



普通高中教科书

物理

必修

第一册



 上海科技教育出版社

普通高中教科书

物理

必修

第一册

总主编 束炳如 何润伟



亲爱的同学：

从你打开这本物理教科书起，你就开始投身于一项激动人心的探索活动。让我们从现在开始，携手度过一段美好的时光。

你周围世界发生的事情几乎都跟物理学有关，现代社会的许多技术进步都源于对物理规律的理解和应用。学习物理可以使你提高科学素养的愿望得以实现，甚至可以使你成为“专家”。作为现代社会的公民，物理学将有助于我们解决生活、生产中的许多问题。

在《物理（必修1）》中，“开篇”将对物理学的方方面面进行全景扫描，并向你提供一些学好物理的方法。接下来，我们将重走从伽利略到牛顿为建立经典力学而开辟的道路，学习物理学的基本原理，体会物理学的思想观点和研究方法，认识物理学在科学技术上的广泛应用，及其对人类文明与社会发展的巨大影响。

为了让你在学习《物理（必修1）》的过程中获得更大的成功，请浏览下面的本书栏目介绍。



第3章 力与相互作用

在我们的长江之口、东海之滨，屹立着一座闻名遐迩的国际大都市——上海。上海的母亲河——黄浦江，由西南而东北，在吴淞口与长江汇合，流入大海。

她，经历了历史的沧桑；她，见证了时代的变革……

如今，在两岸的一片新天地中，她吹笑着，奔腾着，一路高歌，滚滚向前。

你看见了吗？江上那新建的一座座斜拉桥，使上海的浦东、浦西紧密相连；你听见了吗？这一座座斜拉桥，仿佛一架架巨大的竖琴，正弹奏着一首首悦耳的乐曲。

斜拉桥是近半个世纪以来才得到迅速发展的新型桥梁，其中涉及的力学知识十分丰富和复杂。

本章我们先认识常见的力，再从研究斜拉桥入手，弄清力的合成与分解，学会分析一些生产生活中的平衡问题，体会物理模型在探索自然规律中的作用，并理解科学、技术、社会、环境的关系。

每章的开头都有一些情境，提出一些问题，让你明确本章研究的主要内容。

实验探究

这里将要求你提出问题，设计实验方案，动手做一些有意义的实验，进行科学探究。

实验探究 用悬挂法确定薄板的重心

形状不规则的薄板，其重心可用悬挂法来确定。如图3-1-7所示，先在A点把薄板悬挂起来，过A点画一条竖直线AA'；再在另一点B把薄板悬挂起来，同样过B点画一条竖直线BB'。这两条线的交点就是薄板的重心。

说说用悬挂法找薄板重心的原理。

分析与论证

这里你将进行分析、综合，并运用数学工具进行推理，得出物理学规律和公式。通过这一过程，你将体会科学思维的魅力。

分析与论证 共点力的平衡

上述实验结果也可以通过推理得到。我们先讨论二力平衡的情况。图 3-7-4 中，放置于水平面上的物体只受到两个力的作用，平衡时它们的合力 $F_0 = 0$ 。图 3-7-5 中， O 点受到三个力的作用，处于平衡状态。若把其中 F_1 、 F_2 先合成为 F' （图 3-7-6），即可简化为二力平衡的情况。可以发现，它们同样满足条件

$$F_0 = 0$$

学生必做实验 测量做直线运动物体的瞬时速度

我们用打点计时器来测量瞬时速度。

打点计时器分为电磁打点计时器和电火花打点计时器，它们都是以相同的时间间隔在纸带上连续打点的仪器。当使用的电源频率为 50 Hz 时，打点计时器每隔 0.02 s 打一个点。

电磁打点计时器的构造如图 1-3-3 所示，它由底座、线圈、振片、振针、永久磁铁和限位孔组成。由学生电源供电，使用交流电，工作电压为 6-8 V。使用时，把纸带穿过限位孔，再从振针下面的复写纸下穿出。线圈接通电源后，在线圈和水

学生必做实验

这里为你提供了完整的实验活动，让你通过动手实验，探索物理规律，学习物理方法，形成物理观念，提高解决问题的能力，体验成功的喜悦。

信息浏览、STSE

这里为你提供了各种有趣、有用的资料，包括物理学史上的经典事例、科学家小故事等，它们反映了物理学与科学、技术、社会、环境的紧密联系。你的视野将更开阔，你会更加热爱科学。

信息浏览

速率计是怎样工作的

图 1-3-11 是汽车速率计的基本结构示意图，其工作原理如下。

速率计的转轴通过一系列传动装置与汽车驱动轮相连，速率计转轴的上端物接了一个永久磁铁，磁铁上罩了一块铝片，铝片又固定在指针轴上。当磁铁随转轴旋转时，在铝片中会产生感应电流，这时铝片与永久磁铁会发生相互作用，使指针转动。由于弹簧游丝的弹力作用，最终指针会稳定地指在一个刻度上。汽车运动越快，转轴旋转越快，感应电流越大，指针偏转的角度就越大。从指针的示数就可以知道汽车的瞬时速率。

请你思考：当汽车在冰面上打滑时，速率计能正确指示车速吗？



图 1-3-11 速率计的基本结构

多学一点 $v-t$ 图像的应用

$v-t$ 图像不仅形象地反映了做匀变速直线运动物体的速度随时间的变化规律，还可以辅助运算。

例如，在案例 2 中若画出汽车制动滑行的 $v-t$ 图像（图 2-4-5），立即就可以根据图像与 t 轴的面积跟滑行位移的关系，由

$$s = \frac{1}{2}v_0 t$$

得出汽车的初速度

$$v_0 = \frac{2s}{t} = \frac{2 \times 9}{1.5} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s} = 43.2 \text{ km/h}$$

多学一点

这里将介绍更多更深的奥秘，以开阔你的视野。你如果有兴趣，可以作进一步的探索。

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究，这种研究将使你的才智得到充分的展示。

课题研究

用欧拉方法测量动摩擦因数

在第 3 章中，我们使用物体做匀变速直线运动的方法来测定动摩擦因数。但实验中，由于物体是否做匀变速直线运动不易判断，误差较大。

18 世纪的瑞士著名科学家欧拉（L. Euler）首先采用使物体做加速运动的方法测定物体的动摩擦因数，实验更为方便。

实验装置如图 4-5-8 所示。在一个倾角为 θ 的斜面上，使一块小木块从静止起加速下滑。测出时间 t 内小木块的位移 s ，即可用 t 、 s 和 θ 得出动摩擦因数的表达式。

请推导这个表达式。

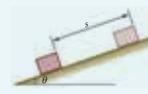


图 4-5-8 欧拉实验的原理

目 录



开篇 激动人心的万千体验 6

- 0.1 物理学——理性的追求 7
- 0.2 物理学——人类文明的瑰宝 11
- 0.3 学物理——探究求真 16



第 1 章 物体运动的描述 19

- 1.1 运动与质点模型 20
- 1.2 怎样描述运动的快慢 26
- 1.3 怎样描述运动的快慢(续) 29
- 1.4 怎样描述速度变化的快慢 36



第 2 章 匀变速直线运动的 规律 42

- 2.1 伽利略对落体运动的研究 43
- 2.2 匀变速直线运动的规律 47
- 2.3 自由落体运动的规律 50
- 2.4 匀变速直线运动规律的应用 52

第3章 力与相互作用····· 57

- 3.1 重力····· 58
- 3.2 弹力····· 60
- 3.3 摩擦力····· 64
- 3.4 分析物体的受力情况····· 69
- 3.5 怎样求合力····· 72
- 3.6 怎样分解力····· 76
- 3.7 共点力的平衡及其应用····· 80

第4章 牛顿运动定律····· 87

- 4.1 牛顿第一定律····· 88
- 4.2 探究加速度与力、质量的关系····· 93
- 4.3 牛顿第二定律····· 96
- 4.4 牛顿第三定律····· 99
- 4.5 牛顿运动定律的案例分析····· 103
- 4.6 超重与失重····· 107

总结与评价 课题研究成果报告会····· 113

研究课题示例····· 113

评价表····· 114





开篇 激动人心的万千体验

——欢迎学习高中物理课程

在初中阶段，你已初步领略了物理世界的美妙风光。现在，你站到了高中物理的大门口，物理世界中更为丰富、更为奇妙的景象正在召唤着你。希望你迈开自信的步伐，踏着物理学家留下的足迹，在探索自然、推动技术、拯救生命精神的激励下，继续你“激动人心的智力探险活动”^{*}。

^{*} 引自 1999 年第 23 届国际纯粹与应用物理联合会代表大会的决议。

0.1 物理学——理性的追求

日出月落，斗转星移，它们是由什么控制的？大千世界，宇宙万物，它们是由什么组成的？古希腊把所有对自然界的观察和思辨，笼统地包含在一门学问里，即“自然哲学”。“物理学”的希腊文是 φυσικη，原义就是“自然哲学”。那时，物理学是自然哲学的一部分。直到 17 世纪，物理学才从自然哲学中分化出来，作为一门独立的学科正式诞生。

一座金碧辉煌的大厦

什么是物理学？一位物理学家十分幽默地说：“请拿起这本书并撒手，这就是物理学！它研究下落和自然界的一切其他普遍特征。”

物理学是一门基础自然科学，它所研究的是物质的基本结构、最普遍的相互作用、最一般的运动规律。

近代意义上的物理学是从伽利略（Galileo Galilei）研究落体运动开始的。这位伟大的意大利物理学家善于观察，勤于思考，敢于挑战权威，倡导将实验、数学和科学推理相结合的研究方法，打开了通向物理学的大门。

继伽利略之后，牛顿（I. Newton）“站在巨人的肩膀上”，把地面上物体的运动和天体运动统一起来，用为数不多的几条定律揭示了天上、地上一切物体运动的普遍规律，建立了经典力学体系，实现了物理学史上第一次大综合。他写成巨著《自然哲学的数学原理》，为物理学做出了划时代的贡献。依据牛顿的理论，人们能诠释行星的绕日运动，能预言彗星的回归，能通过计算发现新的行星……

18 世纪，人们对热现象和热机进行了研究，取得了很大的进展，但也遇到了许多难题。

历史上，一些人费尽心机，试图制造出一旦启动就永不停息的机器——“永动机”，但他们的一切努力都付诸东流，这是怎么回事？

现代热机的效率不会超过 40%。假如有一种完全没有摩擦的“理想热机”，它的效率能达到 100% 吗？

用显微镜观察水中的一粒花粉，记录下它在坐标纸中的位置。你看，它踉踉跄跄，毫无定规，你知道其中的原因吗？

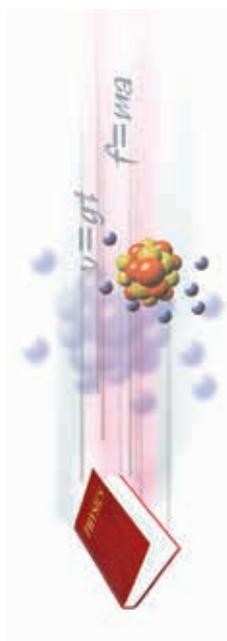


图 0-1-1 什么是物理学

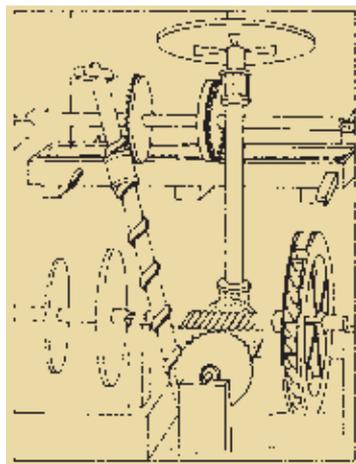


图 0-1-2 一种“永动机”的模型



图 0-1-3 悬浮微粒的运动记录

牛顿的经典力学虽能精确地预言天体的运行，却无法回答上述问题。

19 世纪，经过迈尔 (J. Mayer)、焦耳 (J. Joule)、卡诺 (S. Carnot)、克劳修斯 (R. Clausius) 等人的研究，经典热力学正式确立，从而把热与能、热运动的宏观表现与微观机制统一起来，实现了物理学史上的第二次大综合。

我们知道，在力学和热学中，几乎所有的作用都是靠实物传递的。那么，现代通信中，是靠什么将远隔重洋的信息传递到千家万户的呢？我们天天见到的光跟我们熟识的电和磁之间有联系吗？

同在 19 世纪，麦克斯韦 (J. Maxwell) 在库仑 (C. de Coulomb)、安培 (A. Ampère)、法拉第 (M. Faraday) 等物理学家研究的基础上，经过深入研究，把电、磁、光统一起来，以精确的数学语言表述了他建立的经典电磁理论，预言了电磁波的存在，充分显示了电与磁的对称性和完美性，实现了物理学史上的第三次大综合。

至此，经典力学、经典热力学和经典电磁学，在“戴上能量守恒定律的桂冠”后，融合为一个整体，形成了一个完整的经典物理学体系，一座金碧辉煌的物理学大厦巍然耸立。

物理学的探索难道就此停止了吗？

两朵乌云的挑战

19 世纪末，在辉煌的物理学大厦面前，许多著名的物理学家满怀喜悦，他们自信地说：“在已经建成的科学大厦中，后辈物理学家只能做一些基本的修补工作了。”“物理学将无作为了。”“未来的物理学真理将不得不在小数点后第六位去寻找……”事实证明，他们有点过于乐观了。

1900 年的春天，在人们欢呼经典物理学伟大成就的同时，英国物理学家开尔文勋爵 (Lord Kelvin) 指出，“在物理学晴朗天空的远处，还有两朵小小的令人不安的乌云”。

这两朵乌云，其一跟屡见不鲜的热辐射现象有关。

你可知道，红外取暖器辐射出来的能量是一份一份的吗？

其二跟物体接近光速运动时的情况有关。

我们知道，两个运动物体的速度相同时，它们处于相对静止状态。爱因斯坦 (A. Einstein) 在 16 岁时向自己提出一个问题：“如果我以光速追随光波，将会看到什么？”

按照经典力学的运动相对性原理，应该看到静止的光波，但这是不可能的。

正是这两朵小小的乌云，引起了物理学的一场伟大的革命，促使了现代物理学的诞生。

物理学的探索无止境

在 19 世纪末的十多年间，涌现出了一系列新的发现，一个奥妙无穷的微观世界和一个不可思议的高速世界展现在人们面前。一些高瞻远瞩的物理学家敏锐地感觉到，这是新理论诞生的前兆。

1897 年，英国物理学家 J. J. 汤姆孙 (J. J. Thomson) 通过对阴极射线的研究，发现了电子。30 年后，他的儿子 G. P. 汤姆孙 (G. P. Thomson) 和美国物理学家戴维森 (C. Davisson) 分别用实验证明：电子具有波动性。汤姆孙父子都因研究电子而先后获得了诺贝尔物理学奖。那么，电子到底是实物粒子还是波呢？

20 世纪初，爱因斯坦创立了相对论；在普朗克 (M. Planck)、爱因斯坦、玻尔 (N. Bohr)、德布罗意 (L. de Broglie)、海森堡 (W. Heisenberg)、薛定谔 (E. Schrödinger) 等人的努力下，量子力学应运而生。现代物理学的基础由此奠定。

如今，现代物理学的研究遍及物质世界的各个层次。其中两大前沿领域是：粒子物理和天体物理。粒子物理在极小的尺度上探索物质更深层次的结构，人类的触角已深入到小至 10^{-18} m 的微观粒子内部；天体物理则在宏大的尺度上寻求宇宙的起源和演化的规律，人类的视野已扩展到 10^{26} ~ 10^{27} m 的空间尺度。

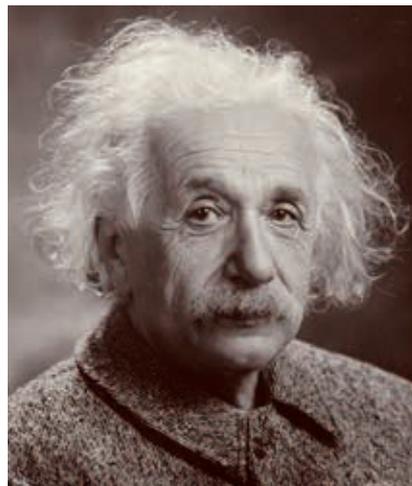
图 0-1-4 所示是目前人类所认识的物质世界的时空尺度。在时间尺度上，从 10^{-25} s 到 10^{18} s，跨越了 44 个数量级；在空间尺度上，从 10^{-18} m 到 10^{27} m，跨越了 46 个数量级。

物理学还与自然科学的其他学科相结合，不断孕育出许多新的交叉学科，在 21 世纪将凸显出举足轻重的地位。物理学的探索永无止境。

“物理学——研究物质、能量和它们相互作用的学科——是一项国际事业，它对人类未来的进步起着关键的作用。”* 你从跨进物理学大门起，就应该牢记这一崇高的使命。

我们所见固然美丽，我们所知愈加神奇，而我们所未知未见的更是美不胜收，妙不可言。

——尼尔斯·斯坦森



我从事科学研究完全是出于一种不可遏制的想要探索大自然奥秘的欲望。

——爱因斯坦

今天我们必须根据我们今天能认识的真理来生活，还得准备好明天称它为谬误。

——威廉·詹姆斯

* 引自 1999 年第 23 届国际纯粹与应用物理联合会代表大会的决议。

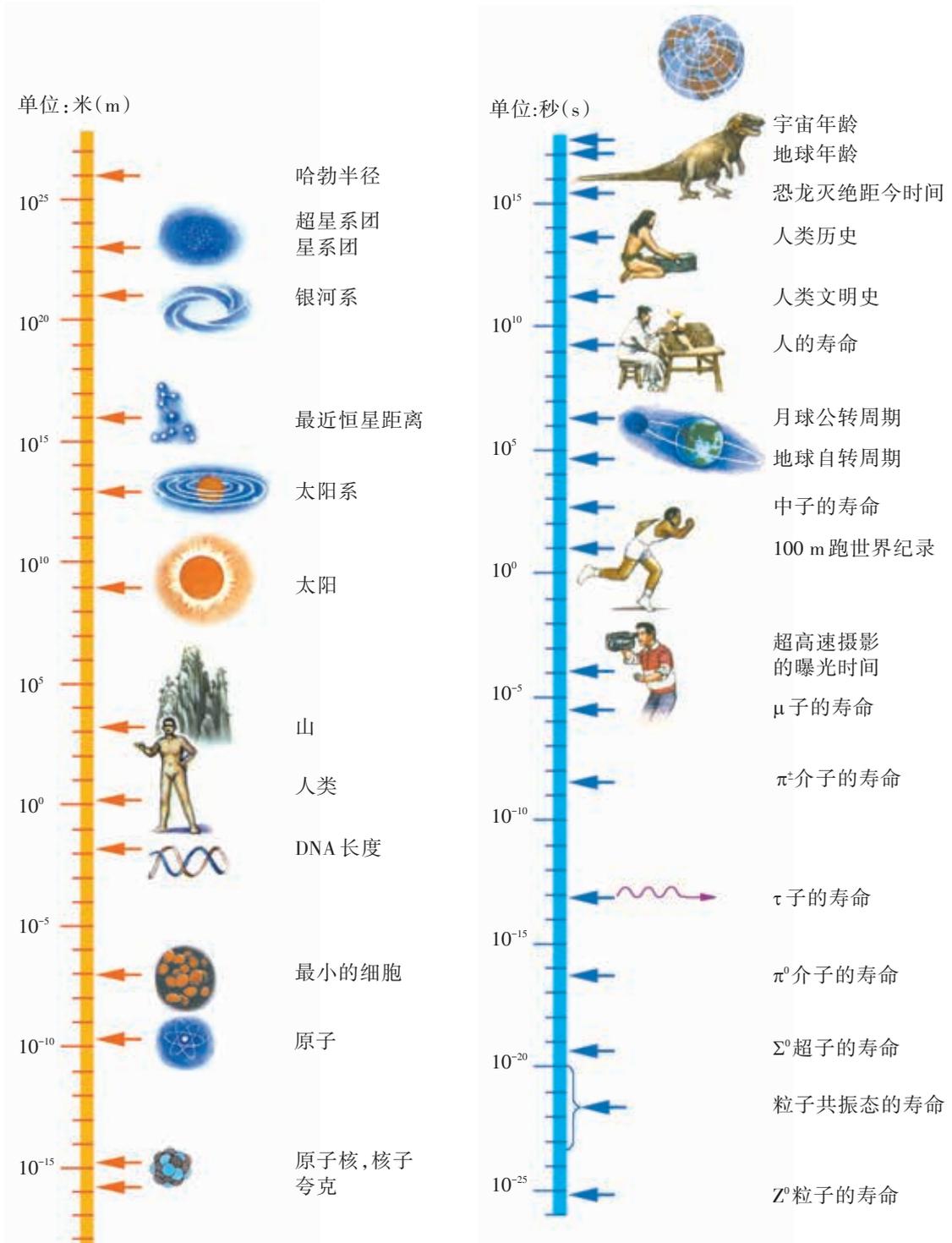


图 0-1-4 人类目前所认识的自然界的时空尺度

0.2 物理学——人类文明的瑰宝

在人类文明的进程中，物理学有力地推动着科学技术的发展和社会的进步，深刻地影响着人们的思想观念和生活方式。

物理与技术——交相辉映

人类在长期生产实践中，发明了简单机械，有效地提高了劳动效率。

经典力学的建立、蒸汽机的发明，促进了热力学的发展，奠定了第一次工业革命的基础，人类进入了蒸汽机时代，实现了从手工业生产向大规模机器生产的转化。对电磁现象的深入探究，引发了以电力应用为标志的第二次工业革命。20世纪以来现代物理学的惊人成果，更以雷霆万钧之势推动着技术和社会经济向前发展，使世界发生着日新月异的变化。

中国古人发明了指南针，并首先用于航海，后传入西方，意义深远的大航海时代就此开始。物理世界中的磁现象，不但写就了人类文明中如此重要的篇章，而且随着对磁学研究的持续深入，不断地造福于人类的生活。当我们将古代的指南针跟当今的核磁共振仪（图 0-2-1）、磁浮列车（图 0-2-2）等联系在一起时，怎不让人惊叹物理学与技术结合的伟大与神奇！

从 1609 年伽利略的第一台天文望远镜到被称为“中国天眼”的 500 m 口径球面射电望远镜（FAST），从 16 世纪末第一台光学显微镜到现代的扫描隧穿显微镜（STM），它们都为人类探索广袤宇宙的奥秘和微观粒子的机理提供了强有力的武器。

物理学的理论成果，为技术创新打下了基础，从而催生了琳琅满目的高新技术成果。而技术的进步，也时时为物理学提供着先进的设备和手段，促进了物理学的发展。

对任何人来说，不关心科学就是甘受奴役。

——雅各布·布罗诺夫斯基



图 0-2-1 用核磁共振仪检测病人



图 0-2-2 磁浮列车



a “长征”号火箭升空



b 国际空间站

图 0-2-3 太空探索

人类不但已经实现了在天空中像鸟儿一样自由翱翔的梦想，而且令人惊奇地让一个个航天器冲天而起，按照事先计算好的轨道在太空中遨游。人类登上火星等遥远行星已指日可待。然而产生这些奇迹的最基本原理却同样地令人惊奇——那就是物理学关于运动和力的研究。

现代社会中，从日常生活中的计算机、智能手机，到生产、科研中的核电站、粒子高能加速器、智能机器人等，哪一样不是物理学带给人类的丰硕成果？

雷达为什么能探测到千里之遥的目标？隐形飞机真的能隐“形”吗？数百千米高空中的遥感卫星为什么能探知地球深处的秘密？人们在地球上为什么能指挥遥远火星上的机器人？……

所有这些，都可在物理学中找到答案。

你能不能列举现代社会生活中的一些事实，说明物理学与技术、社会、环境的互动关系？

科学是一种强有力的工具，怎样用它，究竟是给人带来幸福还是灾难，全取决于人自己，而不取决于工具。

——爱因斯坦

物理观念——人类文明的思想宝库

古往今来，物理学的发展不仅加深了人类对物质世界规律性的认识，激发了技术的创新，还极大地丰富了人类的思想宝库。物理学的每一个进步，往往会对人类的思想观念产生深远的

影响。

物理学中最基本的观念是：“世界是由物质组成的，物质是不断运动变化着的，物质运动变化是有规律的，规律是可以被人们认识的。”这也正是自古以来许多哲学家所持有的朴素唯物主义思想的渊源。

当伽利略等人抛弃千余年来崇尚清谈的古希腊哲学家遗风，开创了实验物理的先河之后，“实践是检验真理的唯一标准”最先在物理学中成为共识。

物理学的牛顿时代带来了社会文化的深刻变革：人们越来越相信，整个宇宙都遵循着统一的规律。于是，一次物理学的革命也同时带来了文化观念的革命，机械决定论的思想曾在很长的时间里成为社会观念的主流。1747年，法国哲学家拉美特利（J. O. de La Mettrie）大声宣称：“人是机器！”这种观念促使人们不断探索人这架“机器”的运作和结构，带来了医学和生理学的发展，同时，也影响了人们对其他现象的认识。

随着物理学对分子运动规律研究的进展，机械决定论不再被认为是放诸四海而皆准的真理。“统计”“概率”开始进入物理学领域。时至今日，我们已经相当习惯于使用“可能性”而非“必然性”来对事物的进程进行描述，尤其在一些影响因素十分复杂的情景下。例如，面对汇总的市场信息，管理人员作决策时，往往会用概率的估计来代替原先非此即彼的结论。

在现代社会中，物理学中关于模型的方法，已广泛地渗透到自然科学、社会科学和哲学的各个领域。例如，在社会学、经济学、市场管理学中，已运用物理学中的模型方法成功地对环境、市场等社会和经济问题进行量化研究和测控。物理学中“熵”的概念，已不仅仅是用来描述物理过程的变化规律，而且广泛应用于社会生活的多个领域，并激发了现代社会的共同呼声——追求人类社会的可持续发展。

科学的发展，尤其是物理学的发展，使人们悟出了人和自然必须和谐共处的道理。科学技术是一把“双刃剑”。核能既为人类提供了巨大的能源，也使人类受到毁灭性的威胁。全球变暖、环境污染、物种灭绝……面对这些危害人类生存的全球性问题，物理学比过去任何时候都更加急切地呼唤着全社会来关注科学本质观，呼唤人类的责任感，因为在科学的丰碑上，镌刻着两个闪光的大字——“良知”！

物理与艺术——科学思维与情感的结晶

著名物理学家李政道说过：“科学和艺术源于人类活动最

崇高的部分，都追求着深刻性、普遍性、永恒和富有意义。”“对科学的理解和对艺术的美学鉴赏都需要智慧，随后的感受升华，与情感又是分不开的。”

自然界的对称美，曾使无数人为之赞叹不已。艺术常常以对称作为它表现美的形式；而在整个物理学领域中，同样充满着对称的现象、对称的规律和对称的结构。

法拉第受到奥斯特(H. Oersted)实验的启发后提出，既然“电能产生磁”，那么“磁能否产生电”呢？通过艰苦的实验探究，他终于发现了电磁感应规律；麦克斯韦用一组被誉为诗一般优美的对称方程组概括了电磁场理论；电子是带负电的，狄拉克(P. Dirac)却预言了正电子的存在……

对称中也蕴藏着不对称，杨振宁、李政道发现的宇称不守恒，使人们感受到另一种理性的美。犹如我国古代的太极图，“白中有黑，黑中有白”，让人引发无穷的遐想。

每一座大型的音乐厅和影剧院，都要经过物理学模型的仔细验证，才能达到最佳的艺术与音响效果。每一款最新的轿车，也必须按照物理学的原理对它的外观与造型等进行设计。可以这么说，大至摩天大楼，小至微型电子产品，无一不是物理学原理、工程技术和艺术灵感的巧妙结合。



图 0-2-4 美丽的雪花——从天而降的对称的艺术品

当物理学第一次揭开了物质与能量的秘密时，公式 $E = mc^2$ 就激发了无数的艺术灵感，极大地拓展了文学作品对未来畅想的

空间。

当物理学刚刚揭示激光的独特性质时，电影《星球大战》就已经把它作为科学幻想中的高效武器。

当物理学开始讨论时间的本质时，文学家们就迫不及待地写下时间旅行的故事……

19世纪法国的文学家福楼拜 (G. Flaubert) 说过：“艺术越来越科学化，科学越来越艺术化。两者在山麓分开，有朝一日，将会在山顶重逢。”科学和艺术都为着同样的目标——使人类更好地实现自身的价值，而并肩前进！

请阅读下面的资料，说说你的看法。

中国高等科学技术中心在举办重大国际学术研讨会时有一个惯例：邀请著名画家按照会议的主题作画。每次作画都由著名物理学家李政道根据会议主题提出一个初步的艺术构想，并约请艺术大师与物理学家磋商，以沟通科学与艺术的创意，再邀请画家泼墨挥毫。此举受到了国内外科学界的普遍赞扬。图 0-2-5 为著名画家吴作人为“二维强关联电子系统”国际学术会议所作的主题画。



图 0-2-5 无尽无极

科学家邀请画家作画，纯粹是出于个人的艺术爱好吗？你对这项活动是怎样评价的？

0.3 学物理——探究求真

重视实验 勤于思考

没有实验的物理理论是空洞的，没有理论的实验是盲目的。

——海因茨·帕格尔斯

物理学是一门以实验为基础的科学，学习高中物理必须重视实验。高中物理实验在设计思想、实验方法、数据处理、实验技能等方面比初中有着更高的要求。实验时，要理解实验原理，选择实验器材，调整实验装置，采集和处理实验数据，对实验结果进行分析论证和评估。

在实验过程中，要勤于思考，多问几个“为什么”，多作一些联想和引申。

由于知识面的局限而暂时无法解决的问题，可以让它先在脑海中挂个号，以后再逐步解决。脑海中积累的问题越多，思维会变得越宽广。

让我们来做几个实验，作些思考，看看你能发现哪些问题。



图 0-3-1 水流星表演

转动的水杯

取一只矿泉水瓶，截去上半部做成杯子。在杯壁上部对称钻两个小洞，系上细绳。装上半杯水，并滴入红墨水，使杯中水变为浅红色。手握细绳的另一端，使杯子在竖直平面内做圆周运动。你会看到，一团红色的水在空中飞旋，纵然不时杯口朝下，仍滴水不漏。如果取一根长绳，两端各系上杯子转动，就类似杂技表演中的“水流星”节目了。

这是什么道理呢？这个现象跟人造卫星绕地球运动有没有某种联系？要保证杯中的水不流出来，转动的速度至少应多大？

信息浏览

美国发明家爱迪生从 11 岁开始在家中的地下室里做实验，直到他 84 岁逝世，整整做了 73 年的实验，留下了 2 500 册实验记录本。仅是“白炽灯”这一项发明，他就进行了几千次实验，有关的实验记录达 200 册。

爱迪生 (T. A. Edison, 1847—1931)，美国发明家。早年发明发报机。1877—1879 年发明留声机，通过实验改进了白炽灯和电话。在电影技术、建筑、化工等方面也有不少发明。一生共获发明专利 1 000 多项。



皂液膜上的彩色条纹

把铁丝圈在肥皂液中浸一下后提出来，上面会蒙上一层皂液膜。在太阳光照射下，你会看到皂液膜上闪映着彩色条纹。如果用洒有食盐的酒精灯火焰去照射它，你还会看到皂液膜上闪映的是黄色条纹。

请仔细观察皂液膜上条纹的分布，你知道产生这种现象的原因吗？

对以上两个实验中的有关问题，在以后的物理学习中都要进行较为深入的研究。

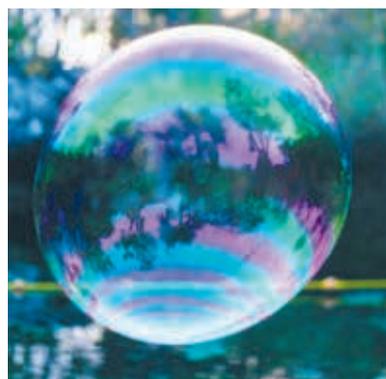


图 0-3-2 皂液膜上的彩色条纹

经历过程 体会方法

登山的乐趣在于攀登，探究的魅力在于过程。只有经受了“众里寻他千百度”的艰辛，“为伊消得人憔悴”的磨难，才会有“蓦然回首，那人却在，灯火阑珊处”的喜悦。

学习物理亦是如此，只有经历了提问、思考、实验、释疑等过程，你才能体验到科学探究的无穷乐趣，享受到经历过程、收获知识的无比喜悦。

你知道超重、失重吗？

当你用体重秤测体重时，怎样才能称得准？

仔细观察：当你快速下蹲和迅速起立时，体重秤的示数有无变化？怎样变化？

当宇宙飞船遨游太空时，航天员为什么处于失重状态？

你知道这些现象的物理原理吗？

在物理学习过程中，经历过程有着多种含义：可以是自己动手做实验，通过对测量数据的分析处理，得到结论；可以是依据书上的方法思路，通过自己的演算，推出公式；可以是根据现成的概念和规律，对照生活中的实例，重新体验；也可以是参加对某个问题的讨论，对知识进行整理等。经历过程的内核是“主动学习”，而不是被动接受。

著名理论物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费恩曼（R. Feynman）说过：“科学是一种方法，它教导人们：一些事物是怎样被了解的，什么事情是已知的，现在了解到什么程度，如何对待疑问和不确定性，证据服从什么法则，如何去思考事物、作出判断，如何区别真假和表面的现象。”

在物理学习中，要经常注意揣摩、体会研究问题的思路 and

结论几乎总是以完成的形式出现在读者面前，读者体会不到探索和发现的喜悦，感觉不到思想形成的生动过程，也很难达到清楚地理解全部情况。

——爱因斯坦

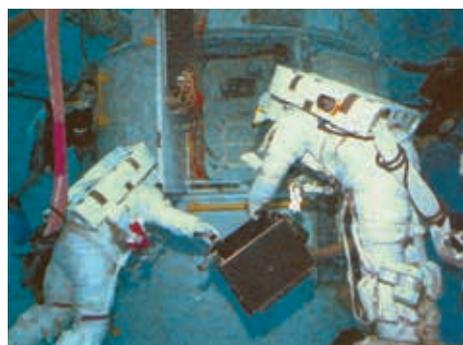


图 0-3-3 失重状态下的航天员

方法，这样你就会聪明、灵活，解决起问题来也就得心应手了。

格物致知 探究求真

格物致知的真正的意义……
第一，寻求真理的唯一途径是对事物客观的探索；第二，探索的过程不是消极的袖手旁观，而是有想象力的有计划的探索。

——丁肇中



牛 顿 (I. Newton, 1642—1727)，英国物理学家、数学家与天文学家。建立了经典力学的基本体系。

要勤奋地去做练习，只有这样，你才会发现，哪些你理解了，哪些你还没有理解。

——索末菲

科学的精髓在于不断的探究。自然界的规律往往隐藏在众多表象的茫茫迷雾之中，而科学探究就像穿透迷雾的明灯，引导着探索者到达真理的彼岸。牛顿发现万有引力定律就是一个最好的典型事例。

从第谷、开普勒到牛顿

丹麦天文学家第谷 (Tycho Brahe) 在他长达 21 年的观测中，对天体运动积累了丰富的资料。他的观察准确性超过前人的几十倍到上百倍，各个行星位置的误差仅为 2'。可是，他受到地心说的影响，结果就像一个不会花钱的富翁，不知道怎样正确使用这笔财富。第谷去世后，他的助手、德国天文学家开普勒 (J. Kepler) 应用第谷的观测资料，通过丰富的想象和深入的思考，坚持不懈地用几何图形和数学计算进行分析论证，寻求隐藏在第谷的观测结果背后的行星运动规律。经过多年的努力，他终于发现了行星运动三定律。英国物理学家牛顿则在开普勒定律的基础上，根据行星运动的特征，并联系地面上物体的运动，发现了万有引力定律。

有人问牛顿是如何发现万有引力定律的。牛顿回答说：“靠持续地思考。”“我持久地把这个课题放在面前，一直等到又一个黎明，一点点变得充满阳光。”

物理学习同样也离不开不懈的探究。从书本上的知识介绍，到身边的自然现象，探究的对象无所不在；从抽象的理论思考，到具体的实验探究，探究的形式多种多样。让我们追随那些伟大物理学家的足迹，在物理学习的过程中体验探究的乐趣，汲取知识的营养，提高个人的物理核心素养。

物理学不单单是物理学家的物理学，还是每个普通人的物理学；物理学不单单是实验室中的物理学，还是现实生活中的物理学；物理学不单单是理论上的物理学，还是指导实践的物理学。

今后，它将时时、处处伴随着你！



第 1 章 物体运动的描述

2003年10月15日，一个令人骄傲的日子，一个彪炳史册的日子，我国第一艘载人飞船“神舟”五号满载着全国人民的希望成功升空。

飞船在茫茫太空中遨游，如何描述它的运动呢？

文学家、艺术家采用形象的手法。“凌云戏月游银汉，转瞬翔天过太空”^{*}，短短的诗句，让飞船航天时的雄姿跃然纸上。

在研究中，科学家需要先建立一些基本概念。20世纪著名物理学家海森堡曾说过：“为了理解现象，首要条件就是引入适当的概念。只有借助于正确的概念，我们才能真正知道观察到了些什么。”

在本章中，我们将首先描述运动，建构质点模型，进而通过对直线运动的初步研究，学会如何研究物体运动的快慢和运动快慢的变化，为进一步研究更复杂的运动打下基础。

^{*} 作者欧阳中石，原诗载《光明日报》2003年10月17日第1版。

1.1 运动与质点模型

怎样判断动与静

一个物体相对于其他物体的位置变化，叫做**机械运动**（mechanical motion），简称运动。机械运动是自然界最普遍、最基本的运动形式。

为了描述物体的运动，必须知道怎样判断物体是运动的还是静止的。

请设想一下，你和一位同伴正站在“天宫”太空舱里交流。在“地球人”看来，你们随太空舱以很大的速度绕地球运动。那么，你和同伴能感觉到自己在高速运动吗？虽然我们没有到过太空舱，但地球上的生活经验告诉我们，你和同伴都会认为自己是站在原处站着！

可见，物体的运动和静止是相对的。所以，描述物体运动时，需要选取另外一个物体作为参照，这个作为参照的物体叫做**参考系**（reference frame）。

描述同一个运动，选择不同的参考系，观察的结果会有所不同。参考系选择得当，会使对运动的描述更为简单、方便。

思考与讨论

1. 从一千多年前的唐代流传下来一首词*：

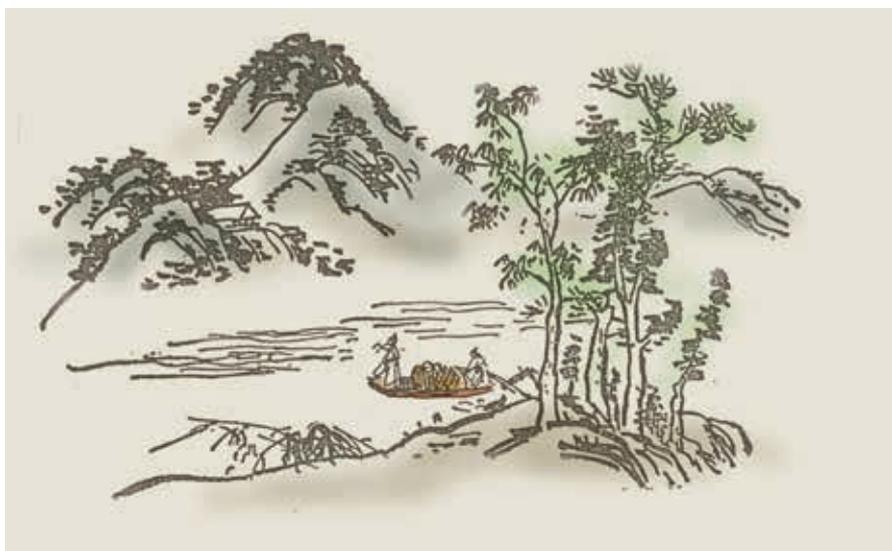


图 1-1-1 看山恰似走来迎

* 这首词作者佚名，其词牌叫《摊破浣溪沙》，这里是下阕，其上阕是：“五两竿头风欲平，长风举棹觉船轻。柔橹不施停却棹，是船行。”

满眼风波多闪烁，
看山恰似走来迎，
仔细看山山不动，是船行。

作者为什么会有“山迎”“船行”这样两种不同的感觉呢？

2. 在地面上研究物体的运动时，一般情况下，你认为应该怎样选取参考系？如果以后有机会乘坐飞船去访问火星，你认为应该怎样选取参考系？

怎样把物体简化为质点

在研究物体的运动时，常常需要对具体的物体进行简化。

据报道，“神舟”五号飞船载人舱长 7.4 m，直径 2.8 m，用长为 58 m、质量达 480 t 的“长征”二号火箭发射。飞船升空后，显示在指挥部显示屏上的仅是一个小小的光点（图 1-1-2）。科学家研究飞船在空中的位置、离开地面的高度、飞行的速度、运动轨道等问题时，都不需要考虑飞船本身的大小和形状，可以把飞船简化成一个有质量的点。



图 1-1-2 显示屏上“神舟”五号实时位置

乒乓球小而轻，直径仅 4 cm，质量约 2.7 g。运动员研究各种旋转球的打法时，要关注球的受力部位和受力方向对旋转的影响。这种情况下，由于乒乓球各处的运动情况不同，必须考虑到球的大小和形状，不能把它简化为一个点。

即使是同一个物体，能否简化为一个点，也得依据问题的具体情况而定。一列沿京沪高速铁路运动的动车，若研究它从上海到北京的运动，由于动车的长度远小于上海到北京的距离，

所以可把它简化为一个点；若研究它经过南京大胜关长江大桥的运动，由于动车的长度跟大桥长度相比较不能忽略，所以不能把动车简化为一个点。

在物理学中，用来代替物体的有质量的点叫做质点（mass point），质点是实际物体的一种理想模型。

在实际问题中，一个物体能不能看成质点是有条件的。如果在研究物体运动时，可以不考虑物体的大小和形状，或者物体上各点的运动情况完全相同，那么就可以把这个物体看成质点。

理想模型是在原型的基础上，经过科学抽象而建立起来的一种研究客体。它忽略了原型中的次要因素，突出了原型中起主导作用的因素，这便于探索自然规律。

思考与讨论

1. 地球是一个庞然大物，直径约为 12 800 km，与太阳相距 1.5×10^8 km。研究地球绕太阳的公转时，能不能把地球看成质点？研究地面上各处季节变化时（图 1-1-3），能不能把地球看成质点？

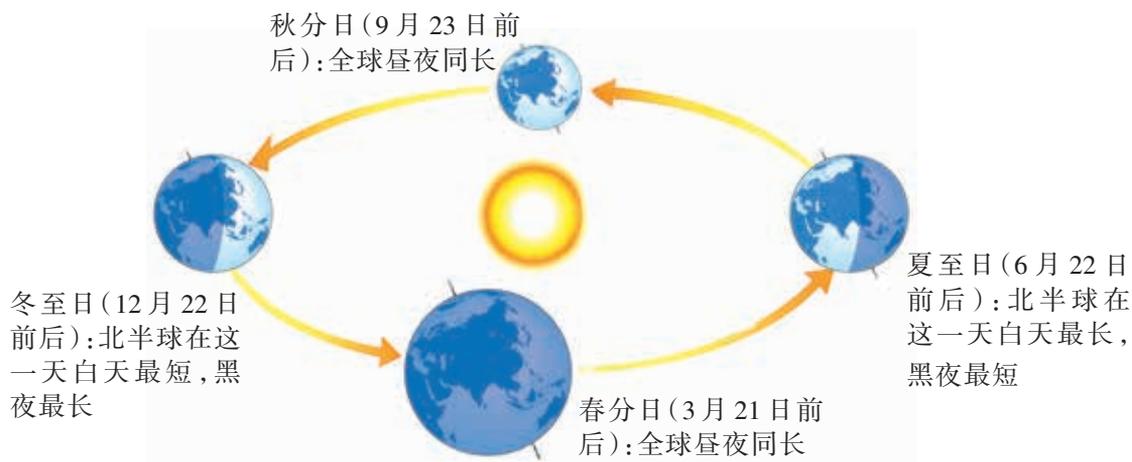


图 1-1-3 地球的公转和四季变化

2. 物理学中的质点跟几何学中的点有什么相同和不同的地方？

3. 你能否总结一下：在具体问题中把物体看成质点的条件是什么？请相互交流。

时间和时刻有什么不同

研究物体的运动时，必须分清时间和时刻的不同含义。时光流逝过程中的每一瞬间叫做时刻，它没有长短；两个时刻之间的间隔叫做时间。如果用一条直线表示时间轴 t ，开始计时的时刻记为 0 ，线上每一点代表着不同的时刻，两点之间的线段

则表示物体运动经历的时间（图 1-1-4）。

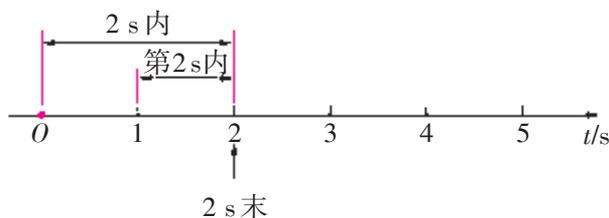


图 1-1-4 时刻与时间

中央电视台每晚的新闻联播从 19:00 开始，到 19:30 结束，播放时间是 30 min。请说明“19:00”“19:30”和“30 min”各指的是什么。

位移与路程有什么不同

图 1-1-5 是上海航空港的航线分布情况，那一条条红线表示什么意思呢？显然，它们不可能是飞机真正的飞行轨迹，而仅仅是连接不同城市的直线。这些连线表示飞机从其中一个城市飞行到另一个城市时的位置变化。

在物理学中，为了描述物体相对位置的变化，引入一个叫做**位移**（displacement）的物理量。它是从初位置指向末位置的一根有向线段，这根有向线段的长度表示位移的大小，它的方向表示位移的方向。位移跟路程是两个不同的概念。平常所说的**路程**（path）是指物体运动轨迹的长度，它只有大小，没有方向。

图 1-1-6 中的红色有向线段表示从上海到乌鲁木齐的位移，两地的铁路线长度就是坐列车从上海到乌鲁木齐所经过的路程。



图 1-1-5 上海航空港的航线图



图 1-1-6 上海至乌鲁木齐的位移和路程

思考与讨论

1. 在地图上查找上海到乌鲁木齐的铁路线。请根据地图上的比例尺，估算一下，从上海到乌鲁木齐的位移大小和坐列车经过的路程分别是多少？

2. 阅读下面的对话：

甲：请问到市图书馆怎么走？

乙：从你所在的市中心向南走 400 m 到一个十字路口，再向东走 300 m 就到了。

甲：谢谢！

乙：不用客气。

请在图 1-1-7 上把甲从市中心到市图书馆的位移和要经过的路程表示出来。

3. 请你归纳一下：位移和路程有什么不同？什么情况下位移的大小与路程相等？

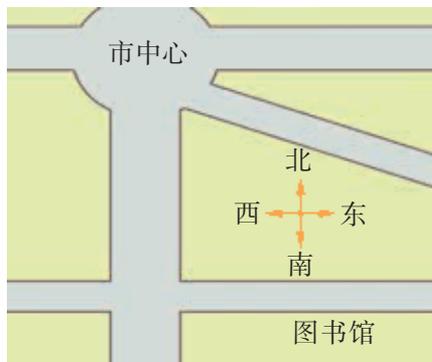


图 1-1-7 走到市图书馆

用坐标表示位置和位移

用坐标可以表示物体运动的位置和位移。

物体做直线运动（一维运动）时，只需用一个坐标就可以确定物体的位置。例如，一辆汽车从车站出发沿平直公路行驶，我们只要以车站为起点沿公路作一坐标轴，并规定好正方向，就可以把汽车在不同时刻的位置用相应的坐标表示出来。

汽车在某段时间内的位移（ s ），可以用末位置的坐标（ x ）和初位置的坐标（ x_0 ）表示出来，即

$$s = x - x_0$$

这时， s 的绝对值就表示了位移的大小， s 的正负就表示了位移的方向。

在图 1-1-8 中，汽车在 t_2 到 t_3 时间内的位移可表示为

$$s = x_3 - x_2$$

当物体做平面运动，即二维运动时（如轮船在大海中的航行），需采用两个坐标来确定它的位置；当物体做空间运动，即三维运动时（如飞机的飞行），需要用三个坐标来确定它的位置。二维运动和三维运动中物体的位移同样可以用位置坐标表示出来。

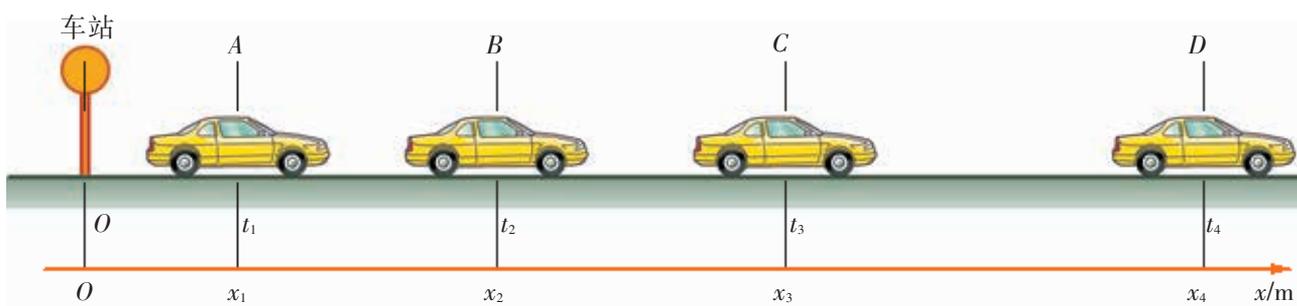


图 1-1-8 汽车位置的变化

家庭作业与活动



图 1-1-9 体操运动员腾空翻动作全过程的频闪照片

1. 能否把图 1-1-9 中的体操运动员看成质点？为什么？
2. 汽车、摩托车的里程表上记录的是路程还是位移的大小？你出门乘坐出租车是按行驶的路程付费，还是按位移的大小付费？
3. 用刻度尺量出 1 元硬币的直径，然后令它在课桌上沿直线滚动 10 圈。试问：
 - (1) 硬币圆心的位移和路程各是多少？
 - (2) 硬币圆周上每一点的位移的大小和路程是否相同？
4. 图 1-1-10 表示垒球场的内场，它是一个边长为 16.77 m 的正方形，四角分别为本垒和一、二、三垒。一位球员击球后由本垒经一垒、二垒跑到三垒，他的位移是多少？方向怎样？经过的路程是多少？
5. 一个小球从 4 m 高处落下，被地面弹回后，某人在 1 m 高处用手接住小球。若以地面上小球

落点为坐标原点、以竖直向上为正方向作坐标轴。将小球落点和手接球时的小球位置在坐标轴上表示出来，并求出小球在这个过程中的位移。

6. 某校 8 时整开始上第一节课，上午共 4 节课，每节课 45 min，课间休息 10 min。请在时间轴上把它们表示出来。

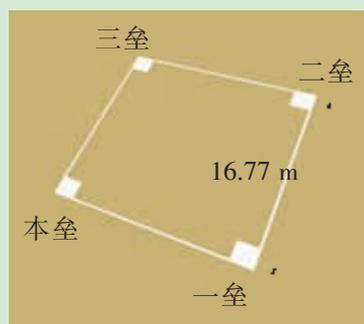


图 1-1-10 垒球场

1.2 怎样描述运动的快慢

物体的运动常常有快有慢，方向也会变化。那么怎样描述物体运动的快慢呢？由于物体的运动跟时间、空间有关，因此，为了描述物体运动的快慢，物理学中就引入了一个跟时间、空间有关的物理量，这个物理量就是速度。

什么叫速度

为了定量地描述物体运动的快慢，我们从研究简单的直线运动开始。

如图 1-2-1 所示，一辆汽车沿平直公路行驶，请分析图中秒表的示数和汽车的位移，判断汽车在做怎样的运动。

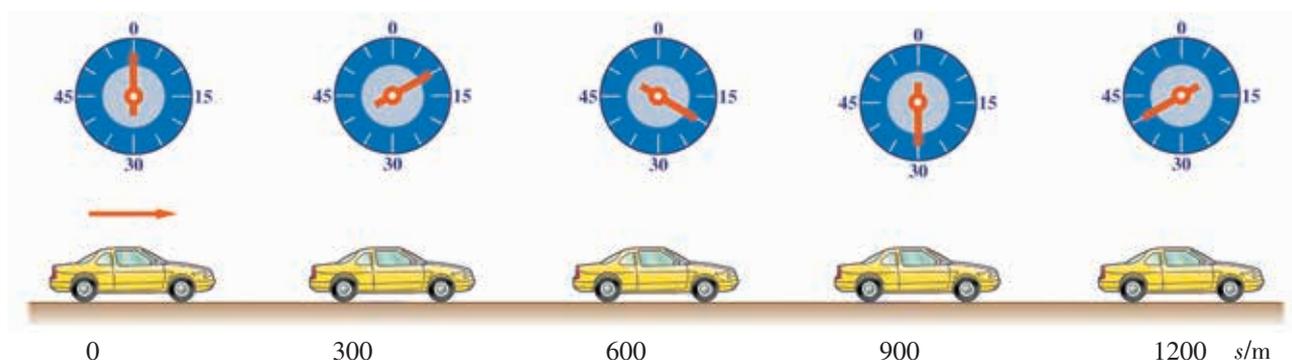


图 1-2-1 匀速直线运动

物体沿直线运动，如果在相等的时间内通过的位移相等，这种运动叫做**匀速直线运动**（uniform rectilinear motion）。

在物理学中，把物体产生的位移 s 跟发生这段位移所用时间 t 的比叫做**速度**（velocity）。用 v 表示速度，则有

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

在国际单位制中，速度的单位是米每秒，符号为 m/s （或 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）。

速度不仅有大小，还有方向。速度的方向就是物体位移的方向。

案例分析

案例 在我国一些地区，铁道上还使用道口和拦道木。设列车速度为 $v_1 = 180 \text{ km/h}$ 。为确保安全，在铁路与公路交叉的道

口处需装有自动信号灯。当列车还有一段距离才到达公路道口时，道口应亮出红灯，警告未越过停车线的汽车迅速制动，已越过停车线的汽车赶快通过。设汽车通过道口的速度 $v_2 = 36 \text{ km/h}$ ，停车线至道口拦道木的距离 $s_0 = 5 \text{ m}$ ，道口长度 $s = 26 \text{ m}$ ，汽车长 $l = 15 \text{ m}$ （图 1-2-2），并把列车和汽车的运动都看成匀速直线运动。问：列车离道口的距离 L 为多少时亮红灯，才能确保已越过停车线的汽车安全驶过道口？

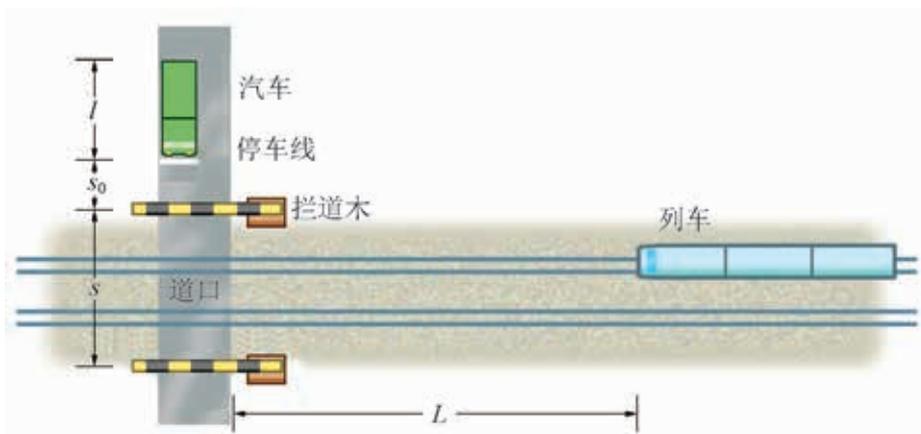


图 1-2-2 铁路与公路的交叉道口

■ **分析** 为确保行车安全，要求在列车驶过距离 L 的时间内，已越过停车线的汽车的车尾必须能通过道口。

■ **解答** 汽车越过停车线至车尾通过道口，汽车的位移为

$$s' = l + s_0 + s = (15 + 5 + 26) \text{ m} = 46 \text{ m}$$

汽车速度 $v_2 = 36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ ，发生这段位移需要时间

$$t = \frac{s'}{v_2} = \frac{46}{10} \text{ s} = 4.6 \text{ s}$$

列车的速度 $v_1 = 180 \text{ km/h} = 50 \text{ m/s}$ ，所以安全距离

$$L = v_1 t = 50 \times 4.6 \text{ m} = 230 \text{ m}$$

实际情况中，还应考虑到关闭拦道木需要的时间以及预留的安全时间等，所以在列车离道口比 230 m 更远时，道口处就应该亮起红灯，发出警告。

平均速度

匀速直线运动是一种理想化的运动模型。实际物体的运动速度往往是不断变化的，在每个相等时间内发生的位移也不相等。图 1-2-3 中的汽车，在开始的三个 5 min 内的位移逐渐增大，第 4 个 5 min 内的位移减小。这表明，汽车的速度先增大，后减小。

1.3 怎样描述运动的快慢（续）

在上节的学习中我们计算了刘易斯在百米赛跑过程中每个 10 m 内的平均速度，但它只能大体反映刘易斯百米赛跑中的快慢变化情况。为了对变速运动作精确的描述，在物理学中还需要引入瞬时速度的概念。

什么叫瞬时速度

运动物体在某一时刻或经过某一位置时的速度，叫做**瞬时速度**（instantaneous velocity）。平时说到的百米赛跑运动员撞线时的速度、子弹飞出枪口的速度、飞船与运载火箭分离时的速度等，都是指瞬时速度。

瞬时速度不仅有大小，也有方向。瞬时速度的方向跟物体在某一时刻或经过某一位置时的运动方向相同。瞬时速度的大小，叫做**瞬时速率**（instantaneous speed，简称速率）。汽车行驶中速率计上指示的数值就是瞬时速率（图 1-3-1、图 1-3-2）。



图 1-3-1 速率计

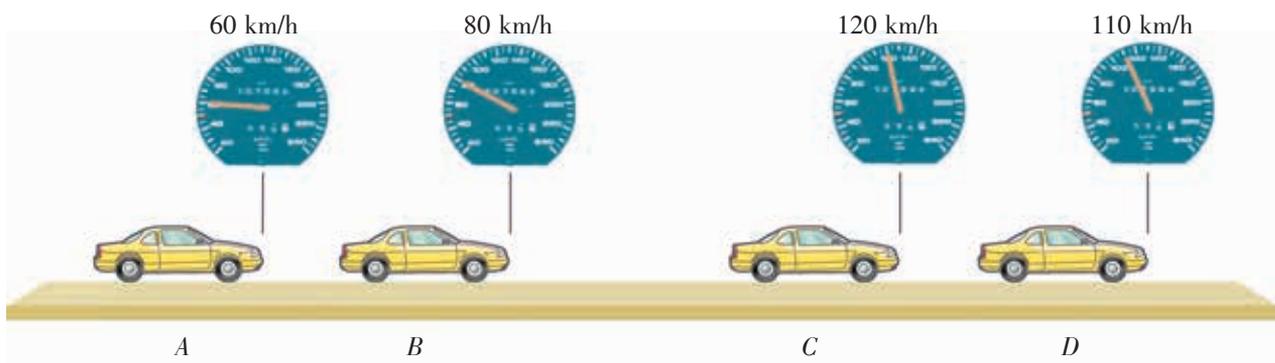


图 1-3-2 汽车通过不同位置时的瞬时速率

学生必做实验 测量做直线运动物体的瞬时速度

我们用打点计时器来测量瞬时速度。

打点计时器分为电磁打点计时器和电火花打点计时器，它们都是以相同的时间间隔在纸带上连续打点的仪器。当使用的电源频率为 50 Hz 时，打点计时器每隔 0.02 s 打一个点。

电磁打点计时器的构造如图 1-3-3 所示，它由底座、线圈、振动片、振针、永久磁铁和限位孔组成。由学生电源供电，使用交流电，工作电压为 6~8 V。使用时，把纸带穿过限位孔，再从振针下面的复写纸下穿出。线圈接通电源后，在线圈和永

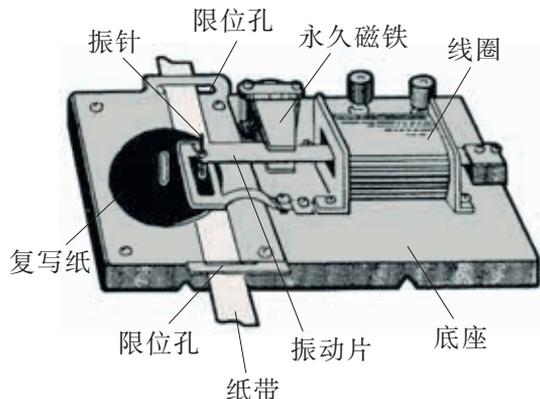


图 1-3-3 电磁打点计时器



图 1-3-4 电火花打点计时器

久磁铁的作用下，振动片便带动振针上下振动，可在运动的纸带上打出一行点迹。

电火花打点计时器如图 1-3-4 所示，与电磁打点计时器不同的是，当接通电源、按下电脉冲输出开关后，打点计时器中产生火花放电，从而在运动的纸带上打出点迹。这种计时器工作时，纸带运动受到的阻力较小，实验误差也就较小。

那么，如何利用打点计时器测量瞬时速度呢？

进行实验

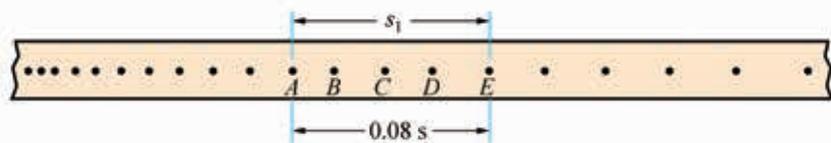
把打点计时器固定在水平桌面上，让纸带穿过打点计时器。

启动电源，用手水平地拉动纸带，打点计时器在纸带上打出若干个点，随后关闭电源。

收集证据

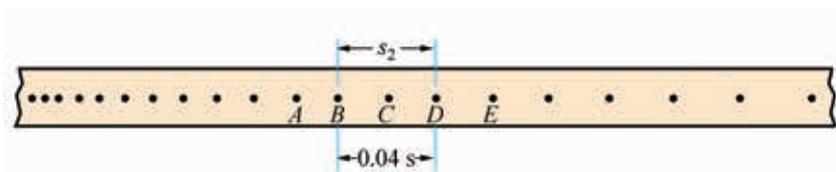
如图 1-3-5 所示，从能够看清的某个点开始，往后数出 n 个点，分别标注为 A 、 B 、 C 、 D 、 E 等。用刻度尺测出 AE 的距离 s_1 ，打点计时器打出 A 、 E 两点的時間间隔 $t_1 = 0.08 \text{ s}$ ，可计算出平均速度 $\bar{v}_1 = \frac{s_1}{t_1}$ 。如果我们不要求很精确，可用这个平均速度粗略地代表 C 点的瞬时速度。

物理学中常常采用逐渐缩短时间间隔和空间距离测量某一物理量，使测量值逼近真实值的方法。这种方法称为极限法。

图 1-3-5 在打出 A 、 E 两点的時間间隔内，纸带运动的平均速度是多少

如果把包含 C 点的间隔再取得小一点，如图 1-3-6 中的 BD ，根据 B 、 D 两点间的距离 s_2 和時間间隔 t_2 ，计算出纸带在这两点间运动时的平均速度 $\bar{v}_2 = \frac{s_2}{t_2}$ ，这个平均速度就更能准确地表示 C 点的瞬时速度。

如果 BD 距离过小则测量误差增大，故应该根据实际情况选取这两个点。

图 1-3-6 B 、 D 两点离 C 点更近，算出的平均速度更接近 C 点的瞬时速度

下面测量你用手拉纸带运动的瞬时速度。为了了解速度变化的情况,请根据纸带上点迹的分布情况,每隔 0.1 s (或更短些的时间)取一个计数点,用数字 0、1、2、3、4、5 标注。然后参照图 1-3-6 的方法,进行相应的测量,把数据记录在下表中。最后计算出打点计时器打下这些计数点时的瞬时速度,看看纸带的运动速度是怎样变化的。

手拉纸带在几个位置的瞬时速度

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

思考与讨论

据说,有一次在某国某城市,一位交通警察拦住了一辆超速行驶的轿车,于是产生了这样一段对话。

“对不起,你违反了交通规则,你的车速已经达到 1 小时 60 千米,属于超速行驶。”

“哦,这是绝对不可能的,”驾驶员以不容置辩的口气说,“我总共才行驶了 15 分钟,远远不到 1 小时,怎么谈得上 1 小时 60 千米呢?”

“我的意思是,60 千米的路程你可用 1 小时赶到。”

“那也是绝对不可能的。我只要再行驶 10 千米就到家了,根本不要赶 60 千米的路程。”

……

请讨论一下:他们两个人为什么无法沟通?

用图像描述位移和速度

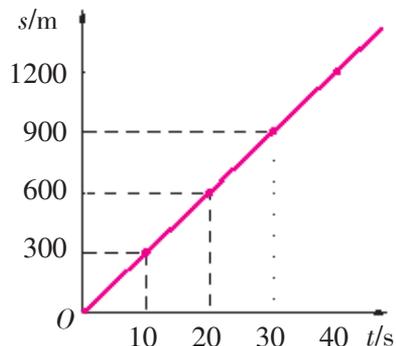
物体的运动情况,除了用语言文字和数学公式描述外,还可以直观地用图像来描述。

位移图像

建立平面直角坐标系,用横轴表示时间 t ,纵轴表示位移 s 。把图 1-2-1 中汽车各时刻的位置坐标在坐标系中用点表示出来。可以看到,它们都在通过坐标原点的一条倾斜直线上(图 1-3-7)。这条直线叫做汽车的位移-时间图像(简称位移图像),即 $s-t$ 图像。

不同年代运行工具的最大速度

年份	运行工具	最大速度 km/h
1630	马车	16
1810	火车	24
1880	汽车	32
1947	超音速喷气机	1 300
1957	人造地球卫星	29 000
1968	“阿波罗”号飞船	32 000
1977	“旅行者”号飞船	63 000
2030	?	?

图 1-3-7 匀速直线运动的 $s-t$ 图像

由此可见,物体做匀速直线运动的 $s-t$ 图像,是一条通过原点的倾斜直线。这条直线的斜率反映着物体速度的大小,斜率越大,速度越大。

案例分析

案例 你听过龟兔赛跑的故事吗?请把故事的内容粗略地用 $s-t$ 图像表示出来。

分析 乌龟和兔子从同一地点开始赛跑,假设它们的跑动过程都是匀速直线运动。开始时,兔子的速度大,反映在 $s-t$ 图像上,是它的斜率比较大(比较陡)。在同一时间内,兔子通过的位移大。接着,骄傲的兔子睡了,时间不停地流逝,兔子的位移没有变化。乌龟的速度虽然小,但它一刻不停地向前做匀速直线运动。等到兔子猛然醒来,发现乌龟已快接近终点了。于是,兔子以更大的速度向前奔(它的 $s-t$ 图像的斜率更大),可为时已晚,最后乌龟取得了胜利。

解答 乌龟和兔子比赛的 $s-t$ 图像如图1-3-8所示。

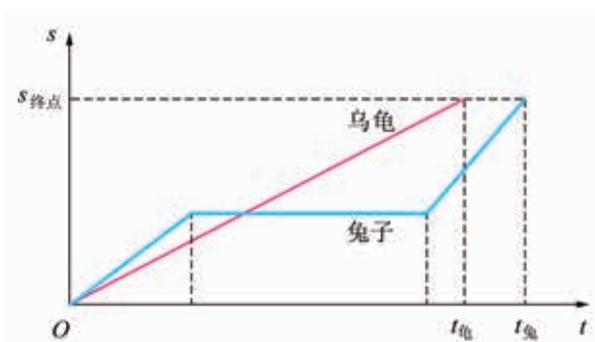


图 1-3-8 龟兔赛跑的 $s-t$ 图像

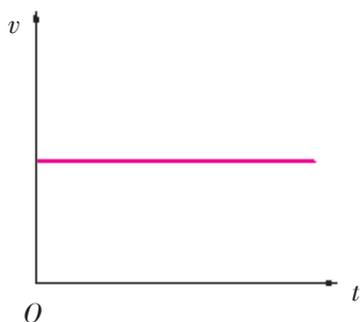


图 1-3-9 匀速直线运动的速度图像

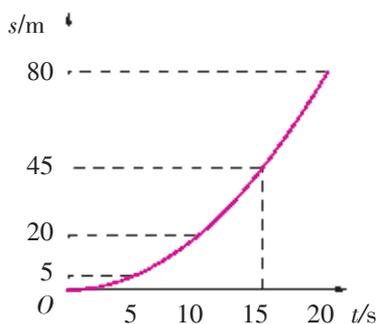


图 1-3-10 运动汽车的 $s-t$ 图像

速度图像

同样地,物体运动的速度变化也可用图像来表示。在直角坐标系中,用横轴表示时间 t ,用纵轴表示速度 v ,根据运动物体的速度数据,可作出它的速度-时间图像(简称速度图像),即 $v-t$ 图像。

物体做匀速直线运动时,由于它的速度大小、方向始终不变,在 $v-t$ 坐标平面内画出的是一条平行于 t 轴的直线,如图 1-3-9 所示。

思考与讨论

如果一辆汽车做直线运动的 $s-t$ 图像如图 1-3-10 所示,与图 1-3-7 不同,请判断一下:这辆汽车做什么运动?它从计时开始,在连续的每个 5 s 内,哪一段时间内的平均速度最大?

信息浏览

速率计是怎样工作的

图 1-3-11 是汽车速率计的基本结构示意图，其工作原理如下。

速率计的转轴通过一系列传动装置与汽车驱动轮相连，速率计转轴的上端铆接了一个永久磁铁，磁铁上罩了一块铝片，铝片又固定在指针轴上。当磁铁随转轴旋转时，在铝片中会产生感应电流，这时铝片与永久磁铁会发生相互作用，使指针转动。由于弹簧游丝的弹力作用，最终指针会稳定地指在一个刻度上。汽车运动越快，转轴旋转越快，感应电流越大，指针偏转的角度就越大。从指针的示数就可以知道汽车的瞬时速率。

请你思考：当汽车在冰面上打滑时，速率计能正确指示车速吗？

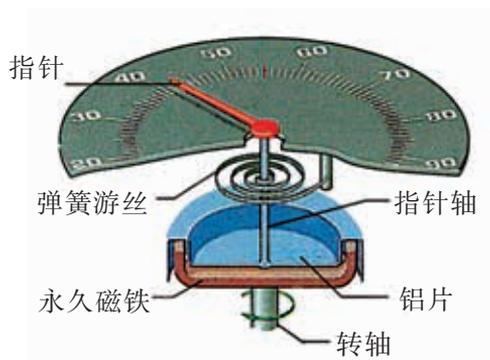


图 1-3-11 速率计的基本结构

STSE

应用运动相对性原理的杰作——风洞

在制造汽车和飞机的过程中，常需要研究它们在高速运动中所受空气阻力的情况。为了研究问题的方便，可以根据运动的相对性作一次逆向转换——研究以同样高速运动的空气流对静止的汽车或飞机部件的作用。风洞就是这样一种实验设备。

图 1-3-12 中，用一根很大的管子，通过强大的风扇，能产生一股高速的空气流。当气流进入狭颈吹向工作段时，速度会进一步提高。被测试的飞机部件或整辆汽车悬挂在工作段中间，受到这股强烈气流的吹拂，就仿佛它们正在高速行驶一样。通过风洞对静止的汽车或飞机部件进行实验得出的结果，完全适用于实际情况。



图 1-3-12 风洞

课题研究

用 DIS 研究匀速直线运动

在初中，我们已对匀速直线运动做过初步的研究。现在，我们可以运用 DIS 实验手段做进一步研究。DIS 是 digital information system 的缩写，意思是数字信息系统。

DIS 实验系统由物理量传感器、数据采集器、计算机和数据处理软件组成，它可实时采集、处理实验数据，实验结果可通过数字、图形等形式显示在屏幕上。

实验时，按图 1-3-13 所示安装器材，把运

动传感器的发射器固定在小车上，把接受器固定在导轨上，使发射器和接受器正对放置。仔细调节导轨倾斜度，使小车能做匀速直线运动。

接通发射器电源，运行计算机辅助系统软件，在实验菜单上点击“研究匀速直线运动”。推动小车后，点击“数据记录”，屏幕上会显示位移-时间图像(图 1-3-14)，再点击“ $v-t$ 图像”，显示速度-时间图像(图 1-3-15)。通过图像，可以直观地分析小车的运动规律。

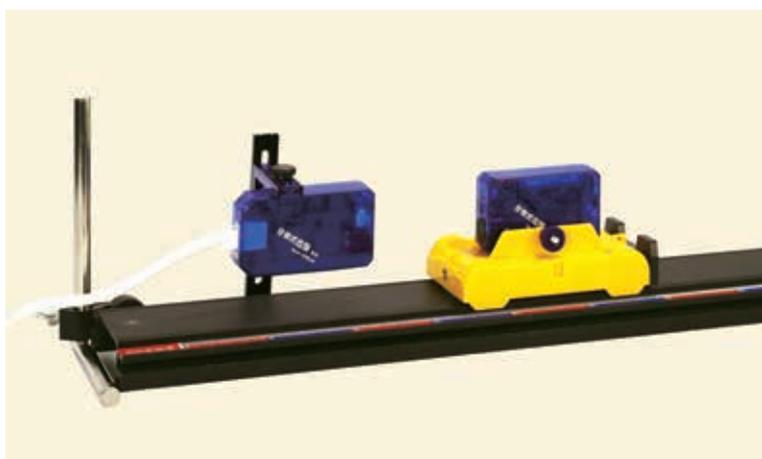


图 1-3-13 用 DIS 研究匀速直线运动

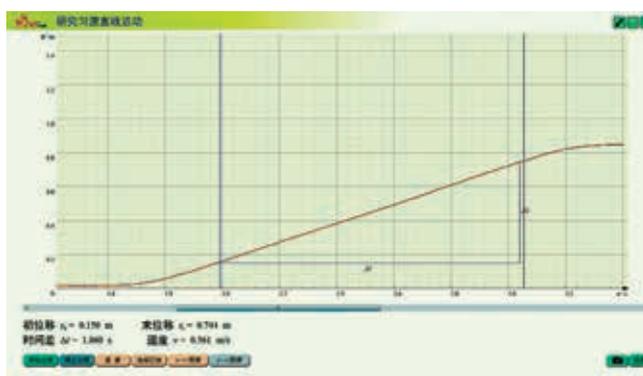


图 1-3-14 匀速直线运动的 $s-t$ 图像



图 1-3-15 匀速直线运动的 $v-t$ 图像

家庭作业与活动

- 某短跑运动员参加 100 m 竞赛。测得他在 5 s 末的速度为 10.4 m/s，在 10 s 末到达终点时的速度为 10.2 m/s，则此运动员在这 100 m 中的平均速度为 ()。
 - 10.4 m/s
 - 10.3 m/s
 - 10.2 m/s
 - 10.0 m/s
- 在变速运动中，对瞬时速度大小的理解，正确的是 ()。
 - 表示物体在某一时刻运动的快慢程度
 - 表示物体在某段时间内运动的快慢程度
 - 表示物体经过某一位置时的运动快慢程度
 - 表示物体发生某段位移过程中的运动快慢程度
- 图 1-3-16 是一辆在平直公路上行驶的汽车的 $s-t$ 图像。试根据图像求出：
 - 汽车在 15 min、25 min、45 min 时的瞬时速度；
 - 汽车在 50 min 内的平均速度。

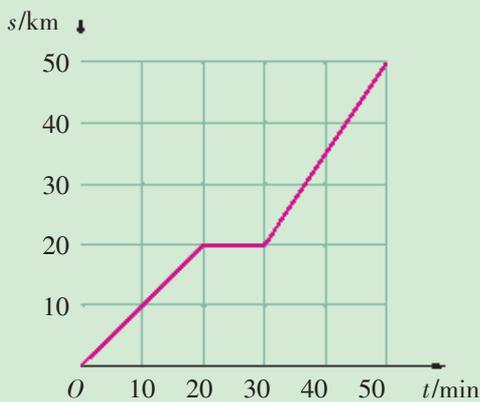


图 1-3-16

- 图 1-3-17 是一架飞机飞行的 $s-t$ 图像。试根据图像回答：

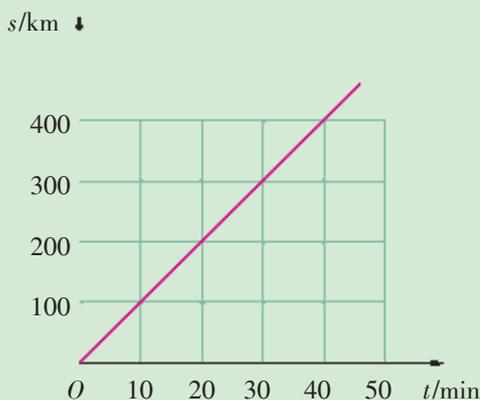


图 1-3-17

- 飞机的飞行速度是多少？
 - 如这架飞机继续保持原来的速度匀速直线飞行，3 h 内的位移是多少？
- 设法使一只蚂蚁（或其他昆虫）沿直线运动，观察并记录它的运动情况，用 $s-t$ 图像描述它的运动，并由此判断该运动的性质。
 - 图 1-3-18 中，A、B 两运动物体的速度图像 a 、 b 互相平行，则下列对两物体运动情况的判断中正确的是 ()。
 - 它们速度的大小不同
 - 它们运动的方向不同
 - 它们在相同时间内的位移不同
 - 在 $t = 0$ 以前，它们一定都是静止的



图 1-3-18

1.4 怎样描述速度变化的快慢

从汽车广告谈起

在汽车厂商对汽车性能的宣传介绍中,启动性能是一项重要的技术指标。例如,某型号的跑车,从静止起加速到 100 km/h, 约需 5 s 的时间;另一种普通家用轿车,同样从静止起加速到 100 km/h, 却需要 12 s 的时间(图 1-4-1)。

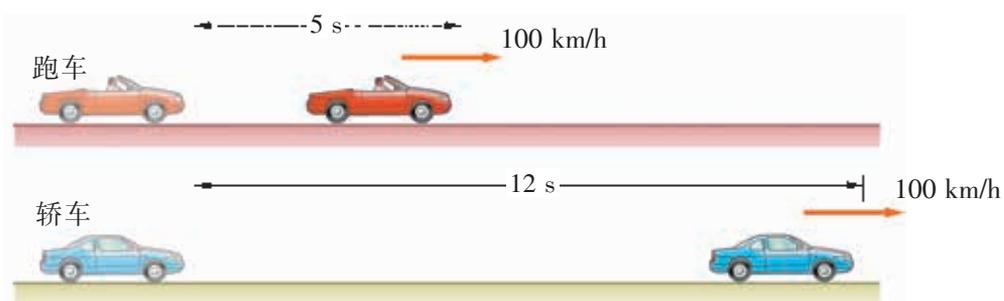


图 1-4-1 跑车与家用轿车的启动性能比较

显然,达到某一速度的时间越短,说明汽车的启动性能越好——一踩油门,车就像离弦之箭飞驰而去。

同样道理,汽车在制动时,从某一速度变到静止的时间越短,制动性能越好。

汽车优良的启动和制动性能,在抢险、追及和避让危险等许多情况下可以让人们赢得宝贵的时间。

什么是加速度

汽车的启动和制动时间的长短,反映了汽车速度变化的快慢。实际上,不仅不同物体做变速直线运动时,速度变化的快慢往往不同(图 1-4-2),就是同一物体做变速直线运动,不同时间内速度变化的快慢也会不同。

为了描述物体运动速度变化的快慢,需要引入一个新的概念——加速度。

在物理学中,把物体速度的变化跟发生这一变化所用时间的比,叫做加速度 (acceleration), 加速度一般用 a 表示。

如果用 v_0 表示物体运动开始时刻的速度(初速度),用 v_t 表示经过一段时间 t , 物体到所考察时间末了时刻的速度(末速



图 1-4-2 速度的变化

子弹在枪膛内被击发后,弹头经过 0.05 s, 速度从 0 加速到 600 m/s。

度)，那么运动物体在时间 t 内速度的变化 $\Delta v = v_t - v_0$ ，因此它的加速度可表示为

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

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

例如，上述跑车和普通家用轿车的初速度 $v_0 = 0$ ，末速度 $v_t = 100 \text{ km/h} = 27.8 \text{ m/s}$ ，所用时间分别为 5 s 和 12 s ，很容易算出它们在这段时间内的加速度分别为

$$a_{\text{跑}} = \frac{v_t - v_0}{t_{\text{跑}}} = \frac{27.8 - 0}{5} \text{ m/s}^2 = 5.56 \text{ m/s}^2$$

$$a_{\text{轿}} = \frac{v_t - v_0}{t_{\text{轿}}} = \frac{27.8 - 0}{12} \text{ m/s}^2 = 2.32 \text{ m/s}^2$$

请算出图 1-4-2 中子弹的加速度大小。

也就是说，这两种汽车启动后，跑车的速度平均每秒增大 5.56 m/s ，普通家用轿车的速度平均每秒只增大 2.32 m/s 。可见，跑车的速度变化比家用轿车快得多。

加速度跟速度一样，不仅有大小，而且有方向。加速度的方向始终跟物体运动速度变化 ($v_t - v_0$) 的方向相同。

在变速直线运动中，当规定初速度的方向为正方向时，如果末速度大于初速度 ($v_t - v_0 > 0$)，加速度为正值，表示加速度的方向跟初速度 v_0 的方向相同；如果末速度小于初速度 ($v_t - v_0 < 0$)，加速度为负值，表示加速度的方向跟初速度 v_0 的方向相反。

利用 $v-t$ 图像，可以直观地表示物体的加速度大小。

例如，某跑车和家用轿车启动后保持恒定的加速度运动，它们的 $v-t$ 图像如图 1-4-3 所示。根据数学知识可知， $v-t$ 图像的斜率 ($\frac{\Delta v}{\Delta t}$) 反映了加速度的大小。跑车的加速度大，其 $v-t$ 图像中的直线倾斜程度就大；家用轿车的加速度小，其 $v-t$ 图

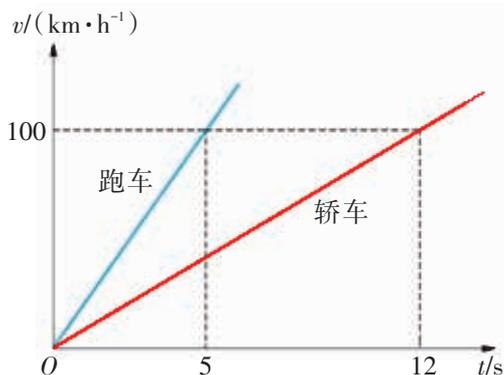


图 1-4-3 跑车与家用轿车的速度图像

像中的直线倾斜程度就小。

匀变速直线运动

物体做直线运动时，如果它的加速度大小、方向都不变，这种运动就叫做匀变速直线运动 (rectilinear motion with constant acceleration)。

例如，飞机起飞前在直道上滑行，就可以看成在做匀加速直线运动。图 1-4-4 中的飞机，每经过 10 s 速度都增大 30 m/s 。此外，列车从车站开出不久的运动、列车进站时制动滑行的运动等，都可以看成匀变速直线运动。我们会在第 2 章深入探究这种运动。

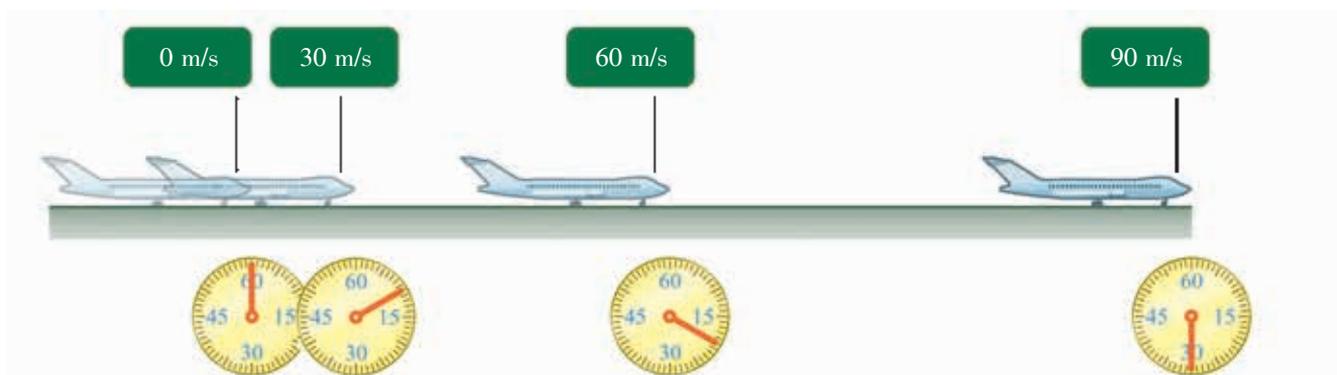


图 1-4-4 飞机匀加速滑行

实验探究 研究匀变速直线运动的特点

我们利用打点计时器来研究匀变速直线运动的特点。

进行实验

如图 1-4-5 所示，把装有滑轮的长木板放在实验桌上，并使滑轮伸出桌面。



图 1-4-5 研究匀变速直线运动的实验装置

小车的一端通过细线挂上适量的钩码，把纸带穿过打点计时器，固定在小车的后面。

把小车停在靠近打点计时器处，接通电源后，释放小车，使小车带着纸带运动，从而记录小车的运动信息，随后关闭电源。换上新纸带，重复实验三次。

收集证据

从三条纸带中选择一条比较理想的纸带，舍弃开头比较密集的点迹，在后边便于测量的地方找一个点做计时起点。然后选择相隔 0.1 s 的若干计数点进行测量，得到各个计数点的瞬时速度。请思考怎样求瞬时速度较准确。自行设计表格，进行测定，并利用表格中的数据画出小车运动的 $v-t$ 图像，看看图像有什么特点。

由实验可知，匀变速直线运动是_____不变的运动。



图 1-4-6 记录在纸带上的点迹

根据匀变速直线运动的特点和测得的数据，计算出小车运动的加速度。

案例分析

案例 一辆汽车以 72 km/h 的速度在平直公路上行驶，司机突然发现前方公路上有一只小动物，于是立即制动。汽车在 4 s 内停了下来，使小动物免受伤害（图 1-4-7）。假设汽车制动过程中做匀减速直线运动，试求汽车制动过程中的加速度。

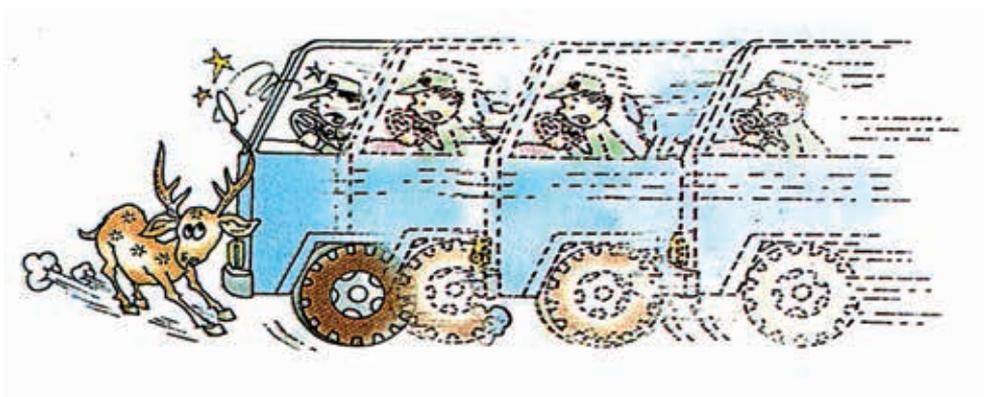


图 1-4-7 幸免于难的小动物

■ **分析** 制动过程中，汽车的初速度 $v_0 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$ ，末速度 $v_t = 0$ ，运动时间 $t = 4 \text{ s}$ 。根据加速度的定义式，就可以算出加速度。

■ **解答** 制动过程中汽车的加速度

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{0 - 20}{4} \text{ m/s}^2 = -5 \text{ m/s}^2$$

答案中的“-”号，表示汽车的速度在减小，即制动后汽车的速度平均每秒减小 5 m/s 。

本案例以初速度 v_0 的方向为正方向， $a < 0$ 表示加速度方向跟初速度方向相反。

信息浏览

一些物体的加速度数量级 (单位: m/s^2)

加速器中的质子 10^{15}

高速离心机中的物质 10^6

枪膛中被击发的子弹 10^5

弓箭射出时 10^3

火箭升空时 10^2

地球上的自由落体 10^1

卡车启动时，月球上的自由落体 10^0

列车启动时 10^{-1}

万吨货轮起航时 10^{-2}

地球绕太阳公转 10^{-3}

太阳绕银河系中心公转 10^{-6}

家庭作业与活动

1. 关于加速度的概念，有人提出下列说法，你认为是否正确？为什么？请举例说明。

(1) 加速度就是加出来的速度。

(2) 匀速直线运动是加速度不变的运动。

(3) 物体运动速度越大，加速度也越大；物体运动的加速度越大，它的速度一定也越大。

(4) 加速度方向与末速度方向总保持一致。

2. 步枪发射子弹，子弹在某一时刻的速度是 100 m/s ，经过 0.0015 s ，速度变为 700 m/s 。求子弹的加速度。

3. 一只鹰在直线俯冲时，经过 4 s ，速度从 15 m/s 增大到 22 m/s 。它的加速度多大？

4. 机动车出厂前都要进行严格的安全测试。现知

某型号汽车的测试要求是，当汽车以 30 km/h 的速度行驶时，制动时间 $t < 1.6 \text{ s}$ 。那么，这种汽车制动时的加速度至少是多少？

5. 图 1-4-8 是某物体做匀变速直线运动的 $v-t$ 图像。这个物体的加速度是多大？

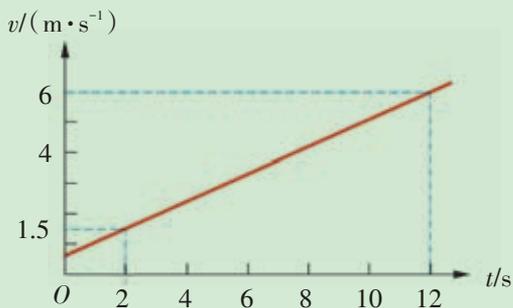


图 1-4-8

第 1 章 家庭作业与活动

A 组

- 一位同学在军训时按照口令，先向东走 3 m，又向北走 2 m，最后向西走 5 m。画出这位同学的位移的示意图，并算出位移的大小。
- 一辆汽车沿平直公路做匀加速直线运动。已知其加速度为 2 m/s^2 ，那么该车在任意 1 s 内 ()。
 - 末速度一定等于初速度的 2 倍
 - 末速度一定比初速度大 2 m/s
 - 初速度一定比前 1 s 的末速度大 2 m/s
 - 末速度一定比前 1 s 的初速度大 2 m/s
- 甲、乙两小分队进行代号为“猎狐”的军事演习。指挥部通过现代通信设备，在荧屏上观察到两小分队的行军路线如图 1-A-1 所示。设两小分队同时从同一处 O 出发，最后同时捕“狐”于 A 点，则 ()。
 - 两队行军的路程 $l_{\text{甲}} > l_{\text{乙}}$
 - 两队位移的大小 $s_{\text{甲}} > s_{\text{乙}}$
 - 两队平均速度 $v_{\text{甲}} = v_{\text{乙}}$
 - 图 1-A-1 表示了两队行军的 $s-t$ 图像

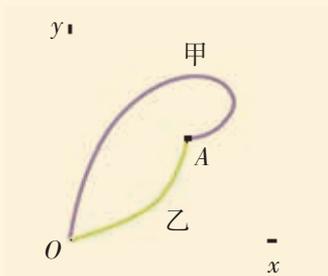


图 1-A-1

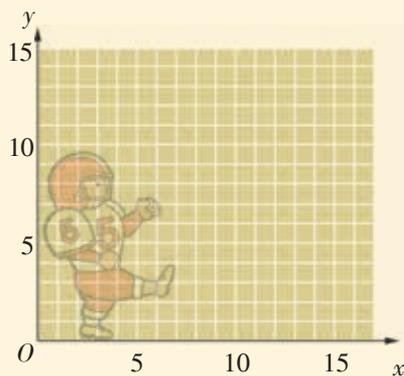


图 1-A-2

- 图 1-A-2 中的“小橄榄球队员”，重心位置坐标是 $(3, 5)$ 。现要求变为 $(14, 10)$ ，请根据数学中的平移方法，完成这个位置变换。采用不同方法完成平移时经过的路程是否相同？位移是否相同？
- 一辆汽车沿平直公路行驶，发生了一段位移。已知它先以速度 v_1 通过前 $\frac{1}{3}$ 的位移，再以速度 $v_2 = 50 \text{ km/h}$ 通过其余 $\frac{2}{3}$ 的位移。若汽车在整个位移中的平均速度为 37.5 km/h ，则它在第一段位移中的速度为多少？

B 组

- 图 1-B-1 是 A 、 B 、 C 三位竞走运动员的 $s-t$ 图像，试比较这三个图像，你可以获得哪些信息？

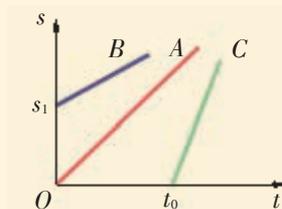


图 1-B-1

- 一辆汽车紧急制动后，经 3 s 停止运动。已知制动过程中汽车加速度的大小是 5 m/s^2 ，则汽车的初速度多大？
- 一个人沿平直的街道匀速步行到邮局去寄信，又以相同大小的速度返回原处。设以出发的方向为正，则图 1-B-2 中，可以近似地描述其运动情况的是 ()。

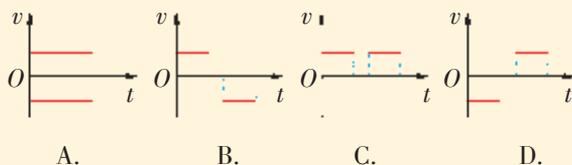


图 1-B-2

- 一只乒乓球以 30 m/s 的速度飞来，被运动员挥拍一击，仍以 30 m/s 的速度逆着原方向反弹。已测得球接触拍的时间是 0.02 s ，求这个过程中乒乓球的加速度。



第 2 章 匀变速直线运动的规律

传说，伽利略曾在比萨斜塔上做过实验，他从塔的顶楼同时让两个轻重不同的铅球和乌木球下落，结果两球同时落地。

伽利略通过理论分析和实验探究，认识到轻重不是物体下落快慢的原因，从而动摇了 2 000 多年来统治着人们头脑的旧观念。伽利略的研究开实验和科学推理相结合之先河，标志着物理学的真正开端。

本章将从对落体的探究开始，了解伽利略的研究工作，认识物理实验与科学推理在物理学探索中的作用，进而用公式、图像和极限等方法探讨匀变速直线运动，学会用匀变速直线运动的规律解决具体问题。

2.1 伽利略对落体运动的研究

生活中，常会见到物体从高处下落的运动。用手拿一个小球和一张纸片，放开后，小球和纸片从静止开始下落。我们可以看到，小球先落地，纸片后落地。

落体运动十分常见，你思考过其中有哪些问题值得研究吗？

公元前4世纪，古希腊伟大的思想家、哲学家亚里士多德根据对上述类似现象的观察，直接得出结论：重的物体比轻的物体下落得快。

小石头诘难大哲学家

亚里士多德的论断流传了2 000多年，到了16世纪，被意大利科学家伽利略巧妙地用一个佯谬否定了。

伽利略佯谬

把一块大石头跟一块小石头捆在一起下落。按亚里士多德的说法，原来落得快的大石头要被落得慢的小石头拖着，下落速度就要变慢；原来落得慢的小石头被落得快的大石头拉着，下落速度就要变快。因此两块石头捆在一起下落的速度应介于大石头和小石头原来的速度之间。可是，两块石头捆在一起不是变得更重了吗？应该比单独一块大石头或单独一块小石头落得更快些啊！可见，亚里士多德的说法自相矛盾，不能成立。

拨开阻力的迷雾

讨论一下：为什么生活中观察到的是重的物体比轻的物体下落得快呢？影响落体运动快慢的因素有哪些？

原来，这是不同落体受空气阻力的影响不同造成的。空气阻力的影响减小后，轻重不同的物体下落的快慢又怎样呢？

如果能排除空气阻力的影响（图2-1-1、图2-1-2），轻重不同的物体下落快慢完全一样，即物体下落速度的变化与物体质量的大小无关。

伽利略的探究之路

伽利略用逻辑论证的方法否定了亚里士多德的说法后，就



伽利略（1564—1642），意大利科学家，近代实验科学的奠基者。关于为什么要研究落体运动，他说道：“自然界最老的课题，莫过于运动……到现在为止，还没有人进行观察或论证。虽然做了某些肤浅的观察，例如，自由落体的连续加速，但是这种加速达到什么程度，就从来没有宣布过……”



图2-1-1 下落中的铁球与纸团
把纸搓成团，下落时空气阻力的影响大大减小，下落的快慢就同铁球差不多了。

突出主要因素，忽略和排除次要因素，是进行科学研究的重要思路和方法。

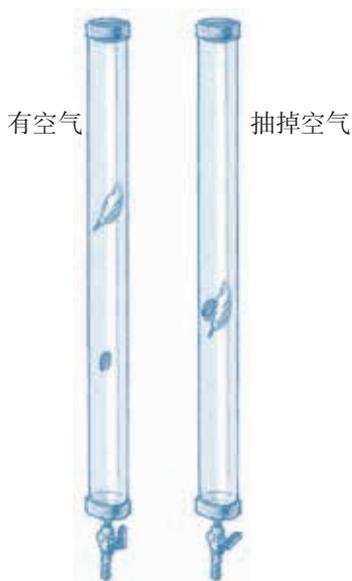


图 2-1-2 牛顿管实验

一根竖直放置的玻璃管，管内下端放一个小金属片和一片羽毛。管内充有空气时倒转玻璃管，让小金属片和羽毛同时下落。当小金属片落到管底时，羽毛还悠悠地在中间飘着呢！抽掉管内的空气，再倒转玻璃管，可以看到羽毛和小金属片同时落到管底。

在科学研究中，如果对某个物理量的测量很困难或根本不能进行，就转而采用间接测量的方法，这是一种很重要的思路。

转向用实验研究落体运动的性质。

大胆的猜想 伽利略通过观察与思考，提出一个大胆的猜想：下落物体的速度是随着时间均匀增加的，即

$$v \propto t$$

伽利略想用实验来验证这个猜想，但在当时的条件下研究落体运动遇到了很多困难。他是怎样解决的呢？

困难之一 要用实验来观察和验证 $v \propto t$ ，需要测量不同时刻的瞬时速度。而要直接测量瞬时速度，不用说在当时，就是在现在，也是不容易的。

为了解决这个困难，伽利略寻求间接验证的途径，把注意力放在物体下落的高度与时间的关系上，因为高度是容易测量的。

于是，他求助于数学，通过数学推理得出，从静止开始做匀加速直线运动的物体，它的位移一定与运动时间的平方成正比，即

$$s \propto t^2$$

请讨论：为什么 $s \propto t^2$ 比 $v \propto t$ 更容易用实验验证呢？

困难之二 物体下落很快，当时还没有准确的计时工具，很难测定物体发生不同位移的时间。为了减缓物体的运动速度，伽利略设计了著名的斜面实验。

伽利略让小铜球从斜槽的不同位置 a, b, c, \dots 由静止滚下，经反复实验后发现，在同一个倾角 θ 的斜面上，小铜球滚下所发生的位移总是与运动时间的平方成正比。如果用 $s_1, s_2,$



图 2-1-3 伽利略的斜面实验

伽利略用一条刻有光滑凹槽的长木板做成一个可以改变倾角的斜面，让一个小铜球沿斜槽滚下。同时，另在盛水的大桶下面装一根细管，让水均匀流出，用称水重的方法，测量小铜球运动的时间。

s_3, \dots 表示小铜球的不同位移,用 t_1, t_2, t_3, \dots 分别表示对应的时间,则上述实验结果可表示为

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

伽利略手稿中记录的一组实验数据*

时间单位	1	2	3	4	5	6	7	8
距离单位	32	130	298 ⁺	526 ⁺	824	1 192	1 600	2 104

* 记录数据中的“+”表示稍大些

伽利略还发现,斜面的倾角不同时,上述比例关系同样成立,只是这个常数有了变化(图 2-1-4)。随着斜面倾角的增大,这个常数也跟着增大。

困难之三 伽利略用斜面实验验证了 $s \propto t^2$ 的关系后,怎样用这个结果来说明落体运动也符合这个规律呢?他认为, $\frac{s}{t^2}$ 的数值随着倾角的增大而增加,当倾角等于 90° ,即物体竖直下落时,这个关系也应该成立,并且此时 $\frac{s}{t^2}$ 的数值最大。

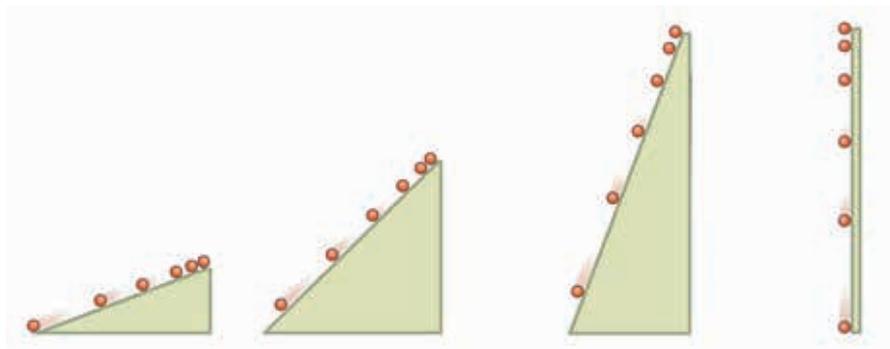


图 2-1-4 伽利略斜面实验的“合理外推”示意图

至此,他成功地验证了原先的猜想,不仅彻底否定了亚里士多德关于落体运动的错误论断,而且得到了落体运动的规律。

伽利略对落体运动的研究思路概括如下:

伽利略把斜面实验的结果推广到竖直的情况,是他思维方法上的一种“升华”。这种方法被后人称为“合理外推”。

发现问题 → 提出猜想 → 数学推理 → 实验验证 → 合理外推 → 得出结论

伽利略的成功,不仅在于找出了落体运动的规律,更重要的是开辟了一条把物理实验与科学推理结合的物理学研究之路。爱因斯坦给予伽利略高度的评价:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,而且标志着物理学的真正开端。”

认识一种天才的研究方法,对于科学的进步……并不比发现有更少用处,科学研究的方法经常是极富兴趣的部分。

——拉普拉斯

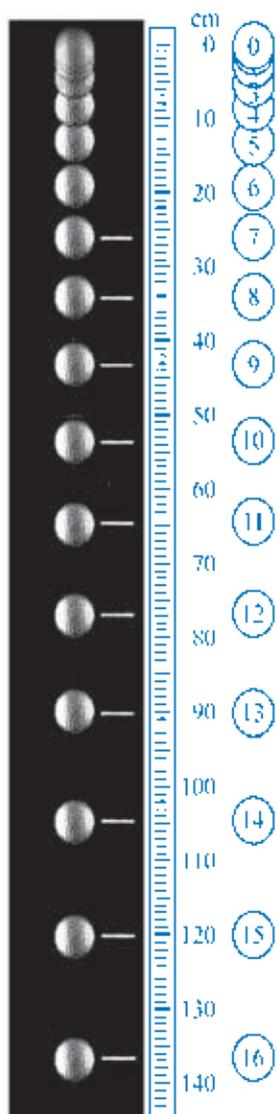


图 2-1-5 用频闪照相的方法拍摄的小球做自由落体运动的照片(两个像之间的时间间隔 Δt 为 0.033 s)

超越伽利略

伽利略在 17 世纪用实验验证 $s \propto t^2$ 时,“计时”和“定位”都是很困难的,用“水钟”测量时间也是不精确的。

现在,我们完全不必再用斜面来“冲淡重力”,采用现代化的仪器设备可以对落体运动精确地“计时”“定位”,直接研究落体运动的性质。

图 2-1-5 是用频闪照相的方法拍摄做落体运动的小球而得到的照片,照片上相邻两个像相隔时间相同(设为 Δt)。

请测出时间间隔 $t_1 = \Delta t$, $t_2 = 2\Delta t$, $t_3 = 3\Delta t$, \dots 内小球下落高度 h 之比,你能得出 $h \propto t^2$ 的结论吗?

物理学中,把物体只在重力作用下从静止开始下落的运动,叫做自由落体运动 (free-fall motion)。自由落体运动是一种理想模型。

课题研究

亚里士多德是古代伟大的思想家、哲学家,但他在物理学方面的某些结论,如物体的运动需要力来维持,重的物体比轻的物体落得快等,却是错误的。这是为什么呢?英国哲学家培根 (F. Bacon) 有一句名言:“读史使人明智。”请带着这个问题去图书馆或上网查找亚里士多德和伽利略的有关资料,讨论一下这两位伟大学者在科学观念、方法等方面各有什么特点。

家庭作业与活动

- 请仔细回顾伽利略研究落体运动的全过程,把他的主要研究步骤列出来,并说明哪一步骤是提出问题,哪一步骤是数学推理,哪一步骤是实验验证,等等。
- 把一张纸尽可能搓紧,让它与橡皮块从同一高度同时下落,一起做落体运动,仔细观察两者是否同时落地。由此,你能得出什么结论?
- 伽利略用实验验证 $v \propto t$ 的困难是 ()。
 - 当时没有测量时间的仪器
 - 不能很准确地测定下落的距离
 - 不能测出下落物体的瞬时速度
- 对于做落体运动的小球的频闪照片(图 2-1-5),下列说法正确吗?为什么?
 - 球在下段时的速度大于在上段时的速度。
 - 这是一个做落体运动的球的运动轨迹。
- 历史上,对于伽利略用斜面实验验证 $s \propto t^2$ 有许多争议。人们认为,他的时间测量不够准确;斜面上的小球是滚下来的,而做落体运动的小球没有滚动。你认为伽利略的实验还存在哪些问题?请提出来并加以讨论。

2.2 匀变速直线运动的规律

自由落体运动是从静止开始的、速度随时间均匀增加的直线运动，它的初速度为零，加速度恒定，是匀变速直线运动的一个特例，那么物体做匀变速直线运动的一般规律是怎样的？

如图 2-2-1 所示，一辆汽车从收费站驶出时的速度为 v_0 ，进入高速公路后做匀加速直线运动，加速度为 a ，它的速度和位移随时间如何变化？

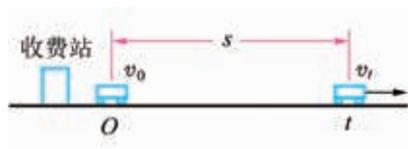


图 2-2-1

速度和时间的关系

匀变速直线运动的加速度恒定，由加速度公式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ ，可得到速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

在匀变速直线运动中，如果物体的速度随时间均匀增加，这个运动叫做匀加速直线运动；如果物体的速度随时间均匀减小，这个运动叫做匀减速直线运动。

位移和时间的关系

利用匀变速直线运动的 $v-t$ 图像，可导出位移与时间关系的公式。

为此，让我们先来看看物体做匀速直线运动的情况。

物体做匀速直线运动时的速度是不随时间变化的，在时间 t 内的位移

$$s = vt$$

在平面直角坐标系中，物体做匀速直线运动的 $v-t$ 图像是与横轴平行的直线（图 2-2-2）。

从图 2-2-2 中可以看出，直线下方矩形的面积（浅红色部分）正好对应着物体在时间 t 内的位移。

初速度不为零的匀变速直线运动的 $v-t$ 图像如图 2-2-3 所示，是一条过坐标点 $(0, v_0)$ 的倾斜直线，类似地，倾斜直线下方梯形的面积对应着物体在时间 t 内的位移，即

$$s = \frac{v_0 + v_t}{2}t = \frac{v_0 + v_0 + at}{2}t, \text{ 可得到位移公式}$$

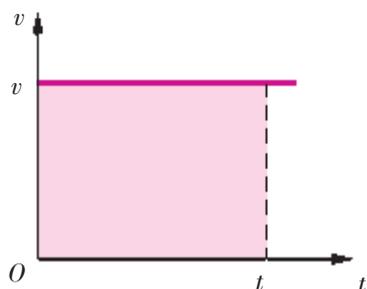


图 2-2-2 匀速直线运动的 $v-t$ 图像

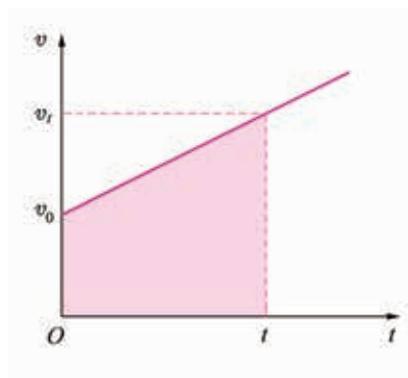


图 2-2-3 初速度不为零的匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

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

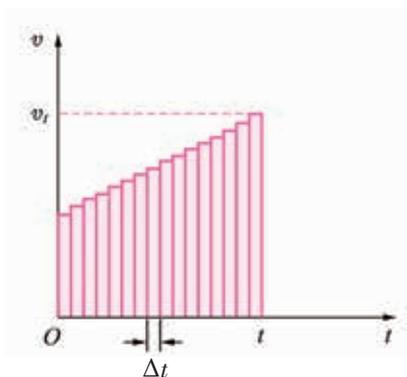


图 2-2-4 用一系列匀速直线运动代替匀变速直线运动

分割与逼近的方法在科学研究中有着广泛的应用。公元前 4 世纪~前 3 世纪,我国刘徽首创了“割圆术”。其原理是,圆内接正多边形的边数越多,其周长和面积就越接近圆的周长和面积。他用这种方法得出了圆周率。

为什么这个梯形的面积能表示做匀变速直线运动的物体在时间 t 内的位移呢?

可以这样理解:设想把物体做匀变速直线运动的时间 t 分成许多很短的间隔,在每个间隔 Δt 内,速度变化很小,可以看成匀速运动。在 $v-t$ 图像(图 2-2-3)上,原来倾斜的直线就被一条阶梯状的折线所取代(图 2-2-4)。图中每一个小矩形的面积,就对应着物体在 Δt 内的位移。当时间间隔无限小时,这条阶梯状折线下方的面积就等于原来倾斜直线下方的面积了。

思考与讨论

1. 在伽利略之前,英国默顿学院的一批学者曾仔细研究了随时间变化的各种量,他们发现了一个重要的结论,后人称之为“默顿定理”。将这一定理应用于匀加速直线运动,可表述为:如果一个物体的速度随时间是均匀增加的,那么,该物体在某段时间内的平均速度就等于其初速度与末速度之和的一半。你能否利用学过的物理知识证明默顿定理?

2. 请根据默顿定理,并结合速度公式推导出位移公式 $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 。

案例分析

案例 运-20飞机是中国自主研发的新一代重型军用运输机(图2-2-5),它可在简易机场起降。假设运-20飞机在一条笔直的水平跑道上降落,刚接触地面时的速度为 100 m/s ,由于受到阻力作用,产生 -8 m/s^2 的加速度。研究一下,这条跑道至少要多长?

分析 根据题意,运-20飞机降落时做匀减速运动。运-20飞机刚接触地面时的速度就是它做匀减速运动的初速度,其末速度为零。根据加速度的公式,可算出它做这一运动的时间,然后运用位移公式,可算出相应的位移,也就是跑道的最小长度。

解答 根据题设,初速度 $v_0 = 100 \text{ m/s}$, 加速度 $a = -8 \text{ m/s}^2$ 。设飞机经过时间 t 停住,末速度 $v_t = 0$ 。由加速度公式

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



图 2-2-5 运-20飞机在平直跑道上滑行

得到飞机在跑道上做减速运动的时间

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 100}{-8} \text{ s} = 12.5 \text{ s}$$

在这段时间内飞机的位移为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 100 \times 12.5 \text{ m} + \frac{1}{2} \times (-8) \times 12.5^2 \text{ m} = 625 \text{ m}$$

所以跑道长度至少为 625 m。

思考一下：你能否用其他方法求解？把你的想法与其他同学交流，怎样解更简单？

速度跟位移的关系

上面的案例中，没有给出飞机做减速运动的时间 t ，解答过程中，它也是一个过渡量。这就启示我们，在 $v_t = v_0 + at$ 和 $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ 两式中设法消去时间 t ，就可以直接得到匀变速直线运动的速度跟位移的关系公式： $v_t^2 - v_0^2 = 2as$ 。

家庭作业与活动

1. 匀加速直线运动是（ ）。

- A. 速度变化总相等的运动
- B. 加速度均匀变化的运动
- C. 速度变化的快慢恒定的运动
- D. 加速度恒定的运动

2. 某三辆汽车的加速度数据如下：

小轿车	加速度 1.2 m/s^2
4 t 载重汽车	加速度 0.22 m/s^2
8 t 载重汽车	加速度 0.17 m/s^2

假定它们在平直公路上启动后保持这样的加速运动，那么它们达到 20 m/s 的速度所需时间和通过的距离各为多少？

3. 某型号汽车的安全技术标准如下：

汽车载重标准为 $4.5 \text{ t} \leq \text{质量} \leq 12 \text{ t}$

空载检测的制动距离(车速 20 km/h) $\leq 3.8 \text{ m}$

满载检测的制动距离(车速 30 km/h) $\leq 8.0 \text{ m}$

试问：该型号的汽车空载和满载时的制动加速度应该满足什么要求？

- 4. 在大型的航空母舰上装有帮助飞机起飞的弹射器。已知某型号的战斗机在 100 m 的跑道上得到 30 m/s^2 的加速度而成功起飞，求该战斗机起飞的速度和做加速运动的时间。
- 5. 如果汽车从某时刻起改做匀减速直线运动，则在汽车制动后到停止的滑行过程中，它的 $v-t$ 图像应该怎样画？

2.3 自由落体运动的规律

自由落体运动可以看成是匀变速直线的一个特例，它的初速度为零，加速度恒定。自由落体的加速度也叫做重力加速度（acceleration of gravity），用 g 表示，它的大小约为 9.8 m/s^2 ，方向竖直向下。

将匀变速直线运动中的时间和位移公式中的 v_0 换成 0， a 换成 g ，我们就得到了自由落体运动的规律，即物体在 t 时刻的速度

$$v_t = g t$$

这个公式表明，物体自由下落时不同时刻的瞬时速度与运动时间成正比。下落时间越长，物体的速度越大。

物体在时间 t 内的位移

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

这个公式表明，物体自由下落的位移与运动时间的平方成正比。

由前两个公式可得，自由落体的速度与位移的关系式为

$$v_t^2 = 2 g h$$

案例分析

案例 比萨斜塔塔高 54.5 m 。如果伽利略在塔的顶端让一只铁球自由下落，求铁球下落的时间和落地时的速度。

解答 已知 $h = 54.5 \text{ m}$ ， g 取 9.8 m/s^2 。根据公式 $h = \frac{1}{2} g t^2$ ，可求出铁球下落的时间

$$\begin{aligned} t &= \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 54.5}{9.8}} \text{ s} \\ &\approx 3.34 \text{ s} \end{aligned}$$

根据公式 $v_t = g t$ ，可求出铁球落到地面时的速度

$$\begin{aligned} v_t &= g t = 9.8 \times 3.34 \text{ m/s} \\ &\approx 32.7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

想一想，还可以用其他方法求出铁球落到地面时的速度吗？请算一算。

实验探究 测定重力加速度的大小

重力加速度是一个重要的物理常数，在生活、生产和科学研究中有着重要的应用。

根据自由落体运动的位移公式，利用图 2-1-5 所示的频闪照片，可以有多种方法测算出重力加速度的大小。

请利用图 2-1-5 的频闪照片设计测算的方案、步骤、数据记录表格等，测算出 g 的值。

在地球上同一地点，重力加速度的值是相等的，因此做自由落体运动的各种物体的运动情况都相同。根据实验测定，在地球的不同地点， g 的大小是不同的。下表列出了一些地方重力加速度的数值。

一些地方重力加速度的数值 $g/(m \cdot s^{-2})$		
地点	纬度	重力加速度
赤道	0°	9.780
广州	$23^\circ 06'$	9.788
武汉	$30^\circ 33'$	9.794
上海	$31^\circ 12'$	9.794
东京	$35^\circ 43'$	9.798
北京	$39^\circ 56'$	9.801
纽约	$40^\circ 40'$	9.803
莫斯科	$55^\circ 45'$	9.816
北极	90°	9.832

你可用坐标纸，也可利用 Excel 等电脑软件，绘出 $v-t$ 图像，通过测量斜率求出重力加速度的大小。

你能想出其他方法来测定重力加速度吗？

查出你所在地区的重力加速度标准值，与你的实验结果进行比较。

月球表面的自由落体加速度大约是地球表面的 $\frac{1}{6}$ 。

家庭作业与活动

- 关于自由落体的位移公式，有人作如下推导：
由于 $v = gt$ ， $h = vt$ ，所以有 $h = gt^2$ 。这种推导方法错在哪里？
- 从塔顶释放一个小球 A，1 s 后从同一个地点再释放一个小球 B。设两球都做自由落体运动，则落地前，A、B 两球之间的距离（ ）。
A. 保持不变 B. 不断增大
C. 不断减小 D. 有时增大，有时减小
- 月球表面附近自由落体加速度约是地球表面的 $\frac{1}{6}$ 。在月球上空 196 m 的高处让一套质量为 60 kg 的仪器自由下落，它落到月球表面的时间是多少？
- 一名攀岩运动员在登上陡峭的峰顶时不小心掉落了一块石头。
 - 经历 1 s，石头落下多少距离？第 1 s 末石头的速度多大？
 - 在第 2 s 内（从第 1 s 末至第 2 s 末），石头落下多少距离？
 - 经历 8 s 后运动员听到石头落到地面。问石头落地时的速度有多大？这个山峰有多高？
 - 讨论一下，若考虑到声音传播的时间，石头落地时的速度和山峰的高度值跟上面算出的结果会有怎样的差别？
- 设计一个实验，不用卷尺，估测教学大楼 4 楼阳台距地面的高度。要求说明实验原理，列出所需器材，写出需测量的物理量。
如需实测，一定要征得老师的同意，在其指导下进行，请注意安全！

2.4 匀变速直线运动规律的应用

生活中的匀变速直线运动



图 2-4-1 小孩站在滑板车上沿斜坡滑下

匀变速直线运动是一种理想化的运动模型。生活中的许多运动由于受到多种因素的影响，运动规律往往比较复杂，但当我们忽略某些次要因素后，有时也可以把它们看成是匀变速直线运动。例如：

在平直的高速公路上运行的汽车，在超车的一段时间内，可以认为它做匀加速直线运动，制动时则做匀减速直线运动，直至停止。

图 2-4-1 所示为深受青少年喜爱的滑板车运动，人站在板上从坡顶笔直滑下时做匀加速直线运动，笔直滑上斜坡时做匀减速直线运动。

所以，匀变速直线运动跟我们生活的关系很密切，研究匀变速直线运动的问题很有意义。

请你找一找，生活中还有哪些可用匀变速直线运动描述的实例。

案例分析

案例1 在高速公路上，有时会发生“追尾”事故——后面的汽车撞上前面的汽车。请分析一下，造成汽车“追尾”事故的原因有哪些？我国高速公路的最高车速限制为120 km/h。设某人驾车正以最高时速沿平直高速公路行驶，该车制动时产生的加速度为 -5 m/s^2 ，司机的反应时间（从意识到应该制动至操作制动的的时间）为 $0.6 \sim 0.7 \text{ s}$ 。请分析，应该如何计算行驶时的安全车距？

分析 从后车的运动考虑，造成汽车“追尾”的原因主要有以下几方面：（1）车速过快；（2）跟前车的车距过小；（3）司机的反应较迟缓；（4）车的制动性能较差。

当司机发现紧急情况（如前方车辆突然停下）后，在反应时间内，汽车仍以原来的速度做匀速直线运动；制动后，汽车匀减速滑行。所以，从发现情况到车停下的过程中汽车先后做着两种不同的运动，行驶时的安全车距应等于两部分位移之和，如图 2-4-3 所示。为确保安全，反应时间取 0.7 s 。

汽车原来的速度 $v_0 = 120 \text{ km/h} = 33.3 \text{ m/s}$ 。在反应时间 $t_1 = 0.7 \text{ s}$ 内，汽车做匀速直线运动的位移为

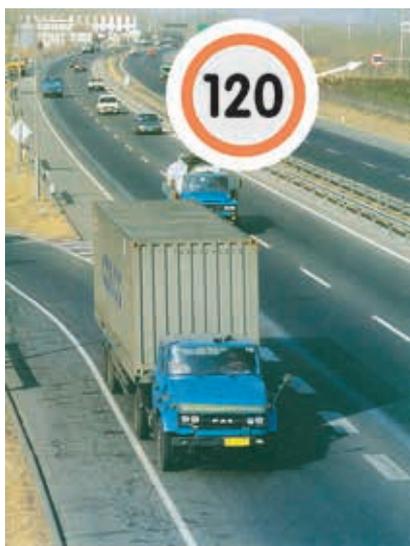


图 2-4-2 某地高速公路的限速标志

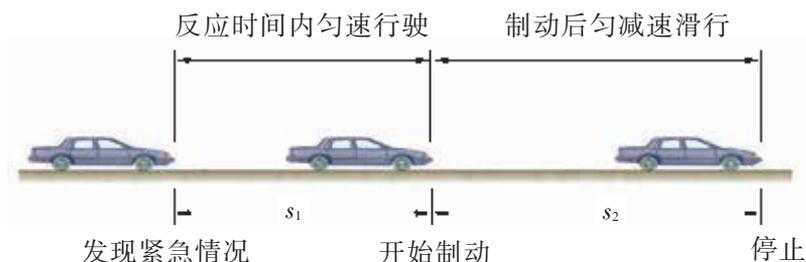


图 2-4-3 汽车紧急制动前后的运动

$$s_1 = v_0 t_1 = 33.3 \times 0.7 \text{ m} = 23.3 \text{ m}$$

制动后，汽车做匀减速运动，滑行时间为

$$t_2 = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 33.3}{-5} \text{ s} = 6.7 \text{ s}$$

汽车制动后滑行的位移为

$$s_2 = v_0 t_2 + \frac{1}{2} a t_2^2 = 33.3 \times 6.7 \text{ m} + \frac{1}{2} \times (-5) \times 6.7^2 \text{ m} = 110.9 \text{ m}$$

所以行驶时的安全车距应为

$$s = s_1 + s_2 = 23.3 \text{ m} + 110.9 \text{ m} = 134.2 \text{ m}$$

思考一下，能否用其他方法求解？与同学交流讨论，寻求最简单的方法。

公安部门规定：严禁酒后驾车。你能说明该规定的道理吗？

案例2 某市规定，汽车在学校校门前马路上的行驶速度不得超过40 km/h。有一次，一辆汽车在校门前马路上遇紧急情况制动，由于车轮抱死，车滑行时在马路上留下一道笔直的车痕。交警测量了车痕长度，又从监控录像上确定了该车制动后到停止的时间，就判断出了这辆车有没有违章超速。这是为什么？

分析 汽车从制动滑行至停止的过程可以看成匀减速直线运动。确认汽车是否违章，就是判断汽车行驶速度有没有超过40 km/h，即需要求出制动时的初速度 v_0 。

根据匀变速直线运动速度均匀变化的特点，由制动后的滑行距离（车痕长度）和滑行时间，可以算出滑行过程中的平均

速度 \bar{v} 。然后由 $\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{v_0}{2}$ 就可以算出初速度 v_0 。

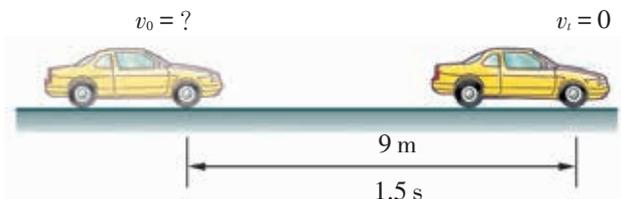


图 2-4-4 制动滑行

假设案例2中车痕长 $s = 9 \text{ m}$, 滑行时间 $t = 1.5 \text{ s}$ (图 2-4-4), 请你通过计算判断一下, 这辆车是否违章?

通过上面两个案例, 我们已经看到, 求解匀变速直线运动的问题时, 一定要认真分析运动过程, 明确哪些是已知量, 哪些是待求量, 并养成画出运动示意图的习惯。由于匀变速直线运动的两个基本公式(速度公式和位移公式)中包括五个物理量(v_0 、 v_t 、 a 、 s 、 t), 因此, 只要知道其中的三个量, 就一定可以求出另外两个量。

多学一点 $v-t$ 图像的应用

$v-t$ 图像不仅形象地反映了做匀变速直线运动物体的速度随时间的变化规律, 还可以辅助运算。

例如, 在案例2中若画出汽车制动滑行的 $v-t$ 图像(图 2-4-5), 立即就可以根据图像与 t 轴间的面积跟滑行位移的关系, 由

$$s = \frac{1}{2}v_0t$$

得出汽车的初速度

$$v_0 = \frac{2s}{t} = \frac{2 \times 9}{1.5} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s} = 43.2 \text{ km/h}$$

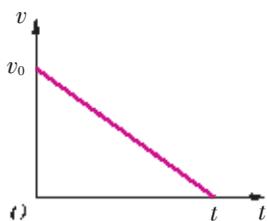


图 2-4-5 汽车制动滑行的 $v-t$ 图像

家庭作业与活动

- 对于做匀变速直线运动的物体, 在时间一定的情况下, 有 ()。
 - 它的位移与初速度成正比
 - 它的位移与平均速度成正比
 - 它的位移与末速度成正比
 - 它的位移与加速度成正比
- 一名车站工作人员站在站台上靠近列车第一节车厢车头的地方。当列车从静止开始做匀加速直线运动时, 测得第一节车厢经过该工作人员需要 3 s , 则该工作人员在 9 s 内能看到从他身边经过的车厢数(不计车厢间隙)总共为 ()。
 - 3 节
 - 6 节
 - 9 节
 - 12 节
- 一辆汽车以 10 m/s 的速度沿平直公路行驶, 司机关闭发动机后滑行 42 m , 速度降为 4 m/s 。汽车再经过多少时间才会停止?
 - 一列货车进站时做匀减速滑行, 当它滑行了 300 m 时, 速度已减半, 以后又继续滑行了 20 s , 恰好停在站台边。求列车滑行的总位移和最后 10 s 内的位移。
 - 一列以 54 km/h 的速度行驶的列车, 因故在中途停车 1 min 。已知制动引起的加速度大小是 0.3 m/s^2 , 启动产生的加速度大小是 0.5 m/s^2 , 求:
 - 列车从制动开始到停止所经历的时间和位移;
 - 列车启动后至达到原来的速度所经历的时间和位移;
 - 列车由于临时停车所延误的时间。

第2章 家庭作业与活动

A组

- 两位同学分别在塔的不同高度，各用一个球做自由落体实验，两球轻重不同。已知甲球的重量是乙球的2倍，释放甲球处的高度是释放乙球处高度的 $\frac{1}{2}$ ，则（ ）。
 - 甲球下落的加速度是乙球的2倍
 - 甲球落地时的速度是乙球的 $\frac{1}{2}$
 - 甲、乙两球各下落1 s时的速度相等
 - 甲、乙两球各下落1 m时的速度相等
- 甲、乙两小球先后从空中同一位置自由下落，甲比乙先下落0.5 s，则下列判断中，正确的是（ ）。
 - 甲相对乙做自由落体运动
 - 甲相对乙做向下的匀速运动
 - 甲、乙两球的速度之差越来越大
 - 甲、乙两球之间的距离越来越大
- 列车从甲站出发，沿平直铁路做匀加速直线运动，紧接着又做匀减速直线运动，到乙站恰好停止。在这先后两个运动过程中（ ）。
 - 列车的位移一定相等
 - 列车的加速度大小一定相等
 - 列车的平均速度一定相等
 - 所用的时间一定相等
- 一列货车以10 m/s的速度沿平直铁路匀速行驶，制动后以大小为 0.2 m/s^2 的加速度做匀减速运动，则它在制动后1 min内的位移是多少？
- 如图2-A-1所示，甲、乙两车沿着同一条平直公路同向行驶。甲车以速度20 m/s做匀速运动；乙车原来速度为4 m/s，从距离甲车128 m



图 2-A-1 两车的追及问题

处以大小为 1 m/s^2 的加速度做匀加速运动。问：乙车经多少时间能追上甲车？

- 一辆汽车沿直线从静止匀加速到某一速度后，接着做匀减速运动，试用质点模型画出其运动简图。

B组

- 做自由落体运动的小球，它的前一半位移和后一半位移所用时间之比为（ ）。
 - $1:2$
 - $\sqrt{2}:1$
 - $1:(\sqrt{2}+1)$
 - $(\sqrt{2}+1):1$
- 一列货车从车站出发，沿平直铁路以加速度 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 做匀加速直线运动，则（ ）。
 - 它在10 s、20 s、30 s内的位移大小之比为多少？
 - 它在第1个10 s、第2个10 s、第3个10 s内的位移大小之比为多少？
 - 通过解答上面两个问题，能否为初速度为零的匀加速直线运动的位移大小找出一个比例关系？
- 一个做匀变速直线运动的物体，某时刻速度大小为4 m/s，1 s后的速度大小为10 m/s，在这1 s内该物体的（ ）。
 - 位移大小可能小于4 m
 - 位移大小可能大于10 m
 - 加速度的大小可能小于 4 m/s^2
 - 加速度的大小可能大于 10 m/s^2
- 一位学生设计了一个测定自由落体加速度的实验。如图2-B-1所示，在一个敞口容器的底部插入一根细橡皮管，并装上一个夹子，在其下方地面上放一个金属盘子。调节夹子的松紧，以使第1个水滴落入盘中发出响声的瞬间，第2个水滴正好从管口落下。以某次响声为“0”开始计数，待数到“100”时测得经过的时间为40 s，再用米尺量出管口至盘子的高度为78.6 cm。试计算重力加速度。



图 2-B-1 测定重力加速度的实验

5. 一列货车以 $v_1 = 28.8 \text{ km/h}$ 的速度在平直铁路上行驶。由于调度失误，其后方有一列客车以 $v_2 = 72 \text{ km/h}$ 的速度在同一铁轨上驶来。在两车相距 $s_0 = 600 \text{ m}$ 处，客车司机发现货车，立即紧急制动。为不使两车相撞，客车的制动加速度至少要多大？

6. 跳伞表演被称为“空中芭蕾”（图 2-B-2）。跳伞运动员为了在空中做各种组合造型，离开飞机后并不马上打开降落伞，而是先在空中自由“飞翔”一段时间，然后再打开降落伞。设在一次表演中，某运动员离开飞机后做的是自由落体运动，到离地面 125 m 时他才打开降落伞，从而产生很大阻力，使他以大小为 14.3 m/s^2 的加速度做匀减速运动，安全着陆时的速度仅为 5 m/s 。 g 取 10 m/s^2 ，问：

- (1) 该运动员离开飞机时高度是多少？
- (2) 离开飞机后，经多少时间到达地面？



图 2-B-2 “空中芭蕾”



第 3 章 力与相互作用

在我国的长江之口、东海之滨，屹立着一座闻名遐迩的国际大都市——上海。上海的母亲河——黄浦江，由西南而东北，在吴淞口与长江汇合，流入大海。

她，经历了历史的沧桑；她，见证了时代的变革……

如今，在两岸的一片新天地中，她欢笑着，奔腾着，一路高歌，滚滚向前。

你看见了吗？江上那新建的一座座斜拉桥，使上海的浦东、浦西紧密相连；你听见了吗？这一座座斜拉桥，仿佛一架架巨大的竖琴，正弹奏着一首首悦耳的乐曲。

斜拉桥是近半个世纪以来才得到迅速发展的新型桥梁，其中涉及的力学知识十分丰富和复杂。

本章我们先认识常见的力，再从研究斜拉桥入手，弄清力的合成与分解，学会分析一些生产生活中的平衡问题，体会物理模型在探索自然规律中的作用，并理解科学、技术、社会、环境的关系。

3.1 重力

万有引力和重力

牛顿通过研究指出：宇宙中任何物体之间都存在相互的引力作用，这就是**万有引力**（universal gravitation）。

我们在初中已经学过，地球上的一切物体都受到地球的吸引作用，由于地球的吸引而使物体受到的力叫做**重力**（gravity）。

物体受到的重力大小 G 与物体的质量 m 成正比，用关系式 $G = mg$ 表示。式中， g 为重力加速度。由于受到地球自转的影响，不同纬度的 g 值一般不同，通常取 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。

重力不但有大小，而且有方向。悬挂物体的绳子，静止时总是竖直下垂。由静止状态下落的物体，总是竖直向下运动。可见重力的方向是竖直向下的。

重心

一个物体的各个部分都会受到重力的作用。从效果上看，可以把这些力视作集中作用于一点（图 3-1-2），这一点叫做物体的**重心**（center of gravity）。

形状规则、质量分布均匀的物体，重心就在它的几何中心，如均匀球体的重心位于球心，均匀三角形薄板的重心位于三中线的交点（图 3-1-3）。

质量分布不均匀的物体，其重心的位置跟物体的形状和质量分布有关。如把起重机与其所吊货物作为一个整体，其重心随着所吊货物的位置而变化（图 3-1-4）。物体的重心既可以在物体内部，也可以在物体外部。如一根均质直铁丝的重心在其中点 O ，把它弯成一个圆环或一个直角，重心就在圆心 O_1 或空间某点 O_2 了（图 3-1-5）。



图 3-1-1 水因受重力作用而飞流直下，形成瀑布奇观

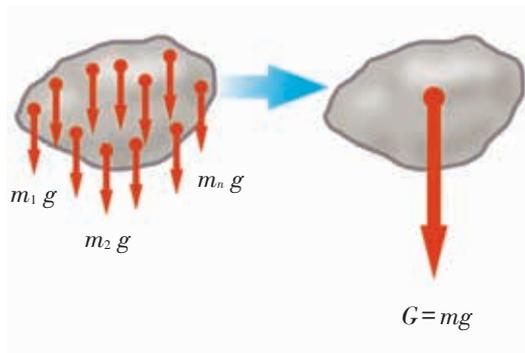


图 3-1-2 重心

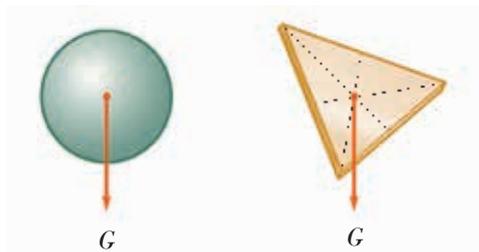


图 3-1-3 均匀、规则物体的重心



图 3-1-4 起重机 - 所吊货物的重心随所吊货物的位置而变化

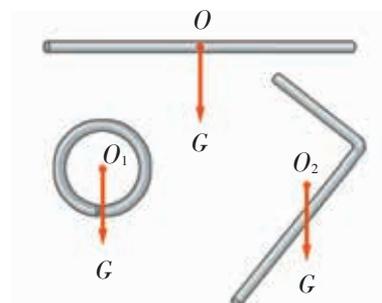


图 3-1-5 重心位置随形状而变化

重心在生活中和技术上也有重要意义。“达瓦孜”是维吾尔族一种古老的传统杂技艺术，意思是高空走悬索（图3-1-6）。它以悠久的历史、独特的风格、精湛的技艺和惊险的动作流传至今。在如此危险的高空中走悬索能够获得成功，这其中就利用了许多力学原理。发挥作用最大的就是表演者手中的长杆。走悬索的表演者需要借助长杆调整重心的位置，以保持平衡。



图3-1-6 “达瓦孜”表演

实验探究 用悬挂法确定薄板的重心

形状不规则的薄板，其重心可用悬挂法来确定。如图3-1-7所示，先在A点把薄板悬挂起来，过A点画一条竖直线AA'；再在另一点B把薄板悬挂起来，同样过B点画一条竖直线BB'。这两条线的交点就是薄板的重心。

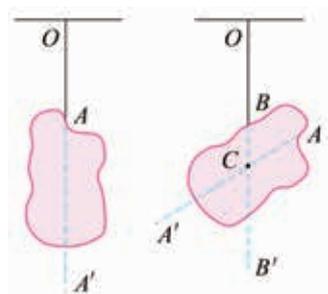


图3-1-7 用悬挂法确定薄板的重心

说说用悬挂法找薄板重心的原理。

家庭作业与活动

1. 重力是怎么产生的？重力的方向如何？如何计算重力？
2. 如图3-1-8所示为一空心圆球，内部装满水，若在其底部扎一小孔，水从中不断流出，则在此过程中，把球和其中的水作为一个整体，其重心如何变化？

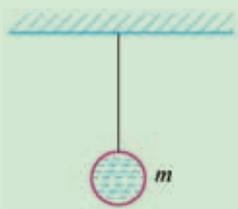


图3-1-8

（图3-1-9）。将一个双圆锥体轻轻放在倾斜轨道的低端，就会看到它似乎在向“上”滚去，请分析其中奥妙。



图3-1-9

3. 科技馆里有一个十分有趣的“锥体上滚”实验

3.2 弹力

形变与弹力

作用在物体上的外力撤去后，物体能恢复原状的形变叫做弹性形变。

外力撤去后，物体不能恢复原状的形变叫做范性形变。

斜拉桥上的钢索虽然很结实，但受到桥塔和桥面的拉力作用后，它也会微微伸长。

实验证明，任何物体即使受到很小的力，都会发生形变。

发生弹性形变的物体由于要恢复原状，就会对跟它接触使其发生形变的物体产生力的作用，这种力叫做弹力（elastic force）。弹力与形变始终伴随在一起，形影不离（图 3-2-2）。

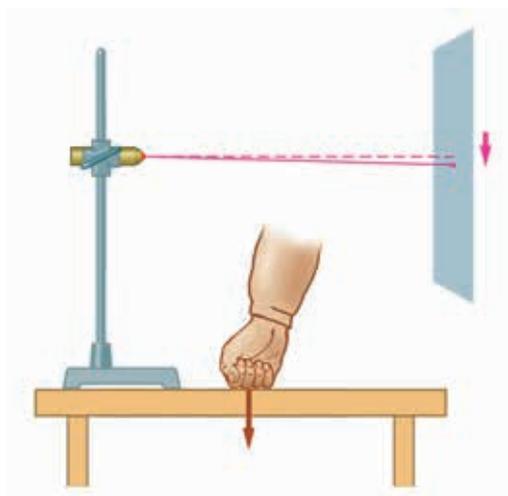


图 3-2-1 讲台的微小形变

把一支激光笔如图固定在讲台上，激光射在对面墙上形成一个鲜红的光斑，然后稍稍用力压一下讲台，光斑就会发生明显的移动。

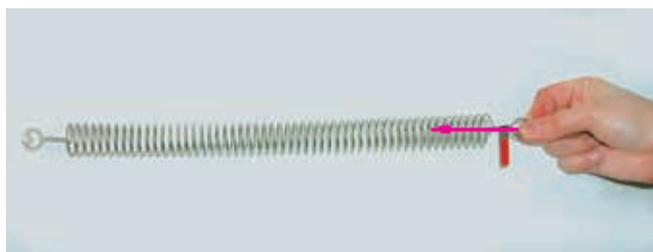


图 3-2-2 弹簧的形变与弹力

弹簧受到拉力后发生形变（伸长），发生形变的弹簧要恢复原状，就对手产生弹力。

思考与讨论

初中物理中已经指出，平常说的压力、托力、支持力、拉力、推力等本质上都是弹力，它们有什么共同的特点？

胡克定律

弹簧产生的弹力跟它所发生的形变之间有着某种定量的关系，弹簧测力计就是根据这个关系制成的。



学生必做实验

探究弹簧弹力与形变量的关系

思考讨论

弹簧形变时产生的弹力跟它发生的形变有什么关系呢？

根据你使用弹簧测力计的体验，你的猜想是什么？与同学讨论交流一下。

设计实验

为了验证你的猜想，可利用图 3-2-3 所示的装置，请写出所需实验器材和实验步骤。

收集证据

1. 根据实验方案，完成实验，记录数据。

实验数据记录表

实验序号	1	2	3	4	5
弹簧的弹力 F/N					
弹簧的长度 l/mm					
弹簧的伸长量 x/mm					

2. 请根据实验数据，在坐标纸（图 3-2-4）上画出 $F-x$ 图像。通过实验你得出了什么结论？

300 多年前，英国科学家胡克（R. Hooke）通过研究发现，在弹性限度内，弹力的大小 F 跟弹簧伸长（或缩短）的长度 x 成正比，即

$$F \propto x$$

引入比例系数 k ，就可以写成公式

$$F = kx$$

上述关系被称为胡克定律（Hooke's law）。公式中的比例系数 k 叫做劲度系数（coefficient of stiffness），它反映了弹簧的一种力学性质。在国际单位制中，劲度系数的单位是牛/米，符号是 N/m 。研究表明，金属丝等一类弹性物体，受到拉伸时在弹性限度内同样遵循胡克定律。

思考与讨论

某种弹簧的劲度系数 $k = 10^3 \text{ N/m}$ ，它所表示的物理意义是什么？

根据你的实验记录，算出实验所用弹簧的劲度系数 k 。把你的计算结果跟同学进行交流，如出现明显的差异，你认为是否正常？为什么？



图 3-2-3 供选用的实验器材

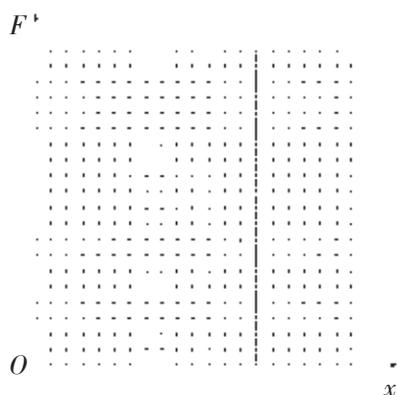


图 3-2-4 方格坐标纸

作用在弹簧上的力超过一定程度时，弹簧就不能恢复原状。因此，使弹簧发生弹性形变也有一定的限度，这个限度叫做弹性限度（elastic limit）。

请用胡克定律解释弹簧测力计的刻度呈均匀分布的原因。

弹力的方向

物体发生形变后产生的弹力，其方向跟物体的形变情况有关，一般较为复杂。对于常见的平板状物体和绳索，由图 3-2-5 可知，平板受压弯曲后产生的弹力，方向一定垂直于平板，指向压它的物体；绳索的弹力方向一定沿着绳索，指向绳索收缩的方向。



a 桌面的弹力

手向下用力压桌面,桌面微微变凹。桌面对手产生弹力,方向垂直桌面向上。



b 绳子的弹力

人向下用力拉绳子,绳子微微伸长。绳子对人产生弹力,方向沿绳子斜向上。

图 3-2-5 弹力的方向

思考与讨论

一本书放在水平的桌面上（图 3-2-6），书和桌面都会发生形变。请画出它们之间弹力的示意图。

图 3-2-7 中，将质量均匀的棒的一端用竖直的细绳系住，另一端搁在水平地面上，请画出棒所受弹力的示意图。

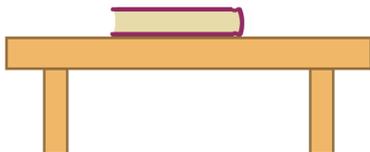


图 3-2-6 书和桌面

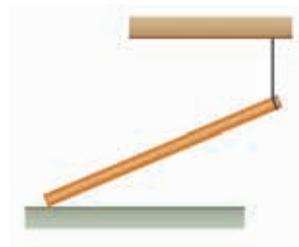


图 3-2-7 棒受到的弹力

多种多样的形变

实际情况中，由于物体受力方式的不同，物体的形变也会多种多样（图 3-2-8）。

图 3-2-8 中的各种形变，你在日常生活中有过体验吗？请举例并相互讨论。

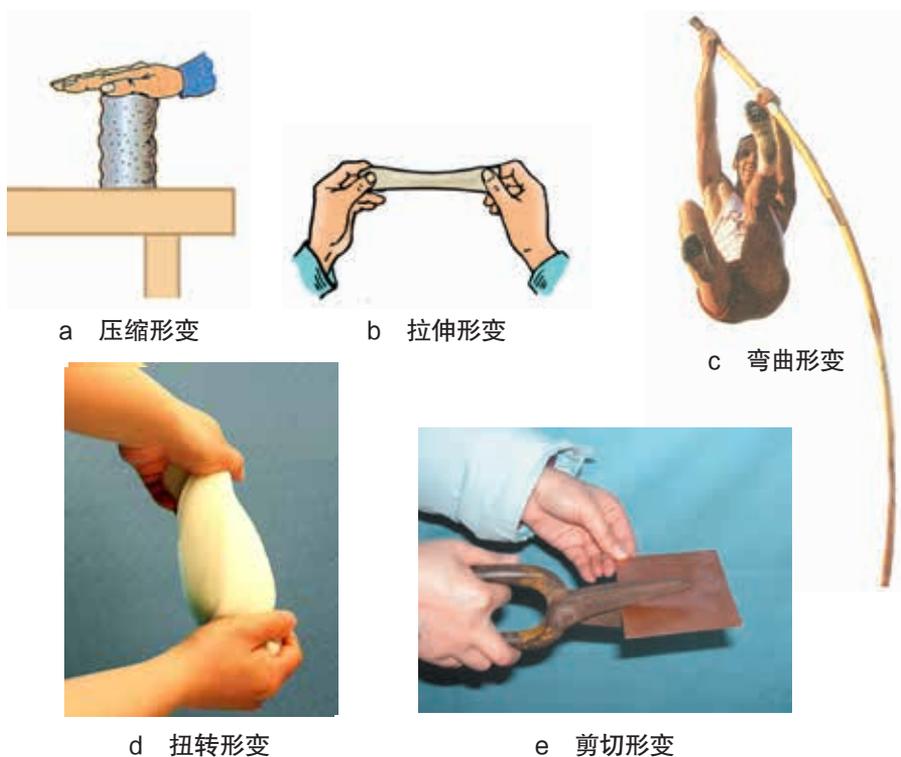


图 3-2-8 多种多样的形变

一个有益的提醒——礼貌过门：当你推开或拉开弹簧门进出时，要注意身后是否有人跟着要进出门。如果有人，应在门把手交给此人以后再松手，否则在弹簧的强大弹力作用下，此人会受到门的猛烈撞击。

家庭作业与活动

1. 了解一下你家或周围环境中，有哪些地方用到弹簧，它们起什么作用。
2. 取一段细长的橡皮，用不同颜色在上面画上许多窄条（图 3-2-9），你就可以把它的各种形变显示出来，请试验一下。



图 3-2-9 橡皮的形变

3. 如图 3-2-10 所示，一本书放在斜面上。请画出斜面形变所产生的弹力方向。



图 3-2-10 斜面上的书

4. 如图 3-2-11 所示，一根质量均匀分布的棒搁在一个光滑的半球形容器中。试画出棒所受弹力的示意图。



图 3-2-11

力的示意图。

5. 如图 3-2-12 所示，一根轻弹簧原长 20 cm，竖直悬挂着。当下挂重 15 N 的砝码时（在弹性限度内），量得弹簧长 24 cm。若把它竖立在水平桌面上，用 30 N 的力竖直向下压时，弹簧长为多少？

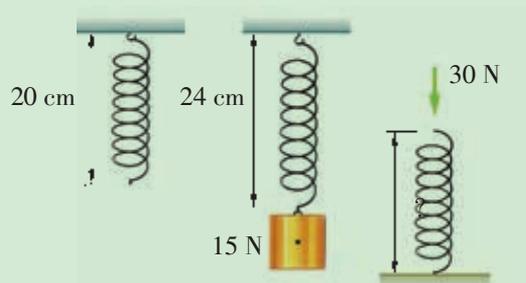


图 3-2-12 弹簧长度的变化

3.3 摩擦力

生活离不开摩擦。例如，在拔河比赛中，我们就遇到了滑动摩擦力和静摩擦力。

滑动摩擦力

初中物理告诉我们：当一个物体跟另一个物体有相对滑动时，在它们的接触面上产生的摩擦力，叫做**滑动摩擦力**（sliding friction）。滑动摩擦力的大小跟物体间的压力及接触面的材料性质等因素有关，滑动摩擦力的方向总是跟物体的相对运动的方向相反，始终阻碍着物体间的相对运动。

那么，能否找出滑动摩擦力的规律，定量地测算出它的大小呢？

实验探究

探究滑动摩擦力的大小

在物理学中，凡研究三个量之间的关系，可以采用控制变量法设计实验方案和步骤。

在用实验探究滑动摩擦力大小之前，需解决以下几个问题：

1. 滑动摩擦力跟压力大小和接触面的材料性质有关，实验中应如何处理？
2. 怎样测量压力大小和改变压力大小？
3. 怎样测量物体在滑动中所受摩擦力的大小？

实验装置如图 3-3-1 所示。实验中，先保持接触面的材料不变，改变加在木块上的砝码以改变压力。在不同压力下，匀速拉动木块，从测力计的示数可以知道木块滑动中受到的摩擦力。然后，改变接触面的材料，同上述操作步骤，在不同压力下匀速拉动木块，从测力计的示数再次读出摩擦力的数值。如此进行多次操作，分析实验数据。如果用 f 表示滑动摩擦力的大小，用 N 表示压力的大小，可得到滑动摩擦力的计算公式

$$f = \mu N$$

式中的 μ 是一个没有单位的比例系数，叫做**动摩擦因数**（dynamic friction factor）。它的数值跟相互接触的两个物体的表面材料性质、表面状况（粗糙程度、干湿情况等）有关。

实验还表明，滑动摩擦力的大小跟物体间相对运动的速度大小无关。



图 3-3-1 探究滑动摩擦力大小的实验

常见材料间的动摩擦因数

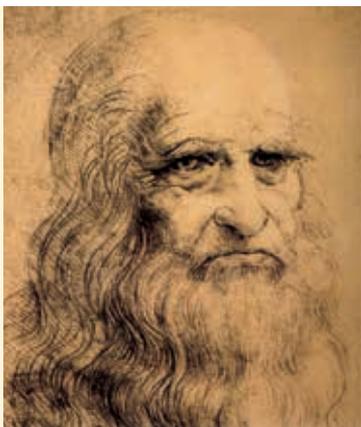
材料	动摩擦因数	材料	动摩擦因数
钢-钢	0.25	钢-冰	0.02
木-木	0.30	木-冰	0.03
木-金属	0.20	橡皮轮胎-路面(干)	0.71
皮革-铸铁	0.28		

思考与讨论

从滑动摩擦力计算公式 $f = \mu N$ ，得动摩擦因数 $\mu = \frac{f}{N}$ 。有人说，动摩擦因数跟摩擦力成正比，跟压力成反比，对不对？

信息浏览

达·芬奇 (L. da Vinci, 1452—1519)，意大利艺术家和科学家。在解剖学、力学、数学、视觉生理学和水利学方面都有研究。他的名画《最后的晚餐》《蒙娜丽莎》等，已成为稀世珍宝。



关于滑动摩擦的研究

摩擦力的研究是一个古老的课题。早在 15 世纪，文艺复兴运动的代表人物之一达·芬奇就已对摩擦做过研究，可惜，他当时的研究没有公之于世。后来，在 17~19 世纪，法国科学家阿蒙东 (G. Amontons)、库仑和莫兰 (A. J. Morin) 对摩擦作了较为系统的研究，总结出了一条摩擦定律，它的主要内容是：

- (1) 摩擦力与滑动物体的载重成正比；
- (2) 摩擦力跟相互滑动两物体的性质有关；
- (3) 摩擦力跟两物体的接触面积无关；
- (4) 摩擦力跟两物体相对滑动的速度大小无关。

静摩擦力

体验静摩擦力

请你跟同学合作，把两本书一页一页地交叉对插，然后，各抓住一本书的书脊用力对拉 (图 3-3-2)。平时随手即可挪动的两本书，竟会变得像被强力胶粘在一起似的，难舍难分，这是什么力在起作用呢？



图 3-3-2 难舍难分的两本书

认识静摩擦力的大小及最大静摩擦力

如图 3-3-3 所示，在水平桌面上放一块木块，木块上放有质量较大的砝码，通过测力计沿水平方向对木块施加拉力。

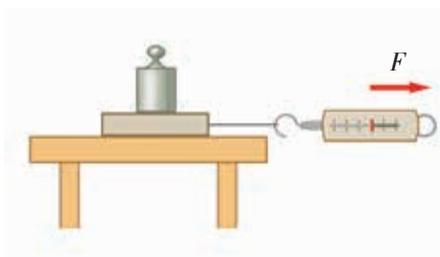


图 3-3-3 认识静摩擦力



图 3-3-4 气垫船

当拉力较小时,木块没有被拉动,仅相对桌面有滑动的趋势,可见在这种情况下,桌面同样会对木块产生摩擦力。物理学中,把这种物体间有相对滑动趋势时产生的摩擦力叫做**静摩擦力**(static frictional force)。随着拉力的增大,静摩擦力也跟着增大,在木块被拉动前,它始终跟拉力平衡。它的方向跟相对滑动趋势方向相反,始终阻碍着相对滑动趋势。但静摩擦力的增大是有一定限度的,它的最大值 f_{\max} 叫做**最大静摩擦力**(maximum static frictional force)。在实验中,它等于木块刚被拉动时拉力的大小。

所以,两个物体间的静摩擦力是一个变力,它的大小可以在零与最大静摩擦力之间变化。

在生产和日常生活中,走路、开车行进、机器制动等,都依靠了摩擦力。但是,在很多情况下,摩擦力是有害的。例如,现代交通工具中,约有20%~30%的能量消耗在克服有害摩擦上。要减小摩擦,可以用滚动摩擦代替滑动摩擦,也可以在两物体接触面之间加润滑油,或采用气垫悬浮、磁浮等先进技术。

案例分析

案例 如图3-3-5所示,在水平桌面上放一块所受重力为 $G_A = 20\text{ N}$ 的木块A。已知木块与桌面间的动摩擦因数 $\mu_A = 0.4$,那么:

- (1) 使木块A沿桌面做匀速直线运动时的水平拉力 F 为多大?
- (2) 如果再在木块A上加一块所受重力为 $G_B = 10\text{ N}$ 的木块B(图3-3-6),已知B与A之间的动摩擦因数 $\mu_B = 0.2$,那么当A、B两木块一起沿桌面匀速滑动时,所需的水平拉力 F' 为多大?

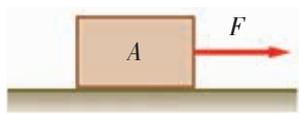


图 3-3-5 用力拉一块木块

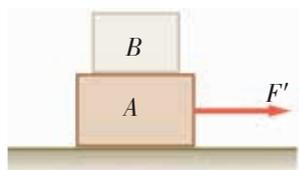


图 3-3-6 用力拉两块木块

分析

(1) 开始时,木块A与桌面间的压力大小等于A所受到的重力,木块A做匀速直线运动时受到的拉力等于木块A所受到的摩擦力。

(2) 加上木块B后,木块A与桌面间的压力大小等于A、B两者所受重力之和。两木块一起运动,可以看作一个整体。这一整体做匀速直线运动时受到的拉力等于它所受到的摩擦力。

请根据上述分析,完成计算。

思考一下:A、B两木块一起做匀速直线运动时,它们之间的摩擦力多大?

信息浏览

静摩擦力在车辆运动中功不可没

据说，19世纪初，蒸汽机车刚刚发明时，工程师们曾经苦苦思考一个问题：怎样让机车在轨道上行驶？因为当时运送矿石和木材的小车在轨道上行驶是用人推或用马拉，而机车却要“自己推动自己”，并且还要拖着载货的车辆。

于是，有一位工程师把机车的主动轮做成齿轮，并在轨道两侧再另外铺上带齿的轨道，供主动轮专用。机车齿轮利用带齿的轨道“推动”自己前进，并带动其余的车轮在轨道上滚动（图 3-3-7）。

另一位工程师设计了一种复杂的杠杆系统，让蒸汽机的活塞带动杠杆系统，杠杆就使固定在它们上面的铁块在地上迈步前进，就像是在用两条笨重的“铁腿”走路（图 3-3-8）。这两

种方案中，机车的速度仅为 4~5 km/h。

后来，工程师们决定大胆试验一下，既不用齿轮，也不用“铁腿”，而是让机车直接在铁轨上行驶。试验结果出乎意料地成功：机车竟能拖动比自身重量大许多倍的车厢。

为什么工程师们一开始不敢这样做呢？主要是当时对机车运动跟哪一种摩擦打交道还不清楚。

现在我们知道，当蒸汽机通过曲轴、连杆带动轮子转动的时候，车轮与轨道接触的部分在这一瞬间相对于轨道是静止的，有着向后滑动的趋势，于是轨道就产生一个阻碍车轮向后滑动的静摩擦力，机车正是依靠这个静摩擦力带动车辆向前运动的（图 3-3-9）。

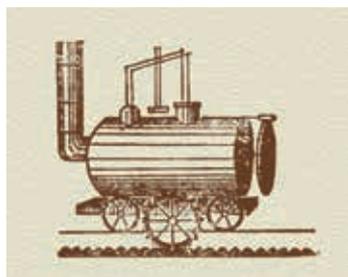


图 3-3-7 带齿轨的机车

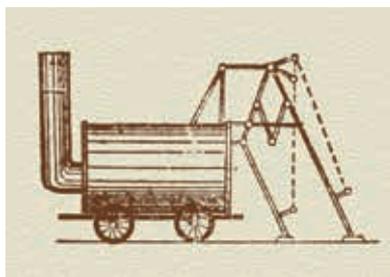


图 3-3-8 有“铁腿”的机车



图 3-3-9 机车“自己推自己”的奥秘

课外活动

防滑鞋

图 3-3-10 是一种防滑鞋，其鞋底与接触面之间的动摩擦因数较大，穿上后，即使在雪地上行走，也不易滑倒。请去商场了解一下当前常见的防滑鞋底的材料，并选用某种防滑鞋与普通鞋子做一个对照实验，写一篇科学报告，在班上交流。



图 3-3-10 穿防滑鞋在雪地上行走

家庭作业与活动

1. 请根据实验中的摩擦力 f 和压力 N 的数据，在 $f-N$ 坐标系中画出图像，这个图像的斜率表示什么意义？各个实验小组作出的 $f-N$ 图像的斜率是否应该相同？为什么？
2. 一张所受重力为 200 N 的桌子放在水平地面上，当用水平力 $F_1 = 10\text{ N}$ 推它时，桌子没有被推动，则地面对桌子的静摩擦力 $f_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ 。当水平力增至 $F_2 = 50\text{ N}$ 时，桌面刚好能被推动，则地面对桌子的最大静摩擦力 $f_{\text{max}} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。桌子被推动后，只需用 45 N 的水平推力，就能让桌子沿地面做匀速运动，则桌子与地面间的动摩擦因数 $\mu = \underline{\hspace{2cm}}$ 。
3. 下列关于静摩擦力的说法中错误的是（ ）。
 - A. 两个相对静止的物体间一定有静摩擦力
 - B. 受静摩擦力作用的物体一定是静止的
 - C. 静摩擦力对物体的运动总是起阻碍作用
 - D. 静摩擦力一定比滑动摩擦力大
4. 一块质量为 m 、长为 l 的均质长木板放在水平桌面上，已知木板与桌面间的动摩擦因数为 μ 。当木板在水平力 F 的推动下，经过图 3-3-11 所示的位置时，桌面对木板的摩擦力为（ ）。
 - A. F
 - B. $\frac{1}{3}\mu mg$
 - C. $\frac{2}{3}\mu mg$
 - D. μmg

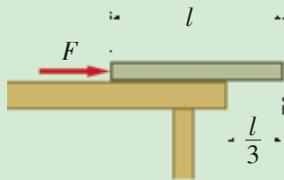


图 3-3-11 桌面的摩擦力

5. 在本节的实验探究中，要使测力计的拉力等于滑动摩擦力，必须使木块做匀速直线运动，这个条件较难严格保证。那么，能不能做一个逆向转换？如图 3-3-12 所示，将测力计的一端固定，另一端拉住木块，然后用手拉动木板。请尝试用这样的方法，跟你的同伴一起再做一次实验探究，并将这种方法与本节中的方法作一比较和评价，写一份科学报告。

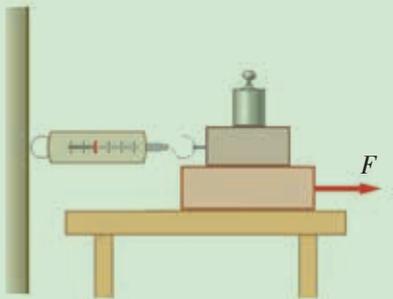


图 3-3-12 探究滑动摩擦力

3.4 分析物体的受力情况

2003年10月15日，我国成功地发射了载人飞船“神舟”五号。图3-4-1画出了飞船从发射到进入轨道的几个主要阶段。

飞船的运动为什么会及时、准确地发生变化呢？这是因为飞船能够自动地按照指令，改变自己的受力情况。

任何物体的运动变化，都跟它受到的力的大小、方向有关。因此，学会对物体进行受力分析，是研究物体运动的基础，也是学好力学的先决条件。



图3-4-1 “神舟”五号从发射到入轨的过程

怎样对物体进行受力分析

受力分析就是要分析研究对象受到的力。因此，首先要明确研究对象，这是受力分析的着眼点。力学中的研究对象，可以是某个物体，也可以是某个物体的一部分或一个作用点。

例如，图3-4-2中用三根细绳悬挂一个电灯。当分析灯的受力情况时，以灯为研究对象；当分析三根细绳中力的关系时，应该以绳的结点 O 为研究对象。

选定研究对象后，就可以围绕着力学中常见的三类力（重力、弹力、摩擦力）的产生条件，逐个确定物体受到哪些力的作用，最后依据物体受到的各个力的方向，画出受力示意图。

实际物体运动时的受力情况往往是很复杂的。例如，在空气中运动的物体，还会受到空气的阻力，阻力的方向跟物体运动方向相反，阻力的大小跟物体的运动速度、物体的形状等有关。许多时候，为了使问题简化，可以略去某些次要因素，这是物理学中常用的一种研究方法。

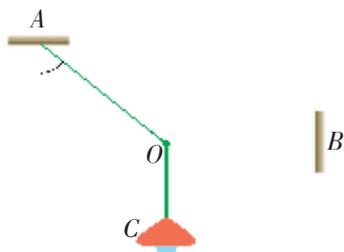


图3-4-2 悬挂着的电灯

物体受力分析的实例

案例1 如果把拔河比赛中的一队运动员简化为一个运动员，请画出他的受力示意图。

分析 这里的研究对象是一个运动员，我们先把他跟绳子和比赛对手隔离开来，然后从易到难，从重力着手，再根据他跟周围的联系，依次分析他受到的其他的力。

这位运动员有一定质量，故受到重力作用，方向竖直向下。

与运动员相联系的有绳子和地面。假设运动员沿水平方向（向右）拉绳子，绳子对他产生水平向左的拉力；运动员对地

把某个（或某部分）物体从整体中单独提取出来进行分析的方法叫做隔离法。这是物理学中一个重要的方法。

当把物体简化为质点研究时，可把物体受到的各个力都集中在其重心上。

实际拔河比赛时，运动员状态的改变是比较复杂的。比赛的胜负还跟指挥是否得当，运动员的情绪、意志，以及整体的协调等因素有关。

面有一定的压力，地面对他产生竖直向上的支持力；同时，地面又有阻碍运动员沿水平方向（向左）滑动的趋势，对他产生静摩擦力，方向水平向右。

■ **解答** 这位运动员受到四个力的作用：重力 G 、绳子拉力 F 、地面支持力 N 和地面静摩擦力 f 。其受力情况如图 3-4-3 所示。

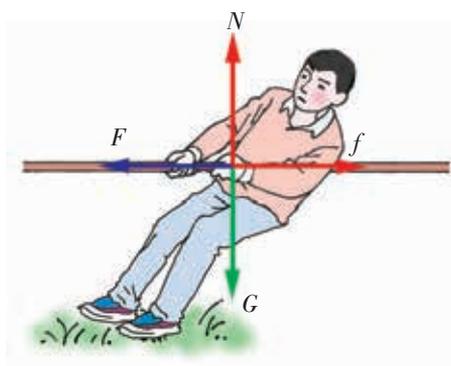


图 3-4-3 拔河运动员的受力情况

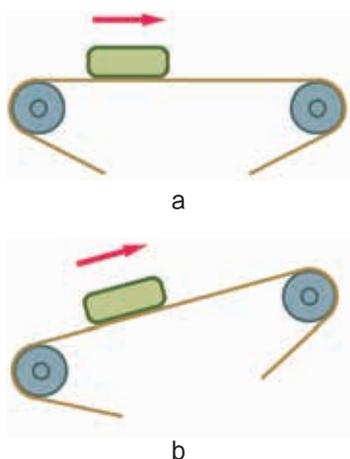


图 3-4-4 两种输送带

■ **案例2** 在机场，常用输送带运送旅客和行李、货物。如图 3-4-4 所示，图 a 为水平输送带，图 b 为倾斜输送带。当一个行李箱随输送带一起做匀速运动时，下列几个判断中正确的是（ ）。

- A. 图 a、b 两种情况中的行李箱都受到两个力作用
- B. 图 a、b 两种情况中的行李箱都受到三个力作用
- C. 图 a 中的行李箱受到三个力作用，图 b 中的行李箱受到四个力作用
- D. 图 a 中的行李箱受到两个力作用，图 b 中的行李箱受到三个力作用

■ **分析** 以行李箱为研究对象，它受到重力作用。两种情况中，行李箱都只与输送带有关，由于行李箱对输送带产生压力作用，输送带对行李箱产生弹力，其方向垂直输送带向上。

在图 a 中，行李箱随输送带一起做匀速直线运动，两者没有相对运动或相对运动的趋势，输送带对箱子不会产生摩擦力，因此，图 a 中的行李箱仅受两个力作用。

在图 b 中，行李箱虽然同样随输送带一起做匀速直线运动，但它时刻都有沿输送带下滑的趋势，只是由于受到输送带静摩擦力的阻碍作用才没有下滑，因此，图 b 中的行李箱受三个力作用。

两种情况中行李箱的受力示意图如图 3-4-5 所示。

所以，正确答案是选项 D。

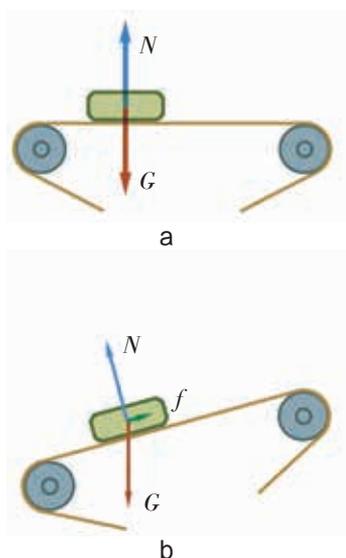


图 3-4-5 输送带上箱子的受力示意图

思考与讨论

有人说，放在倾斜输送带上的物体，由于时刻有沿带下滑的趋势，因此它除了受到重力、支持力、摩擦力外，还受到一个下滑力的作用。你认为这种看法对不对？为什么？

多学一点

行李箱怎样才能随输送带一起运动

案例 2 中的行李箱，是怎样才能随输送带一起做匀速直线运动的呢？

如图 3-4-6 所示，水平输送带正以速度 v 运动，旅客把行李箱轻轻放在输送带的左端。刚放上时，由于行李箱相对于输送带向左滑动，因此输送带对行李箱产生一个滑动摩擦力 f ，其方向水平向右，使行李箱向前做加速运动。随着行李箱速度的增大，它跟输送带之间的相对速度越来越小。当行李箱的速度增大到等于输送带的速度时，它跟输送带之间已不再发生相对滑动。于是，输送带对行李箱的摩擦力消失，箱子由于惯性随输送带一起运动。

所以，从行李箱轻轻放到输送带上到随输送带一起运动，行李箱先后经历了两种运动过程：先加速运动，后匀速运动。

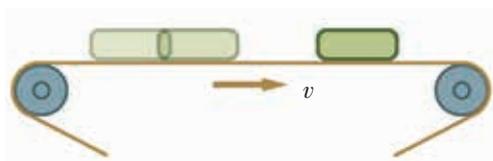


图 3-4-6 输送带上行李箱的运动

家庭作业与活动

- 某人用一个水平力 F ，推一个很重的桌子，结果推不动。那么在推的过程中，桌子受到哪几个力的作用？
- 教室里的磁性黑板上吸着一个磁性电路元件，如图 3-4-7 所示。它受到哪些力的作用？试画出它的受力示意图。

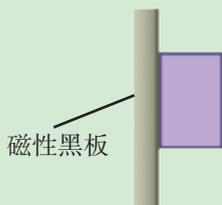


图 3-4-7

- 用手指捏住一支铅笔，使笔竖直（图 3-4-8）。这支铅笔受到哪些力的作用？

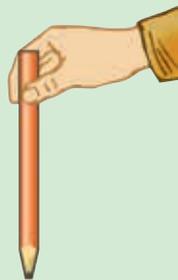


图 3-4-8

- 物体 A 静止在地面上，物体 B 通过定滑轮与物体 A 相连，如图 3-4-9 所示。试分析物体 A 、 B 的受力情况，画出受力示意图。

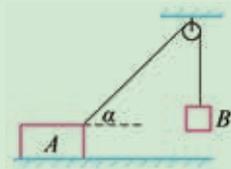


图 3-4-9

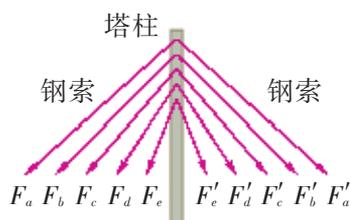


图 3-5-1 系在塔柱上的钢索

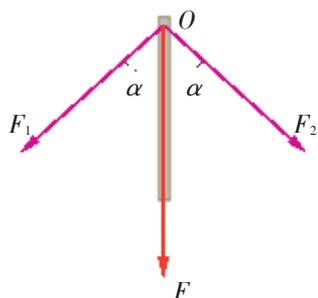


图 3-5-2 合力与分力

合力与分力的相互替代是一种等效替代，这是物理学上常用的一种研究方法。例如，用总电阻代替串联或并联的几个电阻，也是一种等效替代。

几个力都作用在物体上的同一点上，或它们的延长线相交于同一点，这几个力就叫做共点力。

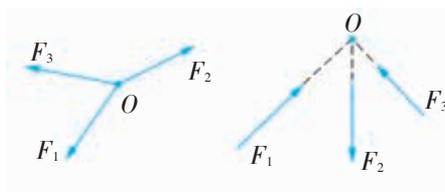


图 3-5-3 共点力

3.5 怎样求合力

斜拉桥的塔柱两侧有许多钢索，呈对称分布，它们的一端都系在塔柱上（图 3-5-1），另一端则固定在桥面上。

每一对钢索对塔柱的拉力 F_1 、 F_2 作用在同一点。它们合起来对塔柱的作用效果让塔柱好像受到一个竖直向下的力 F 一样（图 3-5-2）。这样，塔柱便能稳固地伫立在桥墩上，不会因钢索的牵拉而发生倾斜，甚至倒下。

合力与分力

当一个物体受到几个力共同作用时，如果能用另外一个力代替它们，并且它的作用效果跟原来那几个力的共同作用效果相同，那么这个力就叫做那几个力的合力 (resultant force)，那几个力叫做这个力的分力 (component force)。

求已知几个力的合力叫做力的合成 (composition of forces)，求一个已知力的分力叫做力的分解 (resolution of force)。

在上述斜拉桥例子中，能代替拉力 F_1 、 F_2 对塔柱产生同样作用的力 F ，就是 F_1 、 F_2 的合力；而 F_1 、 F_2 就是 F 的两个分力。

用平行四边形定则求合力

学生必做实验

探究两个互成角度的力的合成规律

思考讨论

合力 F 跟它的两个分力 F_1 、 F_2 之间有什么关系？

根据从斜拉桥钢索得到的直觉和生活体验，一些同学提出了下列猜想：

1. 合力的大小可能等于两个分力的大小之和。
2. 合力的大小一定比任何一个分力都大。

你的猜想怎样？

设计实验与收集证据

一组同学用橡皮筋、测力计、细绳圈等器材做了如图 3-5-4 所示的实验探究。他们的实验过程如下：

1. 在图板上固定好一张白纸，将橡皮筋的一端固定在 A 处，

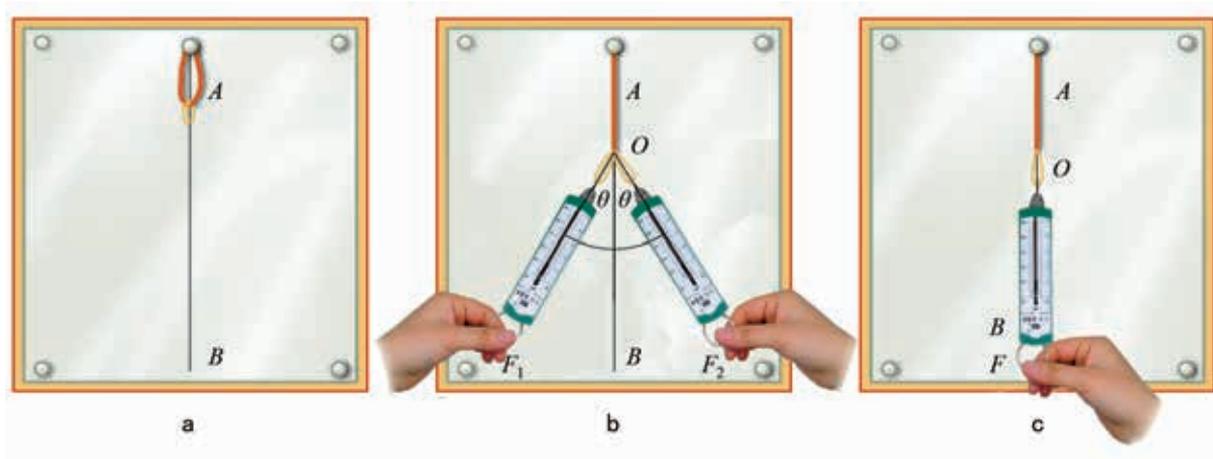


图 3-5-4 探究合力与分力关系的实验

过 A 画一条标记线 AB。

2. 用两个测力计钩住橡皮筋下端的细绳圈，对称地把橡皮筋下端拉至 O，标好 O 点位置（注意，橡皮筋要与标记线重合），记下夹角 θ 和拉力 F_1 、 F_2 的大小。

3. 改用一个测力计把橡皮筋下端同样拉至 O 点，记下拉力 F 的大小。

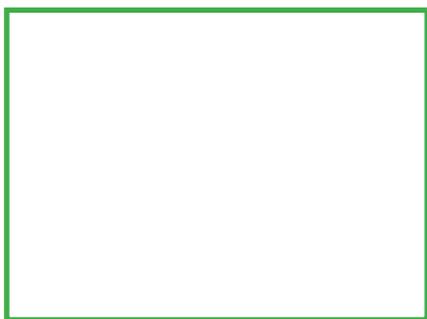
分析论证

请根据上面的实验过程回答以下问题：

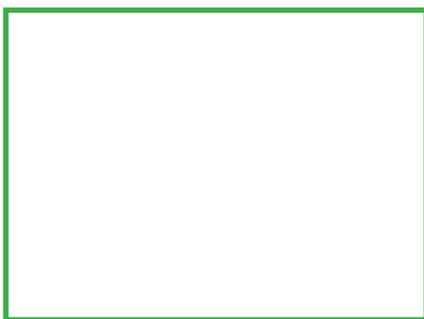
1. 这个实验的依据是什么？
2. 得到一组数据后，怎样去发现隐藏在其中的规律？
3. 两个测力计沿着 AB 线两侧对称地拉橡皮筋，这是一种特殊情况，怎样才能找出一般情况下的规律？

经相互讨论、交流，弄清这些问题的答案后，完成实验探究活动，并把你最满意的两个实验结果填写在下面的方框中。

两测力计向 AB 线两侧对称拉时的结果



两测力计向 AB 线两侧不对称拉时的结果



请用力的图示法，根据上述两个实验结果按比例表示出 F_1 、 F_2 和 F 。从这两个图中，你能找出 F_1 、 F_2 跟 F 的关系吗？

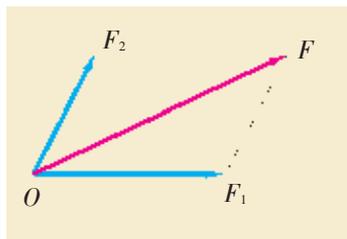


图 3-5-5 平行四边形定则

研究表明：两个共点力的合力，可以用表示这两个力的线段为邻边构成的平行四边形的对角线表示（图 3-5-5），这叫做力的平行四边形定则（parallelogram rule）。

上述实验告诉我们，为了使斜拉桥两侧钢索对塔柱形成竖直向下的力，一个容易想到的方法是让钢索在塔柱两侧呈对称分布，并使每对钢索中的拉力相等。

思考一下：如果由于受某种条件限制，塔柱两侧的钢索不能呈对称分布，那么应该调整哪些因素，使塔柱受力仍然竖直向下？

矢量和标量

在物理学中，把既有大小又有方向，并且按平行四边形定则进行合成的物理量称为矢量（vector）。只有大小、没有方向的物理量称为标量（scalar）。前面学过的位移、速度、加速度等物理量，都既有大小，又有方向，相加（合成）时都遵循平行四边形定则，它们都是矢量。质量、路程、温度等物理量只有大小，没有方向，它们都是标量。矢量相加和标量相加遵循不同的法则，两个标量相加只需按算术法则相加即可。

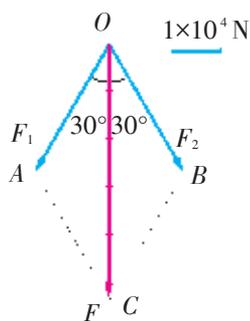


图 3-5-6 图解法

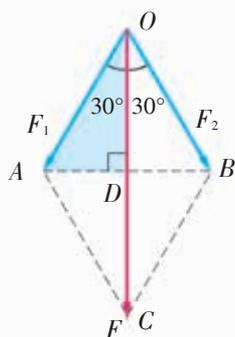


图 3-5-7 计算法

案例分析

案例 假设一座斜拉桥中某对钢索与竖直方向的夹角都是 30° ，每根钢索中的拉力都是 $3 \times 10^4 \text{ N}$ ，那么它们对塔柱形成的合力有多大？方向如何？

分析 把两根钢索的拉力看成沿钢索方向的两个分力，以它们为邻边画出一个平行四边形，其对角线就表示它们的合力。由对称性可知，合力方向一定沿塔柱竖直向下。

解答 下面用两种方法计算这个合力的大小。

(1) **图解法** 自 O 点画两根有向线段 OA 和 OB ，它们跟竖直方向间的夹角都为 30° 。取单位长度为 $1 \times 10^4 \text{ N}$ ，则 OA 和 OB 的长度都是 3 个单位长度。作平行四边形，得端点 C 。量得对角线 OC 长为 5.2 个单位长度（图 3-5-6），所以合力的大小约为

$$F = 5.2 \times 1 \times 10^4 \text{ N} = 5.2 \times 10^4 \text{ N}$$

(2) **计算法** 根据这个平行四边形是一个菱形的特点（图 3-5-7），连接 AB ，交 OC 于 D ，则 AB 与 OC 互相垂直平分，即 $AB \perp OC$ ，且 $AD = DB$ ， $OD = DC$ 。考虑直角三角形 AOD ，其中 $\angle AOD = 30^\circ$ ，并 $OD = \frac{1}{2} OC$ 。

下面请你根据这些分析自己计算出合力 F 的大小。

思考与讨论

1. 计算过程中, 有同学算出的合力大小为

$$F = OA \cos 30^\circ = 2.6 \times 10^4 \text{ N}$$

你认为结果正确吗? 如果错, 错在哪一步?

2. 解答时, 各人画出的平行四边形的大小不同(图 3-5-8)。你认为因此会得出不同的结果吗? 为什么?

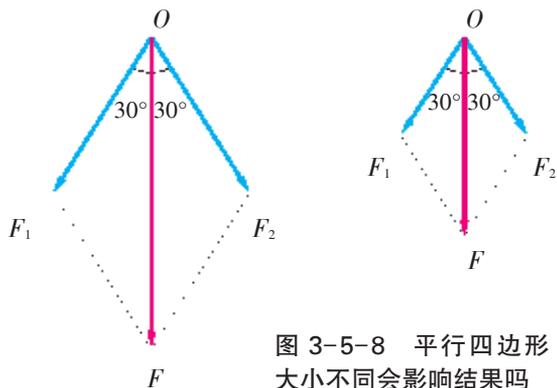


图 3-5-8 平行四边形大小不同会影响结果吗

STSE

人间彩虹——斜拉桥

斜拉桥, 又称斜张桥, 是一种用许多根锚在塔柱上的斜向钢索拉住桥身的桥梁。每根钢索与桥身的连接处都是一个承重点, 因此斜拉桥有着许多承重点。一般只需要几个支承塔柱的桥墩就可使桥的主跨度很大, 这样既便于施工, 又便于通航。

斜拉桥其实古已有之, 但由于钢索所受的力很难计算和很难控制, 所以一直没有得到发展。20 世纪中叶, 电子计算机的出现解决了索力计算

的问题, 而调整装置的完善解决了索力的控制问题, 使得斜拉桥成为近 50 年内发展迅速、应用广泛的一种桥型。如今世界上已经建有 3000 多座斜拉桥, 著名的有日本的多多罗桥、法国的诺曼底大桥等。

我国从 1975 年开始建造斜拉桥, 至今已建成了多座大型斜拉桥。1991 年建成了上海南浦大桥, 其主跨度为 423 m, 开我国修建 400 m 以上大跨度斜拉桥之先河。2008 年建造的苏通长江大桥主跨度为 1 088 m, 为当时世界斜拉桥第二跨。

家庭作业与活动

1. 下列物理量中哪些是矢量? 哪些是标量?

时间 体积 质量 密度 功 重力

2. 山区的风很大, 需要加固竖立的电线杆(图 3-5-9)。请提出你的加固方案, 并画出示意图。

3. 两个共点力的合力与分力的大小关系是()。

- A. 合力大小一定等于两个分力大小之和
 B. 合力大小一定大于两个分力大小之和
 C. 合力大小一定小于两个分力大小之和
 D. 合力大小一定大于一个分力的大小, 小于另一个分力的大小

E. 合力大小可能比两个分力的大小都大, 可能比两个分力的大小都小, 也可能比一个分力大、

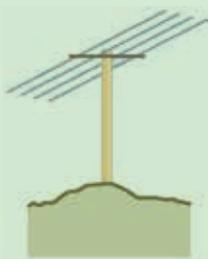


图 3-5-9

比另一个分力小

4. 两个共点力的大小分别为 3 N 和 4 N, 它们的合力不可能是()。

- A. 1 N B. 2 N C. 7 N D. 9 N

5. 有两个大小相等的共点力 F_1 和 F_2 , 当它们的夹角为 90° 时, 合力为 F , 则当它们间夹角为 120° 时, 合力多大?

6. 两个人共同拉一头牛, 每人的拉力大小和方向如图 3-5-10 所示。请用图示法求出牛所受拉力的合力。

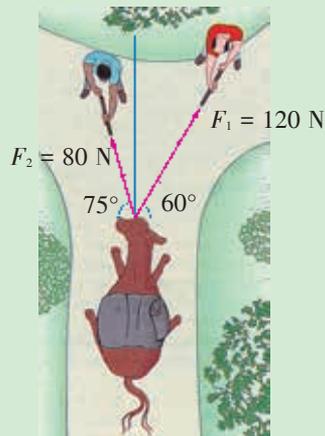


图 3-5-10 两人拉牛

3.6 怎样分解力

钢索拉力的效果

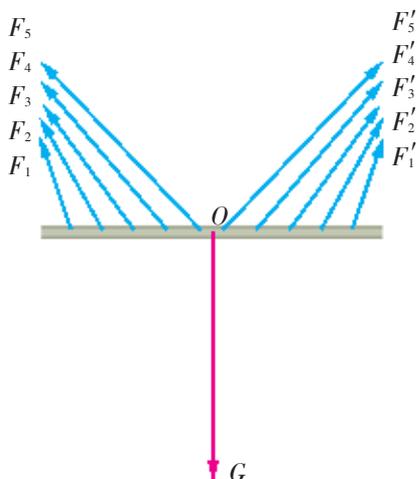


图 3-6-1 桥面的受力情况

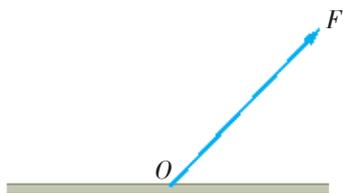


图 3-6-2 一根钢索对桥面的作用力

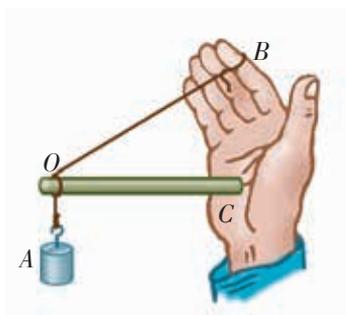


图 3-6-3 模拟钢索拉力的实验

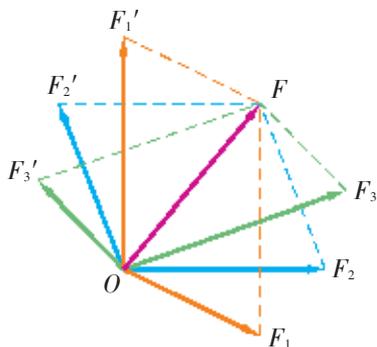


图 3-6-4 一个力的多种分解

斜拉桥的桥面被许多斜向的钢索吊住，它们共同作用的效果竖直向上，以平衡桥面竖直向下的重力（图 3-6-1）。

我们选取其中一根钢索来进行研究。经验告诉我们：它对桥面既有竖直向上的作用，又有沿水平方向的作用（图 3-6-2）。

为了研究不同倾角的钢索在竖直方向和水平方向对桥面的牵拉作用，让我们先来做一个实验。

请你用铅笔、细线把一个钩码按图 3-6-3 所示的方式悬挂起来，体验一下手指和手掌的受力感受。

显然，细线斜向的拉力相当于钢索对桥面的拉力，它产生了两个作用效果：竖直向上的力和水平向右的力。

由此可见，沿着某方向作用的一个力，确实能产生其他方向的作用效果。这些效果可以看成是由这个力的分力产生的。所以，在实际应用中，常常需要对力进行分解。

力的分解

力是矢量。力的合成遵循平行四边形定则，力的分解也应遵循这个定则。但是，以一个力为对角线作平行四边形，可以有无穷多个（图 3-6-4）。因此，在进行力的分解时，必须根据力的作用效果，获得关于分力的一些信息（例如分力方向或分力大小等），才能根据平行四边形定则求出分力。

例如，在图 3-6-3 所示的实验中，应该把斜向的拉力分解为竖直向上和水平向右的两个分力。

请根据图 3-6-3 中细线拉力的效果，画出拉力的分力。

案例分析

案例 一个所受重力为 G 的木箱，放在倾角为 θ 的斜面上。在研究重力产生的效果时，有两位同学分别画出如图 3-6-5 a、b 所示的两种分解方法。请对这两种分解方法作一评价。

分析 从力的分解所遵循的平行四边形定则来看，这两种分解方法都可以。但考虑到斜面上物体所受重力的作用效果时，图 3-6-5 a 所示的方法更为合理。

生活经验告诉我们，放在斜面上的物体，在重力作用下，

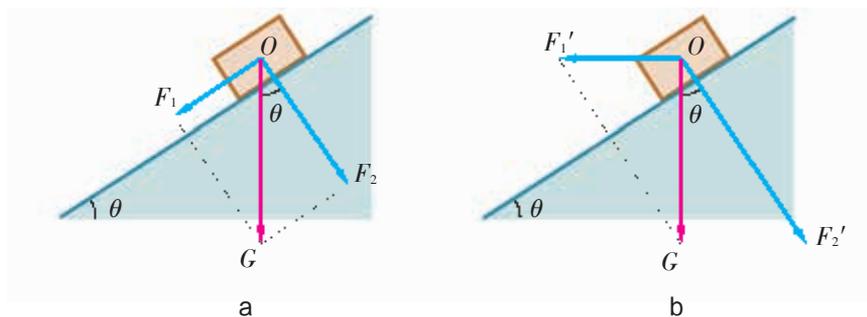


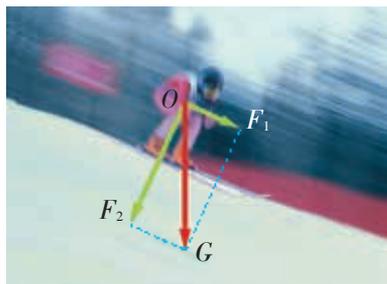
图 3-6-5 哪种分解较为合理

既会顺势下滑, 又对斜面施加着向下压的作用(图 3-6-6)。因此, 应该把重力 G 沿着平行于斜面和垂直于斜面的两个方向分解。这两个分力互相垂直, 根据数学知识, 很容易算出它们的大小:

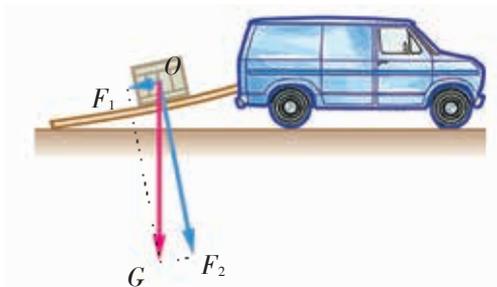
$$F_1 = G \sin \theta$$

$$F_2 = G \cos \theta$$

由此可见, 放在斜面上的物体对斜面压力的大小不等于物体所受的重力, 而且随着倾角的增大, 垂直于斜面的分力逐渐减小, 沿着斜面的分力则逐渐增大。



a 滑雪运动员依靠重力沿山坡的分力下滑



b 沉重的货物沿木板下滑, 木板受到压力, 会明显下弯

图 3-6-6 重力的正交分解

多学一点

力的分解在斜拉桥中的应用

在上一节中曾提出问题, 如果斜拉桥塔柱两侧的钢索不能呈对称分布(图 3-6-7), 那么怎样才能保持塔柱所受的合力竖直向下呢?

因为钢索的斜向拉力会对塔柱产生两个效果: 一方面竖直向下拉塔柱, 另一方面沿水平方向拉塔柱, 因此, 可把两个斜向的拉力各分解为一个竖直向下的分力和一个水平方向的分力(图 3-6-8)。由图可知, 要使一对钢索对塔柱拉力的合力竖直向下, 只要它们的水平分力大小相等就可以了, 即

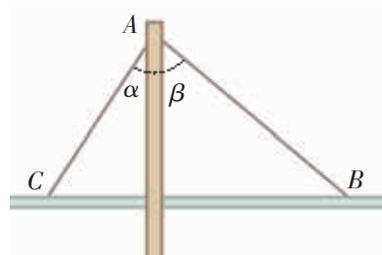


图 3-6-7 不对称的钢索

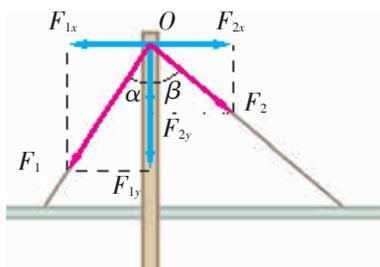


图 3-6-8 从力的分解的角度分析

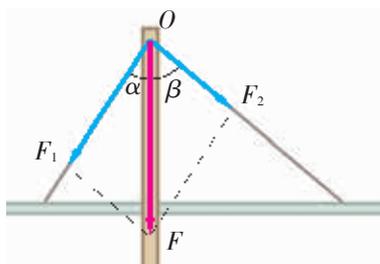


图 3-6-9 从力的合成的角度分析

因为

$$F_{1x} = F_{2x}$$

$$F_{1x} = F_1 \sin \alpha$$

$$F_{2x} = F_2 \sin \beta$$

于是有

$$F_1 \sin \alpha = F_2 \sin \beta$$

即

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

也就是说，两侧拉力大小应跟它们与竖直方向夹角的正弦成反比。

熟悉正弦定理的同学，也可以采用直接的合成方法，根据图 3-6-9 所示的斜三角形找出上述关系。

家庭作业与活动

- 对于图 3-6-5 a，有位同学说：“垂直斜面的分力 F_2 就是对斜面的压力。”你认为这种说法正确吗？为什么？
- 如图 3-6-10 所示，两根轻杆铰接后，悬挂一个鸟笼。在图示的各种情况中，你认为哪一根轻杆可以用绳子代替？为什么？

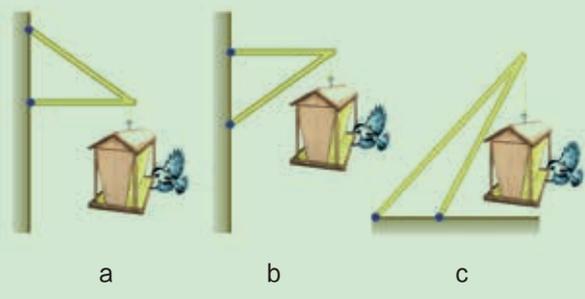


图 3-6-10 悬挂的鸟笼

- 如图 3-6-11 所示，匈牙利的一位大力士曾创造过用牙齿拉动载重汽车的纪录。现设一辆载重汽车的质量为 17 t，大力士牙齿的拉力为 1 900 N，绳子与地面的夹角为 30° ，则牵引汽车向前的力为多大？



图 3-6-11 大力士拉汽车

- 一位同学不幸因某次事故造成小腿受伤，在医院中用如图 3-6-12 所示的装置进行牵引治疗。不计定滑轮的摩擦和绳子质量，则这个牵引装置



图 3-6-12 牵引治疗

置对他脚的水平牵引力为多大？作用于脚和腿的向上的力为多大？

5. 小宁旅游途中听艄公说，帆船在逆风的情况下仍能靠风力行驶。回到学校后，小宁请教物理老师，老师说：“在一定条件下是可以实现的。”老师还解释道：“风是空气的流动。把空气看成一群弹性小球，风吹向帆面，可以看成小球跟帆面发生了弹性碰撞，会形成一个垂直于帆面的压力……”

- (1) 请根据老师的解释，在图 3-6-13 中画出风吹向帆面时对帆面形成的压力。
- (2) 将这个压力进行分解，并据此解释逆风时帆船也能前进的道理。

- (3) 有条件的话，用较光滑的平板、小车（在车上安装个风帆）、电风扇等器材，做个模拟试验。

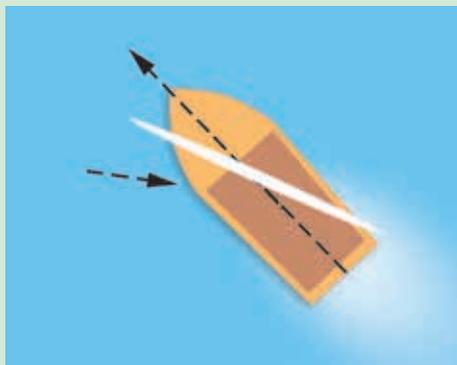


图 3-6-13

3.7 共点力的平衡及其应用

生活离不开平衡

在生活中，平衡无处不在。室内摆放的各种物品、雄伟的建筑、表演着平衡动作的杂技演员和体操运动员、大自然中耸立的山峰，乃至著名的比萨斜塔……它们都保持着静止。静止是平衡的一种表现（图 3-7-1）。

此外，沿平直铁路做匀速直线运动的列车、医院采集的血样中缓缓下沉的红细胞、发生沙尘暴时在空中徐徐下落的沙尘、在空中匀速飘移的飞艇、挂在降落伞上在空中匀速下降的救灾物资等，也都处于平衡状态（图 3-7-2）。



图 3-7-1 处于静止的平衡物体



图 3-7-2 处于运动的平衡物体

如果物体保持静止或匀速直线运动状态，我们就说这个物体处于平衡状态（equilibrium state）。

从二力平衡到共点力平衡

在初中时，已研究过二力平衡，那么，物体受到三个或三个以上共点力作用而处于平衡状态，应满足什么条件呢？

实验探究 三个共点力的平衡

二至三人合作，用三个测力计拉住小环，如图 3-7-3 所示。记下三个测力计的拉力的方向及大小，用图示法在纸上表示出各个力。

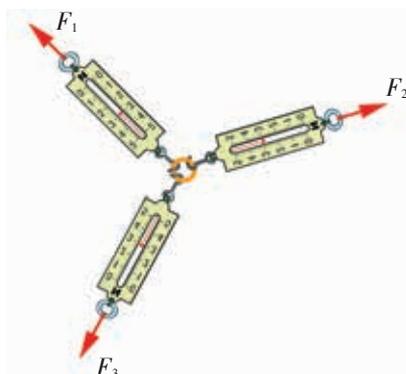


图 3-7-3 关于共点力平衡的实验

请先研究其中某两个力的合力跟第三个力的关系，然后找出三个共点力平衡所满足的条件。

分析与论证 共点力的平衡

上述实验结果也可以通过推理得到。

我们先讨论二力平衡的情况。图 3-7-4 中，放置于水平面上的物体只受到两个力的作用，平衡时它们的合力 $F_{\text{合}} = 0$ 。

图 3-7-5 中， O 点受到三个力的作用，处于平衡状态。若把其中 F_1 、 F_2 先合成为 F' （图 3-7-6），即可简化为二力平衡的情况。可以发现，它们同样满足条件

$$F_{\text{合}} = 0$$

进一步的研究表明，物体在多个共点力作用下平衡时，合力总等于零（图 3-7-7）。这就是物体受到共点力作用时处于平衡状态的条件。

当作用在一个物体上的多个共点力的合力等于零时，它们在水平方向上的分力的合力等于零，在竖直方向上的分力的合力也等于零。图 3-7-8 中的小车，在四个共点力作用下沿水平方向做匀速直线运动，则有

$$\text{水平方向} \quad F_{x\text{合}} = F - f = 0$$

$$\text{竖直方向} \quad F_{y\text{合}} = N - G = 0$$

在共点力平衡问题中，常取两个互相垂直的方向进行考察。

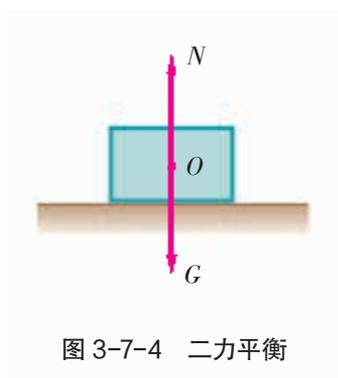


图 3-7-4 二力平衡

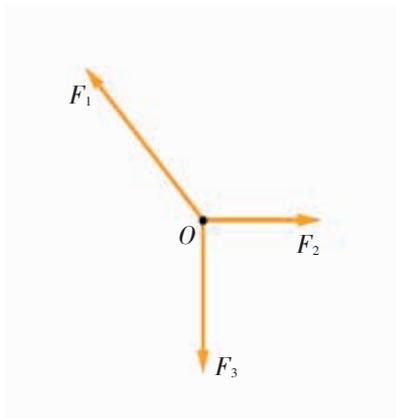


图 3-7-5 三力平衡

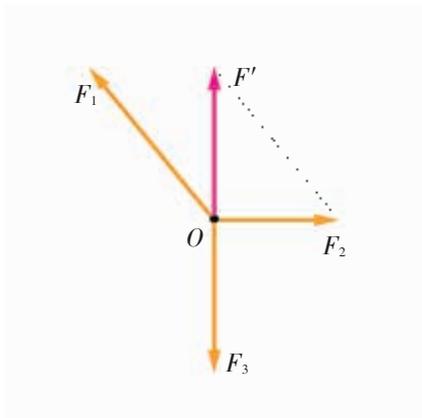


图 3-7-6 平衡的条件——合力等于零

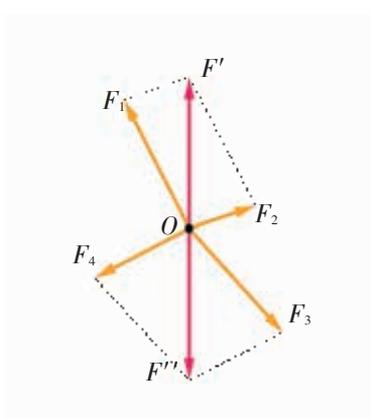


图 3-7-7 四个共点力的平衡

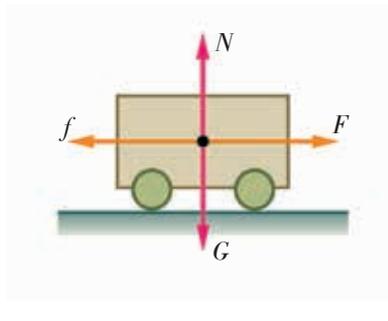


图 3-7-8 小车的受力情况

案例分析

案例1 如图 3-7-9 所示，用两根细绳悬挂一个所受重力为 G 的电灯。细绳 AO 与竖直方向间夹角为 θ ，细绳 BO 水平。现设法增大夹角 θ ，仍保持 BO 处于水平状态。试分析 AO 、 BO 两绳中拉力的变化情况。

分析 以结点 O 为研究对象，它受到三个力作用： AO 、 BO

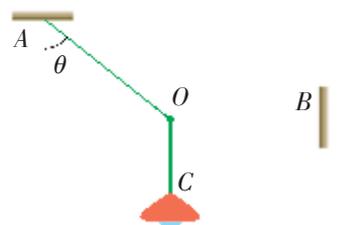


图 3-7-9

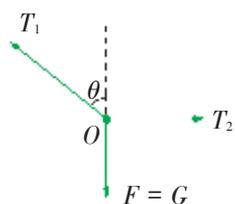


图 3-7-10

两绳中的拉力，分别设为 T_1 和 T_2 ， OC 绳中的拉力 $F = G$ ，如图 3-7-10 所示。根据共点力平衡条件，由竖直和水平两方向的合力为零得

$$T_1 \cos \theta - G = 0$$

$$T_1 \sin \theta - T_2 = 0$$

则

$$T_1 = \frac{G}{\cos \theta}$$

$$T_2 = G \tan \theta$$

当夹角 θ 增大时， $\cos \theta$ 的值变小， $\tan \theta$ 的值变大，两绳中的拉力 T_1 和 T_2 都变大。

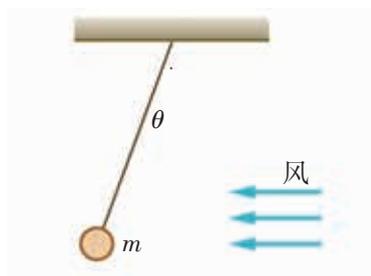


图 3-7-11 风力仪的测量原理

■ **案例2** 在科学研究中，可以用风力仪直接测量风力的大小，其原理如图 3-7-11 所示。仪器中有一根轻质金属丝，悬挂着一个金属球。无风时，金属丝竖直下垂；当受到沿水平方向吹来的风时，金属丝偏离竖直方向一个角度。风力越大，偏角越大。通过传感器，就可以根据偏角的大小指示出风力。那么，风对小球作用力 F 的大小跟小球质量 m 、偏角 θ 之间有什么样的关系呢？

■ **分析** 以小球为研究对象。有风时，它受到三个力的作用：重力 mg ，竖直向下；风力 F ，水平向左；金属丝拉力 T ，沿金属丝倾斜向上，如图 3-7-12 所示。当风力一定时，小球能保持在形成一定偏角 θ 的位置上。以小球为原点，取水平向右的方向为 x 轴正方向，竖直向上的方向为 y 轴正方向。由三个力的合力等于零的条件，就可以列出方程，求出用小球质量 m 和偏角 θ 表示风力 F 大小的关系式。

■ **解答** 由水平方向上的合力 $F_{x\text{合}}$ 和竖直方向上的合力 $F_{y\text{合}}$ 分别等于零，即

水平方向上

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

竖直方向上

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

有

$$T \sin \theta = F$$

$$T \cos \theta = mg$$

两式相比，得

$$F = mg \tan \theta$$

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

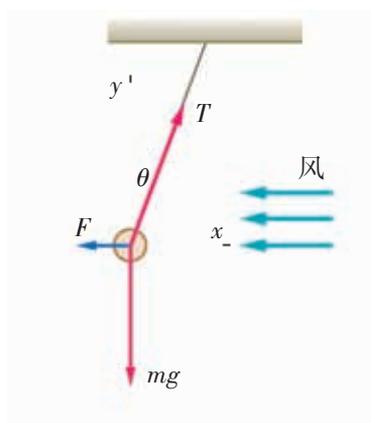


图 3-7-12 风力仪中小球的受力分析

课外活动

关于桥的调研和桥模型的制作

在我们日常生活中，可以接触到各种各样的桥。请以“桥”为主题，开展一次综合性的课外活动：你可以调查当地桥的历史，描绘或拍摄各种桥的风姿，抒发对桥的赞美，阐述桥的功能，对当地桥的建设提出建议；也可以通

过收集世界各地著名的桥的资料、图片，作汇总式的展示或比较研究……最后，请自己选择材料，制作一座斜拉桥、拱券桥或其他形式的桥的模型。和班上同学比较和交流一下各人的活动收获，看看谁制作的桥用料最省、跨度最长、承重最大、外观最美。

课题研究

研究可调风力电风扇

家用电风扇通常设有多种风力。请根据案例2的原理，设计一个可在家中进行的简单实验，

估测一下：你家电风扇不同挡位的风力大小之比约是多少？请写成一篇科学报告，在班上与同学交流。

STSE

拱券结构的力学原理

拱券结构是古代工匠的一种创举，我国河北省的赵州桥（图3-7-13）、法国的加尔桥（图3-7-14）等，都是拱券结构的典型建筑。

赵州桥（又称安济桥）是横跨在我国河北省赵县洨河上的单孔大石拱桥，跨度达37.37 m，建于隋代大业年间（公元605~618年）。1400年来，历经洪水、地震等多种自然灾害和风霜雨雪的考验，依然完好无损，保持着它优美的姿态。赵州桥优美的姿态，充分展示了我国古代人民的智慧



图 3-7-13 赵州桥



图 3-7-14 法国加尔桥

和高超的造桥技术。

拱券结构中所用的砖块或石块呈楔形，因此能将所受到的重力和压力向两边分解，把承重最后施加到拱券两端的支柱上。利用这个特点，可以建造大跨度的建筑。

作为一个简化的模型，我们用七块相同的楔形块构成一个半圆形的拱券结构，如图3-7-15所示。

当人站在桥顶时，人对桥顶的压力 F 和桥顶楔形块（4号）受到的重力 G 被来自相邻两块楔形块（3号和5号）的压力 F_1 、 F_2 所平衡，而这两块楔形块受到的重力和来自斜上方楔形块（4号）的压力又各被其斜下方的楔形块（2号和6号）对它们的作用力所平衡。这样，整个拱券结构的自重和承重最后都被左、右两个支柱的支持力所平衡。

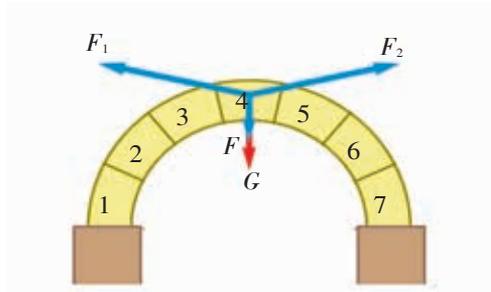


图 3-7-15 拱券模型的受力分析

家庭作业与活动

- 一个物体在几个共点力作用下处于平衡状态。现把其中一个向东的大小为 10 N 的力反向, 其他各个力不变, 则这几个共点力的合力大小等于 _____, 方向 _____。
- 三个共点力作用在同一物体上, 物体处于平衡状态。其中一个力为 4 N , 向北; 另一个力为 3 N , 向东; 那么第三个力为 ()。

A. 5 N , 向东北 B. 5 N , 向西南
C. 7 N , 向东北 D. 7 N , 向西南
- 下列关于共点力大小的各组假设中, 该物体不可能做匀速直线运动的是 ()。

A. 3 N , 4 N , 6 N B. 1 N , 2 N , 4 N
C. 2 N , 4 N , 6 N D. 5 N , 5 N , 1 N
- 图 3-7-16 中, 三角形木块 a 放在粗糙水平面上, 物体 b 沿 a 的斜面匀速下滑, 则 ()。

A. a 保持静止, 水平面对 a 没有摩擦力
B. a 保持静止, 水平面对 a 有向左的摩擦力
C. a 保持静止, 水平面对 a 有向右的摩擦力
D. 因为没有给出数据, 无法确定水平面对 a 是否有摩擦力

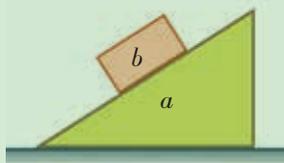


图 3-7-16

- 一个重 15 N 的镜框, 用两根同样长的细绳悬挂起来, 如图 3-7-17 所示。当每根细绳中受

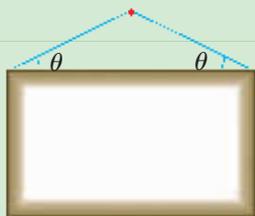


图 3-7-17

到的拉力均为 20 N 时, 细绳与水平方向间夹角 θ 为多大?

- 如图 3-7-18 所示, 一个所受重力为 600 N 的演员悬挂在绳上。若 AO 绳与水平方向的夹角为 37° , BO 绳呈水平, 则 AO 、 BO 两绳受到的力各为多大? 请通过共点力平衡的条件或通过力的分解分别求解, 体会一下这两种方法有什么区别。

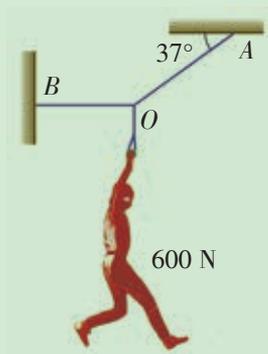


图 3-7-18

- 如图 3-7-19 所示, AB 绳所能承受的最大拉力为 100 N , 现用它悬挂一个所受重力为 50 N 的物体, 然后在 AB 的中点 O 施加一个水平方向的力 F , 使该点缓缓向右移动。当绳子即将断裂时, AO 段绳子跟竖直方向的夹角多大?

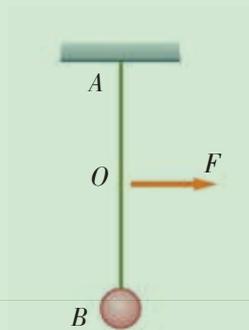


图 3-7-19

第3章家庭作业与活动

A组

1. 一个轻质弹簧，受到 50 N 拉力时长 15 cm，受到 60 N 拉力时长 17 cm，则该弹簧的劲度系数为（ ）。
A. 250 N/m B. 333 N/m
C. 353 N/m D. 500 N/m
2. 如图 3-A-1 所示，质量 $m = 20 \text{ kg}$ 的物体，在粗糙水平面上向左运动，物体与水平面间的动摩擦因数 $\mu = 0.1$ 。该物体同时还受到大小为 10 N、方向向右的水平力 F 作用， g 取 10 m/s^2 ，则水平面对物体的摩擦力（ ）。
A. 大小是 10 N，方向向左
B. 大小是 10 N，方向向右
C. 大小是 20 N，方向向左
D. 大小是 20 N，方向向右

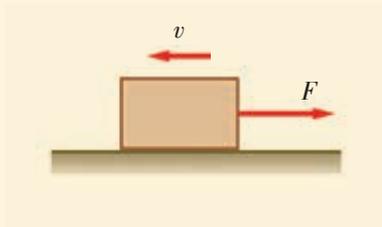


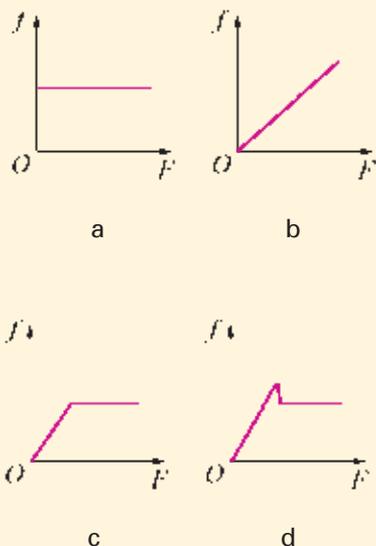
图 3-A-1

3. 图 3-A-2 中，一架梯子斜靠在光滑的竖直墙上，其下端放在水平的粗糙地面上。下列关于梯子受力情况的判断中，正确的是（ ）。
A. 受到两个竖直方向的力，一个水平方向的力
B. 受到一个竖直方向的力，两个水平方向的力
C. 受到两个竖直方向的力，两个水平方向的力



图 3-A-2 墙角的梯子

- D. 受到三个竖直方向的力，两个水平方向的力
4. 在图 3-3-3 所示的实验中，若用 F 表示拉力， f 表示木块受到的摩擦力，则当拉力 F 从零逐渐增大到很大的过程中，木块所受摩擦情况会发生怎样的变化？如果用 f 表示木块所受摩擦力的大小，那么 f 随 F 变化的图像如图 3-A-3 中哪一幅所示？

图 3-A-3 f 随 F 变化的图像

5. 有两个共点力，一个力的大小是 40 N，另一个力的大小未知，它们的合力是 100 N，则另一个力的大小可能是（ ）。
A. 20 N B. 40 N
C. 80 N D. 160 N
6. 弹簧原长 10 cm，在它下面挂一个所受重力为 4 N 的物体时，弹簧长 12 cm，则在它下面挂所受重力为 3 N 的物体时，弹簧长为多少？
7. 厨房中的菜刀、木工用的斧头等，它们的纵截面可以简化为一个等腰三角形，如图 3-4 所示，物理学上称为劈。若在劈的背部加压力 F ，则其两侧面推开物体的力 (F_1 、 F_2) 为多大？（设 $AB = d$ ， $AC = BC = l$ 。）

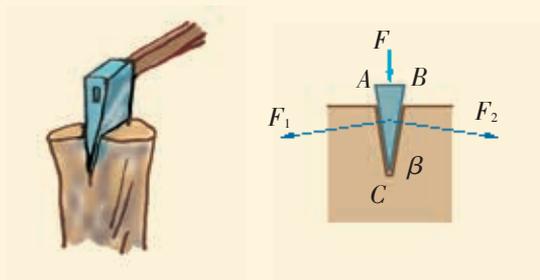


图 3-A-4

B 组

1. 在同一平面内作用着三个共点力，它们的大小和方向如图 3-B-1 所示。这三个力的合力大小为 ()。
- A. 4.62 N B. 12.3 N
C. 14.5 N D. 20.0 N

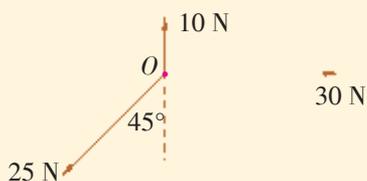


图 3-B-1

2. 一个很轻的网兜把一个足球挂在墙上 P 点处 (图 3-B-2)。若把悬绳 PQ 加长一些，则足



图 3-B-2

球对悬绳的拉力 T 和对墙面的压力 N 的变化情况是 ()。

- A. T 、 N 都增大
B. T 、 N 都减小
C. T 增大， N 减小
D. T 减小， N 增大
3. 在同一个平面内有三个共点力，其大小分别为 20 N、30 N、40 N，它们之间互成 120° 夹角。你能用几种方法求出这三个力的合力？
4. 一辆汽车陷在荒郊的泥坑中，四周杳无人迹，只是不远处有一棵大树。聪明的驾驶员想出一个巧妙的办法：他在车中找出一根结实的长绳子，把它系在车前端拉钩和大树之间，并绷紧然后在中点用力拉绳 (图 3-B-3)。结果驾驶员独自把车从泥坑中拉了出来。

你认为有这种可能吗？请加以分析评价。



图 3-B-3

5. 小张和小李到机场为朋友送行，看到有一些旅客推着旅行箱走，也有一些旅客拉着旅行箱走。小张突然产生了一个想法，他问小李：“你说推着旅行箱省力，还是拉着旅行箱省力？”小李想了一下说：“我看拉着旅行箱走有点别扭，大概是推着省力。”小张说：“不，我看还是拉着省力。”谁的看法正确呢？

请先作出定性分析，然后通过力平衡条件列式求解，比较推力和拉力的大小。



第4章 牛顿运动定律

2 000 多年前，古希腊的亚里士多德就在观察和直觉的基础上开始了对运动和力的关系的思考，并且提出了一些看法：

- 要使一个静止的物体动起来，必须用力推它、拉它、提它，当力停止作用后，运动的物体便静止不动；
- 要使一个物体运动得更快，必须用更大的力推它；
- 要维持一个物体的运动，必须有一个恒定的力作用于它。

亚里士多德的说法归纳起来，就是“力是维持运动的原因”。这个说法并不正确，却一直流传到三四百年前。

在地面上，由于重力和摩擦力等阻力的干扰，人们看到的似乎就是亚里士多德描述的情景。如今，航天技术可以为我们提供一个微重力、高真空的实验环境。在太空实验室中，我们可以清楚地看出，力是改变物体运动状态的原因。

本章中，我们将体会伽利略理想实验的妙用，结合太空的微重力环境，研究力和运动的关系，学习牛顿总结的运动定律，尝试用这些定律解释生产生活中的有关现象，解决有关问题。

4.1 牛顿第一定律

“天宫”里的航天员



图 4-1-1 “天宫”一号舱内的航天员

2013年6月20日上午10时，我国首次实现了太空授课，美丽的航天员王亚平微笑着面对全国几千万中小學生进行了51分钟天地互动授课。“我是王亚平，本次授课由我来主讲。”随着这一句来自“天宫”的问候，中国首位太空老师王亚平轻轻一跃，向“天宫”一号舱内的摄像机镜头缓缓飘来。有史以来内容最神奇、教室最高远、观众最庞大的一课，开始了。

在实验演示之前，“神舟”十号指令长聂海胜首先做了一个“太空打坐”，只见聂海胜轻盈地在半空中盘起了腿，好似有神功，稳稳地悬在空中。王亚平用手指轻轻一推，聂海胜能飘出很远。王亚平演示了质量测量、单摆运动、陀螺运动、水膜制作等有趣的太空物理现象，太空授课获得了圆满成功。

为什么聂海胜能平稳地悬在空中？为什么王亚平轻轻一推，他能飘出很远？这里蕴含着一个深刻的物理原理，那就是运动和力的关系。

力究竟是不是维持物体运动的原因呢？

伽利略的理想实验和牛顿的总结

当亚里士多德的观点流传到16世纪时，意大利的伟大学者伽利略最先悟出了它使人们误入歧途的原因——地球上物体运动时，都不可避免地要受到摩擦力和空气阻力的作用。

然而，在伽利略的那个时代，科学还处于启蒙阶段，人们对物体之所以会受重力作用的原因尚且懵懂，更不用说设想太空中的微重力环境了。地球上的任何实验，都只能在重力环境中进行，而且无法排除摩擦力和空气阻力的影响。

但是，伽利略凭借着他深邃的思想和超人的睿智，巧妙地设计了一个使用对接斜面的理想实验，成功地揭示了力和运动关系的真谛。

伽利略的理想实验如图4-1-2所示，让一个小球从一个斜面的顶端由静止向下运动，紧接着又冲上另一个对接的斜面。如果没有摩擦力，这个小球将达到跟原来同样的高度；如果减小对接斜面的倾斜度，小球仍会达到同一高度，但经过的路程会更长些。如果不断减小对接斜面的倾斜度，小球经过的路程

老实说，我赞成看亚里士多德的著作，并精心进行研究，我只是责备那些把自己完全沦为亚里士多德奴隶的人。

——伽利略

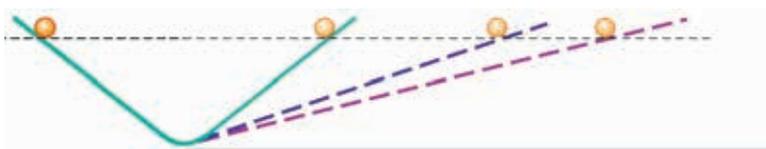


图 4-1-2 伽利略的理想实验

理想实验是在想象中进行的实验，是科学研究的重要方法。它能达到现实科学实验无法达到的简化和纯化的程度，充分发挥理性思维的逻辑力量。

就会越来越长。当把对接斜面变成水平面，这时既没有使小球加速的因素，也没有使它减速的因素，小球将以恒定的速度永远运动下去。

据此，伽利略认为，力不是维持运动的原因，它只是使物体加速或减速的原因。

思考与讨论

你认同伽利略在理想实验中的推论吗？为什么？

假如你正在“天宫”空间站上遨游太空，你能设计一个实验，来验证伽利略得出的结论吗？请与同学讨论交流。

牛顿在伽利略、笛卡儿等前辈科学家研究的基础上，在他的名著《自然哲学的数学原理》一书中，总结出了动力学的一条最基础的定律：一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变运动状态为止。

这就是**牛顿第一定律**（Newton's first law）。物体保持匀速直线运动或静止状态的特性，叫做**惯性**（inertia）。牛顿第一定律又叫做**惯性定律**（law of inertia）。

牛顿第一定律是在大量事实的基础上，通过理想实验得到的。它揭示了力和运动的关系：力不是维持物体运动的原因，而是改变物体运动状态的原因。

从此，亚里士多德的观点被人们彻底地否定了。

在初中，你已学习过惯性和牛顿第一定律，通过现在的再学习，你认为有哪些提高？

法国科学家笛卡儿（R. Descartes）最先提出：一个不受外界任何影响的运动着的物体，将保持原来的运动；一个静止的不受外界影响的物体，将保持静止。

如果我比别人看得远一些，
那是因为我站在巨人的肩膀上。
——牛顿

惯性有大小吗

惯性是一切物体的固有属性，它时时处处伴随着我们。生活经验告诉我们，在受到相同的作用力时，物体的质量越大，其运动状态越难改变，表明它的惯性也越大。所以物体的惯性是有大小的，物体的质量就是惯性大小的量度。

多学一点

惯性系与非惯性系

我们知道，描述物体的运动，需要选择参考系。实验表明，牛顿运动定律对地面参考系是成立的。我们把符合牛顿运动定律的参考系称为**惯性系** (inertial frame)，地面参考系就是一个惯性系。那么，所有的参考系都是惯性系吗？



图 4-1-3 比较物体的惯性

运动着的自行车很容易制动停下，以同样速度运动的列车制动后需滑行很长一段路才能停下。

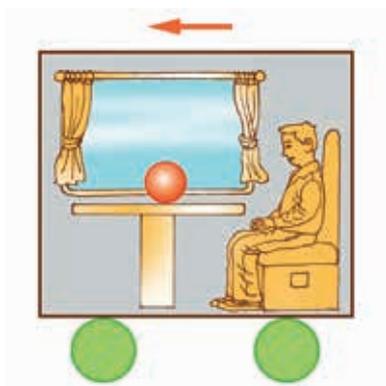


图 4-1-4 车厢里的小球

如图 4-1-4 所示，一位旅客面向车行方向坐在车厢里，面前的水平桌面上放着一个静止的小球。当车突然启动或加速时，他看到小球向他滚来。

“小球没有受到外力作用，怎么会突然运动呢？”

原来，这个人选择了相对于地面做加速运动的车厢作为参考系，加速运动着的车厢是一个非惯性系。

研究表明，牛顿运动定律在非惯性系中是不成立的。

1632 年，伽利略在《关于哥白尼和托勒密两大世界体系的对话》中，有一段十分精辟而生动的论述：

“……把你和一些朋友关在一条大船甲板下的主舱里……船停着不动时，你留神观察，小虫都以等速向各方向飞行，鱼向各方向随意游动，水滴滴进下面的罐子中。你把任何东西扔给你的朋友时，只要距离相等，向这一方向不必比另一方向用更多的力。你双脚齐跳，无论向哪个方向跳过的距离都相等。

当你仔细观察这些事情后，再使船以任何速度前进，只要运动是匀速的，也不忽左忽右地摆动，你将发现，所有上述现象丝毫没有变化，你也无法从其中任何一个现象来确定，船是在运动还是停着不动……”

伽利略的这段论述，指出了在相对于地面做匀速直线运动的船舱里进行的力学实验的结果，跟地面上的力学实验的结果是一样的。也就是说，相对于惯性系做匀速直线运动的一切参考系都是惯性系，对于力学规律来说，一切惯性系都是等价的。

我国有一部比伽利略的《关于哥白尼和托勒密两大世界体系的对话》更古老的书——《考灵曜》，书中写道：“地恒动不止而人不知，譬如人在大舟中闭牖而坐，舟行而人不觉也。”

STSE

安全带与安全气囊

现代汽车的设计十分重视安全，安全带和安全气囊就是保护乘员人身安全的两个重要装置。

道路交通事故多种多样，其中车内人员所受的伤害，大多是运动中的车辆与其他物体（车辆或障碍物）发生碰撞造成的。从力学观点看，运动的车辆受到碰撞突然停止，但车内人员由于惯性仍以碰撞前的速度向前运动，结果在车内甚至冲出车外与刚性物体发生第二次碰撞，造成伤害。设置安全带和安全气囊的目的就是尽量避免或减轻第二次碰撞对车内人员的伤害。

安全带是20世纪60年代初发明的。经过50多年的发展，现在的安全带均由强度极大的合成纤维制成，带有自锁功能的卷收器，采用对乘员的肩部和腰部同时实现约束的V形三点式设计。系上安全带后，卷收器自动将其收紧，一旦车辆

紧急制动、发生碰撞甚至翻滚，安全带因乘员身体的前冲而发生猛烈的拉伸，卷收器的自锁功能便立即发挥作用，瞬间卡住安全带，使乘员紧贴座椅，避免第二次碰撞。

安全气囊是安全带的辅助设施，于1990年问世。在车辆发生碰撞的瞬间，控制模块会对碰撞的严重程度立即作出判断。若确认安全带已不能承受，便在0.01 s内使气囊充气，让乘员的头、胸部与较为柔软有弹性的气囊接触，减轻伤害。最新式的汽车还安装了防侧撞气囊，今后可能在汽车其他位置上也会装上安全气囊。

有关机构的统计数据表明，在所有可能致命的车祸中，如果正确使用安全带，可以挽救约45%的生命；如果同时使用安全气囊，这一比例将上升到60%。

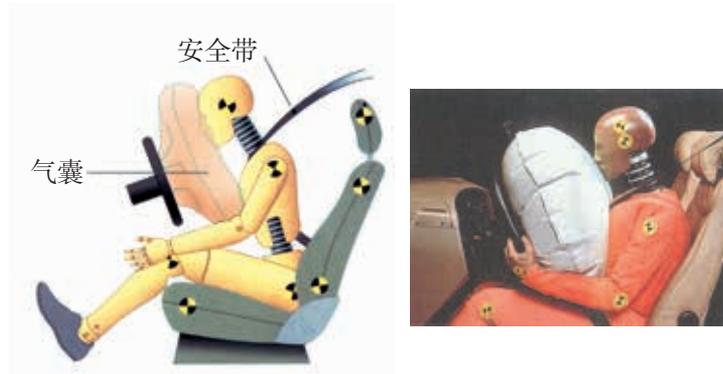


图 4-1-5 安全气囊和模拟实验

家庭作业与活动

1. 如图 4-1-6 所示，一名伞兵沿着跟竖直方向成 30° 的倾斜方向匀速下降。有人说，伞兵一定受到一个倾斜向下的力的作用。你的看法是什么？



图 4-1-6 匀速下降的伞兵

2. 下面是一些关于惯性的说法，它们对不对呢？
- (1) 放在地上的足球，被运动员飞起一脚，用力克服了它的惯性，所以足球滚动了。
 - (2) 物体不受力或受到平衡力时才有惯性，做加速运动时速度时刻变化，因此就没有惯性。
 - (3) 车子速度大的时候，制动后不易停住，惯性大；车子速度小的时候，制动后容易停住，惯性小。

3. 请根据图 4-1-7 中的情景，说明车子所处的状态，并对这种情景作出解释。

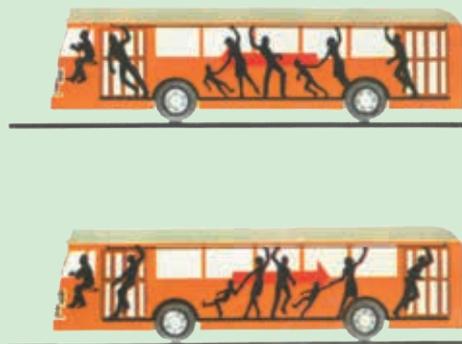


图 4-1-7 汽车运动中的两种状态

4. 车子转弯时，车中的人会有什么感觉（图 4-1-8）？请先作出分析判断，再实际体会一下这种感觉。



图 4-1-8 转弯中的汽车

4.2 探究加速度与力、质量的关系

加速度与力、质量关系的定性分析

我们知道，力是改变物体运动状态的原因。物体的运动状态发生了变化，说明物体有了加速度。力是使物体产生加速度的原因。

这就是说，物体的加速度与物体受到的力有关，且加速度的大小、方向与受到的力的大小、方向都有关系。例如，运动员用大小、方向不同的力踢球，球在被踢瞬间的加速情况是不同的：力大，加速度大；力小，加速度小……

物体的加速度除了与力的大小、方向有关外，还跟什么因素有关呢？请观察和分析图 4-2-1 所示的事例。



a 一个乒乓球滚来时，用球拍轻轻一挡就能使它改变方向；一个网球以同样大小的速度滚来时，要用很大的力握住球拍去挡，才能使它改变方向。

b 推动一辆原来静止着的空车很容易，但用同样的力推动一辆载有重物的车却很难。

图 4-2-1 加速度与质量

通过对上述实例的定性分析可知，物体的加速度与力、质量有关：物体质量一定时，受力越大，加速度越大；物体受力一定时，质量越大，加速度越小。

探究加速度与力、质量的定量关系

学生必做实验

探究加速度与物体受力、物体质量的关系

思考讨论

我们已对物体的加速度 a 跟它受到的力 F 及其质量 m 的关系，进行了定性分析，那么，这三者之间究竟存在怎样的定量关系呢？

上面定性分析得到了“ m 一定时， F 越大， a 越大”， a 与 F 可能是“正比关系”，也可能不成“正比关系”。同样，“ F 一定时， m 越大， a 越小”，可能是“ a 与 m 成反比”，也可能“ a 与 m^2 成反比”等。

你的猜想是什么？请把你的猜想说出来，并与同学交流。

设计实验

由于本实验要研究 a 、 F 和 m 三者的定量关系，因而需要采用控制变量的方法分三步进行。一是保持物体的质量不变，测量物体在不同力作用下的加速度，研究加速度与力的定量关系；二是保持所受的力不变，测量不同质量物体的加速度，研究加速度与质量的定量关系；最后再将这两者综合起来。

实验设计要便于改变和测量 m 、 F 和 a 三个物理量。实验中，关键是如何测量 F 和 a ，下面提供的实验装置供参考。

如图4-2-2所示，在水平桌面上放置一块长木板，板的一端固定有定滑轮，板上放有一辆小车（车内放置若干槽码）*；车的一端连接打点计时器，另一端连接一根细绳，细绳的另一端绕过定滑轮挂一个小桶，小桶里放有细砂。释放小车后，使小车拖着纸带一起做加速运动。

实验中，车与桶（含细砂）的质量可用天平称出。当车与车中槽码的总质量远大于小桶与桶中细砂的质量时，可以认为小车所受的拉力等于小桶与桶中细砂所受的重力**。

根据这个实验装置，请讨论：

1. 在这个实验中，研究的对象是小车和槽码，怎样改变和测量它们的质量？

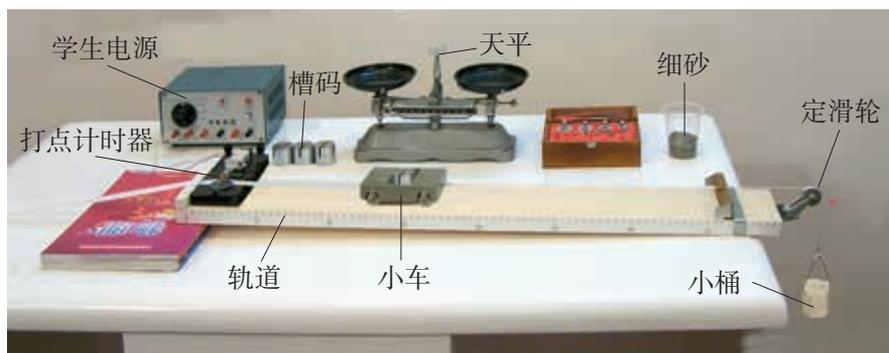


图 4-2-2 探究加速度与物体受力、物体质量关系的实验

* 为了克服木板对小车摩擦力的影响，可将木板不带定滑轮的一端稍微抬高一些，让小车所受重力沿斜面的分力与摩擦力平衡。

** 实验中，要求车与车中槽码的总质量远大于小桶与桶中细砂的质量，其原因见 4.5 节“多学一点”的分析。

2. 研究对象所受的外力是由什么提供的? 怎样改变和测量外力的大小?

3. 怎样从纸带的记录数据算出研究对象的加速度?

收集证据

1. 保持 m 不变, 探究 a 与 F 的关系

保持小车与车中槽码的质量不变, 通过改变小桶中的细砂质量以改变对小车的拉力。根据纸带上的点迹, 依次测出小车在不同拉力作用下的加速度, 并把各组数据填入表 1 中。

表 1 m 一定, 不同 F 对应的 a

实验序号	1	2	3	4	5	6
拉力 F/N						
加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$						

2. 保持 F 不变, 探究 a 与 m 的关系

保持小桶中细砂的质量不变, 改变小车中的槽码数量, 同理依次测出小车不同质量时的加速度, 填入表 2 中。

表 2 F 一定, 不同 m 对应的 a

实验序号	1	2	3	4	5	6
质量 m/kg						
$\frac{1}{m} / kg^{-1}$						
加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$						

分析论证

1. 用表 1 和表 2 的数据, 在方格坐标纸上分别画出 $a - F$ 图像和 $a - \frac{1}{m}$ 图像。根据对图像的分析, 你能得到什么结论?

2. 如果图中的某些点离直线有相当距离, 你能说明是什么原因吗? 请结合实验原理进行讨论, 作出评价。

根据猜想, 加速度可能与质量成反比。为了便于判断这个关系, 可以把 $a - m$ 的关系转化为 $a - \frac{1}{m}$ 的关系。

家庭作业与活动

1. 实验中用抬高平板一端的方法来平衡摩擦力。当小车质量改变时, 是否需要重新调整平板的倾斜程度? 为什么?
2. 定性指出图 4-2-2 所示实验中产生误差的几个原因。

4.3 牛顿第二定律

从上一节的探究活动中我们知道：不同的力作用在同样质量的物体上，加速度与力成正比；同样的力作用在不同质量的物体上，加速度与质量成反比。那么，一般情况下物体的加速度跟物体受到的力及质量究竟有什么关系呢？

牛顿第二定律

大量实验研究指出，物体的加速度跟受到的作用力成正比，跟物体的质量成反比。这就是牛顿第二定律（Newton's second law）。用数学公式表示，就是

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

将上式写成等式，得

$$F = kma$$

式中的 k 是比例系数，在国际单位制中， $k = 1$ 。这样，上式可写为

$$F = ma$$

上面只讨论了物体受到一个力作用的情况，如果物体同时受到几个力的作用，则牛顿第二定律中的 F 应为合力，公式可写为

$$F_{\text{合}} = ma$$

多学一点

牛顿第二定律的矢量性

力和加速度都是矢量，牛顿第二定律的公式 $F = ma$ 是一个矢量式，因此可将它写成分量形式。当作用在物体上的几个外力不在同一直线上时，通常选取两个互相正交的方向，列出牛顿第二定律的分量形式，即

$$F_{x\text{合}} = ma_x \quad F_{y\text{合}} = ma_y$$

物体在几个恒力作用下运动，几个恒力的合力也是一个恒力，于是常见的情况是：物体在合力方向上有加速度，与合力方向垂直的另一个方向处于平衡状态。

加速度是矢量，它的方向始终跟力的方向相同。

在国际单位制中，力的单位就是根据牛顿第二定律定义的：使质量为 1 kg 的物体产生 1 m/s^2 加速度的力，规定为 1 N 。

案例分析

案例 如图 4-3-1a 所示, 位于水平面上质量为 m 的箱子, 在大小为 F 、方向与水平方向成 α 角的拉力作用下沿地面做匀加速直线运动。若箱子与地面间的动摩擦因数为 μ , 求箱子的加速度。

分析 以箱子为研究对象, 它在运动过程中受到四个力的作用, 可以从水平方向和竖直方向对这些力进行分解, 运用牛顿第二定律求解。

解答 箱子在运动过程中受到四个力的作用: 重力 mg 、地面支持力 N 、地面摩擦力 f 、拉力 F , 如图 4-3-1b 所示。

$$\text{在水平方向上} \quad F \cos \alpha - f = ma$$

$$\text{在竖直方向上} \quad F \sin \alpha + N - mg = 0$$

$$\text{又有关系式} \quad f = \mu N$$

联立三式, 得箱子的加速度

$$a = \frac{F \cos \alpha - \mu(mg - F \sin \alpha)}{m}$$

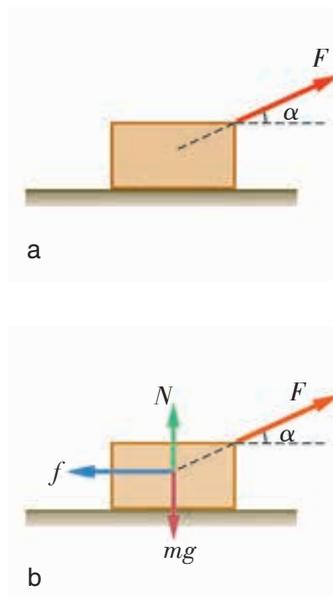


图 4-3-1 箱子沿地面做匀加速运动

物理量与单位制

物理学是一门以实验为基础的学科。在实验中, 要对某个量进行量度, 就要有量的单位。物理量有很多, 如位移、速度、加速度、质量、力、功, 等等。它们之间是有联系的, 如速度、位移、时间之间有 $v = \frac{s}{t}$; 力、质量、加速度之间有 $F = ma$ 。物理学中的这些公式, 确定了不同物理量之间的关系, 也就确定了它们单位之间的关系。

因此, 我们可以选定几个物理量, 以它们的单位作为**基本单位**, 然后根据有关公式, 导出其他有关物理量的单位, 这些导出的单位叫**导出单位**。基本单位和导出单位一起组成了**单位制**。显然, 选用不同的基本单位, 导出单位也随之不同, 于是就形成了不同的单位制。

在国际单位制 (SI) 中, 长度单位米 (m)、时间单位秒 (s) 和质量单位千克 (kg) 属于基本单位, 其他一些力学物理量单位可由它们导出。例如, 当位移以 m 为单位, 时间以 s 为单位的时候, 速度的单位就是 m/s, 加速度的单位就是 m/s^2 ; 当质量以 kg 为单位, 加速度以 m/s^2 为单位的时候, 力的单位就是 N。

选择基本单位的原则是: 使用方便, 使物理公式简单, 符合现代物理观念, 并可以通过制成“准器”(用作单位标准的東西)来测量。

信息浏览

国际单位制

国际单位制是国际计量大会采纳和推荐的单位制。国际单位制包括 7 个基本单位，如下表所示。

国际单位制中的基本单位

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

* 方括号前的字是该单位的中文简称，下同。

STSE

一次因计量单位失误而导致的事故

美国国家航空航天局 (NASA) 在 1998 年 12 月曾发射过一个火星探测器，次年 9 月到达火星附近后，由于该探测器靠火星过近，结果因温度过高而起火，并脱离轨道坠入火星的大气层。

航空航天局调查事故原因时发现：探测器的制造商洛克希德·马丁公司计算加速所需推进力

时使用了英制单位，而喷气推动实验室的工程师不假思索地认为他们提供的数据当然是以国际单位制算出来的，并把这些数据直接输入了电脑。

你看，就是因为单位制上的失误，结果犯了一个“极端愚蠢的错误”，价值 1.25 亿美元的火星探测器毁于一旦。

家庭作业与活动

1. 压强的计算式是 $p = \frac{F}{S}$ ，单位是帕[斯卡] (Pa)，请写出它与基本单位 kg、m、s 的关系。
2. 如果一个航天员飘浮在太空深处一个未知天体旁边，他能用个人的力量推动这个庞大的天体，使它产生加速度吗？
3. 在地面上，一个小孩为什么无法推动一个大桌子使它做加速运动？联系上题，谈谈你对 $F = ma$ 这个公式的理解。
4. 一个物体只受到一个逐渐减小的力的作用，且力的方向始终跟物体的运动方向相同，那么此物体将做怎样的运动？

4.4 牛顿第三定律

从拔河比赛谈起



图 4-4-1 拔河比赛

金色的阳光洒满校园，操场上人声鼎沸，高一年级的拔河比赛正在紧张激烈地进行。拔河比赛时，双方拉力的大小有什么关系呢？

实验探究 比较拉力的大小

为了探究双方拉力的大小，可把两队运动员简化为两个人——一个男孩和一个女孩，让他们对拉比力气，并在他们之间加上两个同样的弹簧测力计，如图 4-4-2 所示。

实验分为下列几个步骤：

- (1) 让女孩“主动”拉男孩；
- (2) 让男孩“主动”拉女孩；
- (3) 双方同时施加拉力；
- (4) 让男孩穿上溜冰鞋站在水泥地上，女孩站在草地上对拉（图 4-4-3）。

实验中可以发现：无论是一方“主动”施力，还是双方同时施力，两个测力计的示数总是相同的。



图 4-4-2 男孩与女孩对拉



图 4-4-3 男孩穿上溜冰鞋后与女孩对拉



图 4-4-4 示数也相等吗

如果把一个测力计的一端固定在墙上，用手拉另一个测力计，两个测力计的示数也相等吗？请试一试。

牛顿第三定律

上述实验说明，力总是“成对”出现的。也就是说，物体间力的作用是相互的。物理学中，把物体之间的相互作用称作力（force）。当男孩对女孩施力的同时，女孩对男孩也施以同样大小的力。如果把男孩对女孩的力叫做作用力，那么，女孩

关于牛顿的功绩，许多科学家都曾作过评论。19世纪著名的力学评论家马赫(E. Mach)认为：作用力与反作用力原理是牛顿在力学方面最重要的功绩。

对男孩的力就叫做反作用力。

伟大的英国科学家牛顿对力的相互作用进行了研究后指出：两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等，方向相反，作用在一条直线上。这就是牛顿第三定律(Newton's third law)。牛顿第三定律可以简单地表示为

$$F_{\text{甲对乙}} = -F_{\text{乙对甲}}$$

这里的“-”号，表示方向相反的意思。

牛顿第三定律不仅适用于固体间的相互作用，也同样适用于液体和气体间的相互作用，而且跟物体的运动状态无关。

思考与讨论

1. 既然作用力与反作用力大小相等，方向相反，作用在一条直线上，那么这两个力会互相抵消吗？
2. 拔河比赛中，双方拉力是不是一对作用力与反作用力？
3. 你记得初中物理介绍的马德堡半球实验(图4-4-5)吗？如果把半球一端的绳子拴在大树上，只用另一边的8匹马用同样的力拉，它的效果跟原来的情况一样吗？为什么？

多学一点 用DIS验证物体间的相互作用

如图4-4-6所示，两手各握一只力传感器，相互对拉，可在电脑屏幕上呈现出相互作用力随时间变化的图像(图4-4-7)。

分析图4-4-7所示的 $F-t$ 图像，你能得出什么结论？

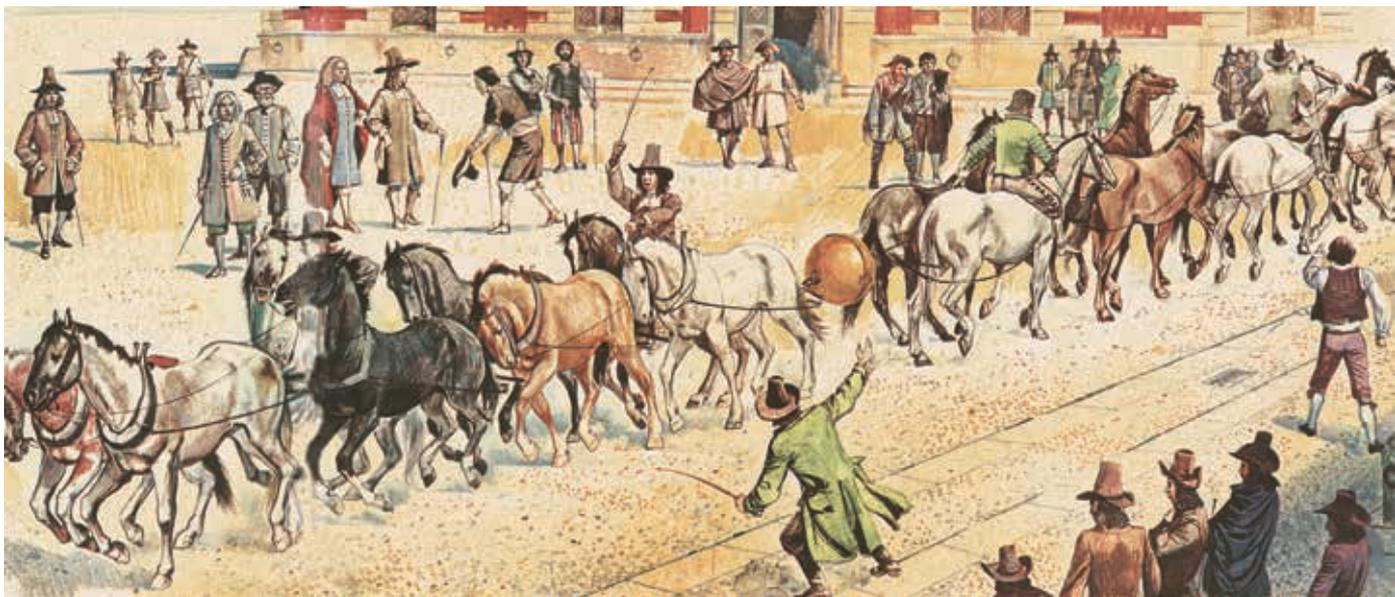


图4-4-5 马德堡半球实验



图 4-4-6 通过力传感器对拉

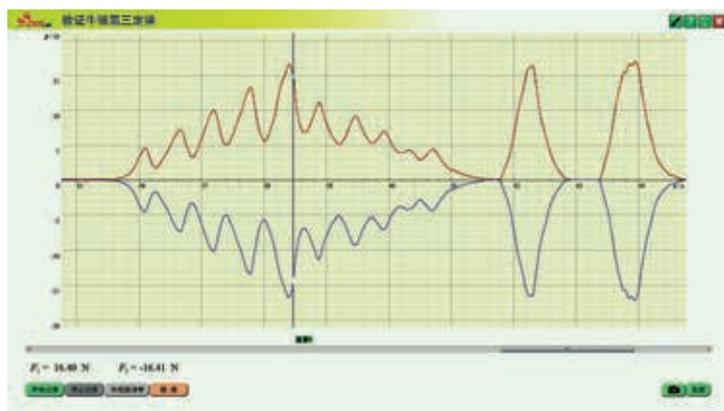


图 4-4-7 相互作用力随时间变化的图像

STSE

轮船、螺旋桨飞机以及划艇获得动力的原理

轮船、螺旋桨飞机以及划艇都是依靠作用与反作用的原理获得动力的。

轮船的螺旋桨转动时，把水往后推，水对桨产生的反作用使轮船前进（图 4-4-8）。



图 4-4-8 轮船的螺旋桨



图 4-4-9 螺旋桨飞机



图 4-4-10 划艇

早期的螺旋桨飞机也是应用了这个道理（图 4-4-9），它的雏形就是我国古代流传下来的竹蜻蜓。

运动员用力划桨，把水向后推，水对桨产生反作用，推动划艇前进（图 4-4-10）。

家庭作业与活动

1. 把牛顿第三定律中的作用力与反作用力，跟初中物理中的一对平衡力作一比较，两者有什么相同和不同的地方？
2. 如图 4-4-11 所示，在天花板上吊有一台电风扇，通电后叶片平稳转动，这时挂钩受到的拉力跟叶片没有转动时相比较，有什么变化？为什么？

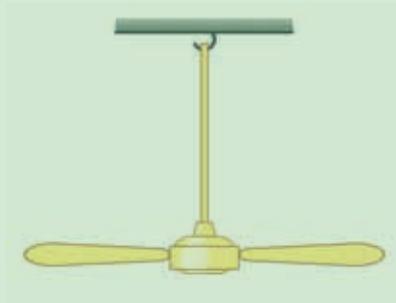


图 4-4-11 电风扇

家庭作业与活动

3. 一本书放在水平课桌上，下列判断中正确的是（ ）。
- A. 桌面对书的支持力和书受到的重力是一对平衡力
- B. 桌面对书的支持力和书受到的重力是一对作用力与反作用力
- C. 书对桌面的压力和书受到的重力是一对作用力与反作用力
- D. 书对桌面的压力和桌面对书的支持力是一对平衡力
4. 用一根轻质弹簧竖直悬挂一个小球，小球和弹簧的受力图如图 4-4-12 所示。下列说法中正确的是（ ）。
- A. F_1 的反作用力是 F_4
- B. F_2 的反作用力是 F_3
- C. F_1 的施力物体是弹簧
- D. F_3 的施力物体是小球

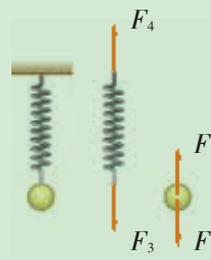


图 4-4-12 弹簧小球

5. 有条件时，请参与图 4-4-13 所示的活动，体会一下力的相互作用，并由这个活动提出一两个问题。

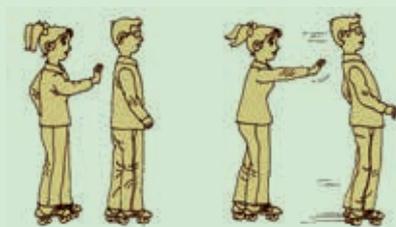


图 4-4-13 体会相互作用的游戏

4.5 牛顿运动定律的案例分析

研究表明，宏观物体做低速（即远小于光速）运动时，都服从牛顿运动定律。因此，牛顿运动定律可以在一个非常广阔的领域内得到应用。运用牛顿运动定律，不仅可以研究日常生活中常见的桌子、箱子等物品受到推拉时的运动，以及汽车、火车等交通工具的运动，也可以研究人造卫星、宇宙飞船在太空中的运动……

我们将用牛顿运动定律分析下面的两个案例，以体会利用牛顿运动定律解决问题的过程和方法。

案例分析

案例1 “神舟”五号载人飞船火箭组合体的质量约为500 t，若点火启动后的加速度为 8.6 m/s^2 ，不考虑飞船火箭组合体运动中的质量变化和受到的阻力，求飞船火箭组合体受到的推力（ g 取 10 m/s^2 ）。

分析 以“神舟”五号载人飞船火箭组合体作为研究对象。点火启动后，它受到推力 $F_{\text{推}}$ 和重力 G 两个力的作用（如图 4-5-2），由它们的合力产生加速度 a 。现已知加速度和质量，根据牛顿第二定律即可求得 $F_{\text{推}}$ 。

解答 已知 $m = 500 \text{ t} = 500 \times 10^3 \text{ kg} = 5 \times 10^5 \text{ kg}$ ， $G = mg = 5 \times 10^5 \times 10 \text{ N} = 5 \times 10^6 \text{ N}$ ， $a = 8.6 \text{ m/s}^2$ 。

由 $F_{\text{合}} = ma$ 和 $F_{\text{合}} = F_{\text{推}} - G$ ，可得

$$F_{\text{推}} = G + ma = 5 \times 10^6 \text{ N} + 5 \times 10^5 \times 8.6 \text{ N} = 9.3 \times 10^6 \text{ N}$$

案例2 冬天下大雪后容易发生交通事故。究其原因，主要是大雪覆盖路面后，被车轮挤压，部分的雪融化成水，在严寒的天气下，又马上结成了冰。汽车在光滑的冰面上行驶，制动后难以停下。据测定，汽车橡胶轮胎与普通路面间的动摩擦因数是0.7，与冰面间的动摩擦因数只有0.1。对于没有安装防抱死（ABS）系统的普通汽车，在规定的速度下紧急制动后，车轮立即停止转动，汽车在普通的水平路面上滑行14 m才能停下。那么，汽车以同样速度在结了冰的水平路面上行驶，紧急制动后滑行的距离是多少？

分析 这是一个已知受力情况，求运动距离的问题。以汽车为研究对象，制动后汽车沿水平路面滑行，共受到三个力作用：重力，方向竖直向下；支持力，方向竖直向上；摩擦力，方向与车行方向相反。汽车在竖直方向处于平衡状态，水平方



图 4-5-1 搭载“神舟”飞船的火箭点火起飞

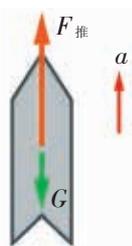


图 4-5-2 飞船火箭组合体受力分析

向仅受滑动摩擦力作用做匀减速运动。

因此，根据牛顿第二定律可列出汽车水平方向匀减速运动的表达式。

汽车滑行过程中的加速度 a 跟运动方向相反（图 4-5-3）。根据汽车的初速度 v_0 、末速度 v_t 、加速度 a ，运用运动学公式，可得出滑行距离 s 的表达式。

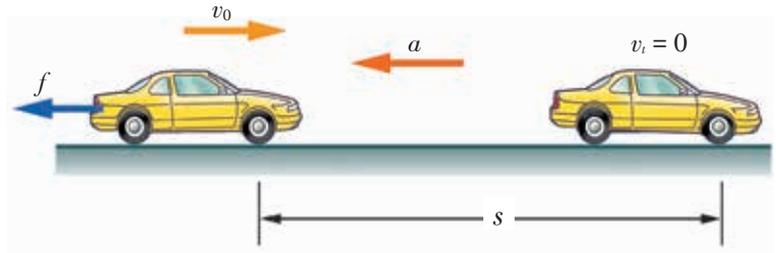


图 4-5-3 汽车在冰面上制动后滑行

由于两种情况下汽车开始滑行的初速度相同，滑行距离仅与汽车的加速度有关，即仅与路面的动摩擦因数有关，因此运用比例方法就可求出结果。

请根据上述分析，完成本题的解答。

通过对这两个案例的研究，你能否归纳一下：以牛顿第二定律为核心，研究力与运动变化的关系时，可以解决哪几类问题？研究和解决有关问题的要点是什么？

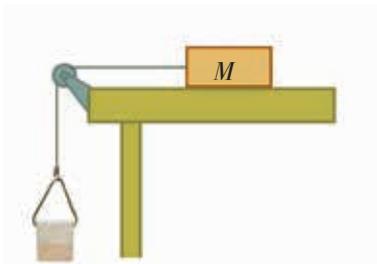


图 4-5-4

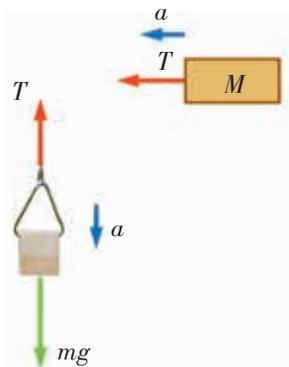


图 4-5-5

多学一点 用隔离法研究物体的受力情况

图 4-2-2 中研究牛顿第二定律的实验装置，可简化成图 4-5-4。

为了计算细绳的拉力 T ，可以把小车和槽码（总质量为 M ）与桶和细砂（质量为 m ）隔离开来。当不考虑桌面和定滑轮的摩擦时，它们做加速运动时的受力情况如图 4-5-5 所示。

对小车和槽码

$$T = Ma$$

对小桶（含细砂）

$$mg - T = ma$$

联立上述两式，得绳的拉力

$$T = \frac{M}{m+M}mg < mg$$

由此可见，4.2 节实验中小车受到的拉力实际上不等于小桶及细砂的重力。

但当 $m \ll M$ 时, 由于

$$T = \frac{M}{m+M}mg = \frac{1}{\frac{m}{M} + 1}mg \approx mg$$

可以认为对小车的拉力等于小桶及细砂受到的重力。

家庭作业与活动

1. 汽车拉着拖车在水平道路上沿直线加速行驶。

根据牛顿运动定律可知 ()。

- A. 汽车拉拖车的力大于拖车拉汽车的力
 B. 汽车拉拖车的力等于拖车拉汽车的力
 C. 汽车拉拖车的力大于拖车受到的阻力
 D. 汽车拉拖车的力等于拖车受到的阻力

2. 惯性制导系统广泛应用于弹道式导弹工程, 这个系统的重要元件之一是加速度计。加速度计的构造原理示意图如图 4-5-6 所示。沿导弹长度方向安装的固定光滑杆上套着一质量为 m 的滑块, 滑块两侧分别与劲度系数均为 k 的弹簧相连, 两弹簧的另一端各与固定壁相连。滑块原来静止, 弹簧处于松弛状态, 其长度为自然长度。滑块上装有指针, 可通过标尺测出滑块的位移, 然后通过控制系统进行制导。设某段时间内导弹沿水平方向运动, 指针向左偏离 O 点的距离为 s , 则这段时间内导弹的加速度 ()。

- A. 方向向左, 大小为 $\frac{ks}{m}$
 B. 方向向右, 大小为 $\frac{ks}{m}$
 C. 方向向左, 大小为 $\frac{2ks}{m}$

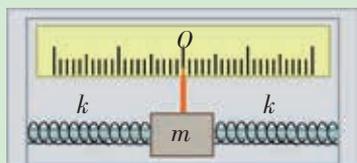


图 4-5-6 加速度计的原理

- D. 方向向右, 大小为 $\frac{2ks}{m}$

3. 1966 年, 人们在地球上空完成了以牛顿第二定律为基础的测定质量的实验。实验中, 设有一艘质量 $m = 3400 \text{ kg}$ 的宇宙飞船, 跟正在轨道上运动的火箭组接触。接触后开动飞船尾部的推进器, 使飞船和火箭组共同加速。若已知推进器的平均推力为 895 N , 推进器开动 7 s , 测出飞船和火箭组的速度改变量是 0.91 m/s , 试求火箭组的质量。
4. 如图 4-5-7 所示装置中, A 、 B 两物体的质量分别为 $m_A = 2.0 \text{ kg}$ 、 $m_B = 4.0 \text{ kg}$ 。 A 与桌面间的动摩擦因数 $\mu = 0.02$, g 取 10 m/s^2 。当轻轻释放 B 后, 物体 A 沿桌面滑行的加速度是多少?

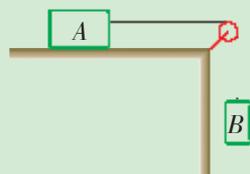


图 4-5-7

5. 一位同学通过电视观看火箭发射的情景, 他听到现场总指挥倒计时结束发出“点火”命令后, 立刻用秒表计时。假设他测得火箭点火到火箭底部经过发射架顶端的时间是 4.8 s , 如果他计算出对火箭的推力, 那么
- (1) 需要假设哪些条件?
 (2) 还需要知道哪些数据?

用欧拉方法测量动摩擦因数

在第3章中，我们用使物体做匀速直线运动的方法来测定动摩擦因数。但实验中，由于物体是否做匀速直线运动不易判断，误差较大。

18世纪的瑞士著名科学家欧拉(L. Euler)首先采用使物体做加速运动的方法测定物体的动摩擦因数，实验更为方便。

实验装置如图4-5-8所示。在一个倾角为 θ 的斜面上，使一块小木块从静止起加速下滑。测出时间 t 内小木块的位移 s ，即可用 t 、 s 和 θ 得出动摩擦因数的表达式。

请推导这个表达式。

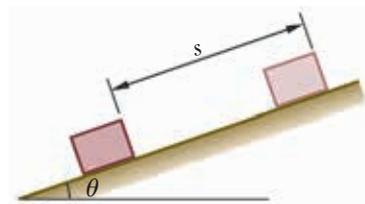


图4-5-8 欧拉实验的原理

4.6 超重与失重

与航天员的对话

千年梦 圆今朝
一箭飞 冲九霄
……

我国首位航天员杨利伟返回地面后，电视台记者在对他进行采访，他们有一段这样的对话：

记者：当你乘坐飞船升空时，你有什么感觉？

杨利伟：感到有载荷，就是感到胸部受到压力。

记者：压力很大吗？感到很难受吗？

杨利伟：还可以，不觉得很难受。我们平常训练时，这种压力可达到 $8G$ ，说得通俗一点，就等于有 8 个人压在你身上。飞船加速上升时，压力没有这么大。

记者：你什么时候感受到失重？当时的感觉怎样？

杨利伟：在火箭分离的时候，感到身体突然被抛了一下，就飘了起来，船里的小尘埃也飘起来了。

上面对话中的“有载荷”“有压力”“失重”等是在怎样的情况下产生的？你是否也有过“类似”的经历？

什么是超重和失重

如图 4-6-2 所示，用手掌托着一叠较重的书，先让手缓缓上下移动，体会一下书对手掌的压力跟静止时是否相同？然后让手突然竖直上升或竖直下降，再体会一下，手掌受到的压力跟静止时有什么不同？

实验探究 观察弹簧测力计示数的变化

如图 4-6-3 所示，在测力计下端挂一钩码，仔细观察弹簧测力计静止时、缓缓上升时和下降时、突然上升和突然下降时测力计示数的变化。



图 4-6-1 杨利伟在飞船中

如果你对这些问题暂时还不理解，请在完成实验探究之后，再来思考。



图 4-6-2 体会超重和失重



图 4-6-3 实验探究超重与失重

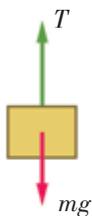


图 4-6-4 钩码的受力

分析与论证 超重与失重

上面两个实验中的现象,都可以用牛顿第二定律加以论证。

以钩码(或书)为研究对象,它在竖直方向上受到两个力的作用:重力 mg , 竖直向下;测力计的拉力(或手的支持力) T , 竖直向上(图 4-6-4)。根据牛顿第二定律可以知道,静止和匀速上升或下降时,

$$T - mg = ma = 0 \quad T = mg$$

即测力计的拉力(或手对书的支持力)与物体所受的重力大小相等,这也就是平时我们测量重力时得出的结果。

加速向上时,规定以竖直向上为正方向,

$$T - mg = ma \quad T = mg + ma > mg$$

加速向下时,规定以竖直向下为正方向,

$$mg - T = ma \quad T = mg - ma < mg$$

即测力计的拉力(或手对书的支持力)在这两种情况下分别大于或小于物体所受的重力。

根据牛顿第三定律,钩码对测力计的拉力大小(或书对手掌的压力大小)也等于 T ,它同样在这两种情况下分别大于或小于重力。

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叫做**超重**(overweight)。

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叫做**失重**(weightlessness)。当物体以大小等于 g 的加速度竖直下落时,它对悬挂物或支持物完全没有作用力,我们称它处于完全失重状态。所以,超重和失重并不表示物体所受重力发生变化。

思考与讨论

据报载,我国航天第一人杨利伟的质量为 63 kg (装备质量不计),假设飞船以加速度 8.6 m/s^2 竖直上升,这时他对座椅的压力多大?

杨利伟训练时承受的压力可达到 $8G$,这表示什么意思?

当飞船返回地面,减速下降时,请你判断一下杨利伟应该有什么样的感觉?

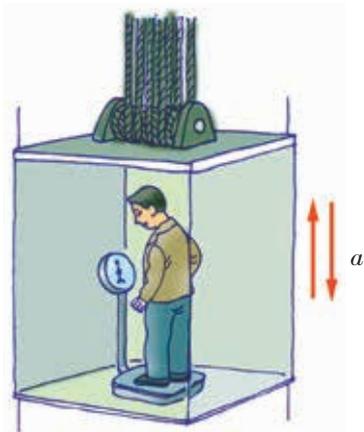


图 4-6-5 磅秤的示数

多学一点 等效重力加速度

如果你站在电梯内的一台磅秤上,当电梯沿竖直方向加速上升或加速下降时,你将看到,磅秤的示数会变大或者变小(图 4-6-5)。对于这种现象,我们可用上面的“超重”或“失重”

来解释，但也可以采用重力加速度发生了变化来解释。

电梯加速上升时，可认为重力加速度由 g 变为 $g' = g + a$ ，这时秤面示数变大，变为 $T = mg' = m(g + a)$ 。

电梯加速下降时，可认为重力加速度由 g 变为 $g' = g - a$ ，这时秤面示数变小，变为 $T = mg' = m(g - a)$ 。

这就是说，当物体在竖直方向上有加速度时，也可以看成是重力加速度发生了变化，从 g 变成了 g' ，这个物体就好像处在一个重力加速度为 g' 的环境里。因此，人们把这个 g' 称为等效重力加速度。

引入等效重力加速度，并把跟这个物体一起做加速运动（相对于地面）的系统作为参考系，那么，原来地面参考系中的一个竖直方向的加速运动问题，就可以转换成这个加速参考系内的一个平衡问题。在许多时候，这样做会显得很方便。

STSE

太空——无与伦比的实验室

太空，是一个微重力、高真空、强辐射的环境，人们可以利用太空这个特殊环境开展一些地面上无法进行的实验，研制许多在地面上无法获得的产品。目前，太空生产已涉及制药、冶金、电子和机械制造、生物工程等许多领域，而且正在向着更广阔的方向发展。例如：

1975年7月，美国和苏联在进行“阿波罗”号和“联盟”号飞船对接时，在太空成功地进行电泳法分离实验。利用电场作用把不相同的物质颗粒分离出来，从大约5%的肾细胞中分离出一种溶解血栓或凝血栓的特效药。

2000年9月8日，“亚特兰蒂斯”号航天飞机升空，完成了一项太空中基因变化的研究。在升空之前，生物学家培养了50多亿个人体肾细胞，将它们注入一种培养液中。进入太空后，这些细胞具有比地面上快得多的分裂速度。2000年9月20日，“亚特兰蒂斯”号航天飞机返回地球时，科学家们惊喜地发现，在这些经历太空培养的细胞中，有1600多种基因的活性比地面培养基上细胞中的相同基因强3倍。

太空，已经成为人类的一个理想实验室。可以预期，在太空实验室里一定会获得更多、更新的成果。

信息浏览

模仿太空微重力实验

长期处在太空失重的环境下，会导致航天员身体虚弱、肌肉萎缩、血液循环紊乱。因此，各国科学家一直在努力研究，试图找出保持航天员身体健康的最佳药物和锻炼方法，让他们成功地度过漫长的太空生活以及实施计划中的

火星之旅。

2002年4月，欧洲航天局（ESA）、法国全国空间研究中心（CNES）和日本宇宙开发厅（NASDA）联合发起，征集了14名志愿者，进行一项长期和复杂的研究工作——模仿微重力环境对人体的影响。

这些志愿者分成三组：第一组做定期体能



图 4-6-6 中国航天员在做微重力实验

锻炼，第二组服用药物，第三组什么也不做。他们日常的所有事务——包括吃饭、洗澡、上厕所等——全部得躺在床上完成，为期三个月。对于这些志愿者来说，这是一项十分艰巨的使命，对他们的身体素质和心理素质都是一次严峻的考验。

我们看到，在人类迈向太空的征途中，不但凝聚着航天科技人员和航天员的心血，也融入了许多像这些志愿者那样的普通人所付出的辛勤劳动。

家庭作业与活动

1. 航天员乘宇宙飞船在离开地面和进入轨道运行的过程中出现超重和失重现象时，航天员受到的重力有没有增大或减小？你觉得应该怎样理解超重和失重现象？
2. 如图 4-6-7 所示，用测力计悬挂一个钩码。当测力计减速向上或减速向下运动时，测力计的示数会发生怎样的变化？
3. 取一个旧的饮料瓶，在靠近底部处开一个小孔，先用手指按住小孔，往瓶内注水，然后放开手



图 4-6-7



图 4-6-8

指，可以看到水从小孔射出（图 4-6-8）。如果放开手指后，让瓶子自由下落或者把瓶子抛出，那么瓶子在空中运动的过程中，水会从小孔喷出来吗？先做实验，再解释原因。

4. 图 4-6-9 a、b 分别是蜡烛在地球重力环境下和在太空微重力环境下燃烧的景象，你感到奇妙吗？假如你获得在飞船上进行实验的机会，请你设计一个在太空微重力环境下的实验（要求说明实验目的、仪器装置、理论意义或社会价值等）。



图 4-6-9

课外活动

去图书馆或上网收集我国从古代的飞天神话到现在的“神舟”飞船的有关资料，写一篇

关于航天的科学报告，或协助社区办一期介绍航天知识的专栏。

第4章家庭作业与活动

A组

- 下列说法中正确的是()。
 - 作用力与反作用力可以是不同性质的力
 - 有作用力才有反作用力,因此作用力在先,反作用力在后
 - 两个物体相互作用,不论静止或运动,总是存在着作用力和反作用力
 - 作用力和反作用力只能存在于相互接触的物体之间
- 在有空气阻力的情况下,以初速度 v_1 从地面竖直上抛一个小球。经过时间 t_1 , 小球到达最高点, 又经过时间 t_2 , 小球从最高点落到抛出点。小球着地时的速度为 v_2 , 则()。
 - $v_2 > v_1, t_2 > t_1$
 - $v_2 < v_1, t_2 < t_1$
 - $v_2 > v_1, t_2 < t_1$
 - $v_2 < v_1, t_2 > t_1$
- 在水平桌面上, 叠放着A、B两本书(图4-A-1), 分析一下, 存在几对与书本A有关的作用力与反作用力, 存在几对与书本B有关的作用力与反作用力。

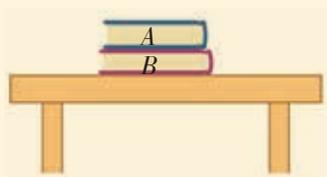


图4-A-1

B组

- 传说一匹马学习了牛顿运动定律, 当人们要它拉车时, 它断然拒绝了。它说道: “如果我向前拉车, 按照牛顿第三定律, 车以等大的力向后拉我, 这两个力相互平衡, 又按牛顿第二定律, 车就不能加速向前运动。” 马的说法有道理吗?
- 图4-B-1中, 底板光滑的小车上有一个质量为 1 kg 的木块, 其两头用两个完全相同的量程均

为 20 N 的弹簧测力计甲和乙系住。小车在水平地面上做匀速直线运动时, 这两个弹簧测力计的示数均为 10 N 。当小车做匀加速直线运动时, 测力计甲的示数变为 8 N , 这时小车运动的加速度大小是()。

- 2 m/s^2
- 4 m/s^2
- 6 m/s^2
- 8 m/s^2

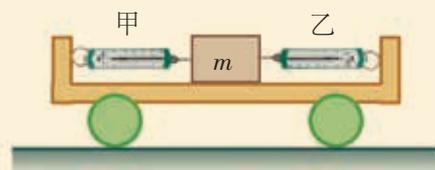


图4-B-1

- 一个热气球与沙包的总质量为 M , 在空气中以加速度 $\frac{1}{2}g$ 下降。为了使它以同样大小的加速度上升, 应该抛掉的沙的质量为()。
 - $\frac{1}{2}M$
 - $\frac{1}{3}M$
 - $\frac{2}{3}M$
 - $\frac{3}{4}M$
- 水平传送带长 20 m , 以 2 m/s 的速度做匀速运动。在传送带的一端轻轻放上一个物体。已知物体与传送带之间的动摩擦因数 $\mu = 0.1$, 则物体到达另一端的时间为()。 g 取 10 m/s^2 。
 - 10 s
 - 11 s
 - 12 s
 - $2\sqrt{10}\text{ s}$
- 为了安全, 在公路上行驶的汽车之间必须保持必要的车距。已知某地高速公路的最高限速 $v = 120\text{ km/h}$ 。假设前方车辆突然停止, 后车司机从发现这一情况, 经操纵制动到汽车开始减速的时间 $t = 0.7\text{ s}$, 制动时汽车受到的阻力大小为车重的 0.4 倍, 则该高速公路上汽车之间的安全车距至少为多少? g 取 10 m/s^2 。
- 美国国家航空航天局(NASA)有一项面向大学生的“微重力学生飞行挑战计划”, 学生以团队形式提交自己设计的微重力实验方案, 获胜

的队伍会受邀到约翰逊航天中心，乘坐飞机到达 9 000 m 高空，然后飞机由静止开始下落，以模拟微重力环境。下落过程中飞艇所受空气阻力为其重力的 0.04 倍。这样，可以获得持续约 25 s 之久的失重状态，大学生们便在这段时间内进行关于微重力影响的实验。紧接着，飞艇又做匀减速运动。若飞艇离地面的高度不得

低于 500 m，重力加速度 g 取 10 m/s^2 ，试求：

- (1) 飞艇在 25 s 内下落的高度。
 - (2) 在飞艇后来的减速过程中，大学生对座位的压力是重力的多少倍。
7. 你站在磅秤上，先称出自己的体重，然后突然下蹲，会看到示数发生怎样的变化？先做实验，再解释其中的原因。

总结与评价 课题研究成果报告会

亲爱的同学：

祝贺你即将完成《物理（必修1）》的学习。在那些激动人心的探索活动中，你和你的同学经受了困难的考验，也享受了成功的喜悦。在学完本书后，你一定想让同学们分享自己的研究成果，那么，就让我们开一个“课题研究成果报告会”吧！

你可以把你平时做过的最满意的课题拿来，再作进一步的研究，取得更有意义的成果，到这个报告会上展示；你也可以从下面的研究课题示例中，选择你感兴趣的课题，自己一人或与同

学合作进行研究。当然，你还可以自选其他课题进行研究。

在这个报告会上，也许没有鸿篇大论，也许没有什么重大的发明，但这里展示的成果，铭刻着你们的勤奋，凝聚着你们的心血……这里，最可贵的是真实！

简单就是美丽，巧妙就是智慧！

这个“课题研究成果报告会”，将让你的智慧放出灿烂的火花，让你的才智得到充分的展示！

研究课题示例

研究空气对落体运动的影响

请你自选器材，设计实验，对质量相同、大小和形状不同的物体在空气中做落体运动的有关物理量进行测量，研究空气对落体运动的影响。

关于重力加速度的测定

了解当地的重力加速度，很有意义。你可以综合所学的知识，采用不同的方法测量当地的重力加速度，并对测量结果进行比较；也可以在同一地点的不同高度（如山顶和山脚）进行测量，研究重力加速度随高度变化的情况；你也可以……

设计一个测量加速度的装置

汽车上一般装有速率计，可随时显示车速。你能否

设计一个“加速度计”，装在自行车上，让它随时告诉你加速度的大小？

地面材料动摩擦因素的比较研究

我们常见的地面材料有水泥、地砖、大理石、地板等。它们跟我们常穿的运动鞋、皮鞋或布鞋的鞋底之间的动摩擦因素有多大？请设计实验，进行比较研究。

劈的力学研究

“劈”在生活中很常见，最为典型的可说是厨房中的菜刀。请观察一下菜刀刀刃的前部和后部，它们横截面的厚薄（即劈顶角的大小）有什么不同？为什么要把菜刀做成这样？……请收集日常生活中“劈”的应用实例，征询使用者的体会，然后作出力学上的分析。

评价表

课题名称:

姓名:

完成日期:

合作者:

1. 课题设计思路

2. 课题研究过程

3. 收集的主要资料或证据

4. 分析与论证

5. 研究成果和结论

6. 自我评价

我在课题研究中的表现： 我对小组研究的贡献是： 我擅长的是：

我在研究中遇到的困难是： 我在这些方面应该做得更好：

自我评价等级（在评价的等级上画圈）

A 级（优秀）

B 级（良好）

C 级（合格）

D 级（低于标准）

7. 小组评语

建议从成果的科学性、创造性、实践性，以及从参与课题研究的热情和态度、克服困难的勇气、团队合作精神等方面进行评价。

8. 教师评语

建议从成果的科学性、创造性、实践性，以及从参与课题研究的热情和态度、克服困难的勇气、团队合作精神等方面进行评价。

后 记

我们编写的《普通高中物理课程标准实验教科书》（沪科教版）在实验区已试用十余年了，随着基础教育课程改革的深入，教育部又颁布了《普通高中物理课程标准（2017年版）》，为此，我们根据新课标的要求，对这套教科书进行了全面修订，以适应新时期课程改革的要求。

这次修订旨在落实“立德树人”根本任务，进一步提升学生的物理核心素养，为学生的终身学习、终身发展和做有责任感的社会公民奠定基础。

参加本册修订的编写组成员如下：

总主编：束炳如 何润伟

副总主编：母小勇 仲扣庄

本册主编：仲扣庄 王 高

本册主要作者：仲扣庄、顾俊琪、戴蕊芬、王 高

本教科书于2004年首次出版，当时参加本册书有关内容编写的人员还有：王溢然、林正行等。沈永昭、倪汉彬、汪乾荣、王文祥、罗基鸣、徐建国、梁明奋等同志也曾对本书的修改提出了许多宝贵意见。随着课程改革的深入，编写队伍的组成人员也发生了一些变化，旨在进一步优化编写队伍，以适应新时期课程改革的需求。

在本书的编写过程中，得到了许多专家、学者、教学研究人员和广大教师的热情帮助和大力支持。上海科技教育出版社的李志棣、匡志强、李枯青、朱惠霖、汤世梁等同志和有关工作人员为本书的编辑加工、美术设计、排版印刷等方面做了大量的工作，在此，编写组特向关心本书及为本书的出版提供帮助的所有同志表示诚挚的谢意。

研制符合时代要求的、有特色的、高质量的高中物理教科书，始终是我们的追求目标。恳请广大专家、学者、教师、教研员、学生和家长对本套教科书提出宝贵的意见和建议，与我们一起，合作共建这套教科书。

编者
2018年8月

PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
WULI

普通高中教科书

物理 必修

第一册

上海科技教育出版社有限公司出版发行

(上海市闵行区号景路159弄A座8楼 邮政编码201101)

各地新华书店发行 上海华顿书刊印刷有限公司印刷

开本 890×1240 1/16 印张 7.25

2019年7月第1版 2021年12月第4次印刷

ISBN 978-7-5428-7032-2/G·4073

定价:8.55元

批准文号:琼发改费管[2019]845号 举报电话:12358

ISBN 978-7-5428-7032-2



9 787542 870322 >

YOUJ
365优教
大学生共享家教联盟

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