—钢	0.25
木头—冰	0.03	木—木	0.30
木—金属	0.20	橡胶轮胎—路面（干）	0.71

大量实验表明，滑动摩擦力的大小 f 跟压力 F_N 成正比，还跟接触面的性质有关。即

$f = \mu F_N$

(3.3.1)

例题：某同学要重新布置自己的房间。他用 100 N 的水平拉力匀速拉动质量为 25 kg 的书桌，书桌与地面间的动摩擦因数是多少？如果要在同样情况下匀速移动质量为 75 kg 的书柜，他用 100 N 的力能拉动书柜吗？为什么？（取 $g = 10\text{ m/s}^2$ ）

分析：本题的研究对象是书桌和书柜。书桌在水平方向受到两个力：水平拉力和地面对它的滑动摩擦力。书桌在这两个力的作用下做匀速直线运动，这两个力是一对平衡力，它们的大小相等、方向相反。由滑动摩擦力的计算公式 $f = \mu F_N$ ，即可求出书桌与地面间的动摩擦因数。其中 F_N 是书桌对地面的压力，它的大小等于书桌重力的大小。对于本题的第二问，分析思路和应用的公式与第一问相同，但要注意两种情况下的相同点和不同点。题中的“同样情况”表示书柜与地面间的动摩擦因数 μ 相同，但两者的质量不同，书柜移动时所需要的拉力也不同。

解：书桌移动时在水平方向的受力分析如图 3-3-3 所示。

用 100 N 的水平拉力匀速移动书桌，根据二力平衡，书桌受到地面的滑动摩擦力为 100 N。

而书桌对地面的压力

$$F_{N_1} = m_1 g = 25 \times 10\text{ N} = 250\text{ N}.$$

根据 $f = \mu F_N$ ，可得 $\mu = \frac{f_1}{F_{N_1}} = \frac{100}{250} = 0.4.$

即书桌与地面间的动摩擦因数为 0.4。在同样情况下移动质量为 75 kg 的书柜时，书柜与地面间的动摩擦因数也是 0.4，此时书柜对地面的压力为

$$F_{N_2} = m_2 g = 75 \times 10\text{ N} = 750\text{ N}.$$

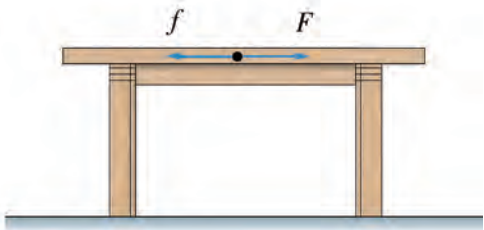


图 3-3-3 书桌移动时的受力分析

移动书柜所需的水平拉力为

$$F = \mu F_{N_2} = 0.4 \times 750 \text{ N} = 300 \text{ N}.$$

即用 100 N 的水平拉力不能移动书柜.



图 3-3-4 竖直提起两本书页交叉的书

静摩擦力

如图 3-3-4 所示, 将两本书一页页交叉叠好后, 竖直提起其中一本书, 另一本书会不会掉落?

我们先试着做一做, 再学习下面的内容.



观察与思考

如图 3-3-5 所示, 将双手按压在桌面上, 用力向前推, 手保持不动, 手有什么感觉? 手握一个玻璃瓶, 处于静止状态, 如果松手, 会出现什么情况? 用力水平推一个木箱, 但没有推动, 原因是什么?



(a) 双手按压桌面



(b) 手握玻璃瓶



(c) 水平推木箱

图 3-3-5

在图 3-3-5 (a) 中, 手按压桌面用力向前推, 手有向前运动的趋势, 会明显地感受到桌面对手有一个阻碍作用的力, 这个力的方向与手相对桌面的运动趋势相反. 在图 3-3-5 (b) 中, 手握玻璃瓶处于静止状态, 说明玻璃瓶在竖直方向上, 除了受到重力作用外, 还受到一个与重力方向相反的力的作用, 而这个力与瓶的重力的大小相等、方向相反. 如果松手, 瓶子将会自由落下, 说明瓶子有向下运动的趋势. 在图 3-3-5 (c) 中, 用力水平推木箱, 木箱有相对地面运动的趋势, 但没有推动, 说明木箱在水平方向上, 除了受到一个推力外, 还受到一个与推力方向相反的力的作用, 这个力与推力平衡.

当两个相互接触的物体之间具有相对运动趋势时, 物体间产生的摩擦叫作**静摩擦** (static friction), 这时产生的摩擦力叫作**静摩擦力** (static friction force). 静摩擦力的方向总是与物体相对运动趋势的方向相反, 与它们的接触面相切.

现在, 我们已经知道静摩擦力的产生条件及其方向的判断. 那么, 静摩擦力的大小如何测量? 下面让我们一起来做一个探究实验.



实验与探究

如图 3-3-6 所示, 用弹簧测力计沿水平方向拉静止在水平桌面上的木块 A, 由弹簧测力计示数为 0 逐渐增加拉力, 直到木块运动为止. 观察此过程中弹簧测力计的示数变化, 特别要注意木块刚被拉动时弹簧测力计的示数.

在木块上增加砝码, 重复上述实验.

根据实验结果, 讨论下列问题.

(1) 木块 A 在水平桌面上, 不用外力去拉, 它有没有受到摩擦力的作用? 用弹簧测力计轻轻拉木块, 但它不动, 木块有没有受到摩擦力的作用? 如果有, 其大小如何? 方向如何? 拉动木块后, 它还受到摩擦力的作用吗? 如果有, 其大小和方向又如何?

(2) 静摩擦力的大小是一个固定的值吗? 它与压力有关吗? 如何确定其大小?

如果用力传感器代替弹簧测力计做这个实验, 我们就能够在计算机屏幕上直接显示拉力变化的图线. 做一做, 看看有什么新的发现.

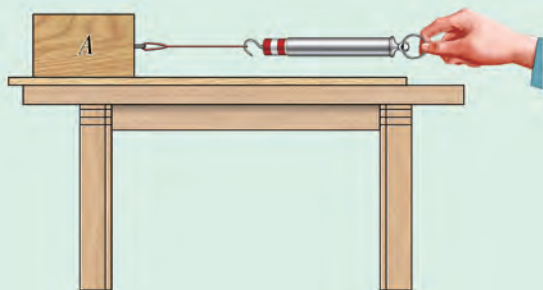


图 3-3-6 用弹簧测力计拉物体

如图 3-3-6 所示, 我们用较小的水平拉力拉木块. 虽然木块有相对桌面运动的趋势, 但木块并没有动, 这是由于木块跟桌面之间存在静摩擦力. 这个静摩擦力和拉力都作用在木块上, 它们的大小相等、方向相反, 彼此平衡, 因此木块保持静止.

随着拉力的增大, 如果拉力还未足以拉动木块, 木块依旧保持不动, 拉力跟静摩擦力仍然保持平衡. 可见, 静摩擦力随着拉力的增大而增大. 物体所受到的静摩擦力有一个最大值, 这个最大值叫作**最大静摩擦力**. 最大静摩擦力 $f_{\max}$ 在数值上等于物体刚刚开始运动时所需的最小拉力. 两物体间实际发生的静摩擦力 f 在 0 和最大静摩擦力 $f_{\max}$ 之间, 即 $0 < f_{\text{静}} \leq f_{\max}$.

摩擦力的应用

摩擦力在社会生产生活实际中的应用非常广泛. 如人赤脚在较光滑的地面上行走十分困难, 这是因为接触面摩擦力太小的缘故, 穿上鞋子后, 鞋底上的各种花纹增大接触面的粗糙程度, 走路也就容易了; 汽车上坡出现打滑时, 在路面上撒些粗石子或垫上稻草, 汽车就能顺利前进, 这也是靠增大接触面的粗糙程度来增大摩擦力; 在各类机器轴承中安装滚珠且加入润滑油是为了减小摩擦, 保证机器的良好运行. 可见, 人们的生产生活实际都与摩擦力有关, 有益的摩擦要充分利用, 有害的摩擦要尽量避免.



实践与拓展

1. 探究在骑车加速前进和推车前进两种情况下，地面对前轮和后轮的摩擦力方向，并以此写一篇科学小论文。
2. 调查生产生活中利用或尽量避免摩擦的实例。



练习

1. 下列关于摩擦力的说法，哪些是正确的？请说明理由。
 - (1) 摩擦力总是阻碍物体运动的，所以它一定与物体相对地面的运动方向相反。
 - (2) 滑动摩擦力的大小与相对速度的大小无关，只取决于接触面的性质及正压力，滑动摩擦力在接触面上的方向与相对运动方向相反。
 - (3) 两接触物体间是否有摩擦力，必须根据其他外力情况及运动情况才能确定。
2. 有人认为，静摩擦力是“静止”的物体才会受到的作用力，滑动摩擦力是“滑动”的物体才会受到的作用力。以上观点正确吗？为什么？
3. 摩擦力在日常生活中有着广泛的应用，如轮胎、鞋底等往往设计有如图 3-3-7 所示的凹凸不平的花纹。试从摩擦力的角度分析这样设计的原因。
4. 将质量为 1.0 kg 的木块放置于水平地面上，用力沿水平方向拉木块。拉力从零开始逐渐增大，木块先静止后运动。用力传感器采集木块受到的拉力和摩擦力的大小，并用计算机绘制出摩擦力 f 的大小随拉力 F 的大小变化的图像，如图 3-3-8 所示。
 - (1) 求木块与地面的动摩擦因数。
 - (2) 当用 4 N 的拉力拉木块时，木块与地面之间的摩擦力是静摩擦力还是滑动摩擦力？大小等于多少？
 - (3) 当用 7 N 的拉力拉木块时，木块与地面之间的摩擦力是静摩擦力还是滑动摩擦力？大小等于多少？



图 3-3-7

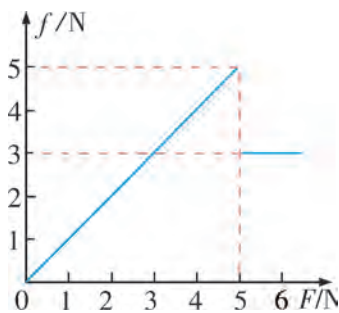


图 3-3-8

第四节

力的合成



现实生活中，物体常常不止受到一个力的作用，如学生背的书包，在公路斜坡上行驶的汽车，建筑工地上几条钢索吊起的重物等，都受到多个力的作用。多个力作用在一个物体上将产生怎样的效果呢？这是本节要学习的内容。

合力与分力

如图 3-4-1 所示，提起一桶水，既可以一个成年人单独提，也可以两个孩子一起提，即一个成年人用的力和两个孩子用的力，产生的效果是相同的。这时我们就说，一个成年人用的力和两个孩子用的力是可以互相替代的。替代的前提是等效。



图 3-4-1 一个成年人与两个孩子分别提同一桶水

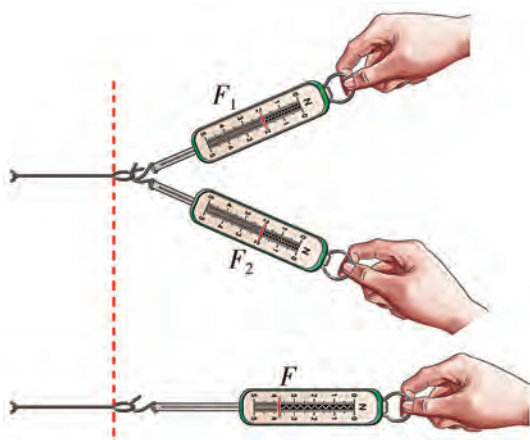


图 3-4-2 两个弹簧测力计的拉力
可由一个弹簧测力计的拉力替代

如果一个力产生的效果与另外几个力共同作用产生的效果相同，那么这个力与另外几个力等效，可以相互替代，这个力就称为另外几个力的**合力**（resultant force），另外几个力称为这个力的**分力**（component force）。

如图 3-4-2 所示，在水平桌面上，用两个弹簧测力计同时作用在水平橡皮筋上，使之沿水平方向伸长一定的长

合力和分力的相互替代是一种等效替代。等效替代是重要的科学思维方法之一，它可以使复杂问题变成简单问题。

度，弹簧测力计的示数分别为 F_1 和 F_2 ；改用一个弹簧测力计拉橡皮筋，使水平橡皮筋伸长相同的长度，弹簧测力计的示数为 F 。 F 产生的效果与 F_1 ， F_2 共同作用产生的效果相同，我们把拉力 F 称为 F_1 ， F_2 的合力，把 F_1 ， F_2 称为 F 的分力。

力的合成方法

求几个力的合力的过程叫作力的合成（composition of forces）。力的合成是一种等效替代的方法，即用一个力去替代几个共同作用的力，替代后产生的效果与原来的相同。

既然合力与分力可以相互替代，那么它们之间存在什么关系呢？

在初中我们已经学过同一直线上两个力的合成方法，现在我们讨论互成角度的力的合成方法。

实验与探究

- 在实验之前，请思考下列问题。
- (1) 实验中，怎样保证分力 F_1 ， F_2 产生的效果与合力 F 产生的效果相同？
 - (2) 如何测量合力 F 和分力 F_1 ， F_2 的大小？如何确定合力 F 和分力 F_1 ， F_2 的方向？
 - (3) 实验过程中需要记录哪些实验数据？
 - (4) 采用什么方法可以直观地描述出力的大小、方向和作用点？

如图 3-4-3 所示，将夹子夹在“力的关系探究装置”的“0”号射线顶端。

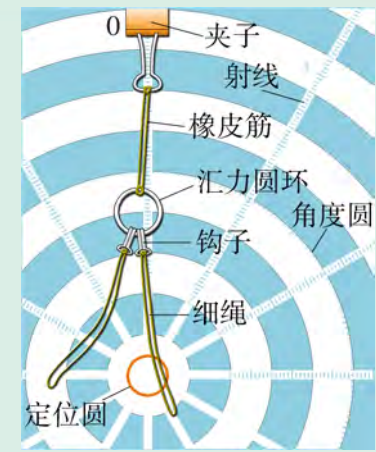
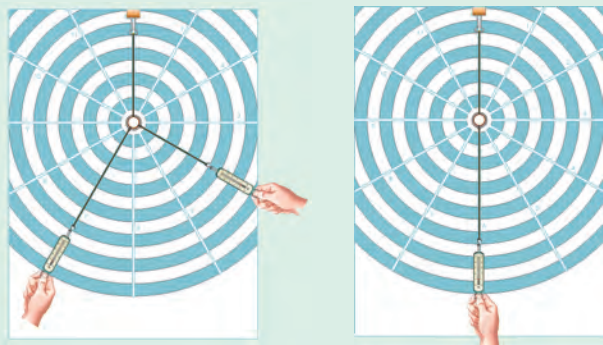


图 3-4-3 力的关系探究装置

(1) 如图 3-4-4 (a) 所示，分别将弹簧测力计连接在两根细绳的末端，沿任意两条射线方向拉细绳，使汇力圆环与平板上的定位圆重合。用铅笔在平板上记下这两个拉力的大小和方向。



(a) (b)
图 3-4-4 力的作用产生的效果

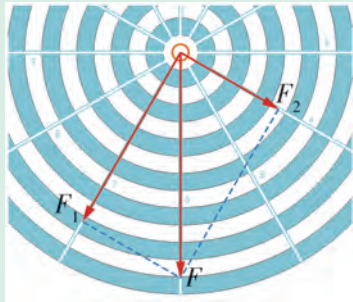


图 3-4-5 三个力的关系

(2) 如图 3-4-4 (b) 所示, 直接用一个弹簧测力计去拉细绳, 同样使汇力圆环与平板上的定位圆重合, 用铅笔在平板上记下这个拉力的大小和方向.

(3) 在平板上用力的图示法作出三个力, 如图 3-4-5 所示, 观察这三个力所构成的几何图形.

(4) 改变第 (1) 步中两个拉力的大小和方向, 重复上述实验步骤.

根据实验结果, 可以得出这三个力满足什么样的几何关系呢?

如果以表示两个分力的线段为邻边作平行四边形, 这两个邻边之间的对角线就表示合力的大小和方向, 如图 3-4-6 所示. 这就是求合力的平行四边形定则 (parallelogram rule). 平行四边形定则可应用于合力的计算, 其他矢量的合成同样也遵循平行四边形定则.

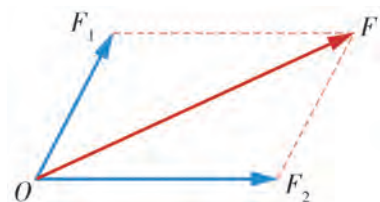


图 3-4-6 力的平行四边形定则

合力的计算

物体受到两个力的作用时, 根据力的平行四边形定则, 可以求出这两个力的合力.

例题: 某人水平扔出一个重力 $G=0.4\text{ N}$ 的小球. 小球在空中受到方向水平向左的风力 $F=0.3\text{ N}$ 的作用, 求球所受的合力.

分析: 已知两个力的大小和方向, 根据力的平行四边形定则可以求得其合力.

解: ①方法一: 利用作图法求合力.

用 1 cm 长的线段表示 0.1 N 的力, 作出的平行四边形如图 3-4-7 所示. 用刻度尺量得表示合力 F 的对角线长 5 cm , 所以合力的大小为

$$F = 0.1 \times 5\text{ N} = 0.5\text{ N},$$

用量角器量得合力 F 与分力 F_1 的夹角 θ 为 53° .

②方法二: 利用计算法求合力.

在如图 3-4-7 所示的平行四边形中, 线段的长度和方向表示力的大小和方向.

根据直角三角形的几何关系, 合力的大小为

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{0.3^2 + 0.4^2}\text{ N} = 0.5\text{ N}.$$

合力 F 与 F_1 的夹角 θ 为

$$\tan\theta = \frac{F_2}{F_1} = \frac{0.4}{0.3} = \frac{4}{3}.$$

查表, 得 $\theta = 53^\circ$.

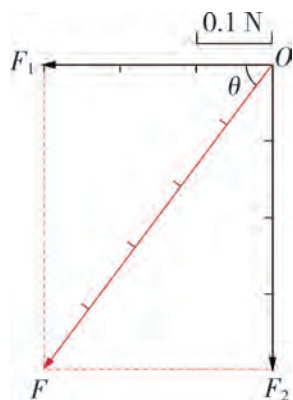


图 3-4-7 用作图法求合力



实践与拓展

1. 取一个质量较大的钩码，用细棉线把它提起来。问：用一根线易断还是两根线易断？先猜测一下，然后试一试，想一想其中的道理。
2. 在单杠上做引体向上，虽然双臂平行和双臂张开都可以使身体向上升起，但为什么双臂张开时手臂用力较大呢？



练习

1. 如图 3-4-8 所示，已知两个分力 F_1 , F_2 ，用作图的方法，求它们的合力 F 。比较求得的结果，判断下列说法是否正确。

- (1) 合力的大小可以大于、小于或等于分力的大小。
- (2) 夹角在 0° 到 180° 之间时，夹角越大，合力越小。

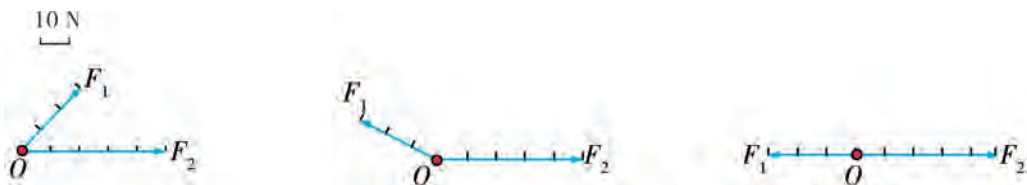


图 3-4-8

2. 如图 3-4-9 所示，某人静躺在椅子上，椅子的靠背与水平面之间有固定倾斜角 θ 。若此人所受重力为 G ，则椅子各部分对他作用的合力的大小是多少？

3. 两个大小相等的共点力，当它们的夹角为 90° 时，合力的大小为 F 。如果它们的夹角为 120° 时，合力的大小为多大？

4. 如图 3-4-10 所示，两人共同提一桶水。设两人手臂之间的夹角为 θ 。试问： θ 越大越省力，还是越小越省力？为什么？请用橡皮筋做个简单的实验来验证所得的结论。



图 3-4-9



图 3-4-10

第五节

力的分解



通过上一节的学习，我们知道，如果一个力产生的效果跟几个力共同产生的效果相同，这个力就叫作那几个力的合力。同理，如果几个力共同产生的效果与原来一个力产生的效果相同，我们就把这几个力叫作原来那个力的分力。求一个已知力的分力叫作**力的分解** (resolution of force)。

如何将一个力进行分解？力的分解遵循什么规律呢？

力的分解方法

力的分解是力的合成的逆运算，同样遵循平行四边形定则。力的合成是以两个分力为邻边作平行四边形求对角线，而力的分解则以一个已知的力作为平行四边形的对角线求两个相邻的边。

从几何关系考虑，由同一条对角线可作出无数个平行四边形，如图 3-5-1 所示。由此可知，如果没有限制，同一个力可分解为无数对大小和方向都不同的分力。在实际应用中，如何分解一个力呢？

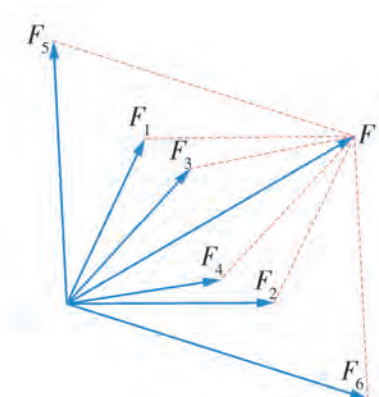


图 3-5-1 由一条对角线可作出无数个平行四边形



观察与思考

将一带有毛刷的木块置于台秤上，如图 3-5-2 (a) 所示，记录台秤的示数。然后用一个斜向上的拉力作用于木块上，如图 3-5-2 (b) 所示，可以看到什么现象？这些现象说明这个斜向上的拉力产生了怎样的效果？

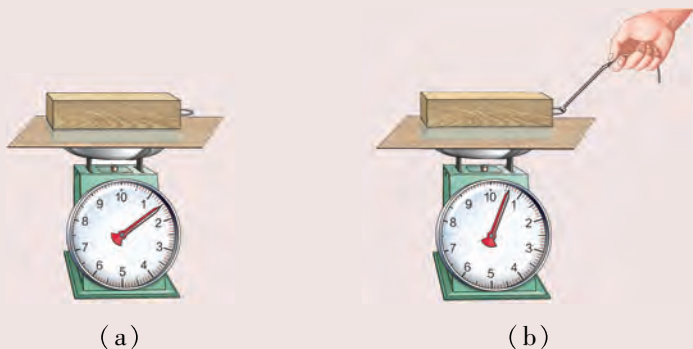


图 3-5-2 观察不同情况下台秤的示数

如图 3-5-2 (b) 所示, 台秤的示数变小了, 说明这个斜向上的拉力产生了一个竖直上提木块的效果. 刷毛向左弯曲, 显现出木块有向右运动的趋势, 说明这个斜向上的拉力还产生了一个水平向右的效果. 这是斜向上的拉力产生的两个实际效果.

在进行力的分解时, 一般先根据力产生的效果确定分力的方向, 再依据平行四边形定则计算分力的大小.

例题 1: 如图 3-5-3 所示, 一名旅客拉着一个行李箱前行. 设旅客的拉力为 20 N , 拉杆与水平地面夹角 $\theta = 53^\circ$. 使行李箱水平前进的力有多大?

分析: 旅客斜向上的拉力产生竖直上提和水平向右拉动行李箱的两个效果. 依此可以确定旅客拉力的两个分力的方向, 如图 3-5-4 所示.

解: 使行李箱前行的力是旅客拉力的水平分力

$$\begin{aligned} F_1 &= F \cos \theta \\ &= 20 \times 0.6\text{ N} = 12\text{ N}. \end{aligned}$$

即使行李箱水平前进的力为 12 N .



图 3-5-3 旅客拉着行李箱

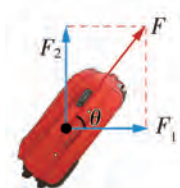


图 3-5-4 拉力的分解图

观察与思考

如图 3-5-5 (a) 所示, 在一个直角木支架上, 用塑料垫板当作斜面, 将一辆用橡皮筋拉着的小车放在斜面上, 如图 3-5-5 (b) 所示, 观察塑料垫板和橡皮筋的形变.

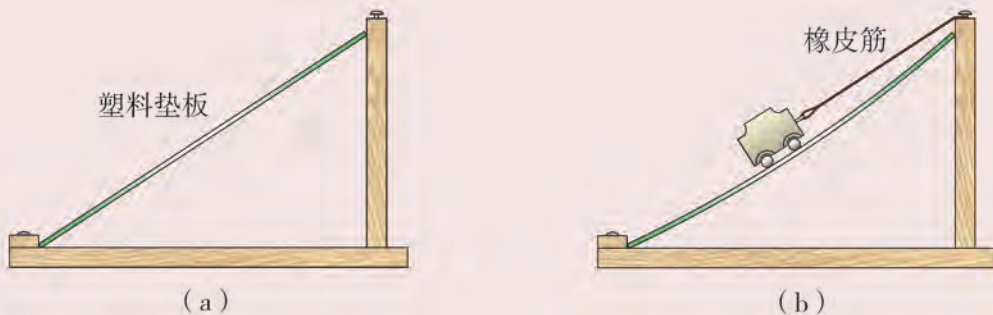


图 3-5-5 观察斜面上小车的重力产生的效果

在小车上逐渐增加砝码, 观察塑料垫板和橡皮筋的形变. 根据实验观察到的结果, 思考: 小车对斜面和小车对橡皮筋产生了哪些效果? 如果没有小车重力的作用, 还会有这些效果吗?

从上面的实验中，我们可以看到，塑料垫板被小车压弯曲，橡皮筋被拉长，说明小车的重力在这两个方向上产生了效果。斜面上物体的重力，可以分解为沿斜面向下和垂直斜面向下的两个分力。

例题 2：一质量为 200 kg 的物体，置于倾角为 30° 的斜面上，求物体所受重力沿斜面和垂直于斜面方向的分力。（取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

分析：题中求的是重力沿斜面和垂直于斜面方向的分力，我们可以直接依据平行四边形定则对重力进行分解。

解：把重力 G 分解为沿斜面的分力 F_1 和垂直于斜面的分力 F_2 ，如图 3-5-6 所示。

根据几何关系，代入数据，得

$$F_1 = G \sin \alpha = 200 \times 10 \times 0.5 \text{ N} = 1000 \text{ N},$$

$$F_2 = G \cos \alpha = 200 \times 10 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ N} \approx 1732 \text{ N}.$$

即沿斜面的分力的大小为 1000 N，垂直于斜面的分力的大小为 1732 N。

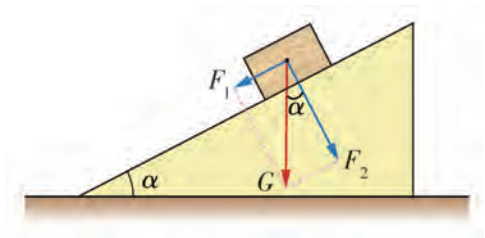


图 3-5-6 重力在斜面上的分解

力的分解的应用

在现实生活中，力的分解有着广泛的应用。下面通过一个实例来说明其应用。

一卡车陷入泥坑中，在紧急状况下，我们可以按如图 3-5-7 所示的方法，用钢索把载货卡车和木桩拴紧，在钢索的中央用较小的垂直于钢索的侧向力就可以将载货卡车拉出泥坑。我们将作用在钢索上的力 F 沿钢索分解为 F_1 和 F_2 两个分力，显然，分力 F_1 ， F_2 大于合力 F 。这个例子是用一个较小的合力产生两个较大的分力，如图 3-5-8 所示。

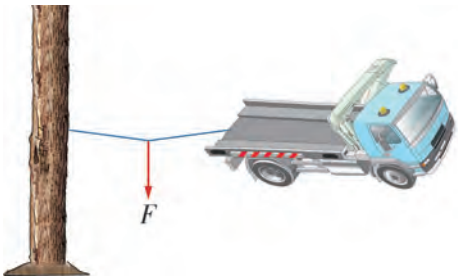


图 3-5-7 将载货卡车拉出泥坑

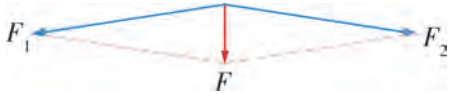


图 3-5-8 一个较小的合力
可以产生两个较大的分力

以上实例利用了合力与分力的关系：当合力一定时，分力的大小和方向会随着分力间的夹角改变而改变，两个分力的夹角越大，分力就越大。



实践与拓展

如图 3-5-9 所示, 三条材料相同但长度不同的细线一端系在点 O 处, 其中两条细线的另一端分别系在铁架台的水平杆上的 A , B 两处, 另一条细线的端点系一重物 C , 在重物上逐渐增加钩码数量, 请观察三条细线哪条先断. 实际做一做, 并分析其原因.

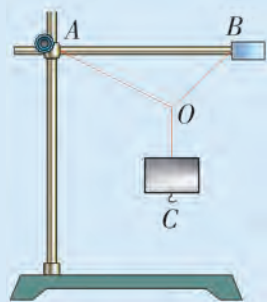


图 3-5-9

按正交分解法进行力的分解

在许多情况下, 往往将一个力分解为两个互相垂直的分力, 以便于对问题的分析讨论, 这种方法称为正交分解法. 如图 3-5-10 所示, 斜向上的拉力 F 产生了两个实际效果: 一个水平拉力 F_x , 一个垂直向上的力 F_y . 我们在这两个方向上建立直角坐标系, 把力 F 分别沿这两个互相垂直的方向分解成两个分力, 可

$$\text{得} \begin{cases} F_x = F \cos \theta, \\ F_y = F \sin \theta. \end{cases}$$

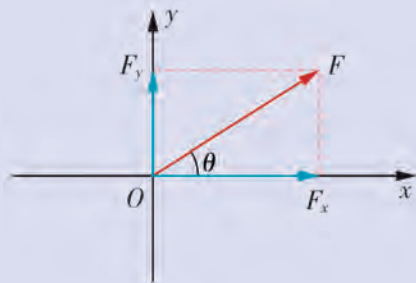


图 3-5-10 力的正交分解

正交分解法适用于各种矢量的运算. 在建立直角坐标系后, 可将矢量运算转化为代数运算, 所以正交分解法是一种非常有用的方法. 在力的正交分解法中, 分解的目的是为了求合力, 尤其适用于物体受多个力的情况.

 练习

1. 将完全相同的原木按图 3-5-11 (a) 所示堆放. 设原木半径为 R , 重力为 G . 若不考虑原木之间的摩擦, 最上面三根原木可视为图 3-5-11 (b) 一样的“品”字形. 最上面这根原木对其下面两根原木有怎样的作用效果? 分别求出最上面这根原木对其下面两根原木的作用力大小.

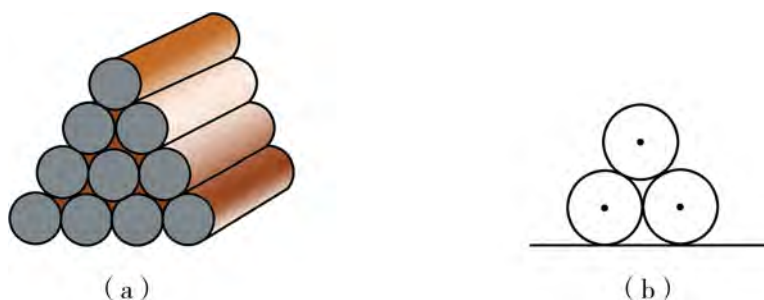


图 3-5-11

2. 如图 3-5-12 所示, 取一条细线, 将细线的一端系在右手的中指上, 另一端系上一个重物. 用铅笔的一端顶住细线上的某点, 铅笔的另一端置于右手掌心. 保证铅笔水平, 挂重物端的细线竖直向下. 请实际做一做, 说说掌心和中指有什么感觉, 并分析其原因.

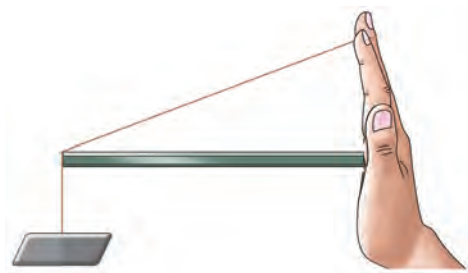


图 3-5-12



图 3-5-13

3. 如图 3-5-13 所示, 甲同学左手叉腰, 使下臂大致水平. 另一同学乙在甲同学的肘关节 O 处用力竖直下压. 此时, 甲同学的上臂 BO 和下臂 OA 会有什么感觉? 分析原因.

第六节

共点力的平衡条件及其应用



在自然界和日常生活中，物体的平衡是最常见的现象之一。如图 3-6-1 所示，高高耸立的岩石、婀娜多姿的平衡鸟、体育比赛中平衡木上的运动员等，都处于平衡状态；现代高耸入云的广州塔，以及形式多样的斜拉桥等，都利用了物体平衡的原理。



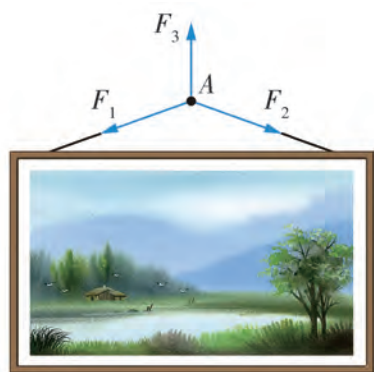
图 3-6-1 多姿多彩的平衡

自然界中物体的平衡构成了一道道奇异的景色，生活中物体的平衡构成了一幅幅美丽的画卷，体育竞技和杂技表演给我们展示的平衡是艺术的创造，而由物体的平衡原理制成的技术产品也在改变着我们的生活和周围的世界。

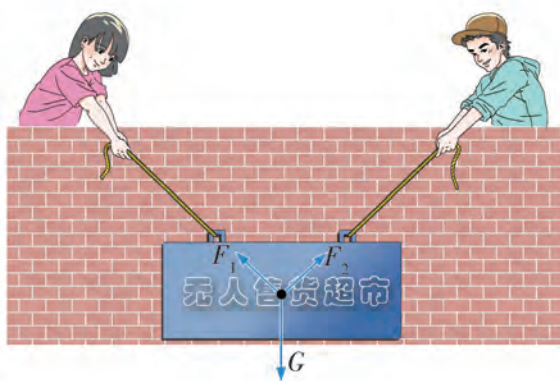
本节我们主要学习共点力作用下物体平衡的条件。

共点力的平衡

如果几个力作用在物体的同一点上 [如图3-6-2 (a) 所示], 或者几个力的作用线相交于同一点 [如图3-6-2 (b) 所示], 这几个力就称为**共点力** (concurrent forces).



(a)



(b)

图3-6-2 共点力

为了明确表示物体所受的共点力, 在作力的示意图时, 可以把这些力的作用点画到它们作用线的公共交点上, 如图3-6-2 所示.

物体处于静止或者保持匀速直线运动的状态叫作**平衡状态** (equilibrium state). 物体如果受到共点力的作用且处于平衡状态, 就叫作**共点力的平衡**. 为了使物体保持平衡状态, 作用在物体上的力所必须满足的条件, 叫作**共点力的平衡条件**.

探究共点力的平衡条件

二力平衡是指物体在两个共点力的作用下处于平衡状态, 其平衡条件是这两个力的大小相等、方向相反, 作用在同一直线上.

一个悬挂着的灯笼的受力情况如图3-6-3 所示, $F = G$, 力 F , G 的合力为零.

如果物体受到三个不在一条直线上的共点力的作用, 怎样才能保持平衡?

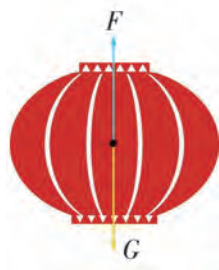


图3-6-3 灯笼的受力示意图



实验与探究

取一个汇力圆环、三根一端带小钩的细绳、三个弹簧测力计，将三个小钩都钩在汇力圆环上。

(1) 如图 3-6-4 所示，分别将弹簧测力计连接在三根细绳的末端，使汇力圆环在三根细绳的拉力作用下与平板上的定位圆重合。

(2) 用铅笔在平板上记下这三个拉力的大小和方向。

(3) 在平板上用力的图示法画出这三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 ，如图 3-6-5 所示。

(4) 用力的平行四边形定则作出 F_1 、 F_2 的合力 F ，如图 3-6-6 所示。比较 F 与 F_3 的大小和方向。作出 F_2 、 F_3 的合力 F' ，如图 3-6-7 所示，或者作出 F_1 、 F_3 的合力 F'' ，如图 3-6-8 所示，然后将合力与另外一个力进行比较。



图 3-6-4 三个共点力作用



图 3-6-5 实验结果的力的图示

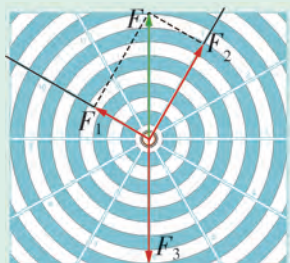


图 3-6-6 作出 F_1 、 F_2 的合力 F

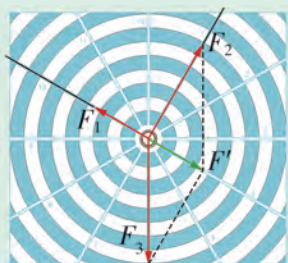


图 3-6-7 作出 F_2 、 F_3 的合力 F'

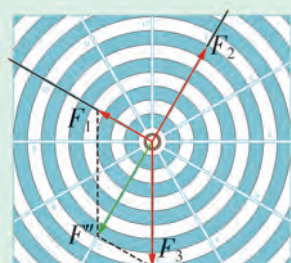


图 3-6-8 作出 F_1 、 F_3 的合力 F''

(5) 在保证汇力圆环与定位圆重合的前提下，改变三根细绳的拉力大小和方向，重复上述步骤。

根据实验结果，你能否归纳总结物体在三个共点力作用下的平衡条件。

大量的实验表明，物体受多个共点力的作用而处于平衡状态时，其平衡条件是所受合力为零。

共点力平衡条件的应用

共点力作用下物体的平衡条件在社会生产生活实际中有广泛的应用，下面分析两个具体的例子。

例题 1：在图 3-6-9 中，小球重 3 N，光滑斜面的倾角 α 为 30° 。求斜面及竖直放置的挡板对小球作用力的大小。

分析：以小球为研究对象，小球受到斜面对它的作用力 F_1 、挡板对它的作用力 F_2 和重力 G 这三个力的作用。根据共点力的平衡条件， F_1 和 F_2 的合力 F 的大小与重力 G 的大小相等。

解：对小球的受力分析如图 3-6-9 所示。由几何关系，得

$$F_1 = \frac{F}{\cos\alpha}, \quad F_2 = F \tan\alpha, \quad F = G.$$

代入数据，解得

$$F_1 = \frac{F}{\cos 30^\circ} = 3 \times \frac{2}{\sqrt{3}} \text{ N} \approx 3.5 \text{ N},$$

$$F_2 = F \tan 30^\circ = 3 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \text{ N} \approx 1.7 \text{ N}.$$

即斜面对小球的作用力的大小为 3.5 N，挡板对小球的作用力的大小为 1.7 N。

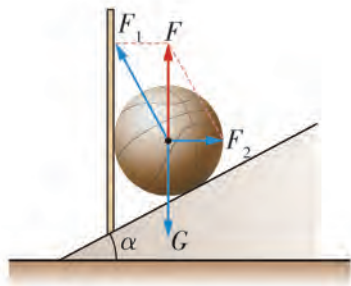


图 3-6-9 小球的受力分析图

例题 2：在科学研究中，人们利用风力仪直接测量风力的大小，其原理如图 3-6-10 所示。仪器中有一根轻质金属丝，悬挂着一个金属球。无风时，金属丝竖直下垂。当受到沿水平方向吹来的风时，金属丝偏离竖直方向一个角度，风力越大，偏角越大。通过传感器，就可以根据偏角的大小指示出风力的大小。那么，风力的大小 F 跟小球质量 m 、偏角 θ 之间有什么关系呢？

分析：以金属球为研究对象，有风时，它受到三个力作用：重力 mg ，竖直向下；风力 F ，水平向左；金属丝拉力 T ，沿金属丝倾斜向上，如图 3-6-11 所示。当风力一定时，金属球能保持在一定的偏角的位置上。以金属球的球心为原点，取水平方向为 x 轴，竖直方向为 y 轴。由平衡条件列出方程，即可求出风力的大小 F 跟金属球质量 m 、偏角 θ 之间的关系。

解：以金属球为研究对象，受力分析如图 3-6-11 所示。水平方向上的合力 $F_{x\text{合}}$ 和竖直方向上的合力 $F_{y\text{合}}$ 分别等于零，即

$$F_{x\text{合}} = T \sin\theta - F = 0,$$

$$F_{y\text{合}} = T \cos\theta - mg = 0,$$

$$\text{有 } T \sin\theta = F, \quad T \cos\theta = mg.$$

$$\text{两式相比，得 } F = mg \tan\theta.$$

由所得结果可见，当金属球质量 m 一定时，偏角 θ 只跟风力 F 有关。因此，根据偏角 θ 的大小就可以指示出风力的大小。

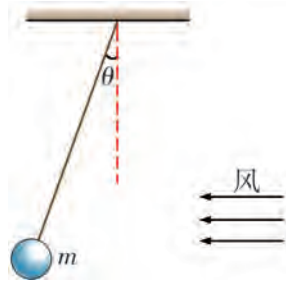


图 3-6-10 风力仪的原理示意图

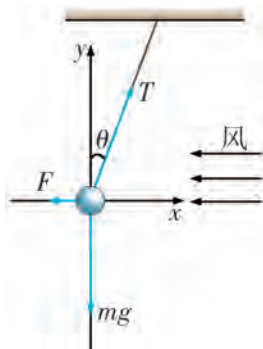


图 3-6-11 金属球的受力分析图

练习

1. 如图 3-6-12 所示, 质点 P 受到两个力的作用. 请在图中加一个力使 P 处于平衡状态, 注意标明所加力的大小和方向.

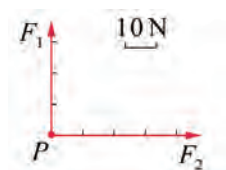


图 3-6-12

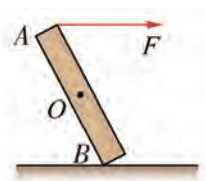


图 3-6-13

2. 如图 3-6-13 所示, 质量分布均匀的木棒 AB 一端支在地上, 另一端受一水平力 F 作用. 木棒呈静止状态, 点 O 为木棒的重心. 试在图中画出地面对木棒的作用力方向.

3. 粗细均匀的电线架在 A, B 两根电线杆之间. 由于热胀冷缩, 电线在夏、冬两季呈现如图 3-6-14 所示的两种形状. 若电线杆始终处于竖直状态, 试分析夏、冬两季哪个季节电线对电线杆的拉力较大.

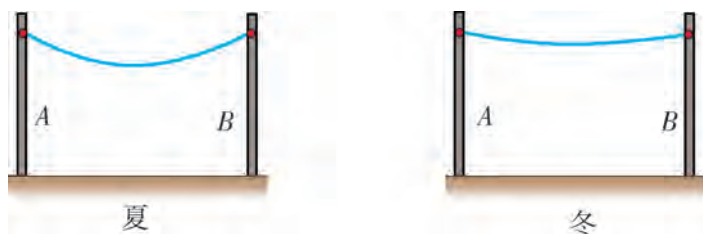


图 3-6-14

4. 如图 3-6-15 所示, 两根等长的轻绳将日光灯悬挂在天花板上. 两绳与竖直方向的夹角都为 45° , 日光灯保持水平, 所受的重力为 G . 试求出左、右两绳的拉力的大小.

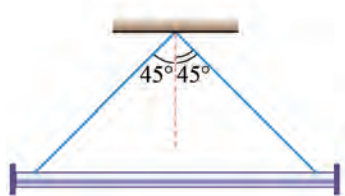
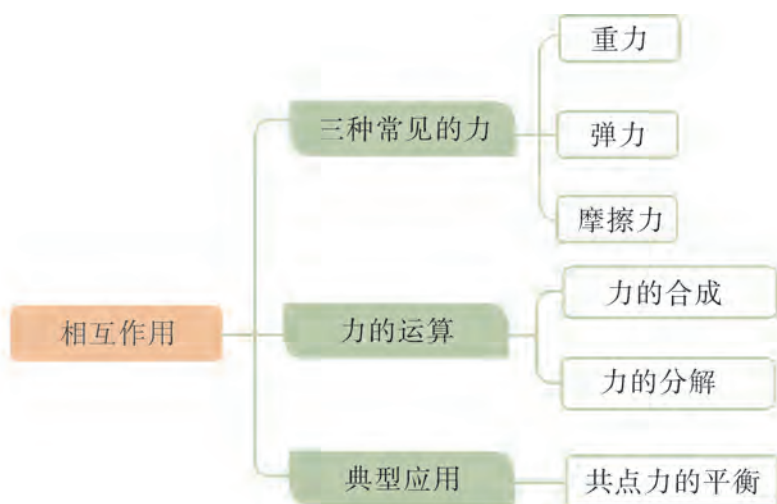


图 3-6-15

本章小结

知识结构

参考下面的知识结构，请进一步梳理本章的知识。



回顾与评价

1. 通过本章的学习，我们对力有哪些新的认识和理解？
2. 结合本章的知识，谈一谈矢量与标量运算法则的区别。
3. 在学习力的分解知识中，我们经历和体会了哪些研究方法？这些方法对解决实际问题有哪些启示？
4. 谈一谈用共点力的平衡条件解决生活生产中实际问题的主要思路和方法。

习题三

1. 下列关于重力的说法中，正确的是（ ）。
 - A. 重力的大小与物体的质量成正比，计算公式为 $G = mg$
 - B. 重力的方向总是竖直向下，且一定指向地心
 - C. 重力的作用点一定在物体上
 - D. 重力的施力物体是地球
2. 下列关于弹力的说法中，正确的是（ ）。
 - A. 两块相同的砖并排挨放在同一水平面上，它们之间有弹力作用
 - B. 两块相同的砖并排挨放在同一光滑水平面上，一起做匀速运动时，它们之间无弹力作用
 - C. 两块相同的砖并排挨放在同一水平面上，一起做匀速运动时，它们之间一定有弹力作用
 - D. 两块相同的砖并排挨放在同一光滑斜面上，受推力作用一同沿斜面向上匀速运动时，它们之间一定有弹力作用
3. 下列关于摩擦力的说法中，正确的是（ ）。
 - A. 作用在物体上的滑动摩擦力只能使物体减速，不可能使物体加速
 - B. 作用在物体上的静摩擦力只能使物体加速，不可能使物体减速
 - C. 作用在物体上的滑动摩擦力既能使物体减速，也能使物体加速
 - D. 作用在物体上的静摩擦力既能使物体加速，也能使物体减速
4. 生活中，我们经常使用贴在墙上的吸盘挂钩来挂一些物品。吸盘受到拉力不易脱落的原因是（ ）。
 - A. 大气压力大于重力
 - B. 大气压力与重力平衡
 - C. 吸盘所受摩擦力与所挂物体的重力平衡
 - D. 吸盘所受摩擦力大于所挂物体的重力
5. 如图 3-1 所示，在两根竖直木桩等高的两点上，用两根等长轻绳将木板悬挂制成一简易秋千。某次维修时将两绳各剪去一小段，但仍保持等长且悬挂点不变。木板静止时， F_1 表示木板所受合力的大小， F_2 表示单根轻绳对木板拉力的大小，则维修后（ ）。

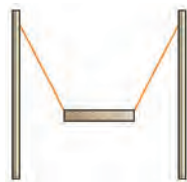


图 3-1

- A. F_1 不变, F_2 变大 B. F_1 不变, F_2 变小
C. F_1 变大, F_2 变大 D. F_1 变小, F_2 变小

6. 如图 3-2 所示, 把三条绳子的一端都系在细直杆的顶端, 绳子的另一端都固定在水平面上, 将杆竖直紧压在地面上. 若三条绳长度不同, 下列说法正确的有 ().

- A. 三条绳子的张力都相等
B. 杆对地面的压力大于自身的重力
C. 绳子对杆的拉力在水平方向的合力为零
D. 绳子拉力的合力与杆的重力是一对平衡力

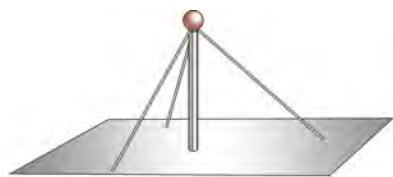


图 3-2

7. 如图 3-3 所示, 在竖直方向上, 两根完全相同的轻质弹簧 a , b , 一端与质量为 m 的物体相连接, 另一端分别固定. 当物体平衡时, 如果 ().

- A. a 被拉长, 则 b 一定被拉长
B. a 被压缩, 则 b 一定被压缩
C. b 被拉长, 则 a 一定被拉长
D. b 被压缩, 则 a 一定被拉长

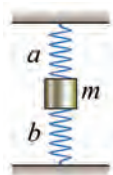


图 3-3

8. 如图 3-4 所示, 石拱桥的正中央有一质量为 m 的对称楔形石块, 侧面与竖直方向的夹角为 α , 重力加速度为 g . 若接触面间的摩擦力忽略不计, 则石块侧面所受弹力的大小为 ().

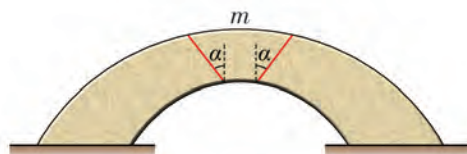


图 3-4

- A. $\frac{mg}{2\sin\alpha}$ B. $\frac{mg}{2\cos\alpha}$ C. $\frac{1}{2}mg\tan\alpha$ D. $\frac{1}{2}mg\cot\alpha$

9. 雨滴下落时受到的空气阻力与雨滴的速度有关, 雨滴速度越大, 它受到的空气阻力越大. 此外, 当雨滴速度一定时, 雨滴下落受到的空气阻力还与雨滴半径的 α 次方成正比 ($1 \leq \alpha \leq 2$). 假设一滴大雨滴和一滴小雨滴从同一云层同时下落, 最终它们都以怎样的运动下落? 哪一滴雨滴先落到地面? 接近地面时, 哪一滴雨滴的速度较小?

10. 如图 3-5 所示, 起重机将重力为 G 的正方形工件缓缓吊起. 四根等长的钢绳 (质量不计), 一端分别固定在正方形工件的四个角上, 另一端汇聚一起挂在挂钩上, 绳端汇聚处到每个角的距离均与正方形的对角线长度相等. 求每根钢绳受力的大小.

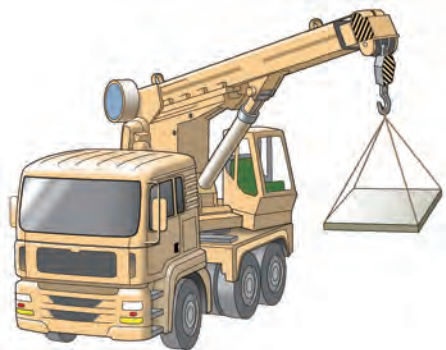


图 3-5

11. 如图 3-6 所示, 墙上有两枚钉子 A 和 B, 它们的连线与水平方向的夹角为 45° , 两者的高度差为 l . 一条不可伸长的轻质细绳一端固定于点 A, 另一端跨过光滑钉子 B 悬挂一质量为 m_1 的重物. 在绳上距 A 端 $\frac{l}{2}$ 的点 C 有一固定绳圈. 若绳圈上悬挂质量为 m_2 的钩码, 平衡后绳的 AC 段正好水平, 求重物和钩码的质量比 $\frac{m_1}{m_2}$.

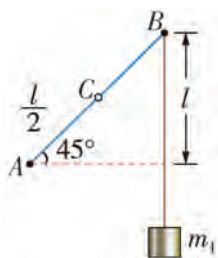


图 3-6

12. 如图 3-7 所示是一种常见的测身高体重测量仪. 测量仪顶部向下发射波速为 v 的超声波, 超声波经反射后返回, 被测量仪接收, 测量仪记录发射和接收的时间间隔. 质量为 M_0 的测重台置于压力传感器上, 传感器输出电压与作用在其上的压力成正比. 当测重台没有站人时, 测量仪记录的时间间隔为 t_0 , 输出电压为 U_0 . 某同学站上测重台, 测量仪记录的时间间隔为 t , 输出电压为 U . 求该同学的身高和质量.



图 3-7

13. 如图 3-8 所示, 如果热水瓶中的热水未灌满就盖紧瓶塞, 而瓶塞与瓶口的密封程度很好, 经过一段时间后, 要拔出瓶塞会变得很吃力. 假设开始时瓶内水温为 90°C , 经过一段时间, 温度降到 50°C , 热水瓶口的截面积为 10 cm^2 , 手与瓶塞的动摩擦因数为 0.15. 瓶内气体压强与温度满足以下关系: $p = \frac{273 + t_2}{273 + t_1} p_0$, 已知大气压强 $p_0 = 1.01 \times 10^5\text{ Pa}$, 请计算为了拔出瓶塞, 手指至少要用多大的压力作用在瓶塞上.



图 3-8

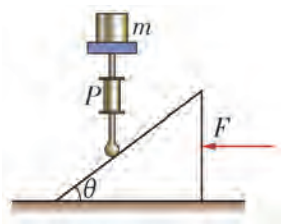


图 3-9

14. 一种简易“千斤顶”如图 3-9 所示. 一竖直放置的轻杆由于限制套管 P 的作用, 只在竖直方向上运动. 若轻杆上端放一质量 $m = 1000\text{ kg}$ 的重物, 轻杆的下端通过一与杆固定连接的小轮放在倾角 $\theta = 37^\circ$ 的斜面体上, 并将斜面体放在水平地面上. 现沿水平方向对斜面体施加推力 F , 为了能顶起重物, F 至少为多大? (小轮、水平面等摩擦和小轮质量不计, $g = 10\text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$)

15. 在做“验证力的平行四边形定则”实验时：

(1) 部分实验步骤如下，请完成有关内容.

I. 将一根橡皮筋的一端固定在贴有白纸的竖直平整木板上，另一端绑上两根细线.

II. 在其中一根细线上挂 5 个质量相等的钩码，使橡皮筋拉伸，如图 3 - 10 (a) 所示，记录_____.

III. 将步骤 II 中的钩码取下，分别在两根细线上挂上 4 个和 3 个质量相等的钩码，用与板面垂直的两光滑硬棒 B, C 支起两细线并使其互成角度，如图 3 - 10 (b) 所示. 小心调整 B, C 的位置，使_____，记录_____.

(2) 如果“力的平行四边形定则”得到验证，那么由图 3 - 10 (b) 中的 α, β 值，可得

$\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} = \underline{\hspace{2cm}}.$

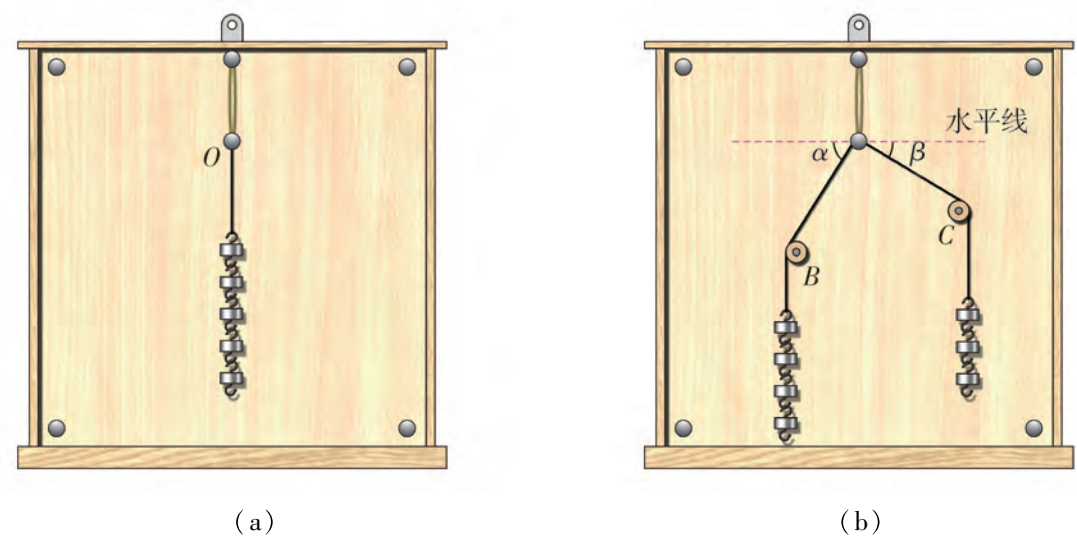


图 3 - 10



第四章

牛顿运动定律

早在两千多年前，古希腊哲学家亚里士多德就对运动和力的关系进行了思考，并基于观察和直觉，认为力是维持物体运动的原因。四百多年前，意大利科学家伽利略采用实验与科学推理相结合的方法，得出了物体的运动并不需要力来维持的观点。同时代的法国科学家笛卡尔进一步补充和完善了伽利略的观点。英国科学家牛顿在总结伽利略、笛卡尔等人研究的基础上，根据自己的研究，于1687年出版了他的名著——《自然哲学的数学原理》。在这部著作中，牛顿提出了三条运动定律，这三条运动定律统称为牛顿运动定律，为整个动力学的研究奠定了基础。

运动学是研究动力学的基础，但仅有运动学的知识，我们只能描述物体是怎样运动的；有了动力学知识，才使得我们创造条件操控运动的梦想成为现实。如在龙舟比赛中，队员们可以通过划桨操控龙舟的航向和速度；科学家们可以把人造卫星和宇宙飞船发射到预定的轨道上运行等。

牛顿运动定律是动力学的核心内容，也是学好力学知识的关键。本章我们就来学习和研究这一方面的内容。

第一节

牛顿第一定律



我们在第一章引入了描述运动的一些概念，并没有对物体为什么会做形式多样的运动做深入的探讨。要讨论这个问题，必须进一步思考运动和力的关系。本节我们将从历史的角度，沿着科学家们思考的足迹，展示科学家们对运动原因的探索，从中领会科学方法和科学思想，体会科学家们对人类的贡献和正确思想的来之不易。

亚里士多德的观点

运动和运动原因一直是人类探求的课题。两千多年前，亚里士多德认为，有力作用在物体上，物体才运动；撤掉力，运动就停止。维持物体运动需要力。在近两千年的时间里，亚里士多德的这种观点一直是主流思想。亚里士多德的观点有事实依据吗？我们不妨演示生活中一个常见的现象：箱子原来静止在粗糙的水平面上，当人用力推时，箱子被推动；手松开后，箱子停下来。生活中类似的现象还有很多。长期以来，人们从经验出发，认为要使一个物体运动，必须推或拉。停止推拉，物体也就很快停止运动。这和两千多年前亚里士多德基于观察和直觉得出的结论是一致的。



图 4-1-1 亚里士多德

亚里士多德是古希腊哲学的集大成者，他一生勤奋治学，写下了大量的著作，被誉为“百科全书式的哲学家”。同时，他还是许多学科的创始人，如伦理学、政治学、逻辑学等。他的思想对人类产生了深远的影响，对科学进步做出了贡献。恩格斯称他为“最博学的人”。但是，在力与运动的关系方面，他结合生活经验所下的结论只是一种表面现象，真正的原因有待进一步探究。

伽利略的探索

在生活中，我们也看到这样的现象：一辆小车静止在水平面上，当用力推它，小车运动起来；当停止推它，小车并没有马上停下来，而是运动一段距离后才停下来。

伽利略根据上述现象，认为一个运动物体的自然倾向是继续运动，并不需要力来维持这个运动。运动的物体之所以会停下来，是因为受到摩擦力的阻碍作用。如果没有摩擦力，那么物体会怎样运动呢？

伽利略推断物体将处于静止或以恒定的速度一直运动下去。接着，伽利略通过理想斜面实验进行推理论证。

如图4-1-2所示，让小球从斜面AB的某一高度由静止释放，小球将滚上另一个斜面BC。斜面越光滑，小球上升的高度越接近原来的高度；如果没有摩擦力，这个小球将达到与原来同样的高度。

如果减小斜面的倾角，小球仍会达到同一高度，但要通过更长的路程。如果继续减小斜面的倾角，小球经过的路程就会越来越长，但最终仍能到达原来的高度。如果斜面变成水平面，小球将无法达到原来的高度，只能以恒定的速度一直运动下去。

伽利略利用这个理想斜面实验，从实验结果出发，应用科学推理的方法，得出了“物体的运动不需要力来维持”的结论，从而否定了维持近两千年的亚里士多德的观点。我们知道，伽利略斜面实验是理想实验，并非真实的实验，这是伽利略凭空想象出来的吗？科学研究中的任何想象均是基于现实的，不可能凭空想象。那么伽利略当时依据的事实是什么呢？

伽利略曾这样评价亚里士多德：“老实说，我赞成看亚里士多德的著作，并精心进行研究。我只是责备那些把自己完全沦为亚里士多德奴隶的人。”

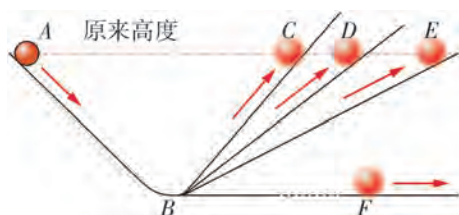


图4-1-2 伽利略的理想斜面实验

观察与思考

如图4-1-3所示是伽利略针和单摆实验装置示意图。将一单摆上端固定，摆球拉向一边，由静止释放小球，小球会摆动到另一边，用水平尺子标记其高度。

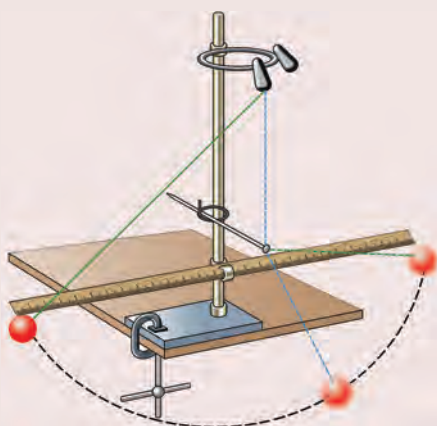


图4-1-3 伽利略针和单摆实验装置

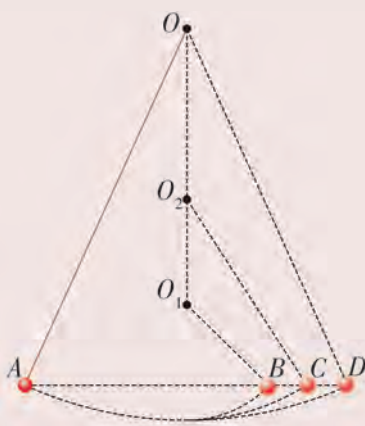


图4-1-4 伽利略针和单摆实验过程示意图

(1) 如图4-1-4所示是伽利略针和单摆实验过程示意图。将单摆悬挂在一点O处，将小球拉到左边A处，与尺子同高度的地方，从静止释放小球，可以观察到什么现象？小球运动到右边，能达到同等高度的位置吗？

(2) 在小球悬点 O 的正下方 O_1 处固定一根针, 当球由左边 A 处往右边摆动时, 碰到针, 它还会摆到相同的高度吗?

(3) 提高针的位置至点 O_2 , 小球还会摆到相同的高度吗?

(4) 多次改变小球的悬点并观察小球的运动路径, 受到了什么启发? 这个轨迹跟哪个实验设想类似?

伽利略用一根针多次改变小球的悬点, 重复实验. 在当时的测量条件下, 伽利略得到的结论是小球总能上升到原来的高度; 针的位置越高, 摆球运动的轨迹越长, 运动得越远.

改变小球的悬点, 小球的运动轨迹 AB , AC , AD (如图 4-1-4 所示), 与前述的理想斜面实验相似, 伽利略理想斜面实验的灵感即来源于此. 他将小球来回摆动的现象与小球在斜面上的运动联系在一起, 认为小球在理想斜面上的运动, 可以看成没有阻力的单摆, 所以小球在斜面上会上升到原来的高度.

伽利略设计的斜面实验虽然是想象中的实验, 但它建立在可靠事实的基础上. 理想实验是科学研究中的一种重要方法, 它突出了事物的本质特征, 能达到现实科学实验无法达到的极度简化和纯化的程度. 它不仅可以发挥理性思维的逻辑力量, 还可以让思维超越当时的科学技术水平, 在想象的广阔天地里自由驰骋. 伽利略对科学推理方法的发现和运用, 是人类思想史上最伟大的成就之一, 标志着物理学的真正开端.

笛卡尔的补充

伽利略对非水平面上的运动是否需要力来维持, 没有给出合理的解释. 法国科学家笛卡尔 (R. Descartes, 1596—1650) 在《哲学原理》一书中, 对伽利略的观点进行了补充和完善. 笛卡尔认为, 如果没有其他原因, 运动的物体将继续以同一速度沿着一条直线运动, 既不会停下来, 也不会偏离原来的方向. 这个补充, 很明显指出了物体在非水平面上的运动也不需要力来维持.



图 4-1-5 笛卡尔

牛顿的总结

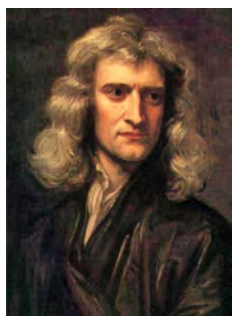


图 4-1-6 牛顿

牛顿在伽利略和笛卡尔等人研究的基础上, 系统地总结出动力学的一条基本定律, 称为牛顿第一定律.

一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态, 直到有外力迫使它改变这种状态为止. 这就是牛顿第一定律 (Newton first law).

物体具有保持原来匀速直线运动状态或静止状态的性质, 叫作惯性 (inertia). 牛顿第一定律又叫作惯性定律 (law of inertia). 大量事实说明: 任何物体无论处于什么状态, 都具有惯性. 惯性是物体的固有属

性。质量是惯性大小的量度，质量越大的物体惯性越大，质量越小则惯性越小。

在日常生活中，我们有时会利用惯性。例如我们洗完手后使劲甩手，可把手上的水甩掉，这是由于手间歇地停止运动，水滴则因惯性而依旧保持原来的运动状态，从而使水滴与手分离。我们有时又要防止惯性。例如严禁汽车超载就是为了防止惯性带来危害。因为质量越大，相应的惯性也就越大。汽车超载使其惯性加大，在遇到紧急情况时很难刹住车，从而容易造成交通事故。

如果一个物体的速度的大小和方向都保持不变，我们就说这个物体的运动状态保持不变。否则，我们就说这个物体的运动状态发生了改变。

牛顿第一定律告诉我们，如果物体没有受到外力作用，物体的速度不发生改变；当物体受到外力作用、速度发生改变时，物体具有加速度。所以，力不是维持物体运动的原因，而是使物体产生加速度的原因。由此可知，如果物体所受合外力为零，那么原来静止的会继续保持静止，原来运动的会一直保持匀速直线运动。如果物体所受合外力不为零，则物体原来的运动状态发生改变，即速度的大小或方向发生了改变。

需要指出的是，不受任何外力作用的物体是不存在的，牛顿第一定律描述的只是一种理想的状态。所以，牛顿第一定律是利用逻辑思维对事实进行分析的结果，无法用实验直接进行验证。通常我们所见到的匀速直线运动或静止状态，都是在平衡力作用下所呈现的状态。



实践与拓展

查找伽利略针和单摆实验的相关资料，思考伽利略是怎样通过“伽利略针和单摆实验”构思出“理想实验”的。

理想实验的魅力

理想实验是运用理想模型在思想中塑造理想过程，并进行严密逻辑推理的一种思维方法。理想实验的设计过程也是理想模型的建立过程。比如伽利略关于惯性运动的理想实验的设计，就是在他进行真实的斜面实验的基础上得出的。爱因斯坦指出：“惯性定律标志着物理学上的第一个大进步，事实上是物理学的真正开端……我们认识到用思维来创造理想实验的重要性。”

爱因斯坦本人也曾多次利用理想实验的方法创立新的理论。他设想：在自由下落的升降机里，一个人的手上拿着一块手帕和一块表，让它们从手上掉下来，如果无任何阻力，这两个物体会停在他松开手的地方。由此，爱因斯坦得出结

论：处在“自由下落电梯”中的观察者将不可能通过其他任何物理实验来发现引力，即在这个特定的“电梯”参照系中，引力被消除了。这个理想实验帮助爱因斯坦创立了广义相对论。

虽然理想实验只是一种思维方法，并不是检验物理学理论真理性的标准，但由于抓住研究对象和研究过程的主要因素，因而使整个研究过程大为简化，易于得出结果。

理想实验在自然科学的理论研究中有着重要的作用。但是，理想实验的方法也有其一定的局限性，它只是一种逻辑推理的思维过程，其作用只限于逻辑上的证明与反驳，而不能用来作为检验认识正确与否的标准。相反，由理想实验所得出的任何推论，都必须由观察或实验的结果来检验。



练习

1. 判断下列说法的对错，并简要说明理由。
 - (1) 物体的加速度越大，其惯性越小。
 - (2) 物体的惯性大小与其受力的大小无关。
 - (3) 只有物体运动状态改变时，物体才具有惯性。
 - (4) 物体不受力时才能保持自己运动状态不变的特性称为惯性。
2. 运动员冲到终点后，为什么不能马上停下来，还要向前跑一段距离？
3. 请根据图 4-1-7 所示的情景，说明车子所处的状态，并对这种情景作出解释。



图 4-1-7

4. 人类在探索自然规律的过程中，常采用归纳法、演绎法、等效替代法、控制变量法、理想实验法等科学方法。伽利略运用理想实验法得出了什么结论？

第二节

加速度与力、质量之间的关系

通过上一节的学习，我们知道了力是改变物体运动状态的原因，即力是使物体产生加速度的原因。加速度除了与力有关外，还与什么因素有关？加速度与这些因素有着怎样的关系呢？

影响加速度的因素



观察与思考

在如图 4-2-1 所示的气垫导轨上，固定着两个光电门，它们相隔一定距离并与数字计时器连接。将不带缺口的遮光条固定在滑块上，将滑块放置在光电门 1 附近，并通过小桶及桶中的橡皮泥拉动它，使其由静止从光电门 1 处开始运动。观察并记录：

(1) 在大小不同的外力（改变小桶中的橡皮泥质量）作用下，同一滑块经过两个光电门的时间。

(2) 在大小相同的外力作用下，滑块上放有砝码和没放砝码时通过两个光电门的时间。

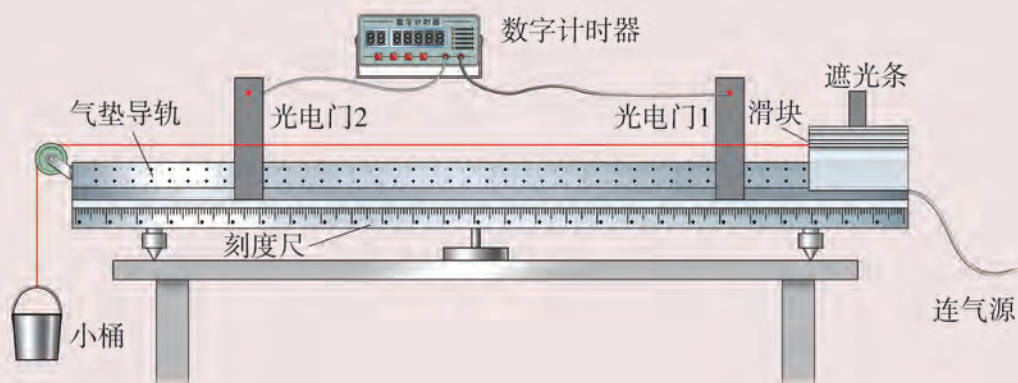


图 4-2-1 探究加速度与力、质量之间的定量关系

分析表明,同一滑块受到的外力越小,滑块运动得越慢,通过两个光电门的时间越长;受到的外力越大,滑块运动得越快,通过两个光电门的时间越短.在大小相同的外力作用下,滑块质量大的,运动得慢,通过两个光电门的时间长;质量小的,运动得快,通过两个光电门的时间短.

根据 $s = \frac{1}{2}at^2$, 可得 $a = \frac{2s}{t^2}$. 由于 s 一定, 所以 t 越长, a 越小, 反之 t 越短, a 越大.

因此,由上述实验结果可知,相同质量的物体,受到的外力越小,加速度越小;受到相同外力时,质量越小,加速度越大.物体的加速度 a 既跟所受的外力 F 有关,又跟物体本身的质量 m 有关.

加速度与力、质量之间的定量关系

a 与 F 和 m 有怎样的定量关系呢?我们借助气垫导轨(如图4-2-1所示),以滑块为研究对象,用装有橡皮泥的小桶拉动滑块,使其做匀加速直线运动.实验中需要测量三个物理量:物体的加速度、物体所受的力和物体的质量.物体的质量可以用天平测量,加速度和力如何测量呢?

我们用导轨旁边的刻度尺测出两光电门的距离 s ,用刻度尺测出固定在滑块上的遮光条宽度 Δs ,用数字计时器测出遮光条分别通过前后两个光电门所经历的时间 Δt_1 、 Δt_2 .根据 $v_1 = \frac{\Delta s}{\Delta t_1}$ 和 $v_2 = \frac{\Delta s}{\Delta t_2}$,可计算出滑块经过两光电门时的瞬时速度,再由 $v_2^2 - v_1^2 = 2as$,可计算出滑块的加速度.

在进行实验时,首要的工作是将气垫导轨调至水平,同时将装有橡皮泥的小桶的总重力 mg 当作滑块(包括上面的遮光条和砝码)受到的拉力 F .在实验中,小桶做加速运动,重力大于拉力,但我们在实验中把小桶的总重力 mg 看成是滑块受到的拉力 F ,因此实验产生的误差有一部分就来源于此.控制这一误差的方法就是尽可能地使小桶与橡皮泥的质量远小于滑块与砝码的质量.

下面我们通过实验定量地研究加速度 a 与作用力 F 和质量 m 之间的关系.



实验与探究

1. 探究加速度与力的定量关系

保持滑块质量不变,通过增减橡皮泥的数量来改变拉力 F 的大小.重复多次实验,把实验数据记录在表4-2-1中.

表 4-2-1 滑块质量不变时的实验数据表

滑块质量 $M =$ _____ kg

橡皮泥及小桶的质量 m/kg	滑块所受拉力大小的近似值 F/N	滑块通过光电门 1 的速度 $v_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	滑块通过光电门 2 的速度 $v_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	两光电门间的距离 s/m	滑块加速度的计算值 $a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$

由表 4-2-1 中的数据，可得出 a 与 F 有怎样的关系？

分别用纵坐标表示滑块的加速度 a ，用横坐标表示滑块所受的拉力 F 。根据表 4-2-1 中的实验数据，在图 4-2-2 中描出相应的实验数据点，作出最佳拟合曲线（或直线），尽量使各数据点对称分布在这条曲线（或直线）两侧。

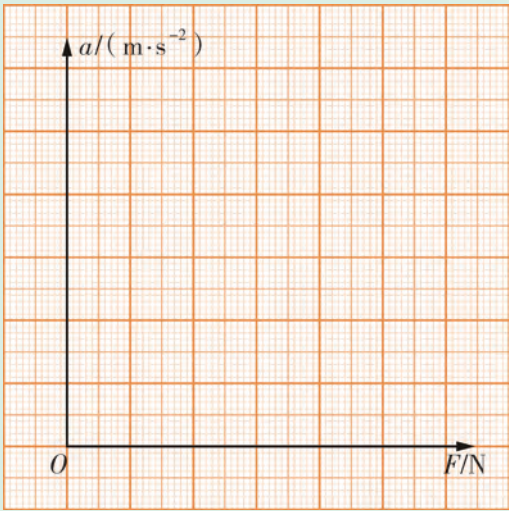


图 4-2-2 根据实验数据作出 $a - F$ 图像

2. 探究加速度与质量的定量关系
保持橡皮泥及小桶的质量不变，以维持滑块所受的拉力不变，通过在滑块上增加或减少砝码来改变滑块的质量。仿照上面的探究进行实验，把实验数据记录在表 4-2-2 中。

表 4-2-2 滑块拉力不变时的实验数据表

滑块拉力 $F =$ _____ N

滑块（含遮光条和砝码）的质量 M/kg	滑块通过光电门 1 的速度 $v_1/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	滑块通过光电门 2 的速度 $v_2/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	两光电门间的距离 s/m	滑块加速度的计算值 $a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$

由表 4-2-2 中的数据, 可得出 a 与 M 有怎样的关系?

根据表 4-2-2 中的实验数据画出的 a 与 M 的图线有什么特点?

如果它是一条曲线, 能否通过数学处理将它转换成一条直线? 将处理后的图像画在图 4-2-3 中.

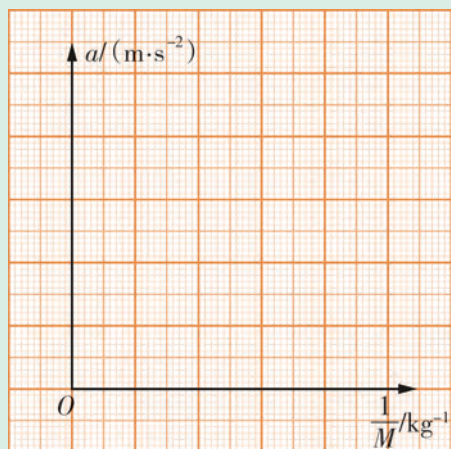


图 4-2-3 根据实验数据及数学处理作出的 $a - \frac{1}{M}$ 图像

研究表明, 在质量一定的情况下, 物体的加速度 a 与作用力 F 成正比. 用数学式子表示为

$$a \propto F$$

或者

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2}$$

在作用力一定的情况下, 物体的加速度 a 与其质量 m 成反比. 用数学式子表示为

$$a \propto \frac{1}{m}$$

或者

$$m_1 a_1 = m_2 a_2$$



实践与拓展

怎样才能确保滑块所受的拉力可被近似地看作等于橡皮泥及小桶所受的重力? 交流各自的解决方案. 本实验可否以滑块、橡皮泥及小桶这个系统为研究对象进行探究? 如果可以, 请提出设计方案.

气垫导轨实验装置简介

气垫导轨实验装置主要由导轨、滑块、气源、光电门、光电数字计时器等组成.

导轨是由一定长度全封闭的金属制成, 其横截面是顶角成直角的等腰三角形. 导轨内部中空, 气体由导轨一端的进气孔进入导轨内部, 从导轨两个侧面上的小孔中喷出. 喷出的气流在滑块和导轨之间形成气垫, 使滑块在运动中受到的

摩擦力达到可以忽略的程度,如图4-2-4所示.

滑块是一个金属块,底部是两个平整高压空气导轨且互成直角的平面,上面有可配套砝码或用于挡光的遮光条装置.

气源是一个不断将气体压进导轨的装置.

光电门接在导轨上方,用于采集测量数据.光电门由电源供电,通电后,一束光从光电门的一边经过“门”的中间到达另一边.光线被挡住或未被挡住所采集的数据是不一样的.采集到的数据都以电信号的方式输入到光电数字计时器中.

光电数字计时器处于“计时”状态时,有两种测量方式:一种是测量遮光条挡光的时间(从挡光开始到挡光结束),通过这种方式可以算出遮光条经过光电门时的速度;另一种是测量物体经过两个光电门的时间间隔(即从经过第一个光电门挡光时开始计时,到达另一个光电门挡光时结束计时).在仪器上有相应的装置来选择计时的方式.光电数字计时器显示的时间可以通过选择“手动清零”按钮或“自动清零”开关使数字重新为零,以便显示下一次的计时结果.

如今的光电数字计时器不但具有计时功能,还可以将物体通过两光电门时的速度直接显示出来,简化了实验数据处理的过程.

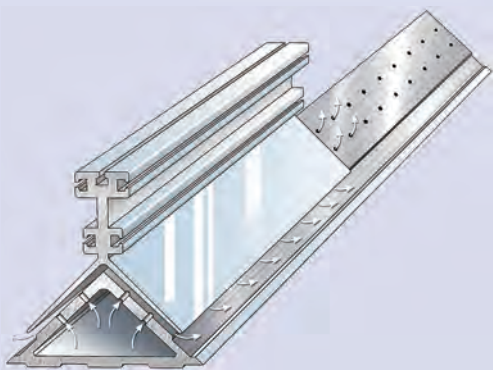


图4-2-4 气垫导轨示意图



练习

1. 试判断下列说法是否正确,并简述理由.

- (1) 物体的加速度越大,其速度越大.
- (2) 物体受到的合外力越大,其速度越大.
- (3) 物体受到的合外力越大,其加速度越大.

(4) 物体在合外力作用下做匀加速直线运动,当合外力逐渐减小时,物体的速度逐渐减小.

2. 质量相同的甲、乙两个物体,当它们受力的大小和方向都相同时,它们的运动状态是否相同?为什么?

3. 一物体在3 N的外力作用下,产生的加速度为 2 m/s^2 ,它在9 N的外力作用下,产生的加速度是多大?

4. 一辆小汽车的质量是 $8.0 \times 10^2\text{ kg}$,所载乘客的质量是 $2.0 \times 10^2\text{ kg}$.同样大小的牵引力,如果不载人时小汽车产生的加速度是 1.5 m/s^2 ,那么载人时产生的加速度是多大?(不考虑阻力)

第三节

牛顿第二定律



经过实验探究，我们得到了物体加速度的大小与物体所受作用力的大小成正比、与物体质量的大小成反比的结论。实验过程中有一个最基本的假设，就是滑块是做匀加速直线运动的。实际情况是否真的如此？此外，物体的加速度、所受的作用力及其质量三者之间的关系，能否用一个简单的数学公式表示出来呢？带着这些问题，我们来学习本节的内容。

数字化实验的过程及结果分析

一般来说，在传统实验条件下，想测出任一时刻加速度的大小是较难实现的，而通过数据采集器，在计算机的辅助下则可以做到。数据采集器可以通过不同的传感器，将各种物理量转换成电信号记录在计算机中。由于采样率足够高，每秒可以达到 20 万次，因而能够记录下物理量的瞬间变化。下面我们通过位移传感器，记录下滑块运行过程中位移随时间的变化情况，然后由计算机软件算出各点的速度的大小，并作出 $v-t$ 图像。再根据前面所学的运动学知识——如果物体做匀加速直线运动，其 $v-t$ 图像应该是一条倾斜的直线，直线的斜率代表了物体加速度的大小，以此求得物体的加速度。

实验装置如图 4-3-1 所示。

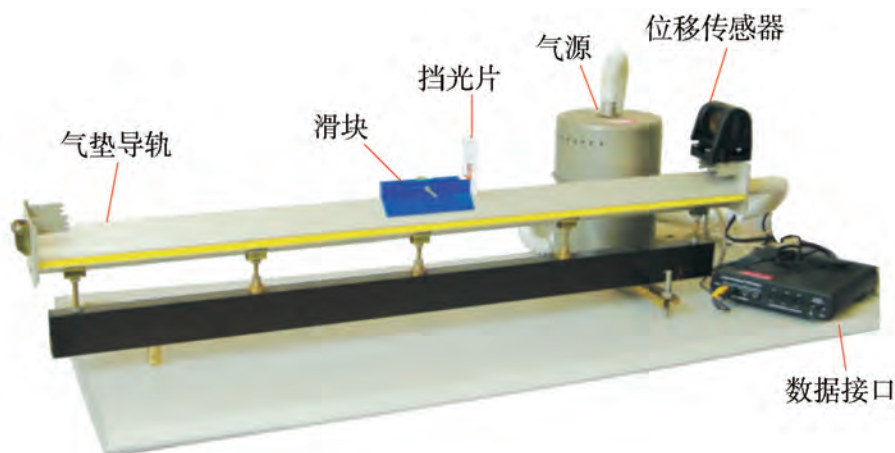


图 4-3-1 使用位移传感器的气垫导轨实验装置

保持滑块的质量 m 不变，改变拉力 F ，可得到滑块的速度随时间变化的关系图线，即 $v-t$ 图像，如图 4-3-2 所示。

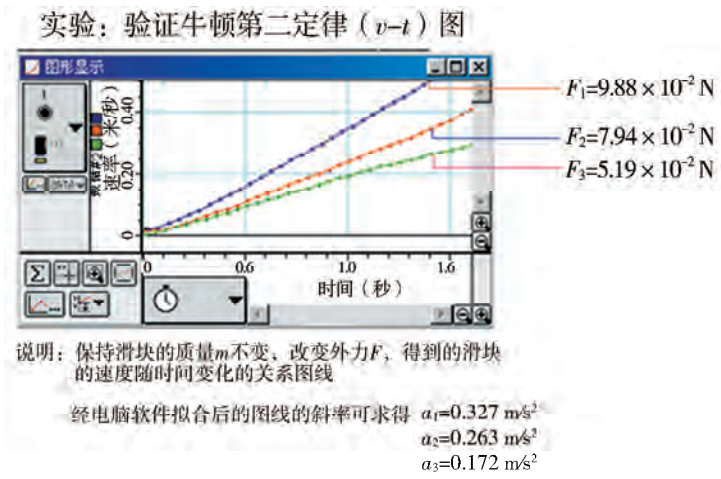


图 4-3-2 质量相同、拉力不同时的 $v-t$ 图像

保持拉力 F 不变，改变滑块的质量 m ，可得到滑块的速度随时间变化的关系图线，即 $v-t$ 图像，如图 4-3-3 所示。

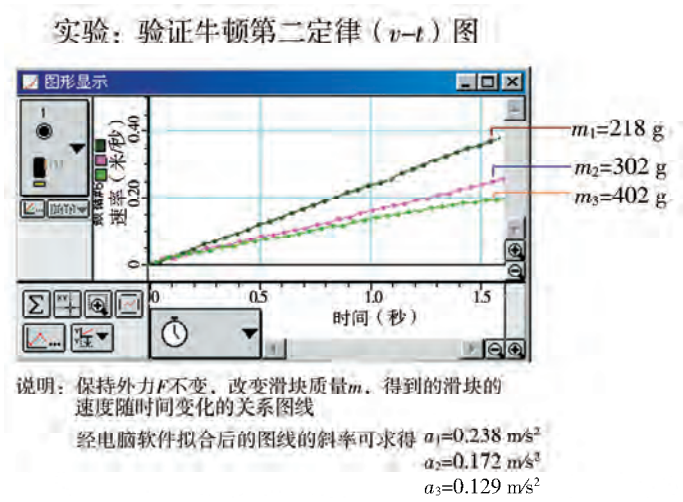


图 4-3-3 拉力相同、质量不同时的 $v-t$ 图像

由于存在实验误差，图 4-3-2 和图 4-3-3 中的图像并不是严格的直线。经计算机软件进行曲线拟合后，由倾斜直线的斜率可以算出相应的加速度的大小。

由图中数据分析可得，当保持物体的质量不变时，

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3}$$

即

$$a \propto F$$

当保持物体所受的作用力不变时，

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 = m_3 a_3$$

即

$$a \propto \frac{1}{m}$$

牛顿第二定律的表述

如果用 F 表示物体所受作用力的大小, a 表示物体获得的加速度, m 表示物体的质量, 综合上述实验结论, 我们可以得到

$$a \propto \frac{F}{m}$$

力和加速度都是矢量, 它们都有方向. 加速度的方向与作用力的方向一致, 且物体所获得加速度的大小仅与物体所受的作用力及其质量有关.

物体的加速度与物体所受到的作用力成正比, 与物体的质量成反比, 加速度的方向与作用力的方向相同. 这就是牛顿第二定律 (Newton second law).

要将 $a \propto \frac{F}{m}$ 写成等式, 数学上还需要引入一个比例系数 k , 即

$$a = k \frac{F}{m}$$

国际上规定, 使质量为 1 kg 的物体获得 1 m/s^2 的加速度的力为 1 N . 即

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

如果都使用国际单位制, 即取力的单位为 N , 质量的单位为 kg , 加速度的单位为 m/s^2 , 则比例系数 $k = 1$. 简化后, 得到牛顿第二定律的数学表达式为

$$F = ma \quad (4.3.1)$$

由于物体所受的作用力往往不止一个, 因此, 式 (4.3.1) 中的 F 常指物体所受的合力.

牛顿第二定律表示力的瞬时作用规律, 描述的是力的瞬时作用效果——产生加速度. 物体在某一时刻加速度的大小和方向, 取决于该物体在这一时刻所受到的合力的大小和方向. 当物体所受到的合力发生变化时, 它的加速度随之也要发生变化, $F = ma$ 对运动过程的每一瞬间都成立, 加速度与力是同一时刻的对应量, 即同时产生、同时变化、同时消失. 这就是牛顿第二定律的瞬时性.

单位是人们主观规定的, 它既要遵循一定规律, 也要方便人们使用.



讨论与交流

我们在初中已知物体重力与质量间的关系为 $G = mg$, 式中 $g = 9.8 \text{ N/kg}$. 在高中学习中, 我们又知道重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$. 两者之间有什么关系?

例题：一辆质量为 $1.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 的汽车，经过 10 s 由静止沿直线匀加速到 30 m/s 。求汽车所受的合力。

分析：汽车在合力 F 作用下经时间 t 由静止匀加速到某一速度 v_t ，要求出汽车受到的合力 F ，可以通过公式 $v_t = v_0 + at$ 求得加速度 a ，再根据牛顿第二定律 $F = ma$ 求出合力 F 。

解：由运动学公式 $v_t = v_0 + at$ ，

牛顿第二定律 $F = ma$ ，

联立并代入数据，得

$$F = m \frac{v_t - v_0}{t} = 1.0 \times 10^3 \times \frac{30 - 0}{10} \text{ N} = 3.0 \times 10^3 \text{ N}.$$

即汽车所受的合力为 $3.0 \times 10^3 \text{ N}$ 。



讨论与交流

从牛顿第二定律可知，无论怎样大小的力都可以使物体产生加速度。可是当我们用力提一个很重的物体时，我们却提不动它。这跟牛顿第二定律有无矛盾？为什么？



练习

1. 在水平路面上，一个大人推着一辆质量较大的车，一个小孩推着一辆质量较小的车，各自做匀加速直线运动（不考虑摩擦阻力）。甲、乙两个同学在一起议论，甲同学说：“由于大人的推力大、小孩的推力小，根据牛顿运动定律可知，加速度与推力成正比，所以大人推着质量较大的车的加速度大。”乙同学说：“根据牛顿运动定律，加速度与质量成反比，所以小孩推着质量较小的车的加速度大。”他们的说法是否正确？请简述理由。

2. 如图 4-3-4 所示， H 是汽车安全气囊，内部有化学物质。当汽车高速行驶受到撞击时，化学物质会在瞬间爆发产生大量气体，充满气囊，填充在司乘人员与挡风玻璃、仪表板、方向盘之间，减轻司乘人员受伤的程度。某次事故发生时，汽车的速度是 35 m/s ，司机冲向气囊后经 0.2 s 停止运动，冲向气囊的部分人体质量大约为 40 kg 。试计算人体受到的平均冲击力。

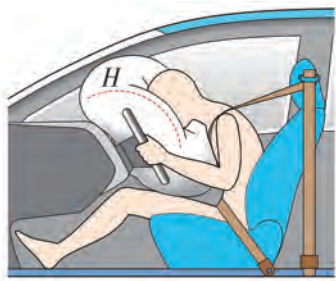


图 4-3-4

3. 如图 4-3-5 所示，一个质量为 10 kg 的物体受到两个力 $F_1 = 10 \text{ N}$ 和 $F_2 = 20 \text{ N}$ 的作用。取 F_1 的方向为正方向，则根据牛顿第二定律列出的计算式为_____，并求得物体加速度的大小 $a =$ _____。



图 4-3-5

第四节

牛顿第三定律



如果我们拿鸡蛋去撞击石头，蛋壳会被击碎而石头无损。是不是石头作用于鸡蛋的力大于鸡蛋作用于石头上的力？在高速路上发生的小汽车与大货车相撞的交通事故中，常常看到小汽车损毁严重。是不是大货车撞小汽车的力大于小汽车撞大货车的力？学了本节内容，我们就可以回答这两个问题了。

作用力与反作用力

力是物体与物体之间的相互作用。只要有力，就一定存在受力物体和施力物体。仔细观察下面的实验，看一看对于力有没有新的认识。



观察与思考

1. 手用力拍桌面，手给桌面施加了一个力，手有什么感觉？这一现象说明了什么？
2. 水平桌面上有一排均匀排列的圆形小木棍，在上面放一平木板。让开动的玩具电动小车从木板的左端向右端运动，如图 4-4-1 所示。小车向右运动时，木板的运动状态有怎样的变化？此现象说明了什么？
3. 两辆小车载有蹄形磁铁，让车上蹄形磁铁的同名磁极相对，用双手将两辆小车固定在距离较近的位置，如图 4-4-2 所示。双手同时撤去，观察两辆小车的运动情况，并思考此现象说明了什么。

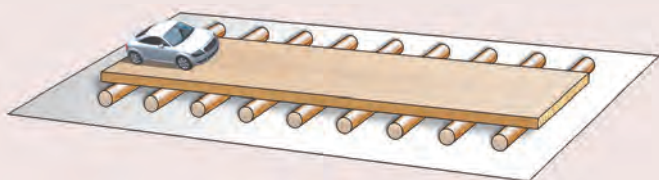


图 4-4-1 小车在一排圆形木棍上面的木板上行驶



图 4-4-2 载有蹄形磁铁的两辆小车

手拍桌面，手会感觉疼，说明手给桌面施力的同时，桌面也给手施加了力。

玩具电动小车向右运动的同时，平木板向左运动，说明小车受到木板对它的摩擦力，木板也受到小车对它的摩擦力。小车和木板之间的这种相互作用力是同时发生的。

由图 4-4-2 的实验可以看到，松手后，两辆小车同时向相反方向运动，说明两辆小车都受到了彼此的磁力作用。

观察和实验都表明，无论是否接触，两个物体之间的作用力总是相互的。一个物体对另一物体有作用力时，同时也受到另一物体对它的作用力，它们总是成对出现的。我们把两个物体间的这种相互作用力称为**作用力与反作用力**。那么，作用力与反作用力之间有什么关系呢？

探究作用力与反作用力的关系

我们走路时，脚对地面有一个向后的作用力，地面给脚一个向前的反作用力；用锤子钉钉子，如图 4-4-3 所示，锤子给铁钉一个作用力，铁钉同时给锤子一个反作用力。

不难发现，两个相互平衡的力是作用在同一物体上的；而作用力与反作用力则是分别作用在两个不同的物体上。

下面我们通过实验，探究作用力与反作用力的大小和方向的关系。



图 4-4-3 用锤子钉钉子



实验与探究

实验 1：在水平桌面上把两个弹簧测力计甲、乙的挂钩钩在一起。改变实验条件，观察两个弹簧测力计上的示数。

(1) 固定弹簧测力计乙的一端，用手拉弹簧测力计甲，如图 4-4-4 所示。观察两测力计指针移动情况及其示数变化情况。改变手拉弹簧测力计甲的力，重复上述实验。

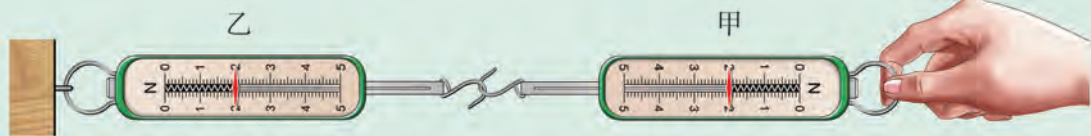


图 4-4-4 用弹簧测力计探究作用力与反作用力

(2) 弹簧测力计甲、乙都不固定，用手在水平桌面上相互对拉甲、乙，观察两测力计指针移动情况及其示数变化情况。

实验2：把两个小磁针放在桌面上，磁针 A 位于圆心处，磁针 B 位于圆周上，如图 4-4-5 所示。



图 4-4-5 两磁针之间的相互作用力的方向

(1) 分析磁针 A 和磁针 B 所受到磁力的方向。

(2) 让磁针 B 绕着磁针 A 在圆周上缓慢运动。在磁针 B 运动的过程中，观察两个磁针的指向，分析两个磁针所受磁力的方向。

实验3：用力传感器替代实验 1 中的弹簧测力计（如图 4-4-6 所示）。在计算机上建立 $F-t$ 图像，记录两个传感器的力随时间变化的图线。

(1) 在保持传感器静止的状态下对拉。

(2) 在传感器运动的状态下对拉。观察两条图线（如图 4-4-7 所示），会有什么发现？



图 4-4-6 用力传感器显示作用力与反作用力

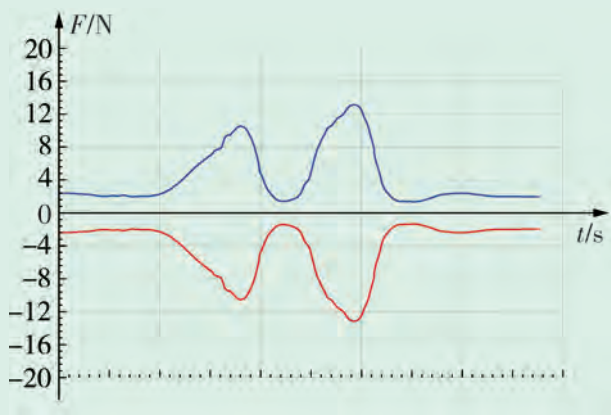


图 4-4-7 由计算机显示的两传感器钩子的受力情况

在实验 1 中，无论是单独拉弹簧测力计甲还是相互对拉弹簧测力计甲和乙，都能观察到二者的指针同时移动，甲的指针向左移动，乙的指针向右移动，稳定后两者指针指示的示数都相同。这说明甲、乙弹簧测力计间的作用力与反作用力的大小相等。

在实验 2 中，磁针 A 和磁针 B 所受磁力在同一直线上且方向相反。这说明它们之间的作用力与反作用力的方向相反，作用在同一直线上。

在实验 3 中，两条图线关于 t 轴对称，如图 4-4-7 所示。不管是静止状态还是运动状态，两个力传感器之间的作用力总是大小相等、方向相反。

牛顿第三定律的表述

大量的观察和实验表明，两个物体之间的作用力 F 和反作用力 F' 总是大小相等、方向相反，作用在同一条直线上。这就是牛顿第三定律（Newton third law）。即

$$F = -F' \quad (4.4.1)$$

无论接触与否，也无论是运动还是静止，两物体间的作用力和反作用力都遵循牛顿第三定律。作用力与反作用力分别作用在两个不同的物体上，它们同时产生、同时消失，是同种性质的力。



讨论与交流

1. 一本书静置在水平桌面上，先分析书的受力情况，并指出哪两个力是平衡力，再分析书与桌面的作用力与反作用力。请找出一对平衡力与一对作用力和反作用力之间的区别。
2. 有人认为，在拔河比赛中，既然双方的作用力与反作用力的大小相等，应该不可能分出胜负，实际上却总有一方获胜。这是否违背牛顿第三定律？如果让比赛一方坐在一艘船上，另一方站在岸上进行比赛，结果又会如何？那么，取胜的决定因素是什么？

牛顿第三定律不仅揭示了两个物体之间相互作用的规律，而且为解决力学问题时转换研究对象提供了理论基础。它拓宽了牛顿第二定律的应用范围，是牛顿力学中不可分割的重要组成部分。例如，求一本书对桌面的压力的大小，往往以书为研究对象，根据二力平衡求出桌面对书的支持力的大小（如图4-4-8所示），再根据牛顿第三定律确定书对桌面的压力的大小（如图4-4-9所示）。因为书对桌面的压力与桌面对书的支持力是一对作用力和反作用力。

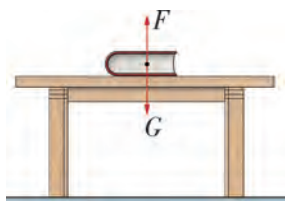


图 4-4-8 书的受力情况

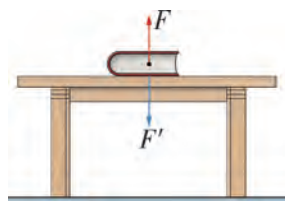


图 4-4-9 书对桌面的压力与桌面对书的支持力



练习

1. 一辆汽车对拖车的作用力为 F ，拖车对汽车的作用力为 F' 。请比较匀速前进与加速前进两种情况下 F 与 F' 的大小。

2. 2018 年 2 月 12 日 13 时 03 分，我国在西昌卫星发射中心用“长征三号”乙运载火箭，以“一箭双星”方式成功发射了我国第二十八、二十九颗北斗导航卫星，这也是我国“北斗三号”工程第五、六颗组网卫星。关于卫星与火箭升空情形的叙述，甲、乙、丙、丁四名同学分别描述如下。根据牛顿第三定律，判断哪名同学的描述是正确的，并简要说明理由。

甲：卫星进入运行轨道之后，与地球之间仍然存在一对作用力与反作用力。

乙：火箭飞出大气层后，由于没有空气，火箭虽然向后喷气，但也无法获得前进的动力。

丙：火箭尾部喷出的气体对空气产生一个作用力，空气的反作用力使火箭获得飞行的动力。

丁：火箭尾部向外喷气，喷出的气体对火箭产生一个反作用力，从而让火箭获得了向上的推力。

3. 如图 4-4-10 所示，底座 A 上装有长 0.5 m 的直立杆，总质量为 0.2 kg，杆上套有 0.05 kg 的小环 B 。当环从底座以 4 m/s 的初速度升起，恰好能到达杆顶，则环上升的过程中，底座对水平面的压力是多大？（假设环上升过程中，与杆的摩擦力恒定）

4. 站在滑轮车上的甲、乙两人相互靠近后分别做以下动作（如图 4-4-11 所示）：甲用力轻推乙，或乙用力轻推甲，或甲、乙互推。请实际做一下，描述观察到的现象并解释原因。结合这个活动，提出一至两个物理问题。

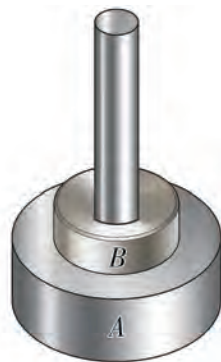


图 4-4-10

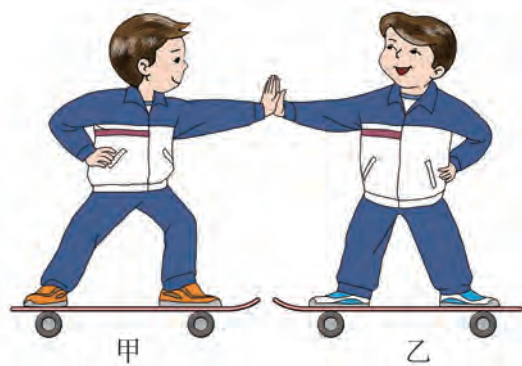


图 4-4-11

第五节

牛顿运动定律的应用



牛顿运动定律揭示了宏观世界中物体运动的客观规律，它为解决实际力学问题提供了一种重要的方法。

日常生活中的问题，由于所处的情景和条件不同，解决起来需要具体问题具体分析。但在应用牛顿第二定律分析和解决问题时，还是有一定共性的。一般而言，首先是确定研究对象，进行受力分析；其次是根据牛顿第二定律，将待求量和已知量之间的关系联系起来，加速度是联系力与运动的桥梁。这种问题一般分为两类：一是根据运动情况求受力情况；二是根据受力情况求运动情况。

例题 1：一列静止在站台上的火车，总质量为 $6.0 \times 10^5 \text{ kg}$ 。出发时间到了，这列火车从站台缓缓开出， $1 \text{ min } 20 \text{ s}$ 后显示其速度达到 72 km/h 。若火车做匀加速直线运动，求火车在加速过程中的合力要多大才能满足加速的要求。

分析：与实际生活有关的问题往往都比较复杂，这是因为其涉及的因素通常较多。在本题中，火车除了牵引力以外，还会受到摩擦阻力和空气阻力等因素的干扰，此外还有火车是否一直都在做匀加速直线运动等。在分析和解决实际问题时，我们应该学会先将问题理想化，从最简单的情况入手，再逐步深入，最后将问题解决。在本题中，将火车的运动看成匀加速直线运动就是一种理想化处理。

本题的研究对象是火车，需求的物理量是力。已知火车的初速度、末速度及加速所用的时间，就可以求出火车的加速度。因为质量是已知的，只要求出加速度，再根据牛顿第二定律就可以求得合力。

解：设火车在加速过程中的合力为 F ，火车的运动情况和受力分析如图 4-5-1 所示。

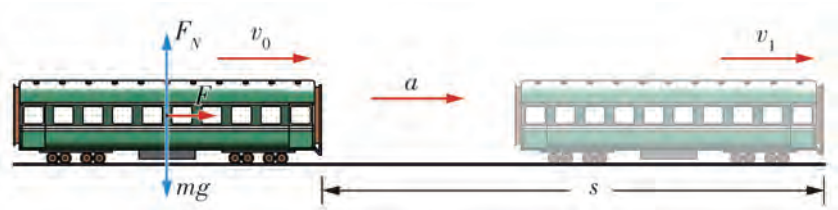


图 4-5-1 火车的受力与运动情况

选定火车前进方向为正方向，由于火车做匀加速直线运动，
根据 $v_t = v_0 + at$ ，可得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{20 - 0}{80} \text{ m/s}^2 = 0.25 \text{ m/s}^2.$$

根据牛顿第二定律，可得

$$\text{火车所受的合力 } F = ma = 6.0 \times 10^5 \times 0.25 \text{ N} = 1.5 \times 10^5 \text{ N}.$$

即火车在加速过程中的合力要达到 $1.5 \times 10^5 \text{ N}$ 才能满足加速的要求。

在实际情况下，火车肯定会受阻力的影响，这就需要知道另外的条件才能计算具体的某一个力。如果火车受到的阻力是车重的 0.05 倍，那么这时火车所需要的牵引力应为多大？

例题 2：某市交通部门规定汽车在市区某些街道的行驶速度不得超过 $v_m = 30 \text{ km/h}$ 。一辆汽车在该水平路段紧急刹车时车轮抱死，沿直线滑行一段距离后停止。交警测得车轮在地面上滑行的轨迹长 $s_m = 10 \text{ m}$ ，从手册中查出该车轮与地面间的动摩擦因数 $\mu = 0.72$ 。试通过计算判断该汽车是否违反规定超速行驶。（取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）

分析：本题是一个与实际生活相关的问题。根据汽车的受力情况和部分运动信息，可以确定汽车未知的运动信息。汽车刹车一般可看成匀减速直线运动，根据汽车受到的滑动摩擦力，由牛顿第二定律可以计算出匀减速滑行的加速度，再根据运动学公式，即可计算出滑行的初速度。

解：选定汽车前进方向为正方向。汽车刹车且车轮抱死后，汽车受滑动摩擦力作用做匀减速直线运动。

$$\text{滑动摩擦力 } f = -\mu mg,$$

$$\text{汽车的加速度 } a = \frac{f}{m} = -\mu g,$$

$$\text{由匀减速运动，可知 } v_t^2 - v_0^2 = 2as \text{ (式中 } v_t = 0 \text{ m/s),}$$

$$\text{则 } v_0 = \sqrt{2\mu g s_m}.$$

$$\text{代入数据，得 } v_0 = 12 \text{ m/s} = 43.2 \text{ km/h}.$$

因为 $43.2 \text{ km/h} > 30 \text{ km/h}$ ，所以这辆车超速行驶。



实践与拓展

请根据牛顿第二定律，设计一个能测量水平方向运动物体加速度的装置。



练习

1. 如图 4-5-2 所示, 沿倾角为 θ 的斜面向上拉一个质量为 m 的方木箱, 拉力 F 与斜面平行, 木箱与斜面的动摩擦因数为 μ , 木箱沿斜面向上运动的距离为 s .

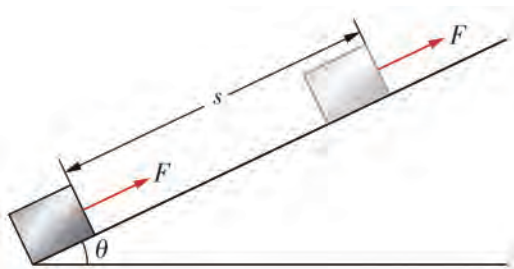


图 4-5-2

(1) 画出木箱所受到的力的示意图.

(2) 写出合力的表达式.

(3) 求木箱通过距离 s 所用的时间 t .

2. 动车车厢内悬吊着一个质量为 m 的小球, 动车匀加速行驶时, 悬线偏离竖直方向的角度为 θ . 求:

(1) 动车的加速度.

(2) 动车加速行驶时悬线的拉力的大小.

3. 如图 4-5-3 所示是一质量为 2 kg 的物体在水平地面上的两种运动图线. I 表示物体受到一个与初速度方向成 30° 角的斜向上拉力 F 作用时的 $v-t$ 图线. II 表示物体不受拉力作用时的 $v-t$ 图线. 求物体与地面的动摩擦因数 μ 和拉力 F 的大小. (取 $g = 10\text{ m/s}^2$)

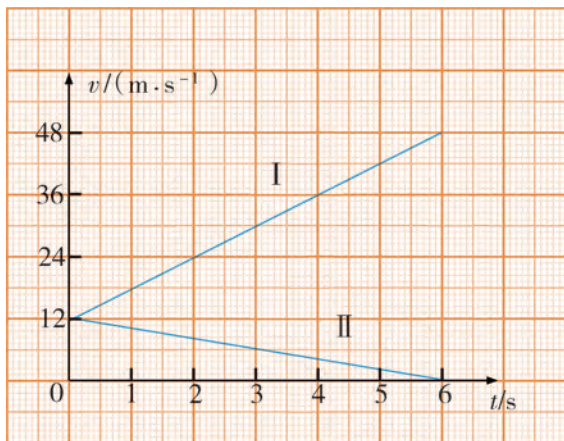


图 4-5-3

4. 汽车防抱死装置可以让汽车在紧急刹车时获得比车轮抱死更大的制动力, 从而使刹车距离大大减小. 假设安装了防抱死装置的汽车刹车时的制动力恒为 F , 驾驶员的反应时间为 t , 汽车的质量为 m , 汽车刹车前匀速行驶的速度为 v , 试推出驾驶员发现情况后紧急刹车时的安全距离 s 的表达式 (用上述已知物理量 F , t , m , v 表示).

根据刹车时安全距离 s 的表达式, 试分析引发交通事故的原因.

第六节

失重和超重



当一个人静止站在水平地面上时，其重力的大小与地面对他竖直向上的支持力的大小是相等的，体重计就是根据这一原理测量体重的。

乘坐电梯时，我们都有这样的体验：当电梯开始上升时，有“下坠”的感觉；当电梯开始下降时，有“上飘”的感觉。难道人的体重会在电梯开始上升或下降时发生变化吗？

生活中的体重计测得的结果是物体所受的重力，但为了与人们的习惯相适应，单位符号通常用 kg 表示。

失重和超重现象



观察与思考

如图 4-6-1 所示，让一学生站立在体重计上，观察下列情况下体重计的示数变化：①在体重计上静止不动；②在体重计上迅速蹲下；③在体重计上迅速站起。

由上述实验可见，人在体重计上迅速蹲下的过程中，体重计的示数是先减小后增大；人在体重计上迅速站起的过程中，体重计的示数是先增大后减小。

我们知道，人站在体重计上静止时的示数是人 对 体重计的压力，等于人的重力。由上面的实验可知，在体重计上，人快速下蹲或站起，体重计示数出现了减小或增大。这个示数的变化，不是人质量的变化，也不是人重力的变化，而是人对体重计的压力的变化。



图 4-6-1 学生站立在体重计上

我们把物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）小于物体所受的重力的现象称为失重，把物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）大于物体所受的重力的现象称为超重。

在失重和超重现象中，物体对支持物压力（或对悬挂物拉力）的大小与物体的重力大小不相等，但物体所受的重力并没有发生变化。那么，什么情况下会出现超重（失重）现象？是否向上的运动就一定产生超重现象，向下的运动就一定产生失重现象呢？

失重和超重现象产生的条件

在如图4-6-1所示的实验中，人在体重计上迅速蹲下的过程中，体重计的示数先减小后增大，说明人在体重计上下蹲时，先出现失重现象，后出现超重现象；人在体重计上迅速站起的过程中，体重计的示数先增大后减小，说明人在体重计上由蹲向上站起时，先出现超重现象，后出现失重现象。

由此可见，无论是超重现象还是失重现象，都不是取决于速度的方向。那么，出现失重现象还是超重现象，究竟取决于什么因素呢？

我们以上述实验为例做一具体分析。我们可以把人站在体重计上迅速下蹲的过程即下降过程分成两个阶段，一是加速下降，二是减速下降。失重和超重的情况如图4-6-2（a）所示。

同样，我们把人在体重计上由蹲迅速站起的过程即上升过程分成两个阶段，一是加速上升，二是减速上升。超重和失重的情况如图4-6-2（b）所示。

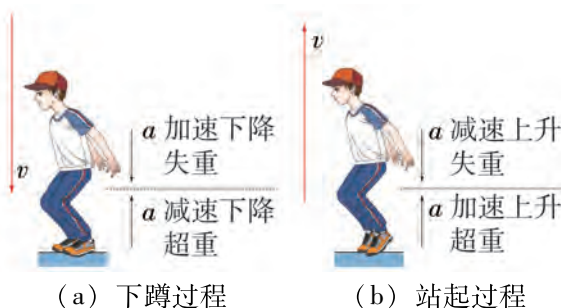


图4-6-2 人在体重计上站起和下蹲

过程中的失重和超重分析

通过上述分析可知，当物体加速上升或减速下降时，即有向上的加速度时，物体出现超重现象；当物体加速下降或减速上升时，即有向下的加速度时，物体出现失重现象。



观察与思考

如图4-6-3（a）所示，用力传感器挂重物，利用计算机作出 $F-t$ 图像，记录传感器的力随时间变化的曲线。观察下列情况下 $F-t$ 的曲线变化：①快速向上运动；②快速向下运动。

如图4-6-3（b）所示是力传感器向上运动和向下运动时，重物对力传感器的拉力随时间变化的曲线。



(a)



(b)

图 4-6-3 用力传感器探究超重和失重现象

通过上述观察，我们对超重和失重现象有什么新的发现？

由此可见，向上或向下运动，并不一定会出现失重或超重现象，只有竖直方向的速度发生变化时，即有加速度时，才会出现失重和超重现象。

失重和超重现象的解释

如图 4-6-4 所示，以重物为研究对象，挂在弹簧测力计上的重物受到重力 G 和拉力 T 的作用。

假设整个装置向下做匀加速运动，加速度大小为 a ，方向向下，重物的质量为 m 。选定竖直向下为正方向，根据牛顿第二定律，得

$$G - T = ma$$

即

$$T = G - ma$$

此时弹簧测力计对重物的拉力小于重物所受的重力。根据牛顿第三定律可知，重物对弹簧测力计的拉力 T' 小于重物所受的重力，即 $T' < G$ ，也即发生失重现象。

同理，可以解释超重现象。

假设整个装置向上做匀加速运动，加速度大小为 a ，方向向上。选定竖直向上为正方向，根据牛顿第二定律，得

$$T - G = ma$$

即

$$T = G + ma$$

此时弹簧测力计对重物的拉力大于重物所受的重力。根据牛顿第三定律可知，重物对弹簧测力计的拉力大于重物所受的重力，即 $T' > G$ ，也即发生超重现象。

因此，加速下降或减速上升时，会发生失重现象；减速下降或加速上升时，会发生超重现象。



图 4-6-4 挂在弹簧测力计上的重物

完全失重现象

如果一个物体对支持物的压力（或对悬挂物的拉力）为零，这种情况是失重现象中的极限，称为完全失重现象。例如，自由下落过程中的物体就处于一种完全失重的状态。考虑到一般情况下会有空气的阻力，因此物体并不是严格意义的自由下落，通常也把这种接近完全失重的状态称为微重力状态。

失重和超重现象不仅发生在日常生活中，在宇宙飞船中更是非常常见的现象。当人造地球卫星、宇宙飞船、航天飞机等航天器在加速上升阶段，其中的人和物体处于超重状态，他们对其下方物体的压力是其自身重力的几倍；而当航天器进入太空后，其中的人和物体则处于完全失重状态，此时他们对其下方物体将没有一点压力。物体在宇宙飞船中完全处于飘浮状态，而这在地球上是很难想象的事情！

太空授课——质量的测量

“神舟十号”航天员王亚平于北京时间 2013 年 6 月 20 日上午 10 时在太空给地面的学生讲课。此次太空授课主要面向中小學生，让他们了解失重条件下物体运动的特点、液体的表面张力作用，加深对质量、重量等基本物理概念的理解。下面是航天员王亚平在轨讲解和实验演示如何在太空测量物体质量的过程和内容。

授课一开始，太空教师王亚平就给地面同学提出了以下问题：“失重了，我们的身体质量是不是也没有了？在太空中我们航天员想要知道自己是胖了还是瘦了，该怎么办呢？要是能测量一下就好了。在失重的太空，地面的测重不再奏效，那么，怎样称重呢？”王亚平接着说：“不用担心，我们有专门测质量的装置——‘质量测量仪’。同学们看，这就是我们的质量测量仪，这是一个人体支架，这是一个腹撑，都是用来固定待测航天员的。下面就由我和指令长来给大家演示一下测质量的过程。同学们可以先估测一下我们指令长的质量。好，现在我们开始演示，首先把指令长固定在质量测量仪上，然后我把连接运动机构的钢丝绳拉到指定位置，准备开始，拉力使他回到了初始位置，这样就测出了他的质量。好，让我们的摄像师来个特写，看看我们指令长的质量是多少。嗯，74 千克。同学们，你们猜对了吗？”



图 4-6-5 航天员进行太空授课

对这个问题，王亚平进行了解释：“其实，这里应用了牛顿第二定律 $F=ma$ 。即物体受到的合力=物体的质量×物体的加速度。如果知道力和加速度，就可算出质量。弹簧凸轮机构产生恒定的力，也就是刚才将指令长拉回至初始位置的力。此外，我们还设计了一个光栅测速系统，利用光栅测速装置测量出支架复位的速度 v 和时间 t ，计算出加速度 $a=\frac{v-0}{t}$ ，就能算出物体的质量 $m=\frac{F}{a}$ 。”

由此可见，牛顿第二定律是一个在一切惯性空间内普遍适用的基本物理定律，不因物体的引力环境、运动速度而改变，无论在太空还是在地面都是成立的。



练习

1. 关于人造卫星中的物体处于失重状态，甲、乙、丙、丁四名同学的理解如下，试判断这些理解的正误并简要说明原因。

甲：物体的重力减小到零。

乙：物体不受地球引力作用。

丙：物体对支持它的物体的压力为零。

丁：物体处于静止或匀速直线运动状态。

2. 如图4-6-6所示，重力为 G 的物体 a 被放在物体 b 的上表面，沿光滑斜面一起向下滑，则 a 对 b 的压力_____（选填“小于”“等于”或“大于”） G ， a 与 b 之间_____（选填“不存在”或“存在”）摩擦力作用。

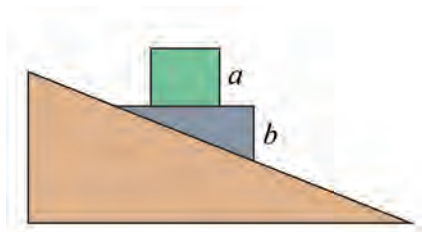


图4-6-6

3. 如图4-6-7所示，在原来静止的凹槽内放有物体 A ， A 被一伸长的弹簧拉住且恰好静止。若发现 A 被弹簧拉动，则凹槽的运动情况可能是_____。

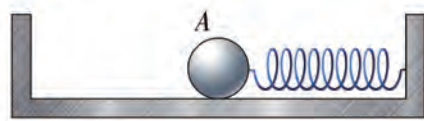


图4-6-7

4. 如图4-6-8所示，电梯内有一台秤，上面放一个重物。当电梯做匀速直线运动时，台秤的示数为10 N。在某时刻，电梯中的人观察到台秤的示数变为8 N，取 $g=10\text{ m/s}^2$ ，此时电梯运动的加速度的大小为多少，方向如何？电梯可能向什么方向运动？



图4-6-8

第七节

力学单位



在本章第三节中我们已经提到，选取的单位不同，会导致牛顿第二定律数学表达式中的比例系数不同。这意味着选择的单位不同，有可能使得同一个物理规律的数学表述形式不一样。由于物理量的单位是人为规定的，为了方便交流，需要有一个统一的标准。那么，如何制定与力学相关物理量的单位标准呢？

在公元前后的几百年内，人类在计量单位及计量制度方面是非常混乱的，例如欧洲一些国家的国王甚至把他们手臂的长度作为长度的单位，成为其国人交易必须遵循的度量规定。不难想象，这样的度量规定到了其他国家自然就寸步难行，甚至引起纷争。

中国自秦朝以来，不仅在政治上、经济上和军事上高度统一，而且统一了度量衡。使用统一的单位，不仅能方便交往，而且在一定程度上也表现出一种文化认同倾向。

$$\begin{aligned} 1 \text{ 英尺} &= 12 \text{ 英寸} \\ &= 0.3048 \text{ 米} \\ (1 \text{ ft} &= 12 \text{ in} = 0.3048 \text{ m}) \\ 1 \text{ 英寸} &= 2.54 \text{ 厘米} \\ (1 \text{ in} &= 2.54 \text{ cm}) \end{aligned}$$



讨论与交流

1. 有的国家量度人的身高，通常以英尺表示。如果以一个身高为 6 英尺 4 英寸的人与自己相比，谁更高？由此谈一谈计量单位标准统一的意义。
2. 请从社会发展的角度，就秦始皇统一度量衡的意义发表自己的看法。

单位制的意义

单位制是由基本单位和导出单位所组成的一系列完整的单位体制。其中基本单位是可以任意选定的，导出单位则是由定义方程式与比例系数确定的。基本单位选取不同，组成的单位制也就不同。

单位制的形成、发展与科技的进步密切相关。早在 17 世纪，人们就开始感觉到计量单位及计量制度的混乱对科技和生产发展的影响。1795 年，法国科学家创立了以米为基本

单位的计量制度（米制），成为国际上最早公认的通用单位制。随着科技的发展，米制又派生出许多适合于各种科技领域的不同单位制，如厘米、克、秒制，米、千克、秒制，绝对单位制等。

各种单位制的并存不仅对国际贸易有阻碍作用，而且也不利于各国间的科学文化交流。因此，统一单位制成为世界各国的共同要求。国际计量委员会于1956年将经过21个国家同意的计量单位制草案命名为国际单位制，并于1960年在第十一届国际计量大会上正式通过。国际单位制先进、实用、简单、科学，适用于文化教育、科学技术、经济建设等各个领域，已被世界各国及国际组织广泛采用。1977年，我国明确规定要逐步采用国际单位制。1984年，国务院颁布《国务院关于在我国统一实行法定计量单位的命令》，该命令就是以国际单位制为基础制定的。

国际单位制中的力学单位

国际单位制由7个基本单位、2个辅助单位和19个具有专门名称的导出单位组成。其中与力学有关的基本单位有三个：长度单位——米（m）、质量单位——千克（kg）和时间单位——秒（s）。其他与力学有关的物理量单位，都可以由这三个基本单位导出。例如，速度的单位为米每秒（m/s），加速度的单位为米每二次方秒（ m/s^2 ），力的单位为牛，即千克米每二次方秒（ $1\text{ N} = 1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2$ ）。随着科学技术的发展，基本单位的数目是会变化的，基本单位也会不断更新。

国际单位制体现了单位的一贯性，即在国际单位制中，对于所有的导出单位，当按一定的定义方程式从基本单位或辅助单位导出时，它们的系数都是1，而且所有的国际单位在运算过程中的系数也都是1，从而使运算简化。

尺和英尺的来历

在古代，人们常用身体的某些器官或部位的尺度作为计量单位。在遥远的古埃及时代，人们用中指来衡量人体的身长，认为健美的人身长应该是中指长度的19倍。各个国家、地区以及各个历史时期，都有各自的计量单位。仅以长度为例，欧洲曾以手掌的宽度或长度作为长度的计量单位，称为掌尺。在英国，1掌尺相当于7.62 cm。而在荷兰，1掌尺却相当于10 cm。英尺源于8世纪英王的脚长，1英尺等于0.3048 m。10世纪时，英王埃德加把自己大拇指关节间的距离定为1英寸，1英寸为2.54 cm。这位君王又别出心裁，想出了“码”这个长度单位。他把从自己的鼻尖到伸开手臂中指末端的距离——91 cm，定为1码。1101年，亨利一世在法律上认定了这一度量单位。此后，“码”便成为英国的主要长度单位，一直沿用了一千多年。在我国亦有“伸掌为尺”的说法。我国三国时期

(3 世纪初) 王肃编的《孔子家语》一书中记载有:“布指知寸, 布手知尺, 舒肘知寻。”两臂伸开长八尺, 就是一寻. 从秦朝至清末的两千多年间, 我国的“1 尺”在 $0.2309 \sim 0.3558 \text{ m}$ 之间变化, 其差别相当悬殊.

7 个基本单位改由常数定义

第 26 届国际计量大会通过关于“修订国际单位制 (SI)”的 1 号决议. 根据决议, 千克、安培、开尔文和摩尔 4 个国际单位制的基本单位将被重新定义, 并于 2019 年 5 月 20 日“世界计量日”起正式生效. 这 4 个基本单位, 千克将用普朗克常数 (h) 定义, 安培将用基本电荷 (e) 定义, 开尔文将用玻尔兹曼常数 (k) 定义, 摩尔将用阿伏伽德罗常数 (N_A) 定义. 加之此前对时间单位“秒”、长度单位“米”和发光强度单位“坎德拉”的重新定义, 至此, 国际单位制的 7 个基本单位全部实现由基本物理常数定义. 这是国际测量体系第一次全部建立在不变的常数上, 保证了国际单位制 (SI) 的长期稳定性和普适性.



练习

1. 现有下列物理量或单位, 按要求填空: A. 质量; B. 牛 (N); C. 米/秒² (m/s^2); D. 密度; E. 米/秒 (m/s); F. 千克 (kg); G. 厘米 (cm); H. 秒 (s); I. 长度; J. 时间.

(1) 属于物理量的是_____ (填序号, 下同).

(2) 在国际单位制中, 作为基本单位的物理量有_____.

(3) 在国际单位制中, 属于基本单位的有_____, 属于导出单位的有_____.

2. 在解一道计算结果由字母来表示的应用题时, 某同学解得位移为 $s = \frac{F}{2m}(t_1 + t_2)$, 用单位制的方法, 检查这个结果是否正确.

3. 一物体在 2 N 的外力作用下, 产生 0.1 m/s^2 的加速度, 求该物体的质量. 下面几种不同求法, 哪一个单位运用正确、简捷且规范? 简要说明其他不符合要求的理由.

$$(1) m = \frac{F}{a} = \frac{2}{10} \text{ kg} = 0.2 \text{ kg}.$$

$$(2) m = \frac{F}{a} = \frac{2 \text{ N}}{0.1 \text{ m/s}^2} = 20 \frac{\text{kg} \cdot \text{m/s}^2}{\text{m/s}^2} = 20 \text{ kg}.$$

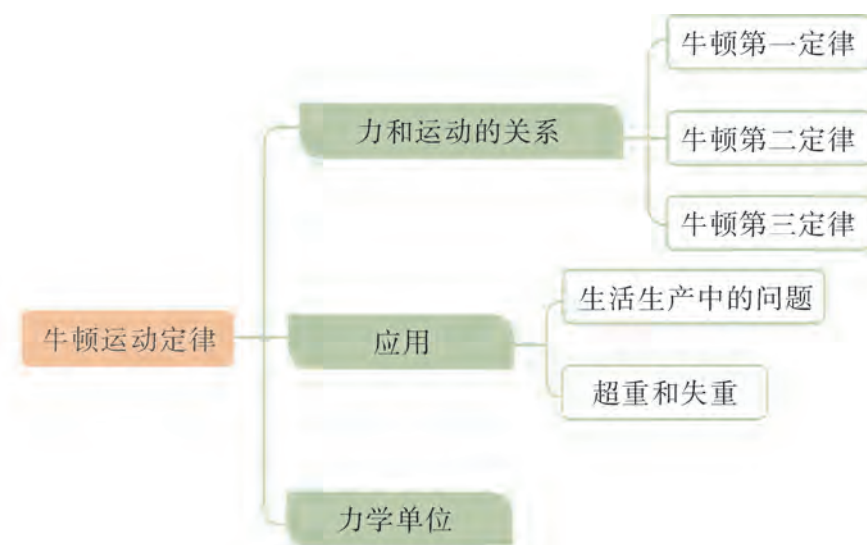
$$(3) m = \frac{F}{a} = \frac{2}{0.1} = 20 \text{ kg}.$$

$$(4) m = \frac{F}{a} = \frac{2}{0.1} \text{ kg} = 20 \text{ kg}.$$

本章小结

知识结构

参考下面的知识结构，请进一步梳理本章的知识。



回顾与评价

1. 通过本章的学习，我们对牛顿第一定律有哪些新的认识和理解？
2. 有人认为，牛顿第一定律是牛顿第二定律的特例，这种观点对吗？说一说三个牛顿运动定律之间的关系。
3. 统一单位制的意义是什么？
4. 谈一谈用牛顿运动定律解决生活生产中实际问题的主要思路和方法。

习题四

1. 为了节省能量, 某商场安装了智能化的电动扶梯. 无人搭乘时, 扶梯运转得很慢; 有人站上扶梯时, 它会先慢慢加速, 再匀速运转. 一顾客乘扶梯上楼, 恰好经历了这两个过程, 如图 4-1 所示, 那么下列说法中正确的是 ().

- A. 顾客始终受到三个力的作用
- B. 顾客始终处于超重状态
- C. 顾客对扶梯作用力的方向先指向左下方, 再竖直向下
- D. 顾客对扶梯作用力的方向先指向右下方, 再竖直向下



图 4-1

2. 蹦极就是跳跃者把一端固定的弹性长绳绑在踝关节等处, 从几十米高处跳下的一项极限运动. 某人做蹦极运动时, 所受绳子拉力 F 的大小随时间 t 变化的情况如图 4-2 所示. 如果将蹦极的过程近似看作在竖直方向的运动, 重力加速度为 g , 由图可知, 此人在蹦极过程中最大加速度约为 ().

- A. g
- B. $2g$
- C. $3g$
- D. $4g$

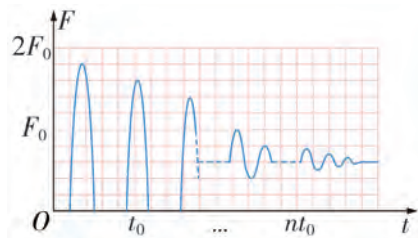


图 4-2

3. 某人在地面上用体重计称得体重为 490 N, 他将体重计移至电梯内重新称量, t_0 至 t_3 时间段内, 体重计的示数如图 4-3 所示. 若取电梯向上运动的方向为正, 电梯运行的 $v-t$ 图像可能是 ().

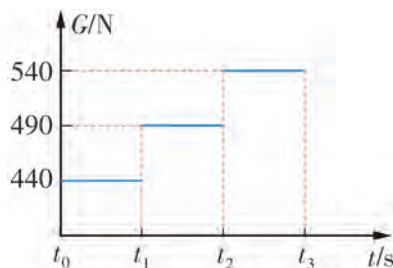
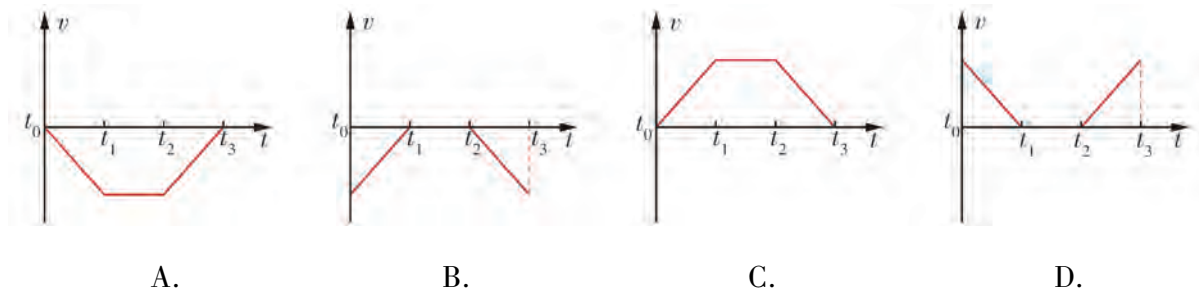
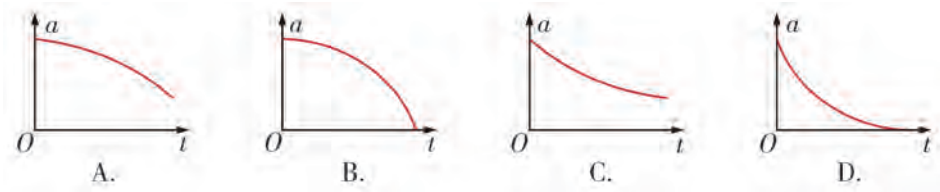


图 4-3



4. 将一个皮球竖直向上抛出，皮球运动时受到空气阻力的大小与速度的大小成正比。下列描绘皮球在上升过程中加速度的大小 a 与时间 t 关系的图像，可能正确的是（ ）。



5. 如图 4-4 所示是“神舟”系列飞船返回舱返回地面的示意图，假定其过程可简化为打开降落伞一段时间后，整个装置匀速下降，为确保安全着陆，需点燃返回舱的缓冲火箭，在火箭喷气过程中返回舱做减速直线运动，则（ ）。



图 4-4

- A. 火箭开始喷气瞬间，伞绳对返回舱的拉力变小
- B. 返回舱在喷气过程中减速的主要原因是空气阻力
- C. 返回舱在喷气过程中所受的合力可能大于其重力
- D. 返回舱在喷气过程中处于失重状态

6. (1) 两个完全相同的物体，在同一水平面上分别沿直线滑行，则初速度较大的物体要比初速度较小的物体滑行时间长。据此，有同学说：“物体的运动速度越大，惯性就越大。”这种说法是否正确？为什么？

(2) 快速下坡的自行车，如需紧急刹车，是必须刹住前轮呢，还是必须刹住后轮？说明其中的道理。

7. 跳高运动员能从地上跳起，是由于地面给运动员的支持力大于运动员给地面的压力，还是由于运动员给地面的压力大于运动员受的重力？请给出正确的解释。

8. 如图 4-5 所示，一夹子夹住木块，在力 F 作用下向上提升。夹子和木块的质量分别为 m ， M ，夹子与木块两侧间的最大静摩擦力均为 f 。若木块不滑动，求力 F 的最大值。

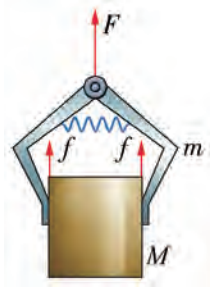


图 4-5

9. 据报道，某航空公司的一架客机在正常航线上水平飞行时，由于突然受到强大垂直气流的作用，使飞机在 10 s 内下降 1700 m，造成多名乘客和机组人员受伤。如果只研究飞机在竖直方向上的运动，且假定这一运动是匀变速直线运动， g 取 10 m/s^2 ，试计算：

- (1) 飞机在竖直方向上产生的加速度多大？方向怎样？
- (2) 乘客所系安全带必须提供相当于乘客体重多少倍的拉力，才能使乘客不脱离座椅？
- (3) 未系安全带的乘客，相对于机舱将向什么方向运动？人体最可能受到伤害的是什么部位？

10. 如图 4-6 (a) 所示，安检机在工作时，通过传送带将被检物品从安检机一端传送到另一端，其过程可简化为如图 4-6 (b) 所示。设传送带长为 2.1 m，传送速度为 3 m/s，被检物品与传送带的动摩擦因数 $\mu = 0.3$ 。若被检物品无初速度放到传送带 A 端，问：从 A 端到 B 端所用的时间为多少？（ g 取 10 m/s^2 ，被检物品可视为质点）

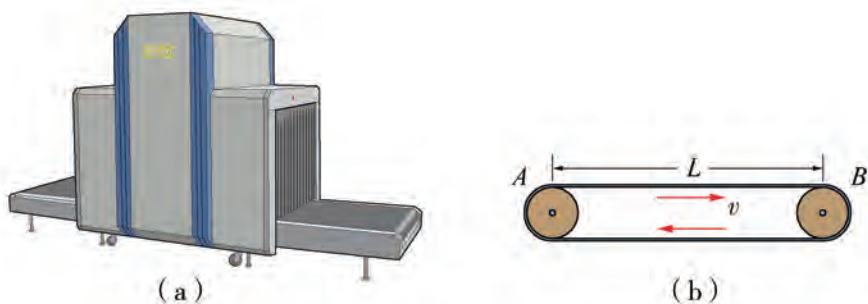


图 4-6

11. 质量为 0.1 kg 的弹性小球从空中某高度由静止开始下落, 该下落过程对应的 $v-t$ 图像如图 4-7 所示. 球与水平地面相碰后, 离开地面时的速度为碰撞前的 $\frac{3}{4}$. 设球受到空气阻力的大小恒为 f , 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$. 求:

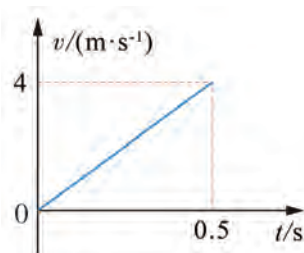


图 4-7

- (1) 弹性小球受到的空气阻力 f 的大小.
- (2) 弹性小球第一次碰撞后反弹的高度 h .

12. 如图 4-8 所示, 质量为 M 的拖拉机拉着耙来耙地, 由静止开始做匀加速直线运动, 在时间 t 内前进的距离为 s . 耙地时, 拖拉机受到的牵引力恒为 F , 受到地面的阻力为自重的 k 倍, 若所受阻力恒定, 连接杆质量不计且与水平面的夹角 θ 保持不变. 求:

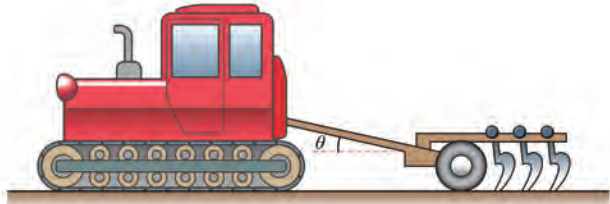


图 4-8

- (1) 拖拉机加速度的大小.
- (2) 拖拉机对连接杆拉力的大小.

13. 行驶中的两汽车之间应保持一定的安全距离, 当前车突然停止时, 后车司机应采取刹车措施, 使汽车在安全距离内停下而不会与前车碰撞. 通常情况下, 人的反应时间和汽车系统的反应时间之和为 1 s . 当汽车在晴天干燥沥青路面上以 108 km/h 的速度匀速行驶时, 安全距离为 120 m . 设雨天时汽车轮胎与沥青路面间的动摩擦因数为晴天时的 $\frac{2}{5}$, 若要求安全距离仍为 120 m , 求汽车在雨天安全行驶的最大速度.

14. 如图 4-9 所示是深坑打夯机的示意图. 首先, 电动机带动两个摩擦轮匀速转动, 将压紧的夯杆从深坑提起. 当夯杆的下端刚到达坑口时, 两个摩擦轮将夯杆松开, 夯杆在自身重力的作用下, 最后落回坑底, 这样, 周而复始地进行, 就可以达到将坑底夯实的目的. 已知两摩擦轮边缘的切线处, 竖直向上的速度 $v = 4 \text{ m/s}$, 两摩擦轮对夯杆的正压力均为 $F = 2 \times 10^4 \text{ N}$, 与夯杆的动摩擦因数 $\mu = 0.3$, 夯杆的质量 $m = 1.0 \times 10^3 \text{ kg}$, 坑

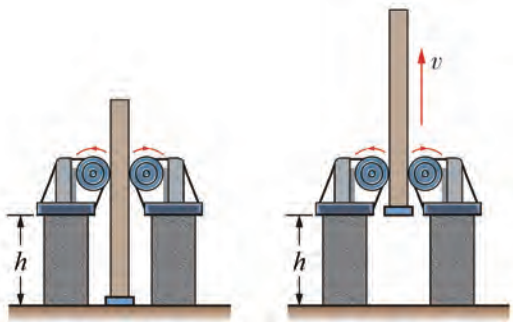


图 4-9

深 $h = 6.4\text{ m}$ ，不计因打夯引起的深度变化，试计算该深坑打夯机的打夯周期。

15. 用如图 4 - 10 (a) 所示的实验装置来验证牛顿第二定律，为消除摩擦力的影响，实验前必须平衡摩擦力。

(1) 某同学平衡摩擦力时操作方法如下：将小车水平静止地放在长木板上，把木板不带滑轮的一端慢慢垫高，如图 4 - 10 (b) 所示，直到小车由静止开始沿木板向下缓慢滑动为止。这名同学的操作是否正确？如果不正确，应当如何进行？

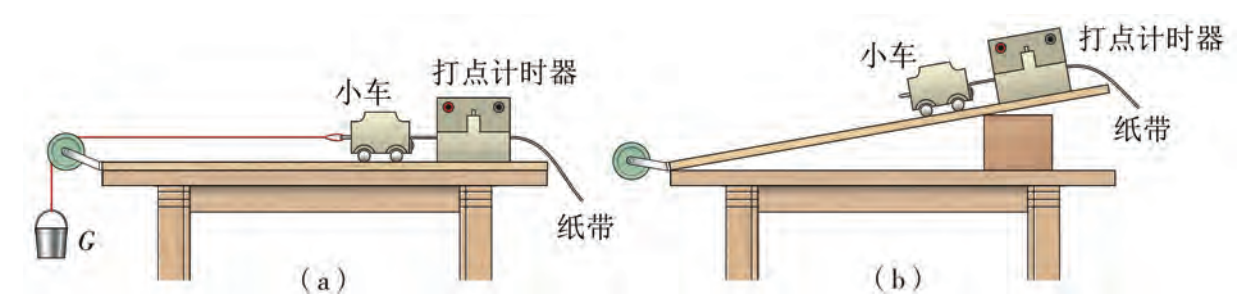
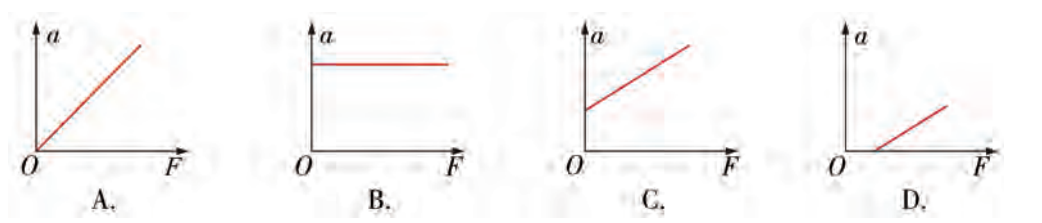


图 4 - 10

(2) 如果这名同学先按 (1) 进行操作，然后不断改变对小车的拉力 F ，他得到的 M (小车质量) 保持不变情况下的 $a - F$ 图线是_____ (将选项代号的字母填在横线上)。



(3) 打点计时器使用的交变电流频率 $f = 50\text{ Hz}$ 。如图 4 - 11 所示是某同学在正确操作条件下获得的一条纸带，其中 A, B, C, D, E 每两点之间还有 4 个点没有标出。写出用 s_1, s_2, s_3, s_4 以及 f 来表示小车加速度的计算式： $a =$ _____ (用英文字母表示)。根据纸带所提供的数据，算得小车加速度的大小为 _____ m/s^2 (结果保留两位有效数字)。

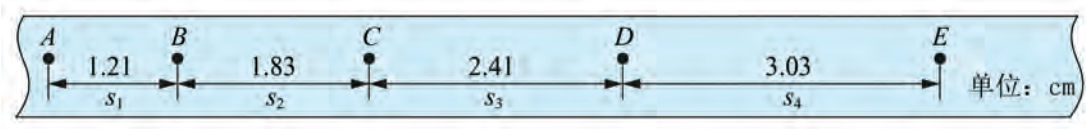
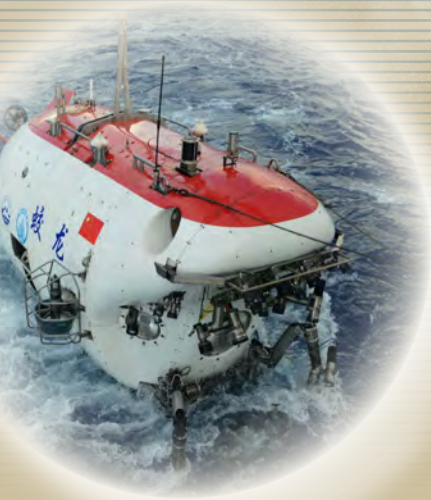


图 4 - 11



绿色印刷产品

批准文号：粤发改价格〔2017〕434号 举报电话：12315



定价：10.59元



致力于用榜样的力量提升学生成绩的共享家教平台

中国家庭教育学会荣誉会员单位

985/211 大学生 1对1 上门辅导

找家教就像叫“代驾”一样简单
家长们都在偷偷用的家教预约神器

记得拍照留存哦



扫码关注 预约上门

关注送200元优惠券

小初高全科辅导

学霸云集任您挑

学历真实可担保



与优秀大学生同行，激发孩子无限潜能



微信搜索公众号：365优教网

咨询热线：4000-711-365

YOUJ 优教

既是找老师，更是找榜样

家教老师全国招募中