



全国优秀教材二等奖

普通高中教科书

物理

必修

第一册

 山东科学技术出版社



全国优秀教材二等奖



司南

中学物理教材编写组

普通高中教科书

物理

必修

第一册

主编 廖伯琴



● 山东科学技术出版社

· 济南 ·

主 编：廖伯琴

核心编者：杨燕鸣 梅家焯 谢德胜 冯 庆 李富强 廖伯琴

统 稿：廖伯琴 杨燕鸣

定 稿：廖伯琴

编务联系：李富强 李洪俊

责任编辑：郑淑娟 杨文静 李宝艳

封面设计：孙 佳

版权所有·请勿擅自用本书制作各类出版物·违者必究

如对教材内容有意愿、建议或发现印装质量问题，请与山东科学技术出版社联系

电话：0531-82098030 电子邮箱：sdkjy@sdcbs.com

绪 论 撩开物理学的神秘面纱

一、源自自然之问·····	2
二、探万物之秘·····	4
三、采科学之益·····	6
四、启智慧之迪·····	8



第 1 章 运动的描述

导 入 走进运动的世界·····	12
第 1 节 空间和时间·····	13
第 2 节 质点和位移·····	19
第 3 节 速 度·····	24
第 4 节 加速度·····	28

第 2 章 匀变速直线运动

导 入 探索运动规律·····	35
第 1 节 速度变化规律·····	36
第 2 节 位移变化规律·····	41
第 3 节 实验中的误差和有效数字·····	45
第 4 节 科学测量：做直线运动物体的瞬时速度·····	48
第 5 节 自由落体运动·····	55





第3章 相互作用

导 入	奇特的力现象	67
第1节	重力与重心	68
第2节	科学探究：弹力	72
第3节	摩擦力	79

第4章 力与平衡

导 入	感悟平衡之美	89
第1节	科学探究：力的合成	90
第2节	力的分解	95
第3节	共点力的平衡	99



第5章 牛顿运动定律

导 入	跨越时空的对话	109
第1节	牛顿第一运动定律	110
第2节	科学探究：加速度与力、质量的关系	113
第3节	牛顿第二运动定律	117
第4节	牛顿第三运动定律	126
第5节	超重与失重	129

绪 论

撩开物理学的神秘面纱

源自然之间
探万物之秘
采科学之益
启智慧之迪



一、源自自然之问

判天地之美，析万物之理。——庄子

大自然充满了奥秘。天地之间，各种形态的物质展示着绝妙的多彩与协调。自古，人们便开始探索在如此绚烂和神奇的大自然背后，究竟隐藏着怎样的规律。

仰望夜空，群星闪烁，梦幻而神秘。仔细观察，发现它们有着和谐统一的运动规律：太阳、月亮和星星日复一日东升西落；彗星拖着长尾消失在茫茫星空，若干年后竟会如约再次进入我们的视野；时而出现的流星雨给深邃的天空增添了浪漫与传奇……是什么力量使天体有着如此神奇的运动（图1）？



图1 为什么天体能周而复始地运动



图2 为什么“飞”得再高也要落回地面

地球，我们的家园。从高山大漠到江河湖海，从植物、动物到人类自身，神奇无处不在：潮涨潮落，苹果坠地，石头下落；“飞”得再高，总是在空中“画出”弧线后落回地面（图2）……是什么力量在“调控”这些运动？

人们在不断探索中，对上述现象有了各种解释。物理学认为，在这些丰富多样的神奇背后隐藏着大自然的秘密——万有引力定律。在这自然定律的制约下，天体运行有了周期，大海有了潮汐，人类有了不可逾越的跳高极限……



图3 为什么闪电会从天而降

生活中的神奇也无处不在：装物体的薄塑料袋会“自动”贴手；梳过头发的塑料梳子能“悄然”吸起轻物（图4），靠近水流时，能改变其流动方向。似乎在我们周围有一种神秘力量，看不见、摸不着，时常魔幻般出现。人们不禁要问：这神秘力量是什么？它来自哪里？



图4 为什么梳过头发的梳子能吸起纸屑

人类对以上“惊天动地”或“悄然无声”的神奇现象有诸多解释。物理学认为，在这些看似不相干的现象中隐含了大自然的又一个秘密——静电。

大自然是神秘的，也是可以探索的。人们从不同视角探索自然，由此便形成了不同的学科，如天文学、物理学、化学、生物学、地理学等。那么，什么是物理学呢？**物理学是研究自然界物质的基本结构、相互作用和运动规律的一门学科。**例如，一块石头、一个苹果下落，物理学研究的不是石头或苹果本身，而是这些物体下落的共同规律。人们在不断从物理学视角认识自然、解释自然的过程中，逐渐形成了基于物理学体系的物理自然观。

二、探万物之秘

一切推理都源于观察与实验。——伽利略

面对神奇自然，自古人们就有想要了解它的无法遏制的渴望。大自然的奥秘是可以探索的。人们“仰观吐曜，俯察含章”，逐渐从思辨、观察走向实验，孜孜不倦地探索着万物之秘。

经典力学和实验物理学的先驱伽利略（G. Galilei, 1564—1642）以系统的观察和实验，向亚里士多德（Aristotle, 公元前 384—前 322）的传统自然观提出了质疑。他率先用望远镜观察天体运动（图 5），用观察证据支持了哥白尼（N. Kopernik, 1473—1543）的“日心说”。从此，用实验方法探究世界成为人们探究自然规律的一种重要手段。



图 5 伽利略用自制的天文望远镜观察星空



图 6 牛顿利用三棱镜发现了白光的秘密

伟大的物理学家牛顿（I. Newton, 1643—1727）以及同时代众多科学家，通过实验方法探索万物之秘。例如，牛顿通过三棱镜进行色散实验，发现白光是由各种不同颜色的光组成的（图 6）。在大量实验基础上，牛顿等物理学家建立了经典物理学体系，奠定了物理学“大厦”的基石。

19 世纪与 20 世纪之交，当人们在庆贺物理学“大厦”基本落成时，晴朗天空飘浮着的“两朵乌云”引发了物理学的革命。后来创立的现代物理学，进一步揭示了在高速或微观层面的大自然奥秘。



20 世纪杰出的物理学家爱因斯坦 (A. Einstein, 1879—1955) 提出了相对论, 从根本上冲击了经典力学体系, 改变了人们所熟悉的时间与空间等概念。普朗克 (M. Planck, 1858—1947)、玻尔 (N. Bohr, 1885—1962) 等量子论主要奠基人发现微观与宏观世界的物理规律有很大差异。爱因斯坦与玻尔关于量子论的争论与交流也极大地推动了量子论的发展 (图 7)。



图 7 爱因斯坦与玻尔



图 8 深入探索宇宙的激光干涉引力波天文台

人类对大自然的探索从未停止。2016 年, 科学家宣布, 他们利用激光干涉引力波天文台 (LIGO, 图 8) 首次探测到引力波。这一发现为人类开启了探索宇宙的新旅程。而对微观世界的深入研究, 使人类在揭开自然之谜的探索中又向前跨了一大步。

从通过肉眼直接观察, 到利用仪器进一步实验, 人们持续不断地探索着大自然的秘密。在大量实践探索的基础上, 人们的物理自然观逐渐形成并不断发展, 同时提炼出一系列科学研究方法及科学思维模式。无疑, 人们已具有相当程度的探究大自然的能力。

三、采科学之益

我们在享受他人发明带来的巨大益处，也应乐于用自己的发明服务于他人。——富兰克林

物理学拓展了人们的思维，提升了人们的探究水平。物理学的技术应用，改变了人们的生产生活方式，推动了社会的发展。



图9 “天舟一号”与“天宫二号”对接示意图

17世纪牛顿力学体系的建立，使得人类不仅能解释周围的宏观世界，还能利用航天技术“上九天揽月”，探索宇宙。2011年我国成功发射“天宫一号”，成为继俄罗斯和美国后第三个能独立发射空间站的国家。2017年“天舟一号”与“天宫二号”的成功对接（图9），正式宣告中国航天迈进了“空间站时代”。

18~19世纪蒸汽机的发明，直接推动了第一次工业革命，作坊式的手工业被机器大工业代替（图10），极大地改变了人们的生产生活方式，提高了效率，加快了社会发展进程。

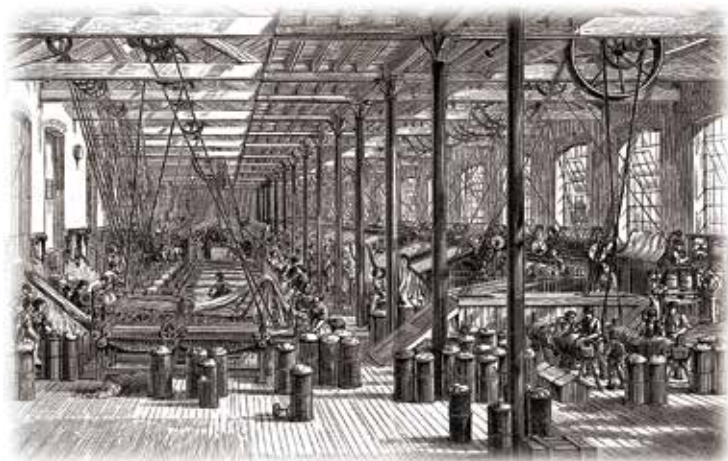


图10 蒸汽机的发明带来机器大工业



电磁技术的应用，引发了第二次工业革命，使人类社会进入电气时代。如今，电的应用已深入人们生产生活的方方面面（图 11），无论上天入地，还是衣食住行，人们都已离不开电了。



图 11 电磁技术的应用带来万家灯火



图 12 电脑在很多方面已超越人脑

随着微电子等技术的发展，人类跨入信息时代，实现了足不出户也能工作和学习的梦想。以大规模集成电路为核心的信息技术应用越来越广，作为半导体集成电路关键的芯片，已走向纳米级，不断朝“更小、更快、更冷”的方向进步，这加速推动了人工智能（图 12）、物联网等相关技术的发展，引发了人类生产生活方式的巨大变化。

物理学技术在给人类带来巨大益处的同时，也给人类生活与社会发展带来一些需要关注的问题。例如，当我们赞叹阿尔法狗（AlphaGo）战胜人类顶尖围棋选手的同时，也对电脑与人脑的未来有了更加理性的认识。当今，人们已特别关注如何更加有效、理性地应用物理学技术，采科学技术之益，节约能源，保护环境，珍爱我们的地球家园。

四、启智慧之迪

追求客观真理和知识是人的最高和永恒的目标。——爱因斯坦

查阅诺贝尔物理学奖获奖项目，浏览一篇篇学术论文，你可能会对物理学产生敬畏，认为物理学是一堆“天书”似的公式、符号和深奥的概念、定律，是只有物理学家才能弄懂的高深理论。其实，物理学是非常有趣的，物理学研究的很多问题就在我们身边。用物理学的知识解释自然现象、解决物理问题，不仅是物理学家，也是大家能做的事情。

火焰为什么能直立？彩虹为何如此绚丽（图13）？水黾为什么能在水面爬行？这些问题看似简单，如果不断追问，你会发现自己对大自然有了新的认识，会感受到解开自然之谜是多么令人愉悦。



图13 空中的彩虹——自然中的物理现象

看看周围的世界，你会发现物理问题就在身边。无论是穿衣、洗脸、刷牙、照镜子，还是吃饭、走路、睡觉等，你都会遇到许多物理问题。



图14 向热水吹气使其降温——生活中的物理问题

喝热水时，你会不自觉地向杯中滚烫的水吹气（图14），或用其他物品隔离杯子以免烫手。照镜子时，你会擦去镜子表面的灰尘或水雾，以使自己在镜子里的像更清晰。仔细想想，人们为何有这样的习惯动作？当你能有意识地将物理学应用于日常生活并解决一些实际问题时，你已开始科学探索，进行科学思维，逐渐形成物理自然观，并会因此倍感兴奋与满足。



学习物理是激动人心的智力探险活动！初中阶段，你已初步领略了物理世界的美妙风景。今天，当你翻开这套物理教科书，如同撩开高中物理的面纱，你将进一步感受到来自大自然的神奇——令你神往，来自生活中的神奇——让你叫绝！在这藏有无数瑰宝的物理迷宫中，神奇无处不在。

在“运动”世界中（图15），你将发现空间与时间的奥秘，领悟速度与加速度的奇妙，聆听亚里士多德与伽利略的故事，揭晓苹果下落的秘密；在“相互作用”世界中，你将欣赏奇特的力现象，探索“伸臂桥”的平衡窍门，破解悬空走钢丝的秘诀；在“力与运动”世界中，物理学巨人牛顿将给你开启经典力学的核心宫殿之门，其中的瑰宝美不胜收！



图15 鸽子飞翔——必修第一册中与运动有关的内容



图16 过山车——必修第二册中与曲线运动有关的内容

到了“功与能”的世界，你将打开大自然“守恒”的秘窟，领略动能与势能转换的神奇；在“曲线运动”的世界，你可发现获得各类体育竞技好成绩的诀窍，知晓过山车（图16）、旋转飞椅惊险离奇背后的道理；学了万有引力定律，你会知道人类为何能将“嫦娥飞天”的神话变成现实，也许你还梦想着某天能亲自探索火星呢……“高速世界”的神奇更是超乎你的想象，长度缩短、时间延缓、质量随速度变化而变化、光会拐弯……

在精彩无比的“电世界”，你可捕捉魔幻之“电”（图17），解释电闪雷鸣的秘密，感受神秘的电“魔力”，了解“装电的容器”，揭开节日霓虹的奥秘，探索弥漫周围的电磁波，知晓节约能源、珍爱大自然的道理……



图17 放电现象——必修第三册中与静电有关的内容

相信你会喜欢这套逻辑严谨、妙趣横生的物理教科书。每章都有引人入胜的导入，有的浅显易懂，幽默风趣；有的高度概括，启发思维；有的来自生活，趣味无穷；有的源于自然，神奇无比……这套教科书不但结构合理，逻辑严密，而且设置了丰富多彩的栏目（图 18）：“本章学业要求”以画龙点睛的方式告诉你学习目的，后续还以“素养提升”栏目进一步提示为什么学习相关内容；“实验与探究”含有规范的验证实验和探究实验；“迷你实验室”有取材容易、精彩纷呈的趣味小实验；“方法点拨”是由具体事例提炼的科学研究方法和科学思想；“策略提炼”则是特别由例题提炼

▶▶ 本章学业要求



素养提升



实验与探究



迷你实验室



方法点拨



策略提炼



拓展一步



物理聊吧



科学书屋

航天器中的超重和失重

航天器加速升空和减速返回地面时，其上的一切物体都会处于超重状态。如果航天员站立或坐着，在超重情况下，会出现足部血压升高、头部供血不足等现象，轻则引起视觉障碍，重则发生晕厥。因此，航天员应平躺于座椅上（图 5-28），这样可减轻超重对人体的影响。

航天器进入轨道后，所有物体都近似处于完全失重状态。观看我国航天员王亚平进行太空授课的视频，你会发现若干失重现象：悬浮于空中的圆形水球（图 5-29）、不断转圈的单摆、飘来飘去的航天员等。这些都是我们在地面上无法体验到的完全失重现象。



图 5-28 航天员杨利伟平躺在航天器中



图 5-29 航天员王亚平太空授课时展示圆形水球

图 18 丰富多彩、功能各具的栏目



图 19 “嫦娥”飞天



图 20 “蛟龙”入海

出的问题解决方法；“拓展一步”是在基本要求上的拓展，你可多学一点；“物理聊吧”为大家提供畅所欲言、相互辩论的论题与空间；“科学书屋”为你提供拓展视野的科技信息；当然，还有帮你复习巩固的“节练习”“章末练习”“单元自我检测”以及帮你反思评估的与节有关的“请提问”、与章有关的“我的学习总结”、与单元有关的“单元自我评价”等。

相信你会珍惜学习物理的机会！它能让你形成物理自然观，从物理视角认识自然、理解自然；能让你具有科学思维品质，敏于推理、善于论证、勇于创新；能让你成为科技探索达人，技巧过人、能力超群；能让你享受发现与成功的喜悦，实事求是、追求真理，有更好地为社会发展和人类进步作贡献的境界与责任感。

物理学使我们能让“嫦娥”飞天（图 19）、“蛟龙”入海（图 20）……相信你一定会为学习物理、服务人类而骄傲！



运动的描述

第1章

导 入 走进运动的世界

第1节 空间和时间

第2节 质点和位移

第3节 速 度

第4节 加速度

►►本章学业要求^①

- 能了解时间、位移、速度和加速度的内涵，初步了解标量和矢量；能将时间、位移、速度和加速度等概念与生活中的相关现象联系起来。能从物理学的视角观察身边的运动现象。——物理观念
- 能在特定情境中将物体抽象为质点，知道建立质点模型的条件与方法；能结合瞬时速度、加速度概念的建构，体会研究物理问题的极限方法和抽象思维的方法；知道物理研究需要证据；有质疑的意识。——科学思维
- 具有一定的问题意识；通过平均速度与瞬时速度的比较，对瞬时速度的测量方法有所了解；能说明获得瞬时速度数据的理由；能与他人交流。——科学探究
- 知道物理学研究的很多问题就在身边，对自然界有好奇心，具有探索的兴趣；知道物理学能解决人们生产生活中的一些问题。——科学态度与责任

^① 本套教科书每章皆有“本章学业要求”，是根据《普通高中物理课程标准（2017年版）》（以下简称《课标》）中的物理学科核心素养、课程内容、学业质量水平，并综合考虑每章教科书内容后提出的。这是学习每章内容后应达成的学习目标，是对物理学科核心素养相关表现的描述。在每章教科书内容中，若有强调某学业要求的，将结合《课标》中的内容要求，用“素养提升”栏目特别列出；若综合体现学业要求的，则不再特别列出。

导 人

走进运动的世界

我们生活在运动的世界中。

从浩瀚宇宙到微小粒子，自然界的一切都在不停地运动。旋转的星系，飘浮的白云，飞翔的鸽子，飘落的秋叶，潺潺的流水……这是一个绚丽多彩、变化万千的运动世界。



星系旋转



鸽子飞翔

自古，人们便不断探索自然界运动的奥秘。经过长期探索，人们逐步建立了描述运动的概念，总结出探究运动的方法，并一步步将问题引向深入，揭示出自然界运动的一个个奥秘。

如何描述物体的运动？物体的运动与时间、空间有怎样的关联？本章我们将从简单的运动入手，通过学习建构质点模型等研究方法，逐渐建立描述物体运动的位移、速度和加速度等概念。

第1节

空间和时间

运动无处不在，我们也处于运动中。走路、跑步、坐车……这些运动有何共同特点？如何描述这些运动？本节我们将学习机械运动及其空间位置和时间的描述。

1. 机械运动

通常，人们根据运动的特点，将运动分为机械运动、热运动、电磁运动等多种形式。其中，**机械运动** (mechanical motion) 是指一个物体相对于其他物体的位置随时间的变化，是自然界最基本、最普遍的运动形式，简称运动。

运动的描述是相对的。如图 1-1 所示，在运行的电梯中，站在电梯里的人相对于电梯，其位置没有变化，是静止的；但相对于楼房或地面，其位置则在不断变化，是运动的。可见，动与静是相对的，人们必须确定一个参照物来描述物体的运动，这种参照物称为**参考系** (reference frame)。



图 1-1 运行的电梯

例如，在上述情境中，若以楼房或地面为参考系，站在运行电梯中的人是运动的；若以电梯为参考系，站在运行电梯中的人则是静止的。

显然，对于同一个运动，选择的参考系不同，描述运动的结果就不一定相同。若参考系选择恰当，则可使研究的问题简化。

2. 空间位置的描述

既然物体运动时位置会不断变化，那么研究运动就需要描述物体的空间位置。我们应怎样描述物体的位置呢？

假设汽车在笔直的公路上由西向东行驶，若问汽车开到哪里了，通常我们会选择地面

为参考系，并以大家熟悉的地面标志物为参考点，说明汽车距该标志物有多远，在该标志物的哪一侧等。我们可说“汽车在市中心正东 500 m 处”，但只说“汽车在距市中心 500 m 处”就不能准确描述汽车的具体位置。

在物理学中，通常需要借助数学方法，通过建立坐标系来描述物体的位置。

例如，为了描述上述汽车的位置，我们可建立一维坐标系。如图 1-2 所示，假定坐标系的原点 O 选在市中心，以正东方向为正方向，以米为单位，则汽车的位置可记为

$$x = 500 \text{ m}$$

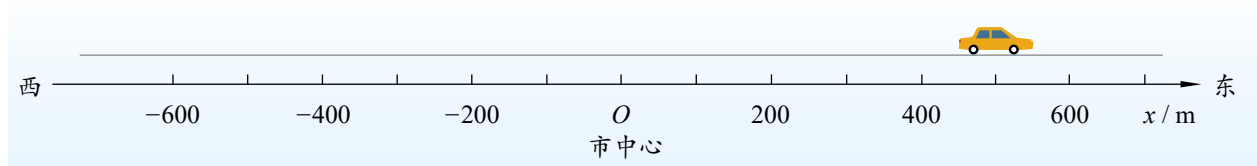


图 1-2 用一维坐标系描述汽车的位置

假如汽车在市中心正西 500 m 处，在上述坐标系中，汽车的位置可记为

$$x = -500 \text{ m}$$

假如汽车从市中心出发，先向正北方向行驶 100 m，再向正东方向行驶 150 m，到达如图 1-3 所示的位置。若仍以市中心为参考点，应怎样描述汽车的位置呢？



图 1-3 汽车在市中心附近行驶示意图



对于这种情况，我们可用二维直角坐标系来描述。

如图1-4所示，取市中心为原点 O ，以正东方向为 x 轴正方向、正北方向为 y 轴正方向，以米为单位，则该汽车在此二维直角坐标系中的位置可记为 $R(150, 100)$ ，或

$$x = 150 \text{ m}, y = 100 \text{ m}$$

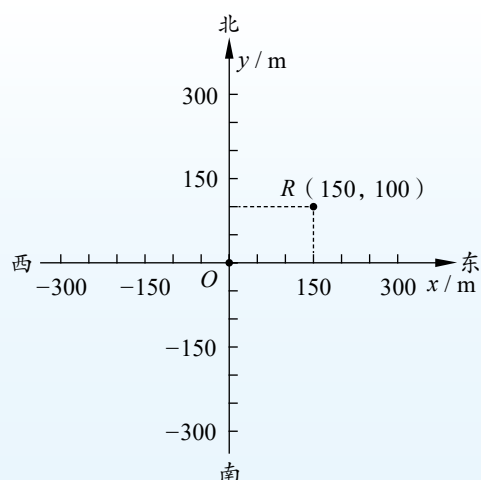


图1-4 用二维直角坐标系描述汽车的位置



卫星定位导航系统

过去，人们通常借助太阳、星星或熟悉的地理位置等来确定自己的位置。这些定位方法误差大且易受天气等影响。随着科学技术的发展，目前在国防、交通、勘探等领域，人们已普遍使用卫星定位导航系统来准确迅捷地确定物体的位置并进行导航。

卫星定位导航系统由围绕地球运行的若干导航卫星（图1-5）和地面接收装置（图1-6）等组成。导航卫星不断发射有关自身所在位置及对应时刻的无线电信号，地面接收装置接收到多颗卫星的信号并对其进行分析比较后，便能确定使用者所在位置的经度、纬度及海拔。这样，该系统不仅可获得使用者的准确位置，还可为其导航。

目前，有影响力的卫星定位导航系统有中国的北斗卫星导航系统（BDS）、美国的全球定位系统（GPS）、俄罗斯的格洛纳斯卫星导航系统（GLONASS）和欧盟的伽利略卫星导航系统（GSNS）等。



图1-5 导航卫星工作示意图



图1-6 手机导航

① 本套教科书所有栏目内容可按照《课标》要求，根据具体情况，选择性学习。

3.时间的描述

在描述物体的运动时，需要用到时刻和时间两个概念。下面以航天飞行情境为例来进行讨论。

我国航天事业取得了举世瞩目的成就，若干相关的重要时刻和时间已载入史册。例如，在2003年10月我国首次载人航天飞行中，便有一系列扣人心弦的时刻和时间（图1-7）。

“神舟五号”飞船的运载火箭点火

航天员杨利伟在太空中展示中华人民共和国国旗和联合国旗

飞船返回舱成功着陆

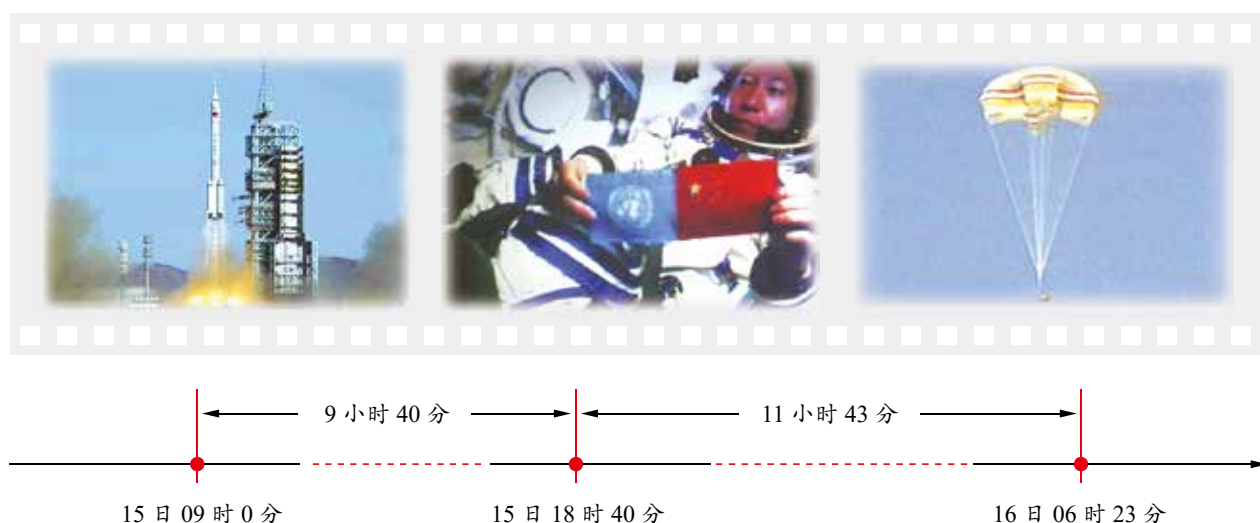


图1-7 “神舟五号”飞船飞行中的部分重要时刻和时间

这里的“15日09时0分”“15日18时40分”和“16日06时23分”，分别指运载火箭点火、展示旗帜和飞船返回舱着陆的时刻；从点火到展示旗帜所经历的时间则是这两个时刻之差——9小时40分。同理，可计算出从展示旗帜到飞船返回舱着陆所经历的时间为11小时43分。

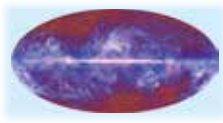
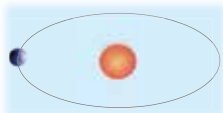
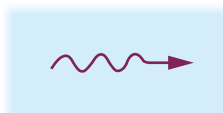
时刻是指某一瞬时，时间是指两个时刻的间隔，通常都用 t 表示。时刻和时的主要单位有秒、分、时，它们的符号分别为 s、min、h。在表示时间的数轴上，时刻用点表示，时间用线段表示。在图1-7中的时间数轴上标出了运载火箭点火、展示旗帜和飞船返回舱着陆三个重要时刻及其间隔的时间。

人们在日常生活中所说的“时间”，有时表示时刻，有时表示两个时刻的间隔，我们可根据具体情况确定其准确含义。在一些精细研究中，需要测量和记录很短的时间，为此人们采用了飞秒（fs）和阿秒（as）技术。飞秒和阿秒都是极小的时间单位， $1\text{ fs} = 10^{-15}\text{ s}$ ， $1\text{ as} = 10^{-18}\text{ s}$ 。利用飞秒技术能够拍摄到一次原子振荡中不同时刻的图像，可深入研究单个原子的运动过程。寻找在更短的时间中隐藏的秘密，已经成为科学家的探索目标之一。



空间和时间的尺度

科学技术的发展极大地拓展了人们对空间和时间的认识范围。目前，人类观测到的空间，最远可至 10^{26} m 的宇宙深处，最小约为 10^{-15} m 的微观世界；认识到的时间，最久可至 10^{17} s 以前的宇宙大爆炸（根据宇宙大爆炸理论测算的宇宙年龄），最短约为 10^{-25} s（一种微观粒子的寿命）。一些事件的时间数量级如下：

时间 t/s	有关事件	时间 t/s	有关事件
10^{17}	宇宙大爆炸至今 	10^2	光从太阳到达地球所需的时间 
10^{15}	地球上出现恐龙至今 	10^1	普通成人百米跑所用的时间 
10^{14}	地球上出现人类至今 	10^{-3}	蜜蜂拍打一次翅膀所需的时间 
10^7	地球围绕太阳公转一周的时间 	10^{-25}	一种微观粒子的寿命 

节练习^①

- 在“小小竹排江中游，巍巍青山两岸走”这两句歌词中，所选取的参考系分别是什么？请说明理由。
- 在涉及时刻与时间的讨论中，常有以下说法：前 2 s、第 2 s 内、第 2 s 末、第 3 s 初。它们分别指的是时刻还是时间？请在时间轴上把它们标示出来。
- 在摩托艇比赛中，两艘摩托艇都向南行驶，前面的摩托艇比后面的摩托艇快。下列说法正确的是
 - 以前面的摩托艇为参考系，后面的摩托艇向南行驶
 - 以前面的摩托艇为参考系，后面的摩托艇向北行驶
 - 以后面的摩托艇为参考系，前面的摩托艇向南行驶
 - 以后面的摩托艇为参考系，前面的摩托艇向北行驶

① 本套必修教科书“节练习”和“章末练习”中，黑色题号的习题大致对应学业质量 1、2 水平，红色题号的习题大致对应 3、4 水平。标有“*”的习题有一定难度，可根据具体情况选做。

4. 一高速动车组列车从成都开往重庆，其时刻表（部分）如下。

站名	到站时间	出发时间	停留时间
成都东站	—	11 : 20	—
内江北站	12 : 10	12 : 12	2 分
重庆北站	13 : 04	—	—

下列叙述中，表示时间的是

- A. 列车从成都东站出发的时间是 11 时 20 分
 - B. 列车一共运行了 1 小时 44 分
 - C. 列车在 12 时 10 分到达内江北站
 - D. 列车在内江北站停留了 2 分
5. 某同学以天安门东公交车站为起点、中国国家博物馆西 3 门为终点设置的手机导航图如图所示。该同学按导航图先沿长安街向正西方向走 160 m，再沿广场东侧路向正南方向走 280 m，最后向正东方向走 80 m 到达终点。若以起点为坐标原点，正东方向为 x 轴正方向，正北方向为 y 轴正方向，请画出坐标系并确定该同学行走到第一个转弯处以及终点的位置坐标。
6. 请以秒为单位，估算自己从出生到现在已度过了多长时间。对比本节“科学书屋”中某个事件的时间数量级，说说珍惜时间的意义。



第 5 题

请提问

第2节

质点和位移

上节我们用坐标系描述汽车的位置时，实际上是把汽车视为一个点。运动的物体是否都可视为一个点？如果不是，什么情况下才能视为一个点？汽车在运动过程中，其位置在不断改变，如何描述汽车位置的改变？

本节将通过质点模型的建构，学习利用理想模型研究物理问题的方法，以及如何用位移描述物体位置的改变。

1. 质点

在自然界中，物体的运动通常十分复杂，同时考虑物体运动涉及的所有方面往往很困难。为此，物理学中常用建构理想模型的方法，突出问题的主要因素，忽略次要因素，将问题简化，以便得到解决。

例如，在投篮过程中，球上各点的运动情况不尽相同（图 1-8）。显然，要想描述清楚这些点的运动情况是非常困难的。但是，如果只研究篮球整体飞行的轨迹，就可以忽略篮球上各点运动的差异，将篮球抽象为一个只有质量、没有大小的点。用这个点的运动代替篮球整体的运动，其运动轨迹则可近似视为一条较为简单的曲线（图 1-9）。这样，就可使问题简化，便于研究。



图 1-8 学生投篮的情景

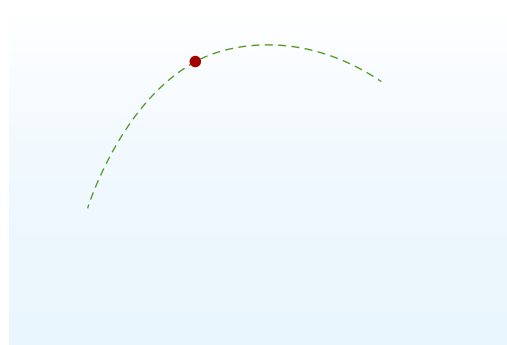


图 1-9 投篮时篮球的运动轨迹

像上面研究篮球的运动一样，如果物体的大小和形状对所研究问题的影响可忽略不计，我们就可把该物体简化为一个具有质量的点，或者说用一个具有质量的点来代替整个

物体。物理学中，把这种用来代替物体的具有质量的点称为**质点**（mass point）。显然，质点不是真实的物体，它是一种理想化的物理模型。

能否将一个物体视为质点，需根据研究的具体问题而定。对于同一物体，在研究某问题时可视为质点，而在研究另一问题时则不一定能视为质点。例如，研究地球绕太阳的公转时，尽管地球直径约为 $1.3 \times 10^4 \text{ km}$ ，且其本身在自转，但由于地球和太阳之间的距离约为 $1.5 \times 10^8 \text{ km}$ ，远大于地球直径，地球上各点相对于太阳的运动可视为

相同。这时，就可忽略地球的大小和形状，把地球视为一个质点（图 1-10）。如果研究地球自转，地球的大小和形状则是影响问题研究的重要因素，这时就不能将地球视为质点。

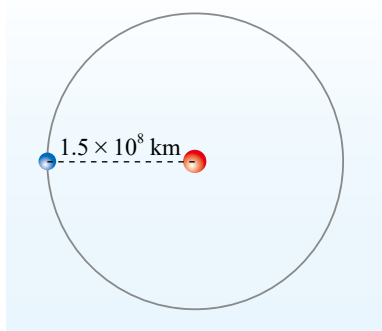


图 1-10 地球绕太阳公转示意图



方法点拨

在科学研究中，可根据研究的需要将复杂的实际问题进行合理抽象，突出主要因素，忽略次要因素，建构理想化模型。

建构和运用理想模型来解决问题，是一种重要的思维方法。

能在特定情境中将物体抽象为质点，知道建立质点模型的条件与方法，能体会建构物理模型的思维方式，能认识物理模型在探索自然规律中的作用。

——科学思维

素养提升



物理聊吧

沿某方向推动桌面上的教科书（图 1-11），若要测量书移动的距离，能否将它视为质点？为什么？

书围绕自身某点转动。若要讨论书边缘某点的运动情况，能否将书视为质点？为什么？

说一说还有哪些可将一个物体视为质点（或不能视为质点）的问题情境。



图 1-11 沿某方向推动书



2. 位移

物体的位置发生变化时，如何描述物体位置的改变呢？

如图 1-12 所示，某同学沿不同路径从 A 位置走到 B 位置，所走路程不同，但其位置的变化却是相同的。

有两位同学从 A 位置出发，走了相同的路程，其中一位同学走到 B 位置，另一位同学走到 C 位置，其位置的变化不相同。

可见，采用路程不足以描述物体的位置变化。为此，物理学中，用**位移**（displacement）

来描述物体的位置变化。位移是一个既有大小又有方向的物理量，通常用字母 s ^① 表示。位移可直观地用一条从初位置指向末位置的有向线段表示，该线段的长度表示位移的大小，箭头的方向表示位移的方向。

对于沿直线运动的物体，我们可借助一维坐标系确定物体发生的位移。例如，一辆汽车从位置 x_1 运动到位置 x_2 ，用汽车末位置坐标减去初位置坐标，得到汽车发生的位移（图 1-13），即

$$s = x_2 - x_1$$

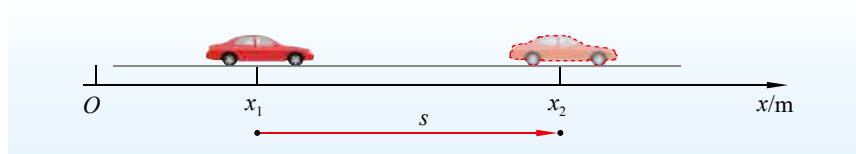


图 1-13 汽车的位移

在一维坐标系中，位移的正负表示位移的方向。例如，在图 1-14 中，从 t_1 时刻到 t_2 时刻，汽车 A 的位移 $s = x_2 - x_1 = 4 \text{ m} - 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$ ，方向沿 x 轴正方向；汽车 B 的位移 $s' = x_2' - x_1' = (-4 \text{ m}) - (-1 \text{ m}) = -3 \text{ m}$ ，方向沿 x 轴负方向。

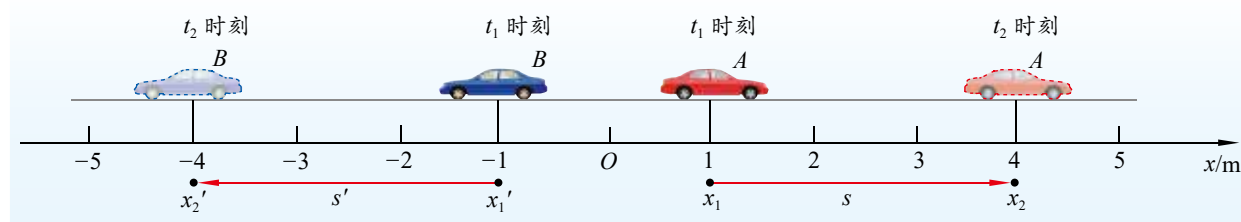


图 1-14 汽车位移的方向

① 位移的符号也可用 Δx 表示，考虑到中学采用符号的习惯，本套教科书多数情况下选用 s 作为位移的符号。

在物理学中，有一类物理量只用大小就能描述，如物体的质量等；另有一类物理量，不仅要用大小还要指明方向才能描述，如位移等。为了区别这两类物理量，人们把像质量这样只用大小就能描述的物理量称为**标量**（scalar），把像位移这样既有大小又有方向的物理量称为**矢量**（vector）。在很多情况下，矢量的方向很重要。例如，仅知道从起点到目的地的位移大小而不知道位移的方向，那还不能完全确定目的地的位置（图 1-15）。在后面，我们还会进一步学习与矢量相关的知识。



图 1-15 位移的方向很重要

在直线运动中，我们还可利用图像来直观地描述物体位置随时间变化的情况。例如，汽车做匀速直线运动（图 1-16），表 1-1 是汽车的位置随时间变化的数据，根据这些数据我们可做如下探讨。

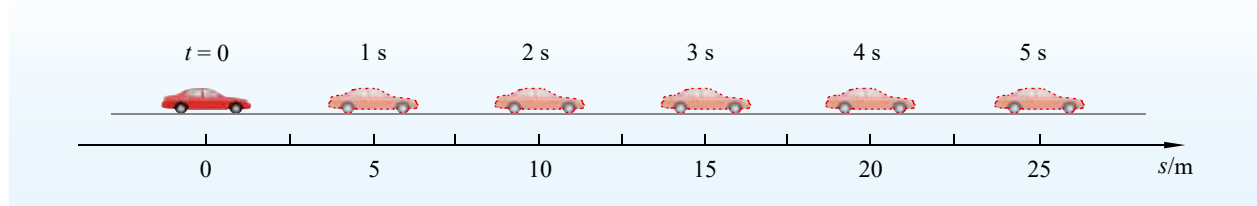


图 1-16 汽车做匀速直线运动

表 1-1 汽车做匀速直线运动的位置随时间变化的数据

t/s	0	1	2	3	4	5
s/m	0	5	10	15	20	25

首先，建立平面直角坐标系，横坐标表示时间 t ，若将初始位置作为坐标原点，纵坐标表示汽车相对于其起始位置的位移 s 。然后，根据数据在平面直角坐标系中描点，并用平滑曲线将数据点连接起来，所得图像（图 1-17）称为汽车运动的位移—时间图像（ $s-t$ 图像），它是一条直线。图中每一点可表示汽车某时刻所处的位置，也可从图中得到一段时间内的位移。例如，在 3.5 s 时，汽车运动到 17.5 m 的位置，或者说经 3.5 s 汽车相对于起始位置的位移为 17.5 m。

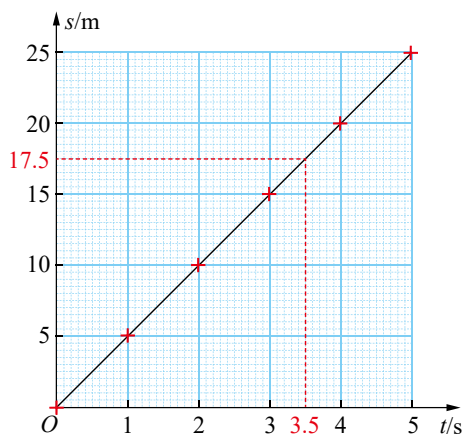


图 1-17 汽车做匀速直线运动的位移—时间图像



节 练 习

- 某地出租车公司标明收费标准为“2元/公里”，其中的“公里”指的是位移还是路程？
- 一名海轮领航员在早晨7:00定位时报告，该海轮已航行至前一天晚上停靠位置正东100 km处。该领航员报告的是海轮的位移还是其行驶的路程？
- 2016年10月19日，景海鹏和陈冬两名航天员乘坐“神舟十一号”飞船与“天宫二号”顺利完成对接，为中国航天史写下了辉煌的一页。下列几个过程中，可把“神舟十一号”飞船看成质点的是
 - 飞船发射升空后，跟踪飞船运动轨迹时
 - 分析飞船飞行速度时
 - 与“天宫二号”对接前，调整飞船姿势时
 - 控制飞船完成对接过程时
- 体育场标准跑道的周长是400 m。某运动员在跑道的直道部分进行100 m短跑比赛，他跑完全程通过的路程和位移大小各是多少？如果该运动员沿跑道跑了两圈，他通过的路程和位移大小又各是多少？
- 一小球沿斜面向上运动了5 m，接着沿斜面向下运动了8 m。若以沿斜面向上为正方向建立一维坐标系，请分别画出小球向上运动和运动全过程发生的位移，并求出位移的大小和方向。
- 如图所示，一辆汽车在桥上由北向南直线行驶。假如你和小明均用一维坐标系来描述汽车的运动：你以北桥头为原点，汽车运动方向为正方向；小明把坐标系的原点设在南桥头，选定的正方向与汽车运动方向相反。你们通过各自建立的坐标系对汽车位置的描述一致吗？对汽车运动的位移、路程和时间的描述呢？请予以解释。



第6题

请提问



第3节

速度

物体的运动有快有慢，如飞机起飞（图 1-18）、汽车行驶、运动员奔跑、蜗牛爬行（图 1-19）等。如何描述物体运动的快慢？本节将学习描述物体运动快慢的两个物理量：平均速度和瞬时速度。



图 1-18 飞机快速起飞



图 1-19 蜗牛缓慢爬行

1. 平均速度

通常，物体运动的快慢不断变化，为了大致描述一段时间内物体运动的快慢和方向，人们建立了平均速度的概念。物体运动的位移与所用时间之比，称为这段位移（这段时间）内的**平均速度**（average velocity）。平均速度通常用 $\bar{v}$ 来表示，即

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

平均速度是矢量，其方向与位移方向相同。若位移的单位是米，时间的单位是秒，则平均速度的单位是米 / 秒，符号为 m/s 或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。



例如，让小球沿斜槽滚下（图 1-20），依次通过 O 、 A 、 B 、 C 四点。在 OA 、 OB 、 OC 三段中，小球在哪一段运动得最快？

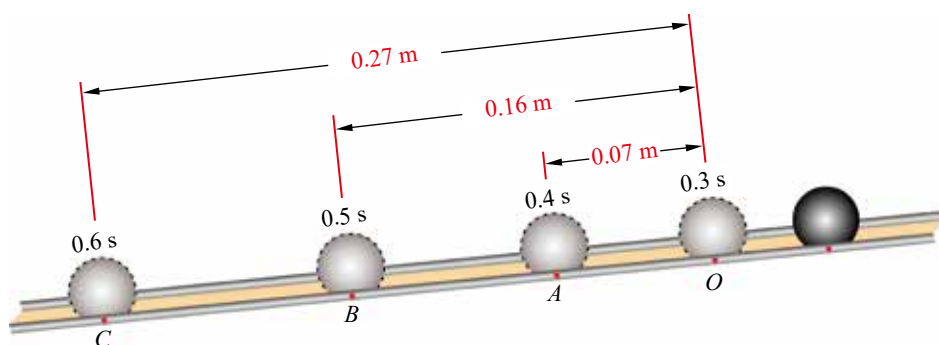


图 1-20 小球沿斜槽滚下时在不同时刻的位置

为了比较小球在各段运动的快慢，我们可计算出小球在各段的平均速度大小，见表 1-2。

表 1-2 小球沿斜槽滚下实验的部分数据

	OA	OB	OC
s/m	0.07	0.16	0.27
t/s	0.1	0.2	0.3
$\bar{v} / (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0.70	0.80	0.90

计算结果表明，小球在 OC 段运动得最快。

由以上结果可知，物体在变速直线运动过程中，不同位移（不同时间）内的平均速度一般不相等。因此，描述平均速度时，需要指明是哪一段位移（哪一段时间）内的平均速度。

2. 瞬时速度

在图 1-20 中，小球从 O 点到 C 点经过了若干位置，那么小球在哪个位置运动得最快呢？这涉及如何描述物体在某位置（时刻）运动的快慢问题。

要准确描述物体在某位置（时刻）运动的快慢，需要知道物体在某位置（时刻）的速度。物体在某位置（时刻）的速度，称为**瞬时速度**（instantaneous velocity）。

如何理解瞬时速度呢？我们继续以图 1-20 为例，讨论小球经过 O 点时运动的快慢。 OA 、 OB 、 OC 各段的平均速度都不能用来准确描述小球经过 O 点时运动的快慢，但相对而言， A 点离 O 点更近， OA 段的平均速度更接近小球经过 O 点时的瞬时速度。如果从 O 点起所取的位移更小，比如取 OA_1 、 OA_2 、 OA_3 等（图 1-21），相对而言， OA_3 段的平均速度会更加接近小球

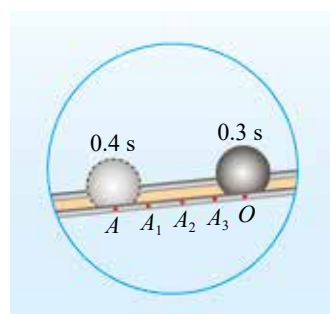


图 1-21 小球在 OA 段运动的不同位置

经过 O 点时的瞬时速度。当位移足够小（时间足够短）时，小球的速度变化很小，可近似认为小球在这段位移（时间）内的运动是匀速的，对应的平均速度可用来描述小球经过 O 点时运动的快慢，即可近似视为经过 O 点时的瞬时速度。

瞬时速度是矢量，其方向与物体的运动方向相同，它的大小称为**瞬时速率**，简称速率。如果瞬时速度始终保持不变，则物体做匀速直线运动。

通常，平均速度的大小不能叫平均速率。物理学中，平均速率指物体运动的路程与所经历时间之比。日常生活中说到“速度”，有时指平均速度或瞬时速度，有时指平均速率或瞬时速率，其具体含义需根据具体情境判断。

我们可通过测量很短时间内的平均速度大小来近似作为瞬时速率。图 1-22 展示了一种测量瞬时速率的装置。其中，光电门 A 端安装发光装置， B 端安装接收装置并与光电计时器连接。一旦光线被遮光板 C 遮挡，遮挡的时间便能被光电计时器测出。由于遮光板宽度较小，遮光的时间极短，根据遮光板宽度和测得的遮光时间，求出遮光板经过光电门这一极短时间内的平均速度大小，可近似认为这就是遮光板运动到光电门时的瞬时速率。

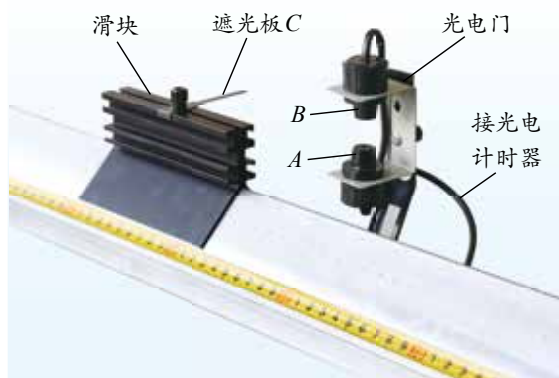


图 1-22 瞬时速率测量装置

在生活中，人们通过一些仪器可直接读出瞬时速率。比如，驾驶员通过安装在汽车中的速度计能够直接读出汽车在某位置（时刻）的瞬时速率，交警可通过测速仪等装置直接读出过往车辆的瞬时速率。



激光测速仪

激光测速仪能够测量运动物体的瞬时速率。其测量精度较高，广泛应用于交通管理等领域。

如图 1-23 所示，测速仪向汽车发射一束激光，经反射后被接收装置接收。只要测出从发射到接收所经历的时间，便可得到测速仪到汽车的距离。在测量时，测速仪在设定的极短时间内分别发射两束激光，对汽车进行两次这样的距离测量（ s_1 、 s_2 ），就可计算出这段时间内汽车位移的大小 s ，从而得到汽车的瞬时速率。

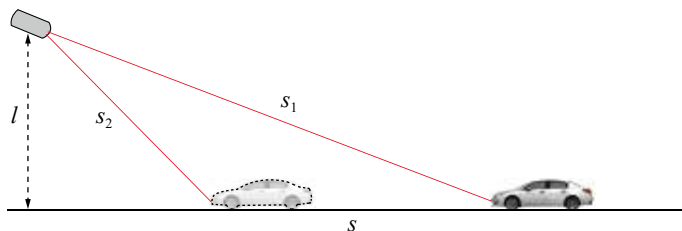


图 1-23 激光测速仪的测量原理示意图

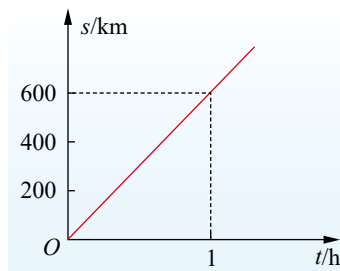


节 练 习

- 人们通常所说的“速度”，有时指瞬时速度，有时指平均速度。下列表述中，指瞬时速度的是
 - 子弹射出枪口时的速度是 800 m/s
 - 汽车从甲站行驶到乙站的速度是 20 m/s
 - 火车通过广告牌的速度是 72 km/h
 - 人散步的速度约为 1 m/s
- 在利用光电计时器测瞬时速率时，已知固定在滑块上的遮光板的宽度为 2.00 cm ，遮光板经过光电门的遮光时间为 16 ms 。下列说法正确的是
 - 滑块经过光电门位置时的瞬时速率为 0.125 m/s
 - 滑块经过光电门位置时的瞬时速率为 1.25 m/s
 - 为使平均速度大小更接近滑块的瞬时速率，应选更宽的遮光板
 - 为使平均速度大小更接近滑块的瞬时速率，应尽量减少遮光时间
- 高速摄影机拍摄的子弹头穿过扑克牌时的照片如图所示。设子弹头的平均速度大小是 900 m/s ，扑克牌的宽度为 5.7 cm ，子弹头的长度为 1.9 cm 。
 - 请估算子弹头穿过扑克牌的时间。
 - 上述问题中子弹头可视为质点吗？为什么？
- 一架客机在正常巡航飞行时，相对于某一位置的位移—时间图像如图所示。根据图像，飞机的巡航速度为多大？
- 一辆摩托车沿平直公路做直线运动，前半段位移的平均速度大小为 20 m/s ，后半段位移的平均速度大小为 30 m/s 。求摩托车全程的平均速度大小。
- 如图所示，在寓言“龟兔赛跑”中，乌龟先到达终点。你认为乌龟和兔子谁跑得更快？请作出解释。若兔子跑过某位置时的瞬时速度为 6 m/s ，能否说兔子每 1 s 都跑了 6 m ，或者说每跑 6 m 都用了 1 s 的时间？其含义是什么？



第3题



第4题



第6题

请提问



第4节

加速度

通常，物体运动的速度会发生变化，而且变化的快慢不一定相同。例如，某高速列车起动（图 1-24），速度由 0 增加到 300 km/h，约需 500 s；某轿车起动（图 1-25），速度由 0 增加到 100 km/h，约需 8 s。想想看，对于高速列车和轿车，在起动过程中，哪个的速度变化更大？哪个的速度变化更快？



图 1-24 高速列车加速起动



图 1-25 轿车加速起动

要比较速度变化的快慢程度，可比较在相同时间内速度变化的大小。在上述问题中，我们可通过计算速度变化与所用时间之比进行比较。

在高速列车加速起动过程中，速度变化与所用时间之比为 $\frac{300 \text{ km/h} - 0}{500 \text{ s}} = \frac{0.167 \text{ m/s}}{1 \text{ s}}$ ，说明高速列车平均每秒速度的变化为 0.167 m/s。同理，在轿车加速起动过程中，速度变化与所用时间之比为 $\frac{3.47 \text{ m/s}}{1 \text{ s}}$ ，说明轿车平均每秒速度的变化为 3.47 m/s。

显然，虽然高速列车总体上速度变化较大，但轿车平均每秒速度变化比高速列车的要大，因此轿车的速度变化更快。

在物理学中，物体运动速度的变化跟发生这一变化所用时间之比，称为物体运动的**加速度**（acceleration），用字母 a 表示。



如果用 v_0 表示物体运动的初速度, v_t 表示末速度, 则在时间 t 内物体运动速度的变化为 $v_t - v_0$, 加速度 a 可用以下定义式表示:

$$a = \frac{v_t - v_0}{t}$$

加速度的单位由速度和时间的单位确定。若速度的单位是米/秒, 时间的单位是秒, 则加速度的单位是米/秒², 符号为 m/s^2 或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, 读作“米每二次方秒”。加速度是矢量, 其方向与速度变化的方向相同。物体做加速直线运动时, 加速度方向与速度方向相同; 物体做减速直线运动时, 加速度方向与速度方向相反。与速度类似, 加速度也有平均加速度和瞬时加速度之分, 上述公式中得到的加速度实际是时间 t 内的平均加速度。如果瞬时加速度保持不变, 这种运动称为匀变速运动。

能结合瞬时速度、加速度概念的建构, 体会研究物理问题的极限方法和抽象思维的方法。

——科学思维

素养提升

建立了加速度的概念, 就可用加速度来描述物体运动速度变化的快慢。



物理聊吧

(1) “上海磁浮列车的速度可达 431 km/h [图 1-26 (a)], 它的加速度一定很大。”这一说法对吗? 为什么?

(2) 运载火箭在刚点火的短时间内速度很小 [图 1-26 (b)], 它的加速度一定很小吗?



(a) 磁浮列车内显示的行驶速度



(b) 点火发射的火箭

图 1-26 速度与加速度的大小

例题

猎豹以 2.0 km/h 的初速度做加速直线运动 (图 1-27), 经 2 s 的时间, 速度可达到 72 km/h。试求猎豹的加速度。

分析

猎豹的加速运动情况如图 1-28 所示。已知猎豹的初速度、末速度和时间, 可运用加速度的定义式求解加速度。由于初速度、末速度和加速度都是矢量, 运用加速度定义式时需选定正方向。



图 1-28 猎豹的加速运动示意图

解

选定猎豹的初速度方向为正方向。由题意可知, $v_0 = 2.0 \text{ km/h} = 0.56 \text{ m/s}$, $v_t = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$, $t = 2 \text{ s}$ 。

由加速度的定义式, 得猎豹的加速度

$$\begin{aligned} a &= \frac{v_t - v_0}{t} \\ &= \frac{20 \text{ m/s} - 0.56 \text{ m/s}}{2 \text{ s}} \\ &= 9.72 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

猎豹的加速度大小为 9.72 m/s^2 , 方向与猎豹的速度方向相同。

讨论

求出的加速度为正值, 表示加速度方向与选定的正方向相同, 即与猎豹的速度方向相同。由此题结果可知, 猎豹的运动可达到较大的加速度。能以较大的加速度突然加速扑向猎物, 是猎豹成功捕猎的关键。



图 1-27 猎豹加速运动

策略提炼

加速度是矢量。求加速度, 包含求加速度的大小和方向。

在运用加速度定义式前, 需要选定正方向 (一般选定初速度方向为正方向), 以此确定初速度与末速度的正负: 若与选定的正方向相同, 代入正值计算; 反之, 则代入负值计算。

加速度值的正负表示方向。若加速度为正值, 表示加速度方向与选定的正方向相同; 若加速度为负值, 表示加速度方向与选定的正方向相反。

能了解时间、位移、速度和加速度的内涵, 初步了解标量和矢量; 能将时间、位移、速度和加速度等概念与生活中的相关现象联系起来。能从物理学的视角观察身边的运动现象。

——物理观念



迁移

若物体做减速直线运动，又该如何求加速度？例如，一动车正以 234 km/h 的速度行驶，司机接收到减速行驶信号后采取制动措施，在 40 s 内使动车速度减小到 162 km/h 。请计算动车运动的加速度，并谈谈这样计算的理由。

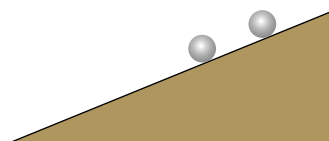


节练习

- 某同学在学习加速度时有以下看法，请判断其是否正确并说明理由。
 - 加速度的方向就是速度的方向。
 - 加速度为正值，表示速度一定越来越大。
 - 加速度不断减小，速度可不断变大。
 - 加速度不断变大，速度可不断变小。
- 下列关于汽车运动的描述，可能发生的是
 - 汽车在某一时刻速度很大，而加速度为 0
 - 汽车的加速度方向与末速度方向相反
 - 汽车速度变化量很大，而加速度较小
 - 汽车加速度很大，而速度变化很慢
- 某同学以 3.5 m/s 的速度向车站跑了一段时间后，发现时间充足。于是，他在 10 s 内把速度减小到了 1 m/s 。求他在减速过程中的加速度。
- 如图所示，战斗机在出现某些紧急状况时，飞机弹射座椅能将飞行员连同座椅一起弹出舱外。在某次地面上进行的弹射实验中，弹射座椅在 0.2 s 内向上弹离飞机，弹离飞机时的速度为 16 m/s 。求飞行员模型在弹离过程中的加速度。
- 篮球以 10 m/s 的速度水平撞击篮板后，以 8 m/s 的速度反向弹回。若篮球与篮板接触的时间为 0.1 s ，求篮球在这段时间内的加速度。
- 请试一试，在斜面上不同位置同时释放两个相同的钢球，如图所示。它们滚下时会相互靠近还是远离？它们在同一时刻的速度是否相同？加速度又是否相同？请作出解释。



第4题



第6题



请提问



章末练习

科学认知

- 下列情况中，研究对象可视为质点的是
 - 研究洲际导弹飞行的轨迹
 - 研究地球自转的规律
 - 研究地球绕太阳公转的规律
 - 研究人造地球卫星的姿态调整
- 一辆汽车做方向不变的直线运动，加速度 a 与速度 v 同向。在加速度逐渐减小到 0 的过程中，汽车的速度 v 、位移 s 的变化情况是
 - v 逐渐减小，当 $a=0$ 时 v 最小
 - v 逐渐增大，当 $a=0$ 时 v 最大
 - s 逐渐增大，当 $a=0$ 时 s 最大
 - s 逐渐减小，当 $a=0$ 时 s 最小
- 某同学向正东走了 300 m，接着向正南走了 400 m。求他发生的位移。（取 $\sin 53^\circ = 0.8$ ）
- 如图所示，一摩天轮的半径为 R ，轮缘上的座舱随轮转动。若转动一周，求：
 - 座舱的位移和路程；
 - 转动过程中，座舱的最大位移和最大路程。
- 某同学和父母周末自驾旅游，他们计划以 50 km/h 的平均速率行驶到达目的地。若在实际行驶中，行驶前半路程的平均速率为 40 km/h，那么在后一半路程中，汽车需要以多大的平均速率行驶才能按时到达目的地？这样做合理吗？请作出解释。
- 某同学乘高速列车外出。11:00 时他观察到车厢屏幕显示的速度大小为 110 km/h，过了一会儿，他再次观察屏幕，显示的信息如图所示。请据此估算列车在这段时间内的加速度大小。
- 如图所示，有甲、乙、丙三架观光电梯，甲中乘客看到高楼在向下运动，乙中乘客看到甲在向下运动，丙中乘客看到甲、乙都在向上运动。甲、乙、丙相对于地面的运动情况可能是
 - 甲向上运动，乙向下运动，丙不动
 - 甲向上运动，乙向上运动，丙不动
 - 甲向上运动，乙向上运动，丙向下运动
 - 甲、乙、丙都向上运动，且丙比甲、乙都慢



第4题



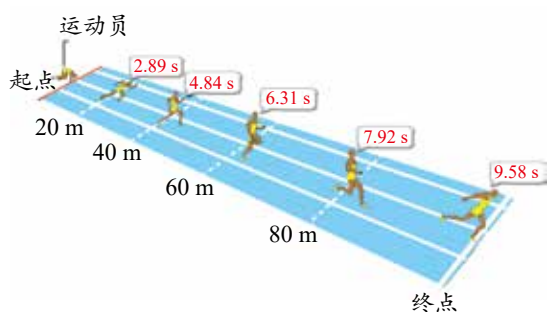
第6题



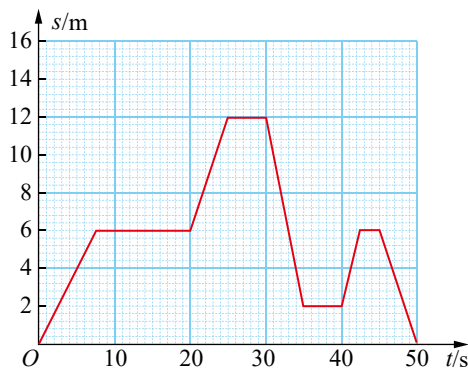
第7题



8. 某著名短跑运动员百米赛跑的时间与位移信息如图所示。请根据图中数据,分析运动员运动快慢是否变化,如何变化。若要更仔细地了解运动员的运动快慢情况,你认为该获取哪些信息,如何获取这些信息?
9. 某同学在教室过道上来回运动的位移—时间图像如图所示,原点在过道的一端。
- (1) 请描述该同学的运动情况,注意与图像对应。
 - (2) 他在哪个时段位移为 6 m? 从开始至刚运动到距原点 12 m 处用时多少?
 - (3) 他在 30 ~ 50 s 之间的平均速度为多大?



第 8 题



第 9 题

科学辨析

10. 超速行驶极易引发交通事故。在高速公路的有些路段会进行区间测速,有些位置则进行固定位置测速。
- (1) 判断这两种测速方式是测量瞬时速率还是平均速率,并比较这两种测速方式对整治超速行驶违法行为的优劣。
 - (2) 测量汽车的瞬时速率有哪些方法? 测量原理有何共同之处?

科技交流

11. 有些动物的耐力很好,能够长时间高速奔跑;有些动物的爆发力很强,在加速奔跑时加速度很大。收集资料,针对上述两种特性各找出两个例子,写一篇科技论文,分析这些特性对动物有什么帮助。



我的学习总结



第2章

匀变速直线

运动

导 入 探索运动规律

第1节 速度变化规律

第2节 位移变化规律

第3节 实验中的误差和有效数字

第4节 科学测量：做直线运动

物体的瞬时速度

第5节 自由落体运动

►►本章学业要求

- 能理解位移、速度和加速度的内涵，能用公式、图像等方法描述匀变速直线运动；能用匀变速直线运动的规律解释生活中的一些现象。具有与直线运动相关的初步的运动观念。——物理观念
- 能在特定情境中运用匀变速直线运动模型解决问题；能对常见的匀变速直线运动问题进行分析，能用科学研究中的极限方法分析物理问题，通过推理，获得结论；具有寻找证据的意识；有从不同角度检验结论的意识。——科学思维
- 能完成“测量做直线运动物体的瞬时速度”等物理实验。能发现并提出物理问题；能根据已有实验方案，使用打点计时器等器材收集数据，会妥善保存原始信息；能分析纸带记录的信息，形成初步的结论，能分析实验中的误差；能参考教科书内容撰写简单的实验报告。——科学探究
- 能结合近代实验科学产生的背景，初步认识实验对物理学发展的推动作用；知道学习物理需要实事求是，有与他人合作的意愿；知道实验器材的改进能促进人们认知的发展。——科学态度与责任



导 人

探索运动规律

物体的运动通常比较复杂。在自然界中，苹果下落、鸽子飞翔、猎豹奔跑、蜗牛爬行、蚂蚁搬家……在生活中，人们跳远助跑、水中嬉戏、高山滑雪、驾车行驶……这些运动是否存在规律？



高山滑雪



苹果下落

从亚里士多德对运动问题的哲学思考，到伽利略对自由落体问题的实验研究，人类经历了长期的探索，逐步从定性观察和哲学思辨，发展到运用实验观测和数学方法开展定量研究，形成了以实验为基础的科学。

那么，物体运动有怎样的规律？如何探索物体运动的规律？本章我们将从一种特殊的变速运动入手，探索这种运动所遵循的规律。

第1节

速度变化规律

在物理学中，将物体速度发生变化的运动称为变速运动。做变速运动的物体，其速度变化是否存在规律？一般来说，做变速运动的物体速度变化情况非常复杂。我们先从最简单的变速运动开始，讨论匀变速直线运动的速度变化规律。

1. 匀变速直线运动的特点

什么是匀变速直线运动？

我们以一辆从静止开始沿直线运动的汽车为例（图 2-1）。若在某段路程中，每隔 1 s 测一个速度值，所得数据见表 2-1。

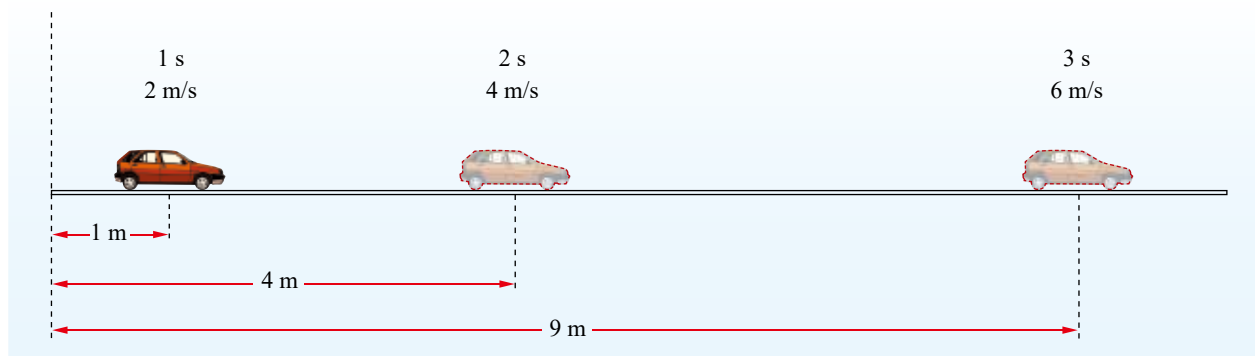


图 2-1 汽车沿直线运动示意图

表2-1

汽车沿直线运动时速度随时间变化的数据

t/s	0	1	2	3	4	5	6
$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	0	2	4	6	8	10	12

将表 2-1 中两个时刻对应的速度值代入加速度定义式，可得该车加速行驶时的加速度值。例如，分别将 2 s 和 3 s 这两个时刻所对应的速度值代入加速度定义式，得

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{6\text{ m/s} - 4\text{ m/s}}{1\text{ s}} = 2\text{ m/s}^2$$



若继续将汽车任意两个时刻所对应的速度值代入加速度定义式，皆可得到相同的加速度值，则可认为该车在行驶时，加速度保持不变。

物理学中，将物体加速度保持不变的直线运动称为**匀变速直线运动**（rectilinear motion with constant acceleration）。

匀变速直线运动是一种简单且特殊的变速直线运动，是一种物理模型。物体在做匀变速直线运动过程中，加速度的大小和方向都不改变。当加速度与速度同向时，物体做匀加速直线运动；当加速度与速度反向时，物体做匀减速直线运动。为了便于研究，人们通常将某些物体的运动（或其中的一段运动）近似视为匀变速直线运动。

2. 匀变速直线运动的速度—时间关系

当物体做直线运动时，根据加速度的定义式可得

$$v_t = v_0 + at$$

这个公式描述了做匀变速直线运动的物体速度随时间变化的规律，通常称为匀变速直线运动的速度公式。公式中， v_t 为物体在时刻 t 的速度， v_0 为初速度。通常设 v_0 的方向为正方向，当 $a > 0$ 时， a 与 v_0 的方向相同，物体做匀加速直线运动；当 $a < 0$ 时， a 与 v_0 的方向相反，物体做匀减速直线运动。若 $v_0 = 0$ ，速度公式变为 $v_t = at$ ， v_t 与 a 总是同向，物体做匀加速直线运动。

例题

一辆汽车以 54 km/h 的速度在平直公路上行驶，司机看见前方路口红灯亮时立即刹车。若汽车刹车时的加速度大小为 3 m/s^2 ，则刹车后 4 s 末的速度是多少？

分析

刹车后，汽车的运动可视为匀减速直线运动，加速度方向与速度方向相反（图 2-2）。可将已知量代入速度公式求解。

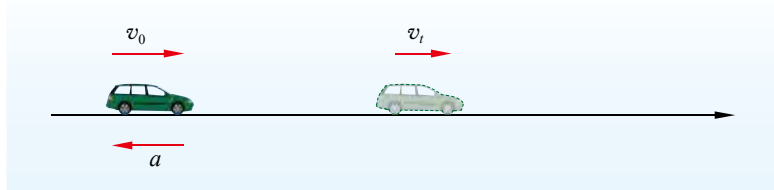


图 2-2 汽车刹车后运动示意图

解

选定初速度方向为正方向，由题意可知，

$$v_0 = 54 \text{ km/h} = 15 \text{ m/s}, t = 4 \text{ s}, a = -3 \text{ m/s}^2。$$

根据匀变速直线运动的速度公式得

$$\begin{aligned} v_t &= v_0 + at \\ &= 15 \text{ m/s} + (-3 \text{ m/s}^2) \times 4 \text{ s} \\ &= 3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

所以，汽车刹车后 4 s 末的速度是 3 m/s。

讨论

$v_t > 0$ 说明汽车未停下，计算结果合理。

策略提炼

求解运动问题，通常是先明确运动情境，并画出运动示意图；再根据已知量和未知量，选择相应运动规律列方程求解；最后需要对求解结果的合理性进行判断。

运用公式前，需要选定正方向，并由此确定已知量中矢量的正负，再代入公式计算。



迁移

求解物理问题时，不能盲目将数据代入公式，应关注问题的物理情境。上题中，若求汽车刹车后 6 s 末的速度，结果又如何？请算一算，并说明理由。

我们不仅可用公式描述做匀变速直线运动的物体速度随时间变化的规律，还可用图像直观地描述这一变化规律。

仍以图 2-1 所示的汽车运动为例，选汽车行驶的时间 t 为横坐标，汽车的速度 v 为纵坐标，在坐标纸上描出相应的点，将各点用平滑曲线连接，便得到如图 2-3 所示的图像。该图像描述了汽车匀加速直线行驶时速度与时间的关系，通常称为速度—时间图像（ $v-t$ 图像）。匀变速直线运动的 $v-t$ 图像是一条倾斜的直线。

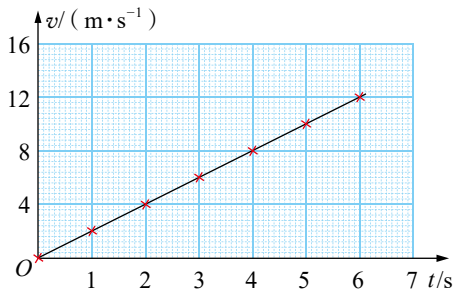


图 2-3 汽车匀加速直线运动的 $v-t$ 图像

根据 $v-t$ 图像，我们可直观了解物体运动速度随时间变化的规律，可较准确地判断某时刻物体的



方法点拨

物理公式能简洁地描述自然规律，物理图像则能直观地描述自然规律。利用公式或图像，由题目中的已知量可求出未知量。例如，利用匀变速直线运动的速度公式或 $v-t$ 图像，可求出物体的速度、运动时间和加速度等。

用公式或图像描述物理规律通常有一定的适用范围，只能在合理的条件下外推。例如，讨论汽车以加速度 $a = 2 \text{ m/s}^2$ 运动时，若将时间 t 推延至 2 h，即 7 200 s，这在数学上没有问题，但是在物理上，得出的结果则是不合理的，即汽车速度达到了 14 400 m/s。这显然是不符合实际情况的。



运动速度或物体达到某速度所需要的时间，还可求出物体的加速度。

由图 2-3 可知汽车匀加速直线行驶时不同时刻对应的速度，还可求出汽车的加速度： $a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{12 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 。

如果选时间 t 为横坐标、加速度 a 为纵坐标，可得到加速度随时间变化的图像，通常称为 $a-t$ 图像。做匀加速直线运动的汽车，在任意时刻加速度都不变，其 $a-t$ 图像为平行于时间轴的直线（图 2-4）。

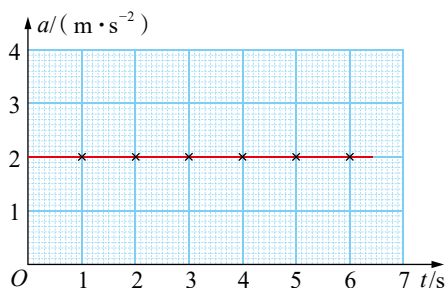


图 2-4 汽车匀加速直线运动的 $a-t$ 图像



物理聊吧

(1) 图 2-5 给出了 A 、 B 、 C 三辆车的 $v-t$ 图像，在不计算的情况下，你能推断出这三辆车加速度的大小排序吗？分别估算这三辆车的加速度，看看结果与你的判断是否一致，并与同学交换看法。

(2) 图 2-6 (a) 和 (b) 分别表示的是什么运动？初速度是否为 0？是加速还是减速？请说说你判断的理由。

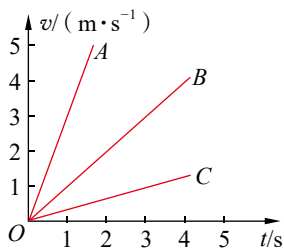
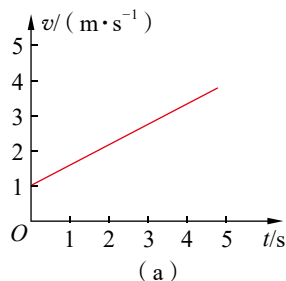
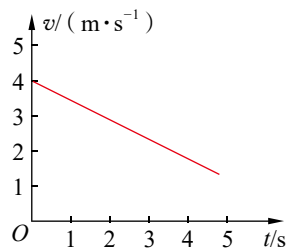


图 2-5 A 、 B 、 C 三辆车的 $v-t$ 图像



(a)



(b)

图 2-6 两种运动图像



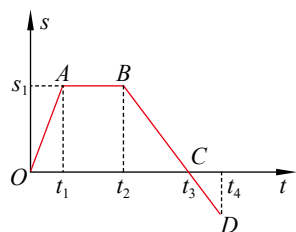
节 练习

1. 某轿车在紧急刹车时加速度大小为 6 m/s^2 。如果必须在 5 s 内停下来，该轿车的行驶速度最大不能超过多少？
2. 在交通信号灯绿灯亮起时，一辆汽车由静止出发，以 2.5 m/s^2 的加速度做匀加速运动。要使它的速度达到 12 m/s ，需要多长时间？
3. 一架以 145 m/s 的速度飞行的超音速飞机，以 23.1 m/s^2 的加速度沿直线匀加速飞行 20 s 后，速度达到多大？此时飞机速度是声音速度的多少倍？（取声音在空气中的传播速度为 331 m/s ）

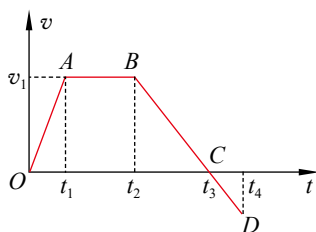
4. 一辆摩托车沿直线运动时, 速度随时间变化的数据见下表。摩托车在 $0 \sim 15 \text{ s}$ 和 $15 \sim 30 \text{ s}$ 两段时间内近似视为做匀变速直线运动。

t/s	0	5	10	15	20	25	30
$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	0	10	20	30	20	10	0

- (1) 求摩托车在第一个 10 s 内的加速度。
 - (2) 请根据表中数据画出摩托车运动的 $v-t$ 图像。
 - (3) 根据画出的 $v-t$ 图像求出第一个 10 s 内的加速度, 并与 (1) 中的计算结果进行比较。
 - (4) 求摩托车在 $15 \sim 30 \text{ s}$ 内的加速度。
5. 请对比观察如图所示的两个不同物体运动的 $s-t$ 图像和 $v-t$ 图像, 分析并指出图 (a) (b) 中的 OA 、 AB 、 BC 、 CD 各段图线分别表示物体做怎样的运动。
6. 某物体在水平方向做直线运动的 $v-t$ 图像如图所示。请根据图像画出物体运动过程的示意图, 并求出各运动阶段的加速度。

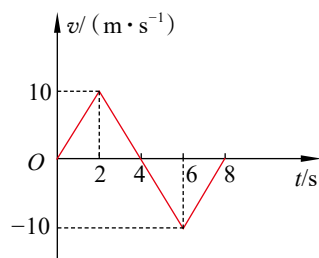


(a)



(b)

第5题



第6题

请提问

第2节

位移变化规律

对于匀变速直线运动，我们已经知道物体运动的速度随时间变化的规律，那么物体运动的位移随时间变化有着怎样的规律呢？本节我们将学习匀变速直线运动的位移—时间关系和位移—速度关系。

1. 匀变速直线运动的位移—时间关系

在匀速直线运动中，物体运动的速度不变，因此位移 $s = vt$ ，这在数值上恰好等于 $v-t$ 图像中着色部分的面积 [图 2-7 (a)]。

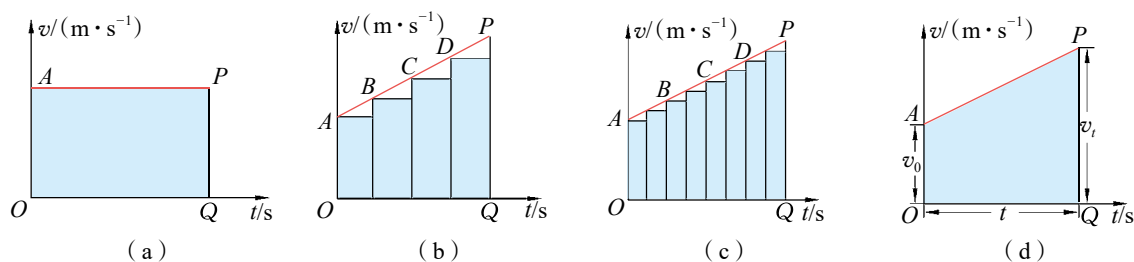


图 2-7 通过 $v-t$ 图像推导位移公式的示意图

在匀变速直线运动中，由于运动速度不断变化，无法采用前面的方法直接计算出位移。不过，我们可设想将匀变速直线运动 $v-t$ 图像中的时间分为许多小的时段，在每个时段中，认为物体近似以某一速度做匀速直线运动，每个时段所对应的位移在数值上等于该时段对应的矩形面积 [图 2-7 (b)]。时段划分越细，设想的运动就越接近真实运动，矩形面积之和就越接近梯形 $OAPQ$ 的面积 [图 2-7 (c)]。当所取的时段足够小时，设想的运动便可等同于真实运动，矩形面积之和便等于梯形面积 [图 2-7 (d)]。该梯形面积在数值上便等于匀变速直线运动的位移大小，即

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



方法点拨

推导中用到了微积分的思想，即无限分割微元求和、逐渐逼近真实状况的思想。在物理学研究中常常用到这种思想。

能在特定情境中运用匀变速直线运动模型解决问题；能用科学研究中的极限方法分析物理问题，通过推理，获得结论。

——科学思维

将 $v_t = v_0 + at$ 代入上式，有

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

这个数学关系式通常称为匀变速直线运动的位移公式，它描述了匀变速直线运动的位移随时间变化的规律，即位移—时间 ($s-t$) 关系。根据这个公式，知道了初速度和加速度，就能确定在不同时间内物体运动的位移。

同样，我们还可用图像直观描述匀变速直线运动的位移与时间的关系。

仍以图 2-1 所示的汽车运动为例。选汽车行驶的时间 t 为横坐标，汽车相对于其起始位置的位移 s 为纵坐标，分别在坐标纸上描出相应的点，再将各点用平滑曲线连接起来，便可得到位移随时间变化的 $s-t$ 图像（图 2-8）。

从 $s-t$ 图像中我们可直观看出物体运动过程中位移随时间的变化情况，并可求出不同时间内物体运动的位移。



图 2-8 汽车匀加速直线运动的 $s-t$ 图像

2. 匀变速直线运动的位移—速度关系

对于一个以加速度 a 做匀变速直线运动的物体，有时仅知道物体运动的初速度 v_0 和末速度 v_t ，怎么确定物体的位移呢？

我们可把公式 $v_t = v_0 + at$ 和 $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$ 联立，消去时间 t ，得到一个新的公式

$$v_t^2 - v_0^2 = 2as$$

这便是匀变速直线运动的位移—速度 ($s-v$) 关系式。根据这个公式，在没有时间信息时，我们也可用位移与速度的关系分析物体运动的相关情况。

例题

汽车从开始制动到停止所行驶的距离，是衡量汽车制动性能的参数之一。某型号的汽车以 100 km/h 的速度在柏油路面上行驶，急刹车后做匀减速直线运动。若匀减速时的加速度大小为 5 m/s^2 ，开始制动后 2 s 内汽车行驶的距离是多少？从开始制动到完全停止，汽车行驶的距离是多少？

分析

汽车刹车后做匀减速直线运动，运动过程如图 2-9 所示。在第一问中，已知初速度、加速度和时间的信息求位移，可用位移—时间关系式；在第二问中，通过初速度、加速度和末速度的信息求位移，可用位移—速度关系式。

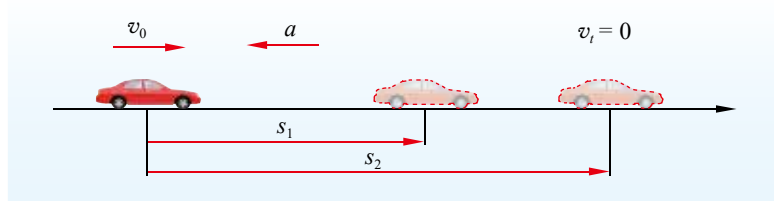


图 2-9 汽车匀减速直线运动过程示意图

解

选定初速度方向为正方向, 由题意知 $v_0 = 100 \text{ km/h} = 27.8 \text{ m/s}$, $a = -5 \text{ m/s}^2$, $v_t = 0$, $t = 2 \text{ s}$ 。

根据速度公式 $v_t = v_0 + at$, 可知汽车刹车时间

$$t_0 = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 27.8 \text{ m/s}}{-5 \text{ m/s}^2} = 5.56 \text{ s}$$

因为 $t < t_0$, 所以汽车在刹车后 2 s 内一直运动。根据位移公式, 可得开始制动后 2 s 内汽车的位移

$$\begin{aligned} s_1 &= v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ &= 27.8 \text{ m/s} \times 2 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-5 \text{ m/s}^2) \times (2 \text{ s})^2 \\ &= 45.6 \text{ m} \end{aligned}$$

根据公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$, 可得汽车从开始制动到完全停止的位移

$$\begin{aligned} s_2 &= \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} \\ &= \frac{0 - (27.8 \text{ m/s})^2}{2 \times (-5 \text{ m/s}^2)} \\ &= 77.3 \text{ m} \end{aligned}$$

所以, 开始制动后 2 s 内汽车行驶的距离为 45.6 m; 从开始制动到完全停止, 汽车行驶的距离为 77.3 m。

讨论

一般以速度 100 km/h 行驶的汽车, 从开始制动到完全停止的距离为几十米。本题的计算结果在合理范围内。

由于汽车从刹车到停止仍需行驶一段距离, 同向行驶的汽车之间需保持一定的安全距离。你认为以 100 km/h 行驶的汽车需与前车保持多大的安全距离? 把你的看法与查阅的相关数据进行比较。此外, 在其他条件不变的情况下, 汽车从开始制动到完全停止所行驶的距离与刹车时速度的平方成正比。你能证明吗? 当汽车行驶速度增大时, 该距离将显著增大。因此, 汽车超速行驶极易引发交通事故。

**策略提炼**

关于匀变速直线运动的问题, 通常涉及 v_0 、 v_t 、 a 、 t 和 s 这五个物理量, 以及 $v-t$ 、 $s-t$ 和 $s-v$ 关系式。在选用关系式时, 首先看问题情境中有哪些已知量与未知量, 再看这些量出现在哪个关系式中, 最后确定所用的关系式。这是解决该类问题比较便捷的方法。

运用公式时, 要注意速度、加速度与位移的方向, 由此确定代入数据的正负号。



迁移

我国道路交通安全法规定，机动车因故障在高速公路临时停车时，需在故障车来车方向 150 m 以外设置警告标志。某司机驾驶汽车以 120 km/h 的速度在高速公路上匀速行驶，发现前方警告标志时刹车使汽车减速至停止。该司机从发现警告标志到汽车开始制动的反应时间为 0.6 s，制动时的加速度大小为 5 m/s^2 。假设制动后，汽车做匀减速直线运动，那么从司机发现警告标志到汽车停下，行驶的距离是多少？请解释上述交通法规的必要性。

能理解位移、速度和加速度的内涵，能用公式、图像等方法描述匀变速直线运动；能用匀变速直线运动的规律解释生活中的一些现象。具有与直线运动相关的初步的运动观念。

——物理观念

素养提升



节练习

- 一辆电动车以 4 m/s 的速度沿直线匀速行驶，然后以 1 m/s^2 的加速度匀加速行驶。求电动车匀加速行驶 10 m 时的速度。
- 若某汽车以 18 m/s 的速度行驶，刹车后做匀减速直线运动，加速度大小为 4 m/s^2 ，求刹车后 5 s 内汽车前进的距离。
- 如图所示，在某一段平直的铁路上，一列以 144 km/h 的速度行驶的动车开始匀减速行驶，经过 2 min，动车恰好停在车站；在车站停留 4 min，动车匀加速驶离车站，离开车站 2 km 时恢复到原来的速度 144 km/h 。求：
 - 动车减速时的加速度大小；
 - 动车从开始减速到恢复到原速度这段时间内的平均速度大小。
- 某型号的汽车在以 72 km/h 的速率行驶时，可以在 54 m 的距离内停下来；在以 36 km/h 的速率行驶时，可以在 17 m 的距离内停下来。假设两次刹车中，驾驶员的反应时间和刹车的加速度都相同，求驾驶员的反应时间和刹车时加速度的大小。
- 试证明：做匀变速直线运动的物体在一段时间内的平均速度等于这段时间中间时刻的瞬时速度。
- *6. 做匀变速直线运动的物体，设在各个连续相等的时间 t 内的位移分别是 $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$ 。如果物体的加速度是 a ，试证明：
 - $s_2 - s_1 = s_3 - s_2 = \dots = s_n - s_{n-1} = at^2$ ；
 - $s_4 - s_1 = s_5 - s_2 = s_6 - s_3 = 3at^2$ 。



第3题

请提问

第3节

实验中的误差和有效数字

要确定一个物体是否做匀变速直线运动，仅凭肉眼观察很难作出判断，需要进行科学实验，分析测量数据，才能得出正确的结论。为了获得有效、可信的实验数据，本节我们来学习科学测量涉及的误差与有效数字等内容。

1. 科学测量中的误差

(1) 绝对误差与相对误差

测量总存在误差，误差的大小可用绝对误差和相对误差来表示。

在科学研究中，把测量值与真实值之差称为绝对误差。它表示测量值与真实值的偏离程度。设某物理量的测量值为 x ，它的真实值为 a ，绝对误差用 Δx 表示，则

$$\Delta x = x - a$$

绝对误差与真实值的比值，称为相对误差。相对误差通常表示成百分比的形式，因此也叫百分误差。相对误差通常用 δ 表示，则

$$\delta = \frac{\Delta x}{a} \times 100\%$$

科学测量中常用多次测量值的平均值代替真实值。

事实上，绝对误差相同时，相对误差不一定相同。例如，图 2-10 中，用刻度尺测量两条纸带上两点间的距离，多次测量值的平均值分别为 3.46 cm 和 1.45 cm，假设两图中测量的绝对误差皆是 0.01 cm，则相对误差分别为 0.29% 和 0.69%（请你核算一下）。可见，在绝对误差相同的情况下，被测量的数值越大，测量结果的相对误差就越小，测量结果的可靠性越大。

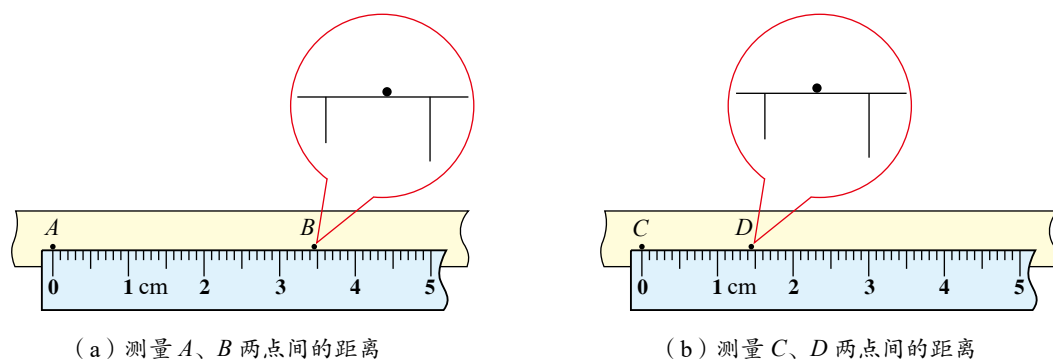


图 2-10 用刻度尺测量纸带上两点之间的距离

(2) 系统误差与偶然误差

根据测量误差的性质和来源，一般将误差分为系统误差和偶然误差。

系统误差指由于测量原理不完善或仪器本身缺陷等造成的误差。例如，表盘刻度不准确等产生的误差，就是系统误差。系统误差的特点是测量结果总是偏大或者总是偏小。测量时，我们需根据具体的测量情况，找出产生系统误差的主要原因，采取适当措施降低它的影响。

偶然误差指对同一物理量进行多次测量时，由于各种偶然因素而产生的误差。例如，读数时因人眼位置的变化等产生的误差，就是偶然误差。偶然误差的特点是测量值时而偏大，时而偏小；多次重复测量同一物理量时，偏大或者偏小的概率大致相等。因此，我们可采用多次测量取平均值的方法来减小偶然误差。

2. 科学测量中的有效数字

为了科学反映测量结果，往往需要将其用有效数字表示出来。人们把测量结果中能反映被测量大小的带有一位估读数字的全部数字称为有效数字，其中通过直接读取获得的准确数字称为可靠数字，通过估读获得的数字称为存疑数字，也称为估读数字。

例如，在图 2-10 (a) 中，用毫米刻度尺测量 A 、 B 两点间距离，读数为 3.46 cm。数据的前两位是可靠数字，最后一位是估读数字。尽管估读的数字不可靠，但有参考价值，需要保留。有效数字的位数在一定程度上可反映测量工具的精度。

有效数字是指从一个数的左边第一个非零数字起，到末位数字止所有的数字。测量值中的“0”，有些是有效数字，有些则不是。例如，图 2-11 中，工件长度的测量值为 10.40 cm，其中“10.4”是可靠的，最后一位“0”是估读的（认为刚好对齐刻度线），但它是有效数字，因此测量结果为 4 位有效数字。上述测量值若写为 10.4 cm，那么其中的“10”是可靠的，“4”则是估读的，这与使用的测量工具的精度不符。因此，测量值最后



的“0”不可随意舍去。10.40 cm 还可表示为 0.104 0 m。这里仅是单位换算，测量工具的精度并未改变，因此测量值还是 4 位有效数字，数字“1”前面的“0”不是有效数字。

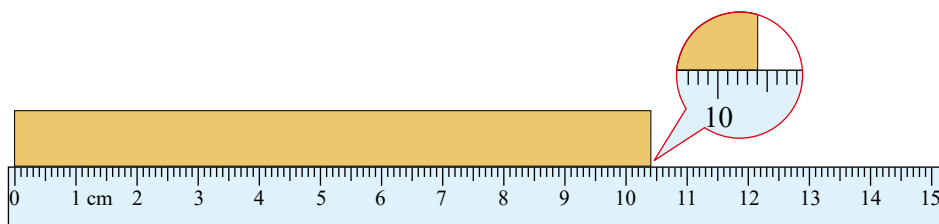


图 2-11 用刻度尺测量工件长度



节 练 习

1. 请测量物理教科书的长度，重复 5 次，取平均值。计算你测量的最大绝对误差是多少。
2. 下列测量值有 3 位有效数字的是
 A. 0.003 m
 B. 6.01 kg
 C. 2.30 s
 D. 4.00×10^8 m
3. 下列情况会导致出现系统误差的是
 A. 刻度尺刻度不均匀
 B. 测质量时，天平没有调节水平
 C. 用光电门测量瞬时速度时，遮光片较宽
 D. 读数时，对最小分度的后一位进行估读
4. 某同学用刻度尺测量教科书的长和宽，多次测量所得平均值分别为 29.55 cm 和 21.20 cm。若绝对误差都为 0.1 mm，求测量的相对误差并指出哪一个相对误差更小。
5. 春天到了，某校园的迎春花开了。小梅想了解迎春花的大体尺寸，她捡了一朵掉落的迎春花进行测量，某次测量结果如图所示，由此得出两花瓣顶端相隔的距离是多少？测量结果有几位有效数字？估读数字是多少？导致测量误差的原因可能有哪些？



第 5 题

请提问



第4节

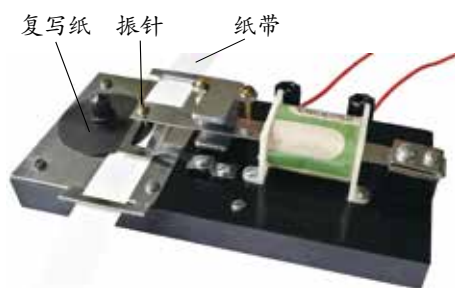
科学测量： 做直线运动物体的瞬时速度

学习了误差及有效数字等内容，下面我们通过实验来测量做直线运动物体的瞬时速度，并由此判断物体是否做匀变速直线运动。

1. 运动时间和位移的记录

在实验中，我们可使用秒表和刻度尺直接测量物体运动的时间和位移，但当物体运动较快时，采用以上方法得到的测量值误差较大。在中学物理实验中，常用打点计时器（图 2-12）来测量物体运动的时间和位移等信息。

电磁打点计时器通常使用电压为 $4 \sim 6 \text{ V}$ 、频率为 50 Hz 的交流电源。接通电源后，振针以 0.02 s 的周期振动，当纸带在运动物体的带动下运动时，上下振动的振针便通过复写纸在纸带上留下一系列小点（图 2-13）。任意相邻两点对应间隔的时间均为 0.02 s ，相邻两点之间的距离可用刻度尺测量。可见，纸带记录了物体运动的时间与位移的信息，由此可获知物体运动的速度等。电火花打点计时器与电磁打点计时器工作原理类似，不过使用的是 220 V 交流电源。



(a) 电磁打点计时器



(b) 电火花打点计时器

图 2-12 常见打点计时器

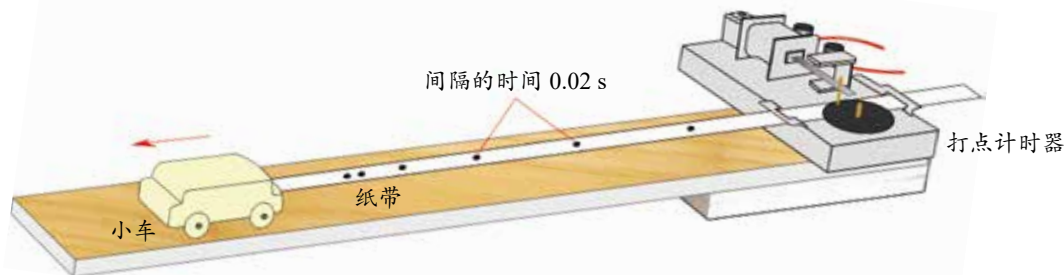


图 2-13 用打点计时器记录时间与位移

 物理在线 同学们可上网查询电火花打点计时器的工作原理。



迷你实验室

模拟打点计时器

(1) 一位同学手牵纸带运动，另一位同学拿一支画笔，按一定间隔的时间（如每秒1次或每秒2次）点击纸带（图2-14）。比一比，看谁牵动纸带运动的速度变化最小。

(2) 为了解某同学竞走的加速过程，老师让他拿着底部穿孔、滴水比较均匀的饮料瓶竞走，然后通过留在地上的水印分析他的速度变化情况（图2-15）。请大家试一试，并说明其中的道理。



图 2-14 用画笔和纸带模拟打点计时器

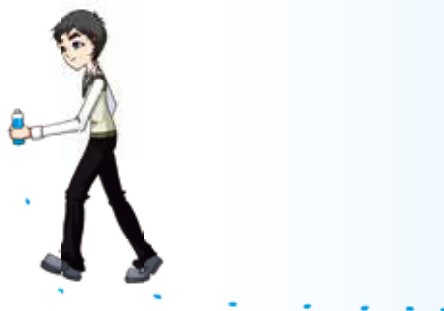


图 2-15 用水瓶滴水模拟打点计时器

除打点计时器外，人们还用频闪照相技术来记录物体运动的时间和位移。

在频闪照相中，人们利用频闪灯（图2-16）每隔相等时间闪光一次的特点，可得运动物体间隔相等时间的频闪照片，这些照片能反映出该物体每隔相等时间所到达的位置信息。

与打点计时器记录的信息类比，频闪灯的闪光频率相当于打点计时器交变电源的频率，而间隔相等时间出现的影像则相当于打点计时器打出的点。因此，运动物体的频闪照片既记录了物体运动的时间信息，也记录了物体运动的位移信息。



图 2-16 频闪灯



物理聊吧

(1) 频闪照相技术不仅用于科学研究，还广泛用于人们生产生活的各个领域。例如，当频闪照相技术应用于体育、艺术等领域时，不但能记录运动员或舞者有研究价值的运动细节，而且能让人们欣赏到独特的整体韵律与动感（图2-17）。



图 2-17 投篮动作的频闪照片

请查找资料，与同学分享收集到的频闪照片。

(2) 图 2-18 是前进中的摩托车三种运动状态下的频闪照片。请由此判断照片中摩托车的三种运动分别属于什么运动。与同学讨论交流，说说判断结果与理由。

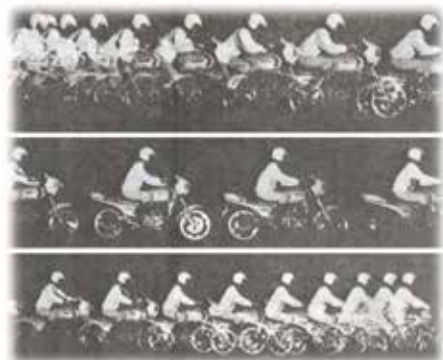


图 2-18 摩托车三种运动状态下的频闪照片



方法点拨

研究物体运动情况，可利用打点计时器和频闪照相等获取比较精确的相关信息。若缺少相应的实验条件，则可利用“模拟打点计时器”等简易方法获取位移与时间信息。选用的实验器材不同，实验结果的准确程度也不同。

在科学实验中，为了收集更加准确的信息，人们不断创新方法、改进仪器，这些创新思想与方法值得我们学习。若条件受限，采用简易实验器材体验探究的过程，认识物理规律的内涵，也非常重要。

2. 测量小车的瞬时速度

小车沿斜面向下运动时，如何测量小车的瞬时速度？小车做匀变速直线运动吗？带着这些问题，让我们走进实验探究。

实验目的

- (1) 测量小车的瞬时速度。
- (2) 判断沿斜面下滑的小车是否做匀变速直线运动。
- (3) 学习使用打点计时器。

实验器材

电磁打点计时器（或电火花打点计时器）、低压交流电源（或 220 V 交流电源）、纸带、长木板（或轨道）、U 形夹、小车、毫米刻度尺。

实验原理与设计

实验装置如图 2-19 所示。



图 2-19 测小车瞬时速度的实验装置



图 2-20 是小车下滑过程中打点计时器打出的纸带。

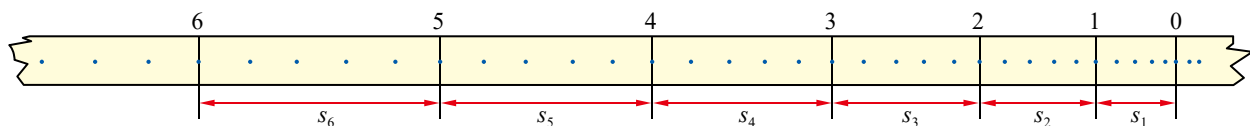


图 2-20 打点计时器打出的纸带

在纸带上，选取便于测量的某点作为计时的起点，记为点 0，依次向后每 5 个点选取一个计数点，分别记为 1, 2, 3, … 用刻度尺量出相邻计数点间的长度，分别记为 $s_1, s_2, s_3, \dots$ 由前述可知，若打点计时器的工作周期为 0.02 s ，那么相邻计数点间隔的时间 $T = 5 \times 0.02\text{ s} = 0.10\text{ s}$ 。

在间隔时间很短的情况下，平均速度可近似视为瞬时速度。由此，根据纸带上打出的点，可计算打点计时器打下某点时小车的瞬时速度。例如，若测量打下点 1 时小车的瞬时速度，我们可选择点 1 前后附近的两个点，若这两点的间隔时间很短，则两点间的平均速度可近似视为打下点 1 时小车的瞬时速度。考虑到实际测量的误差，所选择的两点也不宜太近，一般可选择点 0 和点 2。打下点 1 时小车的瞬时速度可近似认为等于点 0 至点 2 间的平均速度，即 $v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2T}$ 。同理，可近似求出打下点 2, 3, … 时小车的瞬时速度。

根据各点的瞬时速度及对应的时间，可画出 $v-t$ 图像。若多次反复实验后得到的图像皆近似为直线，则可初步判定小车沿斜面向下做匀变速直线运动。

根据 $v-t$ 图像，也可得到小车的加速度。

实验步骤

- (1) 把打点计时器固定在长木板一端，并将该端垫高，使长木板形成斜面。
- (2) 将长 60 cm 左右的纸带一端穿过打点计时器，另一端固定于小车，尽量让小车靠近打点计时器。
- (3) 打开打点计时器开关，稍后（打点稳定后）释放小车，待小车滑到斜面底端时止住小车，关闭开关。取下纸带，检查点迹。若有问题，可换上新纸带，调试后重复上述步骤。

(4) 选择点迹清晰的纸带，避开点迹密集部分，从距打点的开始端几厘米处选择一个点记为点 0。在该点后面，依次标出间隔时间相等的计数点 1, 2, 3, 4, 5, …

(5) 根据打点计时器的周期，计算各计数点到点 0 对应的时间 t ，测量各计数点与下一相邻计数点间的距离 s ，将 t 和 s 的相应数据填入表 2-2 中。

数据分析

- (1) 计算计数点 1, 2, 3, … 对应的瞬时速度。



安全警示

打点计时器不能长时间连续工作，纸带通过后应立即关闭开关。另外，需防止小车下滑时脱离斜面，以免砸伤人或摔坏小车。

表2-2 各计数点对应时刻及相邻计数点间的距离

打点计时器周期: _____

计数点	0	1	2	3	4	5
t/s						
s/m						
$v/(m \cdot s^{-1})$						

(2) 在图 2-21 上绘制速度随时间变化的 $v-t$ 图像, 判断小车是否做匀变速直线运动。

实验结论

请写出小车在上述 5 个计数点的瞬时速度, 并根据 $v-t$ 图像判断, 小车做 _____ 直线运动。

讨论

(1) 为什么标出计数点时要避开点迹密集部分, 从距打点的开始端几厘米处选择一个点记为点 0? 选取的计数点间隔的时间越小, 平均速度就越接近瞬时速度, 实验误差是否就一定越小?

(2) 请说明你是如何得出瞬时速度的, 并解释得出上述实验结论的理由。

(3) 你能否根据上述 $v-t$ 图像求出小车的加速度大小? 请试一试。

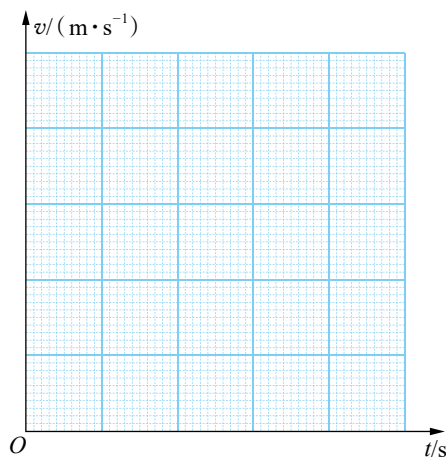


图 2-21 实验图像

能发现并提出物理问题; 能根据已有实验方案, 使用打点计时器等器材收集数据, 会妥善保存原始信息; 能分析纸带记录的信息, 形成初步的结论, 能分析实验中的误差; 能参考教科书内容撰写简单的实验报告。

注意提升实验操作能力和实验数据分析能力。

——科学探究

素养提升



拓展一步

提高实验数据利用率、减小偶然误差的一种方法

在匀变速直线运动中, 相邻相同时间间隔 T 内的位移差都相等, 有 $\Delta s = aT^2$, a 为加速度。有同学据此处理图 2-20 打点计时器打出的纸带, 得到加速度的平均值

$$a = \frac{(s_2 - s_1) + (s_3 - s_2) + (s_4 - s_3) + (s_5 - s_4) + (s_6 - s_5)}{5T^2} = \frac{s_6 - s_1}{5T^2}$$

可见, 最后只用到 s_1 和 s_6 两个数据, 实验数据的利用率不高。

为了提高实验数据的利用率、减小偶然误差, 可把上述连续的 6 个数据前后对半分成为 A、B 两组, 每组 3 个数据, 将 B 组第一个数据减去 A 组第一个数据得 $\Delta s_1 = s_4 - s_1$, B 组第二个数据减去 A 组第二个数据得 $\Delta s_2 = s_5 - s_2$, 同理有 $\Delta s_3 = s_6 - s_3$ 。

由此, 可分别求得 a_1 、 a_2 和 a_3 , 再取其平均值得

$$a = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} = \frac{\Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3}{3^2 T^2} = \frac{(s_4 + s_5 + s_6) - (s_1 + s_2 + s_3)}{9T^2}$$

可见, 这样便提高了实验数据的利用率, 减小了偶然误差。



DIS实验室

用DIS测量瞬时速度和加速度

DIS是“digital information system”的缩写，即数字化信息系统。DIS实验系统主要由传感器、数据采集器、计算机及应用软件组成。在实验中，传感器将待测物理量（如时间、位移等）转换为电信号，并传输到数据采集器处理后输入计算机，实验结果以数字、图形等形式实时显示在计算机屏幕上。

若有DIS实验系统，可试试用其测量瞬时速度和加速度（图2-22），并比较用DIS、打点计时器和频闪照相进行实验的特点。



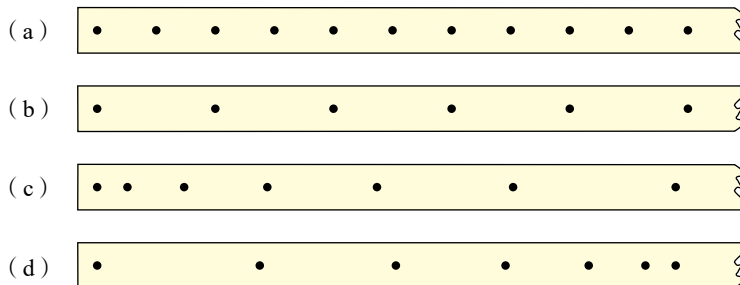
图2-22 测量装置

物理在线 同学们可利用网络查询关于DIS实验的具体操作指导。



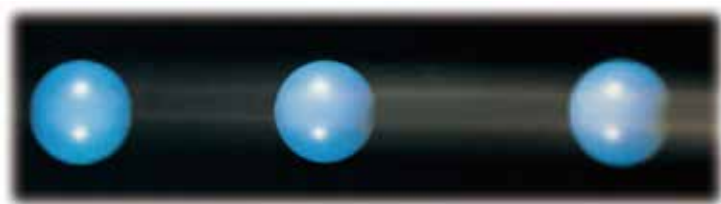
节练习

1. 请参考教科书内容撰写“测量做直线运动物体的瞬时速度”的实验报告（包括实验目的、实验器材、实验原理与设计、实验步骤、数据分析、实验结论、误差分析等内容）。
2. 请简述图中每条纸带记录的物体的运动情况（假设纸带运动方向向左）。



第2题

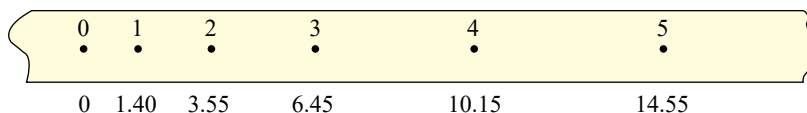
3. 一个水平向左运动的球的频闪照片如图所示。若需要估算该球运动的加速度，已知球的直径，还需拍摄者提供哪些信息？从该照片中你能获得哪些信息？



第3题

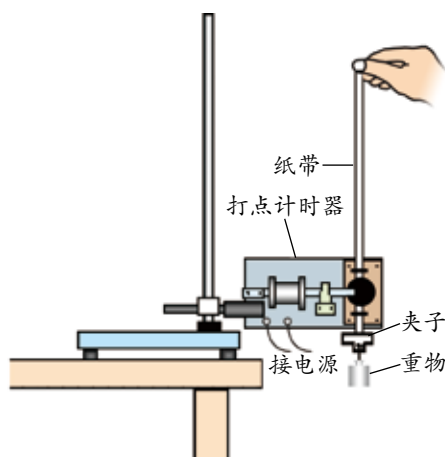
4. 在某次实验中, 打点计时器所用电源的频率为 50 Hz。通过实验得到小车做匀变速直线运动的一条纸带, 纸带上每相邻的两个计数点之间都有四个点未画出。按时间顺序取 0, 1, 2, 3, 4, 5 共六个计数点, 用刻度尺分别量出点 1, 2, 3, 4, 5 到点 0 的距离 (单位: cm), 如图所示。求:

- (1) 打计数点 4 时, 纸带运动的瞬时速度;
(2) 小车的加速度。

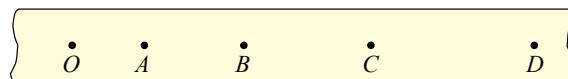


第4题

5. 电磁打点计时器是使用交流电源工作的计时仪器, 其工作电压通常为 _____ V。当电源的频率为 50 Hz 时, 该打点计时器每隔 _____ s 打一次点。某同学用打点计时器、重物和纸带做研究重物下落运动的实验, 如图 (a) 所示。选出的一条纸带如图 (b) 所示, O 、 A 、 B 、 C 、 D 是五个计数点, 从 O 开始每隔一个点选一个计数点。用毫米刻度尺测得 $OA = 6.63$ cm, $AB = 8.16$ cm, $BC = 9.7$ cm, $CD = 11.23$ cm。这四个数据中不符合读数要求的是 _____。根据以上数据可知, 重物做 _____ 运动。当打点计时器打下点 B 时, 重物下落的速度大小是 _____ m/s, 重物下落的加速度是 _____ m/s^2 (结果保留 3 位有效数字)。若用其他更准确的方法测出重物下落的加速度为 9.80 m/s^2 , 则本实验加速度测量值的相对误差为 _____。



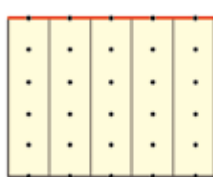
(a)



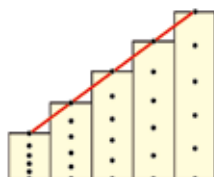
(b)

第5题

6. 将打点计时器打出的纸带, 以间隔相同数量的点的方式依次剪成短纸条, 然后按先后顺序粘贴在一起, 再将各段纸带顶端的中点连起来, 如图所示。请根据图形特点判断它们分别表示什么样的运动, 并说明判断的理由。



(a)



(b)



(c)

第6题

请提问

第5节

自由落体运动



(a)



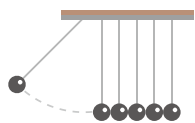
(b)

图 2-23 测测你的反应时间

用一把刻度尺就可以粗略测量你的反应时间，你相信吗？如图 2-23 所示，从发现同学开始释放刻度尺，到你迅速反应抓住刻度尺，这段时间便是你的反应时间。由你抓住尺子的位置，可计算出你的反应时间。试一试，看看你的反应有多快。为什么通过刻度尺下落的距离就能算出你的反应时间？学习了自由落体运动的规律，你就知道答案了。

1. 自由落体运动的特点

在日常生活中，我们时常能看见落体运动，如屋檐滴水、果实下落等。那么，不同物体下落的快慢与哪些因素有关？其下落规律是否相同？



实验与探究

羽毛和硬币下落得一样快吗

如图 2-24 所示，将羽毛与硬币放入有空气的玻璃管，将玻璃管倒立过来，观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

抽去玻璃管内的部分空气，再将玻璃管倒立过来，观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

继续抽去玻璃管内的空气，使其逐渐接近真空，再观察羽毛和硬币下落的快慢。观察结果是_____。

根据这个实验，你得到的结论是_____。



图 2-24 观察羽毛和硬币下落的快慢

由实验可知,当玻璃管内有空气时,同时释放羽毛和硬币,因受空气阻力的影响,羽毛比硬币下落慢;当玻璃管内接近真空时,羽毛与硬币几乎以相同的速度下落,且几乎同时到达玻璃管的底端。可见,在忽略空气阻力的情况下,尽管羽毛与硬币的质量不同,但下落的快慢相同。

在物理学中,将物体只在重力作用下从静止开始下落的运动称为**自由落体运动**(free-fall motion)。

那么,自由落体运动有什么规律呢?我们依然可用打点计时器或频闪照相进行探究。图2-25为小球做自由落体运动的频闪照片,从频闪照片中可知小球在自由落体运动过程中的时间和位移信息,然后通过进一步计算分析,可知自由落体运动实质上是一种匀加速直线运动。

实际上,物体下落过程中总会受到除重力外的其他因素(如空气阻力)的影响。不过,当其他因素的影响可忽略时,仍可将这些物体的下落视为自由落体运动。

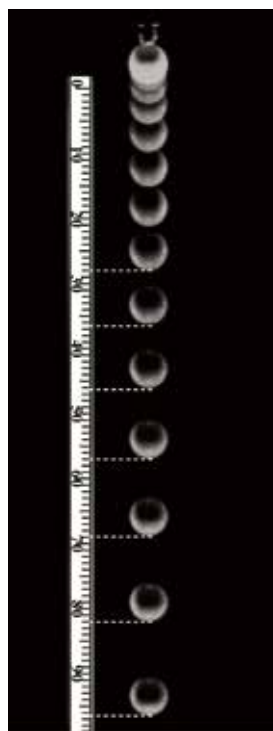


图2-25 小球做自由落体运动的频闪照片

方法点拨

进行科学探究时,应学会透过现象看本质。日常生活经验有时会影响我们的正确判断。例如,对于羽毛和硬币(只受重力作用)的下落情形,如果不利用真空实验装置进行验证,我们就可能会根据日常生活经验得出错误的结论。



物理聊吧

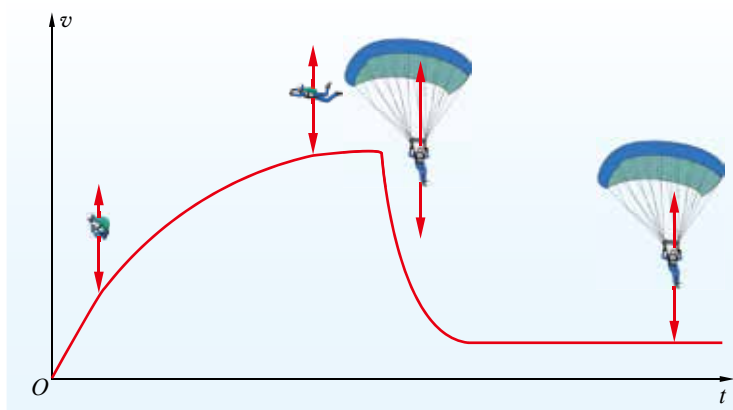


图2-26 跳伞者下降过程中速度变化示意图

图2-26为跳伞者在下降过程中速度变化示意图。根据示意图,跳伞者下降的全过程可看成自由落体运动吗?为什么?跳伞者在下降过程的不同阶段近似做什么运动?请和同学讨论并交流看法。(红色箭头表示物体受力)



2. 自由落体运动的加速度

科学研究表明,物体自由下落时具有的加速度源于物体所受的重力作用,称为**重力加速度** (gravitational acceleration),常用字母 g 表示。地球上重力加速度的方向总是竖直向下,不同地点的重力加速度大小有差异。一般情况下,取 $g=9.8\text{ m/s}^2$,粗略计算时可取 $g=10\text{ m/s}^2$ ^①。

既然自由落体运动是一种初速度为 0 的匀加速直线运动,那么在分析自由落体运动的规律时,只需将前面学过的匀变速直线运动公式中的 a 改为 g ,同时取 $v_0=0$,这样自由落体运动的位移公式可写为

$$h = \frac{1}{2} g t^2$$

速度公式可写为

$$v = g t$$

根据自由落体运动的规律,利用前面测反应时间的小实验,你能够计算出自己的反应时间吗?



科学书屋

某些地点的重力加速度

表 2-3 展示了某些地点的重力加速度大小。从表中可以看出,物体所处地点的纬度越高,重力加速度值越大;纬度越低,重力加速度值越小。

表2-3 不同地点的重力加速度

地点	纬度	重力加速度 $g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
北极	90°	9.832
莫斯科	$55^\circ 45'$	9.816
纽约	$40^\circ 40'$	9.803
北京	$39^\circ 56'$	9.801
东京	$35^\circ 42'$	9.798
上海	$31^\circ 12'$	9.794
武汉	$30^\circ 33'$	9.794
广州	$23^\circ 06'$	9.788
赤道	0°	9.780

① 本套教科书中,若题目中没有特别说明,则对应的重力加速度 g 取 9.8 m/s^2 。

3. 自由落体运动规律探索回眸

在做探究羽毛和硬币下落得是否一样快的实验之前，当看见重物比轻物下落得更快时，你是否会认为物体自由下落的速度与物体的质量有关？若真得出这样的结论，请不要气馁，因为你的结论与古希腊哲学家亚里士多德的结论是相似的，都受到了日常生活经验的影响。历史上，关于自由落体运动规律的探索还留下了一些故事。回顾历史，对我们了解科学家的探究方法、学习他们的科学精神是非常有益的。

亚里士多德认为，重物比轻物下落得快^①。伽利略在1638年出版的《关于两门新科学的对话》中指出，如果重物比轻物下落得快，那么把重物和轻物拴在一起，重物会被轻物拖着而使下落速度减慢，轻物则会被重物拖着而使下落速度加快，它们的共同速度应介于两个物体单独下落的速度之间。但是，从另一个角度看，重物和轻物拴在一起，总质量增加了，那么对应的下落速度应比单个重物快。伽利略从亚里士多德的理论出发，得出两个相互矛盾的推论。伽利略认为，物体下落快慢的差异与空气阻力有关，在忽略空气阻力的情况下，所有物体的下落都一样快。

落体运动遵循怎样的规律？在伽利略之前有人进行过探讨，提出了一些不同的看法。与众不同的是，伽利略用实验来验证自己的猜想。他首先提出自由落体运动是一种最简单的变速运动（即匀变速直线运动）的猜想。怎样证实这个猜想呢？伽利略认为，当物体从静止开始运动时，只要物体的位移与所用时间的平方成正比，就可判定这个物体做匀变速直线运动。

但在伽利略那个时代，要直接测量物体自由下落的时间非常困难，因为物体下落得太快。为使物体运动速度尽量放慢，运动时间尽量延长，伽利略提出了新的实验方法：从直接研究自由落体运动，转向研究物体在斜面上的运动，然后进行逻辑推理，巧妙克服了测量上的困难。

伽利略的实验方法如图2-27所示，让小球从斜面的不同位置自由滚下，观测小球多次从不同起点滚动的位移与所用时间平方的比值 $\frac{s}{t^2}$ 是否保持不变，即是否能够观测到

$$\frac{s_1}{t_1^2} = \frac{s_2}{t_2^2} = \frac{s_3}{t_3^2} = \dots$$

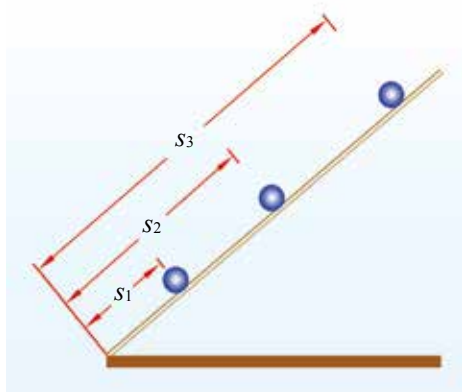


图 2-27 小球沿斜面自由滚下

^①有学者认为当时亚里士多德讨论此问题的核心是“虚空是否存在”。关于史实，鼓励大家查阅资料，去伪存真。



不断加大斜面的倾角（图 2-28），对于每一个特定的倾角，如果小球从不同高度滚下时这个比值仍然保持不变，即可说明小球在斜面上的运动是匀变速直线运动。将此结论合理推至斜面倾角为 90° （即物体自由下落），其比值 $\frac{s}{t^2}$ 也将保持不变，小球仍做匀变速直线运动。

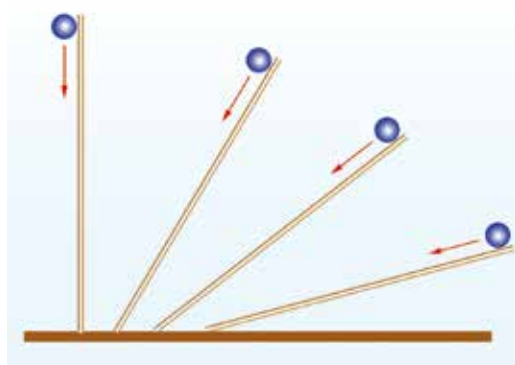


图 2-28 斜面倾角不断增大至 90° 的情形

以上就是伽利略在《关于两门新科学的对话》一书中详细介绍的实验方法，伽利略间接地证明了自由落体运动是匀变速直线运动（图 2-29）。

爱因斯坦在《物理学的进化》一书中曾评价说，伽利略的发现以及他所运用的科学推理方法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。

能结合近代实验科学产生的背景，初步认识实验对物理学发展的推动作用；知道学习物理需要实事求是，有与他人合作的意愿；知道实验器材的改进能促进人们认知的发展。

——科学态度与责任

素养提升

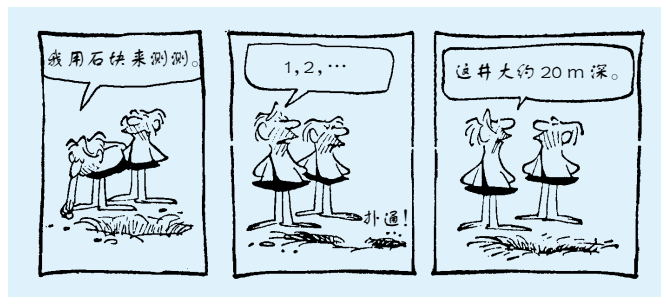


图 2-29 伽利略的斜面实验（油画）



节 练 习

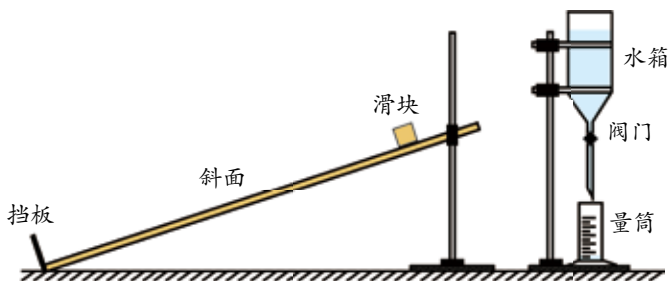
1. 如图所示，漫画中的人用石块来估测水井的深度。你认为有道理吗？为什么？
2. 伽利略为了研究自由落体运动的规律，将落体实验转化为著名的“斜面实验”。他为什么要采用这样的研究方法？“斜面实验”得到的结论是什么？由此又是如何得到落体运动的规律的呢？请作出说明。



第 1 题

3. 高空坠物常会造成极大的危害。某高楼住户，有一花盆从距地面 20 m 处自由落下。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计空气阻力，花盆经过多长时间落到地面？到达地面时的速度有多大？请根据计算结果，查找相关资料，讨论高空坠物的危害并提出防止高空坠物的建议。

4. 某物理兴趣小组根据伽利略描述的方法，设计了如图所示的实验装置，探究物体沿斜面下滑的运动规律。实验方案：让滑块从不同高度由静止沿斜面下滑，释放滑块时打开阀门，使水箱中的水流入量筒；当滑块碰到挡板时关闭阀门，测量此时滑块运动的距离 s 和量筒中水的体积 V 。在水流基本均匀的情况下，滑块运动的时间越长，量筒中的水就越多。



第4题

- (1) 水的 _____ 可反映滑块运动的 _____。
- (2) 根据初速度为 0 的匀变速直线运动 _____ 与 _____ 比值不变的规律，对实验数据进行处理和分析，可判断滑块沿斜面下滑的运动是否为匀变速直线运动。
- (3) 下表为该实验小组测得的实验数据，请将计算结果填入表格。

次数	1	2	3	4	5	6	7
s/m	4.5	3.9	3.0	2.1	1.5	0.9	0.3
V/mL	90.0	84.0	72.0	62.0	52.0	40.0	23.5
$\frac{s}{V^2}$							

你的结论是 _____。

- (4) 你认为本实验的误差来源主要有 _____。

5. 根据图 2-23 所示的方法，在刻度尺的不同刻度处标记对应的下落时间，可制成“反应时间尺”。使用时需先把手放到 0 刻度处，这样就可从你抓住的位置直接读出反应时间。试一试，看谁制作的更好用，并说明理由。



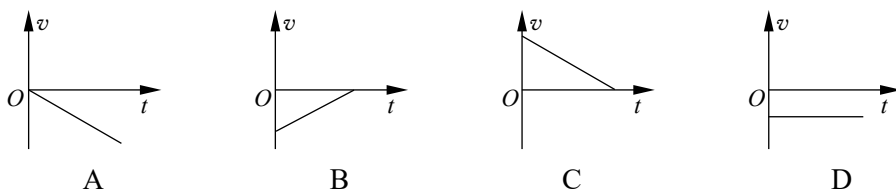
请提问



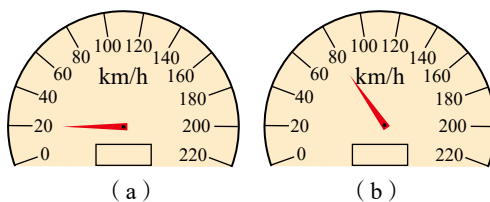
章末练习

科学认知

1. 下列四个图像中, 表示物体做匀加速直线运动的是



2. 某同学在汽车中观察速度表指针位置的变化, 开始时指针位置如图 (a) 所示, 经过 6 s 后指针位置如图 (b) 所示。若汽车做匀变速直线运动, 则



第 2 题

- A. 汽车的加速度大小约为 10 m/s^2
 B. 汽车的加速度大小约为 2.8 m/s^2
 C. 汽车在这段时间内的位移约为 50 m
 D. 汽车在这段时间内的位移约为 83 m
3. 当能见度 (观察者与能看见的最远目标间的距离) 较低时, 驾驶员应低速驾驶汽车。如果某人在能见度为 30 m 的大雾天开车, 其反应时间为 1 s, 该汽车在湿滑路面刹车时能产生的最大加速度大小为 1 m/s^2 , 为安全驶离高速公路, 汽车行驶的最大速度是多少? 请查看相关文件, 确认这个结果是否超过相关交通法规的规定值。
4. 极限跳伞已经成为最受年轻人喜爱的极限运动之一。打开降落伞之前, 运动员的运动可近似视为自由落体运动, 运动员下落 44.1 m 时所用的时间和达到的速度分别是多少? 在运动员下落的第 3 s 内, 下落的高度是多少?
5. 某摩托车做直线运动, 其速度随时间变化的关系式为 $v = 10 + 5t$ (v 的单位是 m/s , t 的单位是 s)。请作出对应的 $v-t$ 图像, 并写出一个可用此关系式求解的物理问题。
6. 如图所示, 航母舰载机阻拦着舰与岸基飞机着陆不同。舰载机着舰时, 一旦飞机尾钩未能挂住阻拦索, 则必须快速拉升飞离。假设航母静止, 舰载机着舰速度为 30 m/s , 钩住阻拦索后能匀减速滑行 45 m 停下; 若没有钩住阻拦索, 则必须加速到 50 m/s 才能安全飞离航母, 且航母甲板上用于舰载机加速的长度仅有 200 m。
- (1) 求舰载机在钩住阻拦索后减速过程中的加速度大小及滑行时间。
 (2) 若没有钩住阻拦索, 为保证安全飞离航母, 舰载机在甲板上做匀加速运动的加速度至少为多大?



第 6 题

7. 如图(a)所示, 一辆自行车以速度 $v=5\text{ m/s}$ 匀速经过汽车时, 汽车从静止开始以加速度 $a=2\text{ m/s}^2$ 做匀加速直线运动。

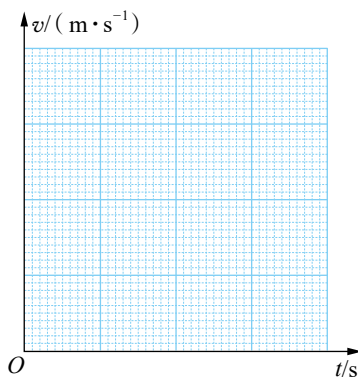
(1) 在图(b)中画出两车的 $v-t$ 图像。

(2) 当汽车速度是多少时, 自行车超过汽车的距离最大? 最大距离是多少?

(3) 当汽车速度是多少时, 汽车刚好追上自行车? 经历了多长时间?



(a)



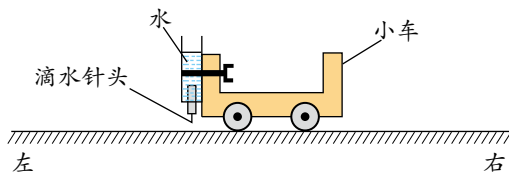
(b)

第7题

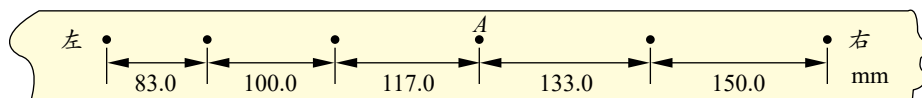
8. 竖井中的升降机可将地下深处的矿石快速运送到地面。某一竖井的深度为 104 m , 升降机运行的最大速度为 8 m/s , 加速度大小不超过 1 m/s^2 。假定升降机运行到井口的速度为 0 , 求将矿石从井底提升到井口的最短时间。

科学探究

*9. 某探究小组用自制“滴水计时器”研究小车在水平桌面上的直线运动。如图(a)所示, 将该计时器固定在小车旁, 用手轻推一下小车, 在小车运动过程中滴水计时器等间隔时间滴下小水滴。图(b)记录了桌面上连续6个水滴的位置, 已知滴水计时器每 30 s 滴下 46 个小水滴。



(a)



(b)

第9题

(1) 由图(b)可知, 小车在桌面上的运动方向是_____。

(2) 该小组同学根据图(b)的数据判断出小车做匀变速直线运动。滴水计时器滴下如图(b)中点A处的水滴时, 小车的速度大小为_____ m/s , 加速度大小为_____ m/s^2 。

(结果均保留2位有效数字)

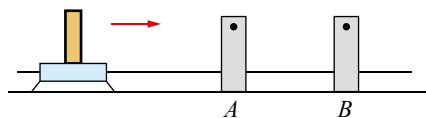


科技交流

10. 通过网络、图书等搜集资料，说说伽利略关于物体运动的实验研究对科学发展和人类进步的重大意义。

温故知新

11. 如图所示，一滑块做匀加速直线运动，先后通过 A 、 B 两个光电门。数字毫秒计记录了遮光板通过光电门 A 的时间为 Δt_1 ，通过光电门 B 的时间为 Δt_2 ，遮光板从刚遮住光电门 A 到刚遮住光电门 B 的时间为 t ，遮光板的宽度为 d 。求：



第 11 题

- (1) 该滑块的加速度；
 - (2) A 、 B 两个光电门之间的距离。
12. 请根据第 1 章（运动的描述）和第 2 章（匀变速直线运动）的内容，结合你的理解，画出概念图。



我的学习总结



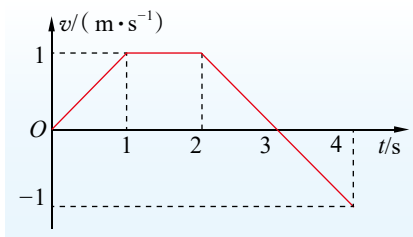
单元自我检测

一、选择题（本题共 5 小题。在每小题给出的四个选项中，第 1 ~ 3 题只有一项符合题目要求，第 4、5 题有多项符合题目要求）

- 下列情形中的物体或人，不能视为质点的是
 - 研究铁饼被抛出后的运动轨迹
 - 观察跳水运动员完成的跳水动作
 - 研究某同学骑车由学校回家的速度
 - 研究宇宙飞船飞往火星的最佳运行轨道
- 关于加速度的理解，有同学提出了下列看法。其中正确的是
 - 速度为 0 时，加速度必为 0
 - 速度变化越大，加速度就越大
 - 若加速度大小不断减小，则速度大小一定不断减小
 - 若加速度方向与规定的正方向相同，则速度可能减小
- 屋檐的同一位置先后滴落两雨滴，忽略空气阻力，在两雨滴落地前，它们之间的距离
 - 保持不变
 - 不断减小
 - 不断增大
 - 与两雨滴的质量有关
- 人们发现了伽利略做斜面实验时的一页手稿，其中三列数据见右图。图中，第二列是时间，第三列是物体沿斜面运动的距离，第一列是伽利略在分析实验数据时添加的数据。根据图中的数据，可能得出的结论是
 - 物体运动的距离与时间成正比
 - 物体运动的距离与时间的平方成正比
 - 物体做匀速直线运动
 - 物体做匀变速直线运动
- 某升降机做直线运动的 $v-t$ 图像如图所示。由图可知，该升降机
 - 第 1 s 内和第 3 s 内的运动方向相反
 - 第 3 s 内和第 4 s 内的加速度相同
 - 第 1 s 内和第 4 s 内的位移大小不同
 - 前 2 s 内和前 4 s 内的位移大小相等

1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1 192
49	7	1 600
64	8	2 104

第 4 题



第 5 题

二、非选择题

- 探究小车做匀变速直线运动的速度变化的实验装置如图 (a) 所示，打点计时器的工作频率为 50 Hz。纸带上计数点的间距如图 (b) 所示，其中每相邻两点之间还有四个点未画出。

(1) 部分实验步骤如下：

- 测量完毕，关闭电源，取出纸带
- 接通电源，待打点计时器工作稳定后放开小车

C. 将小车停靠在打点计时器附近，小车尾部与纸带相连

D. 把打点计时器固定在木板上，让纸带穿过限位孔

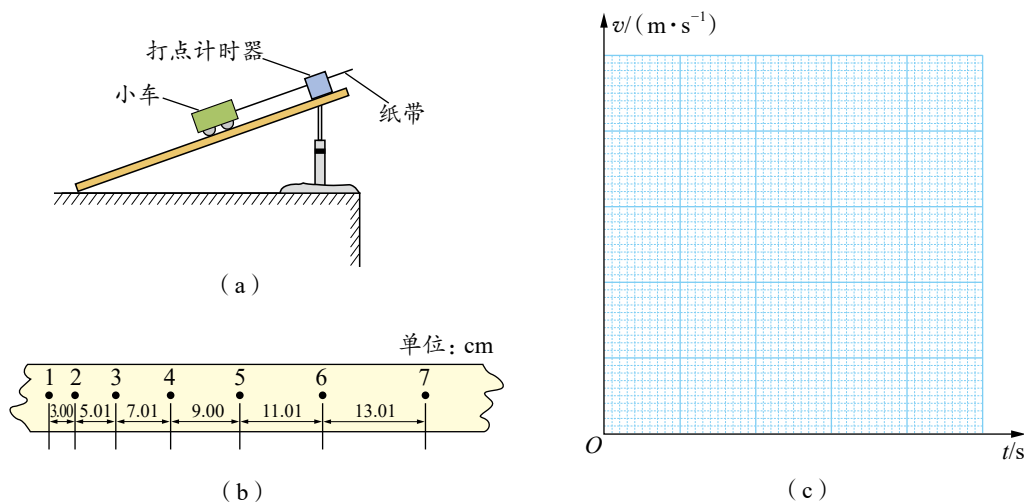
上述实验步骤的正确顺序是_____。

(2) 图(b)中标出的相邻两计数点间隔的时间 $T = \underline{\hspace{2cm}}$ s。

(3) 计数点5对应的瞬时速度 $v_5 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4) 利用数据在图(c)中作 $v-t$ 图像。

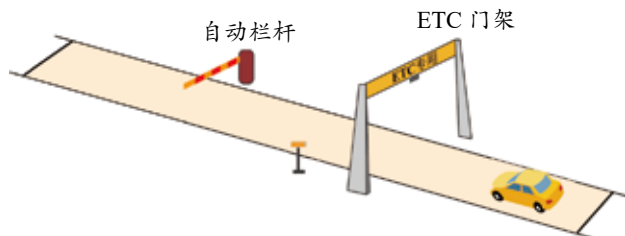
(5) 小车加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s^2 。(结果保留3位有效数字)



第6题

7. 某路段限速为 40 km/h ，一辆行驶的汽车在危急情况下紧急刹车而停止。交警测得这一过程中车轮在地面上擦过的痕迹长为 16 m 。若该车刹车的加速度大小为 8 m/s^2 ，请据此判断这辆汽车是否超速违章。(设汽车从刹车开始至停止做匀变速直线运动)

8. 高速收费站的电子不停车收费系统(ETC)可提高公路的通行能力。如图所示，某汽车以速度 v_0 进入ETC通道，先匀减速行驶 s_1 ，在ETC门架前速度减至 v_1 ，然后匀速前进 s_2 通过自动栏杆，又以大小为 a 的加速度匀加速行驶 s_3 后驶离通道。求汽车通过ETC通道的时间。



第8题



单元自我评价^①

回顾本单元的学业要求和所学内容，结合本次单元自我检测和平时学习情况进行自我评价，写一篇“单元自我评价”报告。说说你学会了什么、存在什么问题及今后努力的方向等。

^①完成本套教科书“单元自我评价”有两种形式，一种类似本页要求的完成开放式的“单元自我评价”报告，另一种类似下一单元要求的填写“单元自我评价”的表格，皆旨在帮助大家提升物理学科核心素养。

第3章

相互作用

导 入 奇特的力现象

第1节 重力与重心

第2节 科学探究：弹力

第3节 摩擦力

►►本章学业要求

- 能了解重力、弹力、摩擦力和胡克定律的内涵，能计算滑动摩擦力，知道标量与矢量；能用重力、弹力和摩擦力等概念与规律说明生产生活中的相关现象，解决一些相关的实际问题。具有与重力、弹力及摩擦力相关的初步的相互作用观念。

——物理观念

- 能在熟悉的情境中运用轻弹簧、光滑物体等模型解决问题；能对物体受力情况进行分析和推理，获得结论；能区分观点与证据；知道质疑与创新的重要性。

——科学思维

- 能完成“探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系”等物理实验。能观察实验现象，发现并提出问题；能根据已有实验方案，使用弹簧测力计、刻度尺等器材收集数据；通过作图或其他方法分析数据，形成初步的结论；能参考教科书内容撰写简单的实验报告，能通过与他人交流解决实验中的问题。

——科学探究

- 通过对弹力的探究，能认识实验对物理研究的重要性；有学习物理的兴趣，知道实事求是和与他人合作的重要性。知道物理学的技术应用给人们的生产生活带来便利。

——科学态度与责任



导 入

奇特的力现象

被誉为“体育运动之神”的古希腊雕像《掷铁饼者》表现的是掷铁饼者的瞬间动作，掷铁饼者屈膝弯腰呈S形，重心移至右足上方，左足尖点地辅助支撑，两臂伸展，健壮的肌体蕴含着爆发前的力量，让人感受到肌体的力量之美。



古希腊雕像《掷铁饼者》



网球的形变

物体受到力的作用往往会发生形变。采用高速频闪照相技术记录下网球被球拍击打后的系列画面，网球的形变清晰可见。你知道吗？正是因为制造网球的材料具有较好的弹性，网球才能迅速恢复原来的形状。

自然界中力的现象无处不在。那么，我们在生产生活中接触到的力有哪些特点？力对我们的生产生活又有怎样的影响？本章我们将学习重力、弹力及摩擦力等内容。

第1节

重力与重心

无论是被风卷起的沙尘、飞舞的落叶(图3-1),还是被踢起的足球,最终都会落下来。通过初中物理的学习,我们知道这是重力产生的效果。本节我们将进一步学习重力及其相关内容。

1.力的描述

我们已经知道,力是物体和物体之间的相互作用,能使物体的形状、运动状态发生改变。例如,用网球拍击打网球时,球拍对球施加力的作用,改变了球的形状和运动方向;同时,球也对球拍施加力的作用。

力的单位是牛顿,简称牛,用符号N表示。与位移、速度、加速度一样,力也是矢量。同样大小的力,若施力方向不同,作用效果通常也不同。例如,用10N的力向上拉弹簧时,弹簧伸长;而用10N的力向下压弹簧时,弹簧缩短(图3-2)。



图 3-1 飞舞的落叶

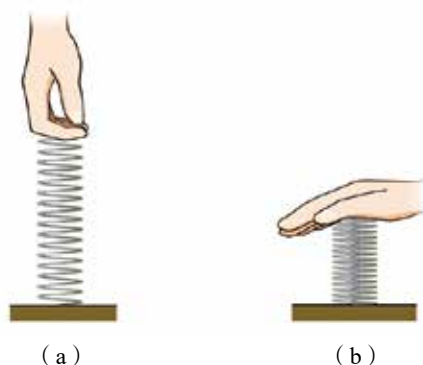


图 3-2 大小相同、方向不同的力,作用效果不同



科学书屋

我国古人对“力”的认识

人类很早就对力有了较深刻的认识。“力”在甲骨文中(图3-3)像一种耕地的农具——耒耜(lěi sì)。在一根削尖的木棍下部绑一根短横木,使用时手持木棍上端,同时用脚踏横木,将其戳进土里,再压柄翻土。我国古代思想家墨子最早提出力的定义:“力,刑(形)之所以奋也。”



图 3-3 甲骨文中的“力”



物理学中，可用一条带箭头的线段来表示力：线段的长短表示力的大小，箭头指向表示力的方向，箭尾（或箭头）所在位置表示力的作用点，线段所在的直线表示力的作用线。这种描述力的方法，称为**力的图示**。力的大小、方向、作用点称为力的三要素。例如，图3-4表示手托书的力大小是3 N，方向竖直向上，箭尾表示力的作用点。

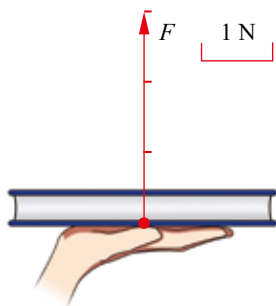


图3-4 力的图示

为了简明表示物体的受力情况，有时只需画出力的示意图，即只画出带箭头的线段来表示物体在这个方向上受到了力的作用，对线段的长度没有严格要求。

2.重力及其测量

学习初中物理时我们就知道，因地球的吸引而使物体受到的力称为**重力**（gravity）。物体所受重力的大小常简称为物重。

通常，重力的大小可用弹簧测力计测出。测量时使物体保持静止，这样测力计的示数就等于物体所受重力的大小（图3-5）。在日常生活中，我们也常用电子秤称量物重。

重力还可通过计算得出。学习初中物理时，我们通过实验得知，物体所受的重力 G 与其质量 m 的关系为

$$G = mg$$



图3-5 重力的测量

式中的比例系数 $g = 9.8 \text{ N/kg}$ 。学过本教科书第5章后你就会明白，这个比例系数 g 就是前面学过的自由落体加速度。

重力的方向具有特殊性。挂着重物的绳子静止时总是竖直绷紧下垂，自由落体总是竖直下落，这表明，重力的方向总是竖直向下。利用这一特点，我们可检查物体是否竖直或水平放置，也可检查其倾斜程度。



四种基本相互作用

现代物理学认为，自然界中所有的作用力，从本质上来说都可归结为四种基本相互作用：引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。引力相互作用是任何物体间相互吸引的一种力，重力就是由地球与其表面物体之间的引力相互作用而产生的，如瀑布、石头等下落都是引力相互作用的结果。弹力、摩擦力以及分子间作用力本质上都是物质内部微观粒子之间的电磁相互作用。原子核内部基本粒子之间的相互作用有强相互作用和弱相互作用。

3. 物体的重心

如果要用一根手指把一只盘子顶稳（图 3-6），手指应该顶在盘底的什么位置？其实，这个问题与物体的重心有关。

处在地球附近的物体，虽然它的各个组成部分都受重力的作用，但从效果上看，可认为重力集中作用在一个点上，我们把这个点视为重力的等效作用点，称为物体的**重心**（center of gravity）。

任何物体都有重心，而且只有一个重心。质量分布均匀的物体（简称“均匀物体”），其重心的位置只与物体的形状有关。如果均匀物体的形状是规则的，那么重心就在它的几何中心。例如，均匀方形板的重心在板的中心点上；均匀圆球，不论是实心的还是空心的，重心都在球心上。质量分布不均匀的物体，重心的位置除跟物体的形状有关之外，还跟物体的质量分布情况有关。有些物体的重心不一定在物体上。



图 3-6 用一根手指顶稳盘子



迷你实验室

圆锥为什么会向“上”滚

用厚纸片做两个相同的圆锥，把它们对接粘在一起。在书脊上架两根筷子作为轨道，使两根筷子间的距离在较高的一端比稍低的一端略大一些（图 3-7）。

把圆锥放在较低一端的轨道上，你会发现圆锥会向“上”滚动。试一试，并分析产生这种现象的原因。



图 3-7 向“上”滚的圆锥

重心的高低会影响物体的稳定。例如，我国古代的汲水瓶（图 3-8），当未装水时，它会倾倒；把它放到水里，水会自动流进去。当瓶中汲入适量的水时，瓶的重心降低，提绳时瓶就会被直立着提上来。当瓶中的水太满时，瓶的重心升高，瓶又会自动倾倒，将多余的水倒出。这种汲水瓶巧妙地利用重心变换，使得汲水方便、省力，又能控制汲水量，充分体现了我国古代劳动人民的智慧。

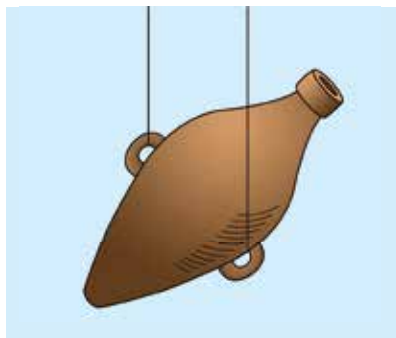


图 3-8 古代汲水瓶示意图



观察我们的周围，你会发现不少巧妙利用重心的事例。例如，高大的建筑物通常是上小下大；装运货物时，总是把重的物品放在下面，轻的物品放在上面。这些都是为了降低重心，提高稳定程度。在走钢丝表演（图3-9）中，表演者充分考虑了重心的位置，能在钢丝上来去自如。



图3-9 让人惊叹不已的走钢丝表演

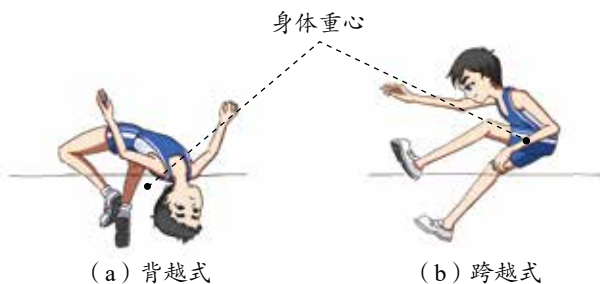


节 练 习

- 用质点代表受力物体，取重力加速度 $g = 10 \text{ N/kg}$ ，试画出下列几个力的图示，并指明施力物体和受力物体。
 - 水平桌面对放在桌面上的书产生 5 N 竖直向上的支持力。
 - 某人用 800 N 的力沿与水平面成 30° 的斜面向右上方拉一辆小车。
 - 质量为 0.06 kg 的小球沿斜面滚下时受到的重力。
 - 质量为 $5 \times 10^4 \text{ kg}$ 的飞机在空中飞行时受到的重力。
- 用弹簧测力计竖直悬挂一静止小球。下列说法正确的是
 - 小球对弹簧测力计的拉力就是小球所受的重力
 - 小球对弹簧测力计的拉力大小等于小球所受的重力大小
 - 小球所受拉力的施力物体是地球
 - 小球所受重力的施力物体是弹簧测力计
- 请设计简便易行的实验方案，说出矩形砖块、无缝铁环、有橡皮擦的铅笔的重心的大致位置，并根据它们重心的位置讨论：重心一定在物体上吗？具有规则几何形状的物体，重心一定与几何中心重合吗？
- 如图所示，将标好刻度的圆形白纸贴于矩形木板作为表盘，使两个 0 刻度所在直径与木板底边垂直。把铁皮剪成指针形状，将小钢珠固定于指针尾端，然后将指针固定在位于圆心的自制转轴上；当木板底边水平放置时，指针在钢珠的作用下尖端朝上，并刚好指到 0° 。这样，一个倾角仪便制作好了。请动手做一做，并说出这个倾角仪的工作原理。
- 把一个放在水平地面、长为 l 的匀质链条竖直向上刚好拉直时，它的重心位置升高多少？将一个棱长为 a 的均匀正方体放在水平地面上，绕其一条棱翻转时，其重心位置升高的最大高度是多少？
- 运动员跳高过程中身体的重心是随时改变的。根据如图所示的两种跳高姿势，分析运动员在跳高比赛中大都采用背越式的原因。



第4题



第6题

第2节

科学探究：弹力

蹦极时，人由于自身所受的重力而下落，被拉伸的蹦极绳会对人产生向上的弹力，把人拉上去，如此上下振荡（图 3-10）。在这个过程中，蹦极绳的弹力与形变发挥了重要作用。弹力与形变有何关系？本节将学习弹力与形变的相关内容。

1. 形变与弹力

生活中形变无处不在。压扁的面包（图 3-11）、伸长的橡皮筋、凹陷的沙发、拨动的琴弦（图 3-12）……这些都是生活中的形变现象。我们把物体发生的伸长、缩短、弯曲等形状的变化称为**形变**（deformation）。



图 3-10 蹦极



图 3-11 面包的形变



图 3-12 琴弦的形变

有些物体的形变明显，容易观察；有些物体的形变却很难直接观察到。例如，一辆汽车行驶在大桥上，桥面会产生形变；用手压墙壁，墙壁也会产生形变。对于这些不易直接观察到的微小形变，可借助某些装置来验证其存在。



实验与探究

(1) 观察桌面的微小形变

如图 3-13 所示，激光器 A 射出的一束激光经平面镜 B 反射后在天花板上形成一个光点 C 。当用手压桌面时，能看到光点明显移到 C' 位置。这说明手压桌面使桌面发生了形变。

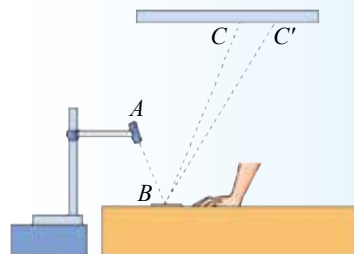


图 3-13 观察桌面的微小形变

(2) 观察玻璃瓶的微小形变

在扁平玻璃瓶中装满水，瓶口用中间插有细玻璃管的软木塞塞紧，这时瓶内的水就会上升到细玻璃管中。如图 3-14 所示，当用力挤压玻璃瓶的不同部位时，会发现细玻璃管中的水面会上升或下降。这说明玻璃瓶发生了形变。为便于观察，可给水加色，并将细玻璃管固定在白色纸板上，纸板上可画细刻度线作为参照。

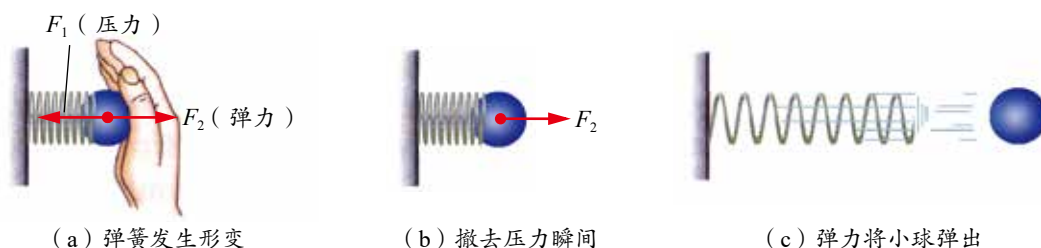


图 3-14 观察玻璃瓶的微小形变

某些发生形变的物体在撤去外力后能恢复原状，这种物体称为弹性体，对应的形变称为**弹性形变** (elastic deformation)，如压缩的弹簧、拨动的琴弦等。有些物体发生形变后不能恢复原状，这种形变称为**范性形变** (plastic deformation)，如压扁的面包和橡皮泥等。

弹性体的形变不能无限增大，若超过一定的限度，撤去外力时物体就不能恢复原状，这个限度称为**弹性限度** (elastic limit)。

用力把一个小球压在弹簧上，并使弹簧压缩。松开手时，小球会立刻被弹出 (图 3-15)。这类事例说明，相互接触的物体发生弹性形变时，由于物体要恢复原状，物体会对与它接触的另一物体产生力的作用，这种力称为**弹力** (elastic force)。通常所说的压力、支持力、拉力等都是弹力。弹力的方向总是与物体形变的方向相反。



(a) 弹簧发生形变

(b) 撤去压力瞬间

(c) 弹力将小球弹出

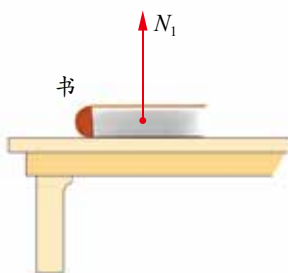
图 3-15 形变产生弹力

例如，一只竖直悬挂的桶将绳子拉伸，绳子要恢复原状，会对桶产生一个沿着绳子收缩方向（竖直向上）的拉力（图 3-16）。这个力与桶的重力平衡，从而使桶处于静止状态。

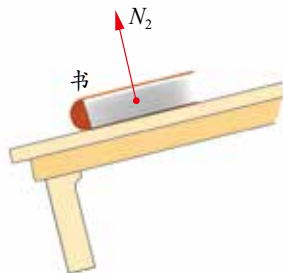
再如，静止于水平桌面的书使桌面产生形变，桌面要恢复原状，会对书产生支持力。支持力大小与书所受重力相等，方向垂直于桌面竖直向上 [图 3-17 (a)]。若桌面是倾斜的，书受到的支持力方向仍垂直于桌面，但不再竖直向上，大小与书所受重力也不再相等 [图 3-17 (b)]。



图 3-16 桶所受的拉力



(a)



(b)

图 3-17 书所受的支持力

2. 探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系

对于同一弹性材料，由于形变程度不同，弹力大小也不同。通常，弹力与形变的关系比较复杂，下面我们只探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系。

实验目的

- (1) 探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系。
- (2) 了解弹簧测力计的工作原理。

实验器材

铁架台、带挂钩的弹簧、钩码、刻度尺。

实验原理与设计

将已知质量的钩码悬挂于弹簧上，由二力平衡可知，弹簧对钩码的弹力大小等于钩码所受重力的大小。通过改变悬挂的钩码个数来改变弹簧弹力的大小，测出弹簧未挂钩码时的长度（弹簧原长）及挂钩码后的长度，可得出挂不同数量钩码情况下弹簧的伸长量。由此可进一步得出弹簧弹力的大小与弹簧伸长量的关系。

实验步骤

- (1) 按照图 3-18 所示安装实验装置。
- (2) 用刻度尺测量弹簧原长。



安全警示

所挂钩码数量不宜过多，不能超过弹簧的弹性限度。

小心操作，避免因弹簧伸缩和钩码掉落造成的物品损坏或人身伤害。



(3) 在弹簧挂钩上依次挂不同数量的钩码，并分别记下实验所挂钩码的总质量及弹簧长度。

数据分析

(1) 将数据及计算结果填入表 3-1 中。

表3-1 弹簧弹力的大小与伸长量的关系

弹簧原长 $l_0 =$ _____ cm

次数	1	2	3	4	5
钩码质量 m/g					
弹簧弹力 F/N					
弹簧长度 l/cm					
弹簧的伸长量 x/cm					

(2) 在坐标纸上作出弹簧弹力大小随伸长量变化的图像，并进行分析讨论。

实验结论

- (1) 弹簧的弹力随伸长量的增大而_____。
- (2) 在误差允许范围内，弹簧的弹力大小与_____成正比。

讨论

(1) 实验图像是否经过所有数据点？若不是，请分析误差来源。

(2) 与其他实验小组交换实验数据、图像及结论，看看是否存在差异，并分析导致差异的原因。

(3) 为什么弹簧测力计可测力的大小？为什么其刻度是均匀的？



图 3-18 实验装置

能观察实验现象，发现并提出问题；能根据已有实验方案，使用弹簧测力计、刻度尺等器材收集数据；通过作图或其他方法分析数据，形成初步的结论；能参考教科书内容撰写简单的实验报告，能通过与他人交流解决实验中的问题。

注意提升实验分析能力及归纳推理能力。

——科学探究

素养提升

3. 胡克定律

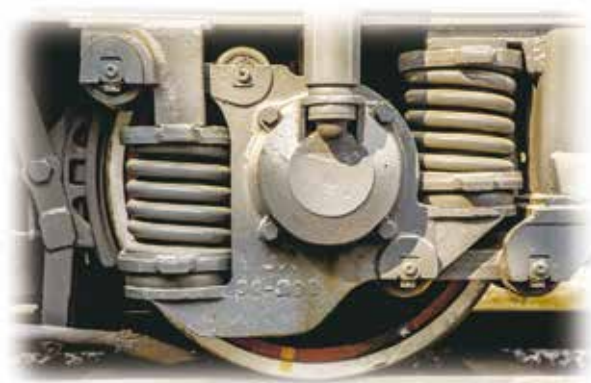
大量实验研究表明：在弹性限度内，弹簧弹力 F 的大小与弹簧伸长（或压缩）的长度 x 成正比，即

$$F = kx$$

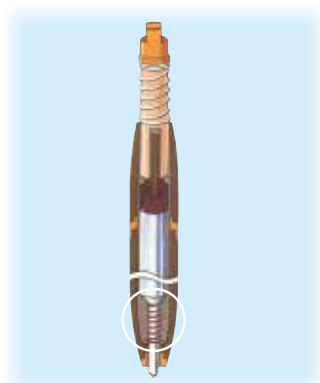
式中的比例系数 k 称为弹簧的**劲度系数**（coefficient of stiffness）。若力的单位用牛顿（N），长度单位用米（m），则劲度系数 k 的单位是牛顿每米（N/m）。

这个规律是英国物理学家胡克 (R. Hooke, 1635—1703) 发现的, 称为**胡克定律** (Hooke law)。其实, 胡克定律还有更宽泛的含义, 在高中物理中我们讨论的对象仅限于弹性限度内弹簧的形变。

劲度系数与弹性体的材料、形状等因素有关, 不同劲度系数的弹簧用途也不同 (图 3-19)。生活中常说弹簧的“软”和“硬”, 指的是弹簧劲度系数的不同, 劲度系数越大则表明弹簧越“硬”。



(a) 火车底部的防震弹簧

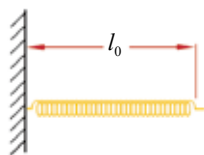


(b) 圆珠笔里的复位弹簧

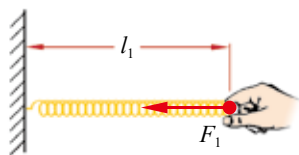
图 3-19 不同劲度系数的弹簧有不同的用途

例 题

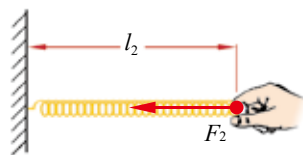
如图 3-20 所示, 一根轻弹簧长度由原来的 5.00 cm 伸长为 6.00 cm 时, 手受到的弹力为 10.0 N。那么, 当这根弹簧伸长到 6.20 cm 时 (在弹性限度内), 手受到的弹力有多大?



(a)



(b)



(c)

图 3-20 不同拉力作用下的弹簧

分析

根据胡克定律, 已知弹簧弹力 F_1 和相应的伸长量 $l_1 - l_0$, 可求出该弹簧的劲度系数。由于同一弹簧的劲度系数不变, 再由已知的弹簧伸长量 $l_2 - l_0$, 就可求出手受到的弹力 F_2 。

解

由题意可知, $l_0 = 5.00 \text{ cm} = 5.00 \times 10^{-2} \text{ m}$, $F_1 = 10.0 \text{ N}$, $l_1 = 6.00 \text{ cm} = 6.00 \times 10^{-2} \text{ m}$ 。

根据胡克定律, 可得

$$F_1 = kx_1 = k(l_1 - l_0)$$



$$\begin{aligned}
 k &= \frac{F_1}{l_1 - l_0} \\
 &= \frac{10.0 \text{ N}}{(6.00 - 5.00) \times 10^{-2} \text{ m}} \\
 &= 1.00 \times 10^3 \text{ N/m}
 \end{aligned}$$

当弹力为 F_2 时，弹簧伸长到 $l_2 = 6.20 \text{ cm} = 6.20 \times 10^{-2} \text{ m}$ 。
根据胡克定律，可得

$$\begin{aligned}
 F_2 &= kx_2 = k(l_2 - l_0) \\
 &= 1.00 \times 10^3 \text{ N/m} \times (6.20 - 5.00) \times 10^{-2} \text{ m} \\
 &= 12.0 \text{ N}
 \end{aligned}$$

所以，当这根弹簧伸长到 6.20 cm 时，手受到的弹力为 12.0 N 。

讨论

在题目中，弹簧的伸长量变大，弹力就会变大。那么，将弹簧拉得很长甚至完全拉直，还能运用胡克定律计算吗？为什么？

策略提炼

在求解弹簧弹力与形变的问题时，通常忽略弹簧质量，题目常表述为轻弹簧。轻弹簧是一种理想模型。

只要在弹性限度内，对于同一根弹簧，无论其形变量有多大，劲度系数不变。

胡克定律中的 x 是弹簧形变量，即弹簧受外力拉伸（压缩）后的长度与弹簧原长的差值。



迁移

弹簧弹力随其形变量变化的规律，还可用图像来表示。一轻弹簧的弹力 F 大小与弹簧长度 l 的关系如图 3-21 所示。

(1) 求该弹簧的原长和劲度系数。

(2) 图像中左边图线能否延长至与纵轴相交？请说明理由。

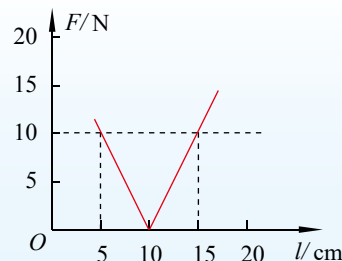


图 3-21 F 与 l 的关系图像



科学书屋

尼龙扣

尼龙扣（图 3-22）被广泛用于生产生活中。人们的衣服、鞋子、挎包等都会用到尼龙扣。航天飞机上的物品如盘子、食品袋等的固定，也都需要使用尼龙扣。尼龙扣依靠内部尼龙钩与尼龙绳的弹力，可以闭合、开启，以方便固定物品。



图 3-22 尼龙扣的显微照片

物理在线 调查生产生活中所用的不同类型的弹簧，分析其在材质、形状、长度等方面的差异，思考为什么会有这些差异。了解橡皮筋的弹力与其形变的关系。

节 练习

1. 请参考教科书内容撰写“探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系”的实验报告。
2. 足球运动深受青少年喜爱，如图为四种与足球有关的情境。下列说法正确的是



(a)



(b)



(c)



(d)

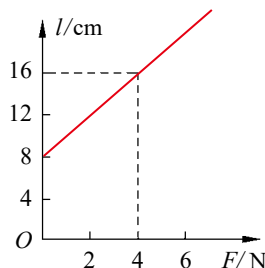
第2题

- A. 图(a)中，静止在草地上的足球受到的弹力就是它的重力
- B. 图(b)中，静止在光滑水平地面上的两个足球相互间由于接触而产生弹力
- C. 图(c)中，踩在脚下且静止在地上的足球可能受到三个力的作用
- D. 图(d)中，打到球网上的足球受到弹力是因为足球发生了形变

3. 关于弹力的方向，下列说法正确的是

- A. 放在地面上的物体受到的弹力的方向总是竖直向下
- B. 压力方向总是垂直于接触面并指向被压的物体
- C. 细绳对物体的拉力的方向总是沿着绳并指向绳收缩的方向
- D. 弹力的方向总是与形变的方向一致

4. 在“探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系”的实验中，得到如图所示的图像。试根据此图像求出该弹簧的原长及劲度系数。



第4题

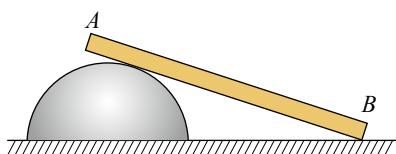
5. 在一次蹦极中，质量为 50 kg 的蹦极者运动到最低点时弹性绳绳长为 42 m ，停止振荡时弹性绳绳长为 24 m 。若该蹦极者所用弹性绳的原长为 18 m ，劲度系数认为不变，取重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$ 。求蹦极者运动到最低点时受到弹性绳的拉力。

6. 画出下列各物体所受弹力的示意图。

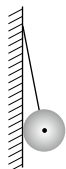
- (1) 图(a)中杆 AB 斜靠在半球体上静止，作出 AB 杆所受弹力的示意图。

- (2) 图(b)中用绳子将球挂在墙壁上，作出球所受弹力的示意图。

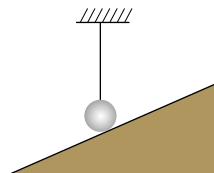
- (3) 图(c)中竖直悬挂在细绳上的光滑小球与斜面刚好接触而保持静止，作出小球所受弹力的示意图。



(a)



(b)



(c)

第6题

7. 自制一个测力计，测算所用弹性体的劲度系数。若要制作量程较大的测力计，该如何选择弹性体？请说明理由。

第3节

摩擦力

在生活中，摩擦力无处不在。用橡皮擦去铅笔字，用双手接住篮球，自行车刹车等，都与摩擦力有关。没有摩擦力，我们将寸步难行。那么，摩擦力有哪些特点呢？本节将学习与摩擦力相关的内容。

1. 滑动摩擦力

当两个物体彼此接触和挤压，并发生相对滑动时，在接触面上就会产生阻碍相对滑动的力，这种力称为**滑动摩擦力**（sliding frictional force）。滑动摩擦力的方向总是与接触面相切，并与物体相对运动的方向相反（图 3-23）。

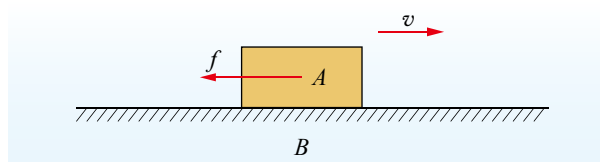


图 3-23 物体 A 相对物体 B 运动所受的滑动摩擦力

首先让我们感受一下滑动摩擦力。



迷你实验室

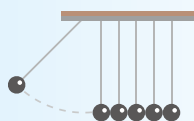


图 3-24 感受滑动摩擦力

感受滑动摩擦力

把手掌压在桌面或其他物体的表面（图 3-24），在大小不同的压力下向前平移手掌。通过比较，感受滑动摩擦力的大小与哪些因素有关。

下面，我们一起探究滑动摩擦力大小与物体间压力大小的关系。



实验与探究

滑动摩擦力大小与物体间压力大小的关系

如图 3-25 所示，弹簧测力计一端固定于 P 点，另一端系一细线，与物体 A 水平连接。拉动木板 B ，当物体 A 稳定时， A 、 B 间的滑动摩擦力 f 的大小等于弹簧测力计的示数。在物体 A 上添加砝码，改变 A 对 B 的压力 N ，测出对应的 f 。记录各次的 N 、 f 值，相应填入表 3-2 中，并研究 N 与 f 的关系。

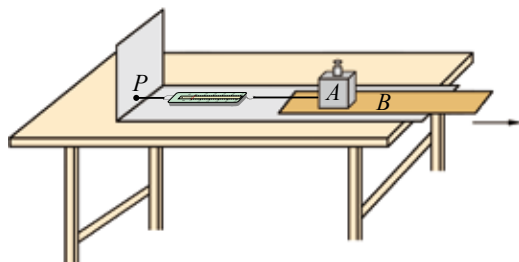


图 3-25 实验装置示意图

表3-2

滑动摩擦力大小随压力大小变化的数据

实验次数 n	1	2	3	4	5
压力 N/N					
滑动摩擦力 f/N					
$\frac{f}{N}$					

实验结果表明，随着压力 N 的增大，滑动摩擦力 f 的大小_____，但 $\frac{f}{N}$ 的大小_____。这说明滑动摩擦力 f 的大小与压力 N 的大小_____。

改变水平木板的粗糙程度，重复上述实验，结果如何？请继续探究。

大量实验研究表明：**滑动摩擦力 f 的大小与压力 N 的大小成正比**，即

$$f = \mu N$$

式中的比例系数 μ 称为**动摩擦因数**（dynamic friction factor）。它是两个力的比值，没有单位。 μ 的数值与相互接触的两物体的材料及接触面的情况（如粗糙、干湿程度等）有关。一些材料间的动摩擦因数见表 3-3。

表3-3

一些材料间的动摩擦因数

材料	钢与冰	木与冰	玻璃与玻璃	钢与橡胶
动摩擦因数	0.02	0.03	0.40	0.60~0.80



例题

有的地方，人们常用狗拉雪橇（图3-26）载人及物品。已知雪橇与雪地间的动摩擦因数为0.02，雪橇（包括所载人及物品）的总质量为300 kg。若近似认为狗以水平拉力拉着雪橇在水平雪地上做匀速直线运动，求狗拉雪橇的拉力大小。（取重力加速度 $g = 9.8 \text{ N/kg}$ ）

分析

以雪橇为研究对象，其受到的拉力和摩擦力如图3-27所示。雪橇在水平雪地上做匀速直线运动，由二力平衡可知，狗拉雪橇的拉力与滑动摩擦力大小相等，由此可求出狗拉雪橇的拉力大小。

解

由题意可知， $\mu = 0.02$ ， $m = 300 \text{ kg}$ 。

雪橇做水平方向的匀速直线运动，则

$$F = f, N = mg$$

由滑动摩擦力公式 $f = \mu N$ ，知

$$\begin{aligned} F &= \mu mg \\ &= 0.02 \times 300 \text{ kg} \times 9.8 \text{ N/kg} \\ &= 58.8 \text{ N} \end{aligned}$$

故狗拉雪橇的拉力大小为58.8 N。

讨论

58.8 N 相当于一个人提约6 kg的物体所用的力。用这么小的力就可拉动总质量为300 kg的雪橇，可见雪地上物体受到的滑动摩擦力一般较小。这也是雪天人容易滑倒的原因之一。



图3-26 狗拉雪橇

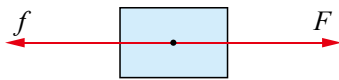


图3-27 雪橇在水平方向上的受力示意图

策略提炼

在真实情境中，影响问题解决的因素较多。我们要善于抓住主要因素，忽略次要因素。

在本题中，可将研究对象“雪橇”视为质点，根据二力平衡等解决问题。

滑动摩擦力的大小可运用 $f = \mu N$ 计算，注意正确分析物体对接触面的压力。



迁移

如果雪地的情况不变，当狗拉着雪橇在水平雪地上加速前进时，雪橇所受的摩擦力是否改变？请简述理由。

2. 静摩擦力

当两个彼此接触、挤压的物体之间没有发生相对运动，但具有相对运动的趋势时，接触面上会产生一种阻碍相对运动趋势的力，这种力称为**静摩擦力**（static frictional force）。静摩擦力的方向总是与接触面相切，并且与相对运动趋势的方向相反。如图 3-28 所示，用力拉木箱，在没有拉动木箱的情况下，木箱虽然静止，但具有相对地面向右运动的趋势，因此受到向左的静摩擦力。

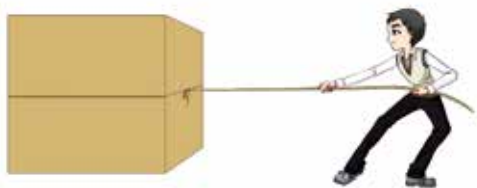


图 3-28 静止木箱受到静摩擦力



物理聊吧

静止在斜坡上的巨石（图 3-29）有没有滑动的趋势？石块是否受到静摩擦力的作用？如果有，石块受到的静摩擦力方向如何？

在生活中，人们常利用传送装置运送物品（图 3-30）。若物体与水平传送带相对静止并一起做匀速直线运动，物体是否受到静摩擦力的作用？

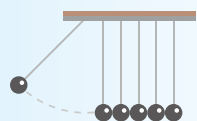


图 3-29 静止在斜坡上的巨石



图 3-30 通过水平传送带运送行李

在图 3-28 所示的情况下，开始时，静摩擦力随拉力的增大而增大。当拉力增大到某一值时，物体突然开始沿接触面滑动。可见，静摩擦力增大到一定程度时，就不再增大，这时物体与接触面之间的静摩擦力达到最大，这个最大值称为**最大静摩擦力**（the maximum force of static friction），记作 $f_{\max}$ 。当拉力大于最大静摩擦力后，物体开始滑动。静摩擦力 f 的值在 0 与 $f_{\max}$ 之间，即 $0 < f \leq f_{\max}$ 。



实验与探究

粗测最大静摩擦力

如图 3-31 所示，将一个物块放在水平桌面上，然后用弹簧测力计水平拉物块。逐渐增大拉力直到物块滑动，记下刚好使物块滑动时测力计的示数，此示数可视为



物块与桌面间的最大静摩擦力。
在物块上添加砝码，再次水平拉物块，并记下刚好使物块滑动时测力计的示数。比较并思考：物块与桌面之间的最大静摩擦力与压力有什么关系？



图 3-31 粗测最大静摩擦力

实验表明，最大静摩擦力与两物体间的压力成正比，并与接触面的性质有关。更精确的实验表明，最大静摩擦力略大于滑动摩擦力。有时为了计算方便，可认为最大静摩擦力近似等于滑动摩擦力。

例题

质量为 2 kg 的木箱静止在水平地面上。木箱与地面间的动摩擦因数为 0.5 ，最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等，取重力加速度 $g = 10\text{ N/kg}$ 。现给木箱一水平拉力。

- (1) 当拉力大小为 5 N 时，地面对木箱的摩擦力是多大？
- (2) 当拉力大小变为 12 N 时，地面对木箱的摩擦力是多大？
- (3) 此后若将拉力减小为 5 N （木箱仍在滑动），地面对木箱的摩擦力是多大？

分析

依题意，木箱与地面间的最大静摩擦力与滑动摩擦力大小视为相等。当拉力小于等于最大静摩擦力时，木箱仍然保持静止。由二力平衡可知，木箱所受到的静摩擦力等于拉力；当木箱发生滑动时，受到的摩擦力是滑动摩擦力。

解

由题意可知， $m = 2\text{ kg}$ ， $\mu = 0.5$ 。

木箱与地面间的最大静摩擦力为 $f_{\max}$ ，则

$$f_{\max} = \mu N = \mu mg = 0.5 \times 2\text{ kg} \times 10\text{ N/kg} = 10\text{ N}$$

(1) 当拉力 $F = 5\text{ N}$ 时， $F < f_{\max}$ ，木箱没有滑动，地面对木箱的摩擦力为静摩擦力。

$$f_{\text{静}} = F = 5\text{ N}$$

(2) 当拉力 $F = 12\text{ N}$ 时， $F > f_{\max}$ ，木箱滑动起来，地面对木箱的摩擦力为滑动摩擦力。

$$f_{\text{滑}} = \mu N = \mu mg = 0.5 \times 2\text{ kg} \times 10\text{ N/kg} = 10\text{ N}$$

策略提炼

分析摩擦力时，首先需要判断是静摩擦力还是滑动摩擦力。判断方法是分析物体间是否发生相对滑动。

滑动摩擦力大小可以用滑动摩擦力公式求解。静摩擦力的大小与物体受到的其他力有关，在满足二力平衡时，可利用二力平衡条件求解。

(3) 当拉力减小为 5 N 时, 木箱仍在地面上滑动, 所以木箱受到地面的摩擦力仍是滑动摩擦力, 大小为 10 N 。

讨论

要让原先静止在水平地面上的木箱发生相对滑动, 所用的拉力要大于最大静摩擦力。发生相对滑动之后, 木箱所受的摩擦力也从原来的静摩擦力转变成滑动摩擦力。

迁移

在上述问题中, 若在木箱中放入 2 kg 的重物, 仍分别用 5 N 和 12 N 的水平拉力拉木箱, 地面对木箱的摩擦力分别为多大? 若要拉动木箱, 水平拉力应满足什么条件?

3. 摩擦力的调控

在生产生活中, 我们有时需要尽可能加大摩擦力, 有时又希望把摩擦力减到最小。掌握了摩擦力的有关规律, 就可根据需要找到调控摩擦力的方法。我们需要增大摩擦力时, 可采用加大压力的方法或选用动摩擦因数更大的材料等; 我们需要减小摩擦力时, 则可采用相反的方法。例如, 为了打开密封的瓶装罐头盖子, 人们发明了可增大摩擦力的开瓶器 (图 3-32); 在冰壶比赛中, 为了让冰壶能够在赛道上按照期望的方式滑动, 运动员就要反复刷冰以减小摩擦力 (图 3-33)。



图 3-32 开瓶器



图 3-33 冰壶比赛中刷冰

调控摩擦力的巧妙方法还有很多。然而, 人们发现, 虽可用各种办法减小摩擦力, 却不可能完全消除摩擦力。不过, 若对于研究的问题来说, 摩擦力小到可忽略不计, 我们则称相关的物体为光滑物体。

能了解重力、弹力、摩擦力和胡克定律的内涵, 能计算滑动摩擦力, 知道标量与矢量; 能用重力、弹力和摩擦力等概念与规律说明生产生活中的相关现象, 解决一些相关的实际问题。具有与重力、弹力及摩擦力相关的初步的相互作用观念。

——物理观念



素养提升

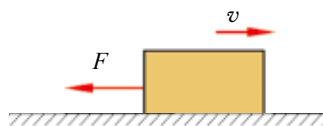


节 练 习

1. 在平直公路上，一人用水平力推抛锚的汽车但未推动。有同学认为，原因是人的推力小于汽车受到的静摩擦力。该同学的说法是否正确？若正确，请说明理由；若不正确，请指出错误之处，并作出正确解释。
2. 质量为 m 的运动员用双手握住固定的竖直杆匀速攀上和匀速滑下时，所受的摩擦力分别是哪一种摩擦力？摩擦力的大小和方向如何？
3. 有同学说，滑动摩擦力的公式 $f = \mu N$ 中 N 的大小一定等于物体重力的大小。这种说法对吗？请举例加以说明。
4. 如图所示，用手握住杯子使其竖直静止于空中。下列说法正确的是
 A. 杯子受到的摩擦力方向竖直向上
 B. 杯子受到的摩擦力大小与重力大小相等
 C. 手握得越紧，杯子受到的摩擦力越大
 D. 手握得越紧，杯子和手之间的最大静摩擦力越大
5. 如图所示，水平向右运动的物体重力为 200 N ，物体与水平面之间的动摩擦因数 $\mu = 0.1$ 。在运动过程中，物体还受到一个水平向左的拉力 F 的作用。求物体受到的摩擦力。
6. 请想象并描述如果世界上没有摩擦力会是什么样子。



第4题



第5题

请提问





章末练习

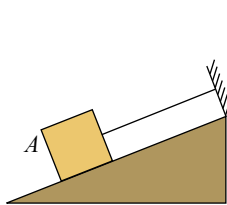
科学认知

1. 如图所示, 某同学以水平力推水平地面上的桌子, 但未推动。请分析在他推桌子的过程中, 桌子受到哪些力的作用, 并指出这些力的施力物体。
2. 在光滑水平桌面上放置一刻度模糊的弹簧测力计, 两位同学各用 5 N 的水平力沿相反方向拉弹簧测力计的两端, 测得弹簧伸长了 2 cm 。该弹簧测力计的读数应该是多少? 弹簧的劲度系数是多少?
3. 对下列情形中的物体 A 进行受力分析, 并作出它的受力示意图。

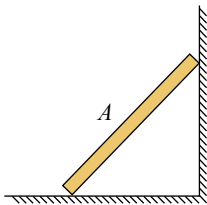


第1题

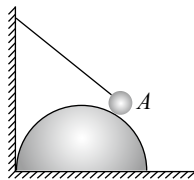
- (1) 系有细绳的物体 A 静止于光滑斜面上 [图 (a)]。
- (2) 梯子 A 上端斜靠在竖直光滑墙面上, 下端置于粗糙水平地面, 且处于静止状态 [图 (b)]。
- (3) 系有细绳的小球 A 静止于光滑球面上 [图 (c)]。



(a)



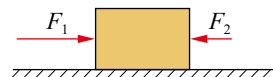
(b)



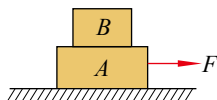
(c)

第3题

4. 一根轻弹簧一端固定。在弹性限度内, 若对另一端施加 30 N 的拉力时, 弹簧长度为 20 cm ; 若施加 30 N 的压力时, 弹簧长度为 14 cm 。求弹簧的原长和劲度系数。
5. 如图所示, 一木箱受到两个大小分别是 $F_1 = 10\text{ N}$ 、 $F_2 = 4\text{ N}$ 的水平推力的作用, 且处于静止状态。求木箱受到的摩擦力。若将 F_1 撤去, 木箱受到的摩擦力又如何?
6. 如图所示, 在水平桌面上放一个重力 $G_A = 20\text{ N}$ 的木块, 木块与桌面间的动摩擦因数 $\mu_A = 0.4$ 。为使这个木块沿桌面做匀速运动, 水平拉力 F 应为多大? 如果再在木块 A 上加一块重力 $G_B = 10\text{ N}$ 的木块 B , B 与 A 之间的动摩擦因数 $\mu_B = 0.2$ 。当 A 、 B 两木块一起沿桌面匀速滑动时, 作用于木块 A 的水平拉力 F 应为多大? 此时木块 B 是否受到摩擦力的作用?

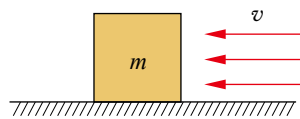


第5题



第6题

- *7. 一只弹簧测力计由于更换内部弹簧, 导致示数与真实值不符。某同学进行了以下测试: 不挂重物时, 示数为 2 N ; 挂 100 N 重物且保持静止时, 示数为 92 N 。求示数为 20 N 时, 所挂物体的实际重力。
- *8. 如图所示, 一质量为 m 的正方体物块置于风洞内的水平面上, 其中一面与风速垂直, 风速为 v_0 时刚好能推动该物块。已知风对物块的推力 $F \propto Sv^2$, 其中 v 为风速, S 为物块迎风面积。风速变为 $2v_0$ 时, 刚好能推动用同一材料做成的另一正方体物块, 假设最大静摩擦力等于滑动摩擦力, 则该物块的质量为多少?

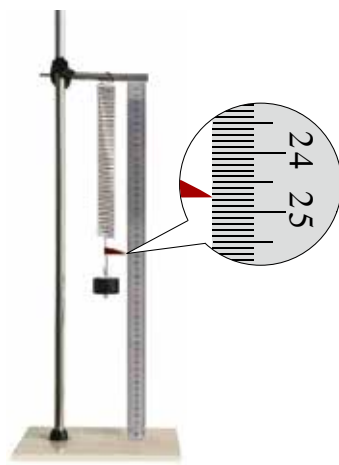


第8题



科学探究

9. 小王在做“探究弹簧弹力的大小与伸长量的关系”实验时，安装好实验装置，让刻度尺0刻度线与弹簧上端平齐。在弹簧下端挂一个钩码，静止时弹簧长度如图所示，其示数为_____cm。在弹簧下端挂三个钩码时，弹簧长度为24.95 cm。已知每个钩码质量是50 g，当地重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ，据此小王计算出弹簧的劲度系数为_____N/m。小红同学发现小王的计算结果与弹簧的标称值相差较大，请你帮助小红提出更合理的数据处理方案：_____。

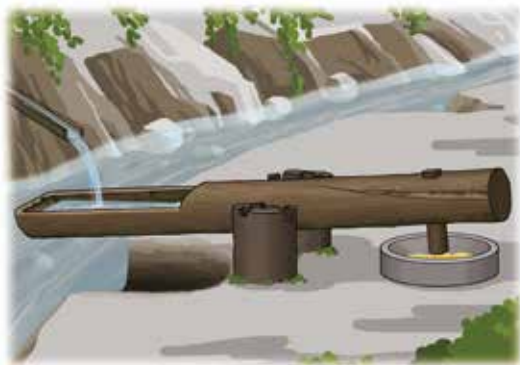


第9题

- *10. 请设计一个实验，测量鞋底与地面之间的动摩擦因数。要求写出实验原理，列出实验器材、实验步骤、数据表格等。

科学辨析

11. 我国少数民族地区使用的一种舂米装置如图所示。高处流水注入木槽，一段时间后木槽会绕转轴转动把槽内的水倒空，随即复位。此时，木槽另一端的装置会撞击下面的谷米等，如此反复，即可利用水力帮人劳作。
- (1) 请说明该装置重心位置相对于转轴变化的规律。
 - (2) 该装置往复运动一次的时间可能与哪些因素有关？为什么？



第11题

科技交流

12. 近年来，游泳、滑雪、滑冰等体育运动项目都通过改进装备来减小各种摩擦阻力。请收集相关资料，调查分析其中一种装备在过去几年里的改进情况，说明物理学对这些技术的改进产生了怎样的影响。



我的学习总结



第4章

力与平衡

导 入 感悟平衡之美

第1节 科学探究：力的合成

第2节 力的分解

第3节 共点力的平衡

▶▶本章学业要求

●能进行力的合成与分解，对标量和矢量有比较全面的了解，知道矢量运算的平行四边形定则；能用共点力的平衡条件分析生产生活中的相关问题，解决一些相关的实际问题。具有与力平衡相关的初步的相互作用观念。——物理观念

●能体会力的等效替代方法；能运用数学中的三角函数、几何关系等对力与平衡的问题进行分析和推理，获得结论；能使用简单和直接的证据表达自己的观点；能从不同角度解决力与平衡的问题。——科学思维

●能完成“探究两个互成角度的力的合成规律”等物理实验。能观察实验现象，发现并提出物理问题，能作出初步的假设；能根据已有实验方案，使用弹簧测力计等器材收集数据；能通过图形分析，寻找规律，形成初步的结论，能与猜想进行比较；能参考教科书撰写有一定要求的实验报告，在报告中能呈现对实验数据的分析过程，知道交流的重要性。——科学探究

●通过对力的合成规律的探究，能体会物理学研究中科学假设的重要性；能欣赏“力与平衡”之美，能做到实事求是，坚持自己的观点；能为我国古代精湛的建筑技术而骄傲，体会物理学的应用在生产生活中的作用及意义。——科学态度与责任



导 人

感悟平衡之美

大自然鬼斧神工，留下了无数令人叹为观止的奇景。

贵州梵净山的蘑菇石，看似岌岌可危，实则相当稳固。这亿万年沧桑历练出来的自然造化，给人们带来了许多关于力与平衡的启迪和遐想。

人类以自己的勤劳和智慧，不断探索包括力与平衡在内的各种自然规律，并且利用这些规律创造出无数巧夺天工之作。



贵州梵净山的蘑菇石



山西悬空寺

被明代大旅行家徐霞客（1587—1641）誉为“天下奇观”的山西悬空寺，上接危岩，下临深渊，层层叠叠的殿阁犹如悬在半空之中。它历经了上千年的风雨，仍然能够牢牢地紧贴在峭壁之上。古代工匠们想象力之丰富、建筑技艺之高超、对力与平衡规律的运用之精巧，令人惊叹不已。

大自然的造化与人类的杰作，让我们感受到了力与平衡的美妙与神奇。为何梵净山的蘑菇石不下落？为何悬空寺能固悬峭壁？带着这些问题，我们将学习共点力作用下物体平衡的相关内容。

第1节

科学探究：力的合成

生活中常有这样的情境：两个人可将购物篮提起使其处于静止状态（图 4-1），一个人也可将这个购物篮提起使其处于同样状态，但这两种情形中手对购物篮的作用力不同。这些力之间有什么关系呢？本节将学习共点力的合成，通过实验探究共点力合成的规律。

1. 共点力的合成

如果几个力同时作用在物体上的同一点，或它们的作用线相交于同一点，我们就把这几个力称为**共点力**（concurrent force）。当物体同时受到几个力的作用时，我们可用一个力来代替它们，且产生的作用效果相同。物理学中把这个力称为那几个力的**合力**（resultant force），那几个力则称为这个力的**分力**（component force）。求几个力的合力的过程称为**力的合成**（composition of forces）。在图 4-1 中，两人对购物篮的作用力 F_1 和 F_2 是共点力。若由一个人提起购物篮，此时人对购物篮的作用力为 F 。共点力 F_1 和 F_2 的作用效果与 F 的作用效果相同，因此 F 是 F_1 和 F_2 的合力， F_1 和 F_2 则是 F 的分力。

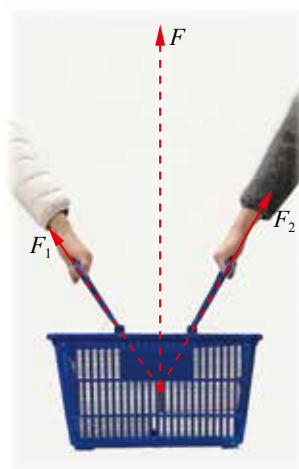


图 4-1 提起的购物篮

我们已学会了同一直线上两个力的合成。但是在很多情况下，作用在物体上的几个共点力互成角度，如图 4-1 中的 F_1 和 F_2 。那么，力的合成遵循什么规律呢？

2. 探究两个互成角度的力的合成规律

当作用在物体上的两个共点力不在一条直线上时，它们合力的大小是否等于两个分力大小之和或之差？这时的合力应该怎样确定？

实验目的

- （1）探究两个互成角度的共点力与其合力间的关系。
- （2）学习用等效的思想探究矢量合成的方法。

实验器材

木板、橡皮筋、细线、弹簧测力计、图钉、白纸、铅笔、刻度尺、三角板。



实验原理与设计

让两个互成角度的共点力 F_1 和 F_2 作用于某一物体，并产生明显的作用效果；然后用一个力 F 来代替 F_1 和 F_2 ，产生同样的作用效果。测出 F_1 、 F_2 和 F ，比较它们的大小和方向，找出其中的规律。

实验步骤

(1) 如图 4-2 (a) 所示，在铺有白纸的木板上，将橡皮筋一端用图钉固定于 A 点，另一端与两细线打一个结点 B 。两细线分别挂上测力计。

(2) 如图 4-2 (b) 所示，分别用力拉两只测力计，用铅笔标出结点 B 被拉伸到的位置，记为 O 点。记下此时两只测力计的示数 F_1 、 F_2 ，并沿两细线标记出力的方向。

(3) 如图 4-2 (c) 所示，用力拉一只测力计，同样将结点 B 拉到 O 处，记下此时测力计的示数 F ，并沿细线标记出力的方向。

(4) 用力的图示画出 F_1 、 F_2 及 F 。



安全警示

不要将橡皮筋拉伸过长，小心放置图钉等，避免造成伤害。

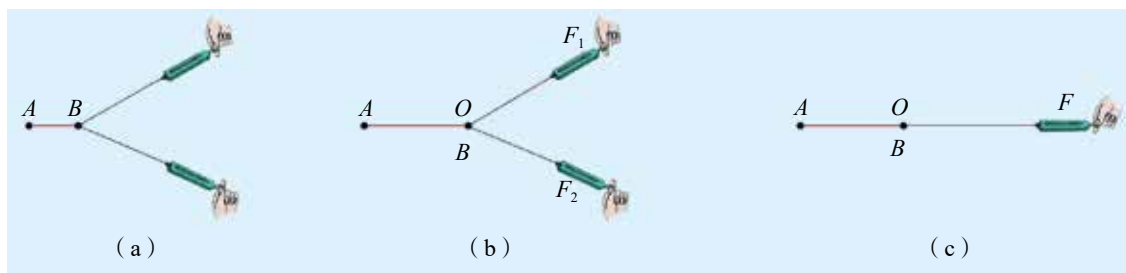


图 4-2 探究共点力的合成

数据分析

比较 F_1 、 F_2 、 F 的大小和方向，能否看出三者之间的关系？试一试，将 F_1 、 F_2 、 F 的箭头端用虚线连起来，能否找出规律并进行论证？

对比其他实验小组的数据，看一看你发现的规律是否具有普遍性。

实验结论

F 是 F_1 、 F_2 的合力， F_1 、 F_2 和 F 满足 _____ 关系。

讨论

保持两只测力计的拉力大小不变，只改变它们的夹角，合力的大小如何变化？合力大小是否一定等于原来两个力的大小之和？合力是否一定大于原来的每一个力？请通过实验得出结论并说明原因。

能观察实验现象，发现并提出物理问题，能作出初步的假设；能根据已有实验方案，使用弹簧测力计等器材收集数据；能通过图形分析，寻找规律，形成初步的结论，能与猜想进行比较；能参考教科书撰写有一定要求的实验报告，在报告中能呈现对实验数据的分析过程，知道交流的重要性。

注意提升提问能力、猜想假设能力及利用图像进行分析论证的能力。

——科学探究

3. 平行四边形定则

大量实验研究表明, 若以表示互成角度的两共点力的有向线段为邻边作平行四边形, 则两邻边间的对角线所对应的这条有向线段就表示这两个共点力的合力大小和方向, 如图 4-3 (a) 所示。这就是共点力合成所遵循的**平行四边形定则** (parallelogram rule)。

实际上, 物体所受的力常常不止两个。如果物体受到三个或更多个共点力的作用, 我们可用平行四边形定则先求出其中两个力的合力, 然后用平行四边形定则再求这个合力与第三个力的合力 [图 4-3 (b)], 直到把所有外力都合成为止, 最后得到这些力的合力。

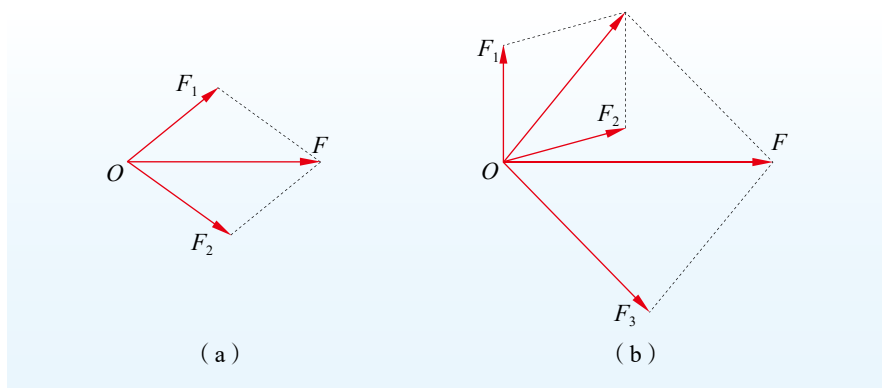


图 4-3 用平行四边形定则进行力的合成

前面已从有无方向的角度认识了矢量和标量。从运算角度来看, 相加时遵循平行四边形定则的物理量称为矢量, 如力、加速度等都是矢量; 相加时遵循代数相加法则的物理量称为标量, 如时间、路程等都是标量。矢量与标量遵循不同的运算法则, 这是二者的重要区别。



拓展一步

用三角形定则求合力

由平行四边形定则可推出矢量合成的三角形定则。在求合力时, 只要把表示原来两个力的有向线段首尾相接, 然后从第一个力的始端向第二个力的末端画一条有向线段, 这条有向线段就表示原来两个力的合力 (图 4-4)。

如果物体受两个以上的力的作用, 仍然可以用同样的作图法。把表示所有力的有向线段依次首尾相接, 这样, 从第一个力的始端向最后一个力的末端画出的有向线段就表示所有力的合力 (图 4-5)。

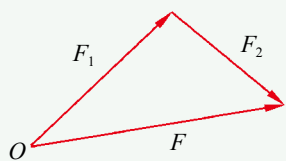


图 4-4 两力的合成示意图

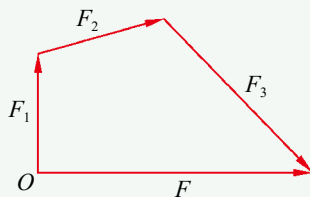


图 4-5 三力的合成示意图



例题

岸边两人同时用力拉小船，两力的大小和方向如图 4-6 所示。请分别用作图法和计算法求出这两个力的合力。

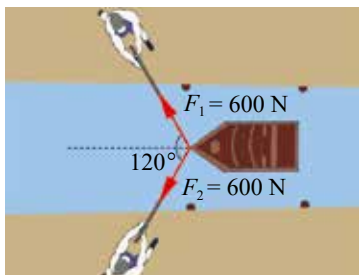


图 4-6 两人拉小船示意图

分析

已知两个共点力 F_1 、 F_2 的大小和方向，根据平行四边形定则，用力的图示法作平行四边形，那么，对角线对应的有向线段就表示这两个力的合力。

解

(1) 作图法

选定合适的标度，如用 5.0 mm 长的线段表示 150 N 的力，用 O 点代表船。依据题意作出力的平行四边形，如图 4-7 所示。

用刻度尺量出表示合力 F 的对角线长为 20.0 mm，可求得合力的大小

$$F = 20.0 \times \frac{150}{5.0} \text{ N} = 600 \text{ N}$$

用量角器量出 F 与 F_1 的夹角为 60° 。

故这两个力的合力大小为 600 N，方向与 F_1 成 60° 。

(2) 计算法

如图 4-8 所示，平行四边形的对角线 AB 、 OD 交于 C 点，由于 $OA = OB$ ，所以平行四边形 $OADB$ 是菱形， OD 与 AB 互相垂直平分， OD 是 $\angle AOB$ 的角平分线，则

$$\angle AOD = 60^\circ, OD = 2OC = 2OA \cos 60^\circ$$

因此，合力的大小

$$F = 2F_1 \cos 60^\circ = 600 \text{ N}$$

方向与 F_1 成 60° 。

讨论

由计算可知，当两个力等大且夹角等于 120° 时，其合力与这两个力大小恰好相等。要使合力大于或小于这两个力，夹角需分别满足什么条件？

策略提炼

两个力的合力既可用作图法，又可通过计算求得。作图法直观明了，但在作图和测量时难免存在误差。相对而言，通过计算得到的结果更精确。在进行计算时，通常先作出平行四边形，再用三角函数等相关数学方法求解。选择用作图法还是通过计算求解，应根据题目的要求确定。

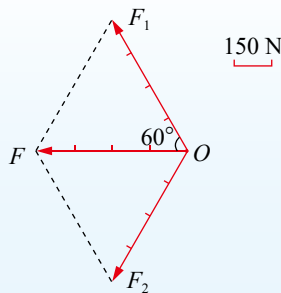


图 4-7 作图法求合力大小

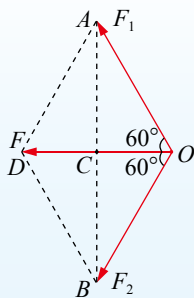


图 4-8 计算法求合力大小



迁移

用计算法求合力，在画出平行四边形后，通常可用多种数学方法求解。上题还有其他计算方法吗？试试用更简单的方法求解。



物理聊吧

自制一个平行四边形模型（图4-9），结合模型讨论以下问题：

- （1）合力的大小和方向怎样随两个分力夹角的改变而改变？
- （2）合力是否总是大于两个分力？合力何时达到最大值，何时达到最小值？
- （3）当两个分力之间的夹角分别为 0° 和 180° 时，它们的合力如何计算？

说一说你的想法，并与同学交流。

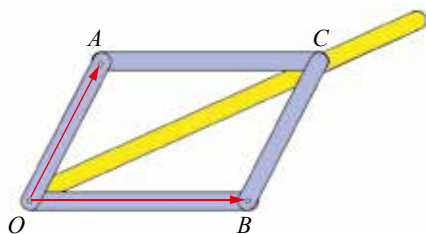
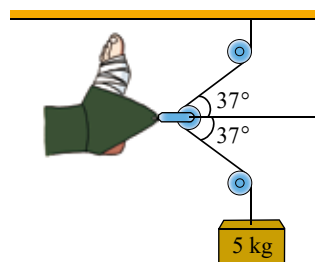


图4-9 平行四边形模型



节练习

1. 请参考教科书内容撰写“探究两个互成角度的力的合成规律”的实验报告，注意在报告中呈现通过实验数据及力的图示得出初步结论的过程。
2. 在学过的物理量中，分别指出三个矢量和三个标量，并说出它们的运算规则。当几个矢量同一条直线上时，它们的合成有什么特点？
3. 关于“探究两个互成角度的力的合成规律”的实验，下列说法正确的是
 - A. 测合力时，橡皮筋的结点应被拉到测对应分力时的同一位置
 - B. 实验中应尽量保持弹簧测力计的拉力方向与木板平行
 - C. 实验中应保证两只弹簧测力计的拉力大小之和等于所测合力的大小
 - D. 以两个力为邻边作平行四边形，两邻边间的对角线对应的有向线段表示合力的大小和方向
4. 若两个力大小分别为 $F_1 = 3\text{ N}$ 、 $F_2 = 8\text{ N}$ ，则它们的合力大小可能为
 - A. 1 N B. 3 N C. 10 N D. 13 N
5. 作用在同一物体上的两个力的大小分别为 $F_1 = 20\text{ N}$ 、 $F_2 = 20\text{ N}$ 。先用作图法求出两个力的夹角分别为 60° 、 90° 、 120° 时合力的大小和方向，再通过计算法求解。
6. 三力的大小分别为 2 N、7 N、8 N，其夹角可变化。求它们合力的最大值和最小值。
7. 医生在治疗腿脚骨折时，常用如图所示的牵引方法。试算出图中伤腿所受的拉力。（取 $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ，重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$ ）



第7题

第2节

力的分解

物体受到多个力的作用时，可用一个力来等效替代。若物体受到某一个力的作用，是否也可用几个力来等效替代？本节将学习力的分解。

1. 力的分解

多个力同时作用在一个物体上，可产生一个总的效果（图 4-10）。反之，作用在物体上的一个力，也可产生多个效果。例如，当用右手提一只沉重的箱子时，你的身体将不由自主地倾向左侧（图 4-11），这时你提箱子的力 F 就产生了两个作用效果：一个竖直向上，它使箱子提起并保持在一定高度；另一个水平向左，它使箱子紧压在你右腿的外侧。若把这两个效果分别视为是由力 F_1 和 F_2 产生的，我们就可用 F_1 和 F_2 来替代 F ， F_1 、 F_2 为 F 的分力。求一个已知力的分力的过程称为**力的分解**（resolution of force）。



图 4-10 合力的作用



图 4-11 分力的作用



迷你实验室

感受力的作用效果

取一根细线，将细线的一端系在右手中指上，另一端系上一个重物。取一支铅笔，一端顶在细线上的某一点，另一端置于右手掌心（图 4-12）。你能感觉到重物竖直向下拉细线的力产生的作用效果吗？请根据你的感受在图中标出这两个分力的方向。操作时请注意安全，避免被笔尖刺伤、重物砸伤等。

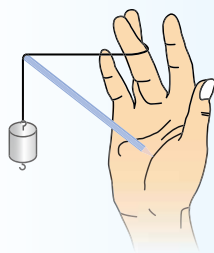


图 4-12 感受力的作用效果

两个力可合成为一个合力，一个力也可分解为两个分力。实际上，在力的合成中，组成合力的每一个力都可视为分力。所以，力的分解是力的合成的逆运算，力的分解同样遵循平行四边形定则。

理论上，不论有多少个共点力，都可以用一个合力来等效替代。当各分力已知时，合力是唯一确定的。反之，一个力也可用多个分力来等效替代，但因为对同一条对角线可作出无数个平行四边形，所以合力的分解方式也是多种多样的。

2. 力的正交分解

在许多情况下，为了计算方便，可把一个力分解为两个互相垂直的分力，这种分解方法称为力的正交分解。

人拉行李箱时（图 4-13），可将其拉力进行分解。沿水平与竖直两个方向建立直角坐标系，将人拉箱子的力 F 沿 x 轴和 y 轴两个方向分解（图 4-14），可得

$$F_x = F \cos \theta$$

$$F_y = F \sin \theta$$

F_x 产生水平向前拉箱子的效果， F_y 产生竖直向上提箱子的效果。



图 4-13 拉力的作用效果

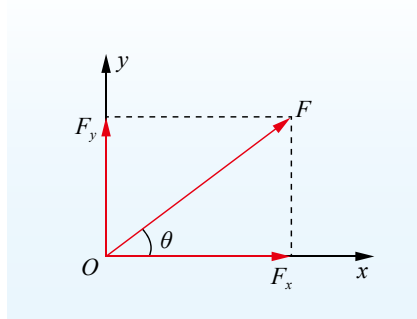


图 4-14 拉力的正交分解

如图 4-15 所示，人沿斜面下滑，为了研究问题的方便，可将人受到的重力按正交分解法进行分解。沿平行于斜面和垂直于斜面两个方向建立直角坐标系，将重力 G 沿 x 轴和 y 轴两个方向分解。

若斜面的倾斜角为 θ ，由三角函数知识可得

$$G_1 = G \sin \theta, \quad G_2 = G \cos \theta$$

G_1 产生使人沿斜面下滑的效果， G_2 产生使人紧压斜面的效果。

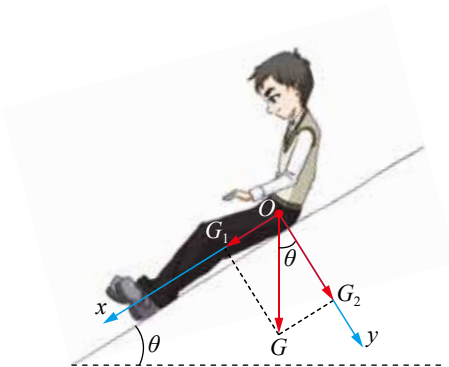


图 4-15 沿斜面下滑时重力的正交分解



3. 力的分解的应用

在生产生活中，力的分解有着十分广泛的应用。上山的路一般修成盘山公路（图 4-16），城市中高架桥要建造很长的引桥，这是为什么呢？由上面的例子可知，斜面越陡，倾角 θ 就越大，分力 G_1 也就越大，分力 G_2 则越小。汽车上坡时，需克服分力 G_1 的阻碍作用；下坡时，分力 G_1 产生使车下滑的效果。因此，修建盘山公路和很长的引桥等是为了减小坡度，使汽车上坡时更容易、下坡时更安全。

巧妙利用分力可为生活提供便利。如图 4-17 所示，为拉出陷入泥坑的汽车，可将绳子的一端绑在树上，另一端和汽车相连，并使绳子绷紧，然后在绳子中间用垂直于绳的力拉绳。这个拉力便可分解成两个较大的分力，使绳对汽车产生很大的拉力，从而把汽车从泥坑中拉出。



图 4-16 盘山公路

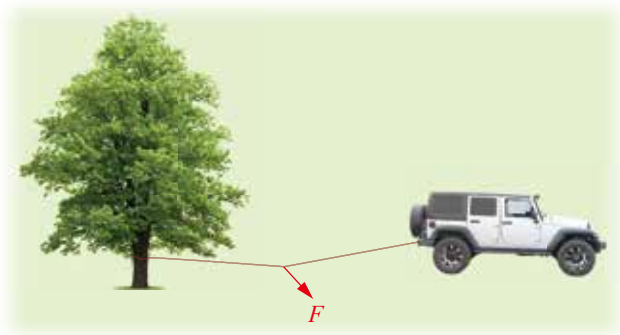


图 4-17 较小的力可分解为较大的力



迷你实验室

分力大小与夹角的关系

在一只带把手的杯子里加半杯水，用一根橡皮筋水平拉着（图 4-18），直到把杯子拉动，感受两手用力的大小。当两根橡皮筋之间的夹角增大时，同样拉动杯子，你感觉两手所用的力是增大了还是减小了？



图 4-18 感受夹角对分力的影响

当合力一定时，分力的大小和方向将随分力间夹角的改变而改变；在两分力大小相等的情况下，分力间夹角越大，分力越大（图 4-19）。

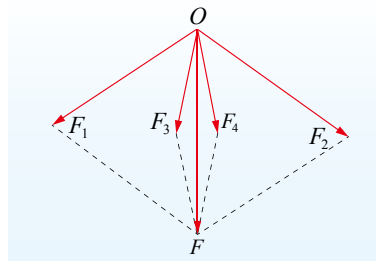


图 4-19 分力与夹角有关

在我国古代，智慧的劳动人民就利用合力与分力的关系，设计出了结构精美的拱桥，大大提高了桥梁的承载能力（图4-20）。例如，赵州桥（图4-21）就是古代劳动人民智慧的结晶，它开创了中国桥梁建造的崭新局面，载入了世界桥梁史册。

能欣赏“力与平衡”之美；
能为我国古代精湛的建筑技术而骄傲，体会物理学的技术应用在
生产生活中的作用及意义。

——科学态度与责任

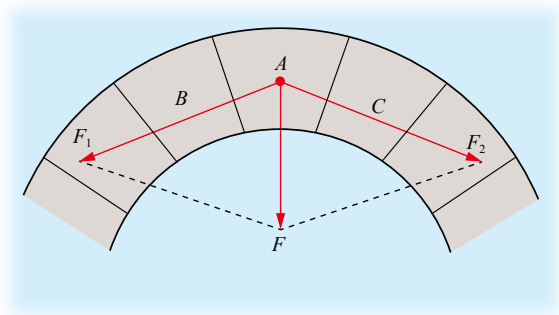


图4-20 拱桥的受力分析



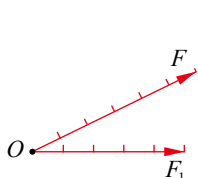
图4-21 赵州桥

节练习

1. 试分析图中手推车里的物品受到的重力会产生哪两个作用效果。按照平行四边形定则画出物品受到的重力以及它的两个分力的示意图。
2. 如图所示，已知合力 F 及其中一个分力 F_1 ，或者知道合力 F 及两个分力的方向，用作图法求未知的分力。

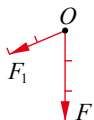


(a)

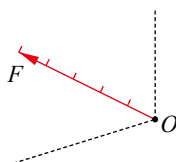


(b)

10 N



(c)



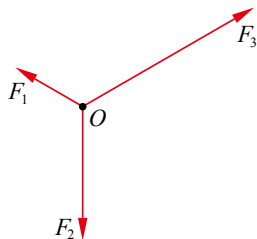
(d)

第2题



第1题

3. 如图所示，一个物体受到三个互成 120° 的共点力的作用。已知 $F_1 = 10\text{ N}$ ， $F_2 = 20\text{ N}$ ， $F_3 = 30\text{ N}$ ，求物体受到的合力。
4. 如图所示，当你在单杠上做“引体向上”动作时，两臂的夹角越大，身体上升就越困难。请解释原因。



第3题



第4题

5. 上网查询相关资料，了解我国赵州桥及悬空寺等的基本信息、建筑结构和建筑价值等，完成一篇小论文，并与同学交流讨论。

第3节

共点力的平衡

远古的巨石，至今仍然矗立，向人们述说史前的故事（图 4-22）。繁华的现代都市，一切都在高速运转，人们却自有动中取静的办法。在商场，你即使站着不动，自动扶梯也会平稳地送你上楼、下楼（图 4-23）。



图 4-22 远古巨石



图 4-23 商场扶梯

为什么远古的巨石至今不倒？为什么站在扶梯上的人能平稳运动？本节将学习与此相关的平衡状态及所需满足的平衡条件。

1. 物体的平衡状态

在日常生活中，我们看见房间里的家具、放在桌面上的书等，都像远古巨石那样处于静止状态；在平直公路上匀速行驶的汽车、无风时天空匀速降落的雨滴等，都像匀速自动扶梯上的人一样处于匀速直线运动状态。

物理学中，把物体静止或做匀速直线运动时所处的状态称为平衡状态。



物理聊吧

飞机从起飞到以一定速度平稳飞行(图4-24),再到降落,最后停在机场的停机坪上。在这个过程中,哪些阶段飞机处于平衡状态?



图4-24 平稳飞行的飞机

2. 共点力的平衡条件

物体保持平衡状态需要满足什么条件? 我们知道, 物体在不受任何外力作用或受到两个平衡力作用时, 将处于平衡状态。从力的合成来分析, 此时物体所受合力 $F_{\text{合}} = 0$ 。

那么, 物体同时受到多个互成角度的共点力作用时, 要满足什么条件才能处于平衡状态呢? 我们知道, 任意两个共点力都可用一个合力来等效替代。据此, 三个及以上的共点力最终都可等效简化为两个共点力。可见, 三个及以上共点力的平衡, 最终也都可简化为二力平衡。因此, 共点力作用下物体的平衡条件是合力为 0, 即

$$F_{\text{合}} = 0$$

也可以说, 若作用在物体上的几个共点力的合力为 0, 就达到了**力的平衡** (equilibrium of forces)。梵净山的蘑菇石和山西的悬空寺, 正是因为满足了平衡条件而屹立不倒。



迷你实验室

共点力的平衡条件

用三只弹簧测力计沿三个方向拉住一个轻小物体(图4-25), 记下弹簧测力计的示数及作用力的方向, 根据平行四边形定则确定三个力是否满足平衡条件。

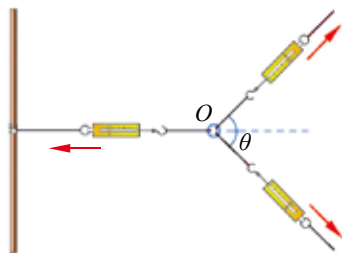


图4-25 探究共点力的平衡条件



拓展一步

判断受多个共点力作用的物体是否处于平衡状态

物体在多个共点力作用下处于平衡状态时，所受合力为0。此时平移力的作用线，使各力首尾相接，必然会构成一个封闭的多边形（图4-26）。反过来，我们也可根据物体所受的多个共点力能否构成封闭的多边形，来判断物体是否处于平衡状态。

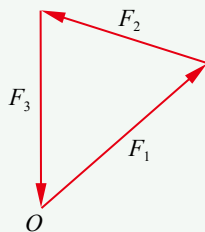


图4-26 三力平衡



例题

用绳子将鸟笼挂在一根横梁上，如图4-27所示。若鸟笼重19.6 N，求绳子OA和OB对结点O的拉力。

分析

如图4-28所示，以结点O为研究对象，它受到鸟笼上端绳子的拉力 T ，以及两段绳子OA和OB的拉力 F_1 、 F_2 。结点O在这三个共点力的作用下处于平衡状态，其中， F_1 和 F_2 的合力 F 与 T 大小相等、方向相反， T 的大小与鸟笼所受重力大小相等。由此可通过平行四边形定则作图求解。

解

以结点O为研究对象，根据共点力的平衡条件，作受力分析如图4-28所示。

$$F = T, \text{ 且 } T = G$$

由三角函数关系得

$$F_1 = F \cos 30^\circ = 19.6 \times 0.866 \text{ N} = 17.0 \text{ N}$$

$$F_2 = F \sin 30^\circ = 19.6 \times 0.5 \text{ N} = 9.8 \text{ N}$$

所以，绳子OA对结点O的拉力大小是17.0 N，方向沿绳由O指向A；OB对结点O的拉力大小是9.8 N，方向沿绳由O指向B。

讨论

实际上绳子对结点O的拉力与结点O对绳子的拉力大小是相等的，因此OA、OB两段绳子所受的拉力并不相等。若两绳能承受的最大拉力相同，持续增大悬挂物的重力，受拉力较大的OA段绳子就先被拉断。请验证一下这是否符合实际情况。

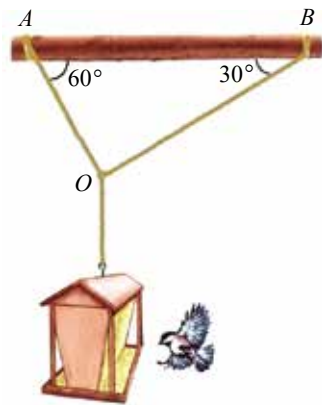


图4-27 静止的鸟笼

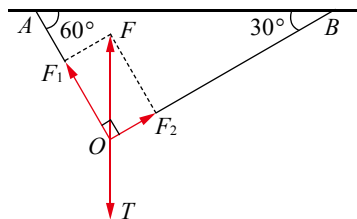


图4-28 对结点O作受力分析



迁移

求解平衡问题还可利用正交分解的方法。先建立直角坐标系，将物体受到的各个力都分解到 x 、 y 轴方向，由平衡条件可得， x 、 y 轴方向的合力必须同时为 0（想想为什么），由此可列出两个方程，通过解方程组求解问题。你能用该方法求解上面的例题吗？请试一试。

素养提升

能进行力的合成与分解，对标量和矢量有比较全面的了解，知道矢量运算的平行四边形定则；能用共点力的平衡条件分析生产生活中的相关问题，解决一些相关的实际问题。具有与力平衡相关的初步的相互作用观念。

——物理观念

策略提炼

解决共点力的平衡问题，通常先确定研究对象，再进行受力分析，然后根据平衡条件建立未知量与已知量的关系列方程求解。

若物体受到三个力的作用且处于平衡状态，则其中任意两个力的合力必然与第三个力大小相等、方向相反。这时可根据平行四边形（或三角形）的几何关系列方程求解，也可用正交分解方法求解。若物体在更多力的作用下处于平衡，则通常用正交分解方法列方程求解。

迷你实验室

你能超出多少

在我国某些地区有一种伸臂桥（图 4-29）。当地人将木板重叠，逐渐向河面延伸。他们用不太长的木板铺设桥面，同时使逐渐向河中心延伸的木板与泥土形成整体，并使其重心仍然在支持面内，巧妙地形成稳定的平衡结构。

现用两根木条叠放的方式探究伸臂桥的平衡稳定问题。选两块质地均匀、质量相同的木条叠放在桌子边缘如图 4-30 摆放。若木条长度均为 l ，为使这两块木条保持平衡，不致翻倒，木条 2 的右端离桌沿的水平距离最远可为多少？还有哪些因素会影响伸臂桥的安全？



图 4-29 伸臂桥及其示意图

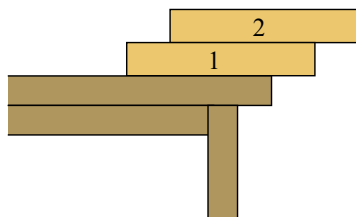
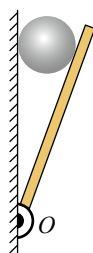


图 4-30 怎样保持平衡

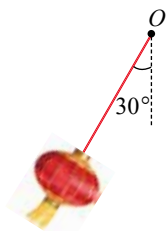


节 练 习

1. 竖直上抛的物体到最高点时的瞬时速度为 0，这时物体是否处于平衡状态？为什么？
2. 如图所示，一球置于木板与竖直墙面之间。设墙面对球的压力大小为 N_1 ，木板对球的支持力大小为 N_2 。以木板与墙连接点所形成的水平直线为轴，将木板从图示位置缓慢转到水平位置。不计摩擦，在此过程中
 - A. N_1 始终减小， N_2 始终增大
 - B. N_1 始终减小， N_2 始终减小
 - C. N_1 先增大后减小， N_2 始终减小
 - D. N_1 先增大后减小， N_2 先减小后增大
3. 如图所示，一小灯笼用轻绳连接并悬挂在 O 点，在稳定水平风力作用下发生倾斜，悬绳与竖直方向的夹角为 30° 。设灯笼的质量为 0.2 kg ，悬绳对灯笼的拉力大小为多少？
4. 如图所示，拖把是生活中常用的清洁工具，由拖杆和拖把头构成。设某拖把头的质量为 m ，拖杆质量可忽略，拖把头与地板之间的动摩擦因数为 μ ，重力加速度为 g 。用该拖把在水平地板上拖地，沿拖杆方向推拖把，拖杆与竖直方向的夹角为 θ 。若拖把头在地板上匀速移动，求推拖把的力的大小。



第 2 题

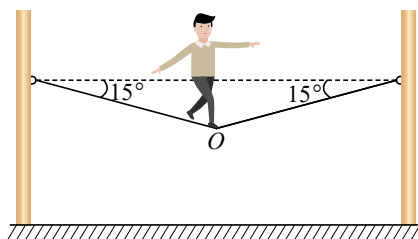


第 3 题

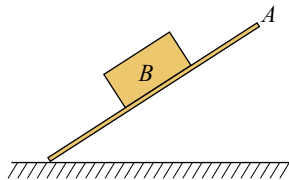


第 4 题

5. 如图所示，杂技演员在钢丝上缓慢行走，当走到中间 O 点时钢丝与水平方向的夹角为 15° 。若演员质量为 65 kg ，钢丝所受拉力为多大？（取 $\sin 15^\circ = 0.259$ ，重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，不计钢丝质量）
6. 如图所示，质量为 10 kg 的物体 B 放在倾斜的木板 A 上。当物体 B 受到一平行于木板向上、大小为 100 N 的拉力作用时，刚好沿木板匀速上滑；当物体 B 受到一平行于木板向下、大小为 20 N 的拉力作用时，刚好沿木板匀速下滑。现将木板放平，欲使 B 沿水平方向匀速运动，要对它施加多大的水平力？（取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ）



第 5 题



第 6 题

请提问





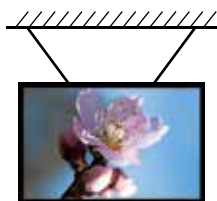
章末练习

科学认知

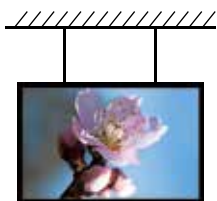
1. 如图所示, A 、 B 两个质量分布均匀的光滑球处于静止状态。它们各自所受到的力分别为

A. 3 个和 4 个 B. 4 个和 3 个
C. 3 个和 3 个 D. 4 个和 4 个

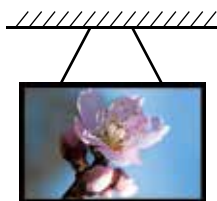
2. 用两条细绳把一个画框悬挂在墙上。下列四种挂法中, 单条细绳对画框的拉力最小的是



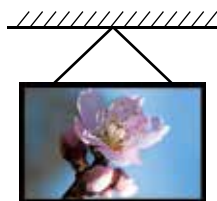
A



B



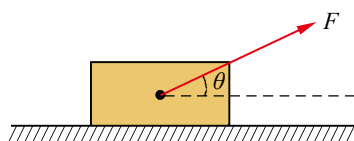
C



D

3. 如图所示, 质量为 m 的物体放在水平桌面上, 在与水平方向成 θ 角的拉力 F 作用下加速运动。已知物体与桌面间的动摩擦因数为 μ , 下列说法正确的是

A. 物体受到的摩擦力为 $F\cos\theta$
B. 物体受到的摩擦力为 μmg
C. 物体对地面的压力为 mg
D. 物体受到地面的支持力为 $mg - F\sin\theta$



第3题

4. 如图所示, 重型自卸车利用液压装置使车厢缓慢倾斜到一定角度, 车厢内的石块就会自动滑下。下列说法正确的是

A. 在石块下滑前后自卸车与石块整体的重心位置不变
B. 自卸车车厢倾角越大, 石块与车厢的动摩擦因数越小
C. 自卸车车厢倾角变大, 车厢与石块间的正压力减小
D. 石块开始下滑时, 受到的摩擦力大于重力沿斜面方向的分力



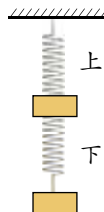
第4题

5. 将一个已知的力分解为互成角度的两个分力时, 只能得到一组解的是

A. 已知两个分力的大小
B. 已知两个分力的方向
C. 已知一个分力的大小和方向
D. 已知一个分力的大小和另一分力的方向

6. S_1 和 S_2 表示劲度系数分别为 k_1 和 k_2 的弹簧, $k_1 > k_2$; a 和 b 表示质量分别为 m_a 和 m_b 的小物块, $m_a > m_b$ 。将弹簧与物块按图示方式悬挂起来, 要求两根弹簧的总长度最长, 则应使

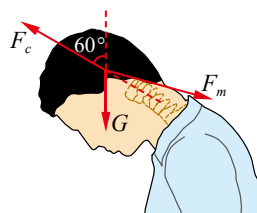
A. S_1 在上, a 在上 B. S_1 在上, b 在上
C. S_2 在上, a 在上 D. S_2 在上, b 在上



第6题



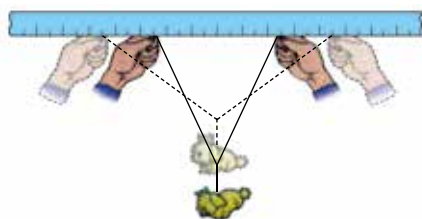
- *7. 现代人经常低头玩手机, 这会使颈椎长期受压, 可能引发颈椎病。人低头时, 可粗略认为头受到重力、肌肉拉力和颈椎支持力, 如图所示。某同学头重 G , 若低头看手机时头颈弯曲与竖直方向成 60° , 此时肌肉对头的拉力 F_m 约为头重的 4 倍, 由此估算颈椎受到的压力为多大。(颈椎受到的压力大小等于颈椎对头的支持力大小 F_c , 可用余弦定理求解)



第 7 题

科学探究

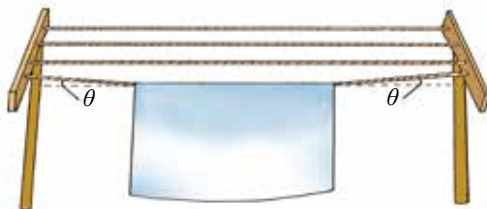
8. 在做“探究两个互成角度的力的合成规律”的实验时, 如果只有一只弹簧测力计, 其他实验器材齐全, 能否完成实验? 如果能完成, 说明应如何操作。
9. 如图所示, 在长度为 l 的细绳中间悬挂一质量为 m 的重物, 然后沿刻度尺逐渐分开双手。通过刻度尺读出细绳刚断时双手的距离为 d , 由此计算细绳能承受的最大拉力, 并说出计算依据。(动手做此实验时, 请注意安全)



第 9 题

科学辨析

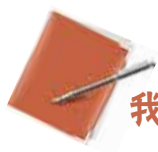
10. 如图所示, 在晒被单时, 绳子被下拉, 与水平线成一夹角 θ 。如果通过支架把绳子再拉紧些, 是否有可能把绳子拉到完全水平? 为什么?



第 10 题

温故知新

11. 将一重力可忽略不计的纸夹在书内, 已知书对纸的压力为 2 N , 若用 $F = 1\text{ N}$ 的水平拉力拉纸, 纸刚好被匀速拉出。求纸与书之间的动摩擦因数。
12. 请根据第 3 章(相互作用)和第 4 章(力与平衡)的内容, 结合你的理解, 画出概念图。



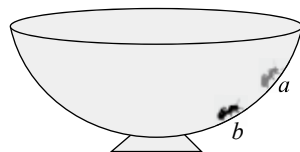
我的学习总结



单元自我检测

一、选择题（本题共 5 小题。在每小题给出的四个选项中，第 1 ~ 3 题只有一项符合题目要求，第 4、5 题有多项符合题目要求）

1. 如图所示，一只可视为质点的蚂蚁在半球形碗内缓慢从底部经过 b 点爬到 a 点。下列说法正确的是



第 1 题

- A. 在 a 点碗对蚂蚁的支持力大于在 b 点的支持力
- B. 在 a 点碗对蚂蚁的摩擦力大于在 b 点的摩擦力
- C. 在 a 点碗对蚂蚁的作用力大于在 b 点的作用力
- D. 在 a 点蚂蚁受到的合力大于在 b 点受到的合力

2. 一根轻弹簧一端固定，用大小为 F_1 的力压弹簧的另一端，平衡时长度为 l_1 ；改用大小为 F_2 的力拉弹簧，平衡时长度为 l_2 。若弹簧的压缩或拉伸均在弹性限度内，则该弹簧的劲度系数为

- A. $\frac{F_2 + F_1}{l_2 - l_1}$
- B. $\frac{F_2 + F_1}{l_2 + l_1}$
- C. $\frac{F_2 - F_1}{l_2 + l_1}$
- D. $\frac{F_2 - F_1}{l_2 - l_1}$

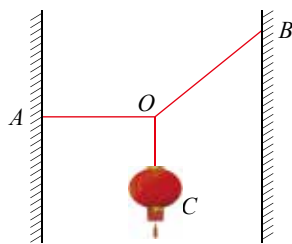
3. 重力为 G 的体操运动员竖直倒立保持静止状态时，两手臂对称支撑，夹角为 θ ，则

- A. 当 $\theta = 60^\circ$ 时，运动员单手对地面的正压力大小为 $\frac{G}{2}$
- B. 当 $\theta = 120^\circ$ 时，运动员单手对地面的正压力大小为 G
- C. 当 θ 增大时，运动员受到的合力增大
- D. 当 θ 增大时，运动员受到的合力减小

4. 两个共点力 F_1 、 F_2 大小不同，合力大小为 F ，则

- A. F_1 、 F_2 同时增大 10 N， F 也增大 10 N
- B. F_1 、 F_2 同时增大 1 倍， F 也增大 1 倍
- C. F_1 增大 10 N， F_2 减小 10 N， F 一定不变
- D. 若 F_1 、 F_2 中的一个增大， F 不一定增大

5. 如图所示，一灯笼悬挂于两墙壁之间，绳 OA 水平。若使悬挂点 A 向上移动并适当将绳 OA 延长，以保持 O 点的位置不变，则 A 点向上移动的过程中，绳 OA 的拉力大小 F_1 和绳 OB 的拉力大小 F_2 的变化可能是

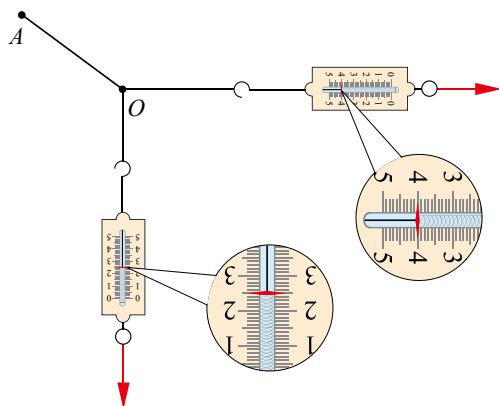


第 5 题

- A. F_1 逐渐增大
- B. F_1 先减小后增大
- C. F_2 逐渐减小
- D. F_2 逐渐增大

二、非选择题

6. 如图所示，将橡皮筋的一端固定在 A 点，另一端拴上两根细绳，每根细绳分别连着一个量程为 5 N、最小刻度为 0.1 N 的弹簧测力计。沿两个不同的方向拉弹簧测力计，当橡皮筋的活动端拉到 O 点时，两根细绳相互垂直，这时弹簧测力计的示数可从图中读出。

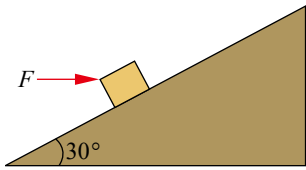


第 6 题

- (1) 由图可读得两个相互垂直的拉力的大小 F_1 和 F_2 分别为 _____ N 和 _____ N。（只需读到 0.1 N）

- (2) 在坐标纸上画出这两个力及它们的合力的图示。

7. 如图所示, 质量为 m 的物体放在一倾角为 30° 的斜面上时恰能沿斜面匀速下滑。对物体施加一个水平向右的恒力 F , 物体可沿斜面匀速向上滑行。求:



第 7 题

- (1) 物体与斜面间的动摩擦因数;
 - (2) 恒力 F 的大小。
8. 从高空下落的物体所受空气阻力随下落速度的增大而增大, 经过一段距离后将匀速下落, 这个速度称为此物体下落的终极速度。已知球形物体体积不大时所受的空气阻力 f 与速度 v 和球半径 r 成正比, 即 $f = kvr$, k 是比例系数。对于常温下的空气, 比例系数 $k = 3.4 \times 10^{-4} \text{ N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 。已知水的密度 $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m}/\text{s}^2$, 求半径 $r = 0.1 \text{ mm}$ 的球形雨滴在无风时的终极速度。



单元自我评价^①

回顾本单元的学业要求和所学内容, 结合本次单元自我检测和平时学习情况, 根据下表左列的提示, 进行自我评价, 在表中填写学会了什么、存在什么问题、今后努力的方向等相关内容。

所学内容	我学会的	存在问题	努力方向
物理概念 规律及应用			
模型建构 科学推理 科学论证 质疑创新			
问题 证据 解释 交流			
科学本质 科学态度 社会责任			

^①表格左列提示源自《课标》中物理学科核心素养所含要素。据此进行自我评价时, 若有相关内容, 请填写; 若没有, 则可不填。

第5章

牛顿运动定律

导 入 跨越时空的对话

第1节 牛顿第一运动定律

第2节 科学探究：加速度与
力、质量的关系

第3节 牛顿第二运动定律

第4节 牛顿第三运动定律

第5节 超重与失重

►►本章学业要求

●能理解牛顿运动定律的内涵，能分析超重和失重现象，知道单位制的意义及国际单位制中的力学单位；能用牛顿运动定律解释生产生活中的相关现象、解决一些相关的实际问题。具有与牛顿运动定律相关的运动与相互作用观念。——物理观念

●能领悟理想实验的科学推理方法及其意义；能对动力学问题进行分析和推理，获得结论；能用与牛顿运动定律相关的证据表达自己的观点；能从不同角度解决动力学问题，具有质疑和创新意识。——科学思维

●能完成“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”等物理实验。能从生活中的现象提出可探究的物理问题；能在他人帮助下制订科学探究方案，有控制变量的意识，会使用实验器材获取数据；能根据数据形成结论，会分析导致实验误差的原因；能参考教科书撰写有一定要求的实验报告，在报告中能对实验操作提出问题并进行讨论，能用学过的物理术语等交流科学探究过程和结果。——科学探究

●通过与伽利略、牛顿相关的史实，能认识物理学研究是不断完善的；乐于将牛顿运动定律应用于日常生活实际；能认识牛顿运动定律的应用对人类文明进步的推动作用。——科学态度与责任



导 人

跨越时空的对话

力与运动之间究竟有什么关系？

这个看似简单的问题，曾经困扰了人们数千年，并由此引发了科学史上一次次影响广泛、意义深远的思想革命，改变了人们对世界的认识。其中出现了三个重要的代表人物，他们生活在不同的时代。如果把他们对力与运动的观点放在一起进行比较，就如同聆听三位智者之间一场跨越时空的对话。

古希腊伟大的哲学家亚里士多德认为，物体的运动需要外力维持，因为地面上的物体与地球一样，它们的“自然本性”是静止；而天体则与地球不同，它们的“自然本性”是以地球为中心做圆周运动。

约两千年后，科学先驱伽利略认为，若物体在完全光滑的斜面上运动，下滑会越来越快，上滑会越来越慢，在平面上会永远运动下去。运动物体静止下来，不是因为“自然本性”，而是接触面不光滑所致。

又过了约一百年，伟大的物理学家牛顿“站在巨人的肩膀上”，经过长期的实验和理论研究，创立了以三大运动定律为基础的经典力学体系，为全新的科学发展时代奠定了基础。

三位智者跨越时空的“对话”，展示了经典力学创建的漫长而艰辛的历程。那么，牛顿的三大定律是什么？对我们的生产生活有怎样的影响？通过本章的学习，你将知道相关的答案，也将体验与这些伟人进行跨越时空的对话。



亚里士多德



伽利略



牛顿

第1节

牛顿第一运动定律

力和运动无处不在。静止的足球受到脚的作用力会运动起来；运动的汽车刹车后在阻力的作用下会停下来；飞行的乒乓球受到球拍的击打，运动的方向会发生改变……力和运动之间有何关系？本节我们将学习有关内容。

1. 力与运动的关系

如果仅靠直观感觉来看待力与运动之间的关系，我们会觉得亚里士多德的观点似乎更符合日常经验。从他的视角看，对于静止的马车，若马不拉车，车就不动；对于运动的马车，马不继续拉车，车会停下来（图 5-1）。这难道不是证明了有力才有运动，运动需要外力来维持吗？

亚里士多德的观点可表述为：有外力的作用时物体才能运动，要维持物体的运动就需要外力。

然而，伽利略设计了一个理想实验（图 5-2）。让小球沿光滑斜面从左侧某一高度滚下时，无论右侧斜面坡度如何，它都会沿斜面上升到与出发点几乎等高的地方。斜面倾角越小，小球运动到同一高度所经历的路程越远。当斜面倾角逐渐减小到 0，右侧变为水平面时，小球将为了达到那个永远无法达到的高度而一直运动下去。在这种情况下，小球在水平方向没有受力，却会一直运动下去。显然，伽利略的理想实验反驳了亚里士多德的观点。

在此基础上，法国哲学家和科学家笛卡儿（R. Descartes, 1596—1650）把伽利略的结论推广到没有重力、摩擦力、空气阻力等更理想的情况，进一步完善了伽利略的观点。他提出：若没有其他原因，运动物体将继续以原来的速度沿直线运动。



图 5-1 艺术作品中的古希腊战车

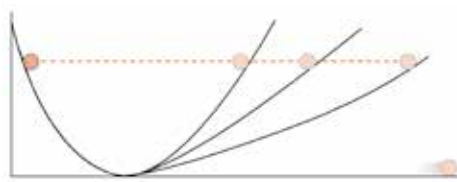
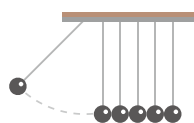


图 5-2 伽利略的理想实验设计

能领悟理想实验的科学推理方法及其意义；能从不同角度解决动力学问题，具有质疑和创新的意识。

通过与伽利略、牛顿相关的史实，能认识物理学研究是不断完善的。

——科学思维，科学态度与责任



实验与探究

匀速直线运动的演示

伽利略与笛卡儿的观点皆基于理想情况，在现实中很难实现。下面我们通过气垫导轨来演示在可忽略阻力情况下物体的匀速直线运动。如图 5-3 所示，用气泵给气垫导轨充气，气体从气垫导轨的小孔中喷出，在滑块与导轨间形成空气薄层——气垫。这样，滑块在气垫上滑动时受到的阻力很小，可忽略不计。将气垫导轨调至水平，给滑块一个初速度，使其运动起来。利用光电门和电子计时器测出滑块在运动过程中的速度几乎不变。可见，若水平方向没有外力作用，则滑块能保持匀速直线运动。



图 5-3 通过气垫导轨演示匀速直线运动

2. 牛顿第一运动定律及其意义

牛顿在伽利略、笛卡儿等人研究成果的基础上提出了著名的**牛顿第一运动定律** (Newton's first law of motion)，简称牛顿第一定律：**一切物体总保持匀速直线运动或静止状态，除非有外力迫使它改变这种状态。**

完全不受外力作用只是一种理想情况。实际上，当合外力为 0 时，物体也能保持匀速直线运动或静止状态。这也意味着，若物体受外力作用且合外力不为 0，则其运动状态（速度大小和方向）将被改变，即力是改变物体运动状态的原因。

任何物体都有保持静止或匀速直线运动状态不变的属性，物理学中将这种属性称为**惯性** (inertia)。惯性大小表示了物体运动状态改变的难易程度，它只与物体的质量有关：质量大的物体运动状态相对不易改变，惯性大；质量小的物体运动状态相对容易改变，惯性小。可以说，质量是描述物体惯性大小的物理量。

生活中，很多现象可以用惯性来解释。例如，乘坐汽车时，如果紧急刹车，我们的身体会前倾；跳远或跳高运动员助跑后，飞身一跃，会在空中继续前进；在公路上行驶的车辆，一旦遇到突发事件，小车容易停下，大车则不易停下……这些皆与物体的惯性有关。



迷你实验室

上段还是下段的细绳先断

用细绳把一本较厚重的书扎一圈，然后将细绳的一端悬挂起来，另一端用手牵住（图 5-4）。

先迅速用力将细绳往下一拉，看细绳的哪一段先断开。

再做一次，拉力逐渐加大，直到细绳被拉断，看看又是细绳的哪一段先断开。

比较两次拉断细绳的结果，想想这是为什么。



图 5-4 实验演示图



节 练 习

- 一位同学说，向上抛出的物体在空中向上运动时，肯定受到了向上的作用力，否则它不可能向上运动。你认为他的说法对吗？为什么？
- 有人认为，只有静止或做匀速直线运动的物体才具有惯性，做变速运动的物体不具有惯性。这种看法对吗？物体的惯性与物体的运动状态是否有关？请用实例来说明你的看法。
- 下列情形中，物体的运动状态发生变化的是
 - 小石块做自由落体运动
 - 小球在光滑水平面上做匀速直线运动
 - 汽车在转弯时速度的大小不变
 - 铅球被抛出以后的运动
- 对一些生活中的现象，某同学试图从惯性角度加以分析。其中正确的是
 - “强弩之末，势不能穿鲁缟”，是因为强弩的惯性减小了
 - 汽车超速行驶易引发交通事故，是因为速度大的汽车惯性大
 - 车辆转弯时适当减速，是为了减小车辆的惯性，使行驶更安全
 - 货运列车在有些车站加挂车厢，这会增大它的惯性
- 下列情况可能存在的是
 - 物体的速度很大，但惯性很小
 - 物体的惯性很大，但质量很小
 - 物体的体积很大，但惯性很小
 - 物体所受的合外力很大，但惯性很小

请提问



第2节

科学探究： 加速度与力、质量的关系

日常生活中，我们常见到如图 5-5 所示的情境：若帮忙推车的人越多，推力越大，车的速度改变就越快；相同推力下，若汽车是空车，则比满载时速度改变快。可见，汽车获得的加速度与其质量和所受外力有关。通过观察，加速度与力和质量可能存在以下关系：对同一物体，作用力越大，加速度越大；对不同物体，在相同力的作用下，物体质量越小，加速度越大。真有这样的规律吗？



图 5-5 多人推车

下面，我们通过实验来探究加速度与力、质量之间的关系。

实验目的

- (1) 探究加速度与力、质量的关系。
- (2) 学习用控制变量法探索物理规律。

实验器材

带定滑轮的木板、薄垫块、小车、细绳、重物（小钩码或沙桶等）、打点计时器、纸带、交流电源、天平、砝码、刻度尺。

实验原理与设计

本实验运用控制变量法，分别探究加速度与受力大小、加速度与质量的关系，实验装置如图 5-6 所示。实验中，通过打点计时器打出的纸带测量小车的加速度 a 。重物通过细绳给小车施加外力 F 。

若保持小车质量 m 不变，通过增减重物的方式改变作用于小车的拉力 F ，测出小车相应的加速度 a ，则可得 a 与 F 的关系；若保持拉力 F 不变，通过在小车上增减砝码的方式改变小车的质量 m ，测出相应的加



安全警示

使用打点计时器时应注意用电安全。另外，请注意避免小车、砝码及重物等意外落下，以免摔坏器材或砸伤身体。

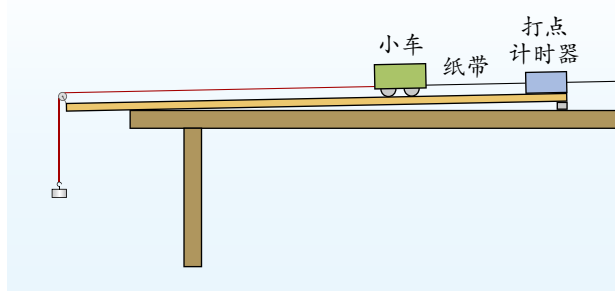


图 5-6 实验装置示意图

速度 a ，则可得 a 与 m 的关系。

实验设计有一个关键点：如何测量小车受到的合外力？常用方法是木板一端垫高，使小车不挂重物时能匀速运动，此时小车重力沿斜面的分力恰好抵消其所受摩擦力及其他阻力；同时，所挂重物的质量应远小于小车的质量。在此条件下，所挂的重物重力大小便可近似认为等于作用于小车的合外力大小。想想这是为什么。

实验步骤

(1) 将小车置于带有定滑轮的木板上，将纸带穿过打点计时器后挂在小车尾部。

(2) 用薄垫块将木板一端垫高，调整其倾斜程度，直至小车运动时打点计时器在纸带上打出的点分布均匀为止。

(3) 在细绳一端挂上重物，另一端通过定滑轮系在小车前端。注意重物质量应远小于小车质量。

(4) 将小车靠近打点计时器后开启打点计时器，稍后再将小车由静止释放。打点计时器在纸带上打出一系列点，据此计算出小车的加速度。保持小车质量不变，增加重物的质量（重物总质量仍远小于小车质量），重复实验，将小车所受的不同拉力与相应计算出的加速度记录下来。

(5) 保持重物不变，增加或减少小车上的砝码以改变小车的质量，重复实验，将小车的质量与相应的加速度记录下来。

数据分析

(1) 小车质量 m 一定时，将所受拉力 F 与相应加速度 a 的实验数据填入表 5-1 中；拉力 F 一定时，将小车质量 m 与相应加速度 a 的实验数据填入表 5-2 中。

表5-1 加速度与受力的关系（ m 不变）

实验序号	1	2	3	4	5	...
拉力 F/N						
加速度 $a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$						

表5-2 加速度与质量的关系（ F 不变）

实验序号	1	2	3	4	5	...
质量 m/kg						
加速度 $a/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$						

方法点拨

在物理实验中，要注意控制实验过程中的不同变量。若讨论加速度与受力的关系，应控制质量不变；若讨论加速度与物体质量的关系，应控制受力不变。这种控制一些物理量不变，先分别研究待测量与其中一个物理量的关系，再综合解决问题的控制变量法，被广泛地应用于科学研究中。



(2) 利用以上数据, 在坐标纸上作出 m 不变时的 $a-F$ 图像, 并探究当 F 不变时, 不同质量的物体对应的加速度的变化情况。

实验结论

分析数据及图像, 你得到的结论是:

(1) 对同一物体, 当 m 不变时, a 与 F 的关系是

_____。

(2) 对不同物体, 当 F 不变时, a 与 m 的关系是

_____。

讨论

(1) 本实验产生误差的主要原因是什么?

(2) 与同学讨论, 为何在该实验中要垫高木板一端? 为何所挂重物的质量要远小于小车质量? (若暂时没有结论, 待学习完下一节内容后再进一步研究)

(3) 对探究方案有何改进建议? 你还有其他设计方案吗?

能从生活中的现象提出可探究的物理问题; 能在他人帮助下制订科学探究方案, 有控制变量的意识, 会使用实验器材获取数据; 能根据数据形成结论, 会分析导致实验误差的原因; 能参考教科书撰写有一定要求的实验报告, 在报告中能对实验操作提出问题并进行讨论, 能用学过的物理术语等交流科学探究过程和结果。

注意提升实验设计能力与科学推理能力。

——科学探究



DIS实验室

探究加速度与力、质量的关系

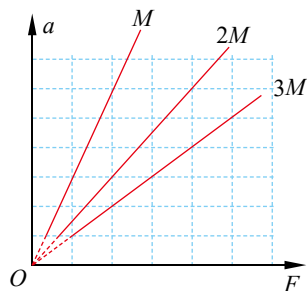
实验设计和操作与上述实验类似, 只不过测量小车的加速度时, 不使用打点计时器, 而是通过位移传感器、数据采集器在相连接的计算机上直接读出。完成相关实验操作, 输入相关数据, 计算机可直接显示小车质量不变时的 $a-F$ 图像。将小车质量增加为原来的 2 倍, 重复上述过程, 画出不同质量的小车对应的 $a-F$ 图像。分析图像, 得出结论。



节练习

- 请参考教科书内容撰写“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”的实验报告, 请对实验操作提出问题, 并进行讨论。
- 某实验小组在做本节的探究实验时, 用质量分别为 M 、 $2M$ 和 $3M$ 的小车进行了实验并作出了如图所示的图像。根据图像, 你能得到什么结论? (请写出两点)
- 在“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”实验中, 小车质量 M 和重物质量 m 分别选取下列四组值:

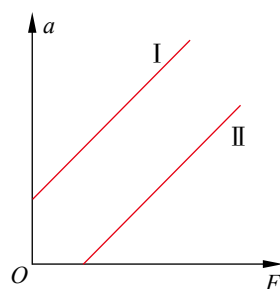
- ① $M=500\text{ g}$, m 分别为 70 g 、 100 g 、 125 g 、 150 g
- ② $M=500\text{ g}$, m 分别为 20 g 、 30 g 、 40 g 、 50 g
- ③ $M=200\text{ g}$, m 分别为 70 g 、 75 g 、 100 g 、 125 g
- ④ $M=200\text{ g}$, m 分别为 30 g 、 40 g 、 50 g 、 60 g



第2题

在其他操作都相同且正确的情况下,选用_____组值测量后所作出的图像较准确。在选用此组值时, m 取_____时实验误差较大。

4. 在“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”实验中,甲、乙两位同学作出的 $a-F$ 图像分别如图中 I 和 II 所示,均明显超出了误差范围。请从平衡摩擦力的角度分析出现这种状况的原因。



第4题

- *5. 关于“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”的实验,试设计一个不需测量加速度 a 具体数值的实验方案。

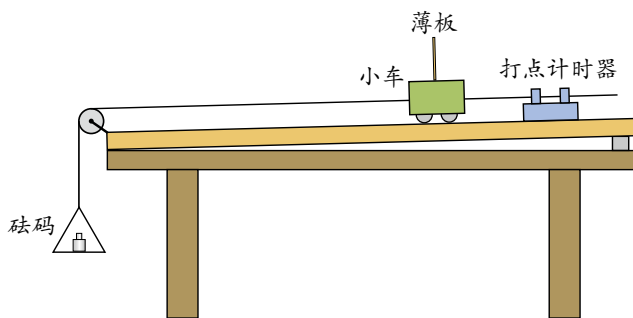
- *6. 为了探究受到空气阻力时物体运动速度随时间的变化规律,某同学采用了与“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”实验类似的实验装置,如图(a)所示。实验时,平衡小车与木板之间的摩擦力后,在小车上安装一薄板,以增大空气对小车运动的阻力。

(1) 往砝码盘中加入一小砝码,在释放小车_____ (选填“之前”“之后”或“同时”)接通打点计时器的电源。

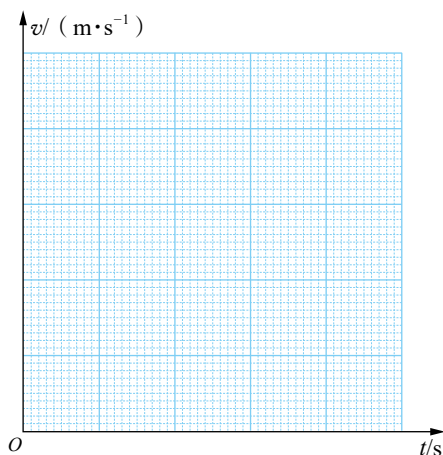
(2) 从纸带上选取若干计数点进行测量,计算得出各计数点的时间 t 与速度 v 的数据,见下表。

时间 t/s	0	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50
速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	0.14	0.19	0.23	0.26	0.28	0.29

请根据实验数据在图(b)所示坐标上作出小车的 $v-t$ 图像。



(a)



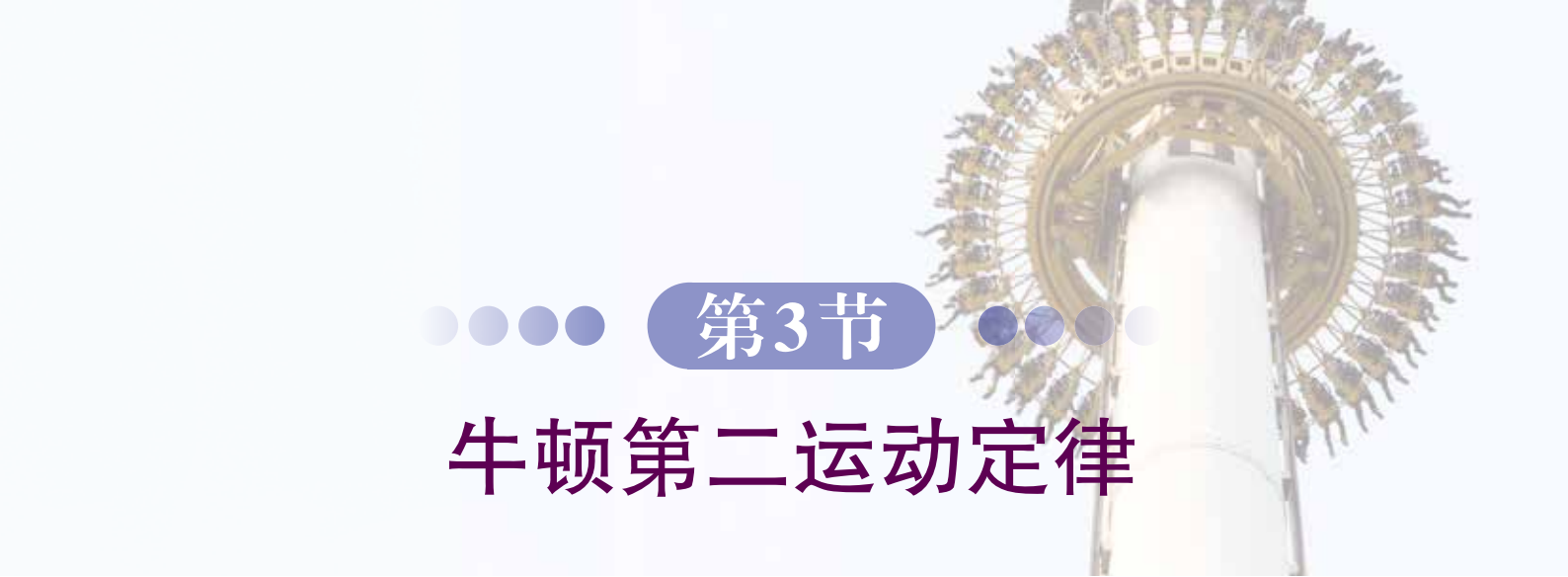
(b)

第6题

- (3) 通过对实验结果的分析,该同学认为,随着运动速度的增大,小车所受的空气阻力将变大。你是否同意他的观点?请根据 $v-t$ 图像简要阐述理由。

请提问





第3节

牛顿第二运动定律

由上节实验探究可知，物体运动的加速度不仅与其受到的合外力有关，还与物体的质量有关。怎样定量描述这种关系？本节将在前面实验探究的基础上，学习牛顿第二运动定律。

1. 牛顿第二运动定律及其意义

大量实验证明，在我们常见的环境中，当物体的质量不变时，其加速度与所受合外力成正比，即

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} = \frac{F_3}{a_3} = \dots \quad \text{或} \quad a \propto F$$

不同物体所受合外力不变时，其加速度与质量成反比，即

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 = m_3 a_3 = \dots \quad \text{或} \quad a \propto \frac{1}{m}$$

综合以上两个结论，可得

$$a \propto \frac{F}{m} \quad \text{或} \quad F \propto ma$$

用文字可表述为：**物体加速度的大小与所受合外力的大小成正比，与物体的质量成反比，加速度方向与合外力方向相同。**这就是**牛顿第二运动定律**（Newton's second law of motion），简称牛顿第二定律。

我们可把上述结论综合写成等式 $F = kma$ ，式中 k 是比例常数。力的单位牛顿（N）就是根据牛顿第二定律规定的：使质量为 1 kg 的物体产生 1 m/s^2 的加速度所用的力为 $1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$ 。后人为了纪念牛顿，将 $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ 称为牛顿，简称牛，用符号 N 表示。

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

当公式 $F = kma$ 中力、质量、长度及时间的单位分别为牛顿（N）、千克（kg）、米（m）和秒（s）时， $k = 1$ ，公式可简化为

$$F = ma$$

当物体同时受到几个外力的作用时， F 代表的是合外力。

牛顿第二定律表明，力与加速度总是同时出现，同时消失；力不变则加速度也不变，力随时间改变，加速度也随时间改变；合外力为 0 则加速度为 0，这时物体将保持静止或匀速直线运动状态。



图 5-7 赛车

由牛顿第二定律可知，要使物体获得较大的加速度，除了对物体施加较大的作用力外，还要使物体的质量尽可能小。例如，赛车要求能在尽可能短的时间内达到最大速度，即要有尽可能大的加速度，除了装备功率很大的发动机外，在设计时还要考虑选用轻型材料，以使赛车的质量尽可能小（图 5-7）。



物理聊吧

由牛顿第二定律可知，无论多小的力皆能使物体产生加速度，改变物体的运动状态。但是，当我们推静止的柜子时（图 5-8），有时即使用了很大的力也无法推动，柜子仍处于静止状态。这与牛顿第二定律矛盾吗？为什么？



图 5-8 用力推柜子

例题

某高速列车（图 5-9）起动后的初始阶段，可视为在恒定的牵引力作用下做匀加速直线运动。若在该阶段列车组的牵引力为 $3.04 \times 10^5 \text{ N}$ ，列车所受阻力为 $7.9 \times 10^4 \text{ N}$ ，列车质量为 $4.5 \times 10^5 \text{ kg}$ ，则列车从起动至速度达到 60 km/h 需要多长时间？



图 5-9 高速列车



分析

已知牵引力 F 、阻力 f 和列车质量 m ，由牛顿第二定律可求出列车运动的加速度 a 。列车做匀加速直线运动，已知起动时的初速度为 0 和末速度 v_t 的大小，结合求出的加速度 a ，由匀变速直线运动的速度公式可求出所需要的时间。

解

以列车为研究对象，受力分析如图 5-10 所示。

由题意可知， $m = 4.5 \times 10^5 \text{ kg}$ ， $F = 3.04 \times 10^5 \text{ N}$ ， $f = 7.9 \times 10^4 \text{ N}$ ， $v_0 = 0$ ， $v_t = 60 \text{ km/h} = 16.7 \text{ m/s}$ 。

选定列车运动方向为正方向。由牛顿第二定律，得

$$\begin{aligned} F - f &= ma \\ a &= \frac{F - f}{m} \\ &= \frac{3.04 \times 10^5 \text{ N} - 7.9 \times 10^4 \text{ N}}{4.5 \times 10^5 \text{ kg}} \\ &= 0.50 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

由匀变速直线运动的速度公式 $v_t = v_0 + at$ ，得

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{16.7 \text{ m/s} - 0}{0.50 \text{ m/s}^2} = 33.4 \text{ s}$$

所以，列车从起动至速度达到 60 km/h 需要的时间为 33.4 s。

讨论

一般高速列车起动时的加速度比轿车起动时的加速度小，加速到相同速度（在汽车能达到的速度范围内）需要的时间更长。查阅资料，了解高速列车的加速情况，判断本题的计算结果是否在合理范围内。

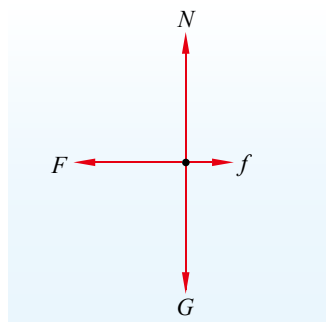


图 5-10 列车受力分析示意图

策略提炼

运动与力的问题一般有两类：第一，已知物体受力，由此确定其运动情况；第二，已知物体运动情况，由此确定其所受外力。

用牛顿第二定律解决动力学问题时，通常需明确研究对象，分析其受力及运动情况，再运用牛顿第二定律和运动学公式列出方程求解。其中加速度通常是联系力和运动情况的桥梁。



迁移

上题是已知列车的受力情况确定其运动情况。若已知物体的运动情况，又如何确定其受力情况？请解答下面的题目。

某高速列车总质量为 $4.5 \times 10^5 \text{ kg}$ ，在以 216 km/h 的速度直线行驶时紧急制动，要求从开始制动到完全停止的行驶距离不超过 2 000 m。该高速列车在制动过程中受到的阻力至少为多大？



物理聊吧

第2节的探究实验曾要求：垫高木板一端，用小车重力沿斜面的分力来抵消其所受摩擦力及其他阻力，使小车不挂重物时能匀速运动；同时，挂上重物的质量远小于小车质量，在此条件下对应的重物重力便可近似认为等于作用于小车的合外力。学习了牛顿第二定律后，请与同学讨论这些做法的道理。



迷你实验室

自制简易加速度计

我们可用轻杆、小球和硬纸板等制作一个简易加速度计，粗略测量运动物体的加速度。如图5-11所示，在轻杆上端装上转轴，固定于竖直放置的画有角度的纸板上的 O 点，轻杆下端固定一小球，杆可在竖直平面内自由转动。将此装置固定于运动物体上，当物体向右加速（减速）运动时，杆便向左（向右）摆动。根据摆动后稳定的角度，便可知道加速度的大小和方向。

你能解释这个加速度计的工作原理吗？

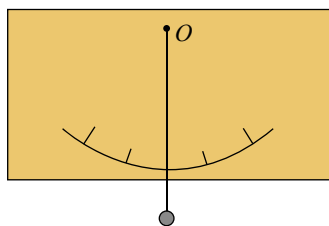


图5-11 简易加速度计示意图

2. 国际单位制

物理学中，有些物理量的单位是基本的，而有些则是导出的。例如，位移的单位是米（m），时间的单位是秒（s），由速度定义式导出的速度单位是米每秒（m/s），由加速度定义式导出的加速度单位是米每二次方秒（ m/s^2 ）。再如，在牛顿第二定律中，质量的单位是千克（kg），由 $F=ma$ 导出的力单位是千克米每二次方秒（ $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ ），即牛顿（N）。人们选定了几个物理量为基本量，其单位为基本单位，根据物理学关系式由基本量推导出的其他物理量的单位为导出单位。基本单位与导出单位一起组成**单位制**（system of units）。

为了促进科技交流与贸易往来等，不同地域的人们逐渐将各自的单位规定进行统一。1960年，第11届国际计量大会通过了国际单位制（简称SI），并很快被世界上大多数国家采用。在国际单位制中，与力学有关的基本单位有米（m）、千克（kg）和秒（s），而速度、加速度、力等物理量的单位皆为导出单位。



表5-3

国际单位制(SI)基本单位

物理量名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克(公斤)	kg
时间	秒	s
电流	安[培]	A
物质的量	摩[尔]	mol
热力学温度	开[尔文]	K
发光强度	坎[德拉]	cd

本套教科书统一采用国际单位制单位。在用公式进行计算的时候,如果已知量都采用国际单位制中的单位,计算的结果也必然是国际单位制单位。因此,在计算时所列的等式中,就不必一一写出每个物理量的单位,只要在计算结果的数据后面正确写出所求量的单位即可。



例题

如图5-12所示,一载有小孩的雪橇总质量为30 kg,在拉力 F 的作用下,沿水平地面向右做直线运动,该拉力与水平面的夹角为 30° 。经过50 cm,速度由0.6 m/s均匀减至0.4 m/s。已知雪橇与地面间的动摩擦因数为0.2,求作用力 F 的大小。

分析

由题意可知,物体做匀减速直线运动,已知初速度、末速度和位移,由运动学公式可求加速度,再由牛顿第二定律求出未知力。

解

以小孩和雪橇整体为研究对象,建立直角坐标系,受力分析如图5-13所示。

由题意可知, $v_0=0.6$ m/s, $v_t=0.4$ m/s, $s=50$ cm= 0.5 m, $m=30$ kg, $\mu=0.2$, $\theta=30^\circ$ 。

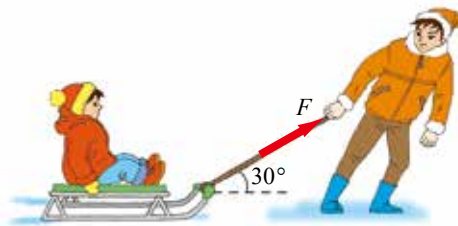


图5-12 拉雪橇

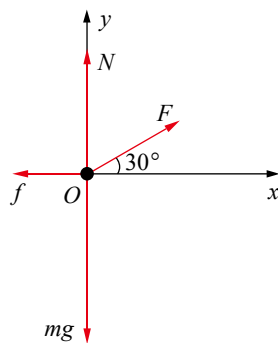


图5-13 受力分析示意图

由公式 $v_t^2 - v_0^2 = 2as$, 得

$$a = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2s} = \frac{0.4^2 - 0.6^2}{2 \times 0.5} \text{ m/s}^2 = -0.2 \text{ m/s}^2$$

加速度方向沿 x 轴负方向。根据牛顿第二定律, 沿水平方向, 有

$$F \cos \theta - f = ma$$

沿竖直方向, 有

$$N + F \sin \theta - mg = 0$$

又因为 $f = \mu N$, 所以联立以上各式, 得

$$\begin{aligned} F &= \frac{m(\mu g + a)}{\cos \theta + \mu \sin \theta} \\ &= \frac{30 \times (0.2 \times 9.8 - 0.2)}{0.866 + 0.2 \times 0.5} \text{ N} \\ &= 54.7 \text{ N} \end{aligned}$$

所以拉力 F 的大小为 54.7 N。

讨论

从本题分析可知, 物体对水平面的压力不等于重力。为什么?

策略提炼

物体在受到多个力的情况下运用牛顿第二定律时, 可用正交分解法列方程组求解。通常, 先建立直角坐标系, 将力和加速度分解在两个坐标轴上, 一般以物体运动的方向为 x 轴的正方向, 列方程组

$$\begin{cases} F_{x\text{合}} = ma_x \\ F_{y\text{合}} = ma_y \end{cases}, \text{再求解方程}$$

组即可。



迁移

恰当建立直角坐标系会更加简便地解决问题。

一名滑雪者以 1 m/s 的初速度沿山坡匀加速直线滑下 (图 5-14), 山坡的倾角为 30° 。若人与滑板的总质量为 60 kg, 滑板受到的阻力为 100 N, 不计空气阻力, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$, 请计算 3 s 内滑雪者下滑的位移。



图 5-14 滑雪

例题

气球上系一重物, 自地面向上升。当上升到离地面 9 m 时, 速度为 4 m/s, 此时绳子突然断开。不计空气阻力, 取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

- (1) 重物从离开气球至上升到最高点, 经历的时间和上升的高度各为多少?
- (2) 重物离开气球后经多长时间才能落地? 落地时的速度是多大?



分析

绳子突然断开时，重物与气球具有相同的速度。由于惯性，重物将继续向上运动。重物在空中运动只受到重力作用，根据牛顿第二定律可知，重物加速度大小为 g ，方向始终竖直向下。因此，绳子断开后重物先竖直向上做匀减速直线运动，上升一段距离到达最高点时速度为 0，然后向下做自由落体运动直到落地，如图 5-15 所示。

可将运动分为上升和下降两个阶段，根据牛顿第二定律和匀变速直线运动的公式求解。

解

由题意可知， $v_0 = 4 \text{ m/s}$ ， $h = 9 \text{ m}$ ，上升到最高点时速度 $v_t = 0$ 。

(1) 重物离开气球后将先竖直向上做匀减速直线运动到达最高点。重物运动过程中只受重力，因此

$$mg = ma$$

$$a = g = 10 \text{ m/s}^2$$

重物从离开气球到上升到最高点，经历时间为 $t_{\text{上}}$ ，上升高度为 $H_{\text{上}}$ 。根据匀变速直线运动公式，有

$$v_t = v_0 - at_{\text{上}}$$

$$v_t^2 - v_0^2 = -2aH_{\text{上}}$$

解得

$$t_{\text{上}} = \frac{v_0}{a} = \frac{4}{10} \text{ s} = 0.4 \text{ s}$$

$$H_{\text{上}} = \frac{v_0^2}{2a} = \frac{4^2}{2 \times 10} \text{ m} = 0.8 \text{ m}$$

(2) 重物做自由落体运动过程中，下降总高度为 H ，下落时间为 $t_{\text{下}}$ 。由匀变速直线运动公式，有

$$H = \frac{1}{2}gt_{\text{下}}^2$$

又因为 $H = H_{\text{上}} + h = (0.8 + 9) \text{ m} = 9.8 \text{ m}$ ，所以

$$t_{\text{下}} = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 9.8}{10}} \text{ s} = 1.4 \text{ s}$$

重物从绳断到落地经历的时间

$$t = t_{\text{上}} + t_{\text{下}} = (0.4 + 1.4) \text{ s} = 1.8 \text{ s}$$

重物落地时的速度

$$v_{\text{地}} = gt_{\text{下}} = 10 \times 1.4 \text{ m/s} = 14 \text{ m/s}$$

所以，绳断后重物经 0.4 s 到达最高点，上升高度为 0.8 m；经过 1.8 s 才能落到地面，落地时的速度为 14 m/s，方向竖直向下。

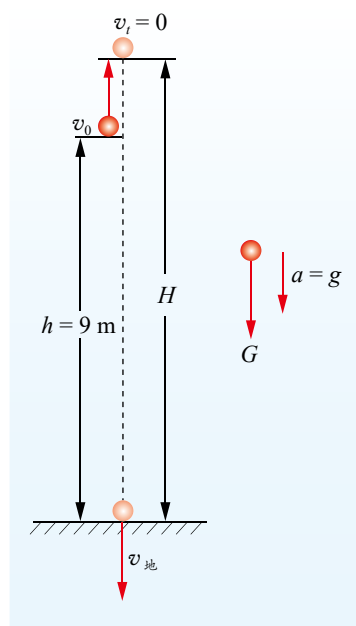


图 5-15 分析重物运动过程的示意图

讨论

物理学中把物体以某一初速度竖直向上抛出，物体只在重力作用下所做的运动，称为竖直上抛运动。竖直上抛运动可分为上升和下降两个过程，上升过程为初速度为 v_0 、加速度大小为 g 的匀减速直线运动，下降过程为自由落体运动。你能写出上升和下降过程涉及的匀变速直线运动的公式吗？

策略提炼

求解竖直上抛运动，可看成已知力求运动的特例。由于物体只受重力，其加速度恒为 g 。

竖直上抛运动是匀变速直线运动，可用匀变速直线运动的公式求解。运用公式时，可对上升和下降过程分别列方程，也可对整个过程中列出方程。注意公式中加速度、位移等矢量的正负。



迁移

竖直上抛运动全过程的加速度大小和方向都不变，且与初速度 v_0 方向相反，因此还可把竖直上抛运动的全过程视为初速度为 v_0 、加速度大小为 g 的匀变速直线运动。你能用该方法求解上述问题吗？请试一试。



拓展一步

谁“推动”了苹果

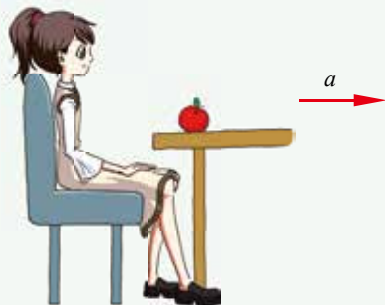


图 5-16 苹果动起来了

生活中常会出现这样的情景：在匀速行驶的火车上，较光滑桌面上的苹果保持静止，但当火车加速时，桌面上的苹果却动起来了（图 5-16）。牛顿运动定律告诉我们：力是改变物体运动状态的原因。此时苹果在水平方向的合外力为 0，为什么苹果获得加速度动起来了呢？这与牛顿运动定律似乎矛盾了。

原来，牛顿运动定律是否成立，还与参考系的选择有关。人们将牛顿运动定律在其中成立的参考系称为惯性参考系，简称惯性系；牛顿运动定律在其中不成立的参考系则称为非惯性系。在研究地面物体的运动时，一般将地面视为惯性系，相对地面做匀速直线运动的其他参考系也可视为惯性系。若选车厢为参考系，当火车匀速行驶时，车厢是惯性系，所以苹果保持静止；当火车加速时，车厢则是非惯性系，此时牛顿运动定律不成立。其实，在非惯性系中，需要引入“惯性力”来修正牛顿运动定律，修正后的牛顿运动定律既适用于惯性系，也适用于非惯性系。火车加速时，车厢中的苹果从非惯性系车厢中看就是被惯性力“推动”的。



节 练 习

1. 跳伞运动员从飞机上跳下，在下落一段时间后打开降落伞。在打开降落伞的瞬间，伞突然受到巨大的向上阻力，运动员此时的瞬时速度方向是向上还是向下？速度是增大还是减小？请说明理由。
2. 物理学中有些问题的结论不一定必须通过计算才能验证，有时只需要通过对单位的分析就可以判断。声音在某种气体中的速度表达式可以只用气体的压强 p 、气体的密度 ρ 和没有单位的比例常数 k 来表示。根据上述情况，判断声音在该气体中的速度表达式可能是

A. $v = k \sqrt{\frac{p}{\rho}}$

B. $v = k \sqrt{\frac{\rho}{p}}$

C. $v = kpp$

D. $v = k\sqrt{\rho p}$

3. 火箭起飞时需要极大的推力，如图所示。已知某火箭总长度为 49.7 m，直径为 3.35 m；每个液体助推器长为 15.3 m，直径为 2.25 m；火箭的总起飞质量为 460 t，起飞推力为 6.0×10^6 N。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，试选择数据计算火箭起飞时的加速度。
4. 一辆总质量为 1 800 kg 的汽车从静止开始做匀加速直线运动，10 s 内速度达到 26 m/s。已知驾驶员质量为 68 kg，求：

- (1) 汽车受到的合外力大小；
- (2) 座椅给驾驶员的水平推力。

5. 如图所示，火车在平直轨道上运动，车厢中的光滑水平桌面上用轻弹簧拴着一个小球，弹簧处于自然长度。当乘客看到弹簧的长度变长时，火车可能的运动情况是

- A. 火车向右方运动，速度在增大
- B. 火车向右方运动，速度在减小
- C. 火车向左方运动，速度在增大
- D. 火车向左方运动，速度在减小

6. 质量为 2 kg 的物体置于水平地面上，用 10 N 的水平拉力使它从静止开始运动，第 3 s 末物体的速度达到 6 m/s。此时撤去拉力，求：

- (1) 物体在运动过程中受到地面的摩擦力大小；
- (2) 撤去拉力后物体能继续滑行的距离。

7. 滑雪是常见的体育运动项目。某一山坡滑道可视为倾角 $\theta = 14^\circ$ 的斜面，一滑雪者从静止开始匀加速自由下滑，在时间 $t = 8 \text{ s}$ 内沿山坡滑道滑下的位移 $s = 40 \text{ m}$ ，后又进入水平滑道。设水平滑道足够长，不计空气阻力，取 $\sin 14^\circ = 0.24$ ， $\cos 14^\circ = 0.97$ ，重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

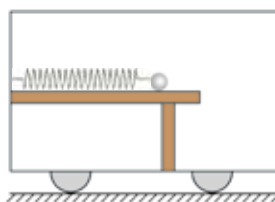
- (1) 求滑雪板与斜面滑道之间的动摩擦因数 μ 。
- (2) 若水平滑道与山坡滑道的动摩擦因数相同，求该滑雪者在水平滑道上滑行的最大距离。

8. 在一高台上以 6 m/s 的初速度竖直上抛一石子，抛出点距地面的高度为 9 m。不计空气阻力，取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。

- (1) 石子经多长时间落回抛出点？落回抛出点的速度为多大？
- (2) 石子抛出 2 s 时离地面的高度为多少？



第3题



第5题

请提问



第4节

牛顿第三运动定律

我们知道，两个物体之间的作用总是相互的。一个物体对另一个物体施加作用力，这个物体同时也受到另一个物体对它产生的作用力。这两个力有什么关系呢？本节将学习作用力与反作用力以及牛顿第三运动定律。

1. 作用力与反作用力

当你用手拍桌子时，你就对桌子施加了作用力；同时，你会感觉手痛，因为桌子也对手施加了作用力（图 5-17）。

你推别人时，别人也在推你。穿上轮滑鞋与同伴做图 5-18 所示的实验，你会发现：当你推动同伴时，你自己也被同伴推动了。

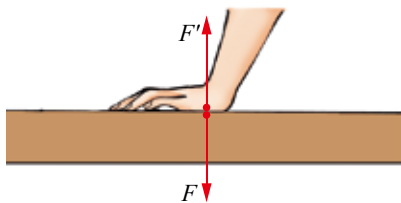


图 5-17 你拍桌子，桌子也“拍”你



图 5-18 你推他，他也在推你

当两个物体不直接接触时，如果一个物体施力于另一物体，是否也有类似情况呢？



迷你实验室

磁铁间的作用力

当两物体 A 、 B 不直接接触时，如果物体 A 施力于物体 B ，那么物体 B 也会施力于物体 A 。

如图 5-19 所示，把两根条形磁铁放在尽可能光滑的台面上，让它们彼此接近但不直接接触，用两手分别按住它们以保持静止。当放开一只手或两只手同时放开时，你看到了什么现象？这说明了什么？



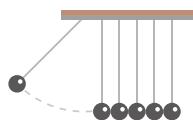
图 5-19 条形磁铁间存在相互作用力



所有这类现象都表明，力的作用是相互的。物理学中，把物体间的这一对相互作用力称为**作用力**（acting force）与**反作用力**（reacting force）。我们可把其中任意一个力称为作用力，另一个力则称为反作用力。

2. 牛顿第三运动定律及其意义

下面我们通过实验来观察物体间的作用力与反作用力的关系。



实验与探究

作用力与反作用力的关系

把两只弹簧测力计 A 和 B 的挂钩挂在一起，两手分别用水平力拉两只弹簧测力计（图 5-20）， B 的示数可指示出 A 对 B 作用力的大小，而 A 的示数可指示出 B 对 A 作用力的大小。



图 5-20 水平拉弹簧测力计

改变两手的拉力，看看两只弹簧测力计的示数如何变化。

观察并思考：作用力与反作用力的大小、方向和作用线分别有怎样的关系？

在长期研究的基础上，牛顿总结并提出了**牛顿第三运动定律**（Newton's third law of motion），简称牛顿第三定律：**两个物体之间的作用力与反作用力大小相等，方向相反，作用在同一条直线上。**

如果用 F 表示作用力， F' 表示反作用力，那么牛顿第三定律可用公式表示为

$$F = -F'$$

式中的负号表示作用力 F 与反作用力 F' 的方向相反。作用力 F 和反作用力 F' 分别作用于两个不同的物体。

牛顿第三定律揭示了物体之间相互作用的规律，使人们不仅可研究单个物体的运动，还可把存在相互作用的各个物体的运动联系起来进行研究。

牛顿第三定律可用来解释许多现象。跳水运动员在跳板上起跳时，他对跳板的蹬力与跳板对他的弹力是一对相互作用力。火箭发射升空时，燃料燃烧产生气体，气体受力向下喷出，这些气体反过来给火箭施加了一个反作用力，把火箭送上太空（图 5-21）。



图 5-21 气体的反作用力使火箭升空



DIS 实验室

探究作用力与反作用力的关系

将两个调零后的力传感器相互钩住，保持轴心在同一直线上，轻拉传感器，观察实验的 $F-t$ 曲线（图 5-22），看看能得出什么结论。

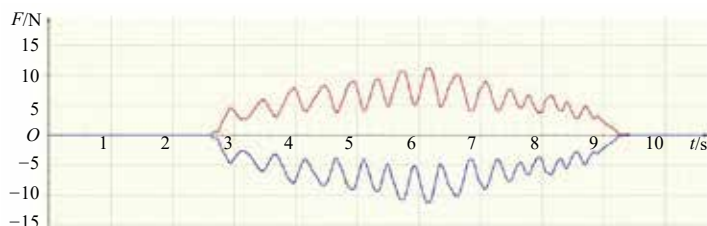


图 5-22 用力传感器探究作用力与反作用力的关系



节 练 习

- 如图所示，假如你在静止于水面的小船上从船头走向船尾，小船会向什么方向运动？试解释这一现象。
- 以卵击石，鸡蛋“粉身碎骨”，石头却“安然无恙”。这是否与牛顿第三定律矛盾？请解释此现象。
- 请比较一对作用力和反作用力与一对平衡力的异同点，并举例说明。
- 一物体悬挂在弹簧测力计上，并处于静止状态。请证明弹簧测力计的示数等于物体的重力。
- 关于马拉车，若马拉车的力大小为 F_1 ，车拉马的力大小为 F_2 。下列说法正确的是
 - 马拉车不动，是因为 F_1 小于 F_2
 - 马拉车前进，是因为 F_1 大于 F_2
 - 不论车如何运动， F_1 总等于 F_2
 - 只有当马拉车不动或马拉车匀速前进时， F_1 才等于 F_2
- 甲、乙两人玩手拉手拔河游戏，结果甲胜乙败。有同学错误地认为，甲取胜的原因是甲对乙的拉力大于乙对甲的拉力。请指出该同学的错误之处，并分析甲取胜的原因。



第 1 题

第5节

超重与失重

当你乘坐游乐场的游乐装置（图 5-23）加速下降时，好像心都提到了嗓子眼，这是为什么？宇宙飞船升空时，航天员要平躺着，而且会感觉胸部受到压力，这又是为什么？本节将通过牛顿运动定律来理解超重和失重现象。

1. 超重现象

要知道一个物体所受的重力有多大，直接的办法是利用测力计对它进行测量。那么，是否无论物体处于什么样的运动状态，用这种办法都能准确测出物体所受重力呢？下面我们做一个小实验。



图 5-23 游乐场的游乐装置



迷你实验室

通过弹簧测力计观察超重现象

在弹簧测力计上挂一个重物，观察并记下静止时测力计的示数。

让挂着重物的测力计缓缓地向上或向下做匀速运动，观察测力计的示数有无变化。

使挂着重物的测力计突然竖直向上做加速运动（图 5-24），仔细观察在加速的瞬间测力计示数有无变化。如有变化，是变大还是变小？



图 5-24 实验演示图

由实验可知，在静止和匀速直线运动状态下，测力计的示数保持不变；而在竖直向上加速时，测力计的示数变大。为什么会有这种现象呢？

重物的受力和运动情况如图 5-25 所示。重物受到重力 G 和测力计在竖直方向拉力 T 的作用，以加速度 a 竖直向上加速运动。若取竖直向上为正方向，根据牛顿第二定律可得

$$T - G = ma$$

所以 $T = ma + G > G$

根据牛顿第三定律，测力计的示数（重物对测力计的拉力大小）等于测力计对重物的拉力 T 。可见，当重物竖直向上加速运动时，测力计示数要大于重物所受的重力。

物理学中把物体对悬挂物的拉力（或对支持物的压力）大于物体所受重力的现象称为**超重**（overweight）现象。人们乘电梯加速上升时，就处于超重状态。

2. 失重现象

在游乐场的升降机中，若我们以乘坐升降机的人为研究对象，人受到重力 G 和座椅在竖直方向的支持力 N 的作用，如图 5-26 所示。当升降机竖直向下加速时，加速度的方向竖直向下。取竖直向下为正方向，根据牛顿第二定律可得

$$G - N = ma$$

所以 $N = G - ma = m(g - a) < G$

根据牛顿第三定律，人对座椅的压力大小等于 N 。可见，当物体竖直向下加速时，人对座椅的压力小于人所受的重力。

物理学中把物体对悬挂物的拉力（或对支持物的压力）小于物体所受重力的现象称为**失重**（weightlessness）现象。人们乘电梯加速下降时，就处于失重状态。若竖直向下的加速度大小正好等于重力加速度 g ，人对座椅的压力 $N = 0$ ，这称为**完全失重**现象。我们在游乐场乘坐升降机做自由落体运动时，就处于完全失重状态。

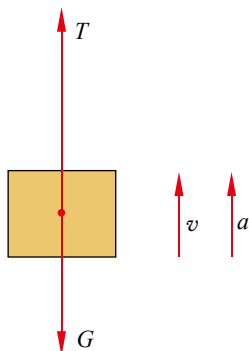


图 5-25 向上加速运动的物体的受力分析示意图

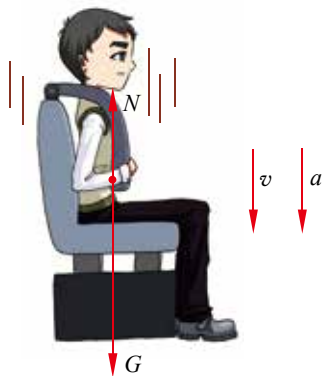


图 5-26 乘升降机的人的受力分析示意图

能理解牛顿运动定律的内涵，能分析超重和失重现象，知道单位制的意义及国际单位制中的力学单位；能用牛顿运动定律解释生产生活中的相关现象、解决一些相关的实际问题。具有与牛顿运动定律相关的运动与相互作用观念。

——物理观念



物理聊吧

在超重或失重现象中，物体受到的重力大小是否改变？若人对座椅的压力为 0，是否可以认为人所受的重力就为 0？为什么？



例题

一个质量为 70 kg 的人乘电梯下楼。若电梯以 3 m/s^2 的加速度匀减速下降 [图 5-27 (a)], 求这时他对电梯地板的压力。(取重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$)

分析

人向下做匀减速直线运动, 说明加速度方向与速度方向相反, 即加速度方向向上。可根据牛顿第二定律求出支持力, 然后由牛顿第三定律求得人对地板的压力。

解

以人为研究对象, 受力分析如图 5-27 (b) 所示。

取竖直向上为正方向, 设电梯地板对人的支持力大小为 N 。根据牛顿第二定律可得

$$N - mg = ma$$

所以

$$\begin{aligned} N &= m(a + g) \\ &= 70 \times (3 + 10)\text{ N} \\ &= 910\text{ N} \end{aligned}$$

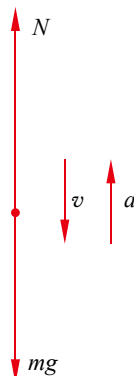
根据牛顿第三定律, 人对地板的压力大小也等于 910 N , 方向竖直向下。

讨论

人对电梯地板的压力大于自身重力, 出现超重现象。无论物体是向上运动还是向下运动, 只要加速度方向向上, 就必然产生超重现象。该情境中若加速度较大, 人会有怎样的感受?



(a)



(b)

图 5-27 匀减速下降的电梯及乘电梯的人的受力分析示意图

策略提炼

解决超重与失重的问题, 其实是牛顿运动定律的运用。在解决此类问题时, 要注意分析运动情况及受力情况, 尤其要注意加速度的方向。

如果物体的加速度方向向上, 则该物体处于超重状态; 若加速度方向向下, 则该物体处于失重状态。



迁移

若加速度方向向下, 情况会怎么样呢?

在例题中, 若电梯离开某楼层匀加速下降, 其他条件不变, 则人对电梯地板的压力又为多大? 请计算得出结果。



航天器中的超重和失重

航天器加速升空和减速返回地面时，其上的一切物体都会处于超重状态。如果航天员站立或坐着，在超重情况下，会出现足部血压升高、头部供血不足等现象，轻则引起视觉障碍，重则发生晕厥。因此，航天员应平躺于座椅上（图 5-28），这样可减轻超重对人体的影响。

航天器进入轨道后，所有物体都近似处于完全失重状态。观看我国航天员王亚平进行太空授课的视频，你会发现若干失重现象：悬浮于空中的圆形水球（图 5-29）、不断转圈的单摆、飘来飘去的航天员等。这些都是我们在地面上无法体验到的完全失重现象。



图 5-28 航天员杨利伟平躺在航天器中



图 5-29 航天员王亚平太空授课时展示圆形水球



节 练 习

1. 某同学手提一袋水果站在电梯内。在下列四种情形中，手受到的拉力最大的是
 - A. 电梯匀速上升
 - B. 电梯匀速下降
 - C. 电梯加速上升
 - D. 电梯加速下降
2. 为了观察超重和失重现象，质量为 50 kg 的小红站在电梯内的体重计上，如图所示。求电梯处于下列运动状态时体重计的示数：（取重力加速度 $g = 10\text{ m/s}^2$ ）
 - （1）电梯匀速上升；
 - （2）电梯以 0.8 m/s^2 的加速度匀加速上升；
 - （3）电梯以 0.8 m/s^2 的加速度匀减速上升。



第 2 题



3. 如图所示，用一根绳子提一桶水，桶和桶中水的总质量为 5 kg 。假定绳子能够承受的最大拉力为 52.5 N ，取重力加速度 $g = 9.8\text{ m/s}^2$ ，若将水桶从静止开始以 1.5 m/s^2 的加速度匀加速提起，请通过计算说明绳子是否会断开。
4. 你站在水平地面上，在迅速蹲下的过程中，你对地面的压力大小与重力相比，会如何变化？请说明理由。
5. 在一个上端开口的塑料瓶侧壁的下部打几个小孔，在瓶内灌水之后，发现有水不断从小孔中流出。让瓶子做自由落体运动，观察下落过程中小孔是否有水流出。请解释产生这一现象的原因。如果将瓶子竖直向上抛出，小孔有没有水流出？
6. 查阅资料，了解在航天器上进行的微重力条件下的实验，并尝试设计一种在微重力条件下进行实验的方案。



第3题



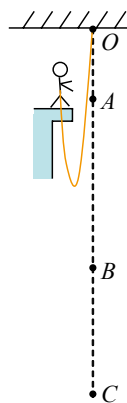
请提问



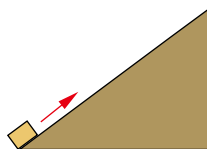
章末练习

科学认知

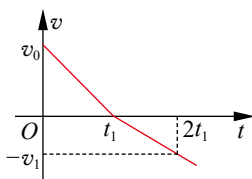
- 假设你在一做匀速直线运动的火车车厢内竖直向上跳起，你还会落到起跳的位置吗？请作出判断，并说明理由。
- 粗糙水平地面上的一只木箱在一水平拉力作用下匀速前进。下列说法正确的是
 - 拉力与地面对木箱的摩擦力是一对作用力与反作用力
 - 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力是一对作用力与反作用力
 - 木箱对地面的压力与地面对木箱的支持力是一对平衡力
 - 木箱对地面的压力与木箱受到的重力是一对平衡力
- 在粗糙的水平面上，物体在水平推力作用下由静止开始做匀加速直线运动。经过一段时间后，水平推力逐渐减小到0（物体仍在运动）。在水平推力逐渐减小到0的过程中
 - 物体加速度逐渐减小，速度逐渐减小
 - 物体加速度逐渐减小，速度逐渐增大
 - 物体加速度先增大后减小，速度先增大后减小
 - 物体加速度先减小后增大，速度先增大后减小
- 某消防队员从一平台无初速度跳下，下落2 m后双脚触地，同时采用双腿弯曲的方法缓冲。若视其在缓冲过程中自身重心又匀变速下降了0.5 m，则在着地过程中，地面对他双脚的平均作用力大约为自身重力的
 - 5倍
 - 10倍
 - 20倍
 - 3倍
- 蹦极运动过程如图所示。弹性绳的一端固定在O点，另一端和运动员相连。运动员从A点自由竖直下落，至B点弹性绳刚好伸直，到达最低点C后向上弹起。整个过程中忽略空气阻力。请分析运动员从A到C的过程中要经历哪些运动过程，每个运动过程是加速还是减速，加速度如何变化。
- 如图(a)所示，一物块在 $t=0$ 时刻滑上一固定斜面，其运动的 $v-t$ 图像如图(b)所示。若重力加速度及图中的 v_0 、 v_1 、 t_1 均为已知量，则可求出
 - 斜面的倾角
 - 物块的质量
 - 物块与斜面间的动摩擦因数
 - 物块沿斜面向上滑行的最大高度
- 某商场安装了智能化的电动扶梯，如图所示。无人乘坐时，扶梯运行得很慢；有人站上扶梯时，它会先慢慢加速，再匀速运行。一位顾客乘扶梯上楼，恰好经历了这两个过程。请分析此顾客在这两个过程中的受力情况。
- 质量为45 kg的某同学站在电梯中的体重计上，用照相机记录了体重计在电梯运行中的示数，如图所示。图中标注的箭头及旁边的数字分别表示电梯运行的方向和到达的楼层。请判断电梯的运动状态，并计算电梯的加速度大小。（取重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ ）



第5题



(a)

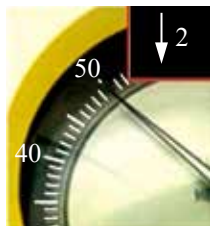


(b)

第6题



第7题

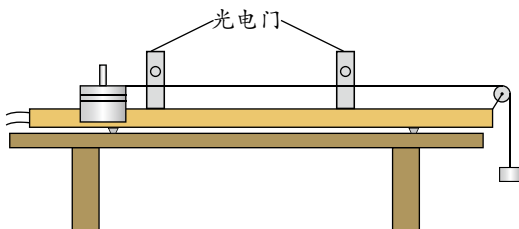


第8题



9. 如图所示, 在水平气垫导轨上放置一质量为 M 的滑块, 一不可伸长的轻绳跨过光滑轻质定滑轮, 两端分别与滑块和一悬挂物相连接, 滑块和滑轮间的轻绳与导轨平行。现将滑块从静止释放, 测得滑块先后通过两光电门时的速度大小分别为 v_1 和 v_2 , 两光电门间的距离为 l 。

- (1) 求绳对滑块的水平拉力。
- (2) 求悬挂物的质量。
- (3) 请推导绳的拉力 F 与滑块质量 M 、悬挂物质量 m 以及重力加速度 g 之间的函数关系。



第9题

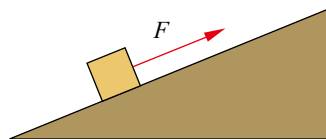
科学辨析

- *10. 在环绕地球的圆形轨道上运行的空间站内, 相对空间站悬空、静止的宇航员把一个小物品向前推出, 请描述推开过程中和推开后, 宇航员和小物品各自相对飞船的运动情况 (包括宇航员和小物品各自的运动方向、运动速度、运动轨迹等), 并解释其原因。

温故知新

11. 固定斜面上的一物块受到平行于斜面向上的力 F 的作用, 如图所示。若要使该物块在斜面上保持静止, F 的取值应有一定范围。已知其最大值和最小值分别为 F_1 和 F_2 ($F_2 > 0$), 可求出

- A. 物块的质量
- B. 斜面的倾角
- C. 物块与斜面间的最大静摩擦力
- D. 物块对斜面的压力



第11题

12. 请根据第5章(牛顿运动定律)的内容, 结合你的理解, 画出概念图。



我的学习总结



单元自我检测

一、选择题（本题共 5 小题。在每小题给出的四个选项中，第 1 ~ 3 题只有一项符合题目要求，第 4、5 题有多项符合题目要求）

- 下列各组量的单位中，全部属于国际单位制基本单位的是
A. 速度、质量和时间 B. 重力、长度和时间
C. 质量、长度和时间 D. 加速度、长度和时间

- 如图所示，小球从左侧斜面上的 O 点由静止释放后沿斜面向下运动，并沿右侧斜面上升。斜面上先后铺垫三种粗糙程度逐渐降低的材料，小球沿右侧斜面上升到的最高位置依次为 1、2、3。对三次实验结果进行对比，可以得到的最直接的结论是

- 如果斜面光滑，小球将上升到与 O 点等高的位置
- 如果小球不受力，它将一直保持匀速直线运动状态或静止状态
- 如果小球受到力的作用，它的运动状态将发生改变
- 小球受到的力一定时，质量越大，它的加速度越小

- 如图所示，质量为 M 的人用一个轻质光滑定滑轮将质量为 m 的物体从高处降下，物体匀加速下降的加速度为 a ， $a < g$ 。不计滑轮的摩擦，地面对人的支持力大小是

- $(M + m)g - ma$
- $M(g - a) - ma$
- $(M - m)g + ma$
- $Mg - ma$

- 假设一航天探测器完成对月球的探测任务后，在离开月球的某飞行阶段是沿着与月球表面成一倾斜角做匀速直线运动，探测器通过喷气而获得推力。下列说法正确的是

- 探测器喷出的气体对探测器产生反作用力，从而使探测器获得推力
- 探测器喷出的气体对月球产生作用力，从而使探测器获得推力
- 探测器需要竖直向下喷气
- 探测器需要向运动的反方向喷气

- 一架直升机悬停在空中向地面投放装有物资的箱子。设投放初速度为 0，箱子所受的空气阻力与其下落速度的平方成正比，箱子下落过程中做直线运动且不翻转。关于箱子的下落过程，下列说法正确的是

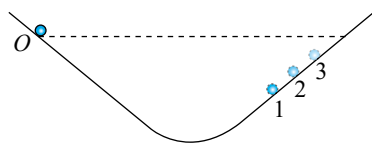
- 箱子做匀加速直线运动
- 箱子先做加速度减小的加速运动，若下落距离足够长，最后做匀速直线运动
- 箱子接近地面时，箱内物体受到的支持力比刚投下时的大
- 若下落距离足够长，箱内物体有可能不受底部支持力而“飘起来”

二、非选择题

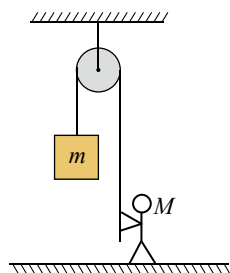
- 某实验小组利用图 (a) 所示实验装置探究加速度与力、质量的关系。

(1) 下列做法正确的是_____。

- 调节滑轮的高度，使牵引木块的细绳与长木板保持平行
- 在调节木板倾斜度来平衡木块受到的滑动摩擦力时，将装有砝码的小桶通过定滑轮拴在木块上



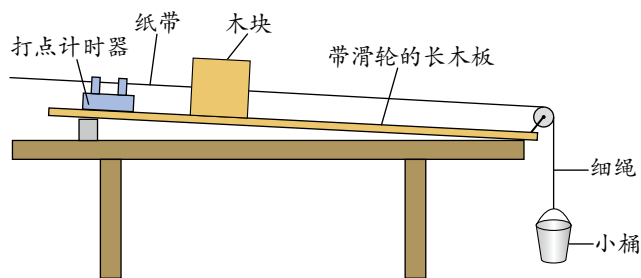
第 2 题



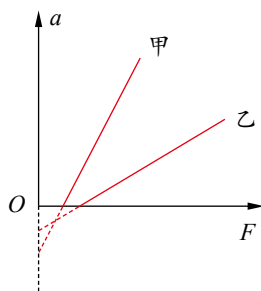
第 3 题

C. 实验时，先放开木块，再接通打点计时器的电源

- (2) 为使小桶及桶内砝码的总重力在数值上近似等于木块运动时受到的拉力，应满足的条件是：小桶及桶内砝码的总质量_____（选填“远大于”“远小于”或“近似等于”）木块和木块上砝码的总质量。
- (3) 甲、乙两同学分别用此装置研究加速度 a 与拉力 F 的关系。实验中，木块上均未放砝码，没有平衡摩擦力，分别得到图 (b) 中甲、乙两条直线。设甲、乙用的木块质量分别为 $m_{\text{甲}}$ 、 $m_{\text{乙}}$ ，甲、乙用的木块与木板间的动摩擦因数分别为 $\mu_{\text{甲}}$ 、 $\mu_{\text{乙}}$ ，由图 (b) 可知， $m_{\text{甲}}$ _____ $m_{\text{乙}}$ ， $\mu_{\text{甲}}$ _____ $\mu_{\text{乙}}$ 。（均选填“大于”“小于”或“等于”）



(a)

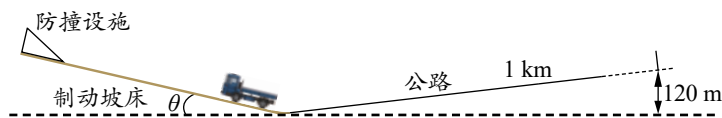


(b)

第 6 题

7. 公路上行驶的两汽车之间应保持一定的安全距离，当前车突然减速停止时，后车司机可以采取刹车措施，使汽车在安全距离内停下而不会与前车相撞。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。若汽车刹车时所受阻力是其重力的 $\frac{1}{2}$ ，安全距离为 120 m，求汽车安全行驶的最大速度。
8. 如图所示，避险车道是避免恶性交通事故的重要设施，由制动坡床和防撞设施等组成。一辆质量为 10 t 的货车行驶到一个长下坡时，因刹车失灵以 36 km/h 的初速度沿坡向下加速运动，在加速前进了 1 km 后，驾驶员将车从干道驶入制动坡床并冲上坡床 40 m 后停止。若货车在该长下坡每行驶 1 km 高度下降 120 m，受到的阻力是车重的 10%，制动坡床与水平面的夹角为 θ ($\sin \theta = 0.3$)。取重力加速度 $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，若车从干道驶入制动坡床时的速度大小不变，求：

- (1) 货车刚驶入制动坡床时的速度；
- (2) 货车在坡床上受到坡床给它的阻力。



第 8 题



单元自我评价

回顾本单元的学业要求和所学内容，结合本次单元自我检测和平时学习情况进行自我评价，写一篇“单元自我评价”报告。说说你学会了什么、存在什么问题及今后努力的方向等。

后 记

21 世纪初我国启动基础教育课程改革，迄今已十余年。我们根据《普通高中物理课程标准（实验）》（2003 版）编写的普通高中课程标准实验教科书《物理》在实验区已使用十余年。随着基础教育课程改革的深入，修订后的《普通高中物理课程标准（2017 年版）》（以下简称《标准》）已由教育部正式颁布，因此，实验版教科书《物理》也应随之修订。根据国家大政方针和《标准》的要求，在对一线教师大规模问卷调查及深入访谈的基础上，基于多年教科书研究、编写和实践的积淀，教科书编写组对实验版教科书进行了全面修订。

本次修订后的普通高中物理课程标准修订版教科书的整体架构如图所示。

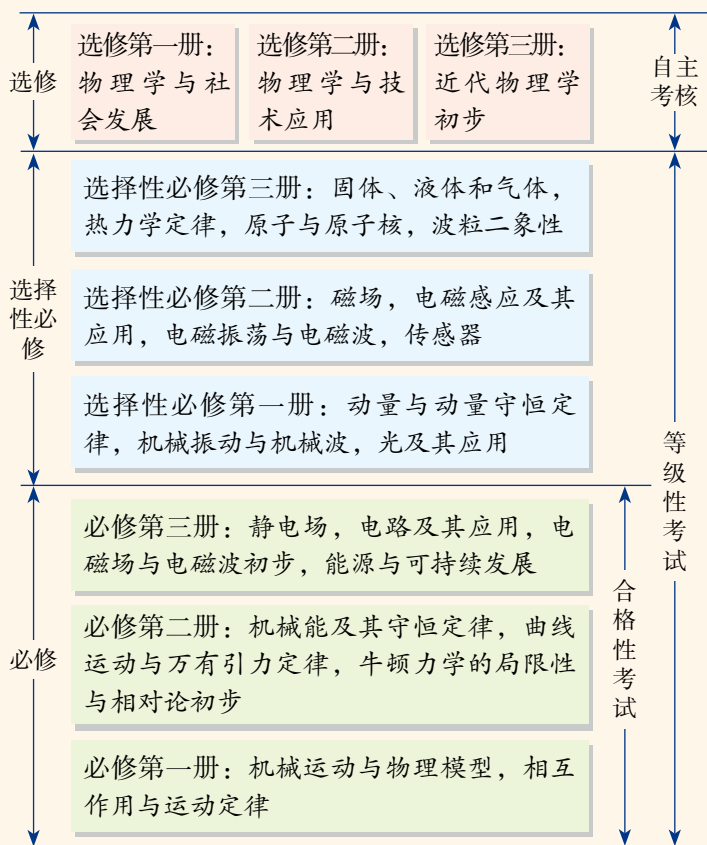
总体来看，修订版教科书具有如下特点：

1. 立意更高，促进学生物理学科核心素养的达成。不仅继承实验版教科书注重落实三维课程目标的特点，而且更加注重体现物理教科书的育人功能，以“素养提升”“本章学业要求”等栏目导向，有效促进教学方式的改进，提升学生物理学科核心素养。

2. 寓意更深，注重从情境走向物理，从物理走向社会的内涵。不仅继承实验版教科书注重联系实际的特点，而且强调问题情境与物理内容的相互呼应。通过“以惑为诱、以问促学”的内容设计，培养学生的物理自然观和建模、推理、论证及质疑能力。

3. 更重实践，强调概念构建过程，注重探究能力的培养。不仅继承实验版教科书的实验栏目，而且注重凸显物理实验的育人功能。通过“学生必做实验”“实验探究”“迷你实验室”“DIS 实验室”等实验版块，以“引导、递进、开放”的精巧设计，培养学生的问题、证据、解释及交流方面的探究能力。

4. 更富逻辑，结构更完善，更符合教育教学规律。不仅继承了实验版教科书结构上注重逻辑的特点，而且通过“方法点拨”“策略提炼”“拓展一步”等栏目，进一步升华学



修订后整套教科书的基本架构

习内容，同时注重难点分解、台阶降低、逐步到位，关注了学生的认知特点。

5. 更重评价，发挥习题功能，促进学生全面发展。改进实验版教科书在习题设计方面的不足，基于物理学科核心素养和学业质量要求，分层设计“节练习”“章末练习”“单元自我检测”，更好发挥习题的功能，促进对核心素养测试的探索。

6. 更加拓展，反映物理学对人类生活及社会发展的影响。不仅继承实验版教科书从物理走向社会的特点，而且注重通过“科学书屋”“物理聊吧”等栏目培养学生的学习兴趣、人文情怀，及节约能源、保护环境的科学态度与社会责任感。

7. 臻于精致，体现“以学生发展为本”的理念。不仅继承实验版教科书图文并茂的特点，而且更加美观、适用，从结构确定、内容纳入、栏目设计、图片选用到版式推敲等多方面皆精雕细琢，旨在全力打造高质量的一流物理教科书。

编写组凝聚了高校学科专家、省市物理教研员、中学教学名师、考试评价专家、国际物理教科书研究者等研究力量，具有高校研究平台与中学教学积累的综合优势。各类课题研究、理论探索、国际比较等，使教科书修订具有研究基础、国际视野，能让物理教科书的质量提升到更高的水平。中学各级教学名师丰富的实践经验、珍贵的教学心得，为教科书修订中落实以学生发展为本的教学理念搭建了接地气的脚手架、扎实的一线平台，让修订版教科书更符合教学实际。

本教科书编写组主要成员及分工如下：全套教科书主编为廖伯琴；本册核心编者有杨燕鸣、梅家焯、谢德胜、冯庆、李富强、廖伯琴；本册由廖伯琴、杨燕鸣统稿，由廖伯琴定稿；全套教科书编务联系工作由李富强、李洪俊负责。

教科书的修订是一系统工程，需各方力量支持。参与本次修订版教科书编写、讨论、审读、组织试教或作出前期贡献的老师还有：李勇、程力、高山、周智良、宋树杰、王宪收、陈松、林伟庆、罗基鸣、黄晓标、林明华、杜明荣、刘林、许华忠、田序海、杨学切、青春、黄国雄、冯庆、邓磊、蒋小平、刘健智、廖元锡、冯华、蒋敏、李太华、张正严、翟厚岚、洪正平、梁雷、贺晓霞、张修文、梁一平、林钦、李晶晶、王文祥、董茂寅、宋协俊、邹建光、时玉义、马凤喜、吴新田、侯辰虎、郑玉峰、程美贵、冯连奎、曹国莹、岳志国、姜妮、欧剑雄、严士线、彭罡、张庆贵、吴双飞、刘新选、黄巧曦、吴寒平、李勇顺、黄惠菁、赵保钢、刘晓玲、林杰、罗国忠等。张书迪女士为本教科书设计图标，并在版式设计方面提出若干建议。

本次修订得到众多专家、学者、教研员、教师、学生以及家长的热诚帮助，得到了山东科学技术出版社的鼎力支持。在此，我们特向提供帮助的各方人士表示由衷感谢！修订后的教科书将很快进入中学课堂，我们恳请各方人士不吝赐教。

挑战与发展共存！我们期待批评，也期待各位的支持。谢谢！

主编 廖伯琴

2019年5月于西南大学荟文楼





物理

WU LI

普通高中教科书

物 理

必修 第一册

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
WULI BIXIU DI-YI CE

主 编 廖伯琴

主管单位：山东出版传媒股份有限公司

出 版 者：山东科学技术出版社

地址：济南市市中区英雄山路189号
邮编：250002 电话：(0531)82098088
网址：www.lkj.com.cn
电子邮箱：sdkj@sdcbsm.com

发 行 者：山东新华书店集团有限公司

地址：济南市市中区英雄山路189号
邮编：250002 电话：(0531)82797666

印 刷 者：山东临沂新华印刷物流集团有限责任公司

地址：临沂市高新技术产业开发区新华路
邮编：276017 电话：(0539)2925659

规格：大16开（210 mm × 297 mm） 印张：9 字数：207千字
版次：2019年7月第1版 2021年11月第6次印刷

ISBN 978-7-5331-9857-2 定价：10.27元

价格批准文号：鲁发改价格核（2021）609014 举报电话：12345



绿色印刷产品

物理 必修 第一册
物理 必修 第二册
物理 必修 第三册
物理 选择性必修 第一册
物理 选择性必修 第二册
物理 选择性必修 第三册

ISBN 978-7-5331-9857-2



9 787533 198572 >

定价：10.27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