经全国中小学教材审定委员会 2004 年初审通过

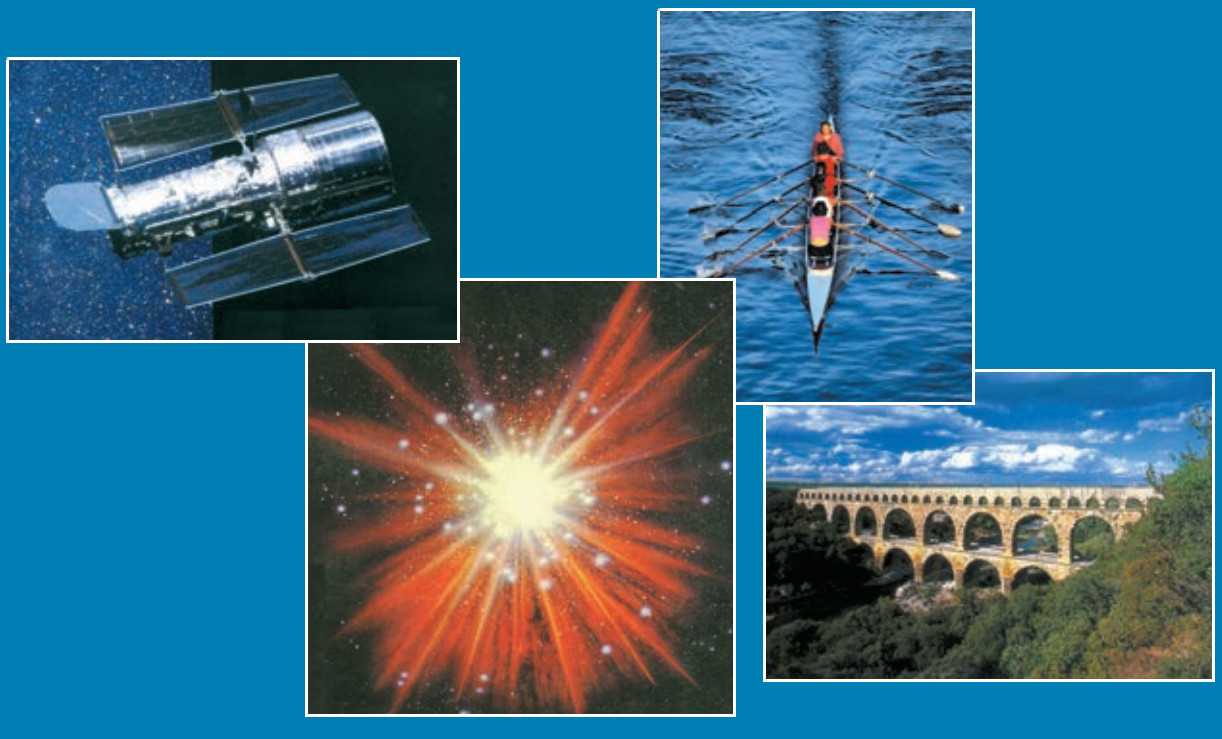
普通高中课程标准实验教科书

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

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。



图 4–1　上海黄浦江上的杨浦大桥

第 4 章

怎样求合力与分力

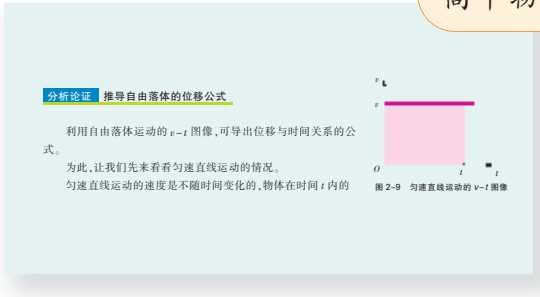
在祖国的东海之滨，有一条闻名遐迩的黄浦江。她，曾经淌过血，留下了因落后遭受挨打的创伤；她，也曾经落过泪……

如今，她欢笑着，奔腾着，那新建的一座座斜拉桥，仿佛一架架巨大的竖琴，弹奏着新时代的赞歌。

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。



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

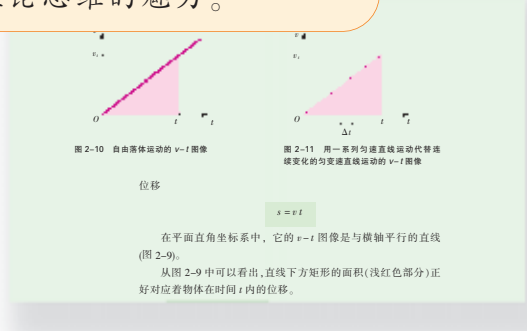


图 2–10　自由落体运动的 $v-t$ 图像

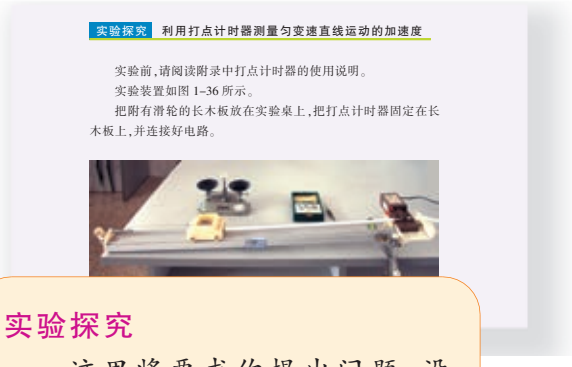
图 2–11　用一系列匀速直线运动代替连续变化的匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

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。


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。

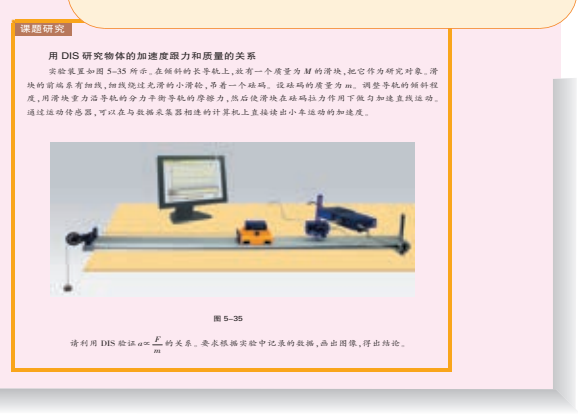
把附有滑轮的长木板放在实验桌上，把打点计时器固定在长木板上，并连接好电路。

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。


课题研究

用 DIS 研究物体的加速度跟力和质量的关系

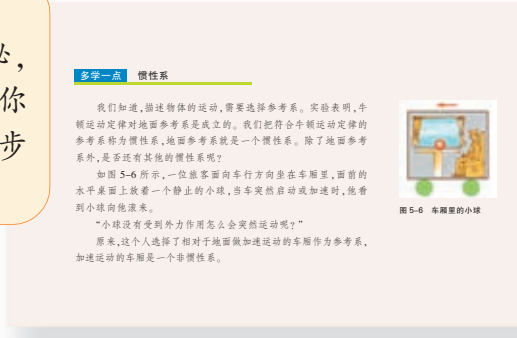
实验装置如图 5–35 所示。在倾斜的长导轨上，放有一个质量为 M 的滑块，把它作为研究对象。滑块的前端系有细线，细线绕过光滑的小滑轮，吊着一个砝码。设砝码的质量为 m。调整导轨的倾斜程度，用滑块重力沿导轨的分力平衡导轨的摩擦力，然后使滑块在砝码拉力作用下做匀加速直线运动。通过运动传感器，可以在与数据采集器相连的计算机上直接读出小车运动的加速度。

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。

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。


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

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。


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。”你认为这种说法对吗？为什么？
2. 如图 4–23，两根轻杆铰接后，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？

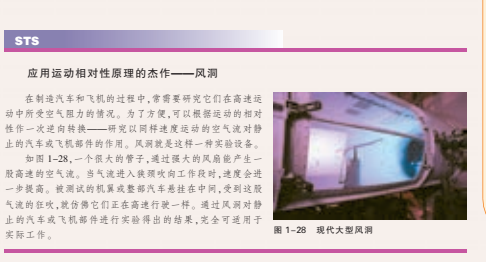
图 4–23　悬挂的鸟笼

图 4–24　大力士牵引汽车

3. 匈牙利的大力士曾创造过用牙齿拉动载重汽车的纪录（图 4–24）。现设一辆载重汽车的质量为 171，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 _____。

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。


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。

如图 1–28，一个很大的管子，通过强大的风扇能产生一股高速的空气流。当气流进入换预吹向工作段时，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

目 录

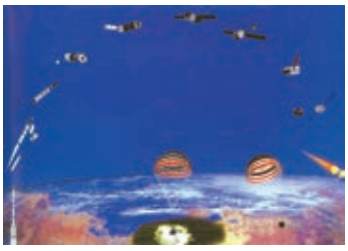


开篇　激动人心的万千体验　6

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。

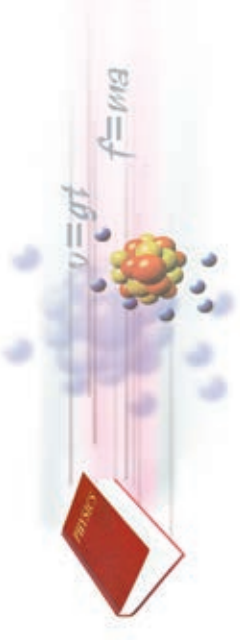


图 0–1　什么是物理学

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。

*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，它踉踉跄跄，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。

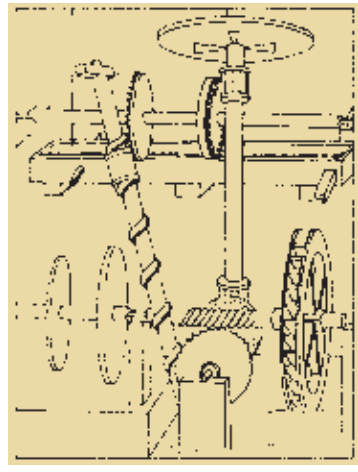
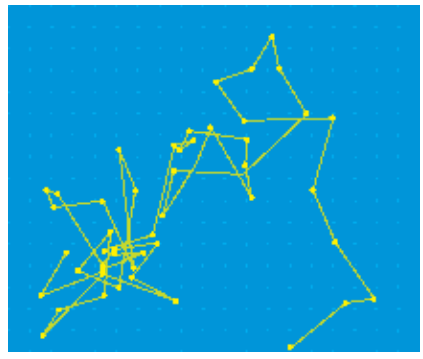


图 0–3　一种“永动机”的模型

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。

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。

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

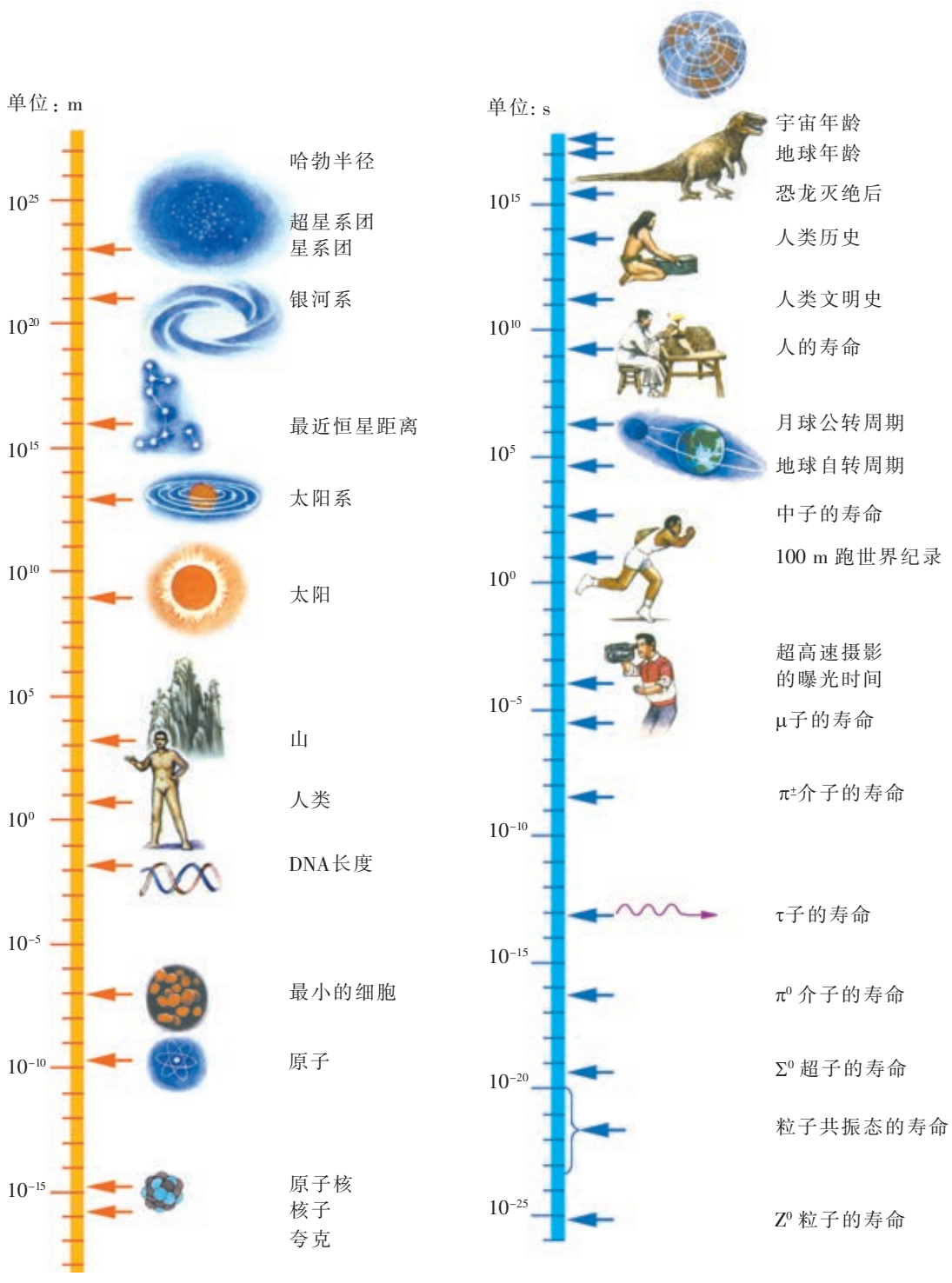


图 0-6　人类目前所认识的世界的时空尺度

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。

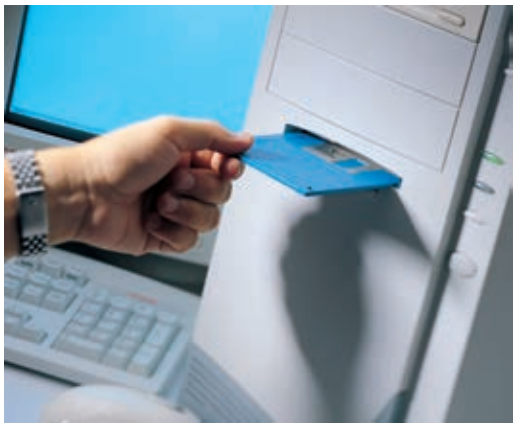
对任何人来说,不关心科学就是甘受奴役。

——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？

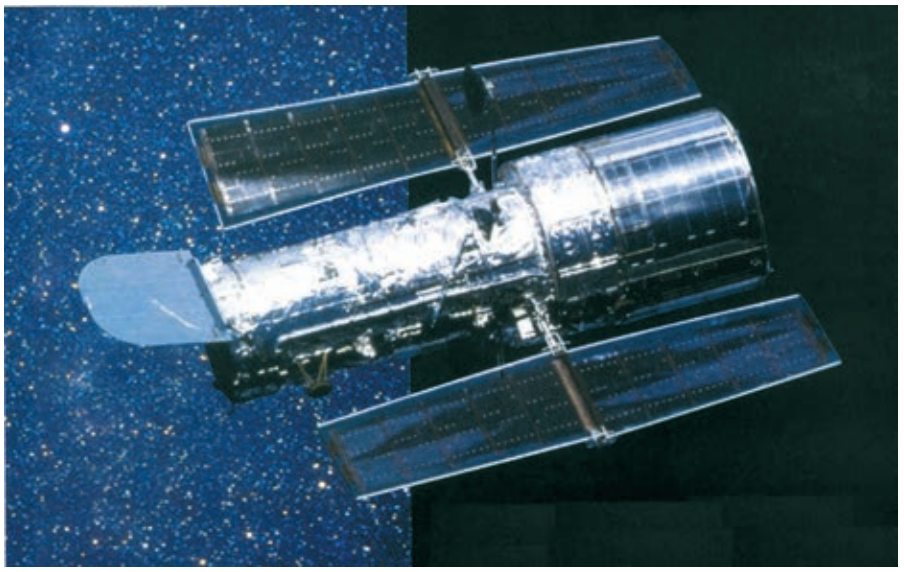


图 0–9　哈勃太空望远镜

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



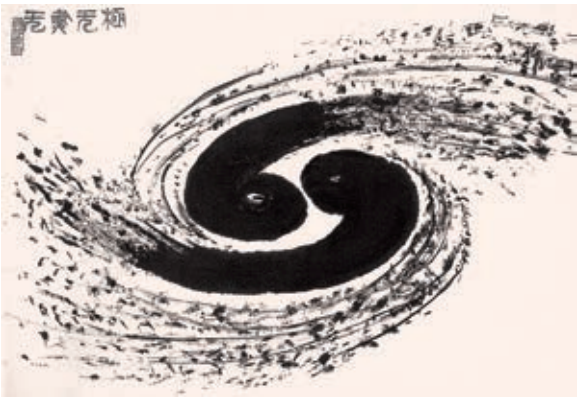


图 0–11　无尽无极——著名画家吴作人先生为“二维强关联电子系统”国际学术会议所作的主题画

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！

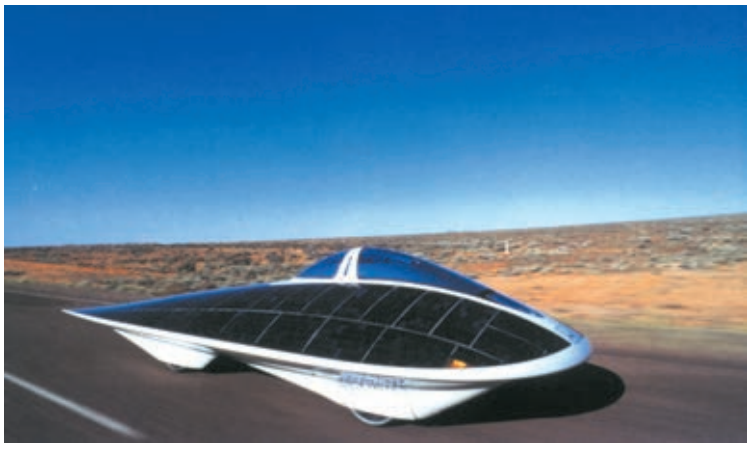
请阅读下面的资料，并说说你的看法。

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!

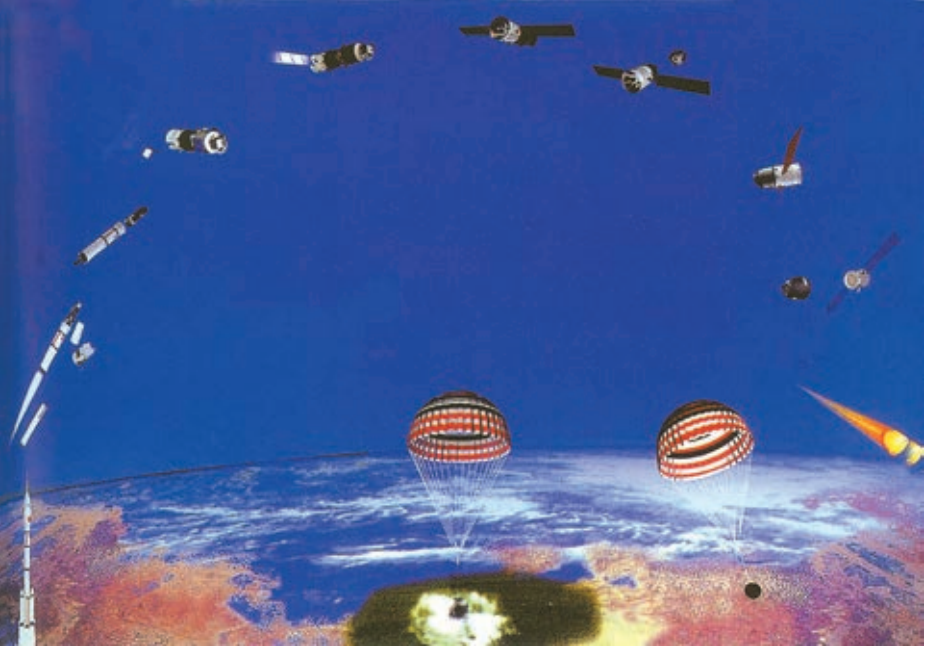


图 1–1 “神舟”5 号从发射到返回舱成功回收的主要阶段

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，会使对运动的描述更为简单、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》，这里是下阙，其上阙是：“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。**

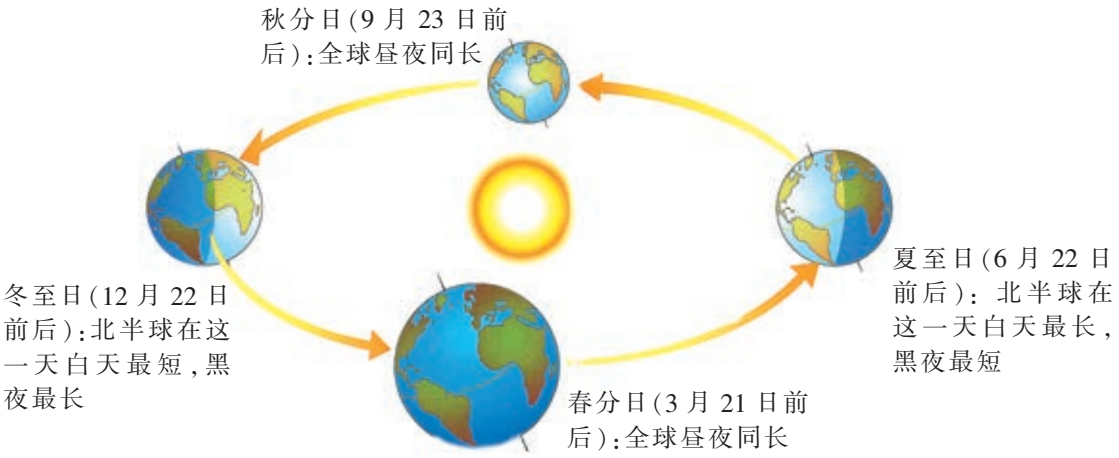


图 1–5　地球的公转和四季变化

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？

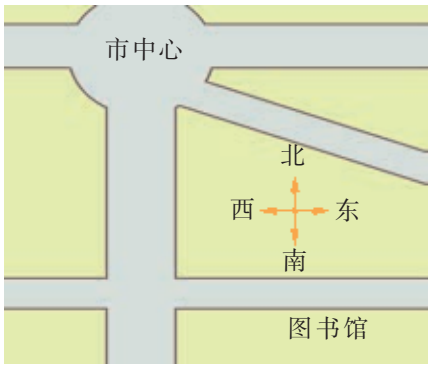


图 1–8　走到市图书馆

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。

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

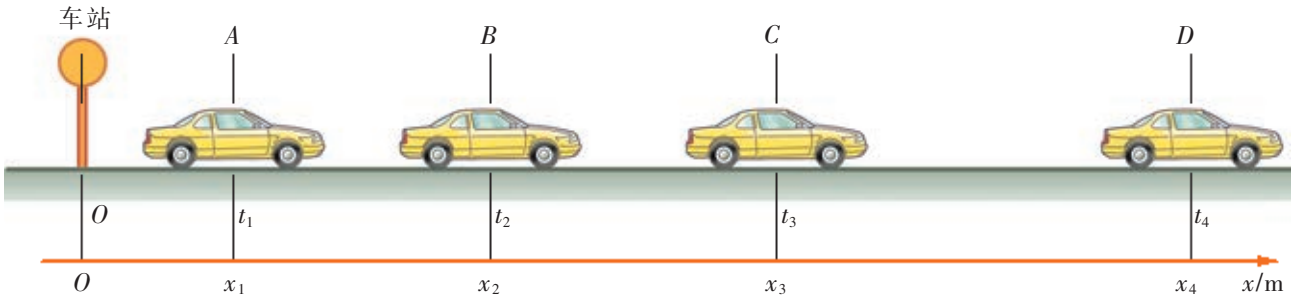


图 1–9　汽车位置的变化

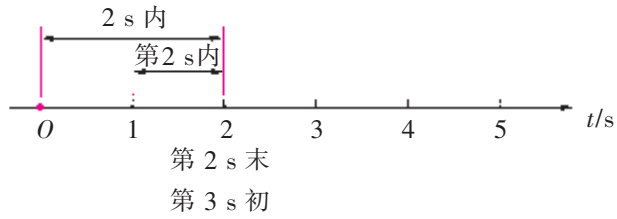


图 1–10　时刻与时间

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,将小球下落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。

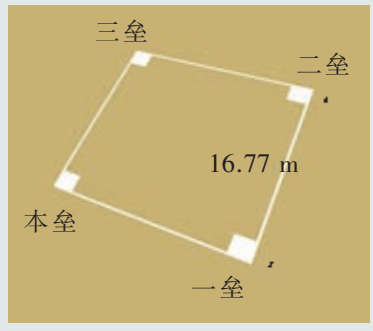


图 1–12　垒球场

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

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。

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 $m \cdot s^{-1}$)。

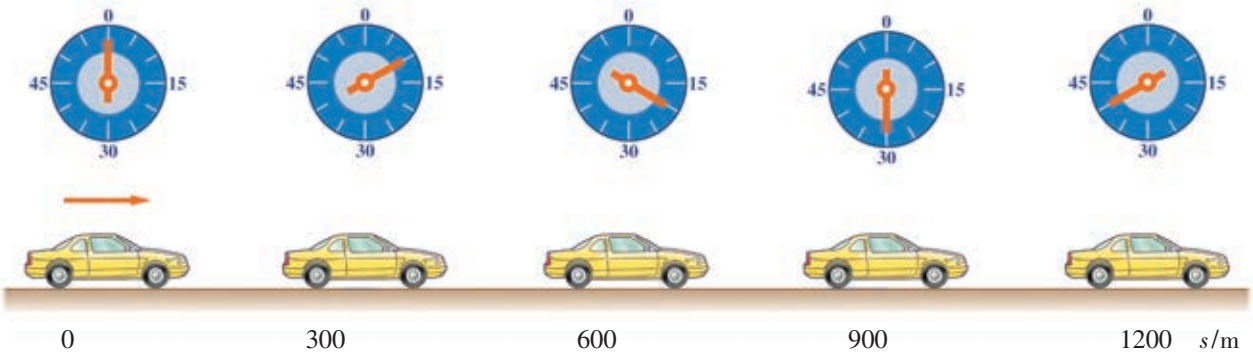


图 1–13　匀速直线运动

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 列车经过几次大提速后，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 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 km/h，停车线至道口栏木的距离 s_0 = 5 m，道口宽度 s = 26 m,汽车长 l = 15 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 km/h = 10 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 km/h = 50 m/s,所以安全距离

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

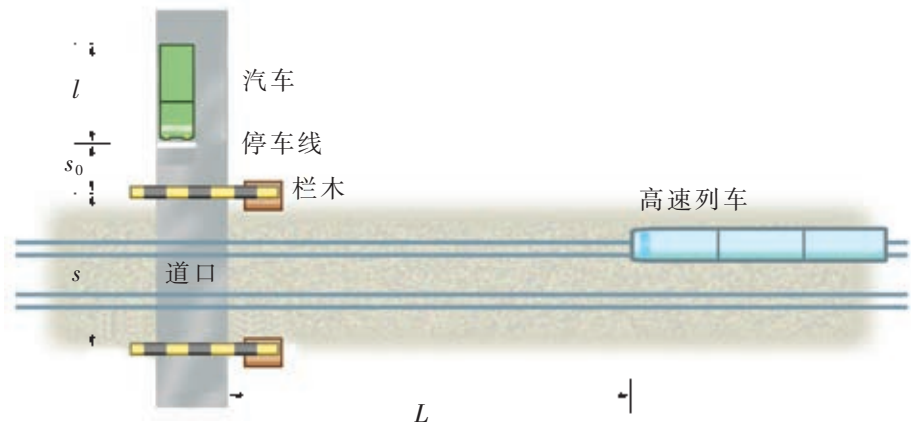


图 1–14 铁路与公路的交叉道口

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。

查一下最新的男子百米世界纪录，并根据公式 $v = \frac{s}{t}$ 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？

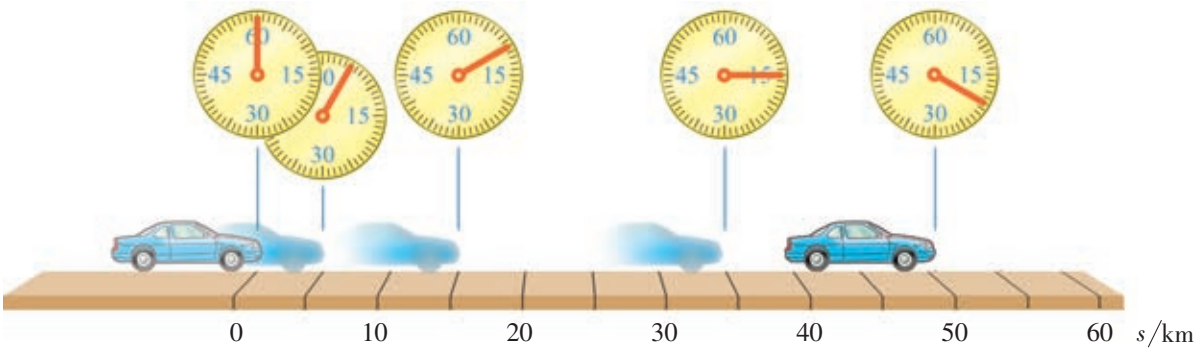


图 1–15　汽车的变速运动

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 $H = 3.17 \times 10^{-18}\ \mathrm{s}^{-1}$，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

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

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

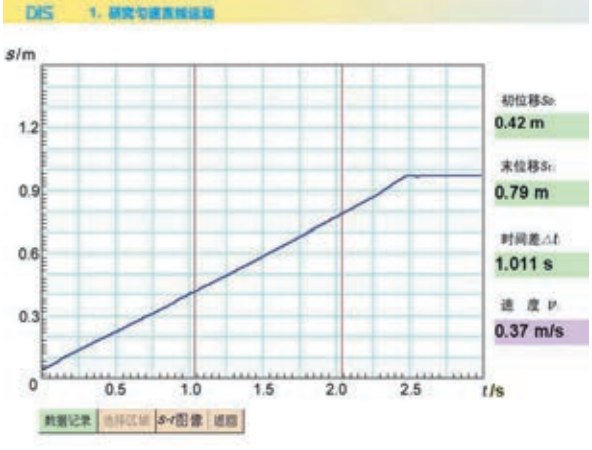


图 1–18　匀速直线运动的 s–t 图像

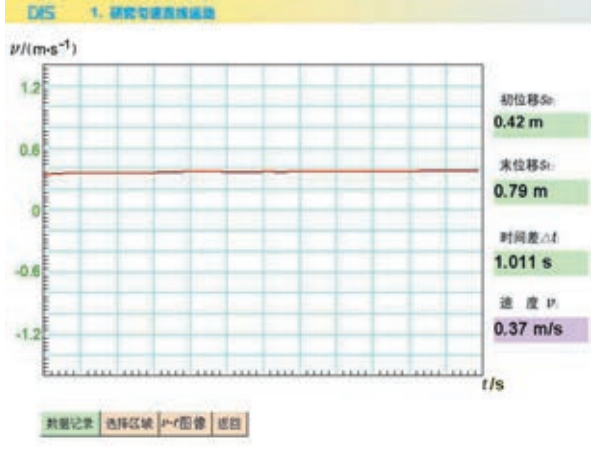


图 1–19　匀速直线运动的 v–t 图像

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 10 m 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

运动物体在某一时刻或某一位置时的速度，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

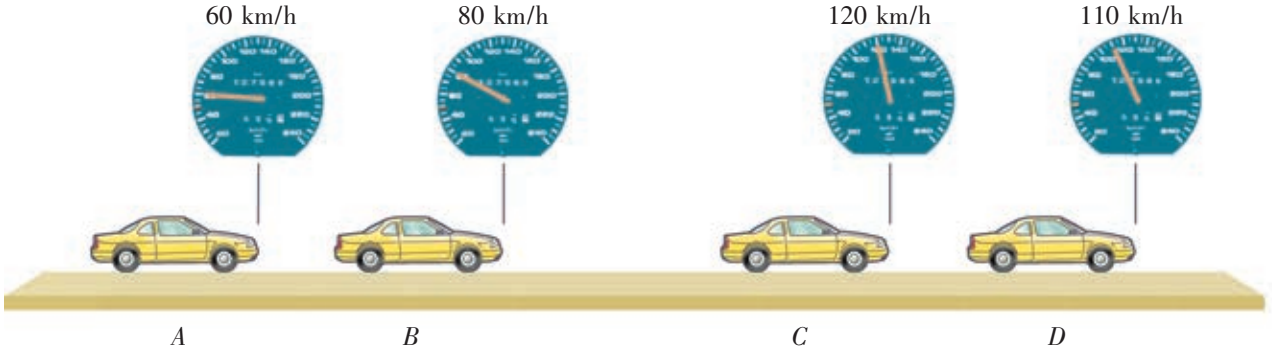


图 1–21　汽车通过不同位置时的瞬时速率

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。

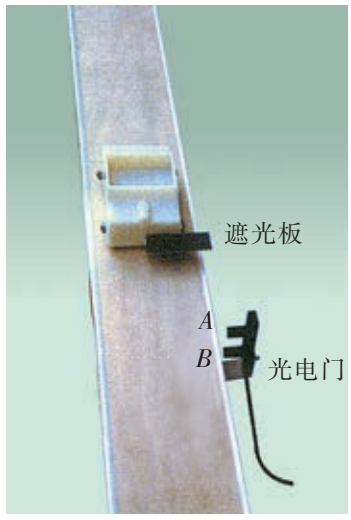


图 1–22　瞬时速度的测量

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。

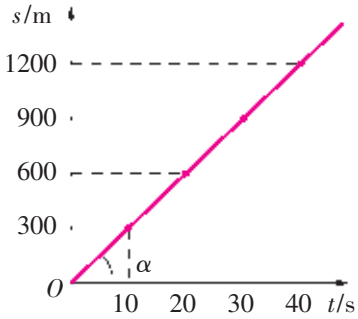


图 1–23　匀速直线运动的 s–t 图像

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 中汽车各时刻的位置坐标在坐标系中用点表示出来。可以看到，它们都在通过坐标原点的一条倾斜直线上（图 1–23）。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物体速度的大小，斜率越大，速度越大。

案例分析

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

分析　乌龟和兔子从同一地点开始赛跑，假设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（s–t 图像的斜率更大），可为时已晚，最后乌龟取得了胜利。

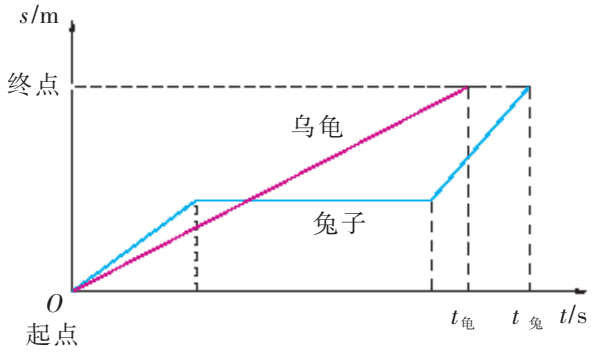


图 1–24　龟兔赛跑的 s–t 图像

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

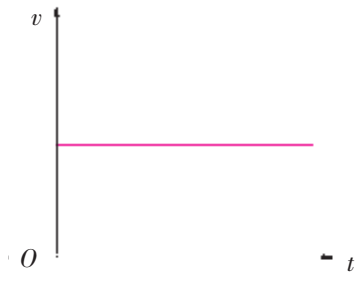


图 1–25　匀速直线运动的速度图像

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 所示。

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 1–23 不同，请判断一下：这辆汽车做什么运动？它从计时开始，在连续的每个 5 s 内，哪一段时间内的平均速度最大？

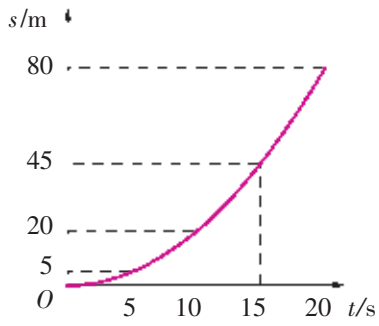


图 1–26　汽车的 s–t 图像

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？

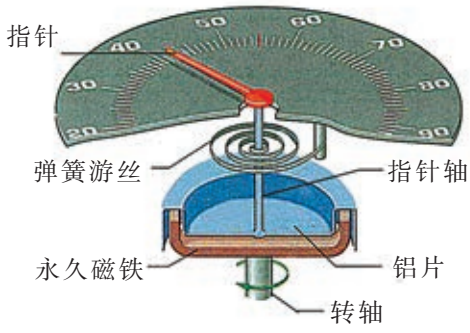


图 1–27　速率计的基本结构

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。

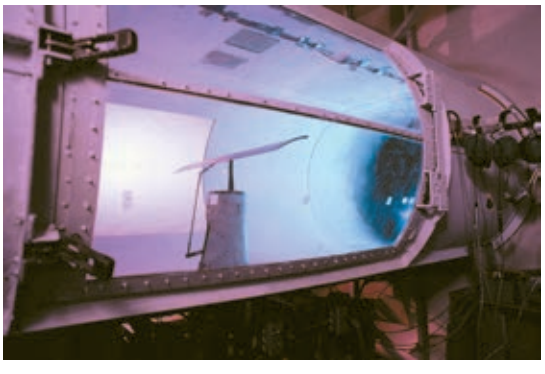


图 1–28　现代大型风洞

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。

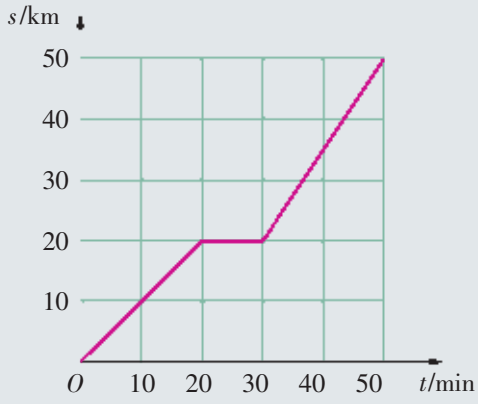


图 1–29　汽车的 s–t 图像

4. 图 1–30 是一架飞机飞行的 s–t 图像，试根据图像回答：

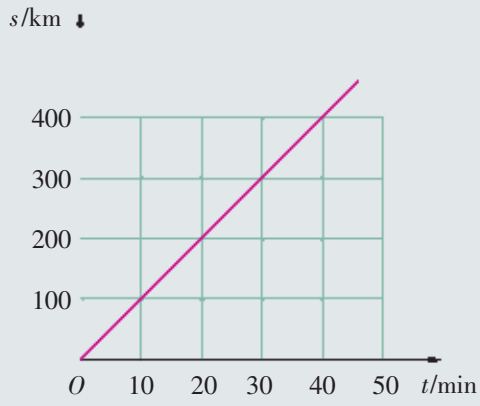


图 1–30　飞机的 s–t 图像

   （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）。

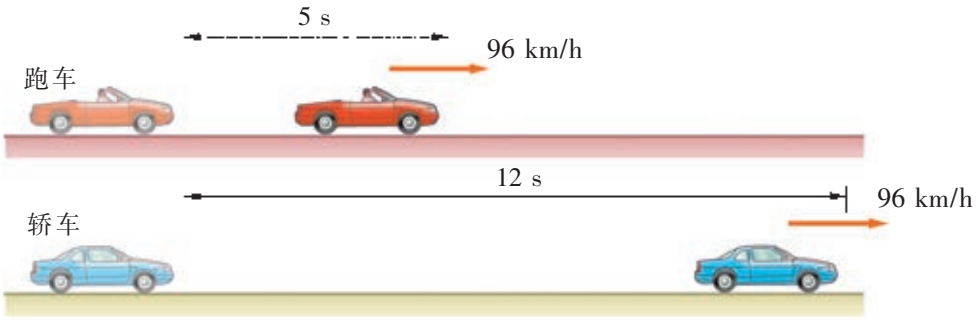


图 1–32　跑车与家用轿车的启动性能比较

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。加速度的方向始终跟物体运动速度变化($v_t - v_0$)的方向相同。

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

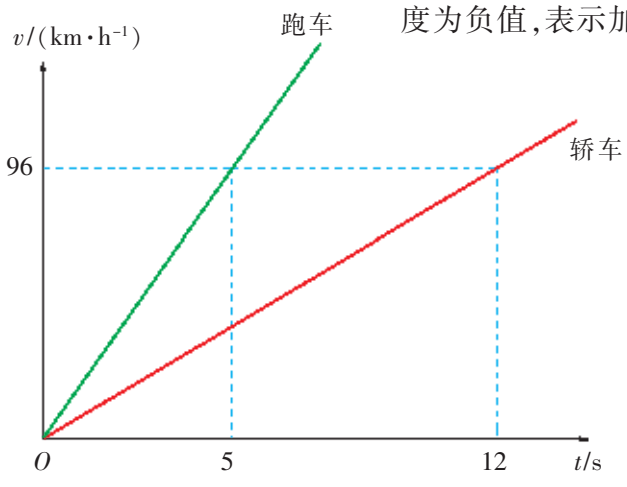


图 1–34　跑车与家用轿车的速度图像

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$\left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)$反映了加速度的大小。跑车的加速度大，其 v–t 图像中的直线倾斜程度大；家用轿车的加速度小，其 v–t 图像中的直线倾斜程度小。

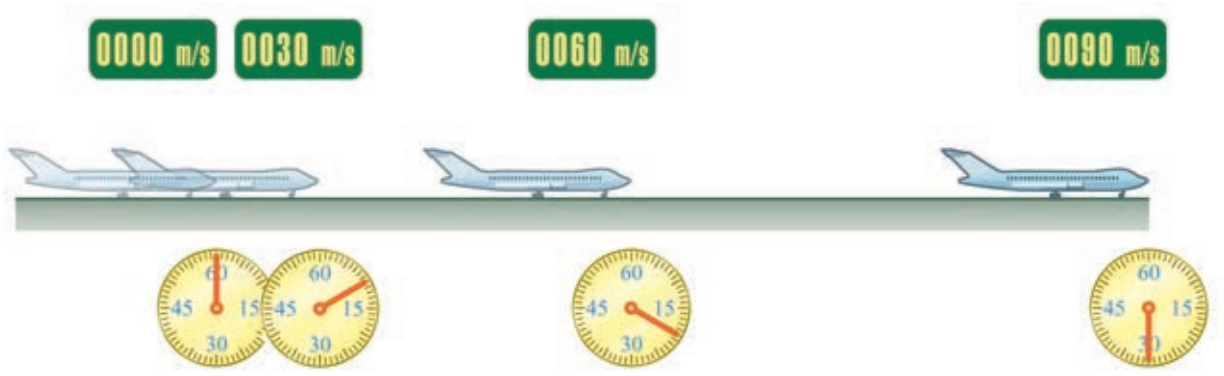


图 1–35　飞机匀加速滑行

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

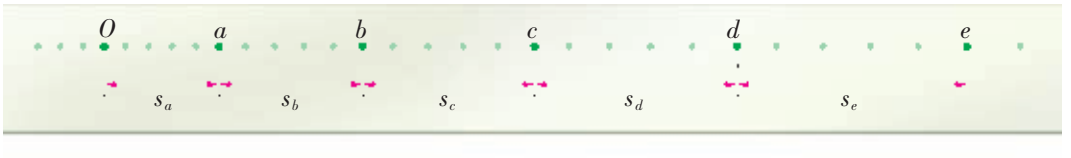


图 1–37　打点计时器记录的小车做匀变速直线运动的点迹

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 $\Delta t = 0.02\,\mathrm{s}$，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 $v = \dfrac{s}{t}$ 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。

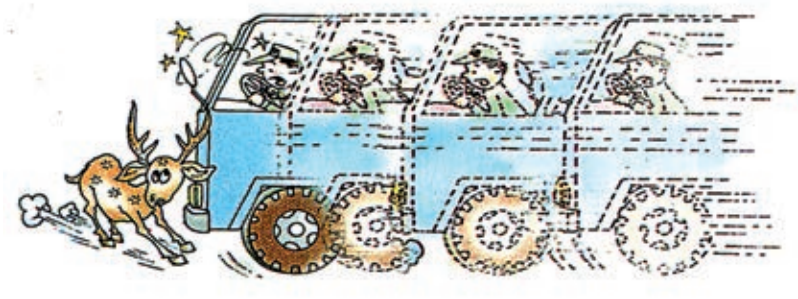


图 1–38　幸免于难的小动物

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。

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。

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

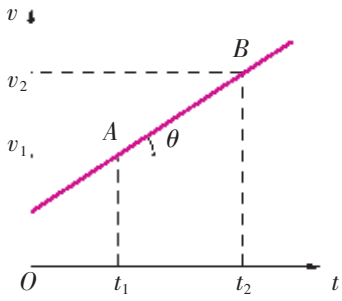


图 1–40　测量加速度

信息浏览

一些物体的加速度大小（单位：m/s^2）

加速器中的质子	10^{15}	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}
弓箭射出时	10^{3}	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？

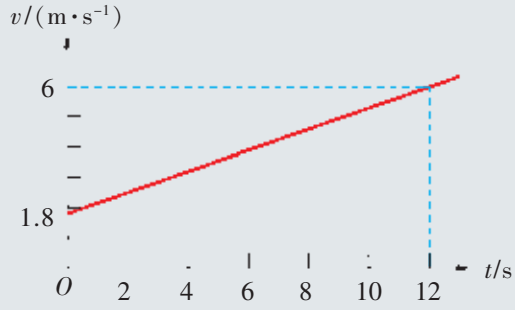
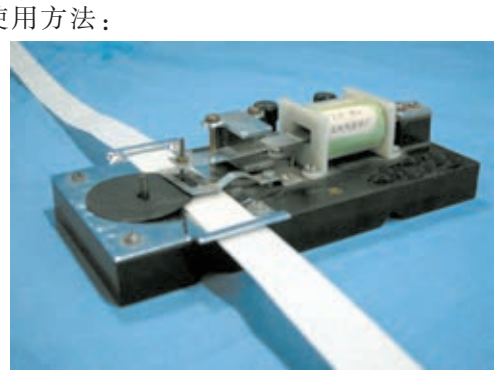


图 1–41

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：



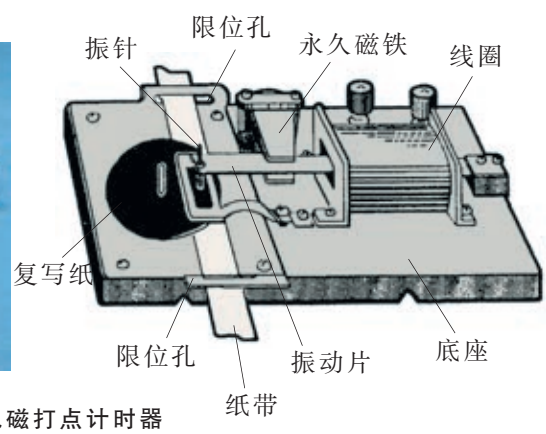


图 1–42　电磁打点计时器

（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

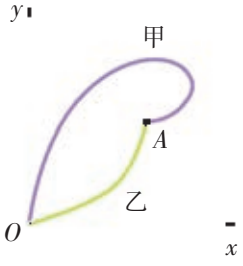


图 1–43　两小分队行军路线

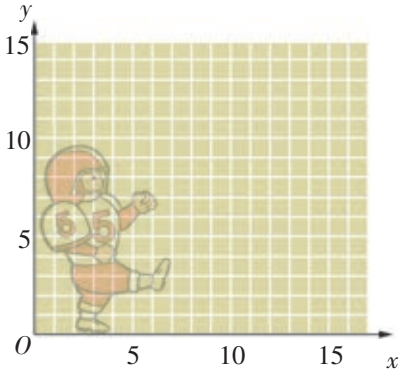


图 1–44　小橄榄球队员

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？

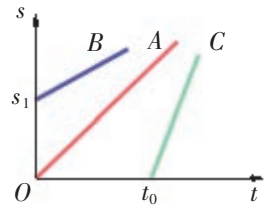


图 1–45　竞走运动员的 s–t 图像

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

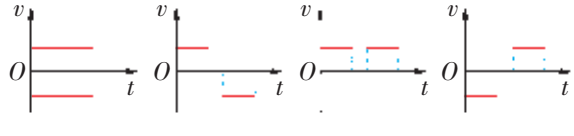


图 1–46



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。

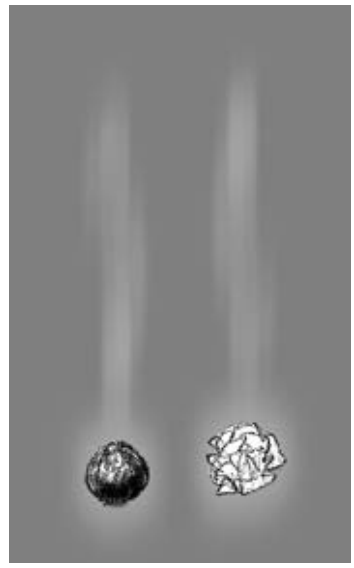


图 2-2 下落中的铁球与纸团
把纸搓成团,下落时空气阻力的影响大大减小,下落的快慢就同铁球差不多了

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?”

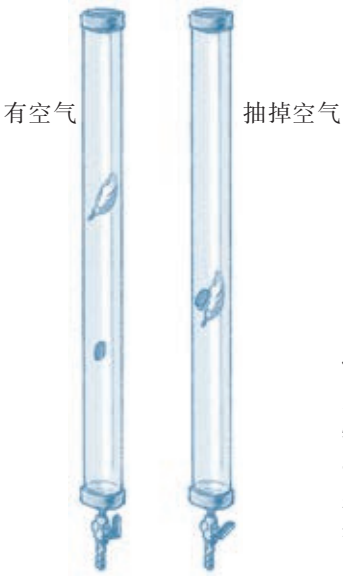


图 2-3 钱毛管实验
一根竖直放置的玻璃管,管内下端放一枚小钱币(金属片)和一片羽毛。管内充有空气时倒转玻璃管,让小钱币、羽毛同时下落。当小钱币落到管底时,羽毛还悠悠地在中间飘着呢!抽掉管内的空气,再倒转玻璃管,可看到羽毛和小钱币同时落到管底



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？

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。

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。

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。

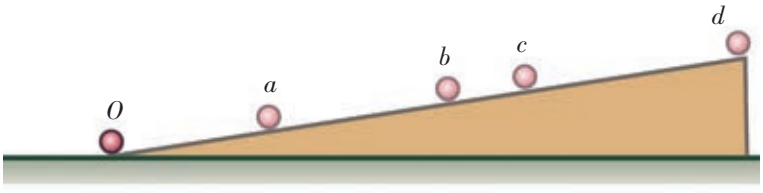


图 2–5 伽利略斜面实验示意图

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

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

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”。

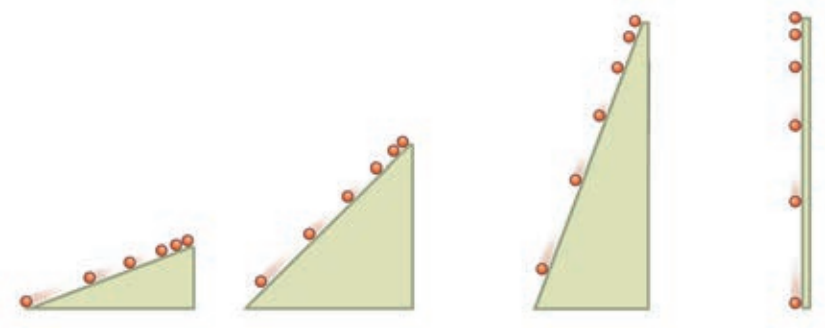


图 2–7　伽利略斜面实验“合理外推”示意图

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

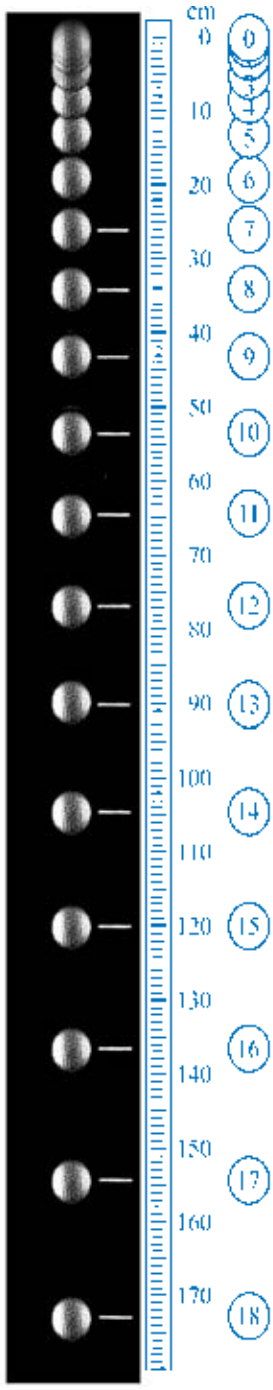


图 2–8　用频闪照相的方法拍摄的小球做自由落体运动的照片(两个像之间的时间间隔 Δt 为 0.033 s)

超越伽俐略

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搓紧,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/s^2，方向竖直向下。

根据加速度的定义，$a=\dfrac{v_t-v_0}{t}$，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

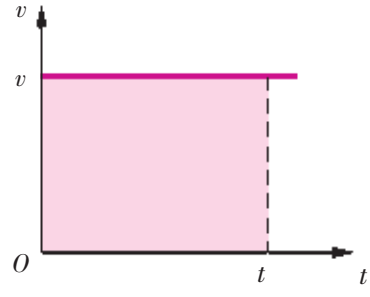


图 2-9　匀速直线运动的 $v-t$ 图像

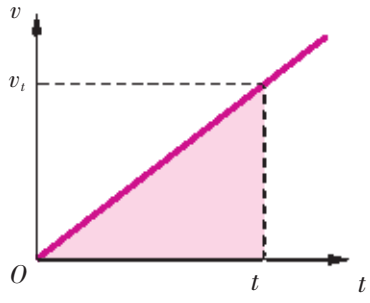


图 2–10　自由落体运动的 $v-t$ 图像

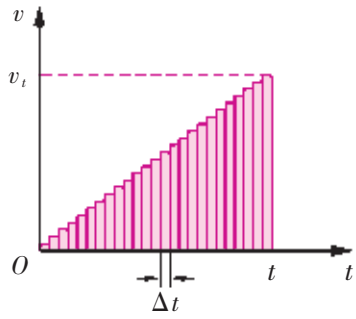


图 2–11　用一系列匀速直线运动代替连续变化的匀变速直线运动的 $v-t$ 图像

位移

$$s = v\,t$$

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。

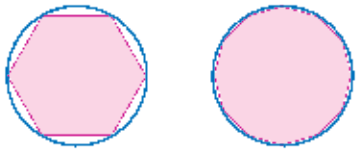


图 2–12　刘徽的“割圆术”

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。

月球表面的自由落体加速度大约是地球表面自由落体加速度的 $\frac{1}{6}$。

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,参阅下页的信息浏览,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 + … + 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. 月球表面附近自由落体加速度的大小约是地球表面附近自由落体加速度大小的 $\frac{1}{6}$，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！

2.3 匀变速直线运动的规律

前面已经研究了自由落体运动的规律，那么物体做匀变速直线运动的一般规律是怎样的呢？

从特殊到一般或从一般到特殊，是科学研究中常用的两种思维方法。

从自由落体运动到初速度为零的匀变速运动

自由落体运动可以看成是初速度为零的匀变速直线运动的一个特例，在同一地方，它的加速度 g 是一个确定的值。将自由落体运动公式中的 g 换成 a，我们就得到了初速度为零的匀变速直线运动的一般规律，即

速度公式

$$v_t = at$$

位移公式

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

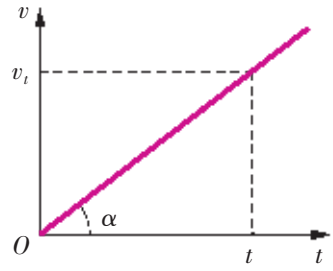


图 2–13　初速度为零的匀变速直线运动的 v–t 图像

所以，初速度为零的匀加速运动，其瞬时速度与时间成正比，位移与时间的平方成正比。

那么，初速度不为零的匀变速直线运动遵循什么规律呢？

匀变速直线运动的规律

根据图 2–14 所示的自动输送带上旅客的运动，我们可以把一般的匀变速直线运动看成两个运动的合成：一个是以初速度运动的匀速直线运动，另一个是初速度为零的匀加速直线运动。这样，我们立即可以得到一般的匀变速直线运动的规律：

速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

位移公式

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

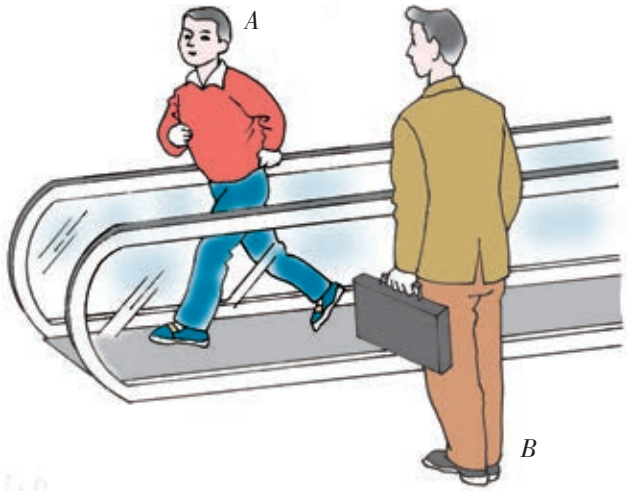


图 2–14　旅客自动输送带
许多机场的候机楼内都有一种旅客自动输送带，它能以恒定的速度输送站在带上的旅客。如果旅客 *A* 站到带上后，又匀加速向前跑动，那么他相对于站立在输送带外的旅客 *B* 的运动，就是初速度不为零的匀加速运动

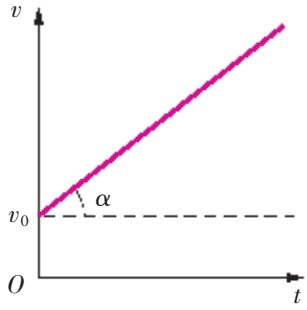


图 2–15　初速度不为零的匀加速直线运动的 *v*–*t* 图像

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，产生大小恒为 4 m/s² 的加速度。研究一下，这条跑道至少要多长？

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

$$v_t = v_0 + a t$$

得减速运动的时间

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

在这段时间内做减速运动的位移为

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

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. 匀加速直线运动是物体沿着一条直线
   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. 加速度不变的运动
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，则汽车制动后到停止的滑行过程中，它的 v–t 图像应该怎样画？

2.4 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/s^2,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。

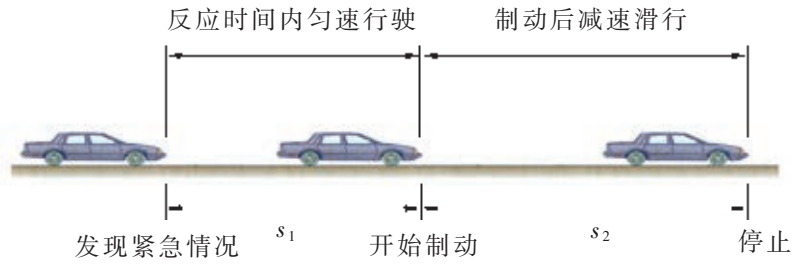


图 2–19　汽车紧急制动前后的运动

公安部门规定：严禁酒后驾车，你能帮助解释它的道理吗？

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

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

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

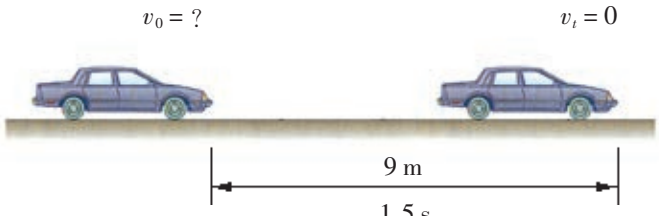


图 2–20　制动滑行

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

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

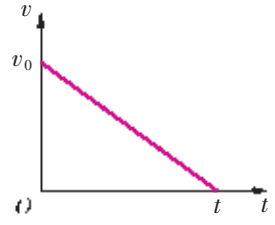


图 2–21　汽车刹车滑行的 *v–t* 图像

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/s^2，启动产生的加速度大小是 0.5 m/s^2，求：
   (1) 火车从制动开始到停止经历的时间和位移；
   (2) 火车启动后至达到原来的速度经历的时间和位移；
   (3) 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/s^2）
   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/s^2 的加速度做匀减速运动，则它在制动后 1min 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/s^2 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 楼的阳台边上跌下。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 $v_1 = 4\ \text{m/s}$，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 $4\ \text{m/s}^2$

D. 加速度的大小可能大于 $10\ \text{m/s}^2$

*10. 一列货车以 $v_1 = 28.8\ \text{km/h}$ 的速度在平直铁路上行驶，由于调度失误，其后方有一列客车以 $v_2 = 72\ \text{km/h}$ 的速度在同一铁轨上驶来。在相距 $s_0 = 600\ \text{m}$ 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 $1\ \text{m/s}^2$ 的加速度做匀加速运动，问：乙车经多少时间能追上甲车？



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 $14.3\ \text{m/s}^2$ 的加速度做匀减速运动，安全着陆时的速度仅为 5 m/s。g 取 $10\ \text{m/s}^2$，问：

（1）该运动员离开飞机时高度是多少？

（2）离开飞机后，经多少时间到达地面？



图 2–24　“空中芭蕾”