



主题一

运 动 和 力

在生活中，我们到处可以看到物体在运动：人在行走，车辆在行驶，河水在奔流，鸟儿在飞翔……就连我们脚下的地球也在不停地自转、公转。物体空间位置随时间的变化是自然界中最简单、最基本的运动形态，在物理学中称为机械运动，而研究物体做机械运动规律的分支被称为力学。力学是一门古老的学科，它所研究的内容——运动与力及其相互关系和规律，既是物理学的基础，也是科学和工程技术的基础。

在本主题中，我们要学习运动和力及其规律，了解描述运动的基本概念，重点研究物体做匀变速直线运动的规律以及运动状态变化和力的重要关系，掌握牛顿运动定律在生产和生活中的应用。



第一节 运动的描述

2008年9月27日16时41分，我国宇航员打开神舟七号载人飞船轨道舱的舱门，首度实施空间出舱活动，在茫茫太空中第一次留下中国人的足迹。

2021年7月4日14时57分，经过约7 h的出舱活动，神舟十二号航天员乘组密切协同，圆满完成了出舱活动期间全部既定任务，航天员刘伯明、汤洪波安全返回天和核心舱，标志着我国空间站建造阶段航天员首次出舱活动取得圆满成功（图1-1）。这是时隔13年后，中国航天员再次实施的空间出舱活动，也是空间站阶段中国航天员的首次空间出舱活动。在此次出舱活动中，航天员在随飞船运动的同时，又完成了许多动作，我们该如何准确地描述航天员的运动呢？

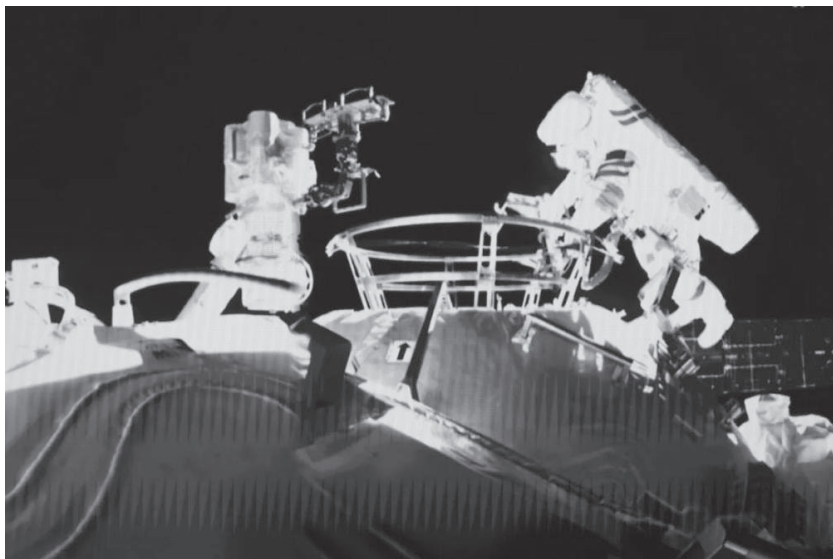


图 1-1 航天员出舱活动

一、质点

由于运动物体各部分的位置变化十分复杂，要想详尽地描述物体的位置及其变化是十分困难的。

首先，为了找到物体运动的基本规律，我们需要对物体进行合理的简化。例如，一辆汽车在公路上行驶，尽管它的发动机、传动结构及车轮的运动是很复杂的，但是，当我们研究汽车运动到什么地方、运动的快还是慢等情况时，可以用一个“点”代替汽车（图1-2）。也就是说，如果在所研究的问题中物体的大小和形状不起作用，或者所起的作用很小，就可以把物体看作一个只有质量而没有大小和形状的点。用来代替物体的有质量的点叫作质点。



图 1-2 研究汽车行驶快慢情况时可将汽车视为质点

思考讨论

当我们研究汽车在狭窄车道上转弯 (图 1-3) 的情况时, 汽车的长度和宽度是否可作为重要数据? 是否可以忽略其数值? 是否可以将汽车看作“一个点”?



图 1-3 汽车在狭窄车道上转弯时

学习提示

质点是一种理想化模型。在物理学研究中, 为突出物体的质量属性, 忽略物体的大小和形状等次要因素, 而建立的“代表物体质量的点”称为质点。将理想化模型作为研究对象, 可使物理问题的研究大大简化, 这是我们在学习中经常用到的一种物理科学方法。

二、时间与时刻

物体的运动总是伴随着时间和空间而进行的。在表示时间的数轴上, 一个点表示一个时刻, 而两个点之间对应的线段表示时间。比如上午 8 点开始上课, 8 点 45 分下课, 这里, 8 点就是指这一节课的开始时刻, 称为初时刻, 8 点 45 分称为末时刻。这两个时刻之间相隔 45 min, 这就是一节课所经历的时间。今后我们要



注意科学地表达它们，如 3 s 内、前 3 s、第 3 s、3 s 末、第 3 s 初、第 3 s 末等，如图 1-4 所示。

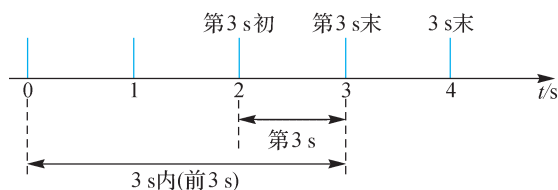


图 1-4 坐标轴上的线段表示时间，点表示时刻

三、位置与坐标

研究运动，离不开描述物体在空间中的位置。

在生活中，怎样描述一个物体的位置呢？假设一乘客在某车站下车后沿着一条东西方向的道路行走，如果他告诉你他到了该车站东面 2 km 处，你能够很清楚地知道他的位置。但如果他只说自己距离车站 2 km，你就无法确定他的具体位置，因为你不知道他在车站的哪一侧。

在物理学中，通常借助数学的方法建立坐标系来描述物体的位置。

质点做直线运动时，我们可以取这条直线为坐标轴 (x 轴)，以轴上的某个参考点为原点 O ，规定好坐标轴的正方向和单位，质点的位置就可以由它的位置坐标，即一个带有正负号的数值来确定。比如，我们要确定上述乘客的位置，就可以取 x 轴的正方向为东，并且取车站为坐标原点（图 1-5），那么乘客所说位置的坐标就应记为 $x=+2$ km。

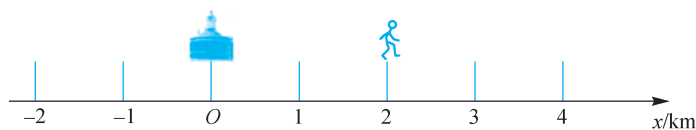


图 1-5 位置和坐标

同样，如果质点不在一条直线上运动，而在平面内运动，我们也可以用直角坐标系中的坐标来描述它的位置。

四、位移与路程

一个人想要从天津到上海去开会，可以选择火车、飞机和轮船三种不同的交通工具，即三种不同的出行方式。三种出行方式所经过的路径不同，轨迹的长度也不同。但是就位置的改变来说，效果是相同的，都是从初位置——天津到达了末位置——上海（图 1-6）。显然，用路程这个物理量不能表达这种相同的运动效果。

为了表达这种相同的运动效果，在物理学中，引入了位移这个概念。物体运动的轨迹长度叫作路程，从物体的初位置指向末位置的有向线段，叫作位移。



在国际单位制中,位移的单位是米,符号为 m , 常用单位还有千米 (km) 等。

位移不但有大小,而且有方向,通常用字母 s 表示。图 1-6 中人的位移的大小是指物体从初位置 A 指向末位置 B 的有向线段的长度,位移的方向是由初位置 A 指向末位置 B , 如图 1-7 所示。

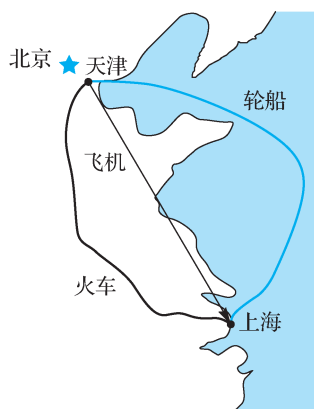


图 1-6 天津到上海的位置改变

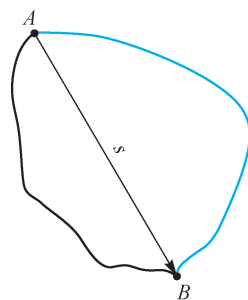


图 1-7 位置 A 到位置 B 的位移

五、速度与速率

1. 速度

物体沿一直线运动,如果在任何相等时间内的位移都相等,这种运动称为匀速直线运动,简称匀速运动。

在匀速运动中,蜗牛、汽车和火箭等的运动情况明显不同,有的运动得慢,有的运动得快。为了表达它们的这种差别,我们引入速度的概念。速度的大小等于位移 s 与发生这段位移所用时间 t 的比值,即

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

在国际单位制中,速度的单位是米每秒,符号为 m/s , 常用单位还有千米/时 (km/h), $1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$ 。速度是既有大小,又有方向的物理量。速度的方向就是物体的运动方向。

在自然界中,做匀速直线运动的物体是比较少的,一般来说,物体的速度总是在改变的。例如,火车进站时速度越来越慢,出站时速度越来越快。这种速度随时间而改变的运动叫作变速运动。

在变速运动中,物体运动的位移 s 与发生这段位移所用的时间 t 的比值,叫作这段时间内的平均速度,用 $\bar{v}$ 表示,即

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

平均速度并不能反映物体在每一时刻运动快慢的真实情况,只是粗略地描述物



复兴号——骄傲的中国速度



体在一段运动中总体的快慢程度。要精确地描述变速直线运动，就要知道物体在每一时刻（或每一位置）运动的快慢。我们把运动物体在某一时刻（或某一位置）的速度，叫作瞬时速度，简称速度。

2. 速率

瞬时速度的方向与物体经过某一位置时的运动方向相同，它的大小叫作瞬时速率，简称速率。

技术上通常用速度表来测定瞬时速率。观察行驶中的汽车仪表盘上的速度表（图 1-8），就会发现速度表指针所指的数值随着行驶的快慢而改变。如果某一时刻指针所指数值为“80”，就说明汽车在这一时刻的速率是 80 km/h，意思是假如汽车从这一时刻开始匀速行驶 1 h，那么它将驶出 80 km。



图 1-8 汽车仪表盘上的速度表

六、矢量和标量

我们在初中学过长度、质量和时间等物理量。这些物理量只有大小没有方向。而前面学习的位移、速度等物理量，它们既有大小，又有方向。

我们把既有大小又有方向，且它的合成遵守平行四边形定则的物理量叫作矢量。除位移、速度以外，在物理学中还有很多矢量，如力就是这类物理量。把长度、时间、质量和温度等只有大小没有方向的物理量叫作标量。

学习提示

关于平行四边形定则，将在本主题第四节中进行详细讨论。

七、单位制

由基本单位和导出单位组成的一个单位系统叫作单位制。目前，绝大多数国家和我国都在积极推广国际单位制，它是 1960 年第 11 届国际计量大会通过的。国际单位制的基本单位有 7 个，如表 1-1 所示。



表 1-1 国际单位制的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m
质量	千克	kg
时间	秒	s
电流	安〔培〕	A
热力学温度	开〔尔文〕	K
物质的量	摩〔尔〕	mol
发光强度	坎〔德拉〕	cd

有了上述 7 个基本单位，其他物理量的单位都可以应用公式推导出来，叫作导出单位。例如，由公式 $v = \frac{s}{t}$ 可推知速度的单位是米 / 秒。上述 7 个基本单位和以此推出的导出单位组成了一个完整的单位系统——国际单位制。

掌握单位制的知识对于物理计算十分重要。在今后的计算中，只要各物理量统一使用国际单位制中的单位，就不必将单位代入公式运算，只需写出待求物理量的单位即可。

 拓展阅读

北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统（图 1-9）是我国着眼于国家安全和经济社会发展需要，自主建设运行的全球卫星导航系统，是为全球用户提供全天候、全天时、高精度的定位、导航和授时服务的国家重要时空基础设施。

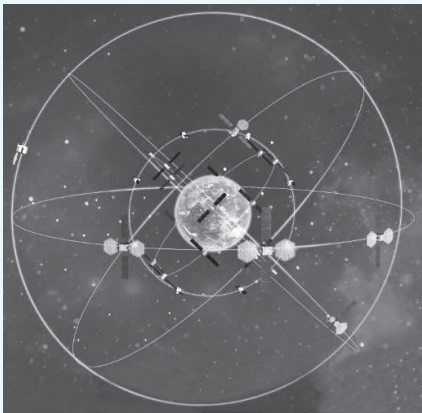


图 1-9 北斗卫星导航系统

北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段三部分组成，空间段由若干地球静止轨道卫星、倾斜地球同步轨道卫星和中圆地球轨道卫星等组成，地面段包括主控站、时间同步 / 注入站和监测站等若干个地面站，用户段包括北斗兼容



其他卫星导航系统的芯片、模块、天线等基础产品，以及终端产品、应用系统与应用服务等。

20 世纪后期，我国开始探索适合国情的卫星导航系统发展道路，逐步形成了三步走发展战略：2000 年年底，建成北斗一号系统，向我国提供服务；2012 年年底，建成北斗二号系统，向亚太地区提供服务；2020 年，建成北斗三号系统，向全球提供服务。2035 年前还将建设完善更加泛在、更加融合、更加智能的综合时空体系。

北斗卫星导航系统提供服务以来，已在交通运输、农林渔业、水文监测、气象测报、通信授时、电力调度、救灾减灾、公共安全等领域得到广泛应用，服务国家重要基础设施，产生了显著的经济效益和社会效益。感兴趣的同学可以上网查一查北斗卫星导航系统在有关方面的具体应用。

课后练习

1. 下述物体中，可以看作质点的是 ()。
A. 正常运行中的手表的秒针 B. 通过大桥的火车
C. 自转的地球 D. 公路上行驶的公交车
2. 小明沿着校园内的 800 m 圆形跑道跑了一圈，他的路程和位移各是多少？
3. 下列各组物理量中，全部为矢量的是 ()。
A. 长度、质量、位移 B. 力、位移、速度
C. 位移、温度、面积 D. 体积、速率、时间

第二节 匀变速直线运动

直线运动是所有运动中最简单的一种运动形式。我们在初中已经学习过，匀速直线运动是一种在任意相同时间内位移都相等的直线运动。而日常生活中所见到的直线运动，大都不是匀速直线运动。

物体在一条直线上运动，如果在相同的时间内位移不相等，这种运动就叫作变速直线运动。

一、匀变速直线运动的描述

一辆汽车沿着一条平直的公路行驶，观察汽车速度表在不同时刻的示数，并记入表 1-2。



表 1-2 汽车速度表在不同时刻的示数

t/s	0	1.0	2.0	3.0	...
$v/(km \cdot h^{-1})$	10.8	11.5	12.2	12.9	...
$v/(m \cdot s^{-1})$	3.0	3.2	3.4	3.6	...

分析表中的数据可以发现,汽车的速度随时间而变化,每经过 1.0 s,速度增加 0.2 m/s,即在相同的时间间隔内,汽车速度的变化相等。

物体做直线运动时,如果在任意相同的时间间隔内速度的变化相等,这种运动就叫作匀变速直线运动。

例如,成熟的苹果从树上落下,火车在平直的轨道上启动时的运动,炮弹在炮筒里的运动等,都可看成匀变速直线运动。匀变速直线运动是一种速度均匀变化的变速直线运动。

根据速度大小的变化,可以将匀变速直线运动分为两类:一类是速度均匀增加的匀变速直线运动,叫作匀加速直线运动;另一类是速度均匀减少的匀变速直线运动,叫作匀减速直线运动。



学习提示

严格意义上的匀变速直线运动是很难实现的,一般将一些接近于匀变速直线运动的变速运动当作匀变速直线运动来处理。

二、加速度

不同的变速运动,速度改变的快慢是不同的。怎样描述速度改变的快慢呢?

一列火车启动时,它的速度在 2 min 内从 0 增加到 40 m/s;一架飞机起飞时,它的速度在 2 s 内从 0 增加到 10 m/s,谁的速度改变得快一些呢?

为了便于比较,我们选择相同的时间(1 s)来研究两个物体速度改变的大小。

火车在 1 s 内速度的变化量为 $\frac{40-0}{2 \times 60} = 0.33 \text{ (m/s)}$,飞机在 1 s 内速度的变化量为 $\frac{10-0}{2} = 5 \text{ (m/s)}$ 。

可见,飞机的速度改变比火车快得多。为了描述速度改变的快慢,我们引入加速度的概念。

加速度是表示速度改变快慢的物理量,它的大小等于单位时间内速度变化的大小。

用 v_0 表示运动物体的初速度,用 v_t 表示经过一段时间 t 后的末速度,用 a 表示加速度,则有



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

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 。

加速度是矢量。在直线运动中，通常规定初速度的方向为正方向。在匀加速直线运动中，加速度的方向与初速度的方向一致，加速度是正值；在匀减速直线运动中，加速度的方向与初速度的方向相反，加速度是负值，如图 1-10 所示。

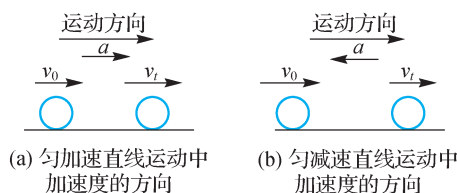


图 1-10 匀变速直线运动中加速度的方向

【例 1-1】 做匀变速直线运动的汽车，在 10 s 内速度从 5 m/s 增加到 10 m/s，求汽车的加速度。

解 汽车的运动过程如图 1-11 所示。

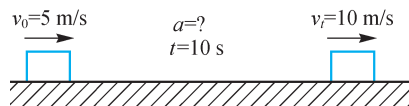


图 1-11 例 1-1 图

由加速度公式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 可得

$$a = \frac{10 - 5}{10} = 0.5 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

加速度 a 是正值，表示加速度的方向与汽车初速度的方向一致，说明汽车做匀加速直线运动。

【例 1-2】 汽车紧急制动时的速度是 10 m/s，经过 2 s，汽车停了下来，求汽车的加速度。

解 汽车的运动过程如图 1-12 所示。

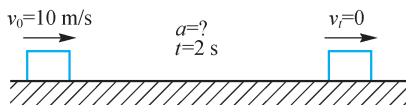


图 1-12 例 1-2 图

由加速度公式 $a = \frac{v_t - v_0}{t}$ 可得

$$a = \frac{0 - 10}{2} = -5 \text{ (m/s}^2\text{)}$$

加速度 a 是负值，表示加速度的方向与汽车初速度的方向相反，说明汽车做匀



减速直线运动。



学习提示

汽车从制动开始到停止的过程可近似看成匀变速直线运动。



实践活动

调查各类动力车辆的加速度。加速度是衡量车辆性能的重要指标。加速度大的车辆能在很短的时间内获得较大的速度,加速性能好,启动时间短。不同类型车辆的加速度一般不同,那么车辆的加速度与哪些因素有关呢?请同学们走访车辆用户,实地调查车辆的加速度。如果你家附近有大型的车辆销售网点的话,可以实地调查一下,通过索取有关资料,了解不同车辆的加速度。也可以尝试登录互联网,查看你所需的有关资料。完成这些调查后,写一篇关于动力车辆加速度的调研报告。如果你有兴趣,还可进一步研究影响车辆加速度大小的因素。

三、匀变速直线运动的公式

(一) 速度公式

如果已知一个做匀变速直线运动质点的初速度、加速度,我们能不能快速地计算出经过一段时间 t 后,质点的速度及这段时间内的位移呢?

由匀变速直线运动的加速度公式

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

可以得到匀变速直线运动的速度公式

$$v_t = v_0 + at$$

如果初速度为零,则上式可简化为

$$v_t = at$$

它说明:在初速度为零的匀变速直线运动中,速度与时间成正比。



学习提示

v_0 是运动物体的初速度; at 是在时间 t 内物体速度的变化量; $v_0 + at$ 是物体经过时间 t 后的速度,即末速度 v_t 。

【例 1-3】 一个滑块由静止开始从坡顶沿坡面下滑,这种下滑可看成匀变速直线运动。如果滑块下滑的加速度大小为 2 m/s^2 ,从坡顶滑到坡底经过 4 s ,求滑块到达坡底时的速度。

分析: 滑块做匀加速直线运动,初速度 $v_0 = 0$,加速度 $a = 2 \text{ m/s}^2$,运动时间 $t = 4 \text{ s}$



(图 1-13), 由匀变速直线运动的速度公式可求出末速度。

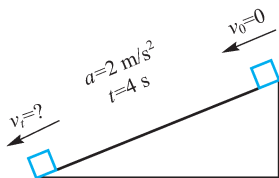


图 1-13 例 1-3 图

解 由匀变速直线运动的速度公式 $v_t = v_0 + at$ 可得

$$v_t = 0 + 2 \times 4 = 8 \text{ (m/s)}$$

【例 1-4】 火车在过桥时需要提前减速。一列以 72 km/h 的速度行驶的火车在到达一座平直铁桥前 90 s 开始减速, 加速度的大小是 0.10 m/s^2 。求火车到达铁桥时的速度。

解 根据题意可知, 火车做匀减速直线运动, 如图 1-14 所示。

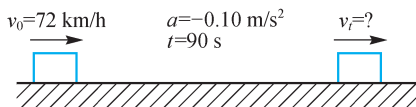


图 1-14 例 1-4 图

$v_0 = 72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$, $a = -0.10 \text{ m/s}^2$, 由匀变速直线运动的速度公式可得

$$v_t = v_0 + at = 20 + (-0.10) \times 90 = 11 \text{ (m/s)}$$

(二) 位移公式

在匀变速直线运动中, 通过推导可以得到

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

这个公式叫作匀变速直线运动的位移公式。

如果 $v_0 = 0$, 则上式可简化为

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

它说明: 在初速度为零的匀变速直线运动中, 位移与时间的平方成正比。

【例 1-5】 一辆小车以 8 m/s 的速度从斜坡上匀加速下行, 加速度的大小为 0.20 m/s^2 , 小车通过斜坡的时间是 20 s , 求这段斜坡的长度。

解 小车的运动过程如图 1-15 所示。

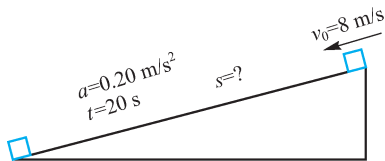


图 1-15 例 1-5 图



由匀变速直线运动的位移公式可得

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2=8\times 20+\frac{1}{2}\times 0.20\times 20^2=200\text{ (m)}$$

四、速度图像

质点运动时,其速度与时间有着一定的关系,这种关系可以用数学公式表示出来。

对于匀变速直线运动的速度公式 $v_t=v_0+at$, 可以以速度 v 为纵轴, 时间 t 为横轴, 把速度与时间的关系用图像表示出来。这种图像叫作 v - t 图像, 也叫作速度图像。

由于匀速直线运动的速度是恒定不变的, 所以它的速度图像是一条与横轴平行的直线(图 1-16)。

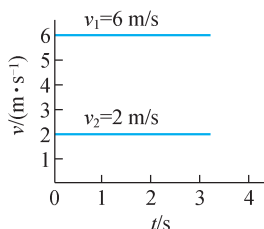


图 1-16 匀速直线运动的速度图像

因为匀变速直线运动中质点的速度随时间均匀变化, 用公式表示为 $v_t=v_0+at$, 所以不难看出, 匀变速直线运动的速度图像是一条倾斜的直线(图 1-17)。

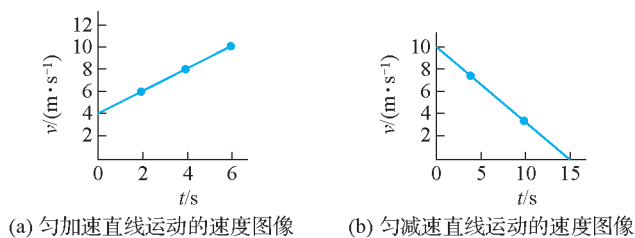


图 1-17 匀变速直线运动的速度图像

学习提示

用图像处理问题更直观、更方便, 图像是物理学的一种重要研究手段。

【例 1-6】 一物体沿直线运动, 先由静止开始做匀加速直线运动, 2 s 后速度达到 4 m/s, 保持这一速度运动 4 s, 然后做匀减速直线运动, 2 s 后停下来。试做出这一物体在整个过程中的速度图像。

分析: 应分析清楚物体经历的三个运动阶段及各阶段速度之间的关系。物体在第一阶段做匀加速直线运动, 其末速度就是在第二阶段做匀速直线运动时的速度,



第二阶段的速度又是第三阶段做匀减速直线运动时的初速度。

解 经分析,物体的运动过程可分为三个阶段:第一阶段($0 \sim 2\text{ s}$)做匀加速直线运动,初速度 $v_0=0$,末速度 $v_1=4\text{ m/s}$, $t_1=2\text{ s}$;第二阶段($2 \sim 6\text{ s}$)做匀速直线运动, $v=4\text{ m/s}$, $t_2=4\text{ s}$;第三阶段($6 \sim 8\text{ s}$)做匀减速直线运动,初速度 $v_1=4\text{ m/s}$,末速度 $v_2=0$, $t_3=2\text{ s}$ 。

根据匀速直线运动和匀变速直线运动的速度图像分别做出以上三个阶段的 $v-t$ 图像,如图 1-18 所示。

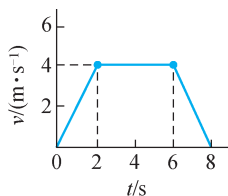


图 1-18 例 1-6 图

五、自由落体运动

(一) 自由落体运动的描述

物体在空中从静止开始下落是一种常见的运动。小石块从高桥上下落,露珠从树叶上下落,成熟的苹果从树上下落(图 1-19),那么不同物体下落的快慢是不是相同呢?

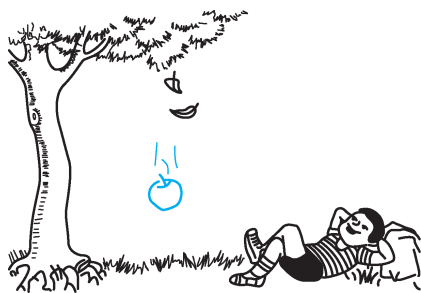


图 1-19 成熟的苹果从树上下落

从同一高度同时下落一片树叶和一个果子,果子先落地。从同一高度同时下落一个金属球和一张纸片,金属球先着地。这些现象似乎在告诉人们,重的物体比较轻的物体下落得要快。然而,这种观点是不是正确呢?

对自由落体最先进行研究的是古希腊科学家亚里士多德,他指出:物体下落的快慢是由物体本身的重量决定的,物体越重,下落得越快;反之,则下落得越慢。亚里士多德的理论影响了其后两千多年的人,直到物理学家伽利略提出相反的意见。伽利略在 1638 年的《两种新科学的对话》中写道:如果依照亚里士多德的理论,假设有两块石头,大的重量为 8,小的重量为 4,则大的下落速度为 8,小的下落速度为 4,当两块石头被绑在一起下落时,下落快的会因为下落慢的而被拖慢,所以整个



体系的下落速度为 $4 \sim 8$ 。但是, 两块绑在一起的石头的整体重量为 12, 下落速度应该大于 8, 这就自相矛盾了。这种相互矛盾的结论说明亚里士多德“重的物体下落得快”的看法是错误的, 伽利略由此推断出物体下落的速度不是由其重量决定的。他在书中设想, 自由落体运动的速度是匀速变化的, 在忽略空气阻力的情况下, 物体下落速度的快慢与物体的重量大小无关。

那么, 重量不同的物体下落的情况到底怎样? 下面我们通过一个实验仔细研究一下。

实验探究

一根长 1.5 m, 一端封闭、另一端有开关的玻璃圆筒里面放着不同的物体, 如硬币、羽毛、纸片等。如果玻璃圆筒里有空气, 把圆筒倒过来, 这些物体下落的快慢不同; 但将圆筒里的空气抽出后, 再把圆筒倒过来, 物体下落的快慢就相同了, 如图 1-20 所示。



图 1-20 自由落体运动实验

物体只在重力作用下从静止开始下落的运动叫作自由落体运动。自由落体运动发生在真空中。如果物体在有空气的空间下落, 这种运动并不是自由落体运动, 但是当空气阻力与物体自身重力相比较小, 可以忽略不计时, 这种运动也可看作自由落体运动。

图 1-21 所示为自由落体 (苹果) 频闪照相的照片, 照片中相邻苹果的像是相隔同样的时间拍摄的。从照片上可以看出, 在相同的时间间隔里, 苹果的下落位移越来越大, 这表明苹果的速度越来越快, 即苹果在做加速运动。

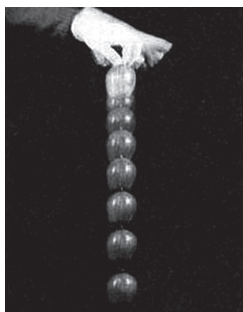


图 1-21 自由落体 (苹果) 频闪照相的照片



经过反复研究,人们认识到,自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。

实验表明,在同一地点,从同一高度同时自由下落的物体同时到达地面。这就是说,这些初速度为零的匀加速运动在相同的时间里发生了相等的位移,根据公式

$s = \frac{1}{2}at^2$ 可知,它们的加速度必定相同。

在同一地点,一切物体在自由落体运动中的加速度都相同,这个加速度叫作自由落体加速度,也叫作重力加速度,通常用 g 来表示。

重力加速度 g 的方向总是竖直向下的,它的大小可以通过实验来测定。

精确的实验表明,在地球上的不同地方, g 的大小是不同的。通常的计算值取 $g=9.8 \text{ m/s}^2$,有时取 $g=10 \text{ m/s}^2$ 。

(二) 自由落体运动的公式

自由落体运动是初速度为零、加速度为 g 的匀加速直线运动,因此将匀变速直线运动的公式做相应的变动,则有

$$\begin{aligned} v_t &= gt \\ h &= \frac{1}{2}gt^2 \end{aligned}$$

这就是自由落体运动的公式。



学习提示

要注意,使用自由落体运动的公式时,下落时间 t 和下落高度 h 必须从下落点开始计算。

【例 1-7】 小玻璃球从三楼阳台自由下落,测得落地时经过的时间为 1.3 s 。求阳台距离地面的高度及小玻璃球落地时的速度。

解 小玻璃球做自由落体运动。

由公式 $h = \frac{1}{2}gt^2$ 可得

$$h = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1.3^2 \approx 8.3 \text{ (m)}$$

由公式 $v_t = gt$ 可得

$$v_t = 9.8 \times 1.3 \approx 12.7 \text{ (m/s)}$$



拓展阅读

伽利略·伽利雷

伽利略·伽利雷 (Galileo Galilei, 1564—1642) (图 1-22), 意大利著名数学家、物理学家、天文学家和哲学家,近代实验科学的先驱者。



图 1-22 伽利略·伽利雷

1590 年,伽利略在比萨斜塔上做了“两个球同时落地”的著名实验,从此推翻了亚里士多德的“物体下落速度和重量成比例”学说,纠正了这个持续了 1 900 年之久的错误结论。

1609 年,伽利略创制了天文望远镜(后被称为伽利略望远镜),并用来观测天体,他发现了月球表面的凹凸不平,并亲手绘制了第一幅月面图。1610 年 1 月 7 日,伽利略发现了木星的四颗卫星,为哥白尼学说找到了确凿的证据,标志着哥白尼学说开始走向胜利。借助望远镜,伽利略还先后发现了土星光环、太阳黑子、太阳的自转、金星和水星的盈亏、月球的周日和周月天平动以及银河由无数恒星组成等现象。这些发现拉开了天文学的新序幕。

伽利略著有《星际使者》《关于太阳黑子的书信》《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》和《关于两门新科学的谈话和数学证明》。

课后练习

1. 下列说法正确的是()。
 - A. 加速度是速度的变化量
 - B. 加速度是速度的增加量
 - C. 加速度是描述速度变化大小的物理量
 - D. 加速度是描述速度变化快慢的物理量
2. 关于速度与加速度关系的说法中正确的是()。
 - A. 物体的速度越大,它的加速度就越大
 - B. 物体的速度变化量越大,它的加速度就越大
 - C. 物体的速度变化率越大,它的加速度就越大
 - D. 物体的速度为零时,它的加速度一定为零



3. 关于匀变速直线运动的位移，以下说法中正确的是（ ）。
 - A. 位移的大小与时间成正比
 - B. 位移的大小与时间的平方成正比
 - C. 当初速度为零时，位移的大小与时间成正比
 - D. 当初速度为零时，位移的大小与时间的平方成正比
4. 做匀变速直线运动的物体，初速度为零且加速度为 1 m/s^2 ，则（ ）。
 - A. 在第 1 s 内的位移为 1 m
 - B. 在第 1 s 内的速度都是 1 m/s
 - C. 在第 1 s 内的平均速度为 1 m/s
 - D. 在第 1 s 末的速度为 1 m/s
5. 以下物体的运动可近似看作自由落体运动的是（ ）。
 - A. 从 10 m 高处由静止落下的乒乓球
 - B. 从 10 m 高处由静止落下的玻璃球
 - C. 从 10 m 高处由静止落下的羽毛球
 - D. 从 10 m 高处由静止落下的气球
6. （多选）关于加速度和速度关系的下列说法中，正确的是（ ）。
 - A. 速度的方向就是加速度的方向
 - B. 运动物体的速度增大时，加速度的方向和初速度的方向相同
 - C. 在单方向的直线运动中，路程和位移的大小相同
 - D. 位移的大小可能等于或小于路程
7. A、B 两个物体都以 5 m/s 的速度向东运动，经 5 s 后物体 A 的速度变为零，则物体 A 的加速度的大小是多少？方向如何？加速还是减速？若物体 B 的速度变为 10 m/s ，方向仍然向东，则物体 B 的加速度的大小是多少？方向如何？加速还是减速？
8. 一物体从 80 m 高的地方自由下落，到达地面时的速度是多少？所用时间是多少？
9. 一物体以 2 m/s 的初速度开始做匀加速直线运动，加速度为 3 m/s^2 ，求
 - (1) 3 s 末的速度；
 - (2) 3 s 内的位移；
 - (3) 第 4 s 内的位移及其平均速度。

第三节 重力 弹力 摩擦力

中华文明源远流长，象形造字惟妙惟肖，图 1-23 为“力”字的甲骨文和篆体。它们像什么呢？很像古人翻土用的农具。



图 1-23 “力”字的甲骨文和篆体

也就是说,“力”的概念是人们在用犁耕地、用农具翻土等活动中感悟体会出来的。但是,当时人们只是认识到了—些“主动”的力,如在用犁耕地时,犁对土地施加了力;在用农具翻动泥土时,农具对泥土施加了力……可—个人躺在床上休息时,如果说他对地球和床都施加了力,在当时是很难被接受的。这是因为那时还没有明确力的概念,更没有重力、弹力和摩擦力之分。

—、力

(—) 力的概念

力是物体与物体之间的相互作用。我们在提水桶时,手对水桶施加了力,手是施力物体,水桶是受力物体;发射火箭时,喷出的火药气体对火箭施加了向上的推力,气体是施力物体,火箭是受力物体。—个物体受到力的作用,—定有另外的物体施加了这种作用,前者是受力物体,后者是施力物体。

(二) 力的种类

从力的性质来看,常见的力有三类,即重力、弹力和摩擦力。生活中,还会把—些力称为拉力、压力、支持力、动力和阻力等,它们都是根据力的作用效果来命名的。效果不同的力,性质可以相同。例如,压力和支持力都是弹力,只是效果不同。效果相同的力,性质也可以不同。例如,不论什么性质的力,从效果上看,能加快物体运动的力就可以称为动力,会阻碍物体运动的力就可以称为阻力。

(三) 力的图示

人们常用有向线段表示力。线段是按—定标度画出的,它的长短表示力的大小,它的箭头指向表示力的方向,箭尾表示力的作用点。这种表示力的方法,叫作力的图示。

例如,将—个大小为 400 N,与水平方向的夹角为 30° 的拉力施加在小车的 B 点处,如图 1-24 所示。

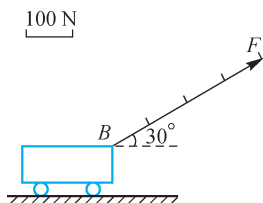


图 1-24 力的图示



有时只需画出力的示意图，即只画出力的作用点和方向，表示物体在这个方向上受到了力，如图 1-25 所示。

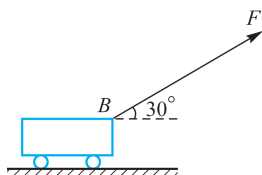


图 1-25 力的示意图

二、重力

英国物理学家牛顿发现，宇宙中所有物体之间都具有相互吸引的力的作用，因此将其称为万有引力。万有引力的大小与两个物体的质量成正比，与两个物体间距离的平方成反比。

自然界的各种物体之间存在着多种相互作用，地面附近的一切物体都受到地球的吸引作用。由于地球的吸引而使物体受到的力称为重力，用字母 G 表示。物体所受重力 G 与物体的质量 m 的关系为

$$G=mg$$

其中， g 为重力加速度。

重力不仅有大小，而且有方向。成熟的苹果从树上落向地面时，总是竖直下落的；悬挂物体的绳子静止时总是竖直下垂的。可见，重力的方向是竖直向下的。

地球对物体的重力作用在物体的各个部分。从效果上看，我们通常认为整个物体受到的重力作用在一个点上，这个点叫作物体的重心。

质量均匀分布的物体叫作均匀物体。形状规则的均匀物体（如均匀细直棒、均匀球体和均匀圆柱体），它的重心就在其几何中心（ C 点）上，如图 1-26 所示。

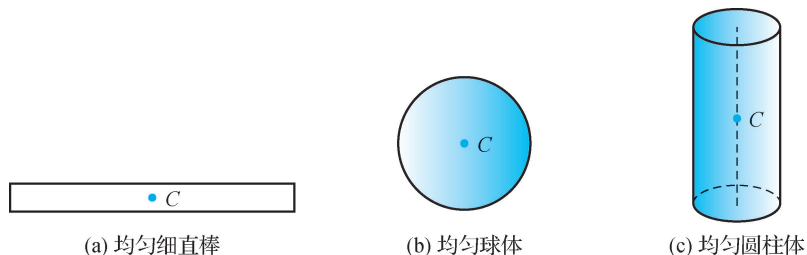


图 1-26 均匀物体的重心

质量分布不均匀的物体，其重心除了与物体的形状有关，还与物体内的质量分布有关。例如，载重汽车的重心随着车上装载货物的多少和货物的位置而变化。



学习提示

对于图 1-27 所示的质量分布不均匀、形状不规则的薄板，我们可以应用二力平衡的知识来确定它的重心位置。先在 A 点把薄板悬挂起来，通过 A 点画一条竖直线 AB ，由于 A 点处悬线的拉力跟薄板的重力平衡，薄板的重心必定在竖直线 AB 上；然后选另一处 D 点把薄板悬挂起来，过 D 点画一条竖直线 DE ，薄板的重心必定在竖直线 DE 上。因此，竖直线 AB 和 DE 的交点 C ，就是薄板的重心。

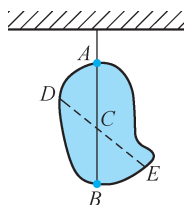


图 1-27 质量分布不均匀、形状不规则的薄板的重心

三、弹力

与小球连接的弹簧被拉伸或压缩时可以使小球运动起来，被跳水运动员压弯的跳板会对运动员产生力的作用，把运动员弹起来（图 1-28）。这些物体的伸长、缩短或弯曲等形状或体积的改变叫作形变。而发生形变的物体由于要恢复原状，会对与之接触的物体产生力的作用，这种力称为弹力。地球对物体产生重力，并不需要物体与地球接触，而弹力只能产生在直接接触并发生形变的物体之间。

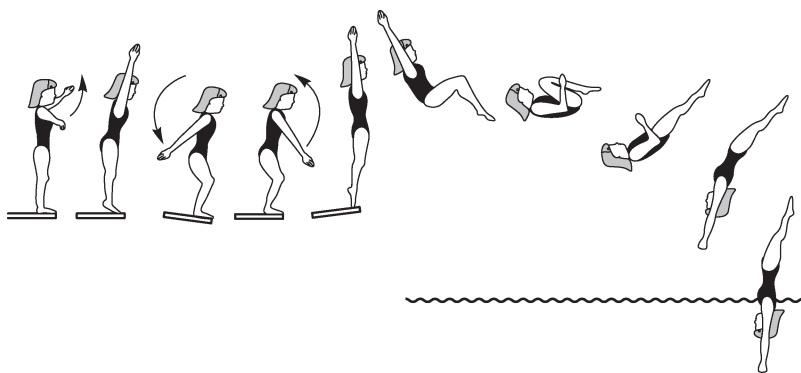


图 1-28 跳水运动员跳水

学习提示

在力的作用下，弹簧、跳板都会发生形变。实际上，任何物体都会发生形变。研究表明，只要有力的作用，哪怕极其微小，物体也一定会发生形变。

弹力的大小与形变的大小有关系，形变越大，弹力越大；形变消失，弹力也随



之消失。弹簧伸长或缩短的长度越大，其产生的弹力就越大。弓箭手把弓张得越满，箭射得越远。

弹簧受力后会缩短或伸长，会对与它接触的物体产生弹力作用。英国物理学家胡克发现，弹簧发生弹性形变时，弹力的大小 F 与弹簧伸长（或缩短）的长度 x 成正比，即

$$F=kx$$

式中， k 为弹簧的劲度系数，单位是牛顿每米（N/m）。

不同弹簧的劲度系数一般是不同的，这个规律称为胡克定律。

如果物体的形变过大，超过一定的限度，撤去作用力后，物体将不能恢复原来的形状，这个限度称为弹性限度。

实践活动

利用弹簧、纸片、标准弹簧秤等材料制作一个定量测量力的大小的弹簧测力计。可以登录互联网查看所需资料，并和同学比赛交流，看哪位同学制作的弹簧测力计的误差最小。

【例 1-8】 将一本书放在桌面上，试分析产生于书和桌面之间的弹力。

解 由于书受到重力作用，因此书和桌面之间相互挤压，从而使书和桌面同时产生微小的形变。书由于发生了微小的形变而对桌面产生了垂直向下的弹力 N_1 ，即书对桌面的弹力（压力）；桌面由于发生了微小的形变而对书产生了垂直向上的弹力 N_2 ，即桌面对书的弹力（支持力），如图 1-29 所示。

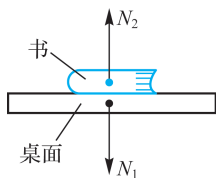
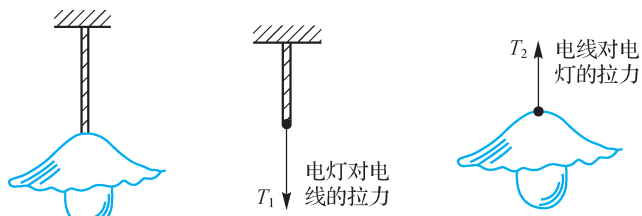


图 1-29 例 1-8 图

可见，通常所说的物体间因相互挤压而产生的压力和支持力都是弹力，压力的方向垂直于支承面指向被压物体，支持力的方向垂直于支承面指向被支持的物体。

【例 1-9】 电线的下方悬挂一电灯，试分析产生于电线和电灯之间的弹力。

解 由于电灯受到重力作用，所以电灯和电线同时产生微小的形变。电灯由于产生了微小的形变而对电线产生了竖直向下的弹力 T_1 ，即电灯对电线的拉力；电线由于产生了微小的形变而对电灯产生了竖直向上的弹力 T_2 ，即电线对电灯的拉力（图 1-30）。



弹力在生活中的应用举例

图 1-30 例 1-9 图

可见,通常所说的拉力也是弹力。绳的拉力指绳对所拉物体的弹力,方向沿着绳子背离所拉物体。

四、摩擦力

摩擦力产生于两个相互接触的物体表面之间。

(一) 滑动摩擦力

当一个物体在另一个物体的表面滑动时,要受到另一个物体的阻碍,这种阻碍两个物体间相对滑动的力叫作滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总是跟接触面相切,并且与物体的相对滑动方向相反(图 1-31)。

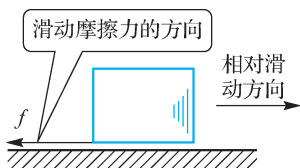


图 1-31 滑动摩擦力

实验表明:滑动摩擦力与压力成正比。如果用 f 表示滑动摩擦力,用 N 表示正压力,则有

$$f=\mu N$$

式中, μ 为动摩擦因数,没有单位,它的数值大小与两个相互接触表面的材料及接触面的情况(如粗糙程度)有关。

(二) 滚动摩擦力

除了滑动摩擦,还有滚动摩擦。滚动摩擦是指一个物体在另一个物体的表面滚动时所产生的摩擦。滚动摩擦力比滑动摩擦力小得多。在一些电器、机械设备上安装滚轮,就是基于这个道理。

【例 1-10】 车床底座是用铸铁制成的,铸铁与地面间的动摩擦因数为 0.30。要缓慢地移动一质量为 $2.0 \times 10^3 \text{ kg}$ 的车床,需在水平方向上对车床施加多大的拉力?为了省力,可采取什么措施?

解 经分析可知,车床共受到重力、拉力、地面的弹力(支持力)及摩擦力(图 1-32)的作用。

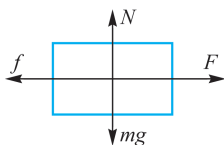


图 1-32 例 1-10 图

其中

$$\begin{aligned} N &= mg = 2.0 \times 10^3 \times 9.8 = 1.96 \times 10^4 \text{ (N)} \\ f &= \mu N = 0.30 \times 1.96 \times 10^4 = 5.88 \times 10^3 \text{ (N)} \\ F &= f = 5.88 \times 10^3 \text{ (N)} \end{aligned}$$

学习提示

车床做缓慢移动时，可认为其处于平衡状态，即拉力 F 与滑动摩擦力 f 大小相等。

计算结果表明，移动车床需要很大的力。由于滚动摩擦力小于滑动摩擦力，变滑动摩擦为滚动摩擦可以省力，所以可以在车床底座下放置一些圆木或钢管，使车床在圆木或钢管上滚动前进。

(三) 静摩擦力

滑动摩擦是一个物体在另一个物体的表面滑动所产生的。如果互相接触的两个物体处于相对静止状态，它们之间是否也存在摩擦呢？

实验探究

在水平桌面上放置一木箱，将一根细绳的一端与箱子相连，另一端绕过定滑轮悬挂一个很轻的托盘（图 1-33）。刚开始时向托盘中加入少量的沙子，使细绳张紧，可以看到木箱并没有动。然后不断地向托盘中加入沙子，直到某一时刻，箱子突然动了起来。

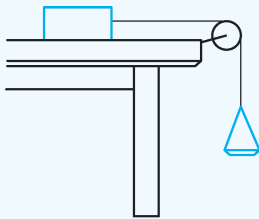


图 1-33 静摩擦力实验

实验中，刚开始向托盘中加入沙子时，箱子受到了绳子的拉力，虽然箱子相对于桌面有滑动趋势，但箱子并没有动。这说明箱子与桌面之间虽然发生了摩擦，但是摩擦力的大小和绳子拉力的大小相等、方向相反、相互平衡，从而使箱子保持静止。这时发生的摩擦叫作静摩擦。



然后,不断地向托盘中加入沙子,虽然箱子仍旧保持不动,但是箱子所受的静摩擦力随着绳子拉力的增大而增大,而且静摩擦力的增大并不是无限度的,当静摩擦力达到最大值时箱子开始运动,这时的静摩擦力就叫作最大静摩擦力,用 $f_{\max}$ 表示。为简便计算,一般认为 $f_{\max}$ 等于滑动摩擦力。

可见,静摩擦力的大小随着物体受力情况的变化而变化,它的大小介于零和 $f_{\max}$ 之间。

静摩擦力的方向总与接触面相切,并且和物体相对运动趋势的方向相反。例如,停在斜坡上的汽车有向下滑动的趋势,所受静摩擦力的方向沿斜坡向上(图 1-34)。

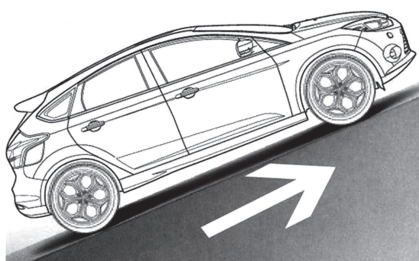


图 1-34 停在斜坡上的汽车



拓展阅读

摩 擦

摩擦对工程技术和日常生活极为重要。一方面,摩擦阻碍物体的运动,消耗运动能量,使物体的接触面磨损。除了静摩擦以外,所有的摩擦将毫无例外地产生热效应。因此,在有摩擦的运动中,一部分机械能将由于摩擦而转化成热能,这部分热能在很多情况下不能被利用,从而大大降低了机械效率和能源的有效利用率,人类生产的总能量有很大一部分就是这样被消耗掉的。因摩擦而损失的机械能转化为热,使机器中的许多滑动面必须冷却。同时,摩擦还伴随着表面材料的损失,即发生磨损。磨损使零件的尺寸改变,失去应有的精度和功能。世界上有很大一部分生产力就是用于补充、替换因磨损而变为无用的零件的。因此,人们采取各种减小摩擦的措施,如在相对滑动的表面上施用润滑剂;用轮子、滚柱和滚珠使滑动改为滚动等。

另一方面,摩擦也有积极作用,如许多传动与制动设备是通过摩擦起作用的。常用的皮带传动功能就是通过摩擦力实现的(图 1-35);汽车和机车的行驶也要依靠地面和钢轨的摩擦力。严冬冰雪覆盖路面,有时必须在汽车后轮上加装铁链或在钢轨上喷砂,才能产生足够的摩擦力推动车辆前进。若摩擦力完全消失,则结绳、织布、打钉、执笔以至坐立行走,都将成为不可能。因此,摩擦是人类生存所不可缺少的。

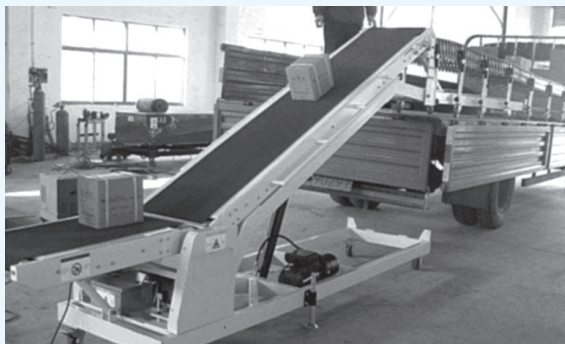


图 1-35 皮带运输机

课后练习

1. 下列关于重力的说法中正确的是 ()。
 - A. 在水中游泳的人所受的重力比他在岸上所受的小
 - B. 下落中的足球比上升中的足球所受的重力大
 - C. 地面上的物体都受重力的作用
 - D. 沿斜面下滑的物体受到沿斜面向下的重力作用
2. 下列关于静摩擦力的说法中正确的是 ()。
 - A. 两个相对静止的物体间一定存在静摩擦力
 - B. 受静摩擦力作用的物体一定是静止的
 - C. 静摩擦力一定比滑动摩擦力大
 - D. 静摩擦力也可能为物体提供动力
3. 将一物体静止地放在粗糙的水平地面上, 该物体受到的力有 ()。
 - A. 重力、它对地面的压力
 - B. 重力、地面对它的支持力
 - C. 重力、它对地面的压力和地面对它的支持力
 - D. 重力、地面对它的支持力和静摩擦力

第四节 力的合成与分解

如图 1-36 所示, 一个静止的物体在某平面上受到 4 个力的作用, 你能判断它将向哪个方向运动吗? 如果我们能找到一种方法, 即“用一个力的单独作用替代两个力的共同作用, 而效果不变”, 上述问题就迎刃而解了。你觉得这个力和被替代的两个力会有怎样的关系呢?

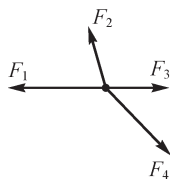


图 1-36 受力示意图

如果物体同时受到几个力的作用，而它们都作用在物体的同一点，或者它们的作用线相交于同一点，那么这几个力就叫作共点力（图 1-37）。

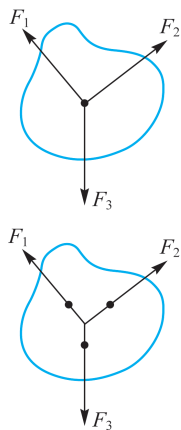


图 1-37 共点力

下面研究共点力的合成。

一、力的合成

（一）合力与分力

如图 1-38 所示，一盏灯可以有两种挂法。在两个拉力 F_1 和 F_2 的共同作用下，灯保持静止，这与一个拉力 F 的作用效果完全相同。从效果上看，用一个力 F 可代替两个力 F_1 和 F_2 。

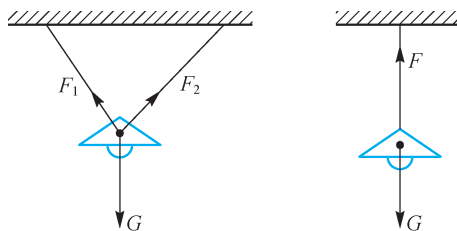


图 1-38 合力与分力

如果一个力作用在物体上的效果与几个力作用的效果相同，那么这个力就叫作那几个力的合力，那几个力叫作这个力的分力。求几个力的合力叫作力的合成。



(二) 力的合成方法

实验探究

图 1-39 (a) 表示橡皮条 GE 在两个力的共同作用下沿着直线 GC 伸长了 EO 的长度。图 1-39 (b) 表示将一个力 F 作用在橡皮条上, 使橡皮条沿着相同的直线伸长相同的长度。

在力 F_1 和 F_2 的方向上各作线段 OA 和 OB , 根据选定的标度, 使它们的长度分别表示力 F_1 和 F_2 的大小 [图 1-39 (c)]。以 OA 和 OB 为邻边作平行四边形 $OADB$ 。量出这个平行四边形的对角线 OD 的长度。

改变力 F_1 、 F_2 的大小和方向, 重做上述实验。

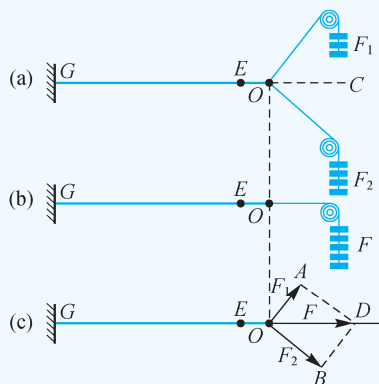


图 1-39 力的合成方法实验

实验表明: 如果用表示共点力 F_1 和 F_2 的线段为邻边作平行四边形, 那么合力的大小和方向就可以用这两个邻边之间的对角线表示出来 (图 1-40)。这叫作力的平行四边形定则。

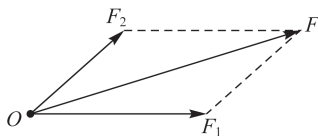


图 1-40 力的平行四边形定则

两个分力的夹角可以在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 变化, 当两个分力的大小固定不变, 夹角改变时, 合力随夹角变化的情况如图 1-41 所示。当夹角为 0° , 即两个分力的方向相同时, 合力的大小最大, 等于两个分力的大小之和, 合力的方向与两个分力的方向相同, 如图 1-42 (a) 所示; 当夹角为 180° , 即两个分力的方向相反时, 合力的大小最小, 等于两个分力的大小之差, 合力的方向与分力中较大的那个力的方向相同, 如图 1-42 (b) 所示。故两个力的合力的大小范围为 $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。

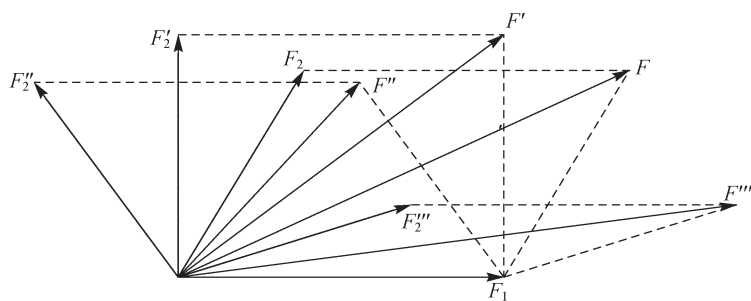


图 1-41 合力随夹角变化的情况

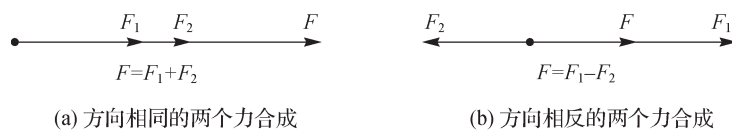


图 1-42 同一直线上两个力的合成

【例 1-11】 力 $F_1=30\text{ N}$ ，方向水平向右，力 $F_2=40\text{ N}$ ，方向竖直向下，用作图法求这两个力的合力 F 的大小和方向。

解 选择某一标度，如取 10 mm 长的线段表示 10 N 的力，作出力的平行四边形。如图 1-43 所示，表示 F_1 的线段长 30 mm ，表示 F_2 的线段长 40 mm 。

用刻度尺量得表示合力 F 的对角线长 50 mm ，所以合力的大小为

$$F=10 \times 50/10=50\text{ (N)}$$

用角度尺量得合力 F 与力 F_1 的夹角为 53° 。

如果求两个以上力的合力，可以连续应用平行四边形定则。其步骤是：先求出任意两个力的合力 F' ，然后再求出 F' 与第三个力的合力 F ，以此类推，直到求出所有力的合力为止，如图 1-44 所示。

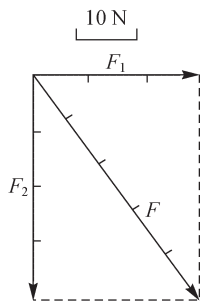


图 1-43 例 1-11 图

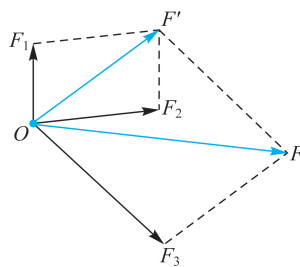


图 1-44 求两个以上力的合力

(三) 同一直线上的矢量合成

如果几个矢量处在一条直线上，就可以设定一个正方向，用正号或负号来表示矢量的方向：矢量的方向与正方向相同时取正值，矢量的方向与正方向相反时取负值。

例如，如图 1-45 所示，小球在竖直方向上受到三个力的作用，力的大小分别为 $F_1=2\text{ N}$ 、 $F_2=3\text{ N}$ 、 $F_3=4\text{ N}$ 。如果设定竖直向上为正方向，那么，这三个力的合力为



$$F = F_1 + F_2 - F_3 = 2 + 3 - 4 = 1 \text{ (N)}$$

F 为正值, 表示合力的方向与正方向一致, 如图 1-45 (a) 所示。

如果设定竖直向下为正方向, 那么, 这三个力的合力为

$$F = F_3 - F_1 - F_2 = 4 - 2 - 3 = -1 \text{ (N)}$$

F 为负值, 表示合力的方向与正方向相反, 如图 1-45 (b) 所示。

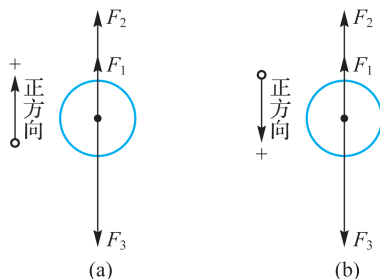


图 1-45 求同一直线上三个力的合力

思考讨论

设定不同的正方向, 会影响计算结果吗?

二、力的分解

实验探究

如图 1-46 所示, 将一本书挂在一个测力计上, 测力计的示数为 3 N; 改用两个平行的测力计来代替原来的测力计, 测力计的示数为 1.5 N; 如果改变两个测力计之间的夹角, 两个测力计的示数也会随之改变。

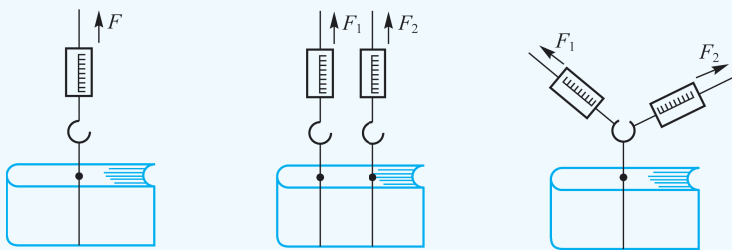


图 1-46 力的分解实验

实验中, 无论两个测力计之间的夹角多大, 两个测力计的示数怎样变化, 两个测力计上的拉力 F_1 和 F_2 的作用效果始终与原来一个测力计上的拉力 F 的作用效果相同。可见, 拉力 F 可以用两个力 F_1 和 F_2 来代替, 力 F_1 和 F_2 就叫作力 F 的分力。求一个已知力的分力叫作力的分解。

力的分解是力的合成的逆运算, 同样遵守力的平行四边形定则。把表示已知力



的线段作为平行四边形的对角线,作平行四边形,与对角线相邻的两条边就表示两个分力。

学习提示

如果没有其他限制,对于同一条对角线,可以作出无数个不同的平行四边形(图 1-47)。也就是说,同一个力可以分解为无数对不同的分力。一个力怎样分解,要根据实际情况来确定。

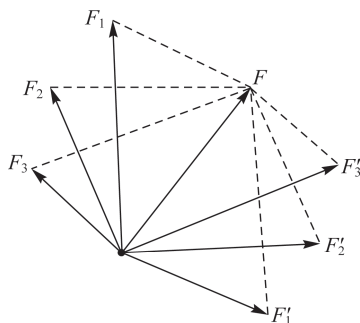


图 1-47 力的无数种分解可能

思考讨论

走钢丝(图 1-48)是我国传统的杂技项目。杂技运动员在绷紧的钢丝上行走或倒立时,钢丝上的张力(拉力)会有多大?有人也许会想:杂技运动员的体重并不大,钢丝上的张力可能和运动员的体重差不多吧。那么,实际上钢丝的受力情况是什么样的呢?



图 1-48 走钢丝

【例 1-12】 设杂技运动员的体重为 G , 当他走到钢丝绳的中间时, 钢丝绳成 170° 的角度(图 1-49)。求这时钢丝绳所受的拉力。

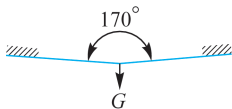


图 1-49 例 1-12 图

分析：杂技运动员对钢丝绳的压力大小等于其体重 G ，它产生两个效果：一个是拉紧左侧的钢丝，另一个是拉紧右侧的钢丝。因此，将杂技运动员的重力沿着两侧钢丝绳的方向分解为两个力，这就是钢丝绳上的拉力。

解 将重力沿着左右两侧钢丝绳的方向分解，用作图法画出力的平行四边形（图 1-50）。

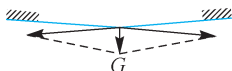


图 1-50 力的平行四边形

测量发现，钢丝绳上的拉力大约是杂技运动员体重的 6 倍。可见，钢丝绳上的拉力比杂技运动员的体重大得多。为了保证杂技运动员的安全，钢丝绳必须具有足够的强度。

【例 1-13】 一滑块静止在斜坡上，试对滑块所受重力进行恰当的分解。

分析：滑块在斜坡上受到重力、支持力和摩擦力的作用，如图 1-51（a）所示。由于支持力的方向跟斜坡垂直，摩擦力的方向跟斜坡平行，如果将重力按这两个方向分解，可方便问题的解决。

解 将重力沿斜坡及与斜坡垂直的方向进行分解，作力的平行四边形 [图 1-51（b）]，得

$$F_1 = G \sin \alpha$$

$$F_2 = G \cos \alpha$$

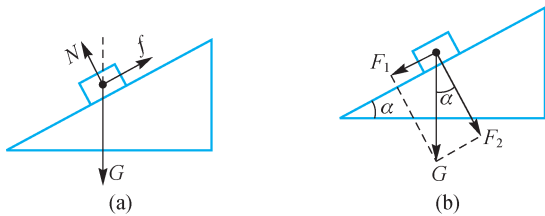


图 1-51 例 1-13 图



学习提示

将一个力分解在两个相互垂直的方向上，这种力的分解叫作力的正交分解。



课后练习

1. 我们用力推放在水平面上的重物, 没有推动, 这是因为 ()。
A. 重物的质量太大 B. 摩擦力大于推力
C. 物体的重力大于推力 D. 物体所受的合外力为零
2. 有两个力, 一个力的大小是 10 N , 另一个力的大小是 2 N , 它们的合力能等于 5 N 、 10 N 、 15 N 吗?
3. 有两个分力 F_1 和 F_2 , 其中 F_1 的大小为 15 N , 方向水平向右; F_2 的大小为 20 N , 方向竖直向上。则它们的合力的大小是多少? 方向如何?
4. 一个重力为 20 N 的物体静止在倾角为 30° 的斜面上, 求斜面对它的静摩擦力。
5. 如图 1-52 所示, 将一个半径为 r 、重力为 G 的球用长度为 l 的绳子挂在竖直墙壁上的 A 处, 如果墙壁是光滑的, 则绳子的拉力是多大? 墙壁对球的弹力又是多大?

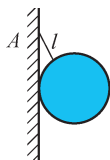


图 1-52 题 5 图

第五节 牛顿运动定律及其应用

前面我们学习了怎样描述物体的运动, 但是没有讨论物体为什么会运动。要讨论这个问题, 就必须知道运动和力的关系。搞清楚运动和力的关系问题, 不仅能够揭示物体的运动原因, 而且可以设法控制物体的受力情况, 从而使物体的运动符合人们的要求。

一、牛顿第一定律

远在 2 000 多年前, 人们就已经提出了运动和力的关系问题, 那时, 人们普遍认为力是维持物体运动的原因。用力推车, 车才能前进; 停止用力, 车就会停下来。根据这类经验事实, 古希腊哲学家亚里士多德得出一个结论: 必须有力作用在物体上, 物体才能运动, 没有力的作用, 物体就会静止, 即力是维持物体运动的原因。

亚里士多德的观点一直延续了 2 000 年。直到 17 世纪, 意大利著名物理学家伽利略才根据实验揭示了现象的本质, 指出了亚里士多德观点的错误。伽利略发现运



动的物体之所以会停下来，是因为受到了摩擦阻力。

伽利略是怎样得到这个结论的呢？他设想的一个摩擦力为零的理想实验是这样的：小球沿着一个斜面从某一确定的位置滚下来后，将滚上另一面，如果没有摩擦，小球将上升到原来的高度 [图 1-53 (a)]；如果减小第二个斜面的倾角，小球在这个斜面上达到原来的高度就要通过更长的距离 [图 1-53 (b)]；继续减小第二个斜面的倾角，假如它最终成为水平面，小球要达到原有高度将永远运动下去 [图 1-53 (c)]，在这种情况下，没有力也可以维持物体的运动。显然，伽利略的理想实验驳斥了亚里士多德的观点。

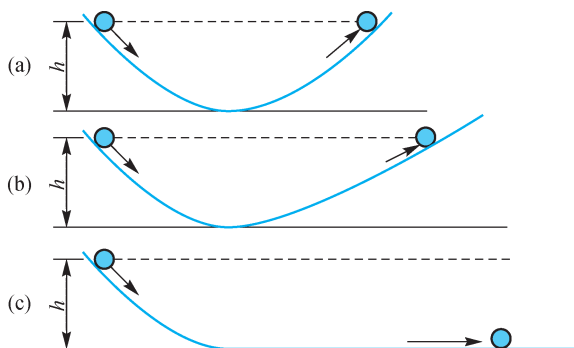


图 1-53 伽利略的理想实验

牛顿在伽利略等人研究的基础上，根据自己进一步的研究，得出下述结论：一切物体总保持原来的匀速直线运动状态或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。这就是牛顿第一定律。

牛顿第一定律指出了物体都有保持匀速直线运动或静止状态的性质，称为惯性。因此，牛顿第一定律又称为惯性定律。

比较两辆同样静止的卡车，载重的卡车比空载的卡车难以启动；当它们以同样的速度行驶时，载重的卡车又比空载的卡车难以停下来。这些都说明质量大的物体的运动状态更难改变，我们就说它的惯性大；质量小的物体的运动状态容易改变，我们就说它的惯性小。质量是物体惯性大小的量度，而且是唯一量度。

牛顿第一定律还告诉我们，如果物体不受外力的作用，物体将保持原来的匀速直线运动状态或静止状态，运动状态不会改变。这说明力是改变物体运动状态的原因，是使物体产生加速度的原因。

二、牛顿第二定律

我们又用什么方法来探究物体的加速度与物体所受外力及物体的质量之间存在着的具体关系呢？



实验探究

如图 1-54 所示, 将两个质量相同的小车放在光滑的水平板上, 绳的另一端跨过定滑轮各挂一个盘, 盘里分别放着数量不等的砝码, 两个小车在拉力的作用下做加速运动, 拉力的大小可以认为等于砝码(包括砝码盘)的重力。小车的质量和拉力的大小可以通过增、减砝码来改变, 车的后端也分别系上绳。用一只夹子夹住两根细绳, 以同时控制两辆小车, 使它们同时运动和停止运动。

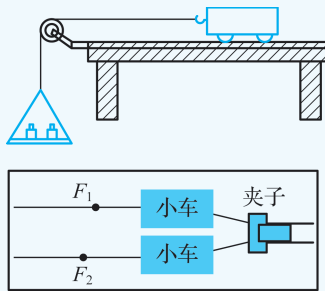


图 1-54 加速度与物体所受外力和质量的关系

由 $s = \frac{1}{2}at^2$ 可知, 在时间相同的情况下, 加速度 a 跟位移 s 成正比。实验分以下两步进行:

第一步: 取两个质量相同的小车, 在两个砝码盘中放上不同数量的砝码, 同时打开夹子, 我们会看到受力大的小车发生的位移大, 受力小的小车发生的位移小。测量表明, 小车的位移跟它受到的外力成正比。也就是说, 质量相同的物体, 其加速度跟它受到的外力成正比, 即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2}$$

或

$$a \propto F$$

第二步: 在两个砝码盘中放上相同数量的砝码, 使两辆小车受到相同的拉力, 往一辆小车上加放砝码, 增大质量。我们会看到, 在相同的时间里, 质量小的小车发生的位移大, 质量大的小车发生的位移小。测量表明, 小车通过的位移跟它们的质量成反比。也就是说, 在相同力的作用下, 物体的加速度跟它的质量成反比, 即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

或

$$a \propto \frac{1}{m}$$



归纳上面的结果可知，物体的加速度与作用力成正比，与物体的质量成反比，即

$$a \propto \frac{F}{m}$$

在一般情况下，物体总是同时受到几个力的作用，这时上面所说的作用力应当是物体所受外力的合力，那么加速度与力和质量的关系可进一步表述为：物体的加速度与合力成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与合力的方向相同，这就是牛顿第二定律，即

$$F=ma$$

这个关系不仅适用于直线运动，而且适用于曲线运动。其中， F 表示合力，单位是 N ； m 表示质量，单位是 kg ； a 表示加速度，单位是 m/s^2 。

三、牛顿第三定律

我们知道，力是物体与物体之间的相互作用。当一个物体对另一个物体施加力的作用时，这个物体也会受到另一个物体的作用，即力总是“成对”出现的。如果把其中一个力叫作作用力，那么另一个力就叫作反作用力。作用力和反作用力存在怎样的关系呢？

实验探究

为了探究作用力和反作用力的关系，我们来做下面两个实验。

如图 1-55 所示，用弹簧秤 B “主动” 去拉弹簧秤 A，A 所受到的拉力的大小可由 A 的示数读出。我们发现弹簧秤 B 也显示同样的示数，说明 A 对 B 也施加了同样大小的拉力。改变 B 对 A 的拉力，发现 A 对 B 的拉力也随之改变。这说明两弹簧受到的拉力总是大小相等、方向相反。

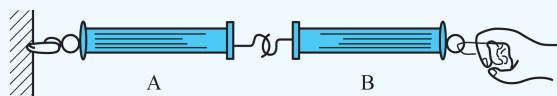


图 1-55 作用力与反作用力实验一

再如图 1-56 所示，在水中漂浮的两个相同木块上分别放上质量相等的磁铁和铁块，然后同时放开，发现它们同时运动起来，而且以后的运动情况也相同。这说明在磁铁“主动”吸引铁块的同时，铁块也“回敬”了相同大小的力来吸引磁铁。

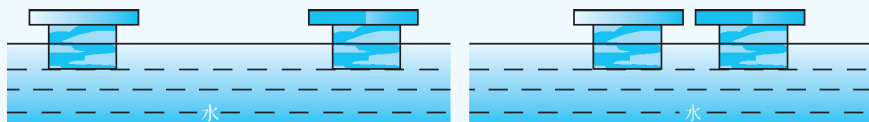


图 1-56 作用力与反作用力实验二



牛顿在总结这类实验结果的基础上,归纳出以下结论:两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等、方向相反、作用在一条直线上,这就是牛顿第三定律。

牛顿第三定律在生活和生产中的应用很广泛。人走路时用脚蹬地,脚对地面施加一个向后的作用力,地面同时给脚一个向前的反作用力,使人前进。气垫船的螺旋桨在旋转时,用力向后推水,水同时给螺旋桨一个反作用力,推动船体前进,如图 1-57 所示。汽车的发动机驱动主动轮转动,由于轮胎和地面间有摩擦,车轮向后推地面,地面给车轮一个向前的反作用力,使汽车前进。如果把后轮架空,不让它跟地面接触,这时尽管发动机驱动后轮高速转动,但由于车轮不推地面,地面也不产生向前推车的力,因此汽车就不能前进。



图 1-57 气垫船在海中行进



拓展阅读

艾萨克·牛顿

艾萨克·牛顿 (Isaac Newton, 1643—1727) (图 1-58), 英国伟大的数学家、物理学家、天文学家和自然哲学家。

牛顿 1661 年进入英国剑桥大学圣三一学院, 1665 年获文学学士学位。随后两年在家乡躲避瘟疫。在这两年里, 他描绘了一生大多数重要科学创造的蓝图。1667 年回剑桥后当选为圣三一学院院委, 次年获硕士学位。1669—1701 年任卢卡斯教授。1696 年任皇家造币厂监督, 并移居伦敦。1703 年任英国皇家学会会长。1706 年受女王安娜封爵。他晚年潜心于自然哲学与神学。

牛顿是人类历史上最伟大的科学家之一, 他的主要成就是发明了微积分, 发现了万有引力定律, 创立了经典力学。

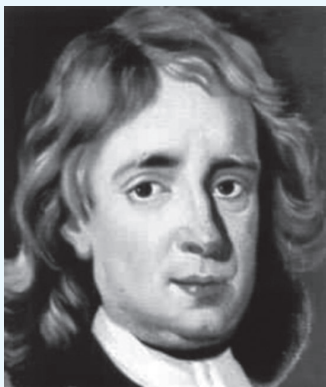


图 1-58 艾萨克·牛顿

课后练习

- 下列关于运动和力的说法中正确的是 ()。
 - 物体在恒力作用下不可能做变速运动
 - 作用在物体上的力越大，物体运动得越快
 - 物体只在一个力的作用下，一定做加速运动
 - 物体在几个力的共同作用下，加速度可能为零
- 一个物体在几个力的作用下处于静止状态，如果突然撤去其中一个力，则 ()。
 - 物体一定做匀减速直线运动
 - 物体一定做匀加速直线运动
 - 物体一定做匀速直线运动
 - 物体仍然保持静止
- 一个物体静止在光滑水平面上，现同时给它施加两个水平拉力 F_1 、 F_2 ，且 $F_1=5\text{ N}$ ， $F_2=3\text{ N}$ ，如图 1-59 所示，此后物体将 ()。

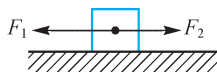


图 1-59 题 3 图

- 向左运动
 - 向右运动
 - 保持静止
 - 无法判断
- 用 30 N 的水平外力 F 拉一个静止在光滑水平面上质量为 20 kg 的物体，力 F 作用 3 s 后撤去，则第 5 s 末物体的速度和加速度分别为 ()。
 - $v=4.5\text{ m/s}$ ， $a=1.5\text{ m/s}^2$
 - $v=1.5\text{ m/s}$ ， $a=7.5\text{ m/s}^2$
 - $v=4.5\text{ m/s}$ ， $a=0$
 - $v=7.5\text{ m/s}$ ， $a=0$
 - 一个物体受到 $F_1=4\text{ N}$ 的力，产生 $a_1=2\text{ m/s}^2$ 的加速度，要使它产生 $a_2=6\text{ m/s}^2$ 的加速度需要施加多大的力？



学生实验 测量运动物体的速度和加速度



实验一

用打点计时器进行测量

实验目的



1. 掌握打点计时器的原理及其使用方法。
2. 能对纸带上记录的原始数据进行处理。
3. 能利用打出的纸带测定某段时间内的平均速度。
4. 掌握在极短的时间内物体的瞬时速度近似等于这段时间内的平均速度这一近似方法，并利用测出的速度画出 $v-t$ 图像，通过图像来分析物体的运动情况。
5. 掌握建立图像的一般规律，了解用图像研究物理问题的方法。
6. 培养学生养成良好的实验习惯和实验态度；培养学生尊重原始测量数据这一实事求是的科学态度。

实验器材



打点计时器、学生电源、细线、纸带、复写纸、刻度尺、滑板和小车各一个，砝码若干。

1. 打点计时器的概念

打点计时器是一种使用交流电源的计时仪器，它每隔 0.02 s 打一个点（电源频率为 50 Hz）。

纸带上的点表示了相应运动物体在不同时刻的位置。研究纸带上所打点的间隔，就可以了解物体运动的情况。

2. 打点计时器的种类

（1）电磁打点计时器。图 1-60 所示为电磁打点计时器的构造，图中标出了主要部件的名称。

当给电磁打点计时器通电后，线圈产生磁场，放在线圈中的振片被磁化，由于线圈通的是交变电流，电流方向不断变化，振片就会因反复地受到向上、向下的吸



引而不停地振动起来。当交变电流的频率为 50 Hz 时，电磁打点计时器的振针每 0.02 s 打一个点。

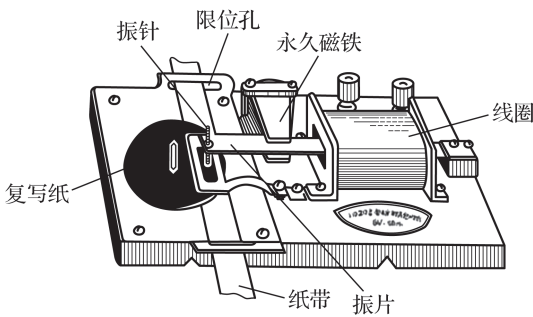


图 1-60 电磁打点计时器的构造

(2) 电火花计时器。图 1-61 所示为电火花计时器的构造，图中标出了主要部件的名称。

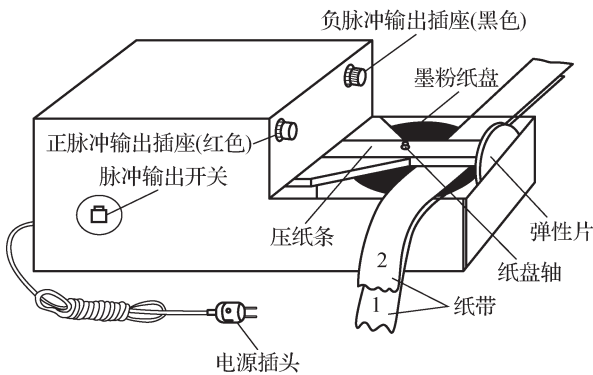


图 1-61 电火花计时器的构造

电火花计时器是利用火花放电使墨粉在纸带上打出墨点而显示出点迹的计时仪器。当电源的频率为 50 Hz 时，它的脉冲放电周期也是 0.02 s，即每隔 0.02 s 打一个点。

3. 打点计时器的使用方法

(1) 电磁打点计时器的使用方法。

① 用限位孔限定纸带，复写纸压在纸带的上面。通电后，振片带动振针打点，若纸带运动，就会在其上留下一行小点。

② 如由物体带动纸带运动，则物体的位移就对应着纸带上相应点间的距离。运动时间可由该距离上点痕的数目计算。

(2) 电火花计时器的使用方法。

① 使用时，墨粉纸盘套在纸盘轴上，把纸带穿过限位孔。当接通电源、按下脉冲输出开关时，计时器发出的脉冲电流经放电针、墨粉纸盘到纸盘轴，产生火花放



电, 于是在运动的纸带上打出一行点迹。

② 这种计时器工作时, 纸带在运动过程中受到的阻力比较小, 因此实验误差也比较小。

(3) 两种打点计时器的异同比较, 如图 1-62 所示。

计时器类型	电磁打点计时器	电火花计时器
电源性质	6 V 以下交流电源	220 V 交流电源
打点频率	打点时间间隔为 0.02 s, 频率为 50 Hz	打点时间间隔为 0.02 s, 频率为 50 Hz
打点方式	振针通过复写纸在纸带上打点	电火花放电使墨粉在纸带上成点
优缺点	纸带与限位孔、限位盘的摩擦, 振针与纸带打点接触时的摩擦; 系统误差较大	纸带与限位孔、限位盘的摩擦; 阻力较小, 系统误差较小
结论	电火花计时器比电磁打点计时器更精确	

图 1-62 两种打点计时器的异同比较

实验原理



实验装置如图 1-63 所示, 用钩码拖动小车在滑板上运动, 用打点计时器测出小车的加速度, 从而证明牛顿第二定律。

(1) 当物体的质量固定不变时, 加速度的大小与物体所受外力的大小成正比。

(2) 当物体所受外力的大小不变时, 加速度的大小与物体质量的大小成反比。

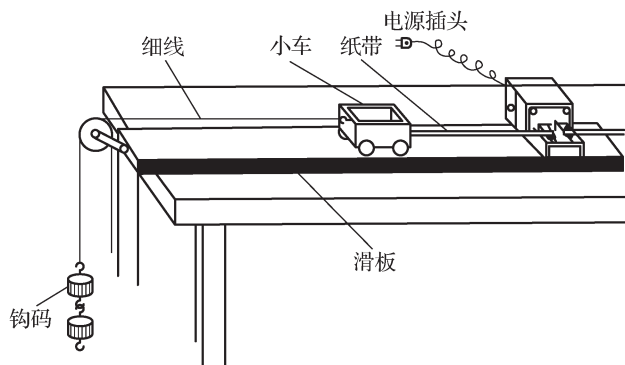


图 1-63 实验一的实验装置

从纸带上的某点开始, 每隔 5 个间距标记一个点, 连续标记为 0, 1, 2, 3, ... 计数点, 如图 1-64 所示, 则相邻两个计数点之间的时间为 $t=0.02 \times 5=0.1$ (s)。

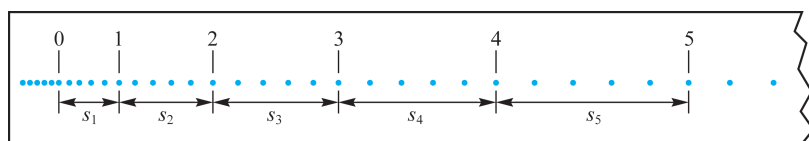


图 1-64 每隔 5 个间距标记一个点



设小车做匀加速直线运动，加速度为 a ，相应于 $0, 1, 2, 3, \dots$ 各点的瞬时速度分别为 $v_0, v_1, v_2, v_3, \dots$ ，各计数点间的位移分别为 $s_1, s_2, s_3, \dots$ 。根据匀变速直线运动的规律，可以这样计算各点的瞬时速度：

$$v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2t}$$

$$v_2 = \frac{s_2 + s_3}{2t}$$

$$v_3 = \frac{s_3 + s_4}{2t}$$

.....

这样计算小车的加速度：

$$a_1 = \frac{s_2 - s_1}{t^2}$$

$$a_2 = \frac{s_3 - s_2}{t^2}$$

$$a_3 = \frac{s_4 - s_3}{t^2}$$

.....

实验步骤

(1) 将滑板放在桌面上，使滑轮伸出桌面。把打点计时器固定在滑板的另一端，连接好电路。将穿过打点计时器的纸带固定在小车上。

(2) 将滑板在桌面内的一端略微垫高一些，用以平衡摩擦力。闭合打点计时器的开关，用手轻推小车，使打点计时器在纸带上打下一系列小点。检查小点的分布情况，调整滑板所垫的高度，直至轻推小车，打点计时器能在纸带上打下间隔均匀的一系列小点。

(3) 将细线的一端拴在小车上，另一端经过滑轮挂上一个钩码。将另一个钩码放在小车上，使其与小车一起运动。闭合打点计时器的开关，让小车在一个钩码的重力作用下做匀加速直线运动，获得一条打点纸带。对纸带进行处理、测量，询问老师实验小车和钩码的质量，将数据填入表 1-3 中。计算结果，完成表格。



表 1-3 用一个钩码拉小车

拉力 $F_1 =$ _____ N, 小车和两个钩码的质量 $m_1 =$ _____ kg
 相邻两个计数点间的时间间隔 $t =$ _____ s

s/m	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_1/\%$
$s_{11} =$	$v_{11} = \frac{s_{11} + s_{12}}{2t} =$	$a_{11} = \frac{s_{12} - s_{11}}{t^2} =$	$\Delta a_{11} = a_{11} - \overline{a_1} =$	
$s_{12} =$	$v_{12} = \frac{s_{12} + s_{13}}{2t} =$	$a_{12} = \frac{s_{13} - s_{12}}{t^2} =$	$\Delta a_{12} = a_{12} - \overline{a_1} =$	
$s_{13} =$	$v_{13} = \frac{s_{13} + s_{14}}{2t} =$	$a_{13} = \frac{s_{14} - s_{13}}{t^2} =$	$\Delta a_{13} = a_{13} - \overline{a_1} =$	
$s_{14} =$	—	$\overline{a_1} =$	$\overline{\Delta a_1} =$	

(4) 将另一个钩码从小车上取下, 也挂在细线上。接通打点计时器的开关, 让小车在两个钩码的重力作用下做匀加速直线运动, 再获得一条打点纸带。对纸带进行处理、测量, 将相关数据填入表 1-4 中。计算结果, 完成表格。

表 1-4 用两个钩码拉小车

拉力 $F_2 =$ _____ N, 小车和两个钩码的质量 $m_2 =$ _____ kg
 相邻两个计数点间的时间间隔 $t =$ _____ s

s/m	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	$a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_2/\%$
$s_{21} =$	$v_{21} = \frac{s_{21} + s_{22}}{2t} =$	$a_{21} = \frac{s_{22} - s_{21}}{t^2} =$	$\Delta a_{21} = a_{21} - \overline{a_2} =$	
$s_{22} =$	$v_{22} = \frac{s_{22} + s_{23}}{2t} =$	$a_{22} = \frac{s_{23} - s_{22}}{t^2} =$	$\Delta a_{22} = a_{22} - \overline{a_2} =$	
$s_{23} =$	$v_{23} = \frac{s_{23} + s_{24}}{2t} =$	$a_{23} = \frac{s_{24} - s_{23}}{t^2} =$	$\Delta a_{23} = a_{23} - \overline{a_2} =$	
$s_{24} =$	—	$\overline{a_2} =$	$\overline{\Delta a_2} =$	

(5) 在小车上增加质量与小车相近的砝码, 将两个钩码挂在细线上。接通打点计时器的开关, 让小车及其上的砝码在两个钩码的重力作用下做匀加速直线运动, 再获得一条打点纸带。对纸带进行处理、测量, 将相关数据填入表 1-5 中。计算结果, 完成表格。



表 1-5 用两个钩码拉增加质量的小车

拉力 $F_3 =$ _____ N, 小车、砝码和两个钩码的质量 $m_3 =$ _____ kg
相邻两个计数点间的时间间隔 $t =$ _____ s

s/m	$v_3/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	$a_3/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$\Delta a_3/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$\delta a_3/\%$
$s_{31} =$	$v_{31} = \frac{s_{31} + s_{32}}{2t} =$	$a_{31} = \frac{s_{32} - s_{31}}{t^2} =$	$\Delta a_{31} = a_{31} - \overline{a_3} =$	
$s_{32} =$	$v_{32} = \frac{s_{32} + s_{33}}{2t} =$	$a_{32} = \frac{s_{33} - s_{32}}{t^2} =$	$\Delta a_{32} = a_{32} - \overline{a_3} =$	
$s_{33} =$	$v_{33} = \frac{s_{33} + s_{34}}{2t} =$	$a_{33} = \frac{s_{34} - s_{33}}{t^2} =$	$\Delta a_{33} = a_{33} - \overline{a_3} =$	
$s_{34} =$	—	$\overline{a_3} =$	$\overline{\Delta a_3} =$	

(6) 实验结论。

通过上述实验操作，并分析数据后，可得出如下实验结论：

注意事项

- (1) 学生电源要给打点计时器提供适当的工作电压。
- (2) 打点计时器在滑板上的位置要放正，以便纸带能顺畅地通过。
- (3) 纸带要压在复写纸下面，并且复写纸能顺畅地绕定轴转动。
- (4) 要平衡摩擦力，使小车能在无拉力的作用下做匀速直线运动。
- (5) 钩码的质量要远小于小车的质量。
- (6) 小车被拉到滑轮附近时，要用手将小车挡住，防止小车撞击滑轮或跌落。

实验思考

1. 在实验步骤(3)中，当用一个钩码拖动小车时，为什么要将另一个钩码放在小车上？



2. 本实验的加速度还可以用什么方法求出?
3. 本实验的误差主要产生在什么地方?



实验二 用气垫导轨进行测量

实验目的

1. 学会使用气垫导轨和数字计时器。
2. 掌握在气垫导轨上测量速度和加速度的方法。
3. 研究力、质量和加速度之间的关系。

实验器材

气垫导轨设备、细线、钩码等。

气垫导轨设备如图 1-65 所示, 图中标出了主要部件的名称。

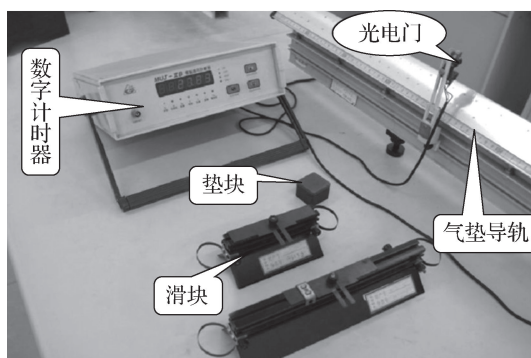


图 1-65 气垫导轨设备

气垫导轨是利用气源将压缩空气吹入导轨管腔, 再由导轨表面上的小孔喷出气流, 在导轨和滑块之间形成很薄的气膜将滑块托起, 使滑块能在导轨上做近似无阻力的直线运动, 使实验结果更接近理论值。

实验原理

实验装置如图 1-66 所示, 用钩码拖动滑块在气垫导轨上运动, 用数字计时器测出小车的加速度, 从而证明牛顿第二定律。

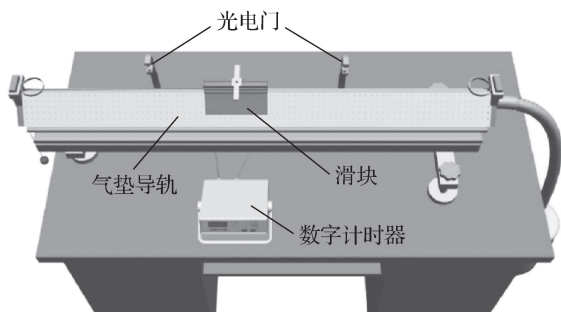


图 1-66 实验二的实验装置

(1) 当物体的质量固定不变时, 加速度的大小与其所受外力的大小成正比。

(2) 当物体所受外力的大小不变时, 加速度的大小与其质量的大小成反比。

选择数字计时器的“计时 1”功能, 当滑块上的挡光片经过光电门时, 数字计时器的显示窗口可以自动显示出挡光片经过两个光电门的挡光时间 Δt_1 和 Δt_2 。结合挡光片的宽度 l 可分别计算出滑块经过两个光电门时的瞬时速度:

$$v_1 = \frac{l}{\Delta t_1}, \quad v_2 = \frac{l}{\Delta t_2}$$

再利用两个光电门之间的距离 s , 即可求出滑块在两个光电门之间的加速度 a :

$$a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2s}$$

实验步骤

(1) 将气垫导轨连接好, 打开数字计时器的开关, 选择“计时 1”功能。调节两个光电门之间的距离 $s \approx 0.60 \text{ m}$ 。

(2) 打开气源开关, 给导轨送气。将大滑块轻轻地放在导轨上, 调节导轨下部一侧的底脚螺丝, 使滑块可以在导轨上保持静止。

(3) 将挡光片安装在大滑块上, 在导轨上尝试让大滑块经过光电门, 调节光电门的高度, 使挡光片可以顺利通过。轻轻地将大滑块从导轨的一端推向有滑轮的另一端, 继续调节导轨下部一侧的底脚螺丝, 使大滑块经过两个光电门的时间近似相等。

(4) 将大滑块放在远离滑轮的导轨一端, 拴上细线, 让细线经过滑轮后, 挂上一个钩码。放开大滑块, 让其从静止开始, 在一个钩码的重力作用下做匀加速直线运动, 分别经过两个光电门, 及时记下数字计时器显示窗口中所显示的挡光时间 Δt_1 和 Δt_2 。共测 3 次。询问老师大滑块、挡光片、钩码的质量及挡光片的宽度 l , 将数据填入表 1-6 中。计算结果, 完成表格。



表 1-6 用一个钩码拉大滑块

拉力 $F_1 =$ _____ N, 大滑块和挡光片的质量 $m_1 =$ _____ kg
 挡光片的宽度 $l =$ _____ m, 两个光电门之间的距离 $s =$ _____ m

顺 序	$\Delta t_1/s$	$\Delta t_2/s$	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	$a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_1/\%$
1							
2							
3							
平均值							

(5) 在细线另一端挂上两个钩码, 让其拉着大滑块从静止开始做匀加速直线运动, 分别经过两个光电门, 记下挡光时间 Δt_1 和 Δt_2 。共测 3 次, 将数据填入表 1-7 中。计算结果, 完成表格。

表 1-7 用两个钩码拉大滑块

拉力 $F_2 =$ _____ N, 大滑块和挡光片的质量 $m_2 =$ _____ kg
 挡光片的宽度 $l =$ _____ m, 两个光电门之间的距离 $s =$ _____ m

顺 序	$\Delta t_1/s$	$\Delta t_2/s$	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	$a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_2/\%$
1							
2							
3							
平均值							

(6) 将挡光片从大滑块上拆下, 安装在小滑块上。在细线上挂一个钩码, 让其拉着小滑块做匀加速直线运动, 分别经过两个光电门, 记下挡光时间 Δt_1 和 Δt_2 。共测 3 次, 将数据填入表 1-8 中。计算结果, 完成表格。

表 1-8 用一个钩码拉小滑块

拉力 $F_3 =$ _____ N, 小滑块和挡光片的质量 $m_3 =$ _____ kg
 挡光片的宽度 $l =$ _____ m, 两个光电门之间的距离 $s =$ _____ m

顺 序	$\Delta t_1/s$	$\Delta t_2/s$	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	$a_3/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_3/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_3/\%$
1							
2							
3							
平均值							

(7) 实验结论。

通过上述实验操作, 并分析数据后, 可得出如下实验结论:



注意事项

- (1) 导轨工作面和滑块内表面应有较好的光洁度，且两者精密吻合。导轨表面与滑块内表面的精度要求很高，在实验中严禁敲、碰、划，以免破坏表面的光洁度。
- (2) 要注意保护光电门，需要仔细调节其高度，不允许与挡光片发生擦碰。
- (3) 滑块要轻拿轻放，切忌摔碰。
- (4) 使用时要先通气，再把滑块放到气垫导轨上。严禁在通气之前就将滑块放置在导轨工作面上滑动，以免擦伤导轨表面。
- (5) 使用完毕后，应先取下滑块，然后再关闭气源。
- (6) 钩码的质量要远小于滑块的质量。

实验思考

- 1. 实验中需要注意哪些问题？
- 2. 本实验的误差主要产生在什么地方？



主题一思维
导图

主题小结

一、运动的描述

- 1. 质点是一种理想化模型。在物理学研究中，为突出物体的质量属性，忽略物体的大小和形状等次要因素，而建立的“代表物体质量的点”称为质点。
- 2. 在表示时间的数轴上，一个点表示一个时刻，而两个点之间对应的线段表示时间。时刻是指某一瞬间，而时间是指两个时刻之间的间隔。
- 3. 物体运动的轨迹长度叫作路程，是标量；从物体的初位置指向末位置的有向线段叫作位移，是矢量。



4. 物体沿一直线运动, 如果在任何相同时间内的位移都相等, 这种运动称为匀速直线运动, 简称匀速运动。

5. 速度是既有大小, 又有方向的物理量。速度的方向就是其运动方向。

6. 运动物体经过某一时刻(或某一位置)的速度, 叫作瞬时速度, 简称速度。瞬时速度的方向与物体经过某一位置时的运动方向相同, 它的大小叫作瞬时速率, 简称速率。

7. 既有大小又有方向, 且它的合成遵守平行四边形定则的物理量叫作矢量; 只有大小没有方向的物理量叫作标量。

二、匀变速直线运动

1. 匀变速直线运动分为两类: 一类是速度均匀增加的匀变速直线运动, 叫作匀加速直线运动; 另一类是速度均匀减少的匀变速直线运动, 叫作匀减速直线运动。

2. 加速度是表示速度改变快慢的物理量, 它的大小等于单位时间内速度变化的大小。用 v_0 表示物体运动的初速度, 用 v_t 表示经过一段时间 t 后的末速度, 用 a 表示加速度, 则有

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

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 。

3. 匀变速直线运动的速度公式为

$$v_t = v_0 + at$$

如果初速度为零, 则上式可简化为

$$v_t = at$$

它说明: 在初速度为零的匀变速直线运动中, 速度与时间成正比。

4. 匀变速直线运动的位移公式为

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

如果 $v_0 = 0$, 则上式可简化为

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

它说明: 在初速度为零的匀变速直线运动中, 位移与时间的平方成正比。

5. 物体只在重力作用下从静止开始下落的运动叫作自由落体运动。自由落体运动发生在真空中。当空气阻力与物体自身重力相比较小, 可以忽略不计



时，物体的下落也可看作自由落体运动。

6. 自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。

自由落体运动是初速度为零、加速度为 g 的匀加速直线运动，因此将匀变速直线运动的公式做相应的变动，则有

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

这就是自由落体运动的公式。

三、重力 弹力 摩擦力

1. 人们常用有向线段表示力。线段是按一定标度画出的，它的长短表示力的大小，它的箭头指向表示力的方向，箭尾表示力的作用点。这种表示力的方法，叫作力的图示。

2. 由于地球的吸引而使物体受到的力称为重力，用字母 G 表示。物体所受重力 G 与物体的质量 m 的关系为

$$G = mg$$

式中， g 为重力加速度。

重力不仅有大小，而且有方向。重力的方向是竖直向下的。

3. 发生形变的物体由于要恢复原状，对跟它接触的物体要产生力的作用，这种力称为弹力。弹力只能产生在直接接触并发生形变的物体之间。

4. 当一个物体在另一个物体表面滑动时，要受到另一个物体的阻碍，这种阻碍两个物体间相对滑动的力叫作滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总是跟接触面相切，并且与物体的相对滑动方向相反。

滑动摩擦力与压力成正比。如果用 f 表示滑动摩擦力，用 N 表示压力，则有

$$f = \mu N$$

式中， μ 为动摩擦因数，没有单位，它的数值大小与两个相互接触表面的材料及接触面的情况（如粗糙程度）有关。

四、力的合成与分解

1. 如果一个力作用在物体上的效果与几个力作用的效果相同，这个力就叫作那几个力的合力，那几个力叫作这个力的分力。求几个力的合力叫作力的合成，遵守力的平行四边形定则。

2. 力的分解是力的合成的逆运算，同样遵守力的平行四边形定则。



五、牛顿运动定律及其应用

1. 一切物体总保持原来的匀速直线运动状态或静止状态，除非作用在它上面的力迫使它改变这种状态。这就是牛顿第一定律。牛顿第一定律指出了物体具有保持匀速直线运动或静止状态的性质，称为惯性。因此，牛顿第一定律又称为惯性定律。

2. 物体的加速度与作用力成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与外力的方向相同，这就是牛顿第二定律，即

$$F=ma$$

3. 两个物体之间的作用力和反作用力总是大小相等、方向相反、作用在一条直线上，这就是牛顿第三定律。