



# 物理

W U L I

基础模块

ISBN 978-7-5608-9000-5



9 787560 890005 >

定价: 36.00元

物  
理

基础模块

主  
编  
崔  
树  
涛

同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

X-A

# 物理

基础模块

主编 崔树涛

同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS



# 物理

## 基础模块

主 编 崔树涛

副主编 韩业松 黄风锦 陈洪翠

同济大学出版社·上海

## 内 容 提 要

本教材共分七章,主要内容包括运动和力、功和能、热现象及能量守恒、直流电及其应用、电与磁及其应用、光现象及其应用、核能及其应用等。

本教材可作为中等职业学校相关专业“物理”课程的教材,也可供广大物理爱好者参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

物理:基础模块 / 崔树涛主编. --上海: 同济大学出版社, 2021. 6(2023. 9 重印)

ISBN 978 - 7 - 5608 - 9000 - 5

I. ①物… II. ①崔… III. ①物理学-中等专业学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 099537 号

---

---

## 物理(基础模块)

崔树涛 主编

责任编辑 张平官 责任校对 徐春莲 封面设计 黄燕美

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)

(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

印 刷 大厂回族自治县聚鑫印刷有限责任公司

开 本 850 mm×1 168 mm 1/16

印 张 12

字 数 248 000

版 次 2021 年 6 月第 1 版

印 次 2023 年 9 月第 3 次印刷

书 号 ISBN 978 - 7 - 5608 - 9000 - 5

---

定 价 36.00 元

---

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

The header features a blue-toned illustration of a character in a graduation cap pointing towards four panels containing icons for a magnifying glass, a telescope, a microscope, and an atom. A hot air balloon is also visible in the sky. The background is decorated with various science-related icons like lightbulbs, atoms, and the equation E=MC².

# 前言

## PREFACE

为贯彻落实《国家职业教育改革实施方案》，深化中等职业学校公共基础课程改革，培养德智体美劳全面发展的高素质劳动者和技术技能型人才，教育部特制定了《中等职业学校公共基础课程方案》新课标。

物理学是一门研究自然界物质基本结构、相互作用和运动规律的基础学科。物理学基于观察与实验，建构科学模型，应用数学工具，通过科学推理和论证，形成系统的研究方法 with 理论体系，是其他自然科学和现代技术的重要基础，是工程技术发展的重要源泉。

本教材根据教育部发布的《中等职业学校物理课程标准》（2020年版），结合经济社会发展对中职人才培养的新要求编写而成。本教材在内容选择和呈现方式上落实立德树人的根本任务；引导学生从物理学的视角认识自然，认识物理学与生产、生活的关系，经历科学实践过程，掌握科学研究方法，养成科学思维习惯，培育科学精神，增强实践能力和创新意识；培养学生职业发展、终身学习和担当民族复兴大任所必需的物理学科核心素养，引领学生逐步形成科学精神及科学的世界观、人生观和价值观，自觉践行社会主义核心价值观。

本教材按照物理新课标中基础模块的知识范围与难度进行编写；体系完整，涵盖了物理学传统的力学、热学、电学、光学和原子物理全部内容；融合衔接，突出基本概念与规律的地位，强化学生物理观念的形成，尽可能匹配学生的数学水平进行一般物理问题的解决，还注意与小学科学、初中物理知识的内容衔接；强化素养，为了突出物理实验的地位，将物理实验单独放在对应章节的后面，列举学生熟知的物理情境，培养学生的实验观察、操作技能、技术运用、探究设计等物理学科核心素养。在教材中还增加了物理学在生产生活中的一些应用，引导学生认识科学的本质，认识科学、技术、社会、环境之间的联系，增强可持续发展的意识，提升工匠精神、合作交流、社会责任和科学传承等物理学科核心素养。

本书由崔树涛任主编，韩业松、黄风锦、陈洪翠任副主编。

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编者





# 目录

CONTENTS

<b>第一章 运动和力</b> .....	1
第一节 运动的描述.....	3
第二节 匀变速直线运动.....	8
第三节 重力 弹力 摩擦力.....	18
第四节 力的合成与分解.....	26
第五节 牛顿运动定律及其应用.....	32
学生实验 测量运动物体的速度和加速度 .....	38
本章小结.....	48
<b>第二章 功和能</b> .....	53
第一节 功 功率.....	55
第二节 动能定理及其应用.....	60
第三节 机械能守恒定律及其应用.....	65
本章小结.....	73
<b>第三章 热现象及能量守恒</b> .....	75
第一节 分子动理论.....	77
第二节 热力学第一定律 能量守恒定律.....	85
本章小结.....	90
<b>第四章 直流电及其应用</b> .....	91
第一节 电阻定律.....	93
第二节 电动势 全电路欧姆定律.....	100
第三节 安全用电须知.....	104

学生实验 多用表的使用·····	109
学生实验 探究并测量电源电动势和内阻·····	114
本章小结·····	117
<b>第五章 电与磁及其应用</b> ·····	119
第一节 电荷 电场 电场强度·····	121
第二节 电势能 电势 电势差·····	132
第三节 磁场 磁感应强度·····	135
第四节 磁场对电流的作用·····	140
第五节 电磁感应现象·····	144
学生实验 设计制作简易直流电动机·····	149
本章小结·····	150
<b>第六章 光现象及其应用</b> ·····	155
第一节 光的折射和全反射·····	157
第二节 光的全反射现象的应用·····	161
学生实验 设计制作简易潜望镜·····	168
本章小结·····	169
<b>第七章 核能及其应用</b> ·····	171
第一节 原子结构 原子核的组成·····	173
第二节 核能 核技术·····	178
本章小结·····	184
<b>参考文献</b> ·····	185

# 第一章 运动和力

## 学习目标

- ◎了解质点的概念，体会物理模型在探索自然规律中的作用。
- ◎了解时间与时刻、路程与位移、速度与速率、矢量与标量的概念。
- ◎了解匀变速直线运动、自由落体运动的概念及特点。
- ◎了解重力、弹力、静摩擦力和滑动摩擦力的概念及特点。
- ◎了解力的合成与分解。
- ◎了解运动与力的关系，能分析常见物体的受力情况，并能进行简单计算。

力学是一门古老的学科，它是研究运动与力及其相互关系和规律的一门学科。这门学科虽然古老，但仍然是物理学的基础，也是科学和工程技术的基础。

在本章中，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00秒,是一个令全国人民万分激动的时刻。我国航天员打开神舟七号载人飞船轨道舱舱门,首度实施空间出舱活动,茫茫太空第一次留下中国人的足迹(图1-1)。宇航员在随飞船运动的同时,又做出了许多动作,你能用一句话表达出这些动作的共同特点吗?

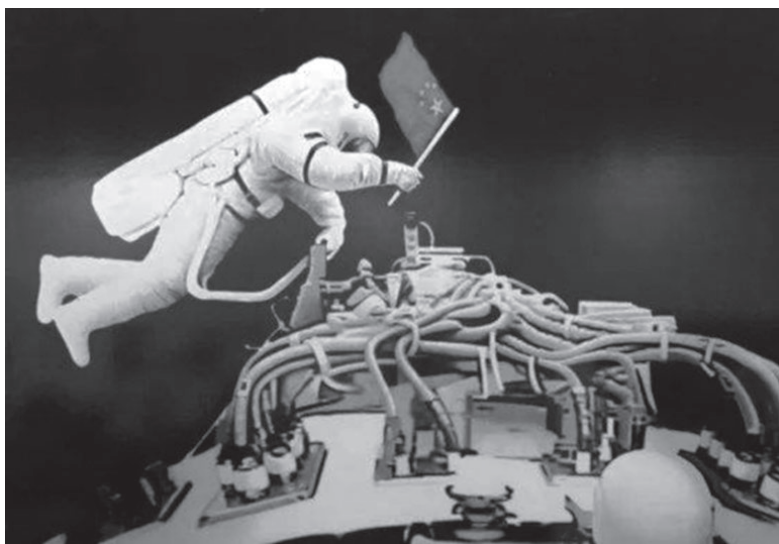


图 1-1 航天员出舱活动

### 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

### 想一想

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?是否可以将汽车作为“一个点”来代替?



图 1-3 汽车在狭窄车道上转弯时

### 小提示

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,同时 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。

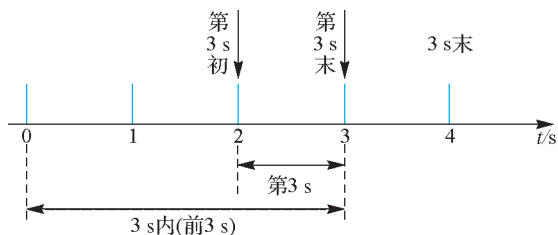


图 1-4 坐标轴上的线段表示时间, 点表示时刻

### 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? 如果某一乘客在车站下车后沿着一条东西方向的道路行走, 当他告诉你他到了车站东面 2 km 处时, 你能够很清楚他的位置。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, 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。



图 1-6 天津到上海的位置改变

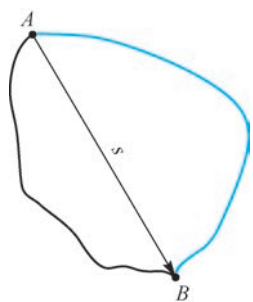


图 1-7 位置 A 到位置 B 的位移

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，从物体的初始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始位置  $A$  指向末位置  $B$  的有向线段的长度，位移的方向是由初始位置  $A$  指向末位置  $B$ ，如图 1-7 所示。

## 五、速度与速率

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，有的运动得快，有的运动得慢。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 ( $km/h$ ) 等。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，物体的速度总是经常在改变的。例如，火车进站时越来越慢，出站时越来越快。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

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

平均速度并不能告诉我们列车在每一时刻运动快慢的真实情况，只是粗略地描述物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。

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。乘汽车时注意一下仪表盘上的速度表(图1-8),就会发现速度计指针所指的数值随着行驶快慢的改变而改变。如果某一时刻指针指着“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。除位移以外,在物理学中还有很多矢量,如速度、力就是这类物理量。而长度、时间、质量和温度等只有大小没有方向的物理量叫作标量。

## 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。



### 课后思考

- 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
- 下列各组物理量中,全部是矢量的是( )。
 

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

### 一、匀速直线运动与变速直线运动

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。

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。

#### 小提示

实际上,严格意义上的匀速直线运动是没有的,我们可以把一些和匀速直线运动接近的实际运动当成匀速直线运动来处理。

### 二、匀变速直线运动与加速度

#### (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	...
$v/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	10.8	11.5	12.2	12.9	...
$v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	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 就增加 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。

### 小提示

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

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 1-9 所示。

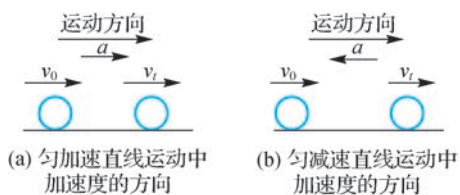


图 1-9 匀变速直线运动中加速度的方向

**【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 1-10 所示。

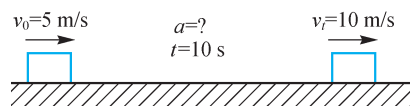


图 1-10 例 1-1 图

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 1-11 所示。

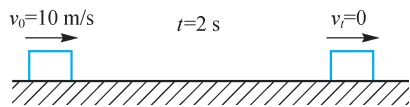


图 1-11 例 1-2 图

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。

### 小提示

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。

### 做一做

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。

### 小提示

$v_0$  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  $v_t$ 。

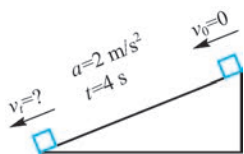


图 1-12 例 1-3 图

**【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  $2 \text{ m/s}^2$ , 从坡顶滑到坡底经过  $4 \text{ s}$ , 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 1-12), 由匀变速直线运动的速度公式, 可求出末速度。

**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  $72 \text{ km/h}$  速度行驶火车在到达一座平直铁桥前  $90 \text{ s}$  开始减速, 加速度的大小是  $0.10 \text{ m/s}^2$ 。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 1-13 所示。

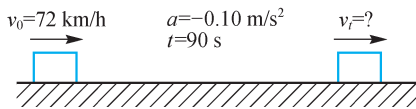


图 1-13 例 1-4 图

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

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

#### (四) 匀变速直线运动的位移公式

在匀变速直线运动中, 通过推导可以得到

$$s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$$

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  $0.20 \text{ m/s}^2$ ，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 1-14 所示。

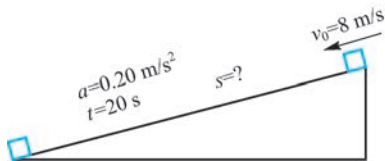


图 1-14 例 1-5 图

由匀变速直线运动的位移公式可得

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

### (五) 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 1-15）。

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 1-16）。

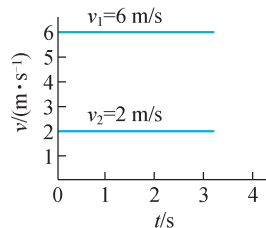


图 1-15 匀速直线运动的速度图像

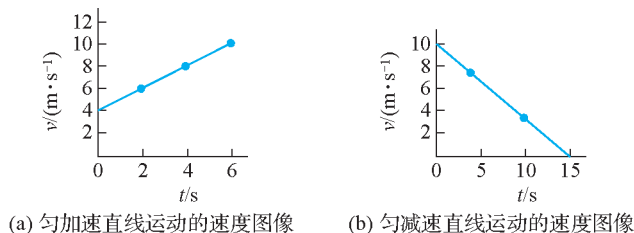


图 1-16 匀变速直线运动的速度图像

### 小提示

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。第一阶段做匀加速直线运动，其末速度就是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 ~ 2 s）做匀加速直线运动，初速度  $v_0=0$ ，末速度  $v_1=4$  m/s， $t_1=2$  s；第二阶段（2 ~ 6 s）做匀速直线运动， $v=4$  m/s， $t_2=4$  s；第三阶段（6 ~ 8 s）做匀减速直线运动，初速度  $v_1=4$  m/s，末速度  $v_2=0$ ， $t_3=2$  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 1-17 所示。

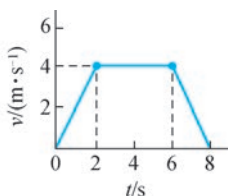


图 1-17 例 1-6 图

## 三、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 1-18），那么不同物体下落的快慢是不是相同呢？

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，重的物体比轻的物体下落得要快。然而，这种观点是不是正确呢？



图 1-18 成熟的苹果从树上落下

## 知识链接

### 自由落体

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 1636 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。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，物体下落的速度快慢与物体的重量大小无关。

## 做一做

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 1-19 所示。



图 1-19 自由落体运动

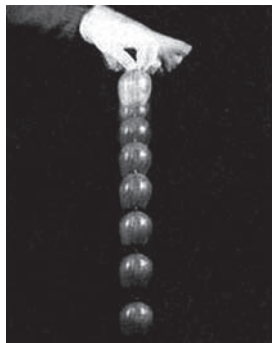


图 1-20 自由落体(苹果)  
频闪照相的照片

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,物体的下落也可看作自由落体运动。

图 1-20 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。

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。

重力加速度实验表明,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,在地球上不同的地方, $g$  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

$$v_t = gt$$

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

这就是自由落体运动的公式。

### 小提示

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

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



### 课后思考

- 下列说法正确的是 ( )。
  - 加速度是速度的变化量
  - 加速度是速度的增加量
  - 加速度是描述速度变化大小的物理量
  - 加速度是描述速度变化快慢的物理量
- 关于速度与加速度关系的说法中正确的是 ( )。
  - 物体的速度越大，它的加速度就越大
  - 物体的速度变化量越大，它的加速度就越大
  - 物体的速度变化率越大，它的加速度就越大
  - 物体的速度为零时，它的加速度一定为零
- 关于匀变速直线运动的位移，以下说法中正确的是 ( )。
  - 位移的大小与时间成正比
  - 位移的大小与时间的平方成正比
  - 当初速度为零时，位移的大小与时间成正比
  - 当初速度为零时，位移的大小与时间的平方成正比
- 做匀变速直线运动的物体，初速度为零且加速度为  $1 \text{ m/s}^2$ ，则 ( )。
  - 在第 1 s 内的位移为 1 m
  - 在第 1 s 内的速度都是 1 m/s
  - 在第 1 s 内的平均速度为 1 m/s
  - 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) 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 A 的速度变为零, 则 A 的加速度大小是多少? 方向如何? 加速还是减速? 若 B 的速度变为 10 m/s, 方向仍然向东, 则 B 的加速度大小是多少? 方向如何? 加速还是减速?

8. 一个物体从 80 m 高处自由下落, 到达地面的速度是多少? 所用时间是多少?

9. 物体以 2 m/s 的初速度开始做匀加速直线运动, 加速度为  $3 \text{ m/s}^2$ , 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 1-21 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 1-21 “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，当时人们只是认识了一些“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……可一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。

### 一、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。一个物体受到力的作用，一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，还会把一些力称为拉力、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。

例如，将一个大小为  $400\text{ N}$ ，与水平方向的夹角为  $30^\circ$  的拉力施加在小车的  $B$  点处，如图 1-22 所示。

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 1-23 所示。

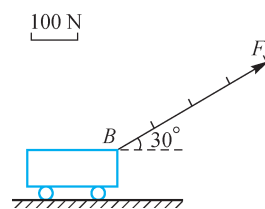


图 1-22 力的图示

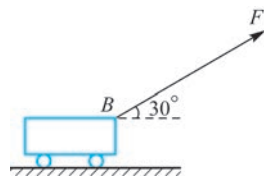


图 1-23 力的示意图

#### 四、重力

英国物理学家牛顿发现，宇宙中所有的物体之间都具有相互吸引力的作用，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，它的重心就在其几何中心上。均匀细直棒、均匀球体和均匀圆柱体的重心 ( $C$  点) 如图 1-24 所示。

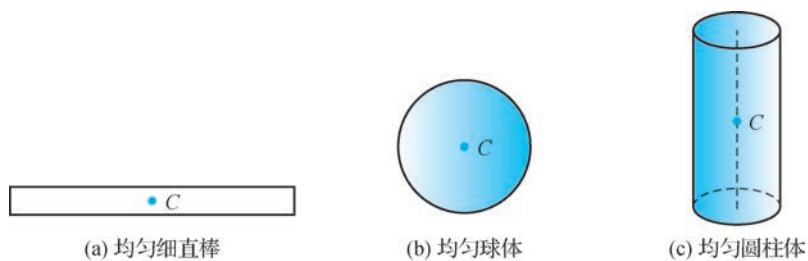


图 1-24 均匀物体的重心

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。

### 想一想

对于图 1-25 所示的质量分布不均匀、形状不规则的薄板状物体，如何确定其重心的位置？

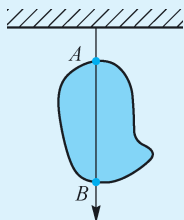


图 1-25 质量分布不均匀、形状不规则的薄板状物体的重心

## 五、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，可以把运动员弹起来（图 1-26）。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。

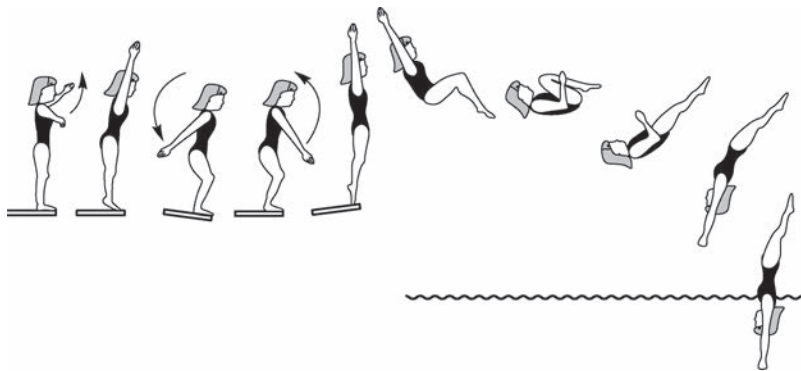


图 1-26 跳水运动员跳水

### 小提示

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,于是会对与它接触的物体产生弹力的作用。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。

**【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。

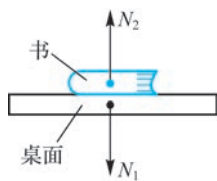


图 1-27 例 1-8 图

**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。书由于发生了微小形变,因此对桌面产生了垂直桌面向下的弹力  $N_1$ ,即书对桌面的弹力(压力);桌面由于发生了微小形变,因此对书产生了垂直书面向上的弹力  $N_2$ ,即桌面对书的弹力(支持力),如图 1-27 所示。

可见,通常所说的物体间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】** 电线下方悬挂电灯,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,因此电灯和电线同时产生微小形变。电灯由于产生了微小的形变,因此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,因此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 1-28)。



图 1-28 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。

## 六、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的（图 1-29）。

实验表明：滑动摩擦力跟压力成正比。如果用  $f$  表示滑动摩擦力，用  $N$  表示压力，则有

$$f = \mu N$$

式中， $\mu$  为动摩擦因数，没有单位，它的数值大小跟两个相互接触表面的材料及接触面情况（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，铸铁与地面间的滑动摩擦因数为 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，应采取什么办法？

**解** 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 1-30）。

其中

$$N = mg = 2.0 \times 10^3 \times 9.8 = 1.96 \times 10^4 \text{ (N)}$$

$$f = \mu N = 0.30 \times 1.96 \times 10^4 = 5.88 \times 10^3 \text{ (N)}$$

$$F = f = 5.88 \times 10^3 \text{ (N)}$$

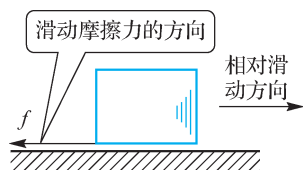


图 1-29 滑动摩擦力

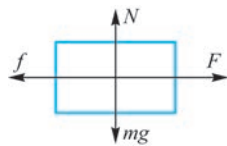


图 1-30 例 1-10 图

### 小提示

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

计算结果告诉我们,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,因此,可在车床底座下搁置一些圆木或钢管,使车床在圆木或钢管上滚动前进。这样,移动车床就不需要很大的力了。

### (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?

#### 做一做

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 1-31)。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缓慢加入沙子,直到某一时刻,箱子突然动了起来。

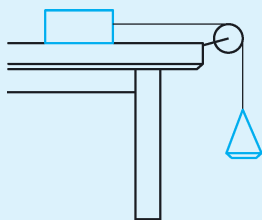


图 1-31 向托盘中缓慢加入沙子

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。这说明箱子跟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。

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 1-32)。

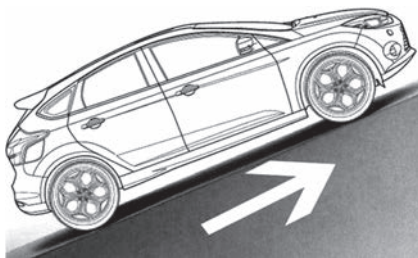


图 1-32 停在斜坡上的汽车

皮带运输机（图 1-33）也是靠货物与传送带之间的静摩擦力把货物送至别处的。

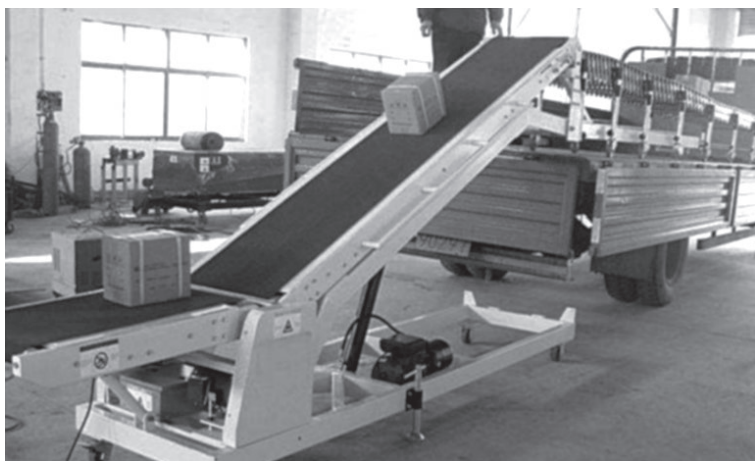


图 1-33 皮带运输机

实验中，不断地向托盘中加入沙子，箱子仍旧保持不动，这说明箱子所受的静摩擦力随着绳子拉力的增大而增大。但是静摩擦力的增大并不是无限度的，当箱子即将开始运动时，静摩擦力便达到了最大值，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。

### 想一想

静摩擦是很难避免的。尽管摩擦大多是有害的，但我们又离不开摩擦。如果地球上没有摩擦力，世界将会变成什么样子呢？

假如没有摩擦力，我们无法拿筷子，也不能以任何方式拿起食物，就算放在嘴里，食物也会无法控制地到处乱窜；我们将会寸步难移，因为既站不稳，也无法行走；圆珠笔会写不出字，墨也会流出来，而且我们也无法拿起笔；我们爬不了楼梯，电梯的传动轴也带不动电梯；螺钉不能旋紧，钉在墙上的钉子会自动松开而落下来，家里的桌子、椅子都会散开来，并且会在地面上滑过来，滑过去，根本无法使用……

没有摩擦力的世界我们很难接受，因为它改变了很多平时我们所熟知的东西。所以，摩擦力在我们的日常生活中虽然不起眼但至关重要，它使我们周围的世界看起来是正常的样子。如果没有摩擦力，一切都将改变。





## 课后思考

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力小
  - B. 下落过程中的足球比上升过程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
4. 一个物体受到一个逐渐减小的力的作用, 力的方向与物体运动的方向相同, 则此物体在直线上做( )。
 

A. 减速运动	B. 匀速运动
C. 加速运动	D. 匀加速运动

## 第四节 力的合成与分解

### 一、力的合成

#### (一) 合力与分力

如图 1-34 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  $F_2$ 。

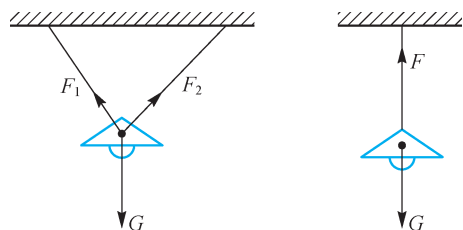


图 1-34 合力与分力

如果一个力作用在物体上，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。

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 1-35）。下面研究共点力的合成。

## （二）力的合成方法

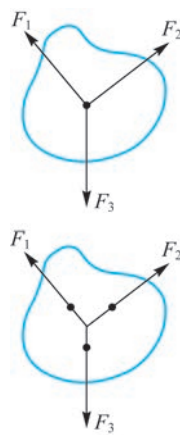


图 1-35 共点力

### 做一做

图 1-36 (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 1-36 (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 1-36 (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。

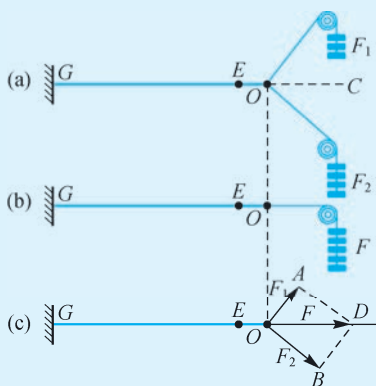


图 1-36 力的合成方法实验

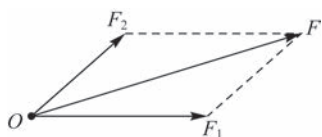


图 1-37 力的平行四边形定则

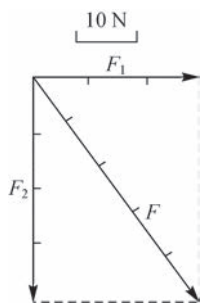


图 1-38 例 1-11 图

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 1-37)。这叫作力的平行四边形定则。

两个分力的夹角可以在  $0 \sim 180^\circ$  变化,当两个分力的大小固定不变,只有夹角改变时,合力随夹角的变化情况如图 1-37 所示,其中  $|F_1 - F_2| \leq F \leq F_1 + F_2$ 。

**【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  $10\text{ mm}$  长的线段表示  $10\text{ N}$  的力, 作出力的平行四边形。如图 1-38 所示, 表示  $F_1$  的线段长  $30\text{ mm}$ , 表示  $F_2$  的线段长  $40\text{ mm}$ 。

用刻度尺量得表示合力  $F$  的对角线长  $50\text{ mm}$ , 所以合力的大小

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

用角度尺量得合力  $F$  与力  $F_1$  的夹角为  $53^\circ$ 。

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 1-39 所示。

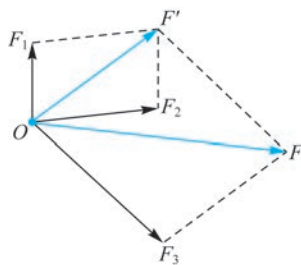


图 1-39 求两个以上力的合力

### (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: 矢量方向与正方向相同时取正值, 矢量方向与正方向相反时取负值。

例如, 如图 1-40 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

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

如图 1-40 (a) 所示,  $F_{\text{合}}$  为正值, 表示合力的方向与正方向一致。

如果设定竖直向下为正方向，那么，这三个力的合力为

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

如图 1-40 (b) 所示， $F_{\text{合}}$  为负值，表示合力的方向与正方向相反。

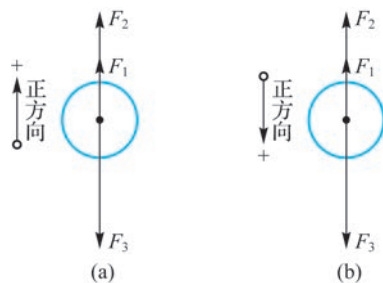


图 1-40 求同一直线上三个力的合力

### 想一想

设定不同的正方向，会影响计算结果吗？

## 二、力的分解

### 做一做

将一本书挂在一个测力计上（图 1-41），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。

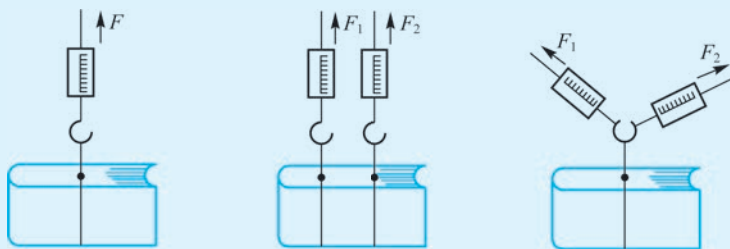


图 1-41 力的分解实验

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。

### 小提示

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 1-42）。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。

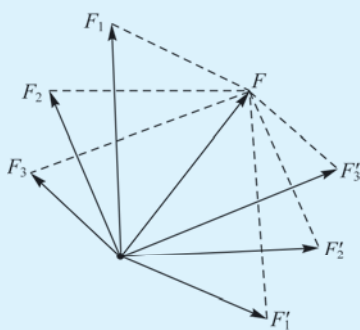


图 1-42 力的无数种分解可能

### 想一想

走钢丝（图 1-43）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）会有多大呢？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 1-43 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  $170^\circ$  的角度（图 1-44）。求这时钢丝绳所受的拉力。

**分析：** 杂技运动员对钢丝绳的压力大小等于体重  $G$ ，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 1-45）。

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。为了杂技运动员的安全，必须使钢丝绳具有足够的强度。

**【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 3 个力的作用，如图 1-46 (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 1-46 (b)]，得

$$F_1 = G \sin \alpha$$

$$F_2 = G \cos \alpha$$

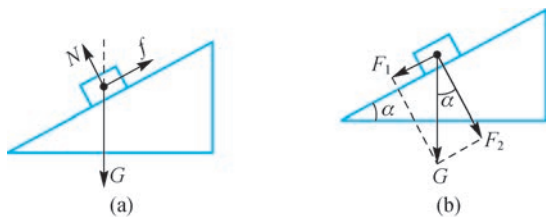


图 1-46 例 1-13 图

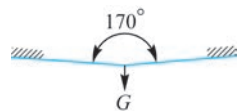


图 1-44 钢丝绳成  $170^\circ$  的角度

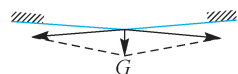


图 1-45 力的平行四边形

### 小提示

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。



## 课后思考

- 我们用力推放在水平面上的重物，没有推动，这是因为( )。
  - 重物的质量太大
  - 摩擦力大于推力
  - 物体的重力大于推力
  - 物体所受的合外力为零
- 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
- 一个重量为  $20\text{ N}$  的物体静止在倾角为  $30^\circ$  的斜面上，求斜面对它的静摩擦力。
- 如图 1-47 所示，一个半径为  $r$ ，重量为  $G$  的球，用长度为  $l$  的绳子挂在竖直墙壁  $A$  处，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？

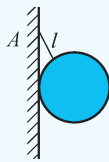


图 1-47 题 5 图

## 第五节 牛顿运动定律及其应用

物体为什么会做这样或那样的运动呢？这就需要研究运动和力的关系。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，物体就要静止下来，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 1-48(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 1-48(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 1-48(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。

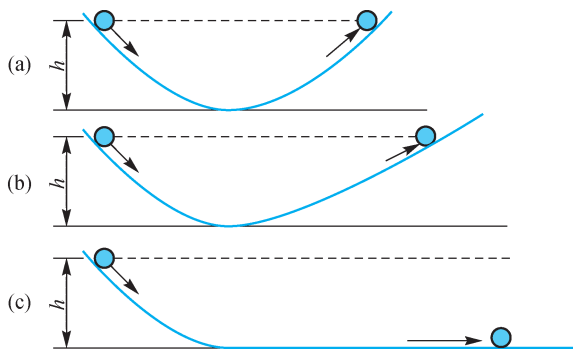


图 1-48 伽利略的理想实验

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起动；当它们以同样的速度运动时，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难以改变，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的具体关系呢？

### 做一做

如图 1-49 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  $F$  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  $F$  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。

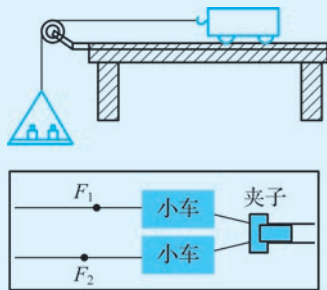


图 1-49 加速度与物体所受外力和质量的关系

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：取两个相同质量的小车，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

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

归纳上面的结果可见：物体的加速度与作用力成正比，与物体的质量成反比。

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

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

$$F=ma$$

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

### 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？

### 做一做

为了探究作用力和反作用力的关系，我们来做下面的实验。

如图 1-50 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、方向相反的。

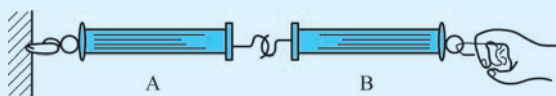


图 1-50 作用力与反作用力实验一

再如图 1-51 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。

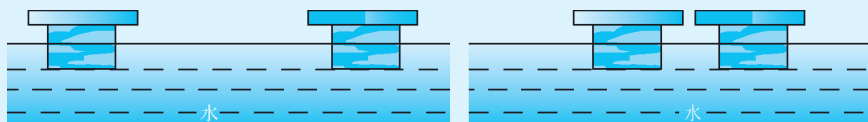


图 1-51 作用力与反作用力实验二

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 1-52 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 1-52 气垫船在海中行进



课后思考

1. 如图 1-53 所示, 光滑的水平面上有一小车以向右的加速度  $a$  做匀加速运动, 车内两物体 A、B 的质量之比为 2 : 1, A、B 间用弹簧相连并放在光滑的桌面上, B 通过质量不计的轻绳与车相连, 剪断轻绳的瞬间, A、B 的加速度大小分别为 ( )。

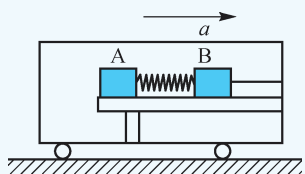


图 1-53 题 1 图

- A.  $a$ 、0      B.  $a$ 、 $a$       C.  $a$ 、 $2a$       D. 0、 $2a$

2. 在光滑水平地面上有两个叠放在一起的斜面体 A、B, 两斜面体的形状和大小完全相同, 质量分别为  $M$ 、 $m$ 。如图 1-54 所示, 对上面或下面的斜面体施加水平方向的恒力  $F_1$ 、 $F_2$  均可使两斜面体相对静止地做匀加速直线运动, 已知两斜面体间的摩擦力为零, 则  $F_1$  与  $F_2$  之比为 ( )。



图 1-54 题 2 图

- A.  $M : m$       B.  $m : M$   
 C.  $m : (M + m)$       D.  $M : (M + m)$

## 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 1-55 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，由于线圈通的是交流电流，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。当交流电流的频率为 50 Hz 时，电磁打点计时器的振针每 0.02 s 打一个点。

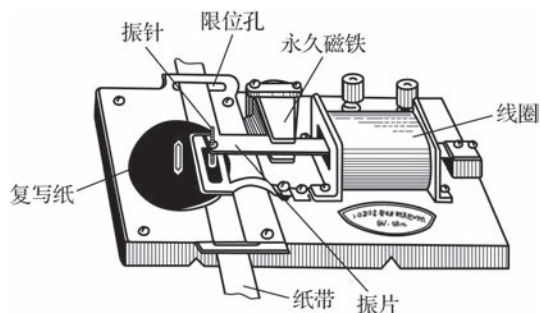


图 1-55 电磁打点计时器的构造

(2) 电火花计时器。图 1-56 所示为电火花计时器的构造，图中标出了主要部件的名称。

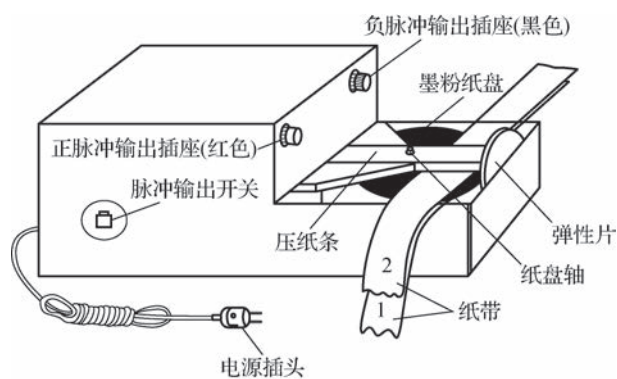


图 1-56 电火花计时器的构造

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，振片带动振针打点。若纸带运动，其上就会留下一行小点。

② 如由物体带动纸带运动，物体的位移就对应为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 1-57 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 1-57 两种打点计时器的异同比较

### 实验原理

实验装置如图 1-58 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。

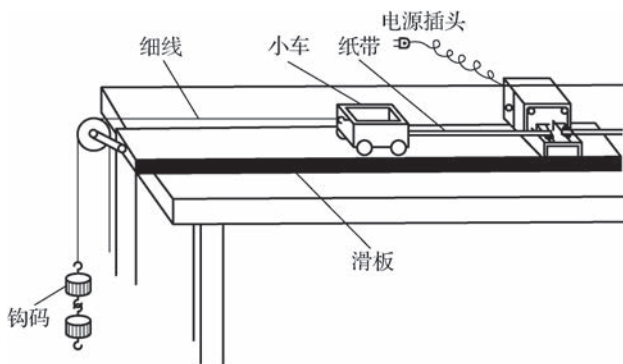


图 1-58 实验一的实验装置

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 1-59 所示, 则相邻两个计数点之间的时间为  $t=0.02 \times 5=0.1 \text{ s}$ 。

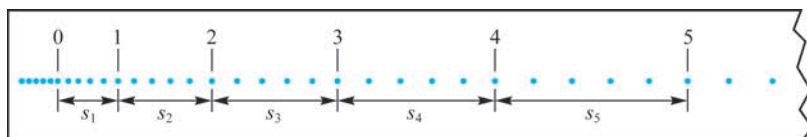


图 1-59 每隔 5 个间距标记一个点

设小车做匀加速直线运动，加速度为  $a$ ，相应于 0、1、2、3……，各点的瞬时速度分别为  $v_0$ 、 $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ ……，各计数点间的位移分别为  $s_1$ 、 $s_2$ 、 $s_3$ ……。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，调节滑板所垫的高度，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，另一端经过滑轮后挂上一个钩码。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

$s/m$	$v_1/(m \cdot s^{-1})$	$a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_1/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_1/\%$
$s_{11} =$	$v_{11} = \frac{s_{11} + s_{12}}{2t} =$	$a_{11} = \frac{s_{12} - s_{11}}{t^2} =$	$\Delta a_{11} =  a_{11} - \bar{a}_1  =$	
$s_{12} =$	$v_{12} = \frac{s_{12} + s_{13}}{2t} =$	$a_{12} = \frac{s_{13} - s_{12}}{t^2} =$	$\Delta a_{12} =  a_{12} - \bar{a}_1  =$	
$s_{13} =$	$v_{13} = \frac{s_{13} + s_{14}}{2t} =$	$a_{13} = \frac{s_{14} - s_{13}}{t^2} =$	$\Delta a_{13} =  a_{13} - \bar{a}_1  =$	
$s_{14} =$	—	$\bar{a}_1 =$	$\overline{\Delta a_1} =$	

(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

$s/m$	$v_2/(m \cdot s^{-1})$	$a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_2/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_2/\%$
$s_{21} =$	$v_{21} = \frac{s_{21} + s_{22}}{2t} =$	$a_{21} = \frac{s_{22} - s_{21}}{t^2} =$	$\Delta a_{21} =  a_{21} - \bar{a}_2  =$	
$s_{22} =$	$v_{22} = \frac{s_{22} + s_{23}}{2t} =$	$a_{22} = \frac{s_{23} - s_{22}}{t^2} =$	$\Delta a_{22} =  a_{22} - \bar{a}_2  =$	
$s_{23} =$	$v_{23} = \frac{s_{23} + s_{24}}{2t} =$	$a_{23} = \frac{s_{24} - s_{23}}{t^2} =$	$\Delta a_{23} =  a_{23} - \bar{a}_2  =$	
$s_{24} =$	—	$\bar{a}_2 =$	$\overline{\Delta a_2} =$	

(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

$s/m$	$v_3/(m \cdot s^{-1})$	$a_3/(m \cdot s^{-2})$	$\Delta a_3/(m \cdot s^{-2})$	$\delta a_3/\%$
$s_{31} =$	$v_{31} = \frac{s_{31} + s_{32}}{2t} =$	$a_{31} = \frac{s_{32} - s_{31}}{t^2} =$	$\Delta a_{31} =  a_{31} - \bar{a}_3  =$	
$s_{32} =$	$v_{32} = \frac{s_{32} + s_{33}}{2t} =$	$a_{32} = \frac{s_{33} - s_{32}}{t^2} =$	$\Delta a_{32} =  a_{32} - \bar{a}_3  =$	
$s_{33} =$	$v_{33} = \frac{s_{33} + s_{34}}{2t} =$	$a_{33} = \frac{s_{34} - s_{33}}{t^2} =$	$\Delta a_{33} =  a_{33} - \bar{a}_3  =$	
$s_{34} =$	—	$\bar{a}_3 =$	$\bar{\Delta a}_3 =$	

## (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 1-60 所示, 图中标出了主要部件的名称。

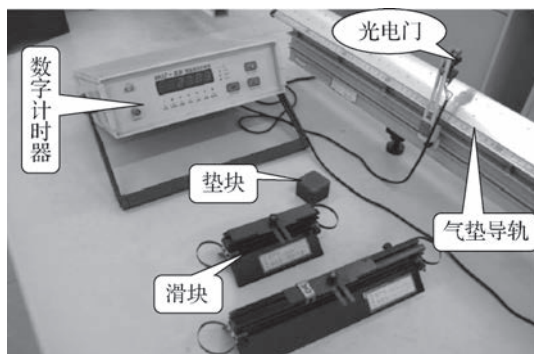


图 1-60 气垫导轨设备

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 1-61 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。

- (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。

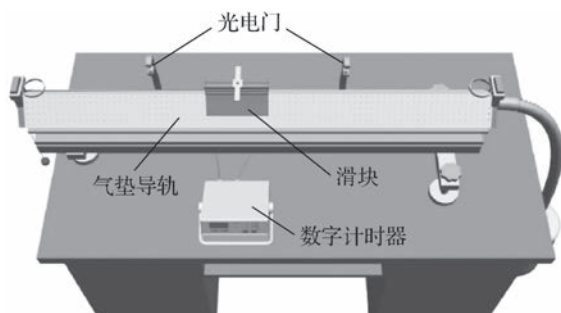


图 1-61 实验二的实验装置

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  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ 。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。把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  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ 。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  $F_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  N，大滑块和挡光片的质量  $m_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  kg  
 挡光片的宽度  $l = \underline{\hspace{2cm}}$  m，两个光电门之间的距离  $s = \underline{\hspace{2cm}}$  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  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ 。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  $F_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  N，大滑块和挡光片的质量  $m_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  kg  
 挡光片的宽度  $l = \underline{\hspace{2cm}}$  m，两个光电门之间的距离  $s = \underline{\hspace{2cm}}$  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  $\Delta t_1$  和  $\Delta t_2$ 。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  $F_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  N，小滑块和挡光片的质量  $m_3 = \underline{\hspace{2cm}}$  kg  
 挡光片的宽度  $l = \underline{\hspace{2cm}}$  m，两个光电门之间的距离  $s = \underline{\hspace{2cm}}$  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							





## 本章小结

### 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；从物体的初始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  $\text{m/s}^2$ 。

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,  $\mu$  为动摩擦因数, 没有单位, 它的数值大小跟两个相互接触表面的材料及接触面情况(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, 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。

