普通高中教科书

物理

必修

第一册

总主编　束炳如　何润伟



上海科技教育出版社



亲爱的同学：

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

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

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

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



第 3 章　力与相互作用

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

她，经历了历史的沧桑；她，见证了时代的变革……

如今，在两岸的一片新天地中，她欢笑着，奔腾着，一路高歌，滚滚向前。

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

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

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

每章的开头都有一些情境，提出一些问题，让你明确本章研究的主要内容。

实验探究

这里将要求你提出问题，设计实验方案，动手做一些有意义的实验，进行科学探究。

实验探究　用悬挂法确定薄板的重心

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

说说用悬挂法找薄板重心的原理。

分析与论证

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

分析与论证　共点力的平衡

上述实验结果也可以通过推理得到。

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

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

$$F_{合}=0$$

学生必做实验

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

学生必做实验　测量做直线运动物体的瞬时速度

我们用打点计时器来测量瞬时速度。

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

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

信息浏览、STSE

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

信息浏览

速率计是怎样工作的

图 1–3–11 是汽车速率计的基本结构示意图，其工作原理如下。

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

请你思考：当汽车在冰面上打滑时，速率计能正确指示车速吗？

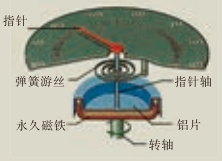


图 1–3–11　速率计的基本结构

多学一点

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

多学一点　v–t 图像的应用

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

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

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

得出汽车的初速度

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

课题研究

这里提供了一些课题供你选择研究，这种研究将使你的才智得到充分的展示。

课题研究

用欧拉方法测量动摩擦因数

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

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

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

请推导这个表达式。

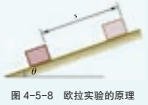


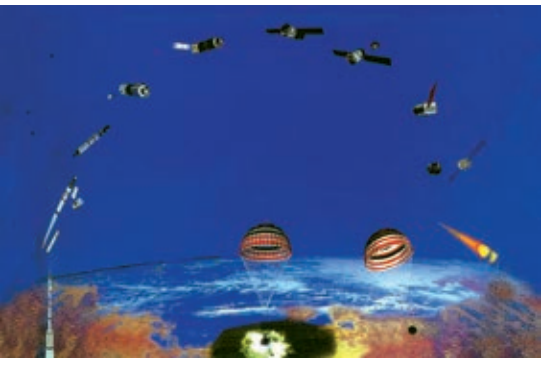
图 4–5–8　欧拉实验的原理

目　录



开篇　激动人心的万千体验 …… 6

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



第 1 章　物体运动的描述 …… 19

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



第 2 章　匀变速直线运动的规律 …… 42

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

第 3 章　力与相互作用 …… 57

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



第 4 章　牛顿运动定律 …… 87

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

总结与评价　课题研究成果报告会 …… 113
研究课题示例 …… 113
评价表 …… 114





开篇　激动人心的万千体验

——欢迎学习高中物理课程

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

* 引自 1999 年第 23 届国际纯粹与应用物理联合会代表大会的决议。

0.1　物理学——理性的追求

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

一座金碧辉煌的大厦

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

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

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

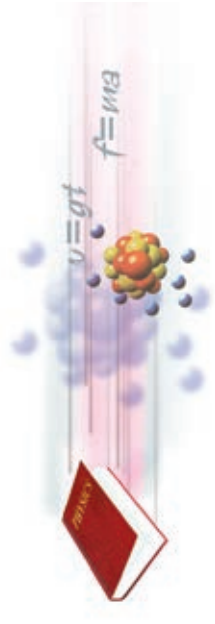


图 0-1-1　什么是物理学

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

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

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

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

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

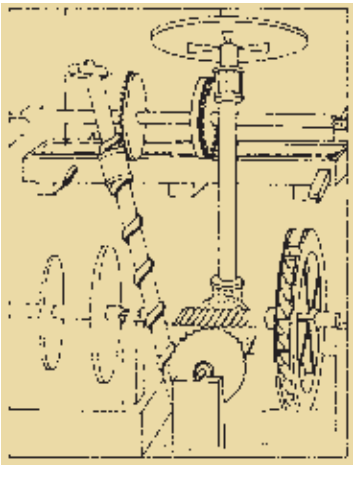


图 0-1-2　一种“永动机”的模型

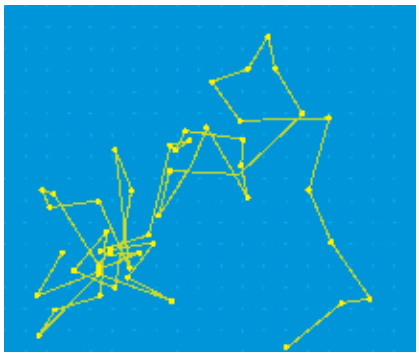


图 0-1-3　悬浮微粒的运动记录

牛顿的经典力学虽能精确地预言天体的运行，却无法回答上述问题。

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

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

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

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

物理学的探索难道就此停止了吗？

两朵乌云的挑战

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

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

这两朵乌云，其一跟屡见不鲜的热辐射现象有关。

你可知道，红外取暖器辐射出来的能量是一份一份的吗？

其二跟物体接近光速运动时的情况有关。

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

按照经典力学的运动相对性原理，应该看到静止的光波，但这是不可能的。

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

物理学的探索无止境

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

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

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

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

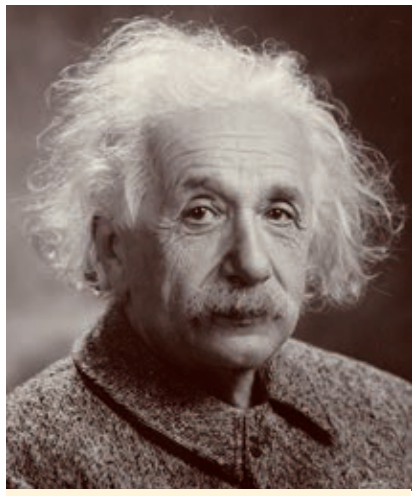
图 0–1–4 所示是目前人类所认识的物质世界的时空尺度。在时间尺度上，从 10^{-25} s 到 10^{18} s，跨越了 44 个数量级；在空间尺度上，从 10^{-18} m 到 10^{27} m，跨越了 46 个数量级。

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

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

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

——尼尔斯·斯坦森



我从事科学研究完全是出于一种不可遏制的想要探索大自然奥秘的欲望。

——爱因斯坦

今天我们必须根据我们今天能认识的真理来生活，还得准备好明天称它为谬误。

——威廉·詹姆斯

* 引自 1999 年第 23 届国际纯粹与应用物理联合会代表大会的决议。

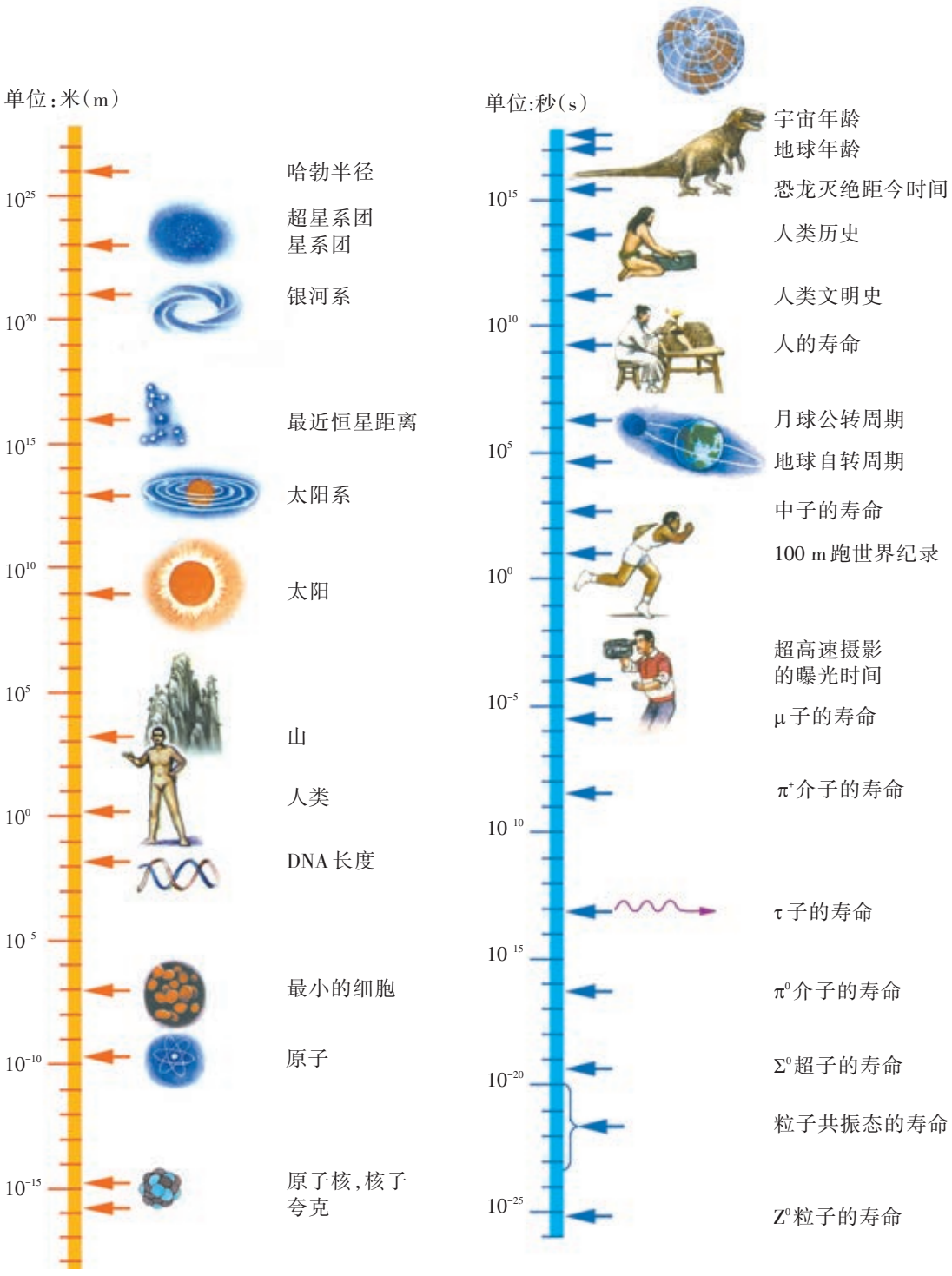


图 0-1-4　人类目前所认识的自然界的时空尺度

0.2　物理学——人类文明的瑰宝

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

物理学的理论成果，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

人类在长期生产实践中，发明了简单机械，有效地提高了劳动效率。

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

对任何人来说，不关心科学就是甘受奴役。

——雅各布·布罗诺夫斯基

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

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



图 0–2–1　用核磁共振仪检测病人



图 0–2–2　磁浮列车



a “长征”号火箭升空



b 国际空间站

图 0-2-3 太空探索

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

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

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

所有这些，都可在物理学中找到答案。

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

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

——爱因斯坦

物理观念——人类文明的思想宝库

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

影响。

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

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

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

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

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

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

物理与艺术——科学思维与情感的结晶

著名物理学家李政道说过：“科学和艺术源于人类活动最

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

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

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

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

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



图 0-2-4　美丽的雪花——从天而降的对称的艺术品

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

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

当物理学开始讨论时间的本质时，文学家们就迫不及待地写下时间旅行的故事……

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

请阅读下面的资料，说说你的看法。

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

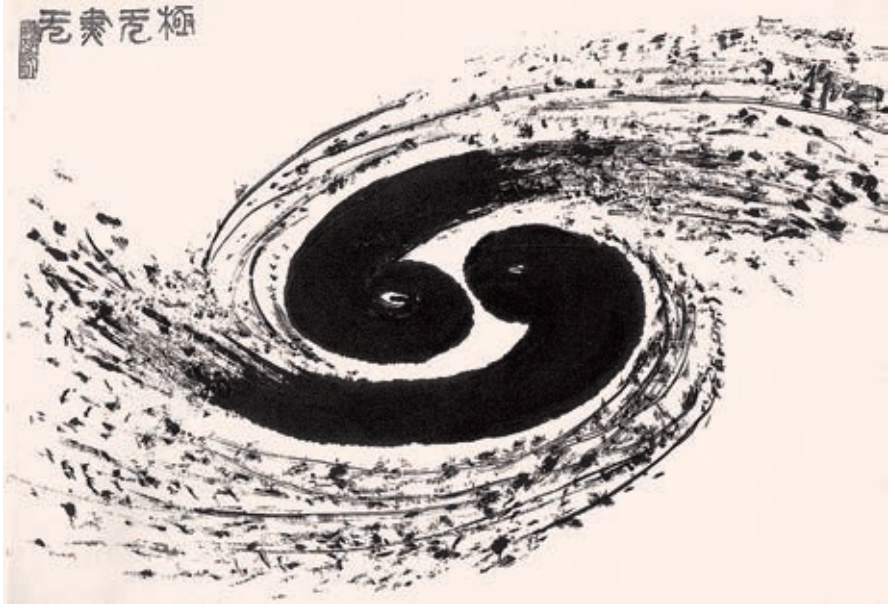


图 0–2–5　无尽无极

科学家邀请画家作画，纯粹是出于个人的艺术爱好吗？你对这项活动是怎样评价的？

0.3 学物理——探究求真

重视实验 勤于思考

没有实验的物理理论是空洞的，没有理论的实验是盲目的。
——海因茨·帕格尔斯

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

在实验过程中，要勤于思考，多问几个“为什么”，多作一些联想和引申。

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

让我们来做几个实验，作些思考，看看你能发现哪些问题。



图 0-3-1 水流星表演

转动的水杯

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

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

信息浏览

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

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



皂液膜上的彩色条纹

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

请仔细观察皂液膜上条纹的分布，你知道产生这种现象的原因吗？



图 0-3-2　皂液膜上的彩色条纹

对以上两个实验中的有关问题，在以后的物理学习中都要进行较为深入的研究。

经历过程　体会方法

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

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，航天员为什么处于失重状态？

你知道这些现象的物理原理吗？



图 0-3-3　失重状态下的航天员

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和规律，对照生活中的实例，重新体验；也可以是参加对某个问题的讨论，对知识进行整理等。经历过程的内核是“主动学习”，而不是被动的接受。

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

在物理学习中，要经常注意揣摩、体会研究问题的思路和

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

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

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

从第谷、开普勒到牛顿

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



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

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

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

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

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

今后，它将时时、处处伴随着你！



第 1 章　物体运动的描述

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

飞船在茫茫太空中遨游，如何描述它的运动呢？

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

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

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

---

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

1.1 运动与质点模型

怎样判断动与静

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

为了描述物体的运动，必须知道怎样判断物体是运动的还是静止的。

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

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

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

思考与讨论

1. 从一千多年前的唐代流传下来一首词*：



图 1-1-1　看山恰似走来迎

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

满眼风波多闪烁，
看山恰似走来迎，
仔细看山山不动，是船行。

作者为什么会有“山迎”“船行”这样两种不同的感觉呢？

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

怎样把物体简化为质点

在研究物体的运动时，常常需要对具体的物体进行简化。

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



图 1–1–2　显示屏上“神舟”五号实时位置

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

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

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

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

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

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。**

思考与讨论

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

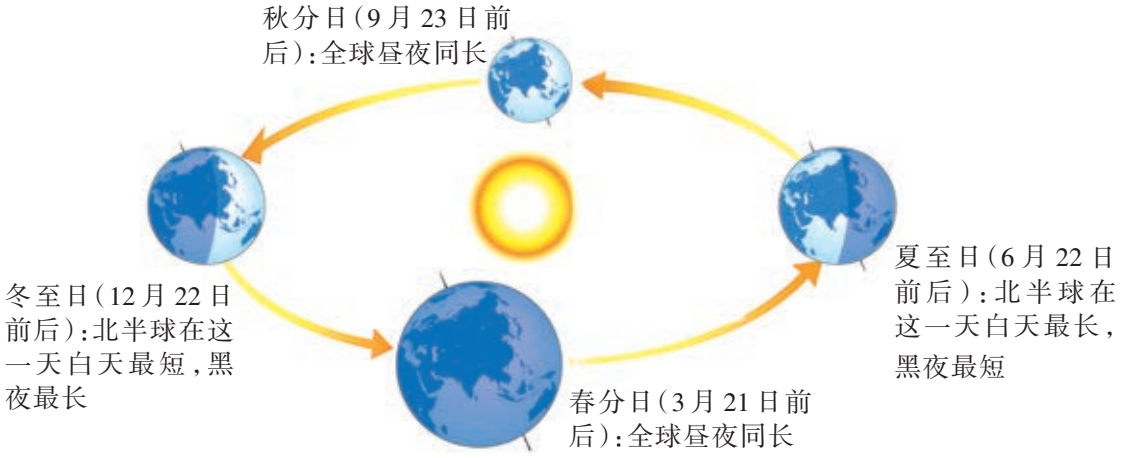


图 1–1–3　地球的公转和四季变化

2. 物理学中的质点跟几何学中的点有什么相同和不同的地方？

3. 你能否总结一下：在具体问题中把物体看成质点的条件是什么？请相互交流。

时间和时刻有什么不同

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

则表示物体运动经历的时间（图 1–1–4）。

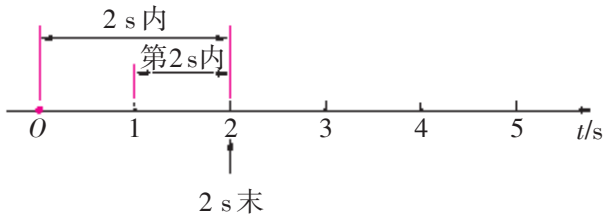


图 1–1–4　时刻与时间

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

位移与路程有什么不同

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

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

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



图 1–1–5　上海航空港的航线图



图 1–1–6　上海至乌鲁木齐的位移和路程

思考与讨论

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

2. 阅读下面的对话：

甲：请问到市图书馆怎么走？

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

甲：谢谢！

乙：不用客气。

请在图 1–1–7 上把甲从市中心到市图书馆的位移和要经过的路程表示出来。

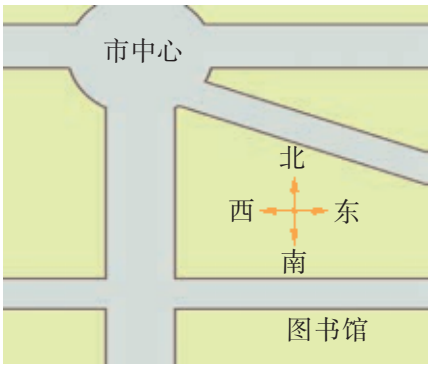


图 1–1–7　走到市图书馆

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，并规定好正方向，就可以把汽车在不同时刻的位置用相应的坐标表示出来。

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

$$s = x - x_0$$

这时，s 的绝对值就表示了位移的大小，s 的正负就表示了位移的方向。

在图 1–1–8 中，汽车在 t_2 到 t_3 时间内的位移可表示为

$$s = x_3 - x_2$$

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

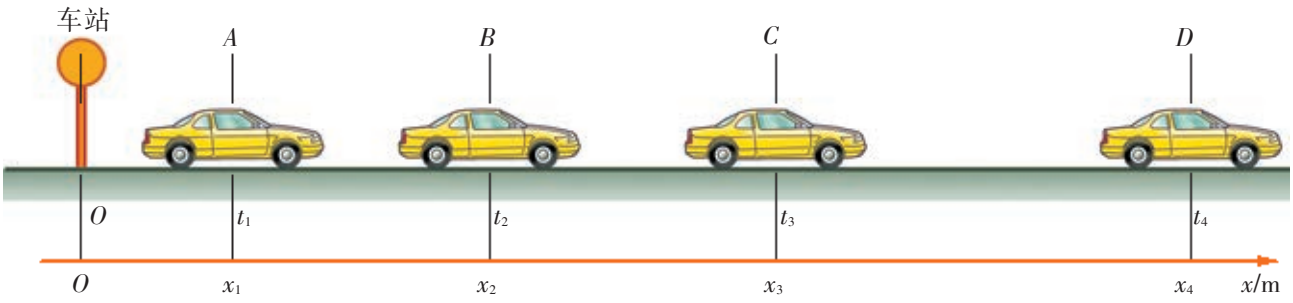


图 1-1-8　汽车位置的变化

家庭作业与活动



图 1-1-9　体操运动员腾空翻动作全过程的频闪照片

1. 能否把图 1-1-9 中的体操运动员看成质点？为什么？
2. 汽车、摩托车的里程表上记录的是路程还是位移的大小？你出门乘坐出租车是按行驶的路程付费，还是按位移的大小付费？
3. 用刻度尺量出 1 元硬币的直径，然后令它在课桌上沿直线滚动 10 圈。试问：
   （1）硬币圆心的位移和路程各是多少？
   （2）硬币圆周上每一点的位移的大小和路程是否相同？
4. 图 1-1-10 表示垒球场的内场，它是一个边长为 16.77 m 的正方形，四角分别为本垒和一、二、三垒。一位球员击球后由本垒经一垒、二垒跑到三垒，他的位移是多少？方向怎样？经过的路程是多少？
5. 一个小球从 4 m 高处落下，被地面弹回后，某人在 1 m 高处用手接住小球。若以地面上小球落点为坐标原点、以竖直向上为正方向作坐标轴。将小球落点和手接球时的小球位置在坐标轴上表示出来，并求出小球在这个过程中的位移。
6. 某校 8 时整开始上第一节课，上午共 4 节课，每节课 45 min，课间休息 10 min。请在时间轴上把它们表示出来。

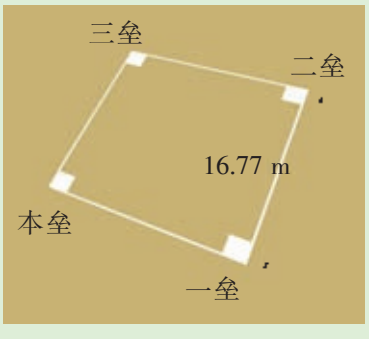


图 1-1-10　垒球场

1.2 怎样描述运动的快慢

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

什么叫速度

为了定量地描述物体运动的快慢，我们从研究简单的直线运动开始。

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

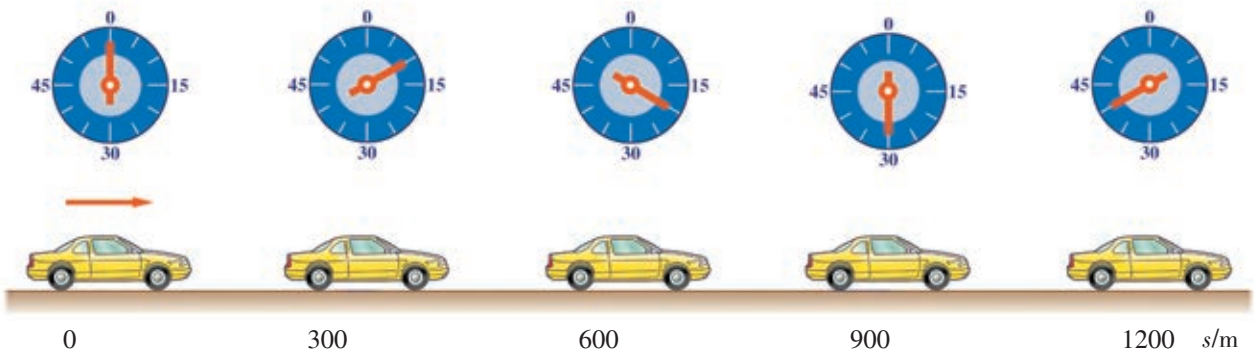


图 1–2–1　匀速直线运动

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

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

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

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

速度不仅有大小，还有方向。速度的方向就是物体位移的方向。

案例分析

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

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

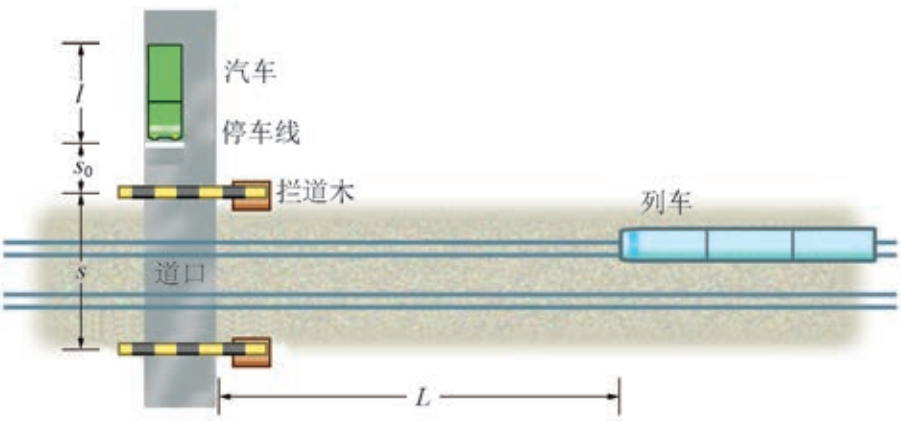


图 1–2–2　铁路与公路的交叉道口

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

解答　汽车越过停车线至车尾通过道口，汽车的位移为

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

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

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

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

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

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

平均速度

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

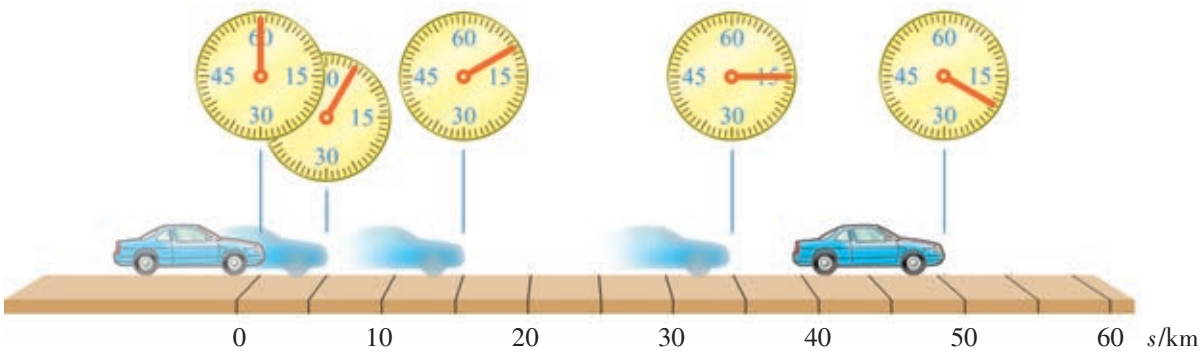


图 1-2-3　汽车的变速运动

在物理学中，**把运动物体在某段时间内的位移 s 与发生这段位移所需时间 t 的比，叫做平均速度**（average velocity）。平均速度常用符号 $\bar{v}$ 表示。即

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

平均速度仅表示运动物体在某段时间（或某段位移）内的平均快慢程度。

截至 2018 年底，百米赛跑的世界纪录是 9.58 s。根据公式 $v=\frac{s}{t}$ 求出速度 $v=$_____，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），那么算出的这些平均速度之间有什么关系？

通过这个实例，请你给变速直线运动下一个定义。

家庭作业与活动

1. 平均速度等于零是否表示物体一定处于静止状态？
2. 关于平均速度的下列说法中，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
3. 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 的当时的百米跑世界纪录。下表中给出了当时的实测记录。请计算出每个 10 m 内的平均速度，并填入表中末行。

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})											

1.3　怎样描述运动的快慢（续）

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

什么叫瞬时速度

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

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



图 1–3–1　速率计

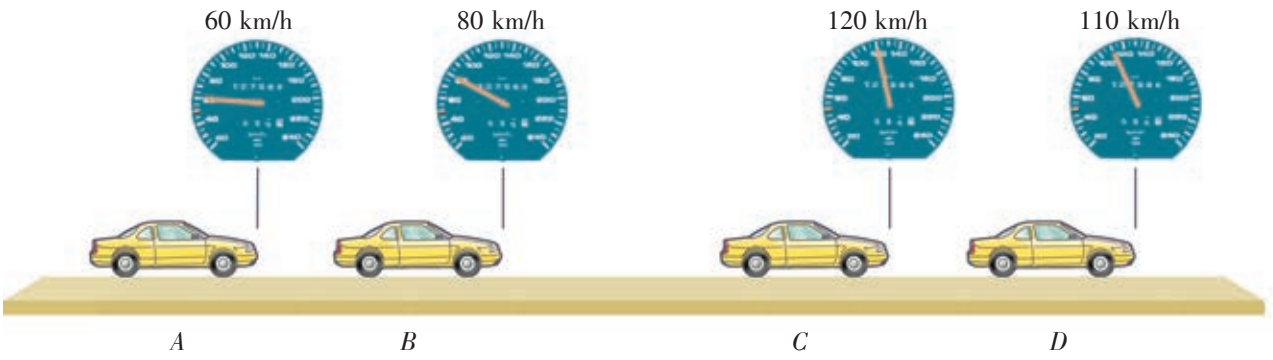


图 1–3–2　汽车通过不同位置时的瞬时速率

学生必做实验　测量做直线运动物体的瞬时速度

我们用打点计时器来测量瞬时速度。

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

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

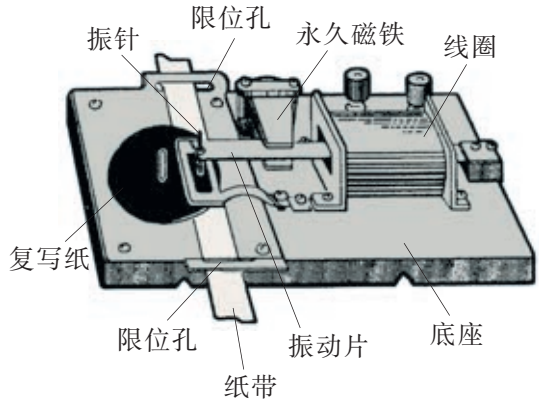


图 1–3–3　电磁打点计时器



图 1-3-4　电火花打点计时器

久磁铁的作用下，振动片便带动振针上下振动，可在运动的纸带上打出一行点迹。

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

那么，如何利用打点计时器测量瞬时速度呢？

进行实验

把打点计时器固定在水平桌面上，让纸带穿过打点计时器。

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

收集证据

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

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

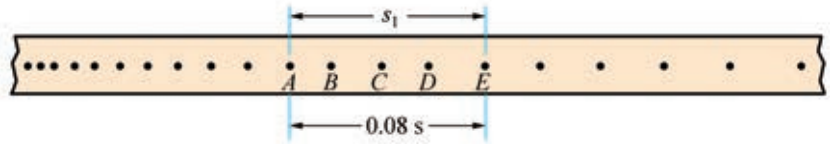


图 1-3-5　在打出 A、E 两点的时间间隔内，纸带运动的平均速度是多少

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

如果 BD 距离过小则测量误差增大，故应该根据实际情况选取这两个点。

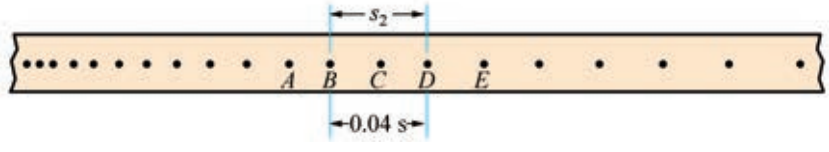


图 1-3-6　B、D 两点离 C 点更近，算出的平均速度更接近 C 点的瞬时速度

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

手拉纸带在几个位置的瞬时速度

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

思考与讨论

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

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

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

“我的意思是，60 千米的路程你可用 1 小时赶到。”

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

……

请讨论一下：他们两个人为什么无法沟通？

不同年代运行工具的最大速度

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

用图像描述位移和速度

物体的运动情况，除了用语言文字和数学公式描述外，还可以直观地用图像来描述。

位移图像

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

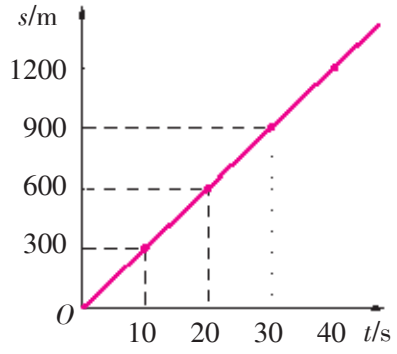


图 1–3–7　匀速直线运动的 s–t 图像

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

案例分析

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

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

解答　乌龟和兔子比赛的 s–t 图像如图1–3–8所示。

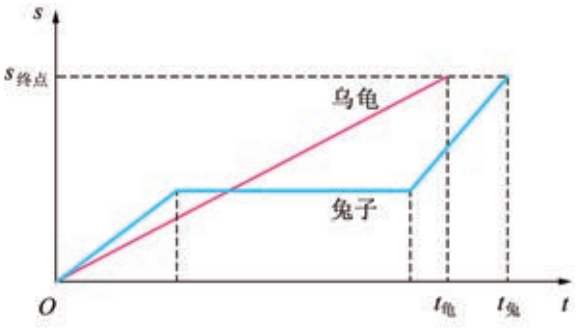


图 1–3–8　龟兔赛跑的 s–t 图像

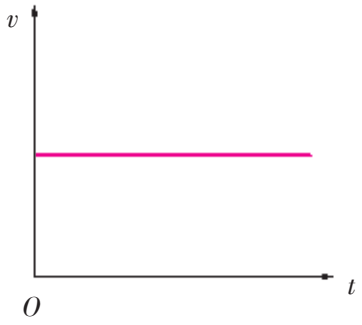


图 1–3–9　匀速直线运动的速度图像

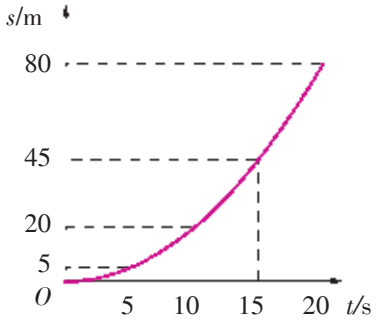


图 1–3–10　运动汽车的 s–t 图像

速度图像

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

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

思考与讨论

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

信息浏览

速率计是怎样工作的

图 1–3–11 是汽车速率计的基本结构示意图，其工作原理如下。

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

请你思考：当汽车在冰面上打滑时，速率计能正确指示车速吗？

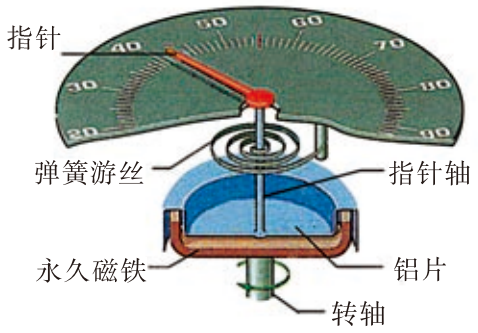


图 1–3–11　速率计的基本结构

STSE

应用运动相对性原理的杰作——风洞

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

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

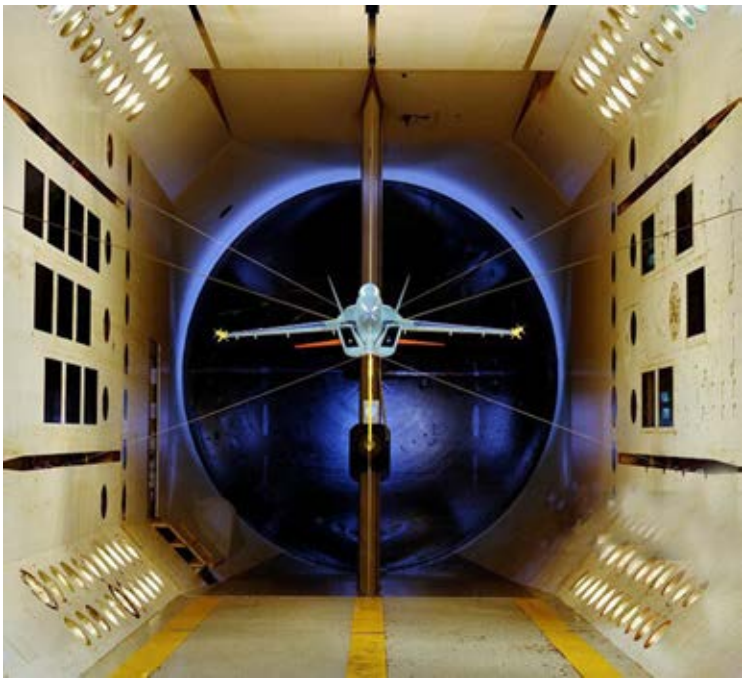


图 1–3–12　风洞

课题研究

用 DIS 研究匀速直线运动

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

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

实验时，按图 1–3–13 所示安装器材，把运动传感器的发射器固定在小车上，把接受器固定在导轨上，使发射器和接受器正对放置。仔细调节导轨倾斜度，使小车能做匀速直线运动。

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

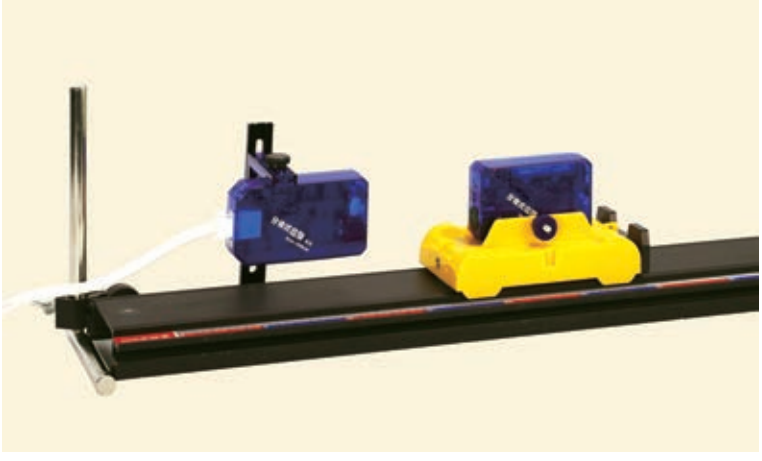


图 1–3–13　用 DIS 研究匀速直线运动

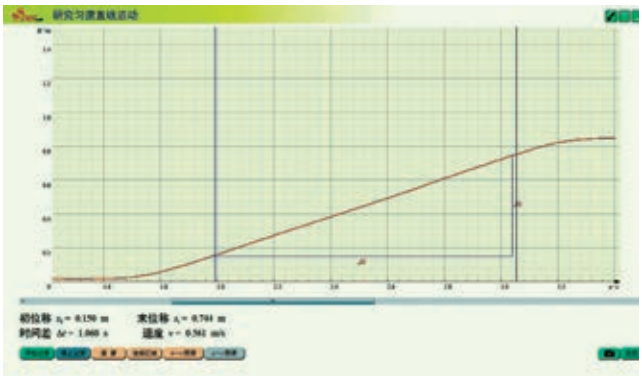


图 1–3–14　匀速直线运动的 *s* – *t* 图像

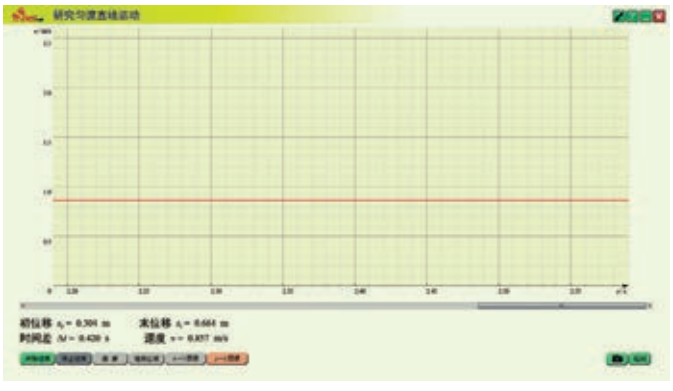


图 1–3–15　匀速直线运动的 *v* – *t* 图像

家庭作业与活动

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 末到达终点时的速度为 10.2 m / s，则此运动员在这 100 m 中的平均速度为（　　）。

   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时的运动快慢程度

   D. 表示物体发生某段位移过程中的运动快慢程度

3. 图 1–3–16 是一辆在平直公路上行驶的汽车的 s–t 图像。试根据图像求出：

   （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。

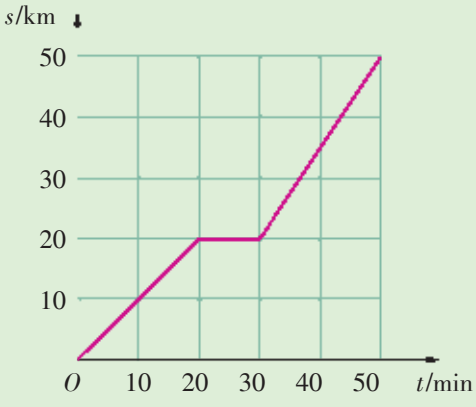


图 1–3–16

4. 图 1–3–17 是一架飞机飞行的 s–t 图像。试根据图像回答：

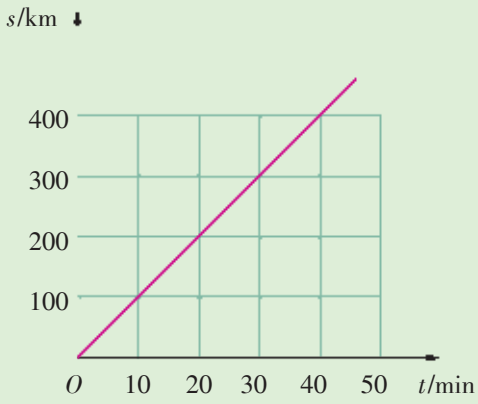


图 1–3–17

   （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直线飞行，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. 图 1–3–18 中，A、B 两运动物体的速度图像 a、b 互相平行，则下列对两物体运动情况的判断中正确的是（　　）。

   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

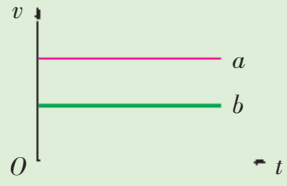


图 1–3–18

1.4 怎样描述速度变化的快慢

从汽车广告谈起

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

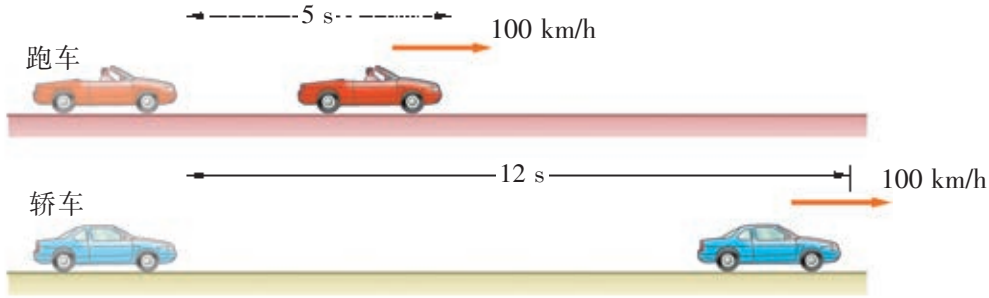


图 1–4–1　跑车与家用轿车的启动性能比较

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

同样道理，汽车在制动时，从某一速度变到静止的时间越短，制动性能越好。

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

什么是加速度



图 1–4–2　速度的变化

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

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

为了描述物体运动速度变化的快慢，需要引入一个新的概念——加速度。

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

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

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

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

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

例如，上述跑车和普通家用轿车的初速度 $v_0 = 0$，末速度 $v_t = 100\ km/h = 27.8\ m/s$，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

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

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

请算出图 1–4–2 中子弹的加速度大小。

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

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

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

利用 v–t 图像，可以直观地表示物体的加速度大小。

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

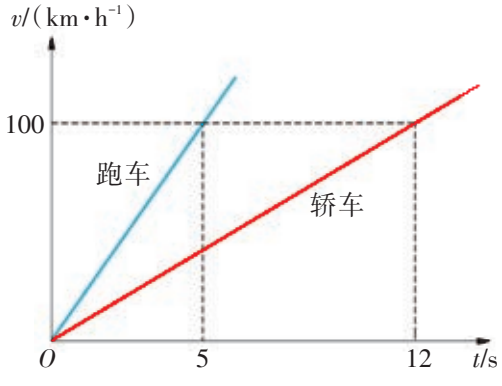


图 1–4–3　跑车与家用轿车的速度图像

像中的直线倾斜程度就小。

匀变速直线运动

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

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

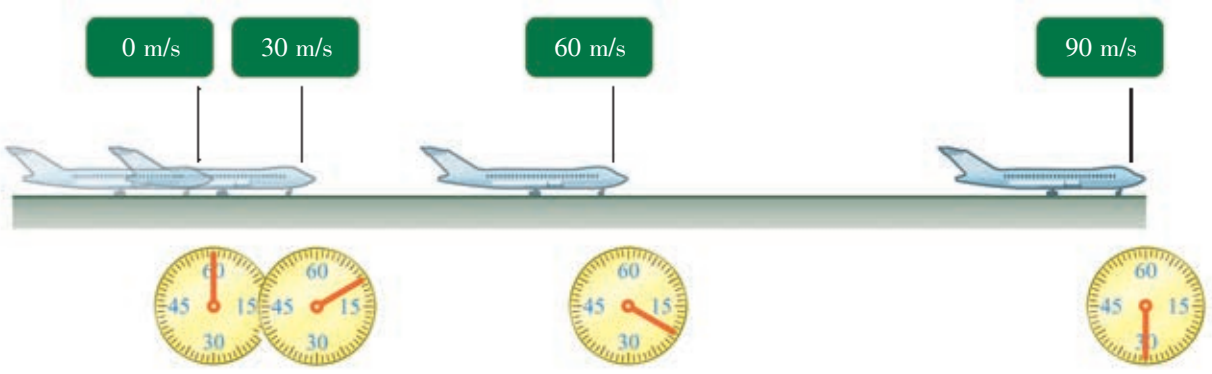


图 1–4–4　飞机匀加速滑行

实验探究　研究匀变速直线运动的特点

我们利用打点计时器来研究匀变速直线运动的特点。

进行实验

如图 1–4–5 所示，把装有滑轮的长木板放在实验桌上，并使滑轮伸出桌面。

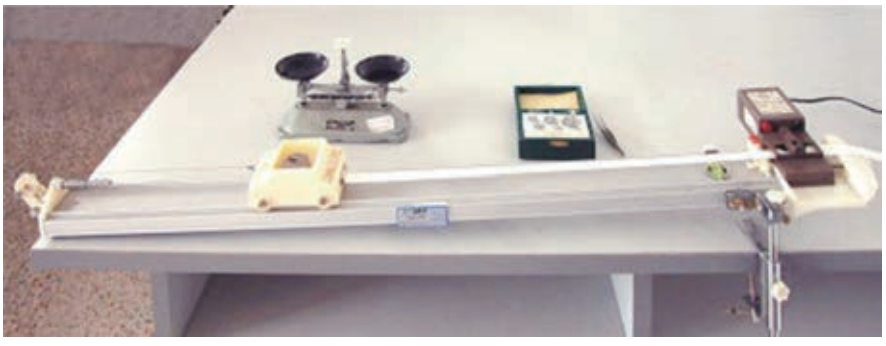


图 1–4–5　研究匀变速直线运动的实验装置

小车的一端通过细线挂上适量的钩码，把纸带穿过打点计时器，固定在小车的后面。

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

收集证据

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

由实验可知，匀变速直线运动是_____不变的运动。



图 1-4-6　记录在纸带上的点迹

根据匀变速直线运动的特点和测得的数据，计算出小车运动的加速度。

案例分析

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

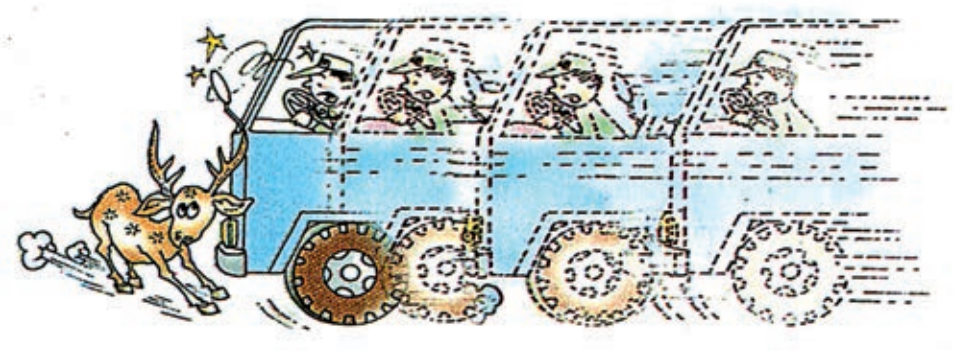


图 1-4-7　幸免于难的小动物

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

解答　制动过程中汽车的加速度

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

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。

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。

信息浏览

一些物体的加速度数量级（单位：m/s^2）

加速器中的质子 10^{15}
高速离心机中的物质 10^{6}
枪膛中被击发的子弹 10^{5}
弓箭射出时 10^{3}
火箭升空时 10^{2}
地球上的自由落体 10^{1}
卡车启动时，月球上的自由落体 10^{0}
列车启动时 10^{-1}
万吨货轮起航时 10^{-2}
地球绕太阳公转 10^{-3}
太阳绕银河系中心公转 10^{-6}

家庭作业与活动

1. 关于加速度的概念，有人提出下列说法，你认为是否正确？为什么？请举例说明。
   （1）加速度就是加出来的速度。
   （2）匀速直线运动是加速度不变的运动。
   （3）物体运动速度越大，加速度也越大；物体运动的加速度越大，它的速度一定也越大。
   （4）加速度方向与末速度方向总保持一致。
2. 一步枪发射子弹，子弹在某一时刻的速度是 100 m/s，经过 0.001 5 s，速度变为 700 m/s。求子弹的加速度。
3. 一只鹰在直线俯冲时，经过 4 s，速度从 15 m/s 增大到 22 m/s。它的加速度多大？
4. 机动车出厂前都要进行严格的安全测试。现知某型号汽车的测试要求是，当汽车以 30 km/h 的速度行驶时，制动时间 $t < 1.6$ s。那么，这种汽车制动时的加速度至少是多少？
5. 图 1–4–8 是某物体做匀变速直线运动的 v–t 图像。这个物体的加速度是多大？

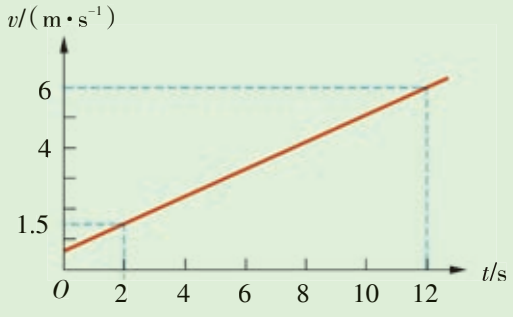


图 1–4–8

第 1 章家庭作业与活动

A 组

1. 一位同学在军训时按照口令，先向东走 3 m，又向北走 2 m，最后向西走 5 m。画出这位同学的位移的示意图，并算出位移的大小。
2. 一辆汽车沿平直公路做匀加速直线运动。已知其加速度为 2 m / s^2，那么该车在任意 1 s 内（　　）。

   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 的末速度大 2 m/s

   D. 末速度一定比前 1 s 的初速度大 2 m/s
3. 甲、乙两小分队进行代号为“猎狐”的军事演习。指挥部通过现代通信设备，在荧屏上观察到两小分队的行军路线如图 1–A–1 所示。设两小分队同时从同一处 O 出发，最后同时捕“狐”于 A 点，则（　　）。

   A. 两队行军的路程 $l_{甲} > l_{乙}$

   B. 两队位移的大小 $s_{甲} > s_{乙}$

   C. 两队平均速度 $v_{甲} = v_{乙}$

   D. 图 1–A–1 表示了两队行军的 s–t 图像

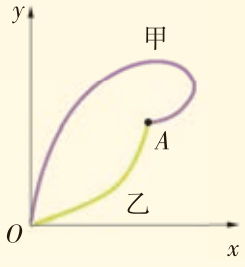


图 1–A–1

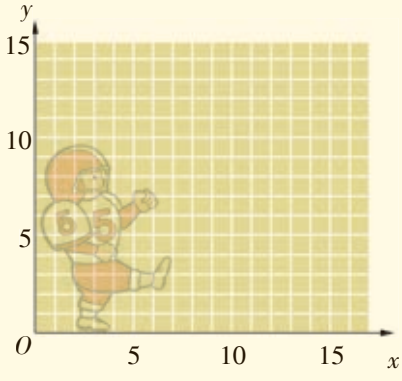


图 1–A–2

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

B 组

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

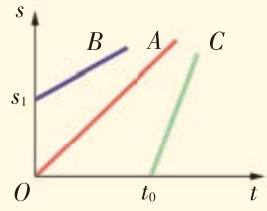


图 1–B–1

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

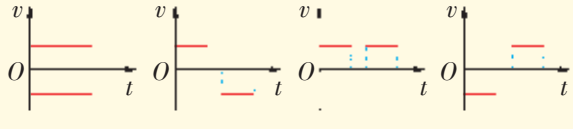


图 1–B–2

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



第2章 匀变速直线运动的规律

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

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

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

2.1 伽利略对落体运动的研究

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

落体运动十分常见，你思考过其中有哪些问题值得研究吗？

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

小石头诘难大哲学家

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

伽利略佯谬

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

拨开阻力的迷雾

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

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

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

伽利略的探究之路

伽利略用逻辑论证的方法否定了亚里士多德的说法后，就



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

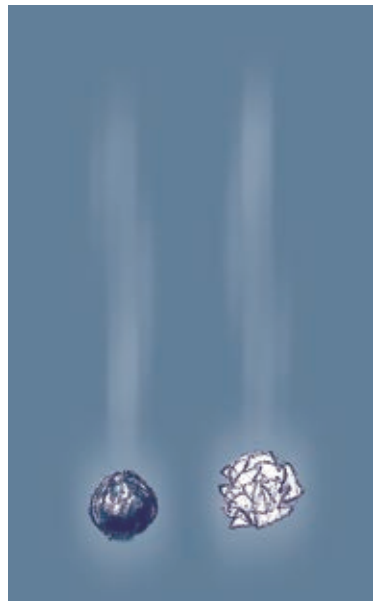


图 2-1-1 下落中的铁球与纸团
把纸搓成团，下落时空气阻力的影响大大减小，下落的快慢就同铁球差不多了。

突出主要因素，忽略和排除次要因素，是进行科学研究的重要思路和方法。

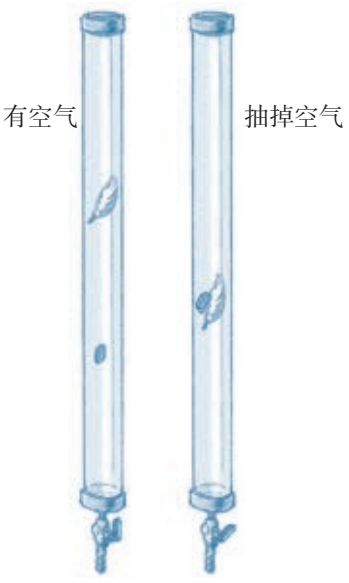


图 2-1-2　牛顿管实验

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

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

转向用实验研究落体运动的性质。

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

$$v \propto t$$

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

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

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

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

$$s \propto t^2$$

请讨论：为什么 $s \propto t^2$ 比 $v \propto t$ 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，很难测定物体发生不同位移的时间。为了减缓物体的运动速度，伽利略设计了著名的斜面实验。

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



图 2-1-3　伽利略的斜面实验

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

s_3，…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，则上述实验结果可表示为

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

伽利略手稿中记录的一组实验数据 *

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

* 记录数据中的“+”表示稍大些

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

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

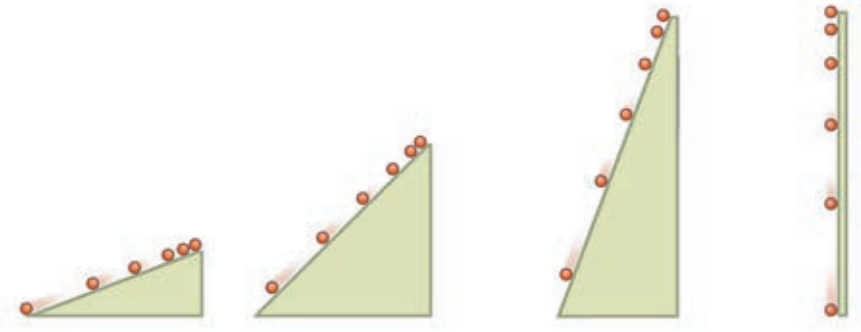


图 2–1–4 伽利略斜面实验的“合理外推”示意图

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

伽利略对落体运动的研究思路概括如下：

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

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

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

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

——拉普拉斯

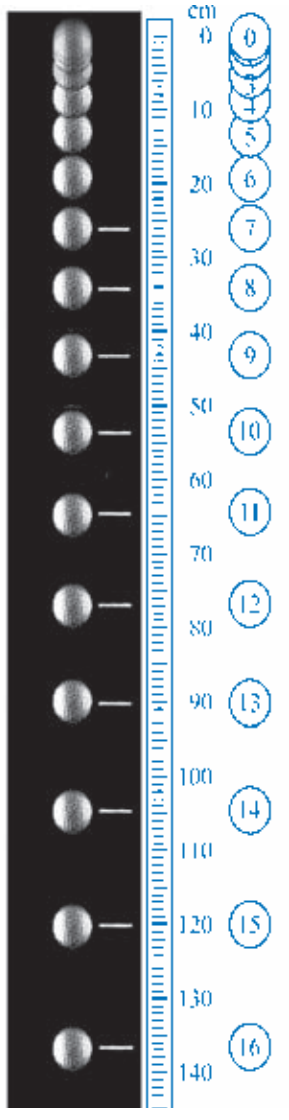


图 2–1–5　用频闪照相的方法拍摄的小球做自由落体运动的照片（两个像之间的时间间隔 Δt 为 0.033 s）

超越伽利略

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

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

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

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

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

课题研究

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

家庭作业与活动

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. 把一张纸尽可能搓紧，让它与橡皮块从同一高度同时下落，一起做落体运动，仔细观察两者是否同时落地。由此，你能得出什么结论？
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 2–1–5），下列说法正确吗？为什么？

   （1）球在下段时的速度大于在上段时的速度。

   （2）这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。

2.2 匀变速直线运动的规律

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

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

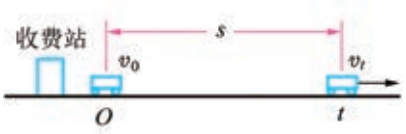


图 2–2–1

速度和时间的关系

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

$$v_t=v_0+at$$

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

位移和时间的关系

利用匀变速直线运动的 v– t 图像，可导出位移与时间关系的公式。

为此，让我们先来看看物体做匀速直线运动的情况。

物体做匀速直线运动时的速度是不随时间变化的，在时间 t 内的位移

$$s=v\,t$$

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

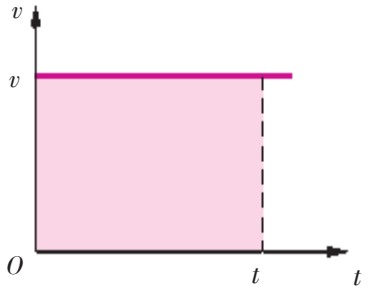


图 2–2–2 匀速直线运动的 v–t 图像

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

初速度不为零的匀变速直线运动的 v–t 图像如图 2–2–3 所示，是一条过坐标点（0，v_0）的倾斜直线，类似地，倾斜直线下方梯形的面积对应着物体在时间 t 内的位移，即 $s=\dfrac{v_0+v_t}{2}t=\dfrac{v_0+v_0+at}{2}t$，可得到位移公式

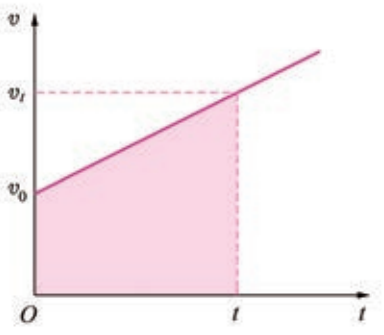


图 2–2–3 初速度不为零的匀变速直线运动的 v–t 图像

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

为什么这个梯形的面积能表示做匀变速直线运动的物体在时间 t 内的位移呢？

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

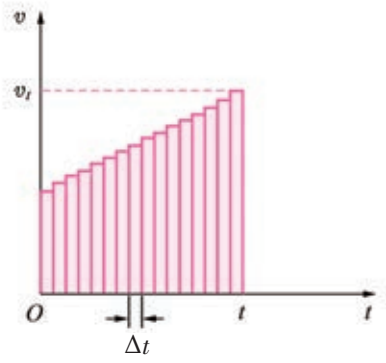


图 2-2-4　用一系列匀速直线运动代替匀变速直线运动

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

思考与讨论

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

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

案例分析

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

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

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

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



图 2-2-5　运 -20 飞机在平直跑道上滑行

得到飞机在跑道上做减速运动的时间

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

在这段时间内飞机的位移为

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2=100\times12.5\ \mathrm{m}+\frac{1}{2}\times(-8)\times12.5^2\ \mathrm{m}=625\ \mathrm{m}$$

所以跑道长度至少为 625 m。

思考一下：你能否用其他方法求解？把你的想法与其他同学交流，怎样解更简单？

速度跟位移的关系

上面的案例中，没有给出飞机做减速运动的时间 t，解答过程中，它也是一个过渡量。这就启示我们，在 $v_t=v_0+at$ 和 $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ 两式中设法消去时间 t，就可以直接得到匀变速直线运动的速度跟位移的关系公式：$v_t^2-v_0^2=2as$。

家庭作业与活动

1. 匀加速直线运动是（　　）。

   A. 速度变化总相等的运动

   B. 加速度均匀变化的运动

   C. 速度变化的快慢恒定的运动

   D. 加速度恒定的运动

2. 某三辆汽车的加速度数据如下：

小轿车	加速度 1.2 m/s²
4 t 载重汽车	加速度 0.22 m/s²
8 t 载重汽车	加速度 0.17 m/s²

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

3. 某型号汽车的安全技术标准如下：

汽车载重标准为4.5 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/s² 的加速度而成功起飞，求该战斗机起飞的速度和做加速运动的时间。

5. 如果汽车从某时刻起改做匀减速直线运动，则在汽车制动后到停止的滑行过程中，它的 v–t 图像应该怎样画？

2.3 自由落体运动的规律

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

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

$$v_t = g t$$

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

物体在时间 t 内的位移

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

这个公式表明，物体自由下落的位移与运动时间的平方成正比。

由前两个公式可得，自由落体的速度与位移的关系式为

$$v_t^2 = 2 g h$$

案例分析

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

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

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

根据公式 $v_t = g t$，可求出铁球落到地面时的速度

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

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。

实验探究 测定重力加速度的大小

重力加速度是一个重要的物理常数，在生活、生产和科学研究中有着重要的应用。

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

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

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

你能想出其他方法来测定重力加速度吗？

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

一些地方重力加速度的数值 g/(m·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

查出你所在地区的重力加速度标准值，与你的实验结果进行比较。

月球表面的自由落体加速度大约是地球表面的$\frac{1}{6}$。

家庭作业与活动

1. 关于自由落体的位移公式，有人作如下推导：由于 $v = gt$，$h = vt$，所以有 $h = gt^2$。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约是地球表面的$\frac{1}{6}$。在月球上空 196 m 的高处让一套质量为 60 kg 的仪器自由下落，它落到月球表面的时间是多少？
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 s 末石头的速度多大？

   （2）在第 2 s 内（从第 1 s 末至第 2 s 末），石头落下多少距离？

   （3）经历 8 s 后运动员听到石头落到地面。问石头落地时的速度有多大？这个山峰有多高？

   （4）讨论一下，若考虑到声音传播的时间，石头落地时的速度和山峰的高度值跟上面算出的结果会有怎样的差别？
5. 设计一个实验，不用卷尺，估测教学大楼 4 楼阳台距地面的高度。要求说明实验原理，列出所需器材，写出需测量的物理量。

   如需实测，一定要征得老师的同意，在其指导下进行，请注意安全！

2.4 匀变速直线运动规律的应用

生活中的匀变速直线运动



图 2-4-1 小孩站在滑板车上沿斜坡滑下

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

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

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

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

请你找一找，生活中还有哪些可用匀变速直线运动描述的实例。

案例分析

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



图 2-4-2 某地高速公路的限速标志

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

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

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

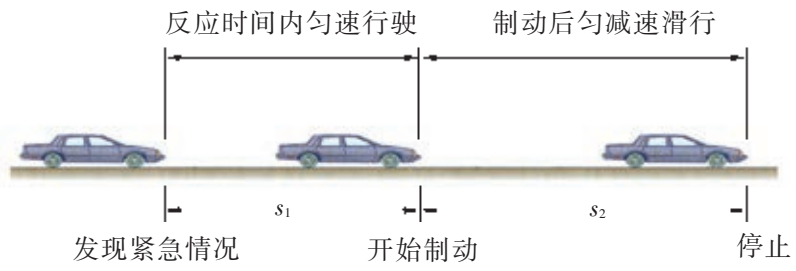


图 2-4-3 汽车紧急制动前后的运动

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

制动后，汽车做匀减速运动，滑行时间为

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

公安部门规定：严禁酒后驾车。你能说明该规定的道理吗？

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

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

根据匀变速直线运动速度均匀变化的特点，由制动后的滑行距离（车痕长度）和滑行时间，可以算出滑行过程中的平均速度$\bar{v}$。然后由$\bar{v} = \frac{v_0 + v_t}{2} = \frac{v_0}{2}$就可以算出初速度$v_0$。

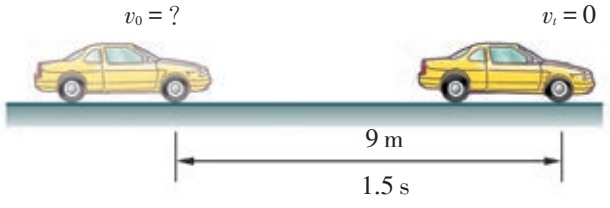


图 2-4-4 制动滑行

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

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

多学一点　v–t 图像的应用

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

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

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

得出汽车的初速度

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

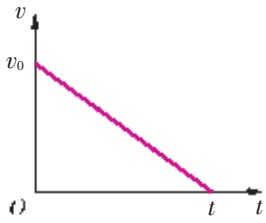


图 2–4–5　汽车制动滑行的 v – t 图像

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

第 2 章家庭作业与活动

A 组

1. 两位同学分别在塔的不同高度，各用一个球做自由落体实验，两球轻重不同。已知甲球的重量是乙球的 2 倍，释放甲球处的高度是释放乙球处高度的$\frac{1}{2}$，则（　　）。

   A. 甲球下落的加速度是乙球的 2 倍

   B. 甲球落地时的速度是乙球的$\frac{1}{2}$

   C. 甲、乙两球各下落 1 s 时的速度相等

   D. 甲、乙两球各下落 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，则下列判断中，正确的是（　　）。

   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. 列车从甲站出发，沿平直铁路做匀加速直线运动，紧接着又做匀减速直线运动，到乙站恰好停止。在这先后两个运动过程中（　　）。

   A. 列车的位移一定相等

   B. 列车的加速度大小一定相等

   C. 列车的平均速度一定相等

   D. 所用的时间一定相等

4. 一列货车以 10 m/s 的速度沿平直铁路匀速行驶，制动后以大小为 0.2 m/s^2 的加速度做匀减速运动，则它在制动后 1 min 内的位移是多少？

5. 如图 2-A-1 所示，甲、乙两车沿着同一条平直公路同向行驶。甲车以速度 20 m/s 做匀速运动；乙车原来速度为 4 m/s，从距离甲车 128 m 处以大小为 1 m/s^2 的加速度做匀加速运动。问：乙车经多少时间能追上甲车？



图 2-A-1　两车的追及问题

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

B 组

1. 做自由落体运动的小球，它的前一半位移和后一半位移所用时间之比为（　　）。

   A. 1∶2　　B. $\sqrt{2}$∶1

   C. 1∶($\sqrt{2}$+1)　　D. ($\sqrt{2}$+1)∶1

2. 一列货车从车站出发，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 内的位移大小之比为多少？

   （2）它在第 1 个 10 s、第 2 个 10 s、第 3 个 10 s 内的位移大小之比为多少？

   （3）通过解答上面两个问题，能否为初速度为零的匀加速直线运动的位移大小找出一个比例关系？

3. 一个做匀变速直线运动的物体，某时刻速度大小为 4 m/s，1 s 后的速度大小为 10 m/s，在这 1 s 内该物体的（　　）。

   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/s^2

   D. 加速度的大小可能大于 10 m/s^2

4. 一位学生设计了一个测定自由落体加速度的实验。如图 2-B-1 所示，在一个敞口容器的底部插入一根细橡皮管，并装上一个夹子，在其下方地面上放一个金属盘子。调节夹子的松紧，以使第 1 个水滴落入盘中发出响声的瞬间，第 2 个水滴正好从管口落下。以某次响声为“0”开始计数，待数到“100”时测得经过的时间为 40 s，再用米尺量出管口至盘子的高度为 78.6 cm。试计算重力加速度。



图 2-B-1　测定重力加速度的实验

5. 一列货车以 v_1 = 28.8 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。在两车相距 s_0 = 600 m 处，客车司机发现货车，立即紧急制动。为不使两车相撞，客车的制动加速度至少要多大？

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

（1）该运动员离开飞机时高度是多少？

（2）离开飞机后，经多少时间到达地面？



图 2-B-2　“空中芭蕾”