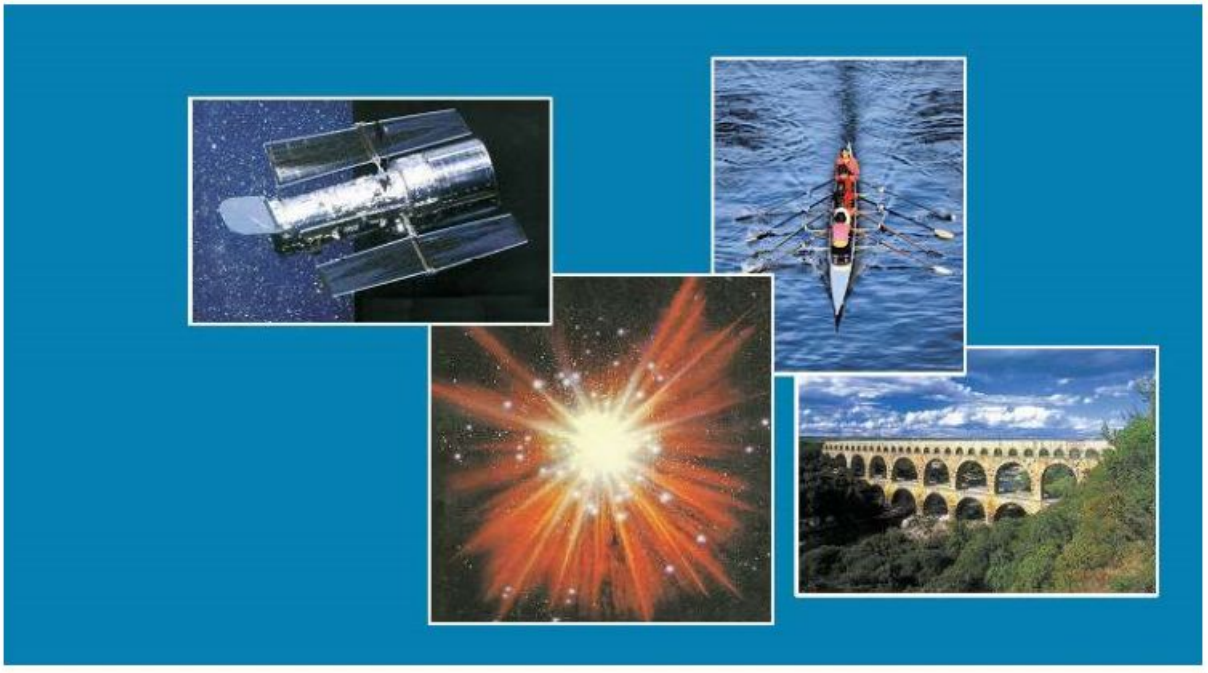
经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

普通高中课程标准实验教科书

物理 共同必修 1

PHYSICS

主编 束炳如 何润伟



上海科技教育出版社

常用物理量符号及单位

物理量		单位		备注
名称	符号	名称	符号	
位移	s	米	m	
时间	t	秒	s	
质量	m	千克	kg	
速度	v	米每秒	m/s	
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2	
力	F（f）	牛[顿]	N	$1\ N = 1\ kg \cdot m/s^2$

注：1. 圆括号中的名称和符号，是它前面的名称和符号的同义词。

2. 方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可省略。去掉方括号中的字，即为其名称的省略。

本书主要公式

速度 $v = \frac{s}{t}$

匀速直线运动的位移 $s = vt$

加速度 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$

自由落体运动的速度 $v_t = gt$

自由落体运动的位移 $h = \frac{1}{2}gt^2$

匀变速直线运动的速度 $v_t = v_0 + at$

匀变速直线运动的位移 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

胡克定律 $F = kx$

滑动摩擦力 $f = \mu N$

共点力平衡的条件 $F_{合} = 0$

牛顿第二定律 $F_{合} = ma$

牛顿第三定律 $F_{甲对乙} = -F_{乙对甲}$

亲爱的同学：



从你打开物理课本起，你已经开始投身于一项激动人心的探索活动。让我们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。

"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。

《物理 1》、《物理 2》是高中学生必须学习的内容。在这里，我们将走过从伽利略到牛顿为建立经典力学体系而开辟的道路，了解从经典力学到现代物理的变革，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 1》的过程中获得更大的成功，请浏览本书的栏目介绍。

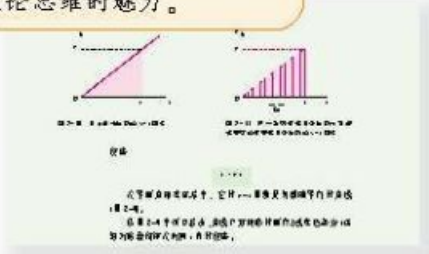


每章的开头都有一些情景，提出一些问题，让你明确本章研究的主要内容。

分析论证

在这里，你将经历分析、综合、应用数学工具进行推理、从而得出物理学规律和公式的过程，体会到高中物理理论思维的魅力。







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。

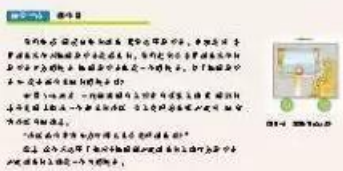
课题研究

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。



多学一点

这里有更多更深的奥秘，将进一步开阔你的视野。你如果有兴趣，可以作进一步的探索。



家庭作业与活动

这里为你提供了丰富多彩的学习活动，让你通过回顾进行自我评价，加深对知识的理解，提高解决问题的能力，体验到成功的喜悦。



信息浏览、STS栏目

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、社会的紧密联系。你的视野将更开阔，你会更加热爱科学。



目 录



开篇　激动人心的万千体验　6

0.1 物理学——理性的追求　6

0.2 物理学——人类文明的奇葩　11

0.3 学物理——探究求真　17



第1章　怎样描述物体的运动　20

1.1 走近运动　20

1.2 怎样描述运动的快慢　27

1.3 怎样描述运动的快慢(续)　32

1.4 怎样描述速度变化的快慢　37



第2章　研究匀变速直线运动的规律　44

2.1 伽利略对落体运动的研究　44

2.2 自由落体运动的规律　49

2.3 匀变速直线运动的规律　53

2.4 匀变速直线运动规律的应用　57

第3章 力与相互作用 62
3.1 牛顿第三定律 63
3.2 弹力 67
3.3 摩擦力 72
3.4 分析物体的受力 77
第4章 怎样求合力与分力 83
4.1 怎样求合力 84
4.2 怎样分解力 89
4.3 共点力的平衡及其应用 93
第5章 研究力和运动的关系 101
5.1 牛顿第一定律 102
5.2 探究加速度与力、质量的关系 107
5.3 牛顿第二定律 111
5.4 牛顿运动定律的案例分析 114
5.5 超重与失重 118
总结与评价 课题研究成果报告会 124
研究课题示例 124
评价表 125







开 篇

激动人心的万千体验

——欢迎你学习高中物理课程

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

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，驱动技术，拯救生命”精神的激励下，继续你“激动人心的智力探险活动”*。

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？古代西方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，最一般的运动规律以及所使用的实验手段和思维方法。

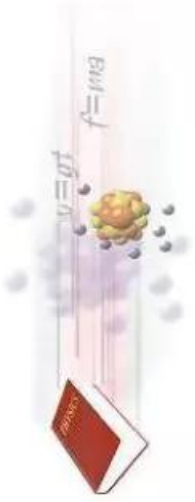


图 0-1　什么是物理学

*引自 1999 年第 23 届国际纯粹物理和应用联合会代表大会的口号和决议。

近代意义上的物理学是从伽利略研究地面上物体的运动开始的。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，打开了通向近代物理学的大门。

继伽利略之后，牛顿“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下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。他的巨著《自然哲学的数学原理》，为物理学作出了划时代的贡献。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……



图 0-2　牛顿的遐想

据传说，牛顿(I. Newton)坐在花园里的苹果树下，见到苹果落地，于是联想到如果地球的引力延伸到月球，月球怎么不会落向地面？

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，它跟跟跄跄，毫无定规，你知道其中的原因吗？

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、焦耳、卡诺、克劳修斯等人的研究，经典热力学和经典统计力学正式确立，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。

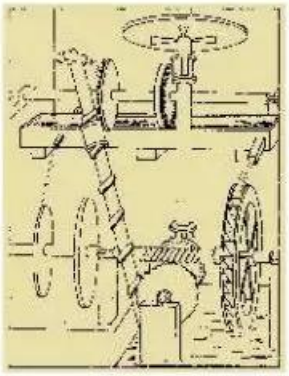
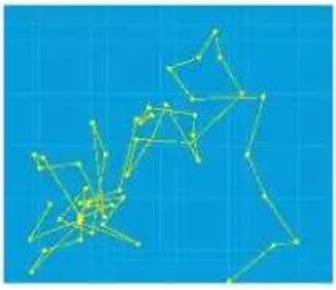


图 0-3　一种“永动机”的模型

图 0-4　悬浮微粒的运动记录



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，麦克斯韦在库仑、安培、法拉第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、经典统计力学和经典电磁理论，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？

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……”

两朵乌云的挑战

1900 年的春天，在人们欢呼经典物理学伟大成就的同时，也有人看到，“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会是一份一份的吗？



图 0-5　如果我以光速追随光波，将会看到什么

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？”

按照经典物理的时空观，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。

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

1897 年，英国物理学家 J. J. 汤姆生通过对阴极射线的研究，发现了电子。30 年后，他的儿子和美国人戴维森分别用实验证明：电子具有波动性。汤姆生父子都因研究电子而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、爱因斯坦、玻尔、德布罗意、海森伯、薛定谔等人的努力下，量子力学应运而生。

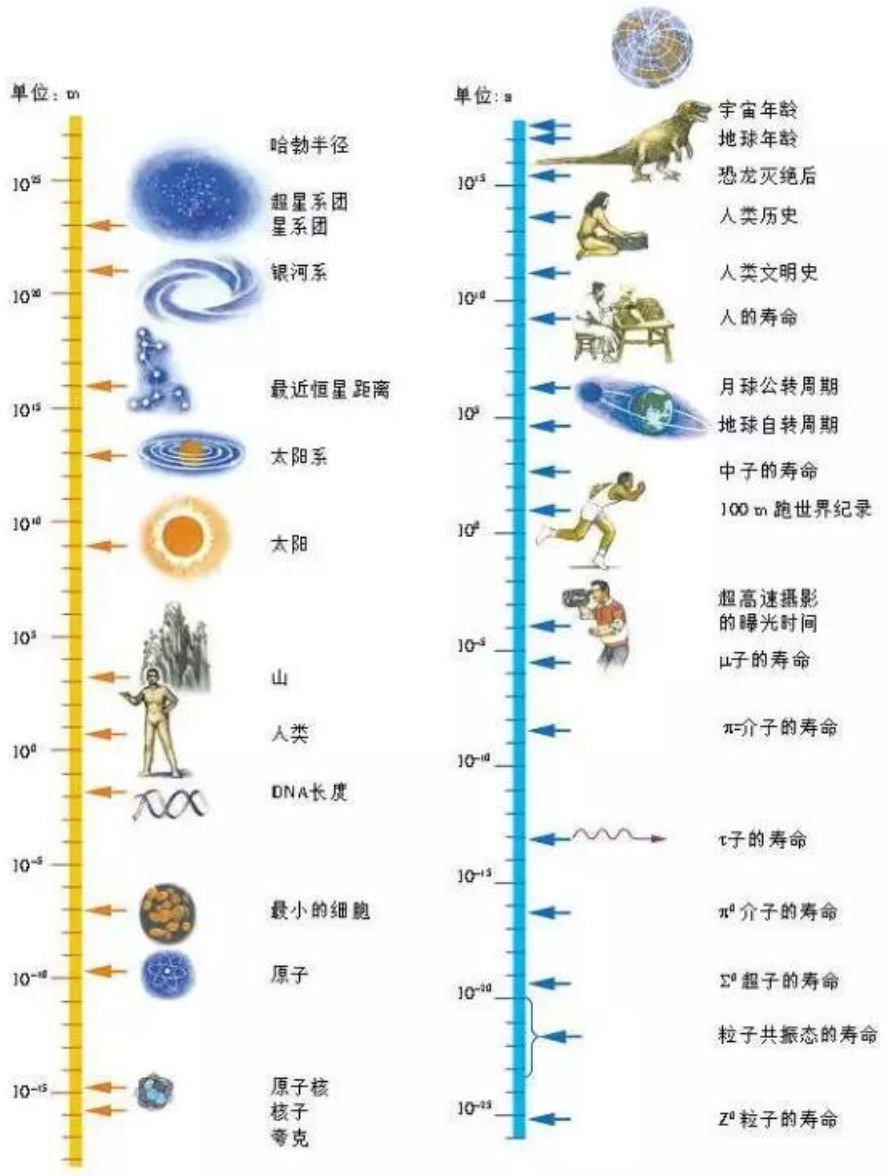


图 0-6　人类目前所认识的世界的时空尺度

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 的总星系。

图 0-6 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 43 至 44 个数量级；在空间尺度上，从 10^{-18} m 到 10^{27} m，跨越了 45 至 46 个数量级。

如今，物理学已发展成包含着力学、热学、电磁学、光学、凝聚态物理学、等离子体物理学、天体物理学等庞大的学科体系；物理学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，如物理学与生物学等学科形成的交叉学科——生命科学，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。

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。

——詹姆斯

“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。

*引自 1999 年第 23 届国际纯粹物理和应用联合会代表大会的口号和决议。

0.2

物理学——人类文明的奇葩

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。

物理与技术——交相辉映

人类迈过刀耕火种时代，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，人类进入了蒸汽时代，实现了从手工业生产向大规模机器生产的转化。电磁现象的深入探究，导致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社会经济向前发展，使世界发生着日新月异的变化。

对任何人来说，不关心科学就是甘受奴役。

——布朗诺夫斯基

古代中国四大发明中的“司南”，传入西方后演变成导航的罗盘，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。当我们将远古的司南跟当今的磁共振仪、计算机磁盘、信用卡、磁悬浮列车等放在一起时，怎不让人惊叹物理学与技术结合的伟大与神奇！

图 0-7　从司南到磁悬浮列车









a “长征”号火箭升空



b 国际空间站

图 0-8 太空探索

从 1609 年伽利略的第一台天文望远镜到如今的哈勃太空望远镜，从 1590 年的第一台光学显微镜到现代的扫描隧穿显微镜(STM)，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。

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。然而导致这种惊奇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 CD、VCD、DVD、MP3，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？

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

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各处的隐秘？人们在地球上为什么能指挥 1 亿多千米以外火星上的机器人？……

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、技术与社会的互动关系？

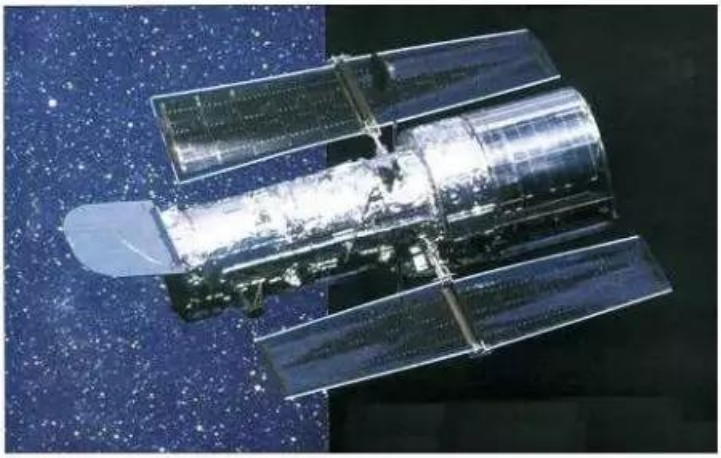


图 0-9　哈勃太空望远镜

物理学——人类文明的思想宝库

古往今来，物理学的贡献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。

当伽利略等人抛弃古希腊哲学家们千余年来崇尚清谈的遗风，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。1748 年，法国哲学家拉美特利大声宣称：“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，这种观念也影响了人们对其他现象的正确认识。

随着物理学对分子运动规律研究的进展，机械决定论的思想不再被认为是放诸四海而皆准的唯一真理。“统计”、“概率”开始在物理学领域中登堂入室。时至今日，我们已经相当习惯于使用“可能性”而非“必然性”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，物理学中关于模型理论的思想，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理论成功地对环境、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”。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核威胁。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关注科学的价值观和责任感。因为在科学的丰碑上，镌刻着两个闪光的大字——“良知”！

信息浏览

物理学中模型理论的思想，不仅在自然科学领域获得了广泛的应用，而且在社会科学领域也得到了成功的应用。1997年诺贝尔经济学奖获得者斯科尔斯的主要贡献，就是同另一位学者一起应用物理学模型理论的思想，建立了“股市期权定价模型”，并开创了“量化经济学”。如今，美国已有一批物理学博士在从事量化经济学的工作，而且深受华尔街各金融证券机构的欢迎。所以有人说，“如果今天爱因斯坦还年轻，他可能就在华尔街工作”。

19世纪英法战争时，曾在欧洲大陆上不可一世的法国皇帝拿破仑，在海战中屡遭败绩。据说，当时有一位年轻的美国发明家富尔顿，建议拿破仑将法国的战船撤去风帆，装上蒸汽机，把木船换成钢船。可是拿破仑不以为然，摆摆手把富尔顿给轰了出去。史学家后来评论这一段历史时认为，如果拿破仑能稍加慎重地考虑这一建议，也许19世纪的历史将会重写……

1939年发现铀的核裂变时，正值第二次世界大战爆发。世界上许多科学家意识到，核裂变所释放的巨大能量可能被德国纳粹政府用来制造大规模杀伤性武器，因此建议爱因斯坦致信当时的美国总统罗斯福，提醒他注意纳粹政府将核裂变用于军事目的的危险性……

你从这些事实中得到了什么启示？如果你今后并不打算成为物理学家或从事物理学方面的工作，你是否就可不学物理？

物理与艺术——智慧与情感的结晶

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,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、李政道提出的宇称不守恒,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,无一不是物理原理、工程技术和艺术灵感的巧妙结合。

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武器。

当物理学开始讨论时间的本质时,艺术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

图 0-10　美丽的雪花——从天而降的对称的艺术品





图 0-11　无尽无极——著名画家吴作人先生为“二维强关联电子系统”国际学术会议所作的主题画

著名物理学家玻尔被封爵后，他选太极图为盾形纹章图案，并在图案下铭文“对立即互补”

值——而并肩前进！

请阅读下面的资料，并说说你的看法。

中国高等科学技术中心每年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科学主题提出一个初步的艺术构想，并分别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。

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？

如果你想了解这项活动的进一步情况，可参考大型画册《科学与艺术》(上海科学技术出版社 2000 年出版)。该书汇集了近 20 年来各次国际学术研讨会上所作的主题画。

图 0-12　从汽车到高楼大厦





0.3

学物理——探究求真

重视实验　勤于思考

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。

由于知识的局限性，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。

没有实验的物理理论是空洞的，没有理论的实验是盲目的。

——帕格尔斯

转动的水杯

在一只盛有大半杯水的烧杯里滴入一些红墨水，使杯中水变成透明的浅红色。然后，用一根细绳牢牢系住杯口，手握细绳的另一端，使杯子在竖直平面内做圆周运动。你将看到，一团红色的水在空中飞旋，纵然不时杯口朝下，仍滴水不漏。

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 2500 册实验记录。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。早年发明二重发报机。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 1000 多项。





图 0-13　皂液膜上的彩色条纹

肥皂膜上的彩色条纹

用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，在高中物理中，你们都要进行较为深入的研究。

经历过程 体验方法

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”、“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”的惊喜。

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。

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

你知道超重、失重吗

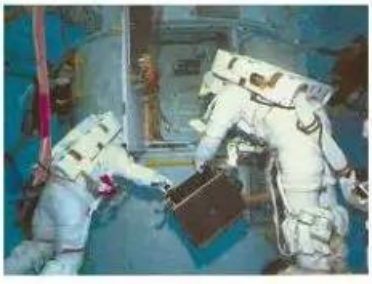
当你用体重秤测体重时，怎样才能称得准？

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，宇航员为什么处于失重状态？

你知道这些现象的物理原理吗？

图 0-14　失重状态下的宇航员



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，对照生活中的实例，重新体验；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”，而不是被动的接受。

著名理论物理学家、诺贝尔奖获得者理查德·费曼说过：“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和方法，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

科学的精髓在于不断地探究。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这迷雾的明灯，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。

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

从第谷、开普勒到牛顿

丹麦天文学者第谷在他长达 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。第谷死后，他的助手德国天文学家开普勒应用第谷留给他的观测资料，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，提高个人的素质。

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

同学们：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！



图 1-1 “神舟”5 号从发射到返回舱成功回收的主要阶段

第 1 章 怎样描述物体的运动

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”*，短短的一两句话，就勾勒出了飞船航天时的雄姿。

科学家需要先建立一些基本概念。20 世纪的著名物理学家、量子力学的创立者之一海森伯(W. K. Heisenberg)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，我们将首先引入描述运动的一些基本概念，进而通过对直线运动的初步研究，学会如何描述物体运动的快慢、运动变化的快慢，为进一步研究更复杂的运动打下基础。

1.1 走近运动

怎样判断动与静

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。

* 作者欧阳中石，原诗载《光明日报》2003 年 10 月 17 日第 1 版。

请设想一下，你和一位同伴正坐在太空站里一边喝咖啡一边聊天。在“地球人”看来，你们随太空站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站，但地球上的生活经验告诉我们，你和同伴都会认为自己是静静地坐着！

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

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标准，这个作为标准的物体叫做参考系（reference frame）。

描述同一个运动，选择不同的参考系，观察的结果会有不同。参考系选择得当，会使描述运动更为简单、方便。

讨论与思考

1. 从一千多年前的唐代流传下来一首词*：

满眼风波多闪灼，
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“神舟”号飞船去访问火星，你认为应该怎样选取参考系？



图 1-2 《摊破浣溪沙》

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



图 1-3　荧光屏上的“神舟”5 号运行轨迹



图 1-4　乒乓球运动员打出的旋转球

怎样对物体进行简化

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”5 号飞船载人舱长 7.4 m，直径 2.8 m，用长 58 m、重达 480 t 的“长征”2 号火箭发射。飞船升空后，显示在指挥部荧光屏上的仅是一个小小的光点（图 1-3）。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。

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（图 1-4）。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。一列沿京沪铁路运动的火车，若研究它从上海到北京的运动，由于火车的长度远小于上海到北京的距离，就可以把它简化为一个点；若研究它经过南京长江大桥的运动，由于火车的长度可以跟大桥长度相比拟，这时不能把火车简化为一个点。

在物理学中，用来代替物体的有质量的点叫做质点（mass point）。

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。

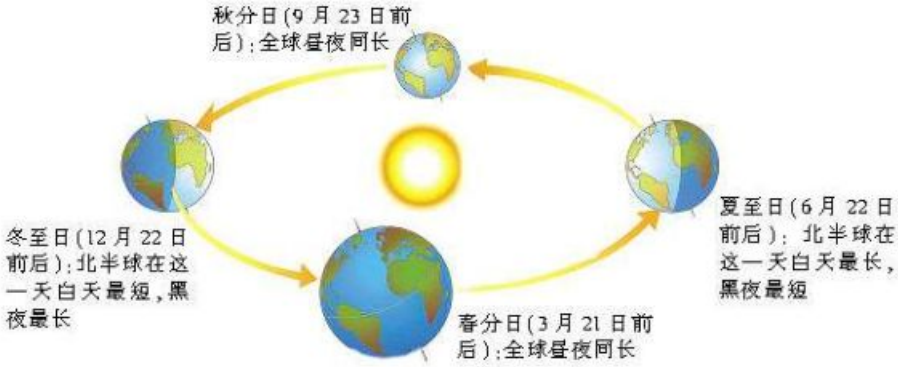


图 1-5 地球的公转和四季变化

讨论与思考

1. 地球是一个庞然大物,直径约为 12800 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 1-5),能不能把地球看成质点?

2. 物理中的"质点"跟几何学中的点有什么相同和不同的地方?

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。

在原型的基础上,经过科学抽象而建立起来的一种理想化客体,叫做理想模型。质点就是一个理想模型。

位移与路程有什么不同

图 1-6 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



图 1-6 上海航空港的航线图



图 1-7　上海到乌鲁木齐的位移和路程

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 1-7 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火车从上海到乌鲁木齐所经过的路程。

讨论与思考

1. 在地图上查找上海到乌鲁木齐的铁路。请根据地图上的比例尺，估算一下，坐火车从上海到乌鲁木齐的位移和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 1-8 上把甲要经过的路程和位移表示出来。

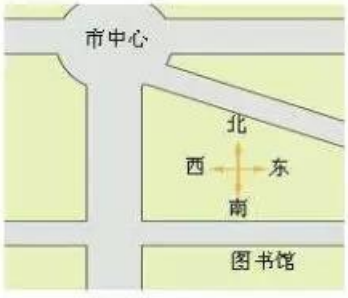


图 1-8　走到市图书馆

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？

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,并规定其正方向,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,可以用末位置的坐标(x)和初位置的坐标(x_0)表示出来,即

$$s = x - x_0$$

例如,在图 1-9 中,汽车在 t_2 到 t_3 时间内的位移可表示为

$$s_{23} = x_3 - x_2$$

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。

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"O",线上每一点代表着不同的时刻,两点之间的线段则表示物

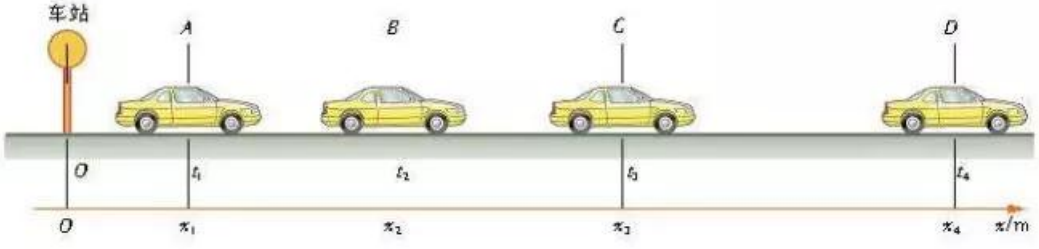


图 1-9 汽车位置的变化

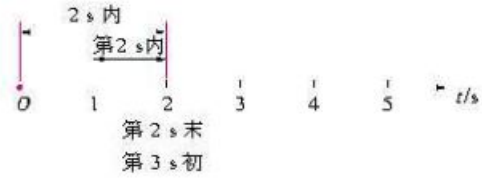


图 1-10　时刻与时间

体运动经历的时间(图 1-10)。

CCTV1 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?

家庭作业与活动



图 1-11　体操运动员腾空翻动作全过程的频闪照片

1. 能否把图 1-11 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和路程的大小是否相同?
4. 图 1-12 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。若以地面为坐标原点,竖直向上为正方向作坐标轴,将小球抛出处和手接球时的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 时正开始上第一节课,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。

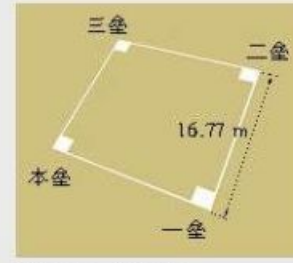


图 1-12　垒球场

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与空间有关，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和空间有关的物理量，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 1-13 所示，一辆汽车沿平直公路行驶，请仔细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？

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，把物体通过的位移 s 跟发生这段位移所用时间 t 的比值叫做**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 $m \cdot s^{-1}$)。

速度是经典力学中一个重要的概念。我国古代由于一直没有建立速度概念，影响了物理认识的发展。亚里士多德也没有抓住速度，而从产生运动的原因去划分运动，导致得出一些不正确的结论。伽利略的高明之处，就在于能抓住速度这一基本特征对运动进行分类，从而揭示出运动的一些规律。

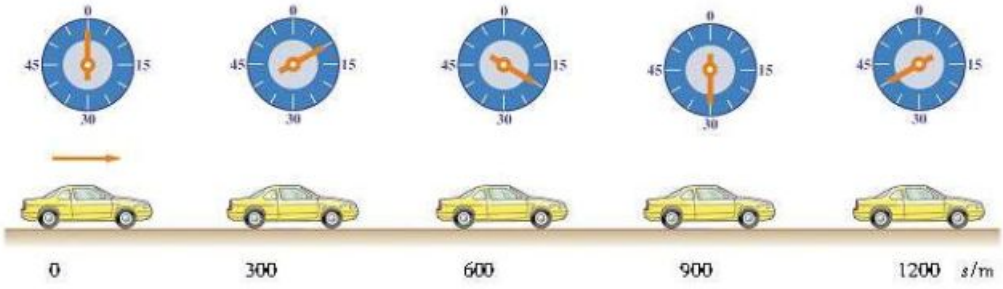


图 1-13 匀速直线运动

速度不仅有大小，还有方向。速度的方向就是物体运动的方向。

案例分析

案例 铁路经过几次大提速后，运行速度有了很大的提高，设上海到南京的列车速度为 $v_1 = 180\ \text{km/h}$。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。如果汽车通过道口的速度 $v_2 = 36\ \text{km/h}$，停车线至道口栏木的距离 $s_0 = 5\ \text{m}$，道口宽度 $s = 26\ \text{m}$，汽车长 $l = 15\ \text{m}$（图 1-14），并把火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？

分析 为确保行车安全，要求列车驶过距离 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 $v_2 = 36\ \text{km/h} = 10\ \text{m/s}$，通过这段位移需要时间

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

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

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

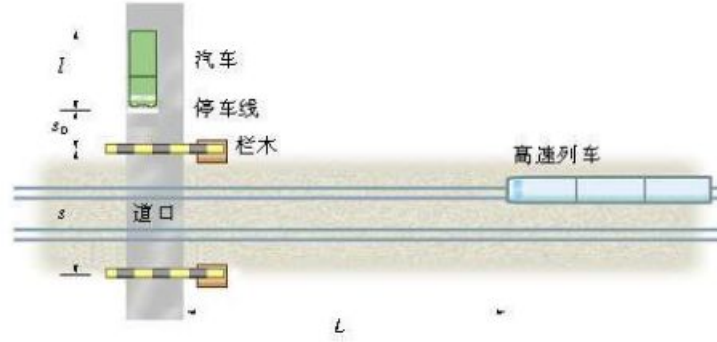


图 1-14 铁路与公路的交叉道口

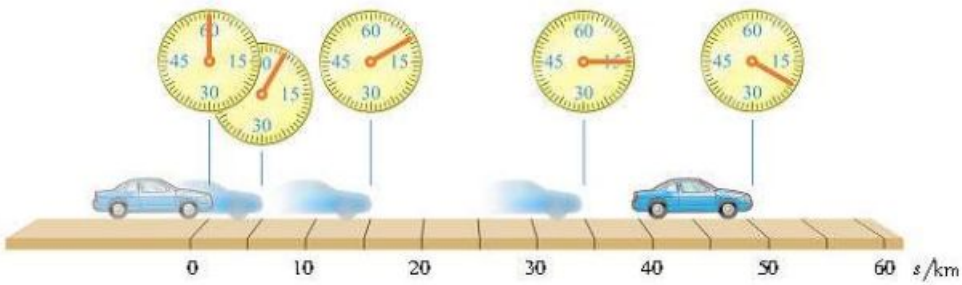


图 1-15 汽车的变速运动

实际情况下，还应考虑到关闭栏木需要的时间以及预留的安全时间等，所以在列车离道口更远时，道口就应该亮起红灯，发出警告。

平均速度

匀速直线运动是一种理想化的运动。实际物体的运动速度往往是不断变化的，在每个相等时间内通过的位移也不相等。图 1-15中的汽车，在开始三个 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。

物理学中，把运动物体在某段时间内的位移与发生这段位移所需时间的比值，叫做**平均速度**(average velocity)。平均速度常用符号 $\overline{v}$ 表示。显然，公式 $v = \frac{s}{t}$ 算出的仅是某段时间(或某段位移)内的平均速度。

亚里士多德说过："我们不仅用时间计量运动，也用运动计量时间，因为它们是相互确定的。"

通过这个实例，请你给变速直线运动下一个定义。

目前，百米赛跑的世界纪录是 9.77 s。根据公式 $v = \frac{s}{t}$ 求速度 v=_____，这是否表示运动员始终都以这么大的速度在运动呢？

如果物体做匀速直线运动，任意选取几段时间(或位移)，算出的这些平均速度之间有什么关系？

STS

利用匀速运动公式和哈勃定律估算宇宙年龄

天文观测表明，几乎所有遥远的恒星（或星系）都在以各自的速度背离我们而运动。离我们越远的恒星，背离我们运动的速度（称为退行速度）越大，也就是说宇宙在膨胀。

美国天文学家哈勃（E. P. Hubble）根据观察总结出一条规律：不同星体的退行速度 v 跟它们离开我们的距离 r 成正比。用公式表示为

$$v = Hr$$

式中 $H = 3.17 \times 10^{-18}\ s^{-1}$，称为哈勃常数。



图 1-16　宇宙大爆炸

现在关于宇宙的起源较为认同的一种理论，认为宇宙是从一个大爆炸的火球开始形成的。假设大爆炸后形成的各星体从爆炸中心以速度 v 向外匀速运动，并设想我们恰位于这个中心，宇宙最外层的星体离我们这个中心的距离为 r 时，它们从中心运动到最外层所经历的时间为 t，则由匀速运动公式知

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

结合哈勃定律，我们就可以得到形成如今尺度为 r 的宇宙所经历的时间，即宇宙的年龄约为

$$t = \frac{r}{v} = \frac{r}{Hr} = \frac{1}{H} = \frac{1}{3.17 \times 10^{-18}}\ s = 3.15 \times 10^{17}\ s$$

请换算一下，这段时间约等于多少年？

家庭作业与活动

1. 平均速度跟速度的平均是不是一回事？
2. 平均速度等于零是否表示物体一定处于静止状态？
3. 京沪铁路线长约 1463 km，特快列车从上海到北京的运行时间是 14 h。生活中，我们把京沪铁路线长度除以列车运行的时间得到的速度，跟物理学中的平均速度意义是否一样？
4. 关于平均速度的下列说法中，含义正确的是
   A. 汽车出发后 10 s 末的平均速度是 5 m/s
   B. 汽车在某段时间内的平均速度是 5 m/s，表示汽车在这段时间内每 1 s 内的位移都是 5 m
   C. 汽车经过两路标间的平均速度是 5 m/s
   D. 汽车在某段时间内的平均速度，一定等于它在这段时间内最小速度与最大速度之和的一半
5. 美国田径运动员刘易斯，在 1991 年的世界田径锦标赛上创造了 9.86 s 的百米跑当时的世界纪录。下表中给出了当时的实测记录。请算出每个 10 m 内的平均速度，并填入表中。

位移 s/m	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
时间 t/s	0	1.88	2.96	3.88	4.71	5.61	6.46	7.30	8.13	9.00	9.86
通过每 10 m 的时间 Δt/s		1.88	1.08	0.92	0.83	0.90	0.85	0.84	0.83	0.87	0.86
每 10 m 内的平均速度 $\bar{v}$/(m·s^{-1})											

课题研究

用 DIS 研究匀速直线运动

在初中，已对匀速直线运动作过初步的研究。现在，可以运用 DIS 实验手段作进一步研究。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，实验结果可用数字、图形等形式显示在屏幕上。

实验时，按图 1-17 所示安装器材，把运动传感器的发射器固定在小车上，把接受器固定在木板上，并使它们正对着放置。在木板的一端垫上木块，仔细调节垫块的高低，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 1-18），再点击“v-t 图像”，显示速度-时间图像（图 1-19）。通过图像，可以直观地分析小车的运动规律。



图 1-17 用 DIS 研究匀速直线运动

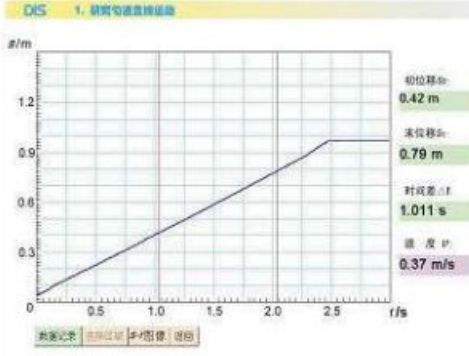


图 1-18 匀速直线运动的 s-t 图像

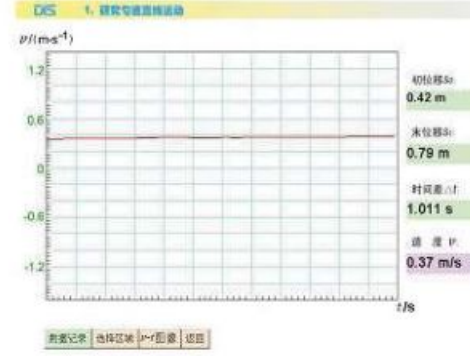


图 1-19 匀速直线运动的 v-t 图像

1.3

怎样描述运动的快慢(续)

前面我们已经算过刘易斯在百米赛跑过程中每个 10m 内的平均速度，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



图 1-20　速率计

运动物体在某一瞬间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冲线的速度、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 1-21)。

实验探究　用光电门测量瞬时速度

瞬间无长短，位置无大小，除了用速率计外，如何测量瞬时速

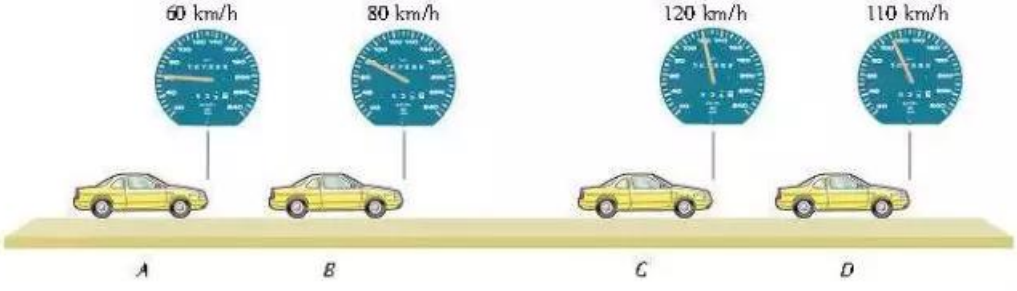


图 1-21　汽车通过不同位置时的瞬时速率

度的大小呢？

实验装置如图 1-22 所示，使一辆小车从一端垫高的木板上滑下，木板旁装有光电门，其中 A 管发出光线，B 管接收光线。当固定在车上的遮光板通过光电门时，光线被阻挡，记录仪上可以直接读出光线被阻挡的时间。这段时间就是遮光板通过光电门的时间。根据遮光板的宽度 Δs 和测出的时间 Δt，就可以算出遮光板通过光电门的平均速度（$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}$）。由于遮光板的宽度 Δs 很小，因此可以认为，这个平均速度就是小车通过光电门的瞬时速度。



图 1-22 瞬时速度的测量

要更准确地测出小车通过光电门的瞬时速度，遮光板是宽一些好，还是窄一些好？

平均速度只能对物体运动的快慢程度作粗略的描述，瞬时速度才能对物体的运动作精确的描述。只有当我们知道了一个运动物体任何时刻的瞬时速度后，才可以认为对这个物体的运动快慢了解清楚了。

讨论与思考

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，夫人，你违反了交通规则，超速行驶，你的车速已达到 1 小时 60 千米。”

“哦，这是绝对不可能的，”驾车女士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？”

“夫人，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：他们两人为什么无法沟通？

不同年代运行工具的最大速度

年代	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	1300
1957	人造地球卫星	29000
1968	“阿波罗”号飞船	32000
1977	“航海家”号飞船	63000
2007	?	?

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。

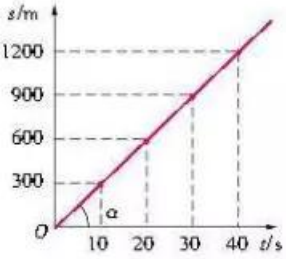


图 1-23　匀速直线运动的 $s-t$ 图像

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 1-13 中汽车各时刻的位移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 1-23)。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。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汽车速度的大小，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，骄傲的兔子打瞌睡了，时间不停地流逝，兔子的位移没有变化。乌龟的速度虽然小，却一直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(即 $s-t$ 图像的斜率更大)，可为时已晚，最后乌龟取得了胜利。

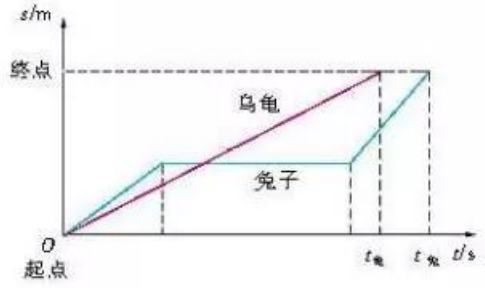


图 1-24　龟兔赛跑的 $s-t$ 图像

解答　乌龟和兔子比赛的 $s-t$ 图像如图 1-24 所示。

速度图像

同样，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 1-25

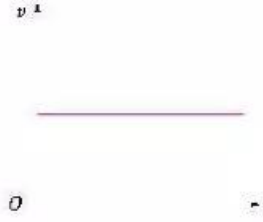


图 1-25　匀速直线运动的速度图像

所示。

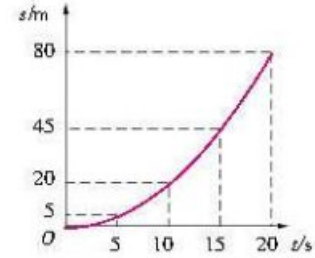


图 1-26 汽车的 $s-t$ 图像

讨论与思考

如果一辆汽车做直线运动的 $s-t$ 图像如图 1-26 所示，与图 1-25 不同，请判断一下：这辆汽车做什么运动？它在 t 轴上标的四段时间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 1-27 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，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？

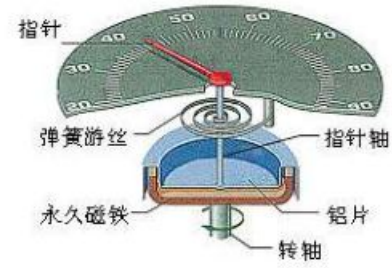


图 1-27 速率计的基本结构

STS

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——研究以同样速度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 1-28 中，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。被测试的机翼或整部汽车悬挂在中间，受到这股气流的狂吹，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，完全可适用于实际工作。

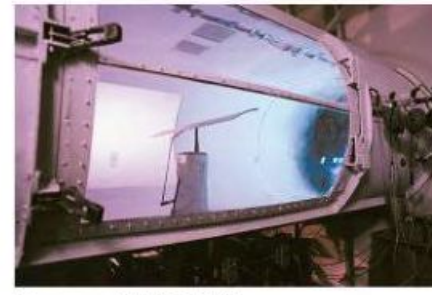


图 1-28 现代大型风洞

家庭作业与活动

1. 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 末到达终点的速度为 10.2 m/s，此运动员在这 100 m 中的平均速度为

   A. 10.4 m/s　　B. 10.3 m/s

   C. 10.2 m/s　　D. 10.0 m/s

2. 在变速运动中，对瞬时速度大小的理解，正确的是

   A. 表示物体在某一时刻运动的快慢程度

   B. 表示物体在某段时间内运动的快慢程度

   C. 表示物体经过某一位置的运动快慢程度

   D. 表示物体经过某段位移的运动快慢程度

3. 图 1-29 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：

   (1) 汽车在 15 min、25 min、45 min 时的瞬时速度；

   (2) 汽车在 50 min 内的平均速度。

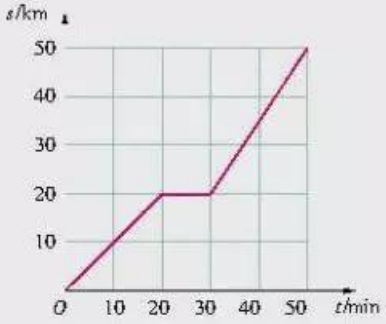


图 1-29　汽车的 $s-t$ 图像

4. 图 1-30 是一架飞机飞行的 $s-t$ 图像，试根据图像回答：

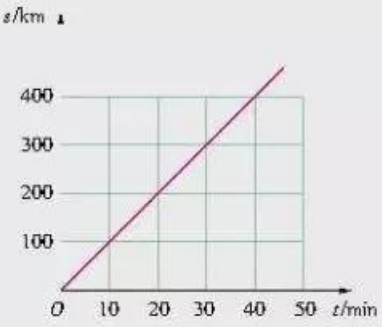


图 1-30　飞机的 $s-t$ 图像

   (1) 飞机的飞行速度是多少？

   (2) 如这架飞机继续保持原来的速度匀速飞行，3 h 内的位移是多少？

5. 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。

6. 如图 1-31 所示，A、B 两运动物体的速度图线 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

   A. 它们速度的大小不同

   B. 它们运动的方向不同

   C. 它们在相同时间内的位移不同

   D. 在 $t=0$ 以前，它们一定都是静止的



图 1-31

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 96 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 96 km/h，却需要 12 s 的时间（图 1-32）。

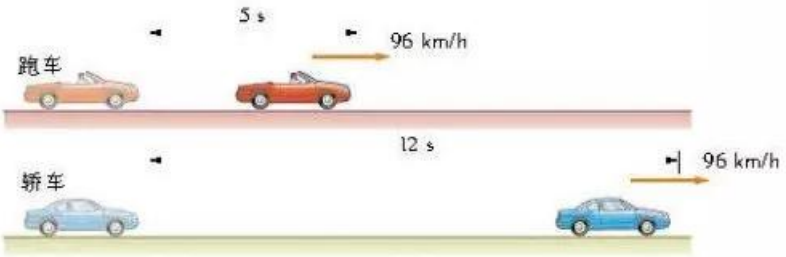


图 1-32 跑车与家用轿车的启动性能比较

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，车就像离弦之箭飞驶出去。

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、追击和避让危险等许多情况下可以使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 1-33），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。



子弹在枪膛内被击发后，经过 0.05 s 速度可达 6×10^2 m/s

图 1-33 速度的变化

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值，叫做加速度(acceleration)，加速度一般用 a 表示。

如果用 v_0 表示物体开始时刻的速度(初速度)，用 v_t 表示经过一段时间 t，物体在末了时刻的速度(末速度)，于是运动物体在时间 t 内速度的变化量 $\Delta v = v_t - v_0$，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 $m \cdot s^{-2}$)。

例如，上述跑车和普通家用轿车的初速度 $v_0 = 0$，末速度 $v_t = 96\ km/h = 26.7\ m/s$，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

$$a_{跑} = \frac{v_t - v_0}{t_{跑}} = \frac{26.7 - 0}{5}\ m/s^2 = 5.3\ m/s^2$$

$$a_{轿} = \frac{v_t - v_0}{t_{轿}} = \frac{26.7 - 0}{12}\ m/s^2 = 2.2\ m/s^2$$

请算出图 1-33 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加 5.3 m/s，普通家用轿车的速度平均每秒只增大 2.2 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，也是矢量。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物体运动的方向相同；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物体运动的方向相反。

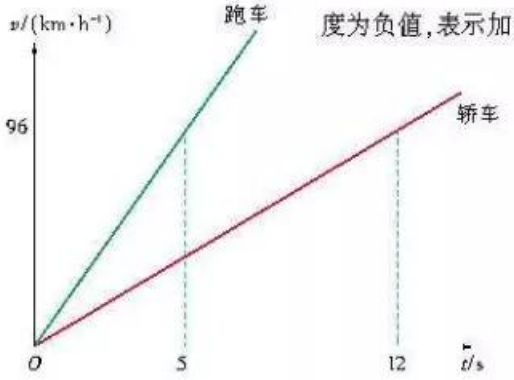


图 1-34　跑车与家用轿车的速度图像

利用 v-t 图像，可以直观地显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 1-34 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。在同一 v-t 图中，跑车的加速度大，其 v-t 图像中的直线倾斜程度大；家用轿车的加速度小，其 v-t 图像中的直线倾斜程度小。

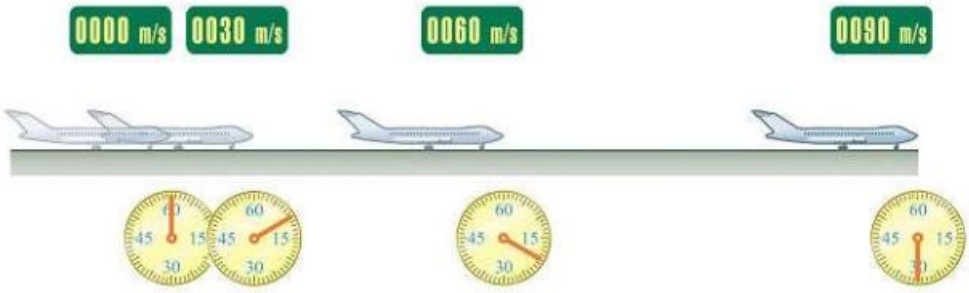


图 1-35 飞机匀加速滑行

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 1-35 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。

实验探究 利用打点计时器测量匀变速直线运动的加速度

实验前，请阅读附录中打点计时器的使用说明。

实验装置如图 1-36 所示。

把附有滑轮的长木板放在实验桌上，把打点计时器固定在长木板上，并连接好电路。



图 1-36 测量匀变速直线运动加速度的实验装置



图 1-37　打点计时器记录的小车做匀变速直线运动的点迹

小车的一端通过细绳挂上合适的钩码，把纸带穿过打点计时器，固定在小车的后面。

把小车停靠在打点计时器处，先接通打点计时器的电源，然后释放小车，使小车带着纸带运动，从而得到记录小车位置的一系列点迹。在纸带上，每隔 5 个时间间隔取一个计时点（图 1-37）。

由于打点的时间间隔为 $\Delta t = 0.02$ s，所以每相邻的两个计时点间的时间间隔是 0.1 s。用直尺量出各相邻计时点之间的距离，用公式 $v = \frac{s}{t}$ 可以算出小车在各时间间隔内的平均速度：

$\bar{v}_{Oa}$ =_____　　$\bar{v}_{ab}$ =_____

$\bar{v}_{bc}$ =_____　　$\bar{v}_{cd}$ =_____　　$\bar{v}_{de}$ =_____

匀变速直线运动中，某段时间内的平均速度跟这段时间中间时刻瞬时速度的关系，将在第 2 章中说明。

如果把这些平均速度看成各段时间中间时刻的瞬时速度，立即就可以看出，这辆小车每经过相等的时间（0.1 s），速度变化相等。小车做匀变速直线运动，其加速度大小为

a =_____

请画出小车运动的速度图像。

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 1-38）。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。

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。

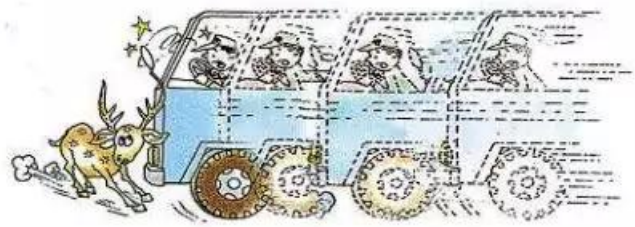


图 1-38　幸免于难的小动物

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。

多学一点　用 DIS 测量加速度

实验装置如图 1-39 所示，使小车沿倾斜平板做加速直线运动，通过运动传感器、数据采集器跟计算机相连。

获得的 v-t 图像（图 1-40）是一条倾斜直线，表示小车做速度均匀变化的运动，即匀加速直线运动。

移动光标键，在图像上取相距较远的 A、B 两点（图 1-40），由它们所对应的速度和时间，可算出小车的加速度

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$



图 1-39　测量加速度的实验装置

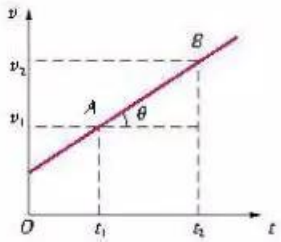


图 1-40　测量加速度

信息浏览

一些物体的加速度大小（单位：m/s²）

加速器中的质子	10^{13}	火箭升空时	10^{2}	万吨货轮起航	10^{-2}
高速离心机中的物质	10^{6}	地球上的自由落体	10^{1}	地球绕太阳公转	10^{-3}
枪膛中的子弹	10^{5}	卡车启动，月球上的自由落体	10^{0}	太阳绕银河系中心公转	10^{-6}
号箭射出时	10^{2}	列车启动时	10^{-1}		

家庭作业与活动

1. 在信息浏览中选取几个数据，用自己的语言说明加速度大小的意义。
2. 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。
3. 在步枪发射子弹的过程中，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。
4. 一只鹰在俯冲时，经过 4 s 速度从 15 m/s 增大到 22 m/s，它的加速度多大？
5. 国家对机动车的运行有着严格的安全技术指标。例如，总质量小于 4.5 t 的汽车以 30 km/h 的速度行驶时，要求制动时间 $t<1.6$ s，那么，这种汽车制动时的加速度至少是多少？
6. 图 1-41 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？

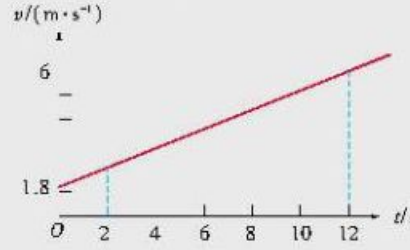
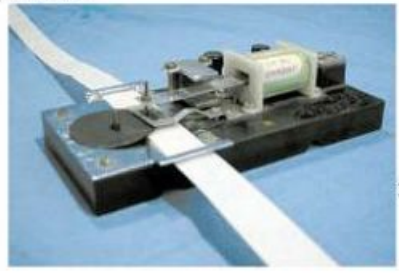


图 1-41

附录　电磁打点计时器

电磁打点计时器的外形如图 1-42 所示。它有底座、通电线圈、振动片、振针、永久磁铁和限位孔等组成。工作电压为 4~6 V。当使用的交流电源频率为 50 Hz 时，电磁打点计时器的计时准确度为 0.020 s。电磁打点计时器的使用方法：



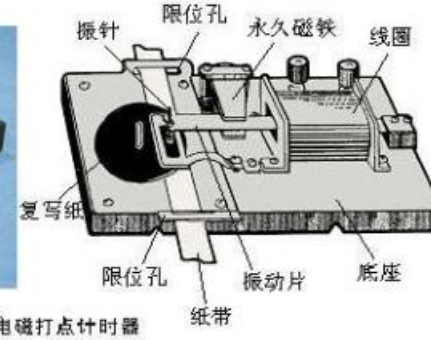


图 1-42　电磁打点计时器

(1) 安装调整　将纸带的一端固定在运动物体(如实验小车、重锤等物体)上，另一端通过电磁打点计时器的限位孔，从振针下面的复写纸下穿过。复写纸的复印面向下，在纸带移动时，可以使上面的复写纸能够随之转动。

接通电源，调整振动片的紧固螺丝，使振动片稳定地振动。再调节振针的高度，以刚好能在纸带上打出点为好，尽量减少振针与纸带的接触时间，以减小运动物体因打点而受到的阻力。

(2) 打点　实验中，应该让打点计时器开始稳定地打点后，再释放运动物体，纸带移动时就可以得到一连串的小点。

(3) 测定时间　打点计时器的打点频率 $f=50$ Hz，即每隔 0.020 s 打一个点。因此，纸带上相邻的两点所表示的时间间隔就等于打点周期 $T=0.020$ s，根据纸带上的打点间隔就可以算出物体的运动时间。

(4) 注意事项　使用时，电源电压和频率必须跟打点计时器的要求相符。

打点计时器属于间歇性工作仪器，每打完一条纸带，应及时切断电源。

由于打点计时器没有同步装置，纸带上第 1 点与第 2 点之间的时间间隔不一定是一个打点周期，在处理纸带时，一般都应该避开使用第 1 点。

1.x

第 1 章家庭作业与活动

1. 通过本章的学习，请总结一下：描述物体运动有哪些方法？
2. 一位同学在军训时按口令，先向东走 3 m，又向北走 2 m，最后向西走 5 m。画出这位同学位移的示意图，并算出位移大小。
3. 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/s²，那么该车在任意 1 s 内
   A. 末速度一定等于初速度的 2 倍
   B. 末速度一定比初速度大 2 m/s
   C. 初速度一定比前 1 s 内的末速度大 2 m/s
   D. 末速度一定比前 1 s 内的初速度大 2 m/s

*4. 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 1–43 所示。两小分队同时从同一处 O 出发，最后同时捕"狐"于 A 点，则
   A. 两队行军路程 $s_{甲} > s_{乙}$
   B. 两队行军位移 $s_{甲} > s_{乙}$
   C. 两队平均速度 $v_{甲} = v_{乙}$
   D. 图 1–43 表示了两队行军的 s–t 图像

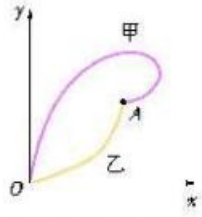


图 1–43　两小分队行军路线

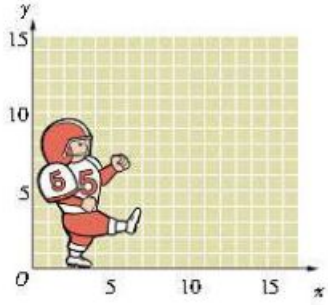


图 1–44　小橄榄球队员

5. 图 1–44 中的"小橄榄球队员"，重心位置坐标是(3,5)，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历的路程是否相同？位移是否相同？
6. 图 1–45 中的 A、B、C 为三位竞走运动员的 s–t 图线，试比较这三条图线，你可以获得哪些信息？

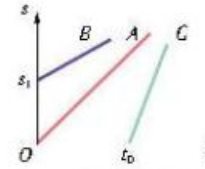


图 1–45　竞走运动员的 s–t 图像

7. 一辆汽车沿平直公路行驶，先以速度 v_1 通过前 $\frac{1}{3}$ 的位移，再以速度 $v_2 = 50$ km/h 通过其余 $\frac{2}{3}$ 的位移。若整个位移中的平均速度为 37.5 km/h，则第一段位移中的速度为多少？
8. 一辆轿车急刹车后，经 3 s 停止运动，已知刹车过程中轿车加速度的大小是 5 m/s²，则汽车的初速度多大？
9. 一个乒乓球以 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，测得球接触拍的时间是 0.02 s，求这个过程中的加速度。
10. 一个人沿平直的街道匀速步行到邮局去寄信，又以原来的速度大小返回原处。设以出发的方向为正，则图 1–46 中，可以近似地描述其运动情况的是图

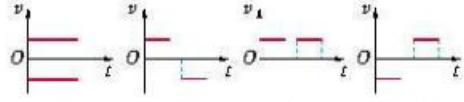


图 1–46



图 2-1　著名的比萨斜塔

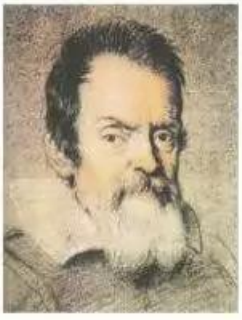
据说，伽利略曾在比萨斜塔做过实验，他从塔的顶楼同时让两个轻重不同的铅球和乌木球下落，大家看到它们同时落地

第 2 章
研究匀变速直线运动的规律

两个轻重不同的小球同时落地的声音，是那样的清脆美妙，又是那样的振聋发聩！它使人们清醒地认识到，轻重不是下落快慢的原因；它动摇了 2000 多年来统治着人们头脑的旧观念，开创了实验和科学推理之先河，将近代物理学以至近代科学推上了历史的舞台。

本章将从落体实验的研究开始，打开通向研究匀变速直线运动的大门，使你从特殊到一般，认识匀变速直线运动的规律，学会用匀变速直线运动的规律去研究和解决具体问题。

2.1 伽利略对落体运动的研究



伽利略　(G. Galilei，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……"

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值得研究的问题吗？

公元前 4 世纪，古希腊伟大的思想家、哲学家亚里士多德 (Aristotle)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 2000 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落下。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。



图 2-2 下落中的铁球与纸团
把纸揉成团，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

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落得快呢？影响落体运动快慢的因素有哪些？

原来，这是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，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，就转向用实验研究落体运动的性质。

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。

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

$$v \propto t$$

伽利略认为："一块原来静止的石头从高处落下的速度连续增加时，为什么不应当相信速度的增加是以一种简单的、也是人们最容易理解的方式在进行呢？"

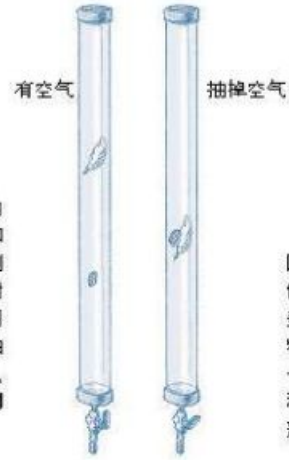


图 2-3 钱毛管实验
一根竖直放置的玻璃管，管内下端放一枚小钱币（金属片）和一片羽毛。管内充有空气时倒转玻璃管，让小钱币、羽毛同时下落。当小钱币落到管底时，羽毛还悠悠地在中间飘着呢！抽掉管内的空气，再倒转玻璃管，可看到羽毛和小钱币同时落到管底



图 2-4 月球上的落体运动实验
美国宇航员大卫·斯科特在登上月球后，从同一高度同时释放锤子和羽毛，看到它们同时落到月球表面

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

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。

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距离与时间的关系上，因为距离是容易测量的。

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，通过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 $v \propto t$ 较容易用实验验证呢？

困难之二 物体下落很快，当时还没有准确的计时工具，很难测定物体通过不同位移的时间。为了减缓物体下落速度，伽利略设计了著名的“冲淡重力”的斜面实验。

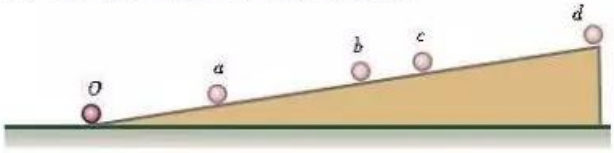


图 2-5 伽利略斜面实验示意图

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	1192	1600	2104

* 记录数据中的“+”表示稍大些



图 2-6 伽利略的“冲淡重力”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

伽利略让小铜球从斜槽的不同位置 a、b、c、d、…由静止滚下，经反复实验后发现，在同一个倾角 θ 的斜面上，小铜球滚下的位移总是与运动时间的平方成正比。如果用 s_1、s_2、s_3、…表示小铜球的不同位移，用 t_1、t_2、t_3、…分别表示对应的时间，上述实验结果可表示为

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

伽利略还发现，斜面的倾角不同时，上述比例关系同样成立，只是这个常数的大小有了变化。随着斜面倾角的增大，这个比例常数的数值也跟着增大。

请讨论：伽利略为什么要用他的斜面实验来研究落体运动的规律？

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。

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”。

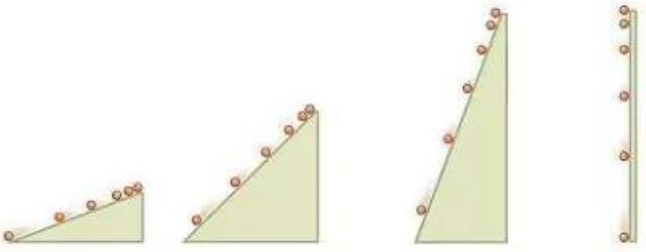


图 2-7 伽利略斜面实验“合理外推”示意图

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：

问题 → 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物理学的研究之路。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

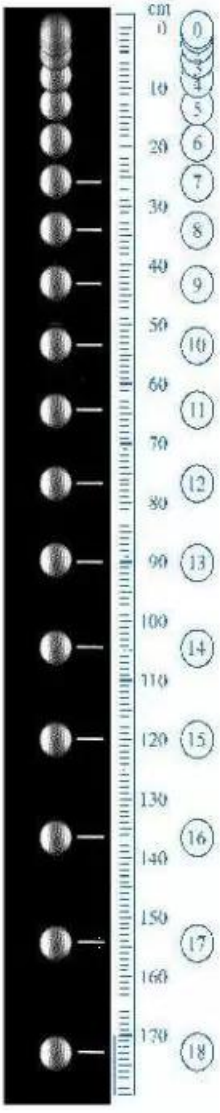


图 2-8　用频闪照相的方法拍摄的小球做自由落体运动的照片(两个像之间的时间间隔 Δt 为 0.033 s)

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"测量时间也是不精密的。

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 2-8 是用频闪照相的方法,拍摄做落体运动的小球得到的照片,照片上相邻两个像相隔时间相同(设为 Δt)。

请测出 $t_1 = \Delta t$、$t_2 = 2\Delta t$、$t_3 = 3\Delta t$ 、…内小球下落高度之比,你能得出 $h \propto t^2$ 的结论吗?

家庭作业与活动

1. 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。
2. 把一张纸尽可能折小或揉紧,使它与橡皮块从同一高度一起做落体运动,仔细观察二者是否同时落地。由此,你能得出什么结论?
3. 伽利略用实验验证 $v \propto t$ 的困难是
   A. 当时没有测量时间的仪器
   B. 不能很准确地测定下落的距离
   C. 不能测出下落物体的瞬时速度
4. 对于做落体运动的小球的频闪照片(图 2-8),下列说法正确吗?为什么?
   (1) 球在下端时的速度大于在上端时的速度;
   (2) 是一个做落体运动的球的运动轨迹。
5. 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。

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的科学观念、方法等各有什么特点。

2.2

自由落体运动的规律

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)。

伽利略的实验告诉我们，自由落体运动是一种速度均匀增加的运动。物体下落的高度跟时间平方成正比。那么，物体自由下落时，每一时刻的速度多大？在不同时间内下落的高度又是多少呢？这些问题，伽利略并没有告诉我们，因此还需要进一步研究它的速度和位移的规律。

一种科学只有成功地运用数学时，才算达到了真正完善的程度。

——卡尔·马克思

自由落体的速度

由于物体是从静止开始下落的，因此，自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动，它的加速度是恒定的。

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/s²，方向竖直向下。

根据加速度的定义，$a=\frac{v_t-v_0}{t}$，在自由落体运动中，$v_0=0$，$a=g$，因此，物体下落经过时间 t 的速度

$$v_t=gt$$

这个式子表明，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。

自由落体的位移

分析论证 推导自由落体的位移公式

利用自由落体运动的 $v-t$ 图像，可导出位移与时间关系的公式。

为此，让我们先来看看匀速直线运动的情况。

匀速直线运动的速度是不随时间变化的，物体在时间 t 内的

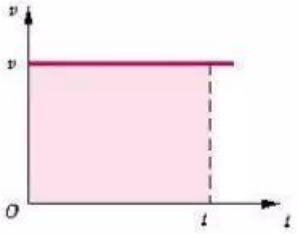


图 2-9 匀速直线运动的 $v-t$ 图像

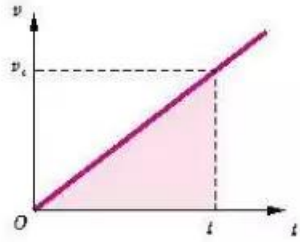


图 2-10　自由落体运动的 $v-t$ 图像

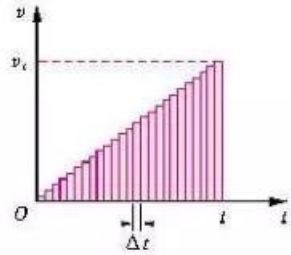


图 2-11　用一系列匀速直线运动代替连续变化的匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

位移

$$s = vt$$

在平面直角坐标系中，它的 $v-t$ 图像是与横轴平行的直线(图 2-9)。

从图 2-9 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。

自由落体运动的 $v-t$ 图像是一条通过坐标原点的倾斜直线(图 2-10)。类似地，倾斜直线下方三角形的面积也对应着物体在时间 t 内的位移，即

$$h = \frac{1}{2}v_t t = \frac{1}{2}gt^2$$

为什么这个三角形的面积能表示位移呢？

可以这样理解：设想把落体经历的时间 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 2-10)上，原来倾斜的直线就被一条阶梯状的折线所取代(图 2-11)。图中每一个小矩形的面积，就对应着 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。

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”——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。

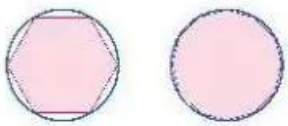


图 2-12　刘徽的“割圆术”

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重要的应用。

根据自由落体运动的位移公式，利用图 2-8 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 2-8 的频闪照片设计测算的方案、步骤、数据记录

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

你能想出其他的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。

表格等，测算出 g 的值。

实验表明，在同一地点，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。

月球表面的重力加速度大约是地球表面重力加速度的 $\frac{1}{6}$。

一些地方重力加速度的数值 $g/(\mathrm{m\cdot s^{-2}})$

地 点	纬 度	重力加速度
赤 道	0°	9.780
广 州	23°06′	9.788
武 汉	30°33′	9.794
上 海	31°12′	9.794
东 京	35°43′	9.798
北 京	39°56′	9.801
纽 约	40°40′	9.803
莫斯科	55°45′	9.816
北 极	90°	9.832

多学一点

位移公式的另一种推导

对于自由落体的位移公式，上面利用 $v-t$ 图像进行了推导。其实，这个公式，也不难用代数方法导出。

请运用速度、加速度等概念，参阅下面的信息，用代数方法推导出自由落体的位移公式。

速度与位移的关系

根据速度公式算出时间 $t=\frac{v_t}{g}$，把它代入位移公式，得

$$h=\frac{1}{2}g\left(\frac{v_t}{g}\right)^2=\frac{v_t^2}{2g}$$

改写成

$$v_t^2=2gh$$

这个公式直接把自由落体的瞬时速度和位移联系起来，有时用它会显得很方便。

案例分析

案例 比萨斜塔塔高 54.5 m，如伽利略在塔的顶端让一只铁

球向地面自由下落，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 $9.8\ \text{m/s}^2$。根据公式 $h = \frac{1}{2}gt^2$，可求出铁球下落的时间

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

根据公式 $v_t = gt$，可求出铁球落到地面时的速度

$$v_t = gt = 9.8\times 3.34\ \text{m/s}$$
$$\approx 32.7\ \text{m/s}$$

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。

信息浏览

梅尔敦定理

在伽利略之前，1280 年到 1340 年期间，英国牛津的梅尔敦学院的数学家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，这一结论后来被人们称为"梅尔敦定理"。

将这一定理应用于匀加速直线运动，并用我们现在的语言来表述，就是：如果一个物体的速度是均匀增加的，那么，它在某段时间内的平均速度就等于初速度与末速度之和的一半。

请用最简捷的方法，计算 $1 + 2 + \cdots + 99 + 100$ 的和。

家庭作业与活动

1. 关于自由落体的位移公式，有人作如下推导：由于 $v = gt$，$h = vt$，则可推得 $h = gt^2$。这种推导方法错在哪里？
2. 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
3. 月球表面附近重力加速度的大小约是地球表面附近重力加速度大小的 $\frac{1}{6}$，在月球上空 196 m 的高处使一套质量为 60 kg 的仪器自由下落。它落到月球表面的时间是多少？
4. 一名攀岩运动员在登上陡峭的峰顶时不小心碰落了一块石头。
   (1) 经历 1 s，石头落下多少距离？第 1 秒末的速度多大？
   (2) 在第 2 秒内（从第 1 秒末至第 2 秒末），石头落下多少距离？
   (3) 经历 8 s 后他听到石头落到地面。问石头落地时的速度有多大？这个山峰有多高？
   (4) 若考虑到声音传播的时间，讨论一下，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？
5. 设计一个实验，不用卷尺，估测教学大楼 4 楼阳台离地面的高度。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！

分析 根据题意，航天飞机着陆时做匀减速运动。航天飞机刚着陆时的速度，就是它做减速运动的初速度，其末速度为零。根据加速度的定义，可算出它做这一运动的时间，然后利用位移公式，可算出位移，这也就是跑道的最小长度。

解答 根据题设，初速度 $v_0 = 100\ \mathrm{m/s}$，加速度 $a = -4\ \mathrm{m/s^2}$。设经时间 t 停住，末速度 $v_t = 0$。由速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

得减速运动的时间

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - 100}{-4}\ \mathrm{s} = 25\ \mathrm{s}$$

在这段时间内做减速运动的位移为

$$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = 100 \times 25\ \mathrm{m} + \frac{1}{2} \times (-4) \times 25^2\ \mathrm{m} = 1250\ \mathrm{m}$$

所以跑道长度至少为 1250 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？

多学一点 自己去发现新公式——速度跟位移的关系

上面的案例中，没有给出航天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，可以通过速度公式和位移公式设法消去时间 t，这样，就可以直接沟通匀变速直线运动的速度跟位移的关系。

请你把这个关系推导出来。

课题研究

实验研究匀变速直线运动

在 2.2 节中，我们从伽利略的实验和频闪照片，已经对实验研究匀变速直线运动有了初步的认识。现在，请你利用打点计时器研究匀变速直线运动。要求自己设计数据表，画出小车运动的 v-t 图像，算出加速度的大小。有条件的话，请利用 DIS 实验系统进行研究。

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. 加速度恒定的直线运动
2. 下列某三种型号汽车的加速度数据：

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

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

3. 国家对某型号汽车运行的安全技术标准如下：

汽车载重标准为 4.5 t≤质量≤12 t
空载检测的制动距离（车速 20 km/h）≤3.8 m
满载检测的制动距离（车速 30 km/h）≤8.0 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加速运动的时间。
5. 如果物体从某时刻起改做匀减速直线运动，如汽车制动后的滑行过程，那么它的 v–t 图像应该怎样画？

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

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 2-17 所示为深受青少年喜爱的滑板车运动，运动员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。



图 2-17 小孩站在滑板车上沿斜坡滑下

案例分析

案例 1 在高速公路上，有时会发生“追尾”的事故——后面的汽车撞上前面的汽车。请分析一下，造成“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大小为 5 m/s²，司机的反应时间（从意识到应该制动至操作制动的时间）为 0.6 ~ 0.7 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“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

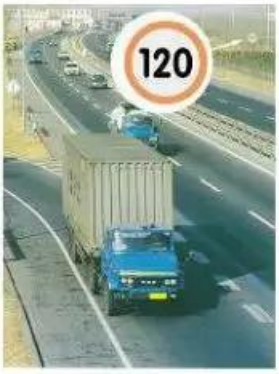


图 2-18　某地高速公路的限速标志

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，制动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。其运动情况如图 2-19 所示。为确保安全行车，反应时间应取 0.7 s 计算。



图 2-19　汽车紧急制动前后的运动

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

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

公安部门规定：严禁酒后驾车，你能帮助解释它的道理吗？

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。

案例 2　某市规定，汽车在学校门前马路上的行驶速度不得超过 40 km/h。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，立即判断出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，即需要求出初速度 v_0。

根据匀变速直线运动的速度均匀变化的特点，由制动后的滑

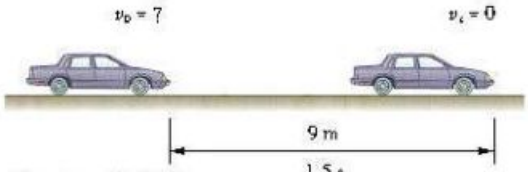


图 2-20　制动滑行

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。

假设案例 2 中车痕长 $s = 9\,\text{m}$,滑行时间 $t = 1.5\,\text{s}$(图 2-20),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 2-21),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

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

得出汽车的初速度

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

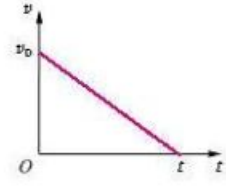


图 2-21　汽车刹车滑行的 v-t 图像



图 2-14　旅客自动输送带
许多机场的候机楼内部有一种旅客自动输送带，它能以恒定的速度输送站在带上的旅客。如果旅客 A 站到带上后，又匀加速向前跑动，那么他相对于站立在输送带外的旅客 B 的运动，就是初速度不为零的匀加速运动

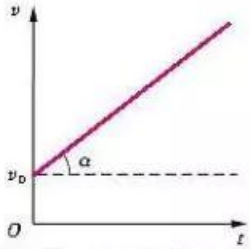


图 2-15　初速度不为零的匀加速直线运动的 v-t 图像

初速度不等于零的匀加速运动的 v-t 图像如图 2-15 所示。纵轴上的截距表示初速度 v_0 的大小。

初速度为零的匀加速直线运动，可以看成是 $v_0 = 0$ 时的一种特例。

讨论与思考

1. 请根据加速度的定义式 $\left(a = \frac{v_t - v_0}{t}\right)$，推导出匀变速直线运动的速度公式。

2. 根据匀变速直线运动速度均匀变化的特点可知，某段时间内的位移 $s = \bar{v}t = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$，请结合速度公式推导出位移公式 $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$。

推导自由落体位移公式时已经指出，v-t 图像下的一块面积，表示相应时间内的位移。你能否根据这个关系，利用图 2-15 推导出位移公式？

图 2-16　减速滑行的航天飞机



案例分析

案例　航天飞机着陆时速度很大，可以用阻力伞使它减速(图 2-16)。假设一架航天飞机在一条笔直的水平跑道上着陆，刚着陆时速度为 100 m/s，在着陆的同时立即打开阻力伞，加上地面的摩擦作用，产生大小为 −4 m/s² 的加速度。研究一下，这条跑道至少要多长？

家庭作业与活动

1. 对于做匀变速直线运动的物体，在时间一定的情况下，则：
   A. 它的位移与初速度成正比
   B. 它的位移与平均速度成正比
   C. 它的位移与末速度成正比
   D. 它的位移与加速度成正比
2. 车站上的一名工作人员站在站台上靠近火车第一节车厢的车头旁。当火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)为
   A. 3 节　　B. 6 节
   C. 9 节　　D. 12 节
3. 一辆汽车以 10 m/s 的速度沿平直公路行驶，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就会停止？
4. 一列火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，求火车滑行的总位移和最后 10 s 内的位移。
5. 以 54 km/h 的速度行驶的火车，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/s²，启动产生的加速度大小是 0.5 m/s²，求火车由于临时停车所延误的时间。

2.x

第 2 章家庭作业与活动

1. 两位同学分别在塔的不同高度，用两个轻重不同的球做自由落体实验，已知甲球所受的重力是乙球的 2 倍，释放甲球处的高度是释放乙球处高度的 $\frac{1}{2}$，则
   A. 甲球下落的加速度是乙球的 2 倍
   B. 甲球落地的速度是乙球的 $\frac{1}{2}$
   C. 甲、乙两球各落下 1 s 时的速度相等
   D. 甲、乙两球各落下 1 m 时的速度相等
2. 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，则在下落过程中，下列判断中正确的是(g 取 10 m/s²)
   A. 甲相对乙做自由落体运动
   B. 甲相对乙做向下的匀速运动
   C. 甲、乙两球的速度之差越来越大
   D. 甲、乙两球之间的距离越来越大
3. 火车从甲站出发，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。在先后两个运动过程中
   A. 火车的位移一定相等
   B. 火车的加速度大小一定相等
   C. 火车的平均速度一定相等
   D. 所用的时间一定相等
4. 一列火车以 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/s² 的加速度做匀减速运动，则它在制动后 1 min 内的位移是
   A. 240 m　B. 250 m　C. 300 m　D. 90 m
5. 做自由落体运动的小球，通过前一半位移和后一半位移所用时间之比为
   A. 1:2　　B. $\sqrt{2}$:1
   C. 1:($\sqrt{2}$+1)　D. ($\sqrt{2}$+1):1
6. 火车从车站出发，沿平直铁路以加速度 a=1 m/s² 做匀加速直线运动，则
   (1) 它在 10 s、20 s、30 s 内通过的位移之比为多少？
   (2) 它在第 1 个 10 s、第 2 个 10 s、第 3 个 10 s 内通过的位移之比为多少？
   (3) 通过解答上面两个问题，能否对初速度为零的匀加速直线运动的位移找出一个比例关系？

7. 一次消防演习中，一个从火灾中逃生的"小孩"从12楼的窗口跌下。设各层楼高3 m，消防队员离开该幢楼底层约10 m，看到情况起跑的反应时间为1.2 s。若这个消防队员恰能赶到楼下接住"小孩"，那么要求他跑动的速度至少是多少？

8. 一位学生设计了一个测定自由落体加速度的实验。如图2-22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，在下方地上放一个金属盘子。调节夹子的松紧，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。若以某次响声为"零"，待数到"100"时测得时间为40 s，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2-22 测定自由落体加速度的实验



* 9. 一个做匀变速直线运动的物体，某时刻速度大小为$v_1 = 4$ m/s，1 s后的速度大小为10 m/s，在这1 s内该物体的

A. 位移大小可能小于4 m

B. 位移大小可能大于10 m

C. 加速度的大小可能小于4 m/s²

D. 加速度的大小可能大于10 m/s²

*10. 一列货车以$v_1 = 28.8$ 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$v_2 = 72$ km/h的速度在同一铁轨上驶来。在相距$s_0 = 600$ m处客车司机发现货车后立即紧急制动。为不使两车相撞，客车的制动加速度至少多大？

*11. 如图2-23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，从距甲车128 m处以大小为1 m/s²的加速度做匀加速运动，问：乙车经多少时间能追上甲车？



图2-23 两车的追及问题

*12. 跳伞表演被称为"空中芭蕾"（图2-24）。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/s²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/s²，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2-24 "空中芭蕾"

第3章
力与相互作用



图 3-1　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。同学们围绕着拔河比赛，提出了许多值得探讨的问题：

· 拔河时每个运动员受到了哪几种力的作用？

· 相持时双方的拉力一定大小相等，方向相反；当甲方齐心协力把绳子缓缓朝他们方向拉过去的时候，甲方的拉力一定比乙方大吗？

· 能不能设计一个实验，比较一下双方拉力的大小？

· 拔河比赛中的绳子很结实，它受到拉力后会伸长吗？

· 有人说，运动员的体重越大，拔河时越有利，为什么？

· 拔河时，决定胜负的主要因素是什么？

……

全部科学不外是日常想法的提炼。

——爱因斯坦

在本章中，我们将以拔河为背景，用实验探究力的相互作用规律，进而学习研究有关弹力、摩擦力的知识，最后综合这些知识，学会对物体进行受力分析。当学完这一章时，你不仅对拔河比赛中运动员的受力情况可以有一个比较清楚的了解，更重要的是可以为学习物理打下一个必不可少的基础。

3.1 牛顿第三定律

从拔河比赛谈起

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——一个大男孩和一个小女孩，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 3-2 所示。

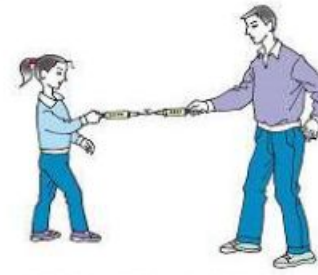


图 3-2 大男孩与小女孩对拉

实验分为下列几个步骤：

(1) 让小女孩“主动”拉大男孩；

(2) 让大男孩“主动”拉小女孩；

(3) 双方同时施加拉力；

(4) 让大男孩穿上溜冰鞋站在水泥地上，小女孩站在草地上对拉(图 3-3)。



图 3-3 大男孩穿上溜冰鞋与小女孩对拉

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。

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)。当大男孩对小女孩施力的同时，小女孩对大男孩也施以同样大小的力。如果把大男孩对小女孩的力叫做作用力，那么，小女孩对大男孩的力就叫做反作用力。宇宙间的任何物体都始终处在既受力、又施力的状态中(图 3-5)。



图 3-4 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

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 third law)。简单

大量事实证明，作用力与反作用力的性质一定相同。

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。



a　地球以引力召唤苹果，苹果回敬地球同样大小的吸引力



b　小孩站在滑板上用力压地面，地面回敬滑板的力，使板和小孩向上跳起

图 3-5　作用力与反作用力

地可以表示为

$$F_{甲对乙} = -F_{乙对甲}$$

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。

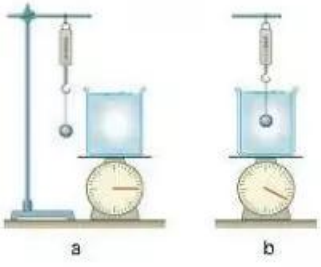


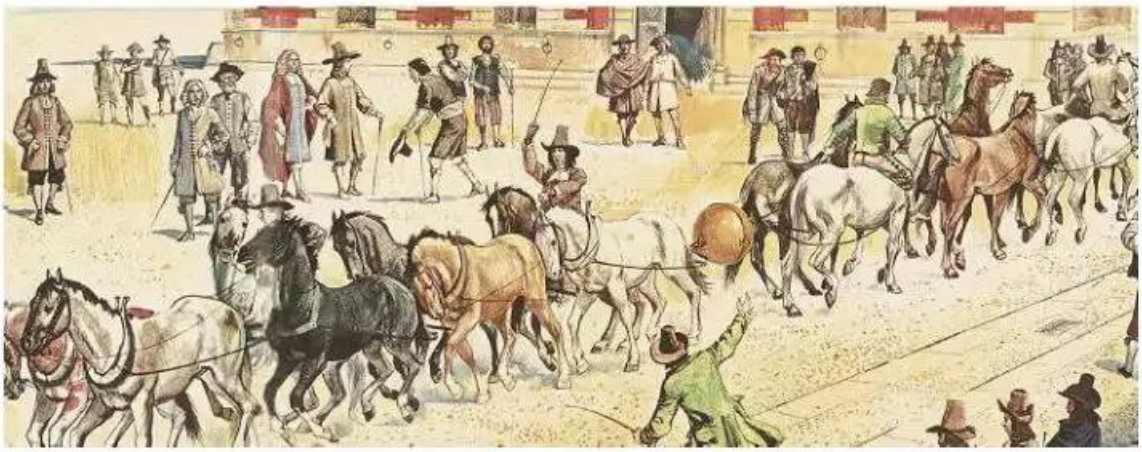
图 3-6　研究浮力的反作用力

实验探究　浮力的反作用力

实验装置如图 3-6a 所示，在铁架台上用弹簧测力计挂住一个铁球，在圆盘测力计的托板上放一杯水，分别读出两测力计的示数。

把小球浸没在水中，如图 3-6b 所示。弹簧测力计的示数怎样变化？圆盘测力计的示数怎样变化？二者有什么关系？

图 3-7　马德堡半球实验



讨论与思考

1. 既然作用力与反作用力大小相等，方向相反，作用在一直线上，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 3-7）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？



图 3-8 飞船的对接

4. 航天技术中的“对接”，是通过专门的对接装置使追踪航天器和目标飞行器连接成一个整体。早在 1966 年，就在地球上空做过用“双子星”号飞船去接触正在轨道上运行的火箭组的实验。若接触后“双子星”号飞船用力 F 推着火箭组加速，那么火箭组对“双子星”号飞船的作用力 F' 的大小与 F 有什么关系？

多学一点 用 DIS 验证物体间的相互作用

如图 3-9 所示，用一辆电动玩具汽车拖动另一辆无动力的玩具汽车，在两车挂接处装上两个力传感器探头，并把它们的挂钩钩在一起。当电动玩具汽车通电后拉着另一辆车向前运动时，可以在显示屏上呈现出相互作用力随时间变化的图像。或者，直接用手施加压力，使它显示出相互作用力的图像（图 3-10）。

分析这幅 F-t 图像，你能得出什么结论？



图 3-9 装有传感器的两辆玩具汽车的示意图

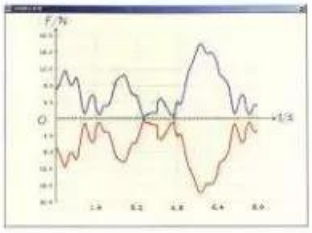


图 3-10 相互作用力随时间变化的图像

STS

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 3-11)。

早期的螺旋桨飞机也是应用了这个道理(图 3-12)，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 3-13)。

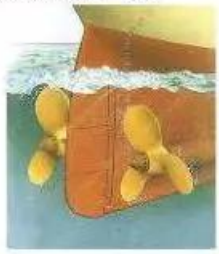


图 3-11 轮船的螺旋桨



图 3-12 螺旋桨飞机



图 3-13 划艇

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 3-14 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 3-14 电风扇

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. 用一根轻弹簧竖直悬挂一个小球，小球和弹簧的受力图如图 3-15 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 的施力者是弹簧
   D. F_2 的施力者是小球



图 3-15 弹簧小球

5. 有条件时，请参与图 3-16 所示的活动，体会一下力的相互作用，并由这个活动提出一二个问题。

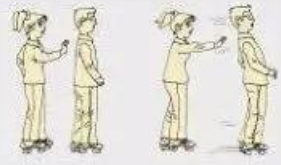


图 3-16 相互作用的游戏

3.2 弹力

形变与弹力

拔河比赛中使用的虽然是一根很结实的绳子，但受到两队运动员方向相反的拉力后，它也会微微伸长。

实践证明，任何物体，即使受到很小的力，都会发生形变。

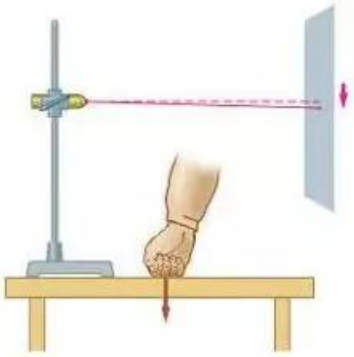


图 3-17 讲台的微小形变
把一支激光笔固定在讲台上，激光射在对面墙上形成一个鲜红的光斑，然后稍稍用力压一下讲台，光斑就会发生明显的移动

发生弹性形变的物体，由于要恢复原状，就会对跟它接触使它发生形变的物体产生力的作用，这种力叫做弹力(elastic force，图 3-18)。弹力与形变始终伴随在一起，形影不离。



图 3-18 弹簧的形变与弹力
弹簧受到拉力后发生形变(伸长)，发生形变的弹簧力图恢复原状，对手产生弹力

讨论与思考

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？



图 3-19　汽车的减震弹簧

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。



图 3-20　供选用的器材

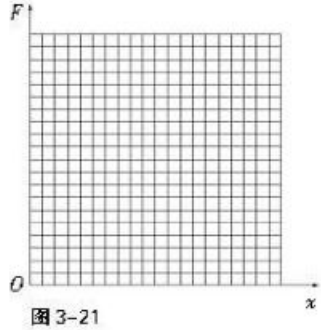


图 3-21

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原理制成的。

实验探究　探究胡克定律

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。

为了验证你的猜想，请利用图 3-20 所示的装置，完成实验探究。

实验数据记录表

	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					

请根据实验数据，在坐标纸（图 3-21）上画出 F-x 图像。

实验中，你使用了哪些器材？通过实验得出什么结论。

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 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。

讨论与思考

某弹簧的劲度系数 $k=10^3\ \mathrm{N/m}$，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？

请用胡克定律解释弹簧测力计的刻度呈均匀分布的原因。

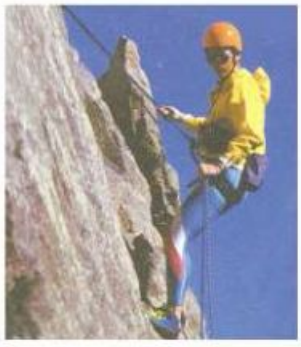
作用在弹簧上的力超过一定程度时，弹簧就不能恢复原状。因此，使弹簧发生弹性形变也有一定的限度，这个限度叫做弹性限度。

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 3-22a、b 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，方向沿着绳子向上

图 3-22 弹力的方向

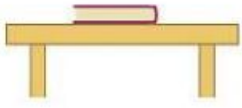


图 3-23 书和桌面

讨论与思考

一本书放在水平的桌面上（图 3-23），书和桌面都会发生形变。请画出它们之间的弹力。

图 3-24 中，将质量均匀分布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。

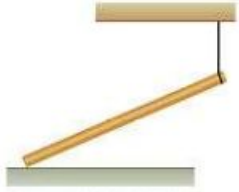


图 3-24 棒受到的弹力

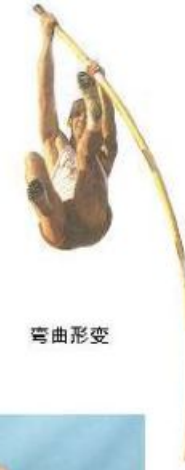
多种多样的形变

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 3-25）。

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



压缩与拉伸形变



弯曲形变



扭转形变



剪切形变

图 3-25　多种多样的形变

图 3-25 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。

信息浏览

郑玄的发现

东汉时期的郑玄对《考工记》作注时说道："假令弓力胜三石，引之中三尺，弛其弦，以绳缓擐之，每加物一石，则张一尺。"意思是说，假定拉开弓的力在三石以上，拉弓可拉到三尺，如果把弓上的弦放松，另用一条绳松松系住弓的两端，绳上所挂重物每增加一石，弓就张一尺。这非常明显地揭示了"力和形变成正比"的线性关系。

郑玄的发现比胡克早1500年。

胡克的字谜

胡克在研究弹簧的弹性时，得到一个重要的结论：弹性与力成正比（ut tensio sic vis）。据说，他唯恐丧失发现权，就用字谜的形式表示它：ceiiiinosssttuv。显然，别人是无法猜透的，因为他把每个词拆成字母，再按字母表顺序排列起来。直到1676年，胡克在他的《论弹性的势》一书中，才揭开了这个谜底。

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 3-26），你就可以把图 3-25 中的各种形变显示出来，请试验一下。



图 3-26 橡皮的形变

3. 如图 3-27 所示，一本书放在斜面上，请画出斜面形变产生的弹力方向。



图 3-27 斜面上的书

4. 如图 3-28 所示，一个质量均匀分布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。
5. 家中沙发弹簧跟自行车坐垫弹簧相比，哪一种弹簧的劲度系数大些？



图 3-28

6. 如图 3-29 所示，一根轻弹簧原长 20 cm，竖直悬挂着，当用 15 N 的力向下拉弹簧时（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，弹簧长多少？

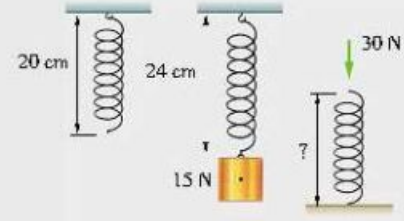


图 3-29 弹簧长度的变化

课外活动

1. 利用你实验所用的弹簧，与小组同学一起，在课后制作一个简易弹簧测力计。
2. 根据图 3-30 所示的装置，先测出不挂砝码时弹簧下端指针所指的标尺刻度，然后在弹簧下端挂上砝码，并逐个增加砝码，依次测出指针所指的标尺刻度，填入自己设计的表格中。在方格纸上作出标尺刻度与砝码质量的关系图像，确定这种弹簧的劲度系数。

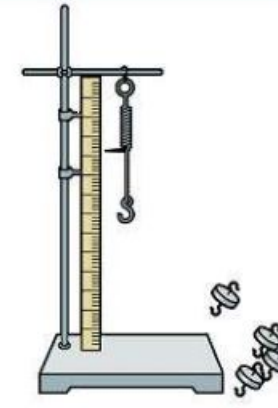


图 3-30

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表面材料的性质等因素有关，滑动摩擦力的方向总是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表面的材料性质有关，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的摩擦力大小？

实验装置如图 3-31 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。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，匀速拉动木块，从测力计的示数再次读出摩擦力的数值。如此进行多次实验，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材料性质、表面状况(粗糙程度、干湿情况等)有关。



图 3-31

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。

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		

讨论与思考

1. 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？

2. 根据滑动摩擦力的公式，你能对“拔河时体重越大越有利”的说法作出合理的解释吗？

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——达·芬奇就已对摩擦作过研究，可惜，他当时的研究没有公诸于世。后来，在17~19世纪，法国科学家阿蒙东（G. Amontons）、库仑（C. Coulomb）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3-32）。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



图3-32 难舍难分的两本书

作用呢？

认识静摩擦力的大小及最大静摩擦力

如图 3-33 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拉力。

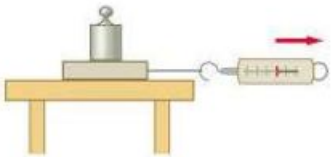


图 3-33　认识静摩擦力

当拉力较小时，木块没有被拉动，但相对桌面有滑动的趋势，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 friction)。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** (the maximum force of static friction)。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。



图 3-34　气垫船

在生产和日常生活中，开车行进、机器制动、走路等，都是依靠了摩擦力。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，或采用气垫悬浮或磁悬浮等先进技术。

案例分析

案例　如图 3-35 所示，在水平桌面上放一块所受重力为 G_A = 20 N 的木块 A，已知木块与桌面间的动摩擦因数 μ_A = 0.4，那么：

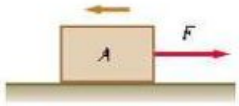


图 3-35　用力拉一块木块

(1) 使木块 A 沿桌面做匀速直线运动时的水平拉力 F=___N；

(2) 如果再在木块 A 上加一块所受重力为 G_B = 10 N 的木块 B(图 3-36)，已知 B 与 A 之间的动摩擦因数 μ_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' =_____N。

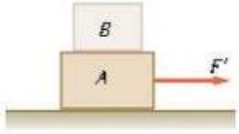


图 3-36　用力拉两块木块

分析

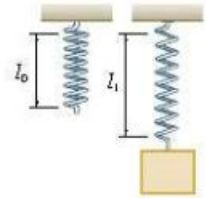
(1) 开始时，木块 A 与桌面间的压力大小等于 A 所受的重力，使木块 A 做匀速直线运动的拉力等于木块 A 所受的摩擦力。

(2) 加上木块 B，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。使这一整体做匀

速直线运动的拉力等于这个整体所受的摩擦力。

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？



多学一点 用间接测量的方法测定动摩擦因数

实验桌上放有小木块、长木板、轻弹簧、直尺、细线等，请设计一个实验，测出小木块与长木板间的动摩擦因数。要求说明实验主要步骤，列出测量结果的表达式。

根据公式 $f=\mu N$ 可知，为测定 μ，需先测出压力与摩擦力。但由于没有测力计，无法直接测出压力与摩擦力的大小，能否另辟蹊径？

图 3-37 表示了你已经学到的背景知识，你能否借此设法测出动摩擦因数？

请设计合理的实验步骤，得出 μ 的表达式。

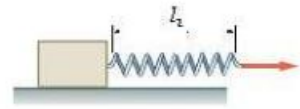


图 3-37 间接测量动摩擦因数

通过转换，用某些容易直接测量（或显示）的量，代替不能直接测量（或显示）的量，是物理实验中常用的一个方法。

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着一个问题：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，带动其余的车轮在轨道上滚动（图 3-38）。

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 3-39）。这两种方案中，机车的速度仅 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"，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不太清楚。

现在我们知道了，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瞬间相对于轨道是静止的，仅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拖着车辆向前运动的（图3-40）。

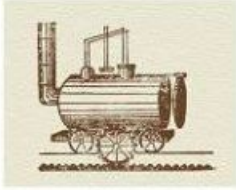


图 3-38 带齿轨的火车



图 3-39 有"铁腿"的火车

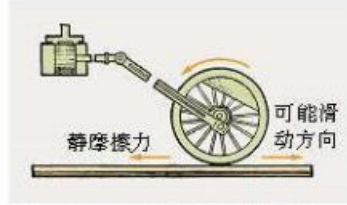


图 3-40 机车"自己推自己"的奥秘

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. 一个所受重力为 200 N 的桌子放在水平地面上，当用水平力 F_1 = 10 N 推它时，桌子没有被推动，则地面对桌子的静摩擦力 f_1 = _____。当水平力增至 F_2 = 50 N，桌面刚能被推动，则地面对桌子的最大静摩擦力 f_{max} = _____。桌子被推动后，只需用 45 N 的水平推力，就能使桌子沿地面做匀速运动，则桌子与地面间的动摩擦因数 μ = _____。
3. 下列说法中正确的是
   A. 物体越重，越难使它滑动，所以摩擦力跟物重成正比
   B. 滑动摩擦力可以跟物体的重力无关
   C. 滑动摩擦力的方向总是跟物体的运动方向相反
   D. 滑动摩擦力总是对物体的运动起阻碍作用
4. 下列关于静摩擦力的说法中错误的是
   A. 两个相对静止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
5. 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。当用水平力 F 推木板，使它经过图 3–41 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

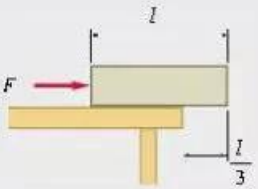


图 3–41　桌面的摩擦力

6. 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 3–42 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，跟你的同伴一起再作一次探究，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。

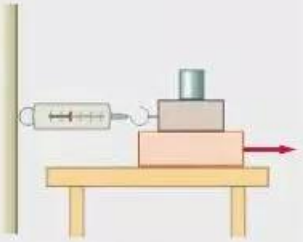


图 3–42　探究滑动摩擦力

课外活动

图 3–43 是一种防滑鞋，其鞋底与地面之间的摩擦因数较大，穿上后行走，即使地板上有水或打过蜡，也不会滑倒，而且不会划伤地板。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 3–43　防滑鞋



图 3-44 “神舟”5 号从发射到入轨的过程

3.4

分析物体的受力

2003 年 10 月 15 日，我国成功地发射了载人飞船“神舟”5 号，图 3-44 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。

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、物体的一部分或某个作用点。

例如，图 3-45 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。

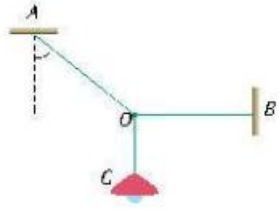


图 3-45

选定研究对象后，接着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，它的方向跟物体运动方向相反，它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，这是物理中常用的

一种研究方法。

受力分析的实例

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。这个物体跟其他物体的相互作用都是某种力。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。

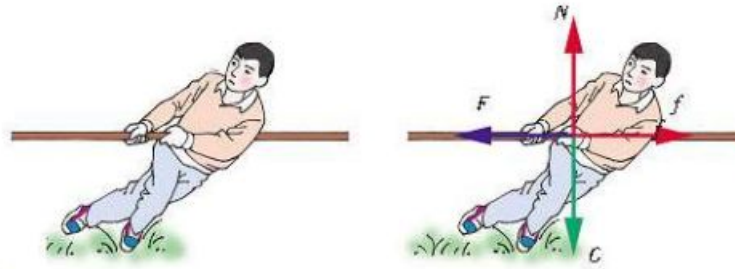
案例 1 如果把拔河比赛中的一队运动员简化为一个运动员，请画出他的受力示意图。

分析 这里的研究对象是一个运动员，我们把他跟绳子和比赛对手隔离开来，然后从易到难，先从重力着手，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。

运动员跟周围的联系有绳子和地面。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 3-46 所示。



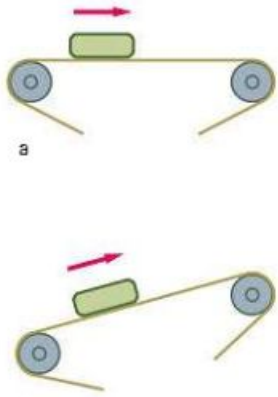
a 拔河运动员水平向右拉绳子　　b 拔河运动员的受力情况

图 3-46

通过对运动员的受力分析，请你从物理学的角度总结一下取得拔河比赛胜利的因素，并相互讨论。

案例 2 在机场和海港，常用输送带运送旅客和行李、货物。如图 3-47 所示，a为水平输送带，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. a、b 两种情况中的行李箱都受到两个力作用



a

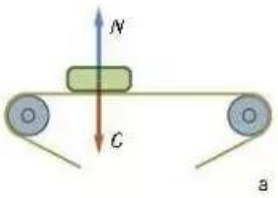
b

图 3-47 两种输送带

B. a、b两种情况中的行李箱都受到三个力作用

C. 情况 a 中的行李箱受到三个力作用，情况 b 中的行李箱受到四个力作用

D. 情况 a 中的行李箱受到两个力作用，情况 b 中的行李箱受到三个力作用



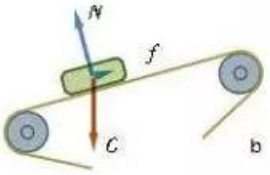


图 3-48 输送带上箱子的受力示意图

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联系，由于行李箱对输送带有压力作用，输送带对行李箱产生弹力，其方向垂直输送带向上。

在情况 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。

在情况 b 中，行李箱虽然同样随输送带一起做匀速直线运动，但它时刻都有沿带下滑的趋势，只是由于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 3-48 所示。

所以，正确答案是 D。

讨论与思考

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 3-49 所示，水平输送带正以速度 v 运动，旅客把行李箱轻轻放在带的左端。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，箱子依惯性随输送带一起运动。

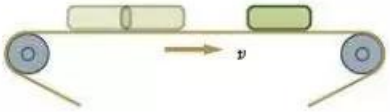


图 3-49 输送带上箱子的运动

究重力产生的效果时，有两位同学分别画出如图 4-18 a、b 所示的两种分解方法，请对这两种分解作一评价。

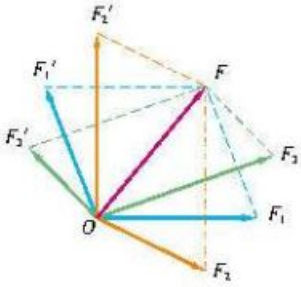


图 4-17　一个力的多种分解

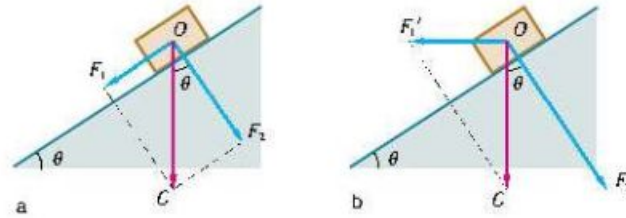


图 4-18　哪种分解较为合理

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重力的作用效果时，图 4-18a 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，既会顺势下滑，又对斜面施加着压力(图 4-19)。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

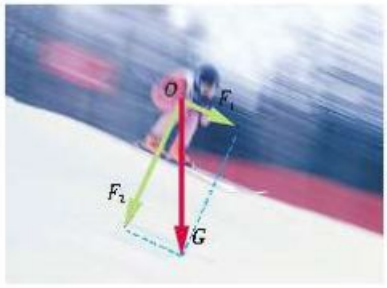
$$F_1 = G\sin\theta$$

$$F_2 = G\cos\theta$$

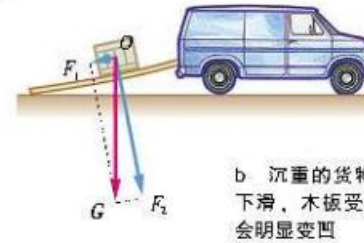
由此可见，放在斜面上的物体对斜面压力的大小不等于物体的重力，而且随着倾角的增大，垂直于斜面的分力逐渐减小，沿着斜面的分力则逐渐增大。

力的分解必须依据力的作用效果。

把一个力分解成互相垂直的两个分力，称为正交分解法。这种分解法在物理学中最为常用。



a　滑雪运动员依靠重力的下滑分力沿山坡下滑



b　沉重的货物沿木板下滑，木板受到压力，会明显变凹

图 4-19　重力的一种正交分解

多学一点　力的分解在斜拉桥中的应用

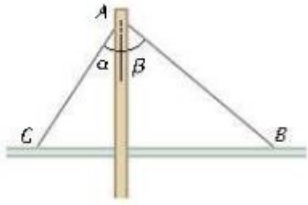


图 4-20　不对称的钢索

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 4-20)，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：一方面竖直向下压塔柱，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 4-21）。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

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

因为

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

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

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 4-22 所示的斜三角形找出上述关系。

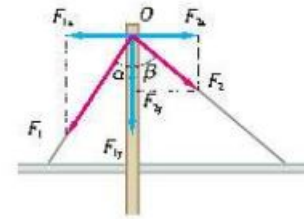


图 4-21　从力的分解的角度分析

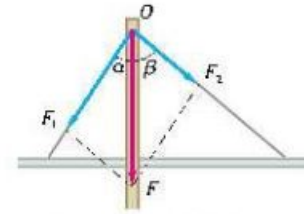


图 4-22　从力的合成的角度分析

家庭作业与活动

1. 对于图 4-18a，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？
2. 如图 4-23 所示，两根轻杆铰接后，悬挂着一个鸟笼。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 4-23　悬挂的鸟笼

3. 如图 4-24 所示，匈牙利的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 1900 N，绳子与地面的夹角为 30°，则牵引汽车向前的力为 _____。



图 4-24　大力士牵引汽车

4. 一位同学不幸因某次事故造成小腿受伤，在医院中用如图 4-25 所示的装置进行牵引治



图 4-25　牵引治疗

疗。不计定滑轮的摩擦和绳子质量，则这个牵引装置对他脚的水平牵引力为 _____，作用于脚和腿总的向上的力为 _____。

5. 把一块三角板放在较光滑的水平桌面上，并紧靠着一块较光滑的竖直挡板，然后在三角板的斜边施加一个斜向的力 F，如图 4-26 所示。先猜测一下三角板会向哪个方向滑动？然后动手试一试，并分析其原因。

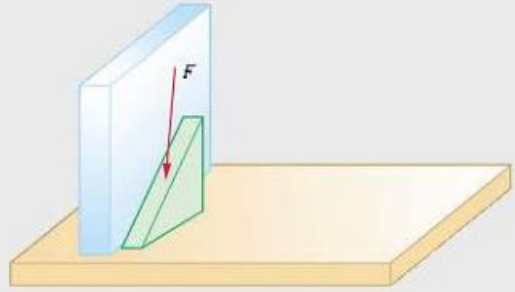


图 4-26

4.3

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4-27)。





图4-27 处于静止的平衡物体





图4-28 处于运动的平衡物体

此外，沿平直铁路做匀速直线运动的火车、在医院的检验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，这些物体，也都处于平衡状态(图4-28)。

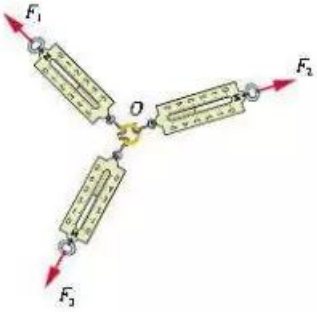


图 4-29　关于共点力平衡的实验

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，当物体受到三个或三个以上共点力作用而处于平衡状态时，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 O，如图 4-29 所示。记下三个测力计的拉力的方向及大小，用力的图示法在纸上表示出各个力。

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时满足的条件。

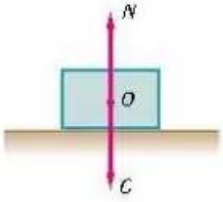


图 4-30　二力平衡

分析论证　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 4-30 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 $F_{合}=0$。

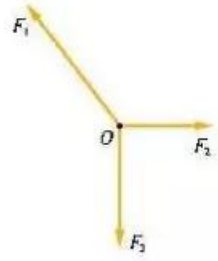


图 4-31　三力平衡

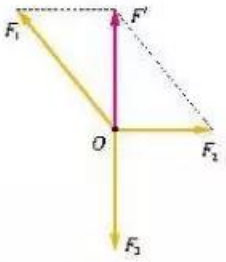


图 4-32　平衡的条件——合力等于零

图 4-31 中 O 点受到三个力的作用处于平衡。若把其中 F_1、F_2 先合成一个 F'(图 4-32)，即可简化为二力平衡的情况。可以发现，它们同样满足条件

$$F_{合}=0$$

进一步研究表明，**物体在多个共点力作用下平衡时，合力总等于零**(图 4-33)。这就是物体受到共点力作用时处于平衡状态的条件。

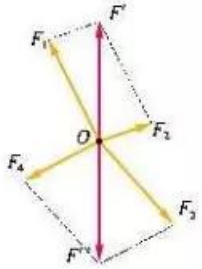


图 4-33　四个共点力的平衡

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 4-34 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

水平方向　　$F_{x合}=F-f=0$

竖直方向 $F_{y合}=N-G=0$

在共点力平衡问题中，常取两个互相垂直的方向进行考察。

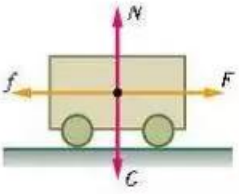


图4-34 小车的受力情况

案例分析

案例1 如图4-35所示，用两根细线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。

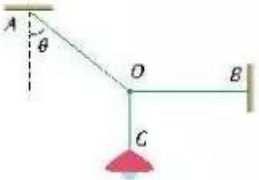


图4-35

分析 以结点 O 为研究对象，它受到三个力作用：AO、BO 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4-36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

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

$$T_2=G\tan\theta$$

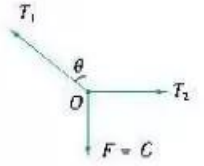


图4-36

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

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4-37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？

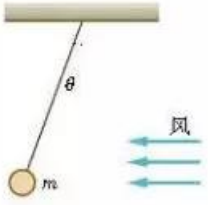


图4-37 风力仪的测量原理

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4-38所示。当风力一定时，小球能保持在一定的偏角 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。

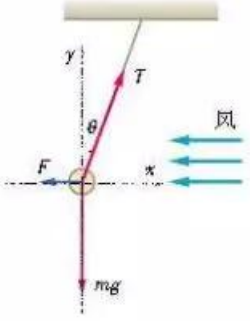


图4-38 风力仪中小球的受力分析

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

$$F_{x合} = T\sin\theta - F = 0$$

$$F_{y合} = T\cos\theta - mg = 0$$

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。

多学一点　估算红细胞的半径

血液是由红细胞、白细胞和血浆组成的悬浮液。将此悬浮液放进竖直放置的血沉管内，红细胞就会在血浆中匀速下沉，其下沉速度的大小称为血沉。在医学上，测定血沉，有助于医生对患者的病情作出判断，并可以由此估算出红细胞的半径。

红细胞在血浆中下沉时，受到重力 C、浮力 F 和黏滞阻力 f 的作用。其黏滞阻力 f 是一个跟溶液和红细胞运动速度有关的量。由平衡条件可知

$$C = F + f$$

知道了红细胞的密度和阻力 f 的表达式后，就可根据平衡条件估算出红细胞的半径，其数量级约为 10^{-6} m。

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、拱桥或其他形式的桥的模型。比较和交流一下每人的活动收获，看看谁制作的桥用料最省、跨度最长、承重最大、外观最美。

STS

拱券结构的力学原理

拱券结构是古代工匠的一种创举，法国的加尔桥(图4-39)、我国河北省的赵州桥(图4-40)等，都是拱券结构的典型建筑。

赵州桥是横跨洨河的单孔大石拱桥，跨度达37.37 m，建于隋代大业年间(公元605—618年)。近1400年来，历经洪水、地震等多种自然灾害和风霜雨露的考验，依然完好无损，保持着它优美的姿态。



图4-39 法国加尔桥



图4-40 赵州安济桥

赵州桥比欧洲同类桥的建造早1200多年，充分展示了我国古代人民的智慧和高超的造桥技术。

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4-41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。

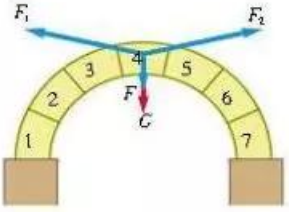


图4-41 拱券模型的受力分析

课题研究

家用电风扇通常设有多挡风力。请根据本案例的原理，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，在班上交流。

家庭作业与活动

1. 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，其他每个力的方向不变，则这几个共点力的合力大小等于 _____，方向 _____。
2. 三个共点力作用在同一物体上，处于平衡状态。其中一个力 4.0 N，向北；另一个力 3.0 N，向东；那么第三个力
   A. 5.0 N，向东北　　B. 5.0 N，向西南
   C. 7.0 N，向东北　　D. 7.0 N，向西南
3. 下列几组共点力分别作用于同一物体，其中不可能使这物体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
4. 一个重 15 N 的镜框，用两根同样长的细绳悬挂起来，如图 4–42 所示。当每根细绳中受到的拉力均为 20 N 时，细绳与水平方向间夹角 θ 为
   A. 22°　　B. 41°　　C. 49°　　D. 68°



图 4–42

5. 如图 4–43，三角形木块 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
6. 如图 4–44 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。

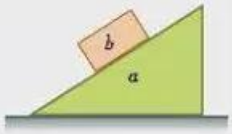


图 4–43

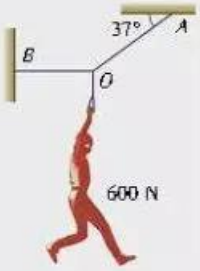


图 4–44

7. 如图 4–45 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？

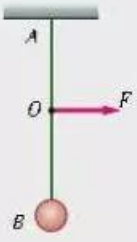


图 4–45

4.x

第 4 章家庭作业与活动

1. 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

2. 在同一平面内作用着三个共点力，它们的大小和方向如图 4-46 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

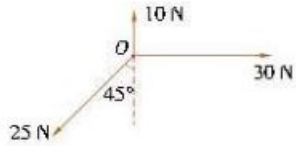


图 4-46

3. 两匹马分别沿两边河岸拉一条船前进，两匹马的拉力分别为 $F_1 = 400$ N，$F_2 = 320$ N，它们的方向如图 4-47 所示。一个小孩为了使船在河中平行河岸行驶，问这个小孩对船施的最小力的大小和方向应该怎样？

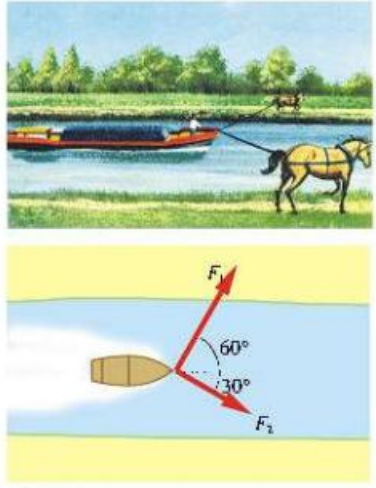


图 4-47

4. 三个共点力的大小分别为 2 N、3 N、4 N，它们合力的最大值为 _____，最小值为 _____。

5. 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 4-48 所示，物理学上称此为劈。若在其背部加压力 F 后，两侧面推开物体的力（F_1、F_2）为多大？（设 $AB = d$，$AC = BC = l$。）

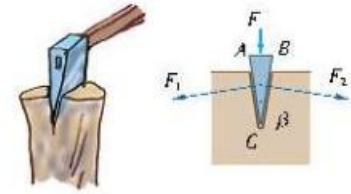


图 4-48　劈

6. 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° 的夹角，你能用几种方法求出这三个力的合力？

7. 一个很轻的网兜把一个足球挂在墙上 P 点处（图 4-49），若把悬绳 PQ 加长一些，则足球对悬绳的拉力 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



图 4-49

8. 用如图 4-50 所示的四种方法悬挂一个镜框，

绳中所受拉力最小的是图

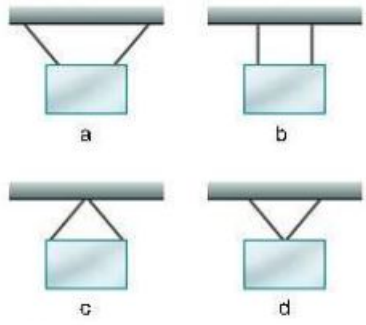


图 4-50

9. 一辆汽车陷在郊外的泥坑中，四周空无一人，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，把它绷紧在车前端拉钩和大树之间，然后在中点用力拉绳（图 4-51），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 4-51　独自拉车

*10. 在一块粗糙的平板上，放一块所受重力为 G 的木块，已知木块与平板间动摩擦因数 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$。当把平板的一端逐渐抬高，使其倾角 α 从 0° 变到 90° 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 的大小与倾角 α 之间的关系如图 4-52 中的哪一幅所示？

*11. 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。

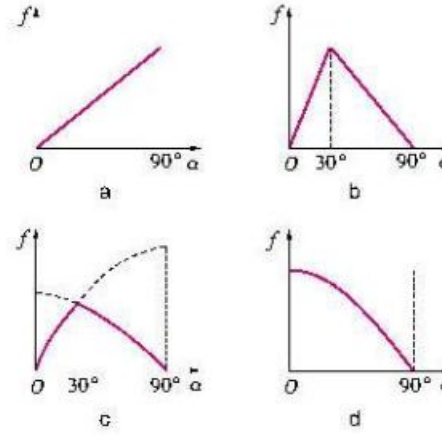


图 4-52　摩擦力的图像

第5章
研究力和运动的关系

2000多年前，当人们对科学还茫然无知的时候，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，并且提出了一些说法：

· 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，运动的物体使静止不动；

· 要使一个物体运动得更快，必须用更大的力推它；

· 要维持一个物体做匀速运动，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。为什么人们会在这么长的时间内被笼罩在亚里士多德的迷雾中呢？

爱因斯坦曾说过，“有一个基本问题，几千年来都因为它太复杂而含糊不清。这就是运动的问题。”那么，导致运动问题太复杂的原因究竟是什么呢？

在地面环境中，人们观察到的运动，离不开重力和摩擦力等阻力的干扰，于是，看到的就是亚里士多德描述的情景。

如今，航天技术的发展，可以为我们提供一个微重力、高真空的实验环境，爱因斯坦所说的几千年以来含糊不清的问题，在太空实验室中已可以轻松地解决。

本章中，我们将在回顾伽利略理想实验的基础上，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三定律，从而奠定进一步学习现代物理学的基础。



图5-1　从亚里士多德的思考开始，经过伽利略的实验，到牛顿总结出运动三定律，经典力学的框架终于构建起来

5.1

牛顿第一定律

重新习惯地球上的生活

据报道，俄罗斯有一位航天员*，在太空停留了7个月后回到地球，记者问他回来后有什么特别的感受，他深有感慨地说："需要重新习惯地球上的生活。"

他举了几个例子：他们从发射场被送回饭店用餐时，拿起勺子喝汤，会觉得拿的不是一把很轻的勺子，而是一只又大又沉的熨斗；想喝水，拿起杯子喝了几口，手就不自觉地松开，结果杯子落在地上摔碎了；朋友跟他借个照相机用，他顺手把相机朝前一推，结果落在地上砸坏了……

这是什么原因呢？因为太空可以看成是一个几乎不受力的环境，在那里拿任何物体都不费劲。航天员在飞船中拿起一个"重物"跟捡起一小片纸屑一样轻松；航天员把水杯、钢笔、纸、照相机等各种物体随手一放，它们就安稳地"浮"在空中；同伴要借用物品，你只需将物品向对方轻轻一推，物品就径直向他"飞"去……航天员在太空生活较长时间后，习惯了这种几乎不受力的环境，



图 5-2　空间站里浮在空中的物品

* 这位航天员名叫阿·尼·别列扎沃伊，他于1982年5月13日作为指令长进入太空，在空间站工作了211天9小时4分32秒，创下了当时在太空连续停留最长的纪录。2001年开始参与培训中国航天员的工作。

当他们刚回到地球时，仍然保留着太空中的习惯动作，于是就有了诸如打碎水杯、摔坏相机的一些趣闻。

不过，在这位航天员的感受中，却蕴含着一个深刻的物理道理，那就是运动和力的关系。

力究竟是不是维持运动的原因呢？

伽利略的实验和牛顿的总结

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。

不过，在伽利略的那个时代，科学还处于启蒙阶段，人们对物体所受重力的原因尚且懵懂，更不用说设想太空中不受力的环境了。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。

然而，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5-3所示。让一个小球从一个斜面的顶端滚下，紧接着又滚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滚下去。

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

理想实验是科学研究的重要方法，是在想象中进行的实验。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。

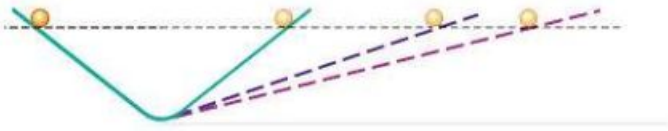


图5-3 伽利略的对接斜面实验

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。

法国科学家笛卡儿(R. Descartes)最先领悟到了这种境界：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

讨论与思考

你认同伽利略在理想实验中的推论吗？为什么？

假如你正在“神舟”号飞船上遨游太空，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。

英国科学家牛顿在伽利略、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，直到外力迫使它改变运动状态为止。**

这就是**牛顿第一定律**(Newton 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**。

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？



图 5-4　航天员在月球上

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。生活经验还告诉我们，质量不同的物体保持运动状态的“本领”是不一样的。质量越大的物体，它保持原来运动状态的“本领”越大，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



a　自行车很容易刹车，以同样速度运动的火车则需滑行很长一段路才能停下



b　空军歼击机的质量比运输机、轰炸机的质量小得多，而且在空战中还要抛掉副油箱

图 5-5　比较物体惯性的一些素材

惯性大小的量度。

月球上的重力加速度只有地球上的$\frac{1}{6}$，航天员在月球上可以很轻松地背起一个大旅行包，可是不容易起步，走动后也不容易停下，这是为什么？

多学一点 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，地面参考系就是一个惯性系。除了地面参考系外，是否还有其他的惯性系呢？

如图5-6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，加速运动的车厢是一个非惯性系。

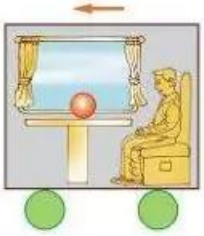


图5-6 车厢里的小球

STS

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，其中对车内人员造成伤害的，大多是由于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，因而造成伤害。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40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$\frac{1}{100}$ 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5-7 安全气囊和模拟实验

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《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。"

家庭作业与活动

1. 如图 5-8所示，一个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。你的看法怎样？



图 5-8
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 5-9中的情景，说明车子所处的状态，并对这种情景作出解释。



图 5-9　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 5-10)？请先作出分析判断，再实际体会一下这种感觉。



图 5-10
转弯中的汽车

5.2 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

从伽利略的理想实验到牛顿的总结已经告诉我们，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 5-11 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重车却很难

图 5-11 加速度与质量

通过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 a 与 F、m 的定量关系

提出问题

在上面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?

猜想与假设

上面定性分析得到的"m 一定时","F 越大、a 越大";a 与 F 可能是"正比关系",也可能不一定成"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。你的猜想怎样?请把你的猜想说出来,并与同学交流。

制定计划与设计实验

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,测量物体在不同的力的作用下的加速度,研究加速度与力的定量关系;二是保持所受的力不变,测量不同质量的物体在这个力的作用下产生的加速度,研究加速度与质量的定量关系;最后再将这两者综合起来。

实验设计要有利于改变和测量 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选用。

如图 5-12 所示,在水面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(车内放置若干砝码);车的一端连接打点计时器,另一端连接一根细绳,细绳的另一端跨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。当车与车中砝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的重力。

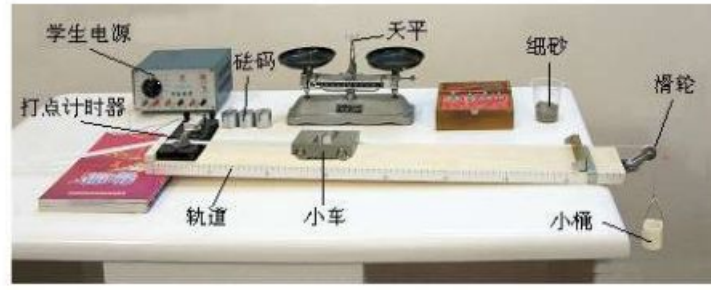


图 5-12

* 为了克服木板对小车摩擦力的影响,可将木板不带滑轮的一端稍微抬高一些,使小车的重力沿斜面的分力平衡摩擦力。

** 实验中,要求车与车中砝码的总质量远大于小桶与桶中细砂的质量,其原因见 5.4 节"多学一点"的分析。

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砝码，怎样改变和测量它们的质量？2. 研究对象所受的外力是由什么提供的？怎样改变和测外力的大小？3. 怎样从纸带的记录数据算出被研究对象的加速度？

进行实验与收集证据

(1) 保持 m 不变，探究 m 一定时，a 与 F 的关系

保持小车与车中砝码的质量不变，通过改变小桶中的细砂质量以改变对小车的拉力，根据纸带上的点痕，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·s^{-2})						

(2) 保持 F 不变，探究 F 一定时，a 与 m 的关系

保持小桶中细砂的质量不变，改变小车中的砝码数量，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·s^{-2})						

分析与论证

用表 1 和表 2 的数据，在方格纸上画出 $a-F$ 和 $a-\frac{1}{m}$ 的图像。根据对图像的分析，你能得到什么结论？

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。

评估

根据你的实验数据和画出的图像，你能得出 $a \propto F$，$a \propto \frac{1}{m}$ 的结论吗？

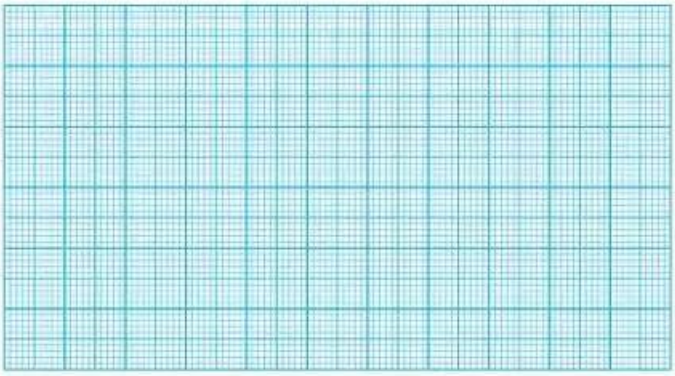


图 5-13　方格坐标纸

你的结论是怎样的呢？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？请结合实验原理相互讨论，作出评价。

家庭作业与活动

1. 实验中用抬高平板一端的方法平衡摩擦力，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 5-12 的实验中产生误差的二三条原因。

课题研究

根据公式 $s=\frac{1}{2}at^2$，对于从静止起做匀加速运动的两个物体，在相同时间内通过的位移与它们的加速度成正比，因此，实验中不必直接计算加速度，可以采用比较位移的方法，比较加速度的大小。

实验装置如图 5-14 所示。在两条高、低不同的导轨上放置两辆小车，车的一端连接细绳，细绳的另一端跨过定滑轮挂一个小桶；车的另一端通过细线连到一个卡口上，它可以同时释放两辆小车。

(1) 保持两车质量相同，在两个小桶里放置质量不等的细砂。研究加速度与力之间的关系。

(2) 保持两小桶里的细砂质量相等，改变两辆小车的质量，研究加速度与质量之间的关系。

由此，同样可找出 a 与 F、m 的关系。



图 5-14

5.3

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

进一步的实验研究指出，**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 second law)。用数学公式表示，就是

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

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

$$F_{合} = ma$$

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/s² 加速度的力，规定为 1 N。

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。

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，并可以制成“准器”（用作单位标准的东西）来测量。

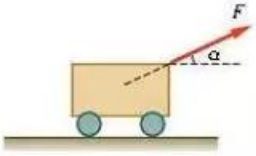
在国际单位制（SI）中，长度单位米（m）、时间单位秒（s）和质量单位千克（kg）属于基本单位，其他一些力学物理量单位可由它们导出。例如，当位移以 m 为单位，时间以 s 为单位的时候，速度的单位就是 m/s，加速度的单位就是 m/s^2；当质量以 kg 为单位，加速度以 m/s^2 为单位的时候，力的单位就是 N。

多学一点　牛顿第二定律的矢量性

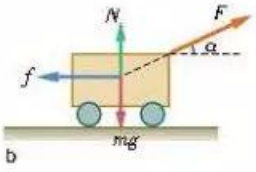
力和加速度都是矢量，牛顿第二定律的公式 $F=ma$ 是一个矢量式，因此可将它写成分量形式。当作用在物体上的几个外力不在同一直线上时，通常选取两个互相正交的方向，分别列出牛顿第二定律的分量形式，即

$$F_{x合}=ma_x \qquad F_{y合}=ma_y$$

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。



a



b

图 5-15　小车沿地面做匀加速运动

案例　如图 5-15a 所示，位于水平面上质量为 m 的小车，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。若小车与地面间的动摩擦因数为 μ，求小车的加速度。

解答　以小车为研究对象，它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 5-15b 所示。

在水平方向上　　$F\cos\alpha - f = ma$

在竖直方向上　　$F\sin\alpha + N - mg = 0$

又有关系式　　$f=\mu N$

联立三式，得小车的加速度

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

信息浏览

国际单位制

1971年第14届国际单位计量大会通过了国际单位制，规定了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,(ν)	摩[尔]	mol
发光强度	I,(I_v)	坎[德拉]	cd

STS

一次因单位失误而导致的事故

美国国家航空航天局（NASA）在20世纪末曾发射过一个火星探测器，但它由于飞得靠火星过近，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：原来探测器的制造商洛克希德·马丁公司计算加速时的力使用了英制单位，而喷气推动实验室的工程师理所当然地认为他们提供的数据是以国际制单位算出来的，并把这些数据直接输入电脑。

你看，就是因为在单位制上的失误，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，他用个人的力量能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. 假设一辆洒水车在恒定的牵引力作用下沿水平马路运动，所受阻力跟车重成正比。如果没有洒水时，车子匀速行驶，那么开始洒水后，它将做什么运动？
5. 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？

*方括号前的字是该单位的中文简称和中文符号，下同。

5.4 牛顿运动定律的案例分析



图 5-16 “神舟”5 号飞船点火起飞

研究表明，通常宏观物体做低速（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，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 设“神舟”5 号载人飞船火箭组合体的质量为 500 t*，若点火启动后的加速度为 8.6 m/s²，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/s²。

分析 以“神舟”5 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 $F_{推}$ 和重力 C 两个力的作用（如图 5-17），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 $F_{推}$。

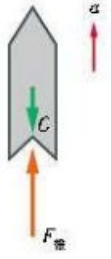


图 5-17 飞船火箭组合体的受力分析

解答 已知 $m = 500\,\text{t} = 500\times10^3\,\text{kg} = 5\times10^5\,\text{kg}$，$C = mg = 5\times10^5\times10\,\text{N} = 5\times10^6\,\text{N}$，$a = 8.6\,\text{m/s}^2$。

由 $F_{合} = ma$ 和 $F_{合} = F_{推} - C$，可得

$$F_{推} = C + ma = 5\times10^6\,\text{N} + 5\times10^5\times8.6\,\text{N} = 9.3\times10^6\,\text{N}$$

案例 2 2001 年 12 月 7 日，一场突然降临的大雪，使北京的街道出现了严重的堵车情况，有些地方甚至发生了交通事故。究

* 发射“神舟”5 号载人飞船的“长征”2 号 F 火箭的质量为 479.8 t，故“神舟”5 号载人飞船火箭组合体的质量近 500 t。

其原因，主要是大雪覆盖路面后，被车轮挤压，部分的雪融化为水，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14m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呢？

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力平衡状态，水平方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加速运动的表达式。

汽车滑行过程中的加速度 a 跟运动方向相反(图5-18)，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。

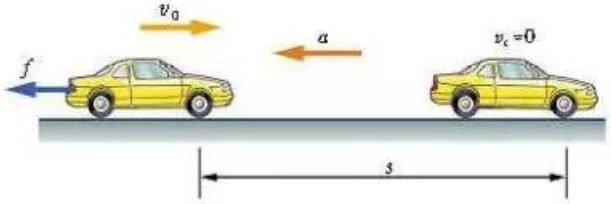


图5-18 汽车在冰面上刹车滑行

由于两种情况下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？

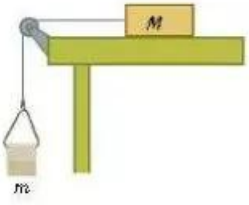


图5-19

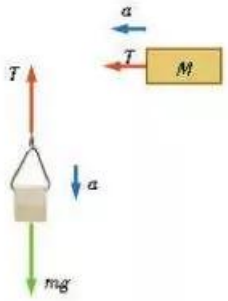


图 5-20

多学一点　用隔离法研究物体的受力情况

图 5-12 中研究牛顿第二定律的实验装置，可简化成图 5-19。

为了计算细绳的拉力 T，可以把小车（质量为 M）与桶和细砂（质量为 m）隔离开来，当不考虑桌面和滑轮的摩擦时，它们做加速运动的受力情况如图 5-20 所示。

对小车　　$T = Ma$　　(1)

对小桶（含细砂）　　$mg - T = ma$　　(2)

联立(1)(2)两式，得绳中拉力

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

由此可见，5.2 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中，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 5-21 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

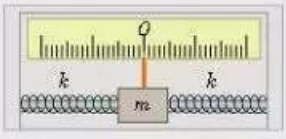


图 5-21　惯性制导系统原理

   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 $\frac{2ks}{m}$
   D. 方向向右，大小为 $\frac{2ks}{m}$
3. 1966 年，曾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 5-22 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 $\mu = 0.02$，当轻轻释放 B 后，物体 A 沿桌面滑行的加速度是多少？

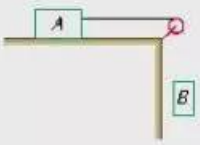


图 5-22

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。假设测得火箭底部经过发射架顶端的时间是 4.8 s，如果他想算出对火箭的推力，请讨论一下：
(1) 需要假设哪些条件？
(2) 还需要知道哪些数据？

课题研究

用欧拉方法测量动摩擦因数

在第 3 章中，用使物体做匀速直线运动的方法来测定动摩擦因数。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 5-23 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。

请把这个表达式推导出来。

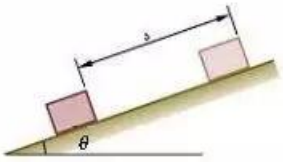


图 5-23 欧拉实验的原理

5.5 超重与失重

与航天员的对话



图 5-24　杨利伟在飞船中

千年梦　圆今朝
一箭飞　冲九霄
……

我国航天员杨利伟返回地面后，电视台记者在对他进行采访时，有一段很生动的对话：

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：在船箭分离的时候，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。

讨论与思考

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。

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



图 5-25　体会超重和失重

如图 5-25 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 观察测力计示数的变化

如图 5-26 所示，在测力计下端挂一钩码，仔细观察测力计静止时、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 5-26 实验探究超重与失重

分析论证 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 5-27）。规定以竖直向上为正方向，根据牛顿第二定律可以知道：静止和匀速上下时，

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

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。

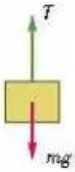


图 5-27 钩码的受力

加速向上时，$T - mg = ma$ $\qquad T = mg + ma > mg$

加速向下时，$T - mg = m(-a)$ $\qquad T = mg - ma < mg$

即测力计的拉力（或手对书的支持力）大于或小于物体的重力。

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）大于物体重力的现象叫做**超重**。

物体对悬挂物的拉力（或对支持物的压力）小于物体重力的现象叫做**失重**。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，称为处于完全失重状态。所以，超重和失重并不表示物体重力的变化。

讨论与思考

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/s² 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？

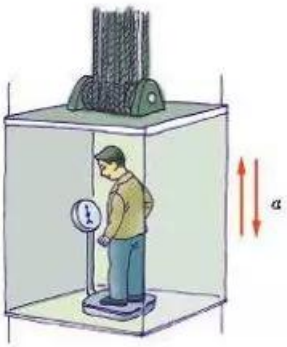


图 5-28　磅秤的示数

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 5-28）。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系统内的一个平衡问题。在许多时候，这样做会显得很方便。

STS

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，人们可以利用太空的特殊条件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：

美国和前苏联在进行"阿波罗"号和"联盟"号飞船对接时，在太空成功地进行了电泳法分离实验，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块的特效药。

航天员在"和平"号空间站进行了约 600 种材料的试验，生产出了 35 种新材料。

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，将它们注入到一种培养液中。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。



图 5-29 航天员在做微重力实验



图 5-30 飞船上的装着人体肾细胞的容器

家庭作业与活动

1. 航天员乘航天飞机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 5-31 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？



图 5-31



图 5-32

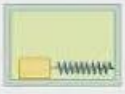


图 5-33

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，然后放开手指，可看到水从小孔射出(图 5-32)。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. 放在电梯地板上的一个木箱，被一根处于伸长状态的弹簧拉着而处于静止状态（图 5-33）。后发现木箱突然被弹簧拉动，据此可判断出电梯的运动情况是

   A. 匀速上升　　B. 加速上升

   C. 减速上升　　D. 减速下降
5. 图 5-34 是蜡烛在地面燃烧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 5-34 在地球重力环境下和在微重力环境下蜡烛的燃烧

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”6号飞船的有关资料，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。

课题研究

用 DIS 研究物体的加速度跟力和质量的关系

实验装置如图 5-35 所示。在倾斜的长导轨上，放有一个质量为 M 的滑块，把它作为研究对象。滑块的前端系有细线，细线绕过光滑的小滑轮，吊着一个砝码。设砝码的质量为 m。调整导轨的倾斜程度，用滑块重力沿导轨的分力平衡导轨的摩擦力，然后使滑块在砝码拉力作用下做匀加速直线运动。通过运动传感器，可以在与数据采集器相连的计算机上直接读出小车运动的加速度。

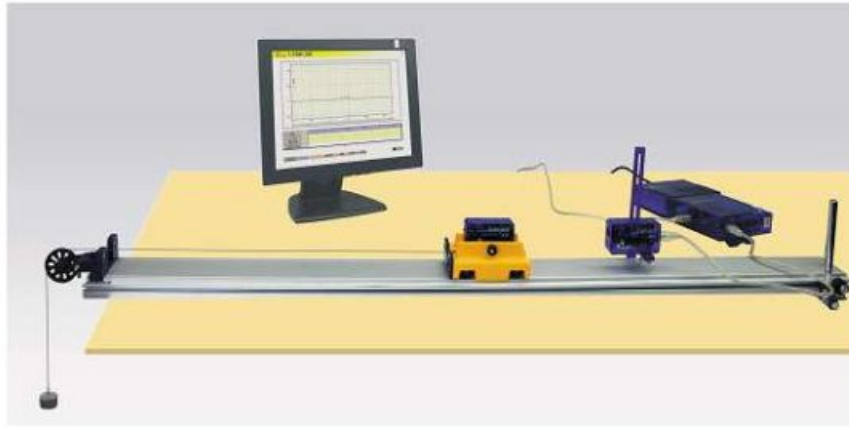


图 5-35

请利用 DIS 验证 $a \propto \frac{F}{m}$ 的关系。要求根据实验中记录的数据，画出图像，得出结论。

5.x

第 5 章家庭作业与活动

1. 如果力 F 在时间 t 内使质量为 m 的物体移动一段距离 s，那么下列判断中正确的是
   A. 相同的力在相同的时间内使质量是一半的物体移动 $2s$ 的距离
   B. 相同的力在一半的时间内使质量是一半的物体移动相同的距离
   C. 相同的力在 2 倍的时间内使质量是 2 倍的物体移动相同的距离
   D. 一半的力在相同的时间内使质量是一半的物体移动相同的距离
   E. 一半的力在相同的时间内使质量相同的物体移动一半的距离
2. 图 5-36 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

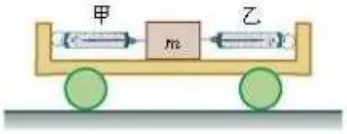


图 5-36

   A. $2\ m/s^2$　　B. $4\ m/s^2$
   C. $6\ m/s^2$　　D. $8\ m/s^2$
3. 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
   A. $v_2>v_1, t_2>t_1$
   B. $v_2<v_1, t_2<t_1$
   C. $v_2>v_1, t_2<t_1$
   D. $v_2<v_1, t_2>t_1$
4. 一个热气球与沙包的总质量为 M，在空气中以加速度 $\frac{g}{2}$ 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
   A. $\frac{1}{2}M$　B. $\frac{1}{3}M$　C. $\frac{2}{3}M$　D. $\frac{3}{4}M$
5. 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 $10\ m/s^2$）
   A. 10 s　B. 11 s　C. 12 s　D. $2\sqrt{10}$ s
6. 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 $v=120\ km/h$，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 $t=0.70$ s，制动时汽车受到的阻力大小为车重的 0.40 倍，则该高速公路上汽车之间的安全车距至少为多少？g 取 $10\ m/s^2$。
7. 美国密执安大学 5 名学习航空航天技术的大学生搭乘 NASA 的飞艇参加了“微重力学生飞行机会计划”。飞行员将飞艇开到 6000 m 的高空后，让飞艇由静止下落，以模拟一种微重力的环境。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？
8. 请你站在磅秤上，先称出自己的体重；然后你突然下蹲，会看到示数发生怎样的变化？先做实验，再解释其中的原因。
9. 惯性和惯性定律（牛顿第一定律）是不是一回事？请谈谈你的认识。

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 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！

你可以把你平时作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，也许没有宏篇大论，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。

撰写一份关于某位科学家的评价报告

在《物理 1》中，我们遇到了亚里士多德、伽利略、牛顿等历史上著名的科学家。请你从中选择一位，设法收集资料，就他的个人成长经历、研究成果和对科学与社会的贡献，撰写一份较为详细的评价报告。

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. 分析和论证
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

本书根据《基础教育课程改革纲要(试行)》的精神,按照《普通高中物理课程标准(实验)》的要求,力求体现课程改革的理念,贯彻和完成《课程标准》所规定的多方面教育任务,全面推进素质教育。

本套教科书主编:束炳如、何润伟。本册书主编:王溢然、仲扣庄。编写人员(按姓氏笔画为序):王溢然、仲扣庄、束炳如、林正行。

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帮助和支持。沈永昭、倪汉彬、汪乾荣等同志审阅了全书书稿。上海科技教育出版社的编辑朱惠森、汤世梁、李志棣和有关工作人员为本书出版在组织协调、编辑加工、美术设计、排版印刷等方面做了大量的工作。特别是全国中小学教材审定委员会的委员们严格把关,对我们的送审本提出了许多宝贵的修改意见和具体修改细节。在此一并表示诚挚的谢意。

编写基于模块结构的普通高中物理教科书,是一个全新的课题。我们编写组全体成员认真学习,潜心研究,分工协作,充分发扬团队精神,终于可以把本书呈献给大家。但由于水平有限,仍不免有错误和不当之处。竭诚希望试验区的师生和广大读者提出批评和建议。

编　者

2004 年 6 月

修改说明

本书自国家级实验区试用以来，实验区的学生、教师和教研人员对教科书给予了热情关怀和支持，在充分肯定本套教科书特色的同时，也对教科书的进一步修改和完善提出了不少宝贵的意见和建议。两年多来的教学实践为修改本书奠定了基础。

新课标教科书的研制过程是合作、对话、协商、共建的过程，为此，编写组始终与实验区的教师和教研员保持着密切的联系和互动。本次修改前专门召开了关于教科书的研讨会和征求意见会，进一步征求了教师对教科书的意见，在此基础上，我们对教科书进行了认真的修改。

这次修改仍坚持按照《普通高中物理课程标准(实验)》的要求，在保持本套教科书特色的基础上，力图更好地体现《课程标准》的改革理念，努力吸取实验区教与学的新鲜经验，使教科书更加切合教学实际，更加利教便学。

参加本书修改的除本册教科书的主编和编写人员外，还有陈聆、顾民永等同志，最后由束炳如、何润伟统稿定稿。

在本书修改过程中，得到了物理学科的专家、学者、研究人员、教师、学生和家长等多方面的支持和帮助。王文祥、罗基鸣、徐建国、梁明奋等同志对本书的修改提出了很多宝贵的意见。上海科技教育出版社的责任编辑李志棣和有关工作人员为本书的修改、编辑、设计等方面做了大量工作，并提出了许多宝贵的建议。在此，编写组特向提供帮助的各方面人士表示由衷的感谢。

研制符合课改理念的、有特色的、高质量的高中物理教科书，始终是我们所追求的目标。随着本套教科书进入更多的实验区，恳请专家、学者、教师、教研员、学生和家长对本书提出宝贵的意见和建议，与我们共建这套教科书。

编　者

2007 年 5 月