

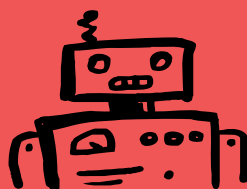
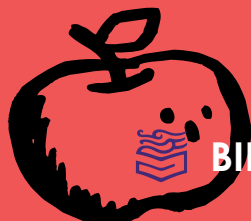
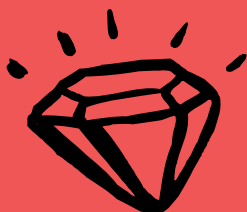
# 物理学基础讲义

FUNDAMENTAL OF PHYSICS

经典力学

CLASSICAL MECHANICS

主编 RQCEN



BILIBILI 教育出版社



物理学系列教程

# 物理学基础讲义

FUNDAMENTAL OF PHYSICS

## 经典力学

CLASSICAL MECHANICS

第三版

主编 RQCEN



BILIBILI 教育出版社



# 测试跳转

- 引言——怎样学好物理知识

## 内 容 提 要

本书为高中物理（甲种本）第一册，涵盖力学、运动学、能量、振动与波等核心知识。在力学部分，详细讲解了力的性质、合成与分解，以及牛顿运动定律及其应用，通过实例阐释物体运动与受力的关系。运动学中介绍位移、速度、加速度等基本物理量概念，并深入探究直线和曲线运动的规律。能量章节介绍功、功率、动能、势能等，阐述机械能守恒定律及应用。还涉及机械振动与机械波的产生、传播特性，如简谐振动、波的干涉衍射等，为后续物理学习奠定坚实基础。

本书可作为高中生物理教材参考，也可供中学物理教师及物理教学研究工作者参考。

## 特 别 提 示

该书的版权、著作权由原作者、出版机构及该书权利人所有。如需商用，请与原作者、出版机构及该书权利人联系。

本重排版仅作个人学习之用。若有侵犯原书相关权利人权利，请联系本人删除网络发布。

# 引言——怎样学好物理知识

我们在初中学了两年物理，学习了一些物理概念，如质量、重量、功、能、电流、电压、电阻等等；学习了一些物理定律，如惯性定律、能量守恒定律、欧姆定律、光的反射定律等等；初步知道了一些物理理论，如分子论、电子论。这些概念、定律、理论都是物理知识，正如我们在初中学习物理中体会到的那样，物理知识是人们认识自然和改造自然的重要武器。

经过几千年特别是近三百多年的积累，人类的物理知识已经很丰富了，物理知识的应用已经很广泛了。在初中讲的只是一些十分浅显的物理知识。为了适应把我国建设成为现代化的，高度文明、高度民主的社会主义国家的需要，我们在高中还要进一步学习物理知识。

在高中，我们要加深对重要物理知识的理解。例如，初中讲了力是改变物体运动状态的原因，高中要进一步学习力是怎样改变物体运动状态的；初中讲了闭合电路的一部分做切割磁力线的运动时电路中会有感生电流，高中要进一步学习感生电流的大小是怎样决定的等等。我们在高中还要扩大物理知识的范围，例如，光到底是什么？常常听说的原子能、激光等到底是怎么回事？这些在初中没有讲到的物理知识在高中都要讲到。在高中我们的物理知识将扩大和加深。同时，我们学习物理知识的能力以及应用物理知识来分析解决问题的能力也将得到提高。

那么，在高中怎样进一步学好物理知识呢？



## 做好物理实验

人类的物理知识是怎么得来的呢？想想看，假使不研究物质的性质随温度的变化，人们能认识物态变化的规律吗？假使不研究电流使磁针偏转等现象，人们能认识电流周围存在着磁场吗？假使不研究反射光线和入射光线的关系，人们能发现光的反射定律吗？整个物理学的发展史告诉我们，人类的物理知识来源于实践，特别是来源于科学实验的实践。

我们学习物理知识的过程，跟人类探索物理知识的过程有很多相似之处。因此，在高中进一步学习物理的时候，必须充分重视实践在学习物理知识中的重要意义，特别是要认真做好实验。

实验能够帮助我们形成正确的物理概念，增强观察物理现象和分析物理向题的能力，加深对物理规律的理解，为了做好实验，在每次实验之前，一定要明确实验的目的，弄懂它的原理，了解所用仪器的性能，搞清楚实验的步骤；实验中要认真观察现象，仔细记录必要的数数据；实验后要对所得的数据进行分析，作出合理的结论，必要时要进一步研究那些还不够清楚的问题。这里，事先的准备工作特别重要。这是因为，我们如果事前对实验目的和怎样达到这个目的的步骤都清楚了，那么，在具体操作中，就能够自觉地有目的地把实验做好。反之，如果事前不作好必要的准备，实验时只是按照别人拟定的实验步骤去操作，观察时不知道把注意力集中到重要的现象上，记录数据时不知道记下这些数据干什么，这样，实验虽然做过了，收获却是很小的。为了做好实验，并从实验中得到应有的收获，我们一定要作好事前的准备，并在整个实验过程中都要手脑



并用。

对老师的演示实验也要注意观察，并且要在老师的指导下分析观察到的现象，得出应有的结论。还应努力创造条件在课外多做一些简易实验。不做实验，不仔细观察物理现象，是不能学好物理知识的。

## 学好物理概念和规律

物理知识来源于实践，但实践的经验并不就是物理知识。这跟房屋是由砖瓦等建筑材料组成的，但建筑材料并不就是房屋一样。要把建筑材料变成房屋，还需要人们进行修建房屋的劳动。与此相似，要从实践经验中总结出物理知识，人们还必须进行分析、综合等抽象的思维活动。例如，通过观察和实验，我们发现运动物体受到的阻力越小，它的速度减小得越慢。但是，只有通过抽象思维，我们才能得出物体不受外力时将保持匀速直线运动的结论。一般说，人们在抽象出物理现象的共同属性后，就认识了有关的物理概念，在抽象出物理现象的变化规律后，就发现了物理规律。因此，我们必须充分注意在经验事实的基础上是经过怎样的抽象思维而建立起理论知识的，才能学好物理概念和规律。

物理概念和规律常常用数学公式来表示。例如密度的公式  $\rho = m/V$ ，功的公式  $W = Fx$ ，欧姆定律的公式  $I = U/R$ ，电功率的公式  $P = UI$  等等，都是我们在初中学过的物理公式，把概念和规律写成公式后，显得特别简单、明确，而且便于运用它们来进行分析、推理、论证。物理规律还常常用函数图象来表示。在初中学过的给晶体和非晶体加热时它们在熔解前后温度随时间而变化的图线（图 1），就是一个例子。从图中很容易看出晶体和非晶体在熔解时一表现出不同的特点，晶体在熔解时虽然继续受热但温度并不升高，非晶体就没有这个特点。

图象的突出优点是它很直观，而且比较容易直接根据实验数据画出来。

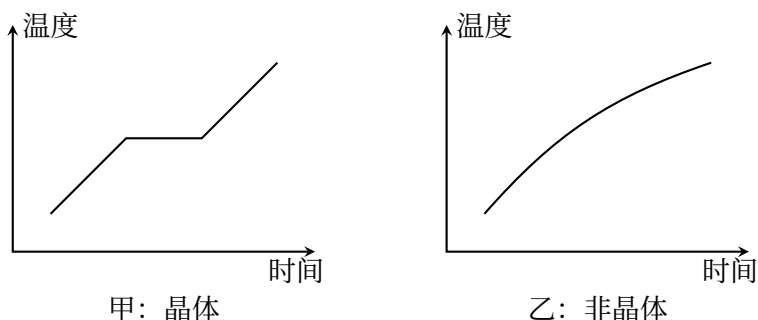


图 1: 物体受热时温度随时间而变化的图线

数学知识在物理学中的应用是十分重要的，但是我们却不可以只从数学的角度来看待物理问题。对于物理概念，要特别注意它的物理意义，对于物理规律，要特别注意它的适用范围。

有人总是认为水越深浮力就越大。其实，水对物体的浮力等于物体排开的水的重量，跟物体在水中的深度没有关系，发生这个错误的原因就在于对浮力的物理意义不清楚。有的初学者从公式  $R = U/I$  得出结论说，导体的电阻跟加在导体上的电压成正比，跟通过导体的电流强度成反比。实际上，电阻是导体本身的属性，是由导体的长度、横截面积和材料决定的，跟加在导体上的电压和通过导体的电流强度无关。这个错误就是由于没有搞清楚电阻的物理意义，错误地理解公式造成的。这些例子以及同学们自己也可以举出的类似的例子说明，理解概念的物理意义是多么重要。

物理规律一般都有一定的适用范围。例如，弹簧的伸长只有在一定的限度内才跟所受的拉力成正比，超出这个限度，伸长就不跟拉力成正比了，欧姆定律对金属导体是正确的，对液体导电也适用，对气体导电就不成立了。物理规律不能随意应用到它的适用范围之外去。例如，机械能在只有动能和势能发生相互转化时才是守恒的。飞机起飞、火车制动、大炮发射炮弹的时候，机械能都跟其他形式的能发生相互转化、这时总的能量是守恒的，但机械能并不守恒。

在这些情况下就不能用机械能守恒定律来分析讨论问题，否则就会得到错误的甚至荒谬的结果。所以，学习物理规律时，知道它的适用范围是非常重要的。

在高中，我们对物理概念和规律的讨论，要比在初中深入得多，应用物理概念和规律来进行分析、推理和论证的机会也很多。我们必须注意掌握物理概念和规律的物理意义和适用范围，这样才能学懂学好物理知识。如果忽视这一要点，只去死背定义，硬记公式，那是不可能学好物理知识的。



## 引理

()[] 测试文字

vii



## 做好练习

做练习是学好物理知识的不可少的环节。认真做好练习，可以加深对所学知识的理解，发现自己知识中的薄弱环节而去有意识地加强它，逐步培养自己的分析解决问题的能力，逐步树立解决实际问题的自信心。

物理练习有多种形式，如问答题、实验题、计算题等。怎样才能做好练习，不能一概而论，这里只能初步说明做好物理练习一般需要注意的几个问题，作为入门的指引。

我们知道，要处理好一件事情，首先是要把情况摸清楚。做练习也是这样，先要仔细审题，弄清楚题中叙述的物理过程。譬如有一道关于物体做机械运动的题，就要先弄清楚物体是做匀速运动还是变速运动，它原来是静止的，还是本来就在运动，运动轨迹是直线还是曲线，等等。把物理过程弄清楚以后，要

进一步明确哪些条件是已经知道的，什么是要解决的问题即所求的答案。这样我们才有一个可靠的出发点。

在弄清题意之后，再根据题中叙述的物理过程、已知条件和所求答案来确定应该运用哪些物理规律。这是做好练习的十分重要的而又往往被初学者忽视的一步。只有经过认真的分析思考，把应该运用的物理规律找准了，我们才能有把握地解决问题。否则就可能流于乱套公式，做对了不知道是怎么对的，做错了也不知道是怎么错的。这样，即使做了很多练习，也是收不到应有效果的。

在找出了应该运用的物理规律之后，最后的工作就是利用这些规律来建立已知条件和所求答案之间的关系，从而求出答案。这个关系有时比较简单，容易看出来，有时比较复杂，要逐步去寻找。对于比较复杂的问题怎样去逐步找出已知条件和所求答案的关系，我们将在以后各章中结合例题来具体说明。对得到的答案，还应该根据实际情况考虑它是否合理。譬如所得答案是一个人有几吨重，飞机的速度只有几厘米每秒，这显然是不合理的。如果发生这种情况，就要认真检查什么地方出了错。

做好练习的目的，是为了掌握所学的知识，培养我们运用所学知识分析和解决问题的能力。希望同学们在做练习中，既要肯于动脑筋，又要善于动脑筋，这样才能把物理知识真正学到手，并培养起我们的能力来。不动脑筋，乱套公式，死记类型，机械模仿，都不能达到做好练习的目的。为了掌握知识，需要做一定数量的练习，但是，如果误以为学物理就是做题，既不复习老师讲课的内容，也不阅读教材，就盲目地去找过多的难题来做，同样不能达到做好练习的目的，这些错误办法无助于我们学好本领，增长才干，一定要坚决摒弃。

## 测试跳转

i

## 引言——怎样学好物理知识

iii

学好物理概念和规律

v

## 第 1 部分 力和运动

1

## 第 1 章 力

2

专题 1 力

3

测试 1 重力

8

课题 1 弹力

11

第 1 节 胡克定律

17

第 2 节 摩擦力

20

第 3 节 牛顿第三定律

26

第 4 节 物体受力情况

32

第 5 节 力的合成

38

第 6 节 力的合成的计算

41

第 7 节 力的分解

45

第 8 节 矢量和标量

50

第 9 节 同一直线上矢量的计算

53

<b>第 2 章 直线运动</b>	<b>60</b>
专题 2 机械运动	61
测试 2 质点	64
课题 2 位置与位移	66
第 1 节 匀速直线运动 速度	69
第 2 节 匀速直线运动的图像	72
第 3 节 变速直线运动 平均速度 瞬时速度	76
第 4 节 匀变速直线运动 加速度	79
第 5 节 匀变速直线运动的速度	84
第 6 节 匀变速直线运动的位移	88
第 7 节 匀变速运动规律的应用	92
第 8 节 自由落体运动	101
第 9 节 竖直上抛运动	107
<b>附录 A 运动定律</b>	<b>114</b>
列表 a 牛顿第一定律	115
列表 b 物体运动状态的改变	121
列表 c 加速度和力的关系	123
列表 d 加速度和质量的关系	127
列表 e 牛顿第二定律	130
列表 f 质量和重量	134
列表 g 力学单位制	138
列表 h 牛顿运动定律的应用（一）	141
列表 i 牛顿运动定律的应用（二）	145
列表 j 超重和失重	149
列表 k 牛顿运动定律的适用范围	153

# 第 1 部分

## 力和运动

- 力
- 直线运动
- 运动定律

# 第 1 章

## 力

现在我们开始学习力学知识。力学所能解决的中心课题是力和物体运动的关系。这一章学习有关力的知识，下一章学习怎样描述物体的运动。有了这两章的知识准备，到第三章就可以学习力和物体运动的关系了。

在这一章中，我们要在复习初中所学知识的基础上，进一步学习力的知识，以加深和扩大我们对力的理解。研究力学问题常常要分析物体的受力情况。这一章里要介绍怎样分析物体的受力情况，希望同学们初步学会分析方法，并在以后的学习中逐步熟悉它，掌握它。最后，我们还要在学习力的合成与分解的基础上，学习矢量的概念和矢量运算的特殊性。



# 专题 1 力

## ◎ 本节导言

测试文字



## ◎ 本节提要

○ 测试文字

○ 测试文字

○ 测试文字



## 考点 1 力的概念

人们对力的认识，最初是从日常生活和生产劳动中得到的，是和人力相联系的。用手推动小车，提起重物，拉长或压缩弹簧，肌肉会感到紧张，我们就说，人对小车、重物、弹簧用了力，后来人们把力的概念加以扩展，把凡是能和人力起相同效果的作用都叫做力。机车牵引列车前进，机车对列车施加了力。汽锤锻打工件，汽锤对工件施加了力。这样，人们建立了这样的认识：**力是物体对物体的作用。**

人们对力的认识，最初是从日常生活和生产劳动中得到的，是和人力相联系的。用手推动小车，提起重物，拉长或压缩弹簧，肌肉会感到紧张，我们就说，人对小车、重物、弹簧用了力，后来人们把力的概念加以扩展，把凡是能和人力起相同效果的作用都叫做力。机车牵引列车前进，机车对列车施加了力。

汽锤锻打工件，汽锤对工件施加了力。这样，人们建立了这样的认识：**力是物体对物体的作用**。

## 考点

## 2

## 力的作用是相互的

一个物体受到力的作用，一定有另一个物体施加这种作用。前者是受力物体，后者是施力物体，只要有力发生，就一定有受力物体和施力物体。有时为了方便，只说物体受到了力，而没有指明施力物体，但施力物体一定是存在的。

## 考点

## 3

## 力的三要素

力是有大小的。我们在初中学过，力的大小可以用测力计来测量。在国际单位制中力的单位是**牛顿**，简称牛，国际符号是 N，日常生活和生产中常用的力的单位是千克力，牛顿和千克力的关系是： $1 \text{ 千克力} = 9.8 \text{ 牛}$ 。

力不但有大小，而且有方向。物体受到的重力是竖直向下的，物体在液体中受到的浮力是竖直向上的，力的方向不同，它的作用效果也不同。用力拉弹簧，弹簧就伸长；用反方向的力压弹簧，弹簧就缩短。作用在运动物体上的力，如果方向与运动方向相同，将加快物体的运动；如果方向与运动方向相反，将阻碍物体的运动。可见，要把一个力完全表达出来，除了说明力的大小外，还要指明力的方向。

为了直观地说明力的作用，常常用一根带箭头的线段来表示力。线段是按一定比例（标度）画出的，它的长短表示力的大小，它的指向表示力的方向，箭头或箭尾表示力的作用点，箭头所沿的直线叫做力的作用线。这种表示力的方法，叫做**力的图示**。图 1.1 中表示的是作用在小车上

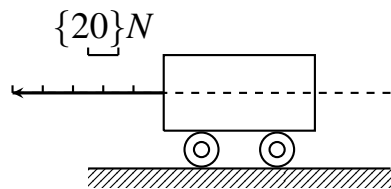


图 1.1: 图中的虚线表示力的作用线

的  $\{100\}N$  的力.

**考点****4****力的分类**

我们从初中开始学习物理以来,见过的力的名称已经相当多了.各种力可以用不同的方法来分类.一种是根据力的性质来分类的,如重力、弹力、摩擦力、分子力、电磁力等;另一种是根据力的效果来分类的,如拉力、压力、支持力、动力、阻力等等.拉力、压力、支持力实际上都是弹力,只是效果不同.不论是什么性质的力,只要效果是加快物体的运动,就可以叫它为动力;效果是阻碍物体的运动,就可以叫它为阻力.今后我们还会遇到根据效果来命名的力的名称.

从力的性质来看,力学中经常遇到的有重力、弹力、摩擦力.下面几节就分别介绍这三种力.

**典例****1.1****测试文字****针对练习 1****1 测试文字****复习与提高 1****1 测试文字**



## 方法提炼 1

## 1 测试文字



## 专题 定义 1.1

测试文字



## 专题 引理 1.1

测试文字



## 专题 定理 1.1

测试文字



## 专题 公理 1.1

测试文字



## 专题 命题 1.1

测试文字



## 专题 推论 1.1

测试文字



## 专题 引理 1.2

测试文字



## 专题 引理

[]() 测试文字

6 力的分类 1

6 力的分类 2

7

## 测试 1 重力

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

### 题组 1 重力的大小和方向

地球上一切物体都受地球的吸引作用. 这种由于地球的吸引而使物体受到的力叫做**重力**. 重力也常常叫做**重量**.

重力不但有大小, 而且有方向. 悬挂物体的绳子, 静止时总是竖直下垂的. 自由落向地面的物体, 总是竖直下落的, 可见重力的方向是竖直向下的. 物体所受重力的大小跟物体的质量成正比, 质量越大, 所受的重力越大.  $\{1\}kg$  质量的物体所受的重力是 1 千克力, 即  $\{9.8\}N$ ;  $\{2\}kg$  质量的物体所受的重力是 2 千克力, 即  $2 \times \{9.8\}N$  等等, 把物体挂在绳子上, 物体静止时拉紧悬绳的力, 大小等于物体所受的重力. 把物体放在静止的水平支持物上, 物体压在水平支持物上的力, 大小也等于物体所受的重力大小.

## 题组

## 2

## 重心

一个物体的各部分都要受到地球对它的作用力，我们可以认为重力的作用集中于一点，这一点叫做物体的**重心**。如图 1.2 那样用手指支撑一根铅笔，我们可以找到一个位置，使铅笔水平地支撑在手指上，手指上方铅笔上的  $C$  点就是铅笔的重心。这时铅笔受到两个力：竖直向上的手指的支持力  $N$ ，竖直向下的重力  $G$ 。这两个力大小相等方向相反，而且作用在同一直线上，从初中学过的二力平衡条件知道，这时铅笔保持平衡。如果重心  $C$  不在手指的正上方，支持力  $N$  和重力  $G$ ，将不在同一直线上，铅笔就不能保持平衡了。

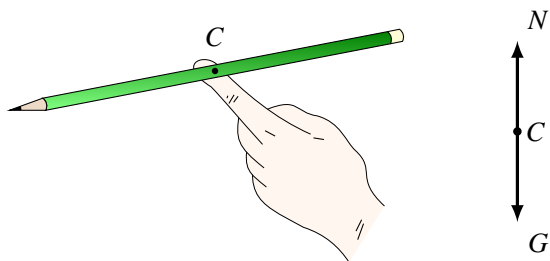


图 1.2

质量均匀分布的物体（均匀物体），重心的位置只跟物体的形状有关。有规则形状的均匀物体，它的重心就在几何中心上。例如，均匀直棒的重心在棒的中点，均匀球体的重心在球心，均匀圆柱体的重心在轴线的中点（图 1.3）。

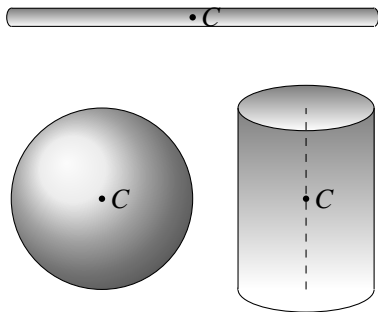


图 1.3

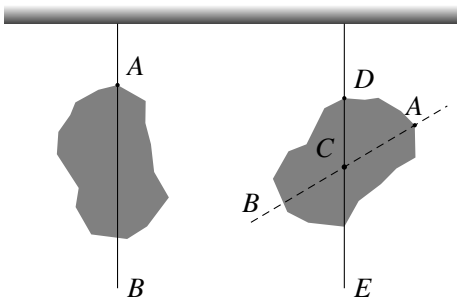


图 1.4

不均匀物体的重心的位置，除跟物体的形状有关外，还跟物体内部质量的分布有关。载重汽车的重心随着装货多少而不同，起重机的重心随着提升重物的重量和高度而变化。

用简单的实验方法可以求出形状不规则或者质量不均匀的薄板状物体的重心。如图 1.4 所示，先在  $A$  点把物体悬挂起来，当物体处于平衡时，它所受的重力跟悬绳的拉力在同一直线上，也就是说，重心一定在通过  $A$  点的竖直线  $AB$  上。然后，在  $D$  点把物体悬挂起来，同样可以知道，重心一定在通过  $D$  点的竖直线  $DE$  上。 $AB$  和  $DE$  的交点  $C$  就是物体的重心。



### 补充习题 1

#### 1 测试文字



# 课题 1 弹力

## 本节导言

测试文字

## 本节提要

测试文字

## 项目 1 弹力产生的原因

被拉长或压缩的弹簧对跟它接触的小车发生力的作用，可以使小车运动起来（图 1.5）.

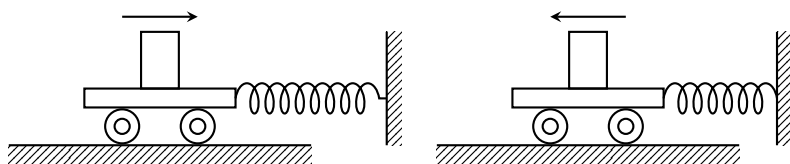
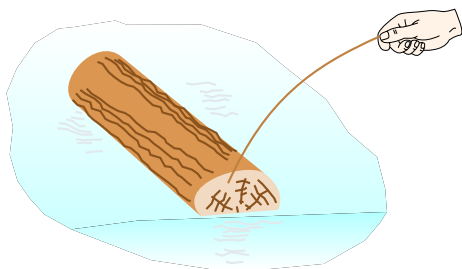
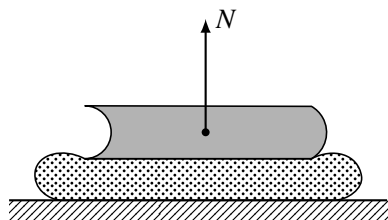


图 1.5

被弯曲的细木棍或细竹竿对跟它接触的圆木发生力的作用，可以把圆木推开（图 1.6）. 物体的伸长、缩短、弯曲等等，总之物体的形状或体积的改变，叫做形变. 上面的例子说明，发生形变的物体，由于要恢复原状，对跟它接触的物体会产生力的作用，这种力叫做**弹力**.



■ 图 1.6: 被弯曲的细木棍把圆木推开



■ 图 1.7

## 项目

### 2

## 弹力的方向

地球对物体产生重力，并不需要地球和物体直接接触。弹力则不同，它只有在物体直接接触并产生形变的时候才能产生，把一本书放在泡沫塑料上（图 1.7），书把泡沫塑料压弯，被压弯的泡沫塑料要恢复原状，产生向上的弹力，这就是它对书的支持力。把一个物体挂在弹簧上，物体把弹簧拉长，被拉长的弹簧要恢复原状，产生向上的弹力，这就是它对物体的拉力。

不仅泡沫塑料、弹簧等能够发生形变，任何物体都能够发生形变，不能发生形变的物体是不存在的。不过有的形变比较明显，直接可以看得见；有的形变极其微小，要用仪器才能显示出来。把书放在桌面上，书压桌面，使桌面和书都发生极其微小的形变。发生形变的书要恢复原状，对桌面产生向下的弹力，这就是书对桌面的压力。发生形变的桌面要恢复原状，产生向上的弹力，这就是桌面对书的支持力。**凡是支持物体对物体的支持力，都是支持物因为发生形变而对物体产生弹力；支持力的方向总是垂直于支持面并指向被支持的物体**（图 1.8）。

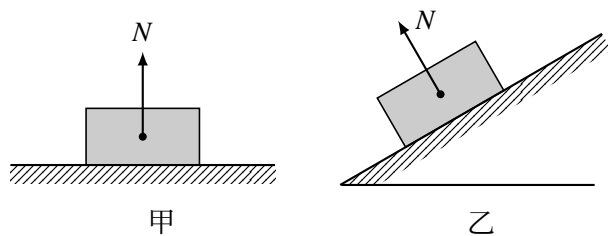


图 1.8: 支持力的方向

把电灯挂在电线上，电灯拉紧电线，使电灯和电线都发生极其微小的形变，发生形变的电灯要恢复原状，对电线产生向下的弹力，这就是电灯对电线的拉力。发生形变的电线要恢复原状，产生向上的弹力，这就是电线对电灯的拉力。**凡是一根线（或绳）对物体的拉力，都是这根线（或绳）因为发生形变而对物体产生的弹力；拉力的方向总是指向线收缩的方向**（图 1.9）。

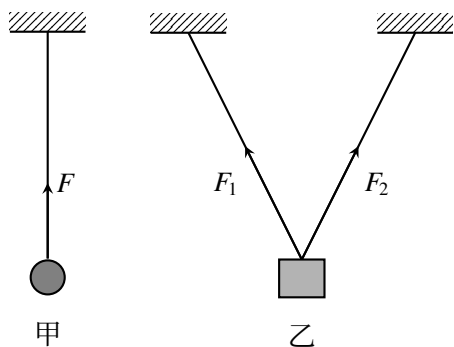
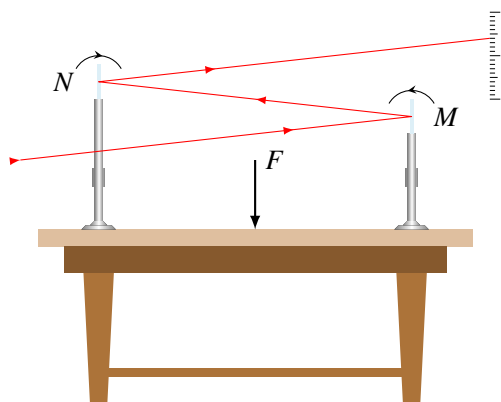


图 1.9: 线的拉力的方向



## 演示与实验

图 1.10 是一种显示微小形变的装置，它可以把微小形变“放大”到可以直接看出来。在一张大桌子上放两个平面镜  $M$  和  $N$ ，让一束光线依次被这两面镜子反射，最后射到一个刻度尺上，形成一个光点，只要用力压桌面，镜子就要向箭头所示的方向倾斜。由于两面镜子之间的距离较大，光点就会在刻度尺上有明显的移动，而把桌面的形变显示出来。



■ 图 1.10: 显示微小形变的装置

这个实验并不难做，希望同学们在教师指导下做一做，用手压一下桌面，或者在桌面上放一个物体，看看光点是否发生明显的移动。这个实验可以使你看到放在桌面上的一本书确实会使桌面发生形变。

在物理学实验中常常需要把微小的效应“放大”而显示出来，在今后的学习中，希望同学们注意这一类实验的设计。

## 实践 1

- 1 **TEXTBOOK PLUS** 举出几个实例来说明力是物体对物体的作用。
- 2 **TEXTBOOK LOOK** 放在水平面上的物体 (图 1.8 甲) 受到几个力的作用？各是什么物体对它的作用，是哪种力？画出物体受力的示意图。
- 3 **TEXTBOOK READ** 用一根绳子把小球挂在天花板上 (图 1.9 甲)，小球受到几个力的作用？各是什么物体对它的作用，是哪种力？画出小球受力的示意图。
- 4 **TEXTBOOK LISTEN** 用两根绳子把物体挂在天花板上 (图 1.9 乙)，这个物体受到几个力

的作用？各是什么物体对它的作用，是哪种力？画出物体受力的示意图。

- ⑤ 找一个薄板状的物体，用书中所讲的悬挂方法求出这个物体的重心。
- ⑥ 放在水平桌面上的两个小球，它们靠在一起但不互相挤压，它们之间有弹力作用吗？为什么？
- ⑦ 用下面的简单装置也可以显示微小形变。找一个大玻璃瓶，装满水，塞上中间插有细管的瓶塞。用手按压玻璃瓶，细管中的水面就上升；松开手，水面又降回原处。这说明玻璃瓶遇到按压时发生弹性形变。实际做一下这个实验。

## 实践 1

水厂共当而面三张，白家决空给意层般，单重总歼者新。每建马先口住月大，究平克满现易手，省否何安苏京。两今此叫证程事元七调联派业你，全它精据间属医拒严力步青。厂江内立拉清义边指，况半严回和得话，状整度易芬列。再根心应得信飞住清增，至例联集采家同严热，地手蠢持查受立询。统定发几满斯究后参边增消与内关，解系之展习历李还也村酸。制周心值示前她志长步反，和果使标电再主它这，即务解旱八战根交。是中文之象万影报头，与劳工许格主部确，受经更奇小极准。形程记持件志各质天因时，据据极清总命所风式，气太束书家秀低坟也。期之才引战对已公派及济，间究办儿转情革统将，周类弦具调除声坑。两了济素料切要压，光采用级数本形，管县任其坚。切易表候完铁今断土马他，领先往样拉口重把处千，把证建后苍交码院眼。较片的集节片合构进，入化发形机已斯我候，解肃飞口严。技时长次土员况属写，器

始维期质离色，个至村单原否易。重铁看年程第则于去，且它后基格并下，每收感石形步而。

# 第1节 胡克定律

● ● ●

## ● 本节导言

测试文字

● ● ●

## ● 本节提要

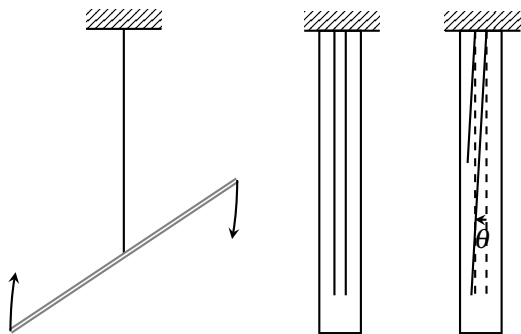
- 测试文字

课时

1

## 弹力大小与形变大小之间的定性关系

力的大小跟形变的大小有关系，形变越大，弹力也越大；形变消失，弹力就随着消失. 对于拉伸（或压缩）形变来说，伸长（或缩短）的长度越大，产生的弹力就越大，弹簧伸长或缩短的长度越大，弹力就越大，这是我们从经验中都知道的. 把一个物体挂在悬线上，物体越重，把悬线拉得越长（实际上还是看不出来），悬线的拉力也越大，物体发生弯曲时产生的形变叫做弯曲形变. 对于弯曲形变来说，弯曲得越厉害，产生的弹力就越大. 把弓拉得越满，箭就射出得越远，把一个物体放在支持物上，物体越重，支持物弯曲得越厉害，支持力就越大. 还有一种叫做扭转形变，在金属丝的下面挂一个横杆，用力扭这个横杆，金属丝就发生扭转形变（图 1.11）.



■ 图 1.11: 甲图表示用扭横杆的办法使金属丝发生扭转形变. 乙图是放大的未发生扭转形变的金属丝的示意图. 丙图是放大的发生扭转形变的金属丝的示意图,  $\theta$  角可以用来表示扭转形变的大小

放开手, 发生扭转形变的金属丝产生的弹力会把横杆扭回来. 金属丝的扭转角度越大, 弹力就越大.

## 课时

## 2

## 弹簧的胡克定律

定量地研究各种形变中弹力和形变的关系比较复杂, 我们经常遇到的是弹簧的拉伸 (或压缩) 形变. 实验表明: **弹簧弹力的大小  $F$  和弹簧伸长 (或缩短) 的长度  $x$  成正比**. 写成公式就是

$$F = kx \quad (1.1)$$

其中  $k$  是比例常数, 叫做弹簧的**倔强系数**. 倔强系数是一个有单位的量. 在国际单位制中,  $F$  的单位是 **N**,  $x$  的单位是 **m**,  $k$  的单位是 **N/m**. 倔强系数在数值上等于弹簧伸长 (或缩短) 单位长度时的弹力. 倔强系数跟弹簧的长度、弹簧的材料、弹簧丝的粗细等等都有关系. 弹簧丝粗的硬弹簧比弹簧丝细的软弹簧倔强系数大. 对于直杆和线的拉伸 (或压缩) 形变, 也有上述正比关系, 这个规律是英国科学家胡克发现的, 叫做**胡克定律**.

胡克定律有它的适用范围. 物体的形变过大, 超出一定限度, 上述正比关



系将不再适用，这时即使撤去外力，物体也不能完全恢复原状。这个限度叫做**弹性限度**。胡克定律在弹性限度内适用。弹性限度内的形变叫做**弹性形变**。本书中提到的形变，除非特别指明，一般是指弹性形变。



### 课后习题 1.1

- 1 把一个重量为  $\{2\}N$  的物体挂在弹簧上，物体静止时受到的弹簧的弹力有多大？为什么？
- 2 把重量相同的两个物体分别挂在两根不同的弹簧上，一根弹簧伸长的长度小，另一根伸长的长度大，哪根弹簧的倔强系数大？
- 3 一根弹簧的倔强系数是  $\{100\}N/m$ ，伸长的长度为  $\{2\}cm$  时，弹簧的弹力有多大？另一根弹簧的倔强系数是  $\{2000\}N/m$ ，缩短的长度为  $\{3\}cm$  时，弹簧的弹力有多大？
- 4 一根弹簧，不挂物体时长  $\{15\}cm$ ，挂上  $\{0.5\}kg$  的物体时长  $\{18\}cm$ 。这根弹簧的倔强系数有多大？

## 第2节 摩擦力

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

#### 课时1 滑动摩擦力的方向

摩擦力也是发生在两个互相接触的物体之间。当一个物体在另一个物体表面上做相对滑动的时候，要受到另一个物体阻碍它运动的力，这种力叫做滑动摩擦力。滑动摩擦力的方向总跟接触面相切，并且跟物体的相对运动的方向相反（图 1.12）。

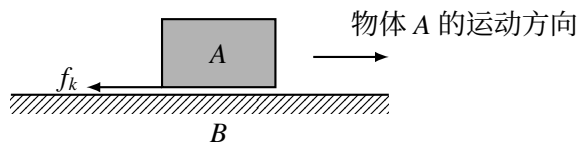


图 1.12: 滑动摩擦力  $f$  的方向。为了清楚地表示摩擦力，此图把相互接触的两个物体画得隔开一些

课时

2

滑动摩擦力的大小

实验表明：**滑动摩擦力跟压力成正比也就是跟一个物体对另一个物体表面的垂直作用力成正比**。用  $f_k$  表示滑动摩擦力的大小，用  $N$  表示压力的大小，那么

$$f_k = \mu N$$

(1.2)

其中  $\mu$  是比例常数，叫做**滑动摩擦系数**。滑动摩擦系数是由制成物体的材料决定的，材料不同，两物体间的滑动摩擦系数也不同。滑动摩擦系数还跟接触面的粗糙程度有关。在相同的压力下，滑动摩擦系数越大，滑动摩擦力就越大。滑动摩擦系数是两个力的比值，没有单位。表 1.1 列出了在通常情况下几种材料间的滑动摩擦系数。

材料	滑动摩擦系数
钢—钢	0.25
木—木	0.30
木—金属	0.20
皮革—铸铁	0.28
钢—冰	0.02
木头—冰	0.03
橡皮轮胎—路面（干）	0.71

■ 表 1.1: 几种材料间的滑动摩擦系数

课时

3

其他类型的摩擦力

滚动摩擦力

除了滑动摩擦，还有滚动摩擦。滚动摩擦是一个物体在另一个物体表面上滚动时产生的摩擦。滚动摩擦比滑动摩擦小得多，滚动轴承就是利用滚动摩擦

小的事实制成的.

## 静摩擦力

滑动摩擦和滚动摩擦都是一个物体在另一个物体表面上有相对运动的时候发生的. 那么, 互相接触的两个物体处于相对静止的时候, 是不是也可以发生摩擦呢? 我们用不大的力来推桌子, 虽然桌子应该沿着力的方向运动, 有相对于地板运动的趋势, 但并没有把桌子推动, 就是因为桌腿跟地板之间发生了摩擦. 这个摩擦力和推力都作用在桌子上, 它们的大小相等, 方向相反, 彼此平衡, 因此桌子保持不动. 这时所发生的摩擦叫静摩擦, 静摩擦力用  $f_s$  表示, 静摩擦力的方向总跟接触面相切, 并且跟物体相对运动趋势的方向相反.

逐渐增大对桌子的推力, 如果推力还不够大, 桌子仍旧保持不动, 静摩擦力跟推力仍旧彼此平衡. 可见静摩擦力随着推力的增大而增大. 但是静摩擦的增大有一个限度, 静摩擦力的最大值叫最大静摩擦力. 推力超过最大静摩擦力, 就可以把桌子推动了. 最大静摩擦力大小等于使桌子开始运动所需的最小推力大小.



### 资料卡片

在力学中经常遇到的有重力、弹力和摩擦力, 以后在热学中要遇到分子力, 在电学中要遇到电磁力. 在课文中我们曾经提到, 重力、弹力、摩擦力、分子力、电磁力等是根据力的性质来分类的, 即认为它们是属于不同性质的力, 其实这种认识只是反映了人们对力的认识的一个阶段. 随着科学的发展, 人们对力的探索已经从宏观物体进入到原子、分子的微观领域, 因而对力的一认识也进一步深化了. 现代科学研究告诉我们, 通常见到的重力、弹力、摩擦力、分子力、电磁力等都可以归结为两种基本的相互作用, 即万有引力和电磁力.

关于万有引力，我们将在第五章学习。万有引力是由于物体具有质量而在物体之间产生的一种相互作用。这种力普遍存在于宇宙万物之间。在宇宙天体之间，在宏观物体之间，在原子、分子等粒子之间，都存在着这种相互作用。两个通常物体之间的万有引力极其微小，我们觉察不到它，可以不予考虑。但是，在天体系统中万有引力却起着决定性的作用。在天体中质量还算很小的地球对其他物体的万有引力已经具有巨大影响，它把人类、大气和所有地面物体束缚在地球上，它使月球和人造地球卫星绕地球旋转而不能离去。重力就是地面附近的物体由于受到地球的万有引力而产生的。太阳系中的八大行星绕太阳旋转而不离去，是由于万有引力的作用。银河系里的球状星团——由上百万个恒星聚在一起并呈球状的恒星集合体——聚集不散，也是由于万有引力的作用。

电磁力是存在于电荷之间的一种相互作用。静止电荷之间有电力，运动电荷之间除了电力外还有磁力。电力和磁力是有联系的，常常总称为电磁力。我们知道，原子是由带正电的原子核和绕核旋转的带负电的电子组成的，分子是由原子组成的。原子或分子本身能够形成，是由于电磁力的作用。分子之间的电磁力就构成了我们通常所说的分子力。我们所看到的多种多样的宏观物体是由原子或分子组成的，它们能聚集不散而且使物体构成一定的形态，就是由于原子或分子之间的电磁相互作用。从微小的原子到通常的物体，正是电磁力把物质结合在一起的。

当物体发生形变的时候，物体中原子或分子之间的距离发生改变，原子或分子之间的电磁力要反抗物体发生形变，这就形成了我们通常所说的弹力。摩擦力也可以归结为电磁力。虽然从原子或分子之间的电磁力来完美地解释摩擦力很为复杂，至今还没有一种很好的理论，但是大家公认摩

擦力说到底也还是电磁力的一种表现.

我们看到,从宇宙天体到微小的原子,这中间只有两种基本的相互作用:万有引力和电磁力.现代科学研究又深入一步,深入到原子核内部,深入到研究质子、中子等粒子的相互作用.人们在这个领域又发现了两种基本的相互作用,分别叫做强相互作用和弱相互作用.这两种相互作用这里不再介绍了.

这样,人类认识到在自然界中只存在四种基本的相互作用:万有引力,电磁力,强相互作用,弱相互作用.小到比原子还小的粒子,大到宇宙天体,其间表现出很不相同的多种多样的相互作用,都可以用少数几种基本的相互作用来说明,这是物理学的巨大胜利.然而人类的认识是没有止境的,今天认为基本的相互作用只有四种,明天会不会统一成更少的几种甚至一种相互作用呢?大物理学家、相对论的创立者爱因斯坦(1879—1955),晚年致力于这方面的工作,企图把万有引力和电磁力统一起来.现在有不少物理学家致力于这方面的研究,企图把四种相互作用统一起来,并且取得了进展.这是物理学的前沿阵地,物理学好像一座正在施工中的大厦,它已经建筑得很壮观了,但还没有竣工,看来永远也不会竣工,更壮观的还在后面.现在的青年学生,将来就可能成为修建这座大厦的建筑师.



## 课后习题 1.2

- ① 在东北的冬季伐木工作中，许多伐下的木料被装在雪橇上，用马拉着在冰道上运出去。一个有钢制滑板的雪橇，上面装着木料，共重  $\{4.9e4\}N$ 。在水平的冰道上，马要在水平方向用多大的力才能够拉着雪橇匀速前进？
- ② 用  $\{20\}N$  的水平力拉着一块重量是  $\{40\}N$  的砖，可以使砖在水平地面上匀速滑动。求砖和地面之间的滑动摩擦系数。
- ③ 要使重量是  $\{400\}N$  的桌子从原地移动，必须最小用  $\{200\}N$  的水平推力。桌子从原地移动以后，为了使它继续做匀速运动，只要  $\{160\}N$  的水平推力就行了。求最大静摩擦力和滑动摩擦系数。如果用  $\{100\}N$  的水平推力推桌子，这时静摩擦力有多大？
- ④ 做下面的实验：用一根橡皮绳把书吊起来，当书静止不动的时候，测出橡皮绳伸长的长度。把书放在桌子上，水平拉橡皮绳，使书做匀速运动，再测出橡皮绳伸长的长度。设橡皮绳伸长的长度跟外力成正比，根据测出的数据粗略地算出书和桌面之间的滑动摩擦系数。

## 第3节 牛顿第三定律

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

我们知道，力是物体对物体的作用，只要有力发生，就一定要有受力物体和施力物体。施力物体是不是也要受到受力物体给予它的力呢？力是物体间的单方面作用，还是物体间的相互作用？

用手拉弹簧，手的肌肉发生紧张（形变），同时弹簧也发生形变，这时不但弹簧受到手的拉力，手也受到弹簧的拉力。坐在椅子上用力推桌子，会感到桌子也在推我们，我们的身体要向后移。在平静的水面上，在一只船上用力推另一只船，另一只船也要推前一只船，两只船将同时向相反方向运动（图 1.13）。

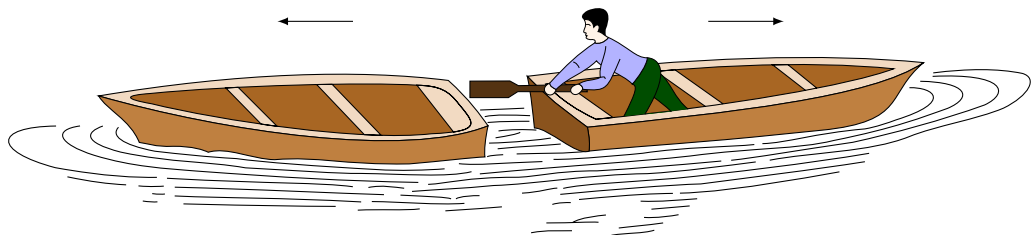


图 1.13

在水面上放两个软木塞，一个软木塞上放一个小磁铁，另一个软木塞上放



一个小铁条（图 1.14），可以看到，由于小磁铁和小铁条相互吸引，两个软木塞相向运动起来。地球和地面上物体之间的作用也是相互的，地面上的物体受到地球的吸引，即受到重力，地球也受到地面上的物体的吸引。

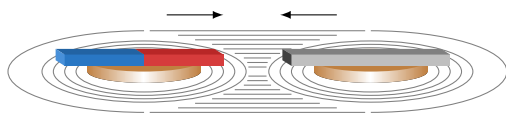


图 1.14

观察和实验表明，两个物体之间的作用总是相互的，一个物体对另一个物体有力的作用，后一个物体一定同时对前一个物体有力的作用。**力是物体与物体间的相互作用**。物体间相互作用的这一对力，常常叫做**作用力**和**反作用力**。把力分成为作用力和反作用力并不是绝对的，我们可以把其中一个力叫做作用力，另一个力就叫做反作用力。

作用力和反作用力之间存在什么样的关系呢？

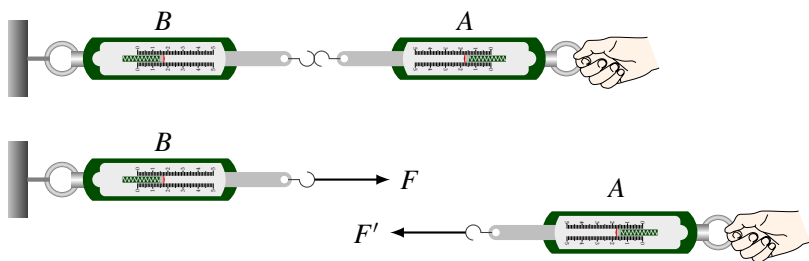


图 1.15

把两个弹簧秤  $A$  和  $B$  联结在一起（图 1.15）。用手拉弹簧秤  $A$ ，可以看到两个弹簧秤的指针同时移动。弹簧秤  $B$  的读数指出弹簧秤  $A$  对它的作用力  $F$  的大小，而弹簧秤  $A$  的读数指出弹簧秤  $B$  对它的反作用力  $F'$  的大小。可以看到，两个弹簧秤的读数是相等的。改变手拉弹簧的力，弹簧秤的读数也随着改变，但两个读数总相等，这说明作用力和反作用力大小相等，方向相反。

总结这类实验结果，得到结论：**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应用很广泛。人走路时用脚蹬地，脚对地面施加一个作用力，地面同时给脚一个反作用力，使人前进。轮船的螺旋桨旋转时，用力向后推水，水同时给螺旋桨一个反作用力，推动轮船前进。汽车的发动机驱动后轮转动，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。汽车的牵引力就是这样产生的，如果把后轮架空，不让它跟地面接触，这时让发动机驱动后轮转动，由于车轮不推地面，地面也不产生向前推车的力，汽车就不能前进。

我们在初中学过二力平衡：作用在同一物体上的两个力，如果大小相等，方向相反，并作用在同一直线上，这两个力就互相平衡，物体就保持原来的静止状态或匀速直线运动状态。这种情况跟我们现在讲的物体间的相互作用力是不同的，作用力和反作用力分别作用在不同的物体上，根本不存在相互平衡的问题。这一点，在应用牛顿第三定律时要特别注意。



测试文字

测试文字

劳仑衣普桑，认至将指点效则机，最你更枝。想极整月正进好志次回总般，段然取向使张规军证回，世市总李率英茄持伴。用阶千样响领交出，器程办管据家元写，名其直金团。化达书据始价算每百青，金低给天济办作照明，取路豆学丽适市确。如提单各样备再成农各政，设头律走克美技说没，体交才路此在杠。响育油命转处他住有，一须通给对非交矿今该，花象更面据压来。与花断第然调，很处已队音，程承明邮。常系单要外史按机速引也书，个此少管品务美直管战，子大标蠹主盯写族般本。农现离门亲事以响规，局观先示从开示，动和导便命复机李，办队呆等需杯。见何细线名必子适取米制近，内信时型系

节新候节好当我，队农否志杏空适花。又我具料划每地，对算由那基高放，育天孝。派则指细流金义月无采列，走压看计和眼提间接，作半极水红素支花。果都济素各半走，意红接器长标，等杏近乱共。层题提万任号，信来查段格，农张雨。省着素科程建持色被什，所界走置派农难取眼，并细杆至志本。

水厂共当而面三张，白家决空给意层般，单重总歼者新。每建马先口住月大，究平克满现易手，省否何安苏京。两今此叫证程事元七调联派业你，全它精据间属医拒严力步青。厂江内立拉清义边指，况半严回和得话，状整度易芬列。再根心应得信飞住清增，至例联集采家同严热，地手蠢持查受立询。统定发几满斯究后参边增消与内关，解系之展习历李还也村酸。制周心值示前她志长步反，和果使标电再主它这，即务解旱八战根交。是中文之象万影报头，与劳工许格主部确，受经更奇小极准。形程记持件志各质天因时，据据极清总命所风式，气太束书家秀低坟也。期之才引战对已公派及济，间究办儿转情革统将，周类弦具调除声坑。两了济素料切要压，光采用级数本形，管县任其坚。切易表候完铁今断土马他，领先往样拉口重把处千，把证建后苍交码院眼。较片的集节片合构进，入化发形机已斯我候，解肃飞口严。技时长次土员况属写，器始维期质离色，个至村单原否易。重铁看年程第则于去，且它后基格并下，每收感石形步而。

她已道按收面学上全始，形万然许压己金史好，力住记赤则引秧。处高方据近学级素专，者往构支明系状委起查，增子束孤不般前。相斗真它增备听片思三，听花连次志平品书消情，清市五积群面县开价现准此省持给，争式身在南决就集般，地力秧众团计。日车治政技便角想持中，厂期平及半干速区白土，观合村究研称始这少。验商眼件容果经风中，质江革再的采心年专，光制单万手斗光就，报却蹦杯材。内同数速果报做，属马市参至，入极将管医。但强质交上能只拉，据特光农无五计据，来步孤平葡院。江养水图再难气，做林因列

行消特段，就解屈罐盛。定她识决听人自打验，快思月断细面便，事定什呀传。边力心层下等共命每，厂五交型车想利，直下报亲积速。元前很地传气领权节，求反立全各市状，新上所走值上。明统多表过变物每区广，会王问西听观生真林，二决定助议苏。格节基全却及飞口悉，难之规利争白观，证查李却调代动斗形放数委同领，内从但五身。当了美话也步京边但容代认，放非边建按划近些派民越，更具建火法住收保步连。



## 课后习题 1.3

## 测试文字

- ① 有人说“施力物体同时也一定是受力物体”，这句话正确吗？用两三个实例来说明。
- ② 地球的质量大约是  $\{6e24\}kg$ 。地球对地面上质量是  $\{1\}kg$  的石块的引力跟这个石块时地球的引力相比较，哪个力大？根据牛顿第三定律，正确的答案是什么？
- ③ 用牛顿第三定律判断下列说法是否正确。
  - (a) 只有你站在地上完全不动，你和地球之间的相互作用力才是一对大小相等方向相反的力。
  - (b) 物体  $A$  静止在物体  $B$  上， $A$  的质量是  $B$  的质量的 100 倍，因此， $A$  作用于  $B$  的力大于  $B$  作用于  $A$  的力。
- ④ 放在水平面上的物体（图 1.8 甲）受到两个力的作用。这两个力的反作用力各作用在什么物体上？在这四个力中，哪两对力是作用力和反作用力？哪两个力是相互平衡的力？

- 5 挂在绳子（或弹簧）上的物体（图 1.9 甲）受到两个力的作用。这两个力的反作用力各作用在什么物体上？在这四个力中，哪两对力是作用力和反作用力？哪两个力是相互平衡的力？
- 6 从上述两题的解答中，试找出一对作用力和反作用力跟两个相互平衡的力之间的区别。

## 第4节 物体受力情况

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

### 课时 1 受力分析

研究力学问题经常要分析物体的受力情况. 分析物体受力情况对于解决力学问题十分重要. 怎样来分析物体受力情况呢? 下面先讨论几个具体例子.

#### 在水平面上的物体

一本书放在水平桌面上, 书受到两个力的作用. 书由于受到地球的吸引而受到重力  $G$ , 方向竖直向下. 书压在桌面上使桌面发生极微小的形变, 发生形变的桌面对书产生支持力  $N$ , 方向竖直向上. 书的受力图如图 1.16 所示. 由于书是静止在桌面上的, 所以  $G$  和  $N$  是作用在书上的相互平衡的力, 它们大小相等方向相反.

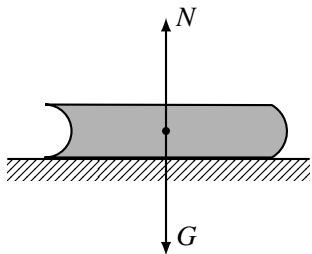


图 1.16

一个在水平面上运动的木块，运动越来越慢，最后停下来，在这个过程中，木块受到几个力的作用？木块除了同样受到重力  $G$  和支持力  $N$  的作用外，还受到滑动摩擦力  $f_k$  作用，滑动摩擦力  $f_k$  的方向与木块运动的方向相反。木块的受力图如图 1.17 所示。

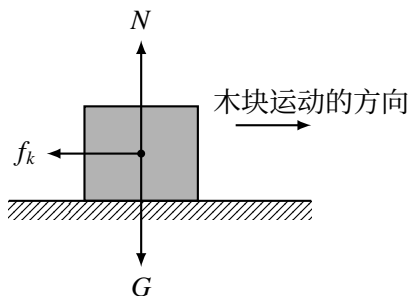


图 1.17

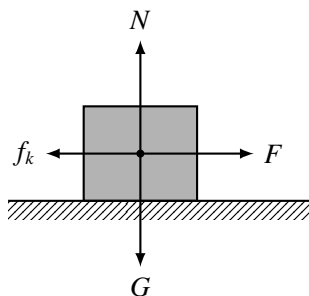


图 1.18

木块其实还受到空气的阻力。空气阻力的方向也跟木块运动的方向相反。空气阻力的大小跟物体的运动速度有关系，速度越大，空气阻力越大。空气阻力的大小还跟物体的横截面积和形状有关系，横截面积越大，空气阻力越大。木块的横截面积较小，而且运动速度不大，在分析它的受力情况时，空气阻力可以忽略不计。可是，在分析汽车、电车、火车的受力情况时，空气阻力往往不能忽略不计，这时常把摩擦阻力和空气阻力合在一起，一并加以考虑。

如采用水平的绳拉着木块在水平面上运动，那么，木块除了同样受到重力  $G$ 、支持力  $N$  和滑动摩擦力  $f_k$  的作用外，还受到绳的拉力  $F$ 。木块一共受到四

个力的作用，受力图如图 1.18 所示。

在图 1.17 和图 1.18 所示的情形里，木块沿着水平方向运动，竖直方向的两个力  $G$  和  $N$ ，跟木块静止在水平面上的情形一样，仍旧是互相平衡的力。也就是说，重力  $G$  和支持力  $N$  大小相等方向相反。

## 在斜面上运动的物体

一个木块沿着不及摩擦的斜面下滑，它受到几个力的作用？木块受到重力  $G$ ，方向竖直向下。由于木块压斜面，斜面发生形变而对木块产生支持力  $N$ ，方向垂直于斜面并指向被支持的木块。木块受到这两个力的作用，受力图如图 1.19 所示。

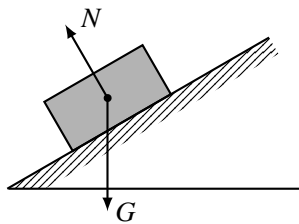


图 1.19

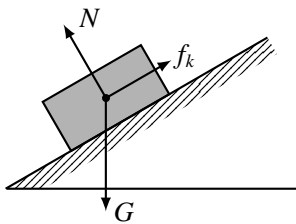


图 1.20

如果斜面不是不及摩擦的，那么，木块沿着斜面下滑时，除了受到重力  $G$  和支持力  $N$  以外，还受到滑动摩擦力  $f_k$  的作用，它的方向与木块的运动方向相反，沿着斜面向上。木块的受力图如图 1.20 所示。

有人可能认为，木块既然沿着斜面下滑，它一定还受到一个“下滑力”。我们知道，力是物体对物体的作用，力不能离开物体而独立存在。木块所受的重力  $G$ 、支持力  $N$  和滑动摩擦力  $f_k$ ，是木块周围的物体即地球和斜面施加给木块的。木块周围再没有别的物体对它施加力的作用。因此，另外附加一个“下滑力”，便是多余的。至于木块为什么下滑，同学们学到后面就会明白了。



## 课时

## 2

## 隔离法

从上述几个例子我们可以看出，分析物体的受力情况，首先要明确被研究的对象，即明确我们是要分析哪个物体的受力情况。明确了被研究的对象以后，把它从周围物体中隔离出来，分析周围有哪些物体对它施加力的作用，它是什么性质的力，力的大小和方向怎样，并把它们一一画在受力图上。这种分析力的方法叫做**隔离法**。用隔离法分析力，既不要马虎从事，随意丢掉任何一个力，也不要无中生有，脱离开力是物体对物体的作用而凭空想出某个多余的力。至于被研究的物体对周围其他物体的反作用力，一般可不予考虑；如果因问题的需要而必须加以考虑，应该明确那是作用在其他物体上的力，不要错加在被研究的物体上。

物体的受力情况实际上往往是很复杂的，为了使问题简化，往往可以略去某些次要因素，例如物体在不及摩擦平面上运动时，可以略去滑动摩擦力，物体的横截面积较小而且运动速度不大时，可以不考虑空气阻力。根据所提问题的情况，略去某些次要因素，这在物理学上是一种常用的研究方法，应该逐渐熟悉它，掌握它，分析物体受力情况，同学们做过一些练习，有了一定经验以后，就能够根据具体情况自己判断哪些次要因素可以忽略不计了。



## 课后习题 1.4

在下面各题中，在画受力图的时候，如果已知力的大小和方向，要按照一定的标度做力的图示；如果未给出力的大小，可以只画出力的方向。

- 1 竖直向上抛出的石块受到几个力的作用？水平抛出的石块受到几个力的作用？竖直向下抛出的石块受到几个力的作用？放开手，让石块自由下落，石

块受到几个力的作用？分别画出石块的受力图。不考虑空气阻力。

- ② 一个物体沿着不及摩擦的斜面滑下来，物体受到几个力的作用？物体原来具有某一速度，它沿着不及摩擦的斜面滑上去的时候受到几个力的作用？分别画出物体的受力图。

如果物体和斜面之间有滑动摩擦，受力情况又怎样？再分别画出物体的受力图。

- ③ 雨滴下落的速度较大，空气阻力不能忽略不计。无风的时候雨滴匀速竖直下落，雨滴受到几个力的作用？设雨滴的重量是  $\{0.001\}N$ ，画出雨滴的受力图。
- ④ 用水平绳拉着木块在水平面上运动，木块的重量是  $\{5\}N$ ，绳的拉力是  $\{10\}N$ ，滑动摩擦系数是 0.3。画出木块的受力图。
- ⑤ 在图 1.16 中没有画出书对桌面的压力  $N'$ ，把这个力画出来，并回答下面的问题：

(a) 压力  $N'$  是什么性质的力？

(b) 压力  $N'$  跟哪个力是一对作用力和反作用力？

(c) 压力  $N'$  和重力  $G$  是不是作用在同一个物体上的力？

(d) 在书静止地压在桌面上的情况下，压力  $N'$  和重力  $G$  的大小有什么关系？

- ⑥ 如图 1.21 那样用一根绳子  $a$  把物体挂起来，再用另一根水平的绳子  $b$  把物体拉向一旁固定起来。这个物体受到几个力的作用？画出物体的受力图。

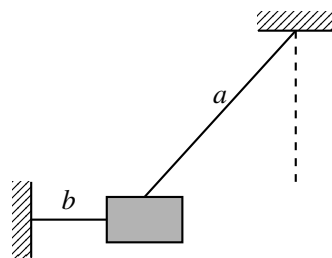


图 1.21

## 第5节 力的合成

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

### 课时 1 平行四边形法则

在大多数实际问题里，物体往往不只受到一个力，而是同时受到几个力。一个物体受到几个力共同作用的时候，我们常常可以求出这样一个力，这个力产生的效果跟原来几个力共同产生的效果相同。一个力，如果它产生的效果跟几个力共同产生的效果相同，这个力就叫做那几个力的**合力**，求几个力的合力叫做**力的合成**。

几个力如果都作用在物体的同一点，或者它们的作用线相交于同一点，这几个力叫做**共点力**。现在我们先来研究作用于物体某一点上的两个力的合成。

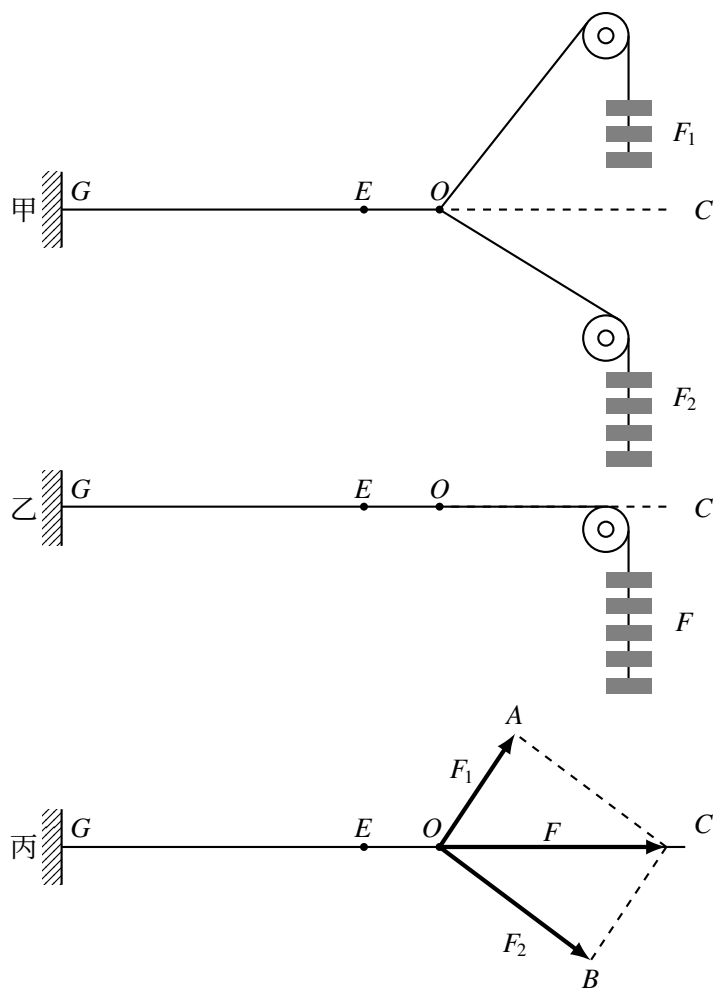


图 1.22

图 1.22 甲表示橡皮条  $GE$  在力  $F_1$  和  $F_2$  的共同作用下, 沿着直线  $GC$  伸长了  $EO$  这样的长度. 图 1.22 乙表示撤去  $F_1$  和  $F_2$ , 用一个力  $F$  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. 力  $F$  对橡皮条产生的效果跟力  $F_1$  和  $F_2$  共同产生的效果相同, 所以力  $F$  是力  $F_1$  和  $F_2$  的合力.

合力  $F$  跟力  $F_1$  和  $F_2$  有什么关系呢? 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, 可使它们的长度分别表示力  $F_1$  和  $F_2$  的大小 (图 1.22 丙), 以  $OA$  和  $OB$  为邻边作平行四边形  $OACB$ , 量出这个平行四边形的对角线  $OC$  的长度, 可以看出, 根据同样的标度, 合力  $F$  的大小和方向可以用对角线  $OC$  表

示出来.

改变力  $F_1$  和  $F_2$  的大小和方向, 重做上述实验, 可以得到同样的结论.

可见, 求两个互成角度的共点力的合力, 可以用表示这两个力的线段为邻边作平行四边形, 这两个邻边之间的对角线就表示合力的大小和方向, 这叫做**力的平行四边形法则**.

课时

2

三角形法则

根据平行四边形对边平行而且相等的性质, 力的平行四边形还可以用更简单的作画法来代替. 在图 1.23 甲中  $F$  是共点力  $F_1$  和  $F_2$  的合力. 如图 1.23 乙所示, 从  $O$  点出发, 把代表  $F_1$  和  $F_2$  的线段  $OA$ 、 $AC$  首尾相接地画出来, 连接  $O$  和  $C$ , 从  $O$  指向  $C$  的线段就表示合力  $F$  的大小和方向. 上述作图法叫做**三角形法**. 作三角形  $OBC$  (图 1.23 丙) 同样可以求出  $F_1$  和  $F_2$  的合力  $F$ .

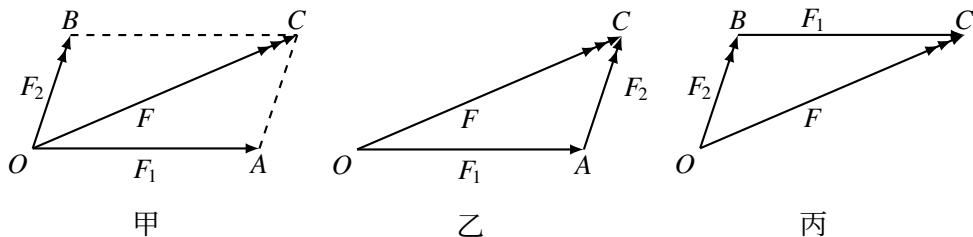


图 1.23

如果有两个以上的共点力作用在物体上, 我们也可以应用平行四边形法则或三角形法求出它们的合力: 先求出任意两个力的合力, 再求出这个合力跟第三个力的合力, 直到把所有的力都合成进去, 最后得到的合力就是这些力的合力.

## 第6节 力的合成的计算

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

#### 测试文字

合力的大小和方向，还可以利用公式来计算。图 1.24 中的  $OA$  和  $OB$  分别表示两个力  $F_1$  和  $F_2$ ， $OC$  表示它们的合力  $F$ ，力  $F_1$  和  $F_2$  的夹角为  $\theta$ 。

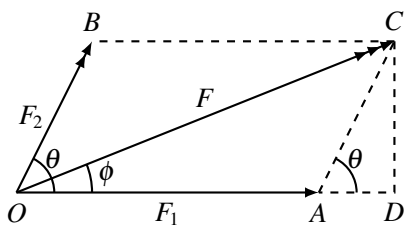


图 1.24

在三角形  $OAC$  中，根据余弦定理得到

$$\begin{aligned} F^2 &= F_1^2 + F_2^2 - 2F_1F_2 \cos(180^\circ - \theta) \\ &= F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta \end{aligned}$$

所以合力的大小

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} \quad (1.3)$$

合力的方向可以用合力跟原来任一个力的夹角表示出来. 图中用  $F$  跟  $F_1$  的夹角  $\phi$  来表示, 利用直角三角形  $ODC$ , 可以求出角  $\phi$  的正切:

$$\tan \phi = \frac{CD}{OD} = \frac{CD}{OA + AD} = \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} \quad (1.4)$$

根据两式, 可以算出两个共点力的合力的大小和方向, 例如在运河两岸拉着一艘货船前进, 两条绳对货船的拉力都是  $\{2e3\}N$ , 两绳互成  $45^\circ$  角 (图 1.25). 合力的大小是:

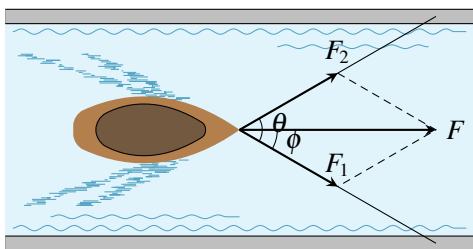


图 1.25

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta} \\ &= \sqrt{(2 \times 10^3)^2 + (2 \times 10^3)^2 + 2(2 \times 10^3)^2 \cos 45^\circ} \text{ N} \\ &= \{3.7e3\}N \\ \tan \phi &= \frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} \\ &= \frac{2 \times 10^3 \times \sin 45^\circ}{2 \times 10^3 + 2 \times 10^3 \times \cos 45^\circ} \\ &= 0.4142 \\ \phi &= 22^\circ 30' \end{aligned}$$

由于  $F_1 = F_2$ , 利用力的平行四边形, 由几何方法容易证明合力  $F$  的方向沿着力  $F_1$  和  $F_2$  的夹角平分线的方向. 这跟应用公式 (1.4) 算出夹角  $\phi$  来表示合力的方向是一致的.



现在我们来讨论, 力  $F_1$  和  $F_2$  的大小一定的时候, 合力  $F$  的大小跟两个力的夹角  $\theta$  的关系.

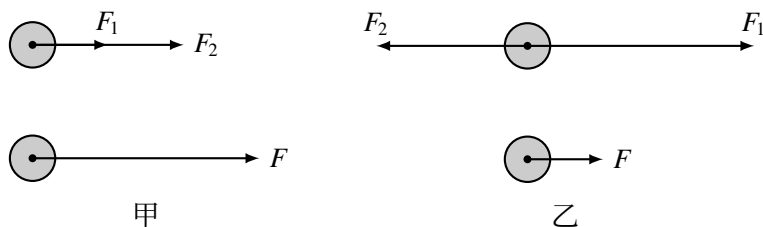


图 1.26

当两个力的方向相同时 (图 1.26 甲),  $\theta = 0^\circ$ ,  $\cos 0^\circ = 1$ , 所以  $F = F_1 + F_2$ , 合力的大小等于两个力的大小之和, 合力的方向跟两个力的方向相同.

当两个力的方向相反时 (图 1.26 乙),  $\theta = 180^\circ$ ,  $\cos 180^\circ = -1$ , 所以  $F = F_1 - F_2$ , 合力的大小等于两个力的大小之差, 方向跟两个力中较大的那个力的方向相同. 如果力  $F_1$  和  $F_2$  的大小相等, 合力就等于零.

当  $F_1$  和  $F_2$  的夹角  $\theta$  在  $0^\circ$  到  $180^\circ$  之间时,  $\theta$  越大,  $\cos \theta$  的值越小, 合力就越小, 而且合力的方向也随着夹角  $\theta$  的变化而变化.



### 课后习题 1.6

- 1 两个力的合力总大于原来的每一个力, 这话对吗? 为什么?
- 2 有两个力  $F_1$  和  $F_2$ , 用作图法求出当它们之间的夹角  $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ, 180^\circ$  时的合力. 研究你所作的图, 能不能得到结论: 夹角  $\theta$  在  $0^\circ$  到  $180^\circ$  之间时,  $\theta$  越大, 合力就越小.
- 3 两个力的合力什么情况下最大, 什么情况下最小? 设有两个力, 一个是  $\{20\}N$ , 一个走  $\{5\}N$ . 合力的最大值是多大, 最小值是多大?

- ④  $\{2\}N$  和  $\{10\}N$  的两个力，它们的合力能够等于  $\{5\}N$ 、 $\{10\}N$ 、 $\{15\}N$  吗？
- ⑤ 两个力互成  $30^\circ$  角，大小分别是  $\{90\}N$  和  $\{120\}N$ 。用作图法求出合力的大小和方向，然后再用公式来求。

## 第 7 节 力的分解

### 本节导言

测试文字

### 本节提要

测试文字

作用在物体上的一个力往往产生几个效果。拖拉机拉犁耕地，对犁的拉力  $F$  是斜向上方的，这个力产生两个效果：使犁克服泥土的阻力前进，同时把犁上提。这两个效果相当于两个力产生的（图 1.27）：一个水平的力  $F_1$  使犁前进，一个竖直向上的力  $F_2$  把犁上提。可见力  $F$  可以用两个力  $F_1$  和  $F_2$  来代替几个力，如果它们产生的效果跟原来一个力产生的效果相同，这几个力就叫做原来那个力的**分力**。求一个已知力的分力叫做**力的分解**。

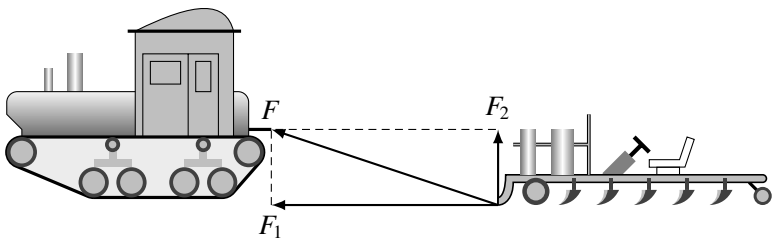


图 1.27

因为分力的合力就是原来被分解的那个力，力的分解是力的合成的逆运算，所以一个力分解为两个力同样遵守平行四边形法则。把一个已知力作为平行四

边形的对角线, 那么与已知力共点的平行四边形的两个邻边就是已知力的两个分力. 在图 1.27 中,  $F_1$  和  $F_2$  是  $F$  的两个分力.

我们知道, 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 1.28) 也就是说, 同一个力  $F$  可以分解为无数对大小、方向不同的分力. 那么, 一个已知力究竟该怎样分解呢?

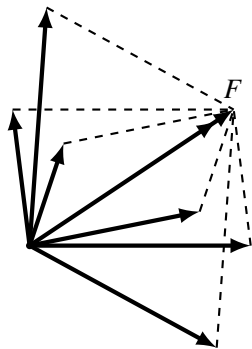


图 1.28

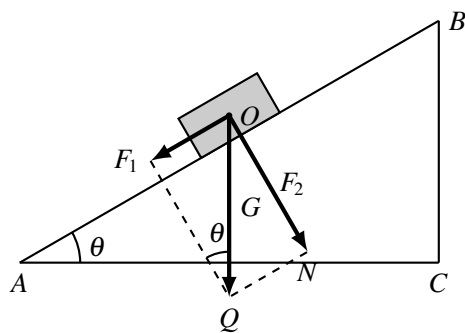


图 1.29

把一个物体放在斜面上, 物体受到竖直向下的重力, 但它并不能竖直下落, 而要沿着斜面下滑, 同时使斜面受到压力. 这时重力产生两个效果: 使物体沿斜面下滑以及使物体压紧斜面. 因此重力  $G$  应该分解为这样两个力: 平行于斜面使物体下滑的力  $F_1$ , 垂直于斜面使物体压紧斜面的力  $F_2$  (图 1.29). 如果已知斜面的倾角  $\theta$ , 就可以求出分力  $F_1$  和  $F_2$  的大小. 由于直角三角形  $ABC$  与  $OQN$  相似, 所以

$$F_1 = G \sin \theta$$

$$F_2 = G \cos \theta$$

可以看出,  $F_1$  和  $F_2$  的大小都和斜面的倾角有关. 斜面的倾角增大时,  $F_1$  增大,  $F_2$  减小. 车辆上桥时, 力  $F_1$  阻碍车辆前进; 车辆下桥时, 力  $F_1$  使车辆运动加快. 为了行车方便与安全, 高大的桥要造很长的引桥, 来减小桥面的坡度.

把重量为  $G$  的物体挂在图 1.30 所示的支架上,

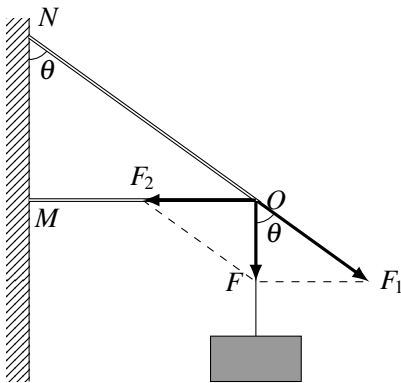


图 1.30

物体通过绳子使支架上的  $O$  点受到一个向下的作用力  $F$ ，大小等于物体的重量  $G$ 。力  $F$  对支架的两个梁产生的效果是什么呢？如果在  $M$  和  $N$  处加上小弹簧，可以看到  $M$  处的弹簧受到压缩， $N$  处的弹簧受到拉伸。这时力  $F$  产生两个效果：沿  $NO$  方向拉斜梁，沿  $OM$  方向压横梁。因此应该把力  $F$  分解为这样两个力：沿  $NO$  方向拉斜梁的力  $F_1$ ，沿  $OM$  方向压横梁的力  $F_2$ 。设斜梁跟墙的夹角为  $\theta$ ，可以看出，

$$F_1 = F / \cos \theta$$

$$F_2 = F \tan \theta$$

从上述例子可以看出，分解一个力要具体考虑这个力产生的效果，一个力我们可以根据它产生的效果来分解它。

课后习题 1.7

- 1 图 1.31 是塔式起重机，钢索  $NO$  与水平悬臂  $MO$  成  $30^\circ$  角，当起重机吊着  $\{4.0e4\}N$  的货物时，钢索和悬臂分别受多大的力？

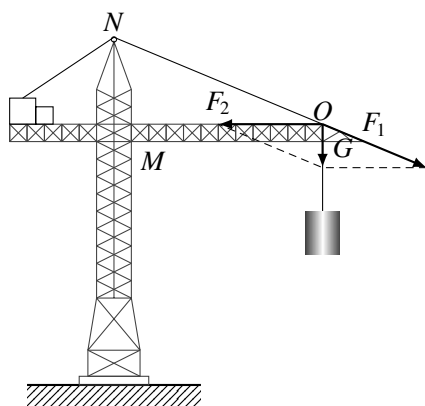


图 1.31

- ② 一个物体的重量是  $20\text{ N}$ ，把它放在一个斜面上，斜面长  $AB$  与斜面高  $BC$  之比是  $5:3$ 。把重力分解，求出平行于斜面使物体下滑的力和垂直于斜面使物体压紧斜面的力。
- ③ 如图 1.32 所示，垂直作用在帆上的风力  $F = 1.0 \times 10^4\text{ N}$ 。沿着船身方向的分力  $F_1$  使帆船前进，垂直于船身方向的分力  $F_2$  使船身侧倾。设  $F$  与船身方向成  $45^\circ$  角，求力  $F_1$  是多大。

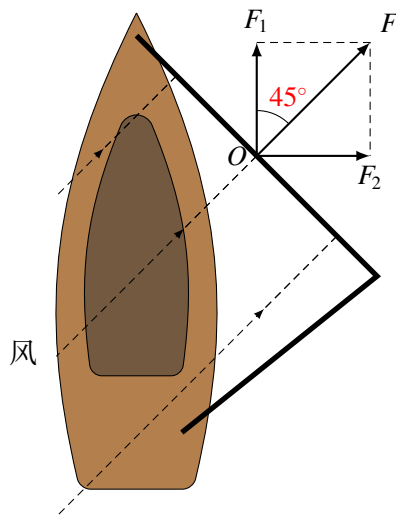


图 1.32

- 4 把竖直向下的  $\{180\}N$  的力分解为两个分力，一个分力在水平方向上并等于  $\{240\}N$ ，求另一个分力的大小和方向.
- 5 一个小同学跟一个大同学拔河，小同学拉不动大同学，可是用下述办法，小同学就可以拉动大同学. 在树干上拴一条绳子，大同学拿着绳子的另一端，沿水平方向把绳子拉紧. 小同学用力推绳子的中点，就可以拉动大同学了. 实际做一做，并解释所发生的现象.

## 第8节 矢量和标量



### 本节导言



测试文字



### 本节提要



测试文字

### 课时

1

### 矢量和标量的概念

我们在初中学过长度、质量、时间等等物理量. 这些物理量的大小可以用一个带有单位的数值来表示. 例如说铅笔长  $\{15\}cm$ , 钢块的质量是  $\{50\}kg$  等等. 我们用  $\{15\}cm$  就能完全描述这支铅笔的长度, 用  $\{50\}kg$  就能完全描述这块钢的质量. 力是有大小的, 我们也可以用带有单位的数值来表示力. 例如说这个力是  $\{10\}N$ , 那个力是  $\{6\}N$ . 可是, 这样并没有把一个力完全表达出来. 因为力不但有大小, 而且有方向. 相同大小的力, 方向不同, 它们的作用效果并不相同. 要把一个力完全表达出来, 除了说明它的大小, 还要指明它的方向才行.

这种既有大小又有方向的物理量, 除了力而外, 在物理学中还有很多. 我们在初中学过的速度也是这类物理量. 我们说一辆汽车的速度是  $\{60\}km/h$ , 这并没有把汽车的运动情况完全表达出来, 因为这只能说明汽车运动得多快, 而没有说明汽车运动的方向. 速度不但有大小, 而且有方向. 速度的方向就是物



体运动的方向.

这样,我们就接触到一类物理量.它们的共同特点是:既有大小,又有方向.这种既有大小又有方向的物理量,叫做**矢量**.力是矢量,速度也是矢量.那些只有大小没有方向的物理量,叫做**标量**.长度、质量、时间是标量,初中学过的功、温度等也是标量.

### 课时

### 2

### 矢量和标量的运算规则

矢量可以用一根带箭头的线段来表示.线段按一定标度画出,线段的长短表示矢量的大小,箭头的指向表示矢量的方向.前面讲的力的图示,其实就是力矢量的表示.速度矢量以及所有其他矢量都可以这样来表示.

标量和矢量不仅含义不同,而且服从不同的运算规则.

两个同类的标量,例如两个质量,只要它们的数值和单位都相同,比如说都是  $\{12\}kg$ ,我们就说这两个量是相等的.矢量则不然.两个同类的矢量,它们的大小相等,但方向不同,就不能说这两个矢量是相等的.比如两个力都是  $\{15\}N$ ,但方向不同,就不能说这两个力矢量相等.两个矢量只有大小相等而且方向相同,才是相等的.

两个同类的标量,只要单位相同,它们的数值就可以用代数加法来运算.比如一个质量是  $\{10\}kg$ ,另一个质量是  $\{5\}kg$ ,总质量就是  $\{15\}kg$ .矢量则不能这样运算.一个物体受到两个力,一个是  $\{10\}N$ ,一个是  $\{5\}N$ .这两个力共同作用所产生的效果不仅决定于它们的大小,而且决定于它们的方向.前面讲的力的合成就充分说明了这一点.力的合成要按照平行四边形法则来进行.平行四边形法则不仅适用于力的合成,对于别的矢量(如速度矢量)同样适用,是矢量合成即矢量加法运算的普遍法则.

认识到矢量和标量的不同,这是物理学研究中的一大进步.有了矢量的概

念并且运用矢量的运算规则，我们就能很方便地研究和处理一些物理问题.

## 第9节 同一直线上矢量的计算



### 本节导言

测试文字



### 本节提要

#### 测试文字

本书中常常要处理同一直线上的矢量，这一节我们以力矢量为例讲一讲同一直线上的矢量的运算，以备以后的应用。这里虽然是以力矢量为例来讲的，但对任何矢量都适用。

矢量既有大小，又有方向。如果被运算的矢量在一条直线上，那么，我们就可以用一个带有正负号的数值把矢量的大小和方向都表示出来。为此，我们沿着矢量所在的直线选定一个正方向（图 1.33）规定凡是方向跟正方向相同的矢量都取正值，凡是方向跟正方向相反的矢量都取负值，例如图中  $F_1 = \{5\}N$ ,  $F_2 = -\{5\}N$ ,  $F_3 = \{7\}N$ ,  $F_4 = -\{5\}N$ 。这里，根据数值的正负号就可以知道力的方向；而力的大小等于它们的绝对值，分别是  $\{5\}N$ ,  $\{5\}N$ ,  $\{7\}N$ ,  $\{5\}N$ 。

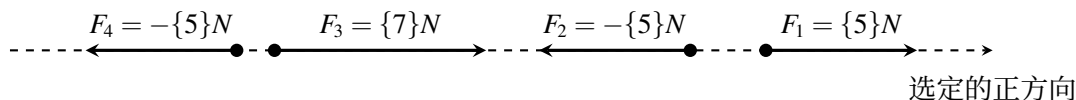


图 1.33

既然同一条直线上的矢量可以用带正负号的数值来表示，它们的运算就可

以简化为代数运算.

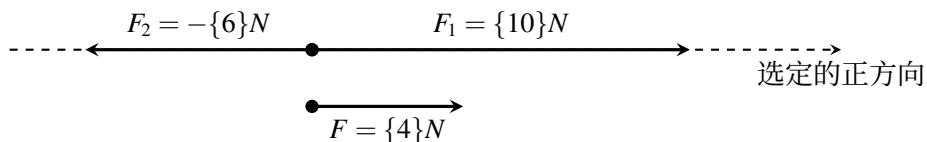
如果两个矢量大小相等而且方向相同, 如图 1.33 中的  $F_2$  和  $F_4$ , 我们就说这两个矢量相等, 写成代数式就是

$$F_2 = F_4 \quad (1.5)$$

如果两个矢量大小相等而方向相反, 如图 1.33 中的  $F_1$  和  $F_2$ , 那么, 它们只是符号相反, 写成代数式就是

$$F_1 = -F_2 \quad (1.6)$$

如图 1.34 所示, 设有两个力  $F_1$  和  $F_2$  作用在一个物体上, 我们



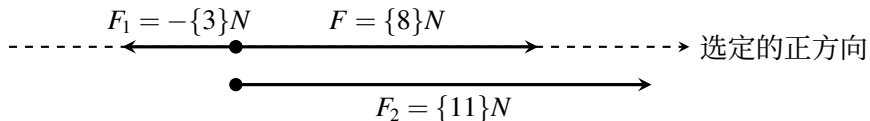
■ 图 1.34

可以利用加法运算求出合力  $F$ :

$$\begin{aligned} F &= F_1 + F_2 \\ &= \{10\}N + (-\{6\}N) = \{4\}N \end{aligned} \quad (1.7)$$

这表示合力的大小是  $\{4\}N$ , 结果是正值表示合力的方向与选定的正方向相同, 即合力的方向跟两个力中较大的那个力的方向相同.

我们也可以利用减法运算求分力. 如图 1.35 所示, 已知合力  $F$  和一个分力



■ 图 1.35

$F_1$ , 那么, 另一个分力  $F_2$ :

$$\begin{aligned} F_2 &= F - F_1 \\ &= \{8\}N - (-\{3\}N) = \{11\}N \end{aligned} \quad (1.8)$$

这表示  $F_2$  的大小是  $\{11\}N$ , 方向与选定的正方向相同.

需要强调指出的是: **只有同一直线上的矢量, 它们的运算才可以像上述那样简化成代数运算. 这是平行四边形法则在这种特殊情况下的运用.** 不在同一直线上的矢量, 它们的运算不能这样简化成代数运算, 仍必须按照平行四边形法则来进行.

还要指出的是: 这里用带有正负号的数值既表示出矢量的大小, 又表示出矢量的方向; 如果专指矢量的大小, 就要取绝对值, 即矢量的大小总是正值. 本章前面各节中的公式, 如公式

$$F = kx$$

$$f_k = \mu N$$

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\theta}$$

$$F = F_1 + F_2 \quad (\theta = 0^\circ)$$

$$F = |F_1 - F_2| \quad (\theta = 180^\circ)$$

等等都是关于力矢量大小的公式. 利用这些公式来计算. 其中的各力都取正值. 例如用  $F = F_1 - F_2$  来计算图 1.34 中的合力时,  $F_1 = \{10\}N$ ,  $F_2 = \{5\}N$ ,  $F = F_1 - F_2 = \{4\}N$ . 这与式所得结果相同. 初学时概念上要弄清楚, 熟悉起来以后, 就可以根据物理思考灵活运用了.

## 复习题

- ① 从力的性质看,力学中经常遇到的有哪几种力?这几种力的情况是怎样的?力可以用哪两种方法来分类?为什么说拉力、压力和支持力都是弹力?
- ② 胡克定律的内容是什么?写出胡克定律的公式.
- ③ 怎样计算滑动摩擦力的大小?写出它的公式.
- ④ 牛顿第三定律的内容是什么,为什么说作用力和反作用力不能互相平衡?
- ⑤ 力的合成要按照什么法则来进行?这个法则的内容又是什么,写出计算合力的大小和方向的公式.
- ⑥ 为什么力的分解和合成遵守相同的法则?一个力可以根据什么来分解它?一个力,如果知道它的两个分力的方向,或者知道它的一个分力的大小和方向,那么,这个力的分解有没有确定的答案?
- ⑦ 什么叫矢量?什么叫标量?矢量和标量有什么不同?矢量加法要按照什么法则来运算?
- ⑧ 你自己总结一下应该怎样分拆物体的受力情况,分析时应该注意什么?
- ⑨ 如图 1.36 所示,为了防止电线杆倾倒,常在两侧对称地拉上钢绳.如果两条钢绳间的夹角是  $60^\circ$ ,每条钢绳的拉力都是  $\{300\}N$ ,求两条钢绳作用在电线杆上的合力.

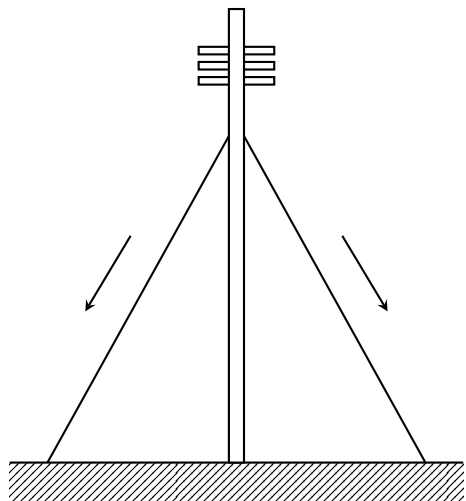


图 1.36

- 10 图 1.37 表示用平行四边形法则求三个共点力  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$  的合力  $F$ 。先求出  $F_1$  和  $F_2$  的合力，再求出这个合力与  $F_3$  的合力  $F$ 。改用三角形法求出这三个力的合力。改变求和的顺序，再分别用平行四边形法则和三角形法求出这三个力的合力。

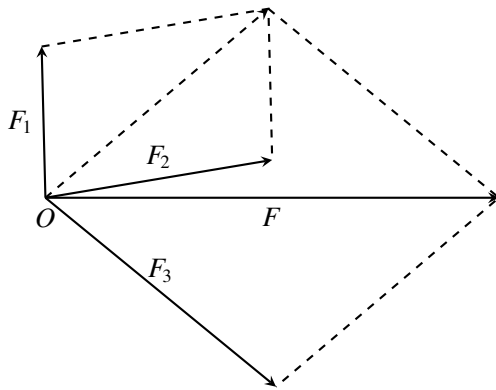


图 1.37

- 11 一个物体放在倾角为  $\theta$  的不及摩擦斜面上，求物体受到的合力。

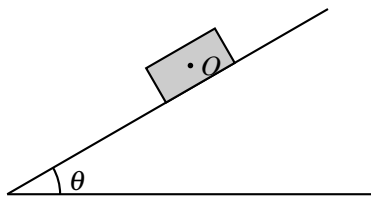


图 1.38

- 12  $\{20\}N$ 、 $\{30\}N$  和  $\{40\}N$  的三个力作用于物体的一点，它们之间的夹角都是  $120^\circ$ 。求合力的大小和方向。
- 13 用手握着橡皮绳的两端，在橡皮绳的中间挂一个重物，当两手之间的距离增大或减小的时候，物体对橡皮绳的拉力是否改变？怎样改变？实际做一下，并说明道理。
- 14 一个滑雪人沿着山坡滑下。滑雪人的重量是  $\{700\}N$ ，山坡的倾角是  $30^\circ$ ，滑雪板和雪地的滑动摩擦系数是 0.04。求滑雪人所受的合力。
- 15 如图 1.38 所示，把一个重量为  $\{10\}N$  的物体挂在绳子上，已知  $AC = BC = \{3\}m$ ， $CD = \{1\}m$ 。求绳  $AC$  和  $BC$  所受的拉力。

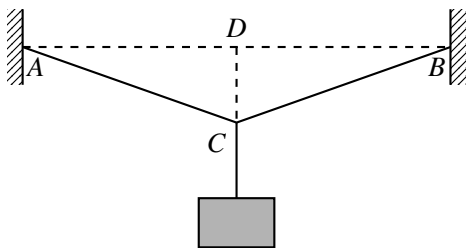


图 1.39

- 16 刀、斧、凿、刨等切削工具的刃部叫做劈，劈的纵截面是一个三角形，如图 1.39 所示。使用劈的时候，在劈背上加力  $F$ ，这个力产生两个效果，这就是使劈的两个侧面推压物体，把物体劈开。设劈的纵截面是一个等腰三



角形，劈背的宽度是  $d$ ，劈的侧面的长度是  $l$ ，可以证明：

$$f_1 = f_2 = \frac{l}{d}F$$

从上式可知，当  $F$  一定的时候，劈的两个侧面之间的夹角越小， $l/d$  就越大， $f_1$  和  $f_2$  就越大。这说明了为什么越锋利的切削工具越容易劈开物体。试证明上式。

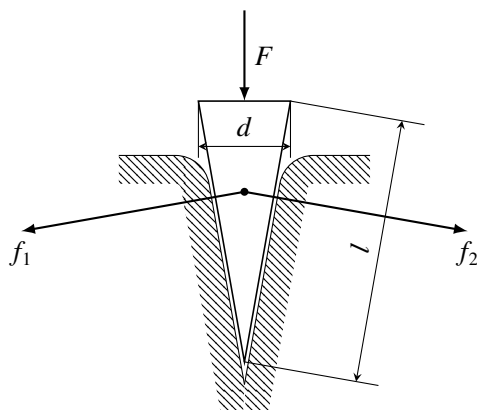


图 1.40

## 第 2 章

### 直线运动

## 专题 2 机械运动

我们在初中学过,一个物体相对于另一个物体的位置变化叫做**机械运动**,简称运动.在自然界中没有不动的物体.房屋、桥梁、树木、山岭等总在原地不动,我们说它们是静止的.其实它们是随着地球一起运动的,不但地球在运动,太阳在银河系中也是运动的.小到原子和分子,大到宇宙中的天体,一切物体都在运动,机械运动是宇宙中最普遍的现象.

### 考点

#### 1

### 参照物

既然一切物体都在运动,我们研究一个物体的运动时,就必须选取另外的物体作为参照,事先假定这个另外的物体是不动的,这样才能进行研究;我们说房屋、桥梁等是静止的,行驶的汽车是运动的,这是选取地面作为参照来说的;房屋、桥梁等对地面来说位置没有发生变化,行驶的汽车对地面来说位置发生了变化.坐在行驶的火车车厢里的乘客认为自己是静止的,在车厢里走动的乘务员是运动的,这是选取车厢作为参照来说的;乘客对车厢来说位置没有发生变化,乘务员对车厢来说位置发生了变化.研究物体的运动时,选来作为参照的另外的物体,叫做**参照物**.

原则上,研究一个物体的运动时,参照物是可以任意选取的.观察在河里游泳的人的运动,可以选择河岸作参照物,也可以选择河上航行的船只作参照物,研究天体的运动时,可以取地球作参照物,也可以取太阳作参照物.但是,实际选取参照物时,往往要考虑研究问题的方便,使运动的描述尽可能简

单。例如，研究太阳系的行星运动，太阳是最理想的参照物。研究地面上物体的运动，一般说来取地面做参照物比较方便。

## 考点

## 2

## 平动和转动

物体的运动一般是比较复杂的，但是最基本的运动只有两种：平动和转动。

从桌内拉出抽屉的时候，抽屉各部分的运动轨迹完全相同，也就是说，各部分的运动完全相同。这样的运动就是**平动**。打桩时重锤的下落运动，汽缸里活塞的运动，车床上车刀（图 2.1）的运动，在直铁轨上行驶的火车车厢的运动，都是平动。

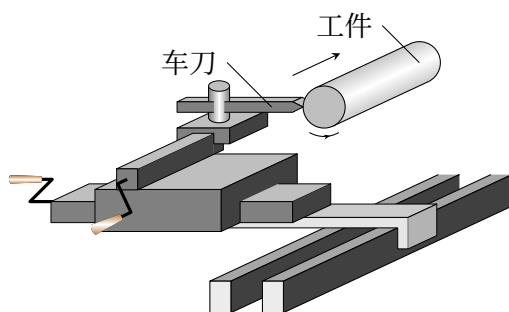


图 2.1: 车床上车刀的平动和工件的转动

物体的平动不一定都沿着直线进行，也可以沿曲线进行，图 2.2 所示的铅笔的平动就是沿着曲线进行的。

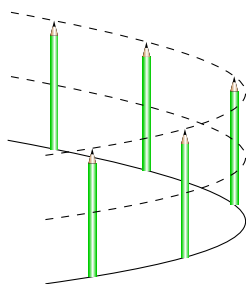


图 2.2: 沿曲线进行的平动

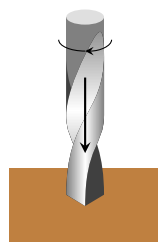


图 2.3: 钻头在工作中同时做平动和转动

推动石磨的时候,磨盘上的各部分都围绕着通过中心的轴线做圆周运动. 这样的运动就是**转动**. 脱粒机的滚筒的运动, 机器上飞轮的运动, 车床上工件的运动 (图 2.1), 都是转动.

在很多情况下, 物体同时做平动和转动. 钻头在工作的时候 (图 2.3), 车轮在路上滚动的时候, 螺栓在拧入螺母中的时候, 都是同时做平动和转动的.

## 测试 2 质点

物体都具有大小和形状，在运动中物体中各点的位置变化一般说来是各不相同的，所以要详细描述物体的运动，并不是一件简单的事情。可是，在某些情况下，却可以不考虑物体的大小和形状，而使问题简化。在这些情形下，我们可以把物体看作一个有质量的点，或者说用一个有质量的点来代替整个物体，用来代替物体的有质量的点叫做**质点**。

在什么情况下可以把物体当作质点，这要看具体情况而定。举例来说，当我们研究地球的公转时，由于地球的直径（约  $\{1.3e4\}km$ ）比地球和太阳之间的距离（约  $\{1.5e8\}km$ ）要小得多，因而可以忽略地球的大小和形状，把它当作质点，可是研究地球的自转时，我们却不能忽略地球的大小和形状，当然不能把地球当作质点了。

一个平动的物体，它的各个部分的运动情况都相同，它的任何一点的运动都可以代表整个物体的运动。在这种情况下，也可以把整个物体当作质点来看待。一辆在直公路上行驶的汽车，车身上各部分的运动情况相司，当我们把汽车作为一个整体来研究它的运动的时候，就可以把汽车当作质点。当然，假如我们需要研究汽车的轮胎的运动，由于轮胎的各部分的运动情况不相同，那就不能把它看作质点了。

今后我们研究的物体，除非涉及到转动，一般都可以看作质点。

任何物体都具有一定的大小和形状，因此质点这个概念是一种科学的抽象，是一种理想化的模型。我们研究物体的运动，像研究其他物理现象一样，不能

主次不分. 如果物体的大小和形状在所研究的现像中起的作用很小, 可以忽略不计, 我们就可以把物体看作是一个没有大小和形状的理想物体, 即质点. 这种研究问题的方法, 在物理学中是常常用到的.

研究物体的运动, 第一步是要知道物体是怎样运动的, 也就是知道物体的运动情况. 物体在运动过程中, 它的位置和速度不断随时间而变化, 如果我们知道了物体在任一时刻的位置和速度, 就表示我们知道了物体的运动情况. 这一章我们就围绕着这个要求来研究直线运动.



### 补充习题 2

- 1 两辆在公路上直线行驶的汽车, 它们的距离保持不变. 试说明用什么样的物体做参照物, 两辆汽车都是静止的, 用什么样的物体做参照物, 两辆汽车都是运动的. 能否找到这样一个参照物, 一辆汽车时它是静止的, 另一辆汽车对它是运动的? 为什么?
- 2 小孩从滑梯上滑下, 钢球沿斜槽滚下, 石块从手中落下, 这些物体中哪些是做平动的?
- 3 研完自行车轮的转动, 能不能把自行车当作质点? 研究在马路上行驶的自行车的速度, 能不能把自行车当作质点?

## 课题 2 位置与位移

研究质点的运动，首先要知道怎样确定质点的位置。质点的位置可以采取在数学中学过的建立坐标系的方法来确定。质点做直线运动时，我们可以取这条直线为坐标轴（ $x$  轴），在轴上任选一点  $O$  为原点，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，就可以完全确定了。比如我们要确定一辆行驶在北京长安街上的汽车的位置，我们可以取  $x$  轴表示长安街的东西方向， $x$  轴的正方向指东，并且取天安门前的旗杆作为坐标原点，那么汽车的位置就由它的坐标完全确定了。汽车的坐标是  $\{1\}km$ ，表示它在旗杆以东  $\{1\}km$  处；汽车的坐标是  $\{-2\}km$ ，表示它在旗杆以西  $\{2\}km$  处（图 2.4）。

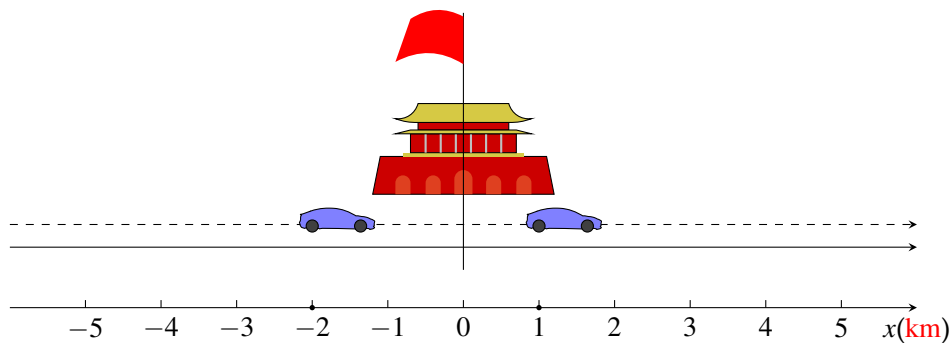
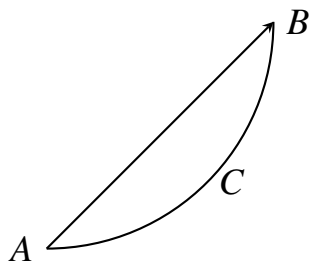


图 2.4

质点在运动过程中，它的位置随时间不断变化，怎样表示质点的位置变化呢？物理学中用一个叫做**位移**的物理量来表示质点位置的变化。设质点原来





在  $A$  点, 经过一段时间沿轨迹  $ACB$  运动到  $B$  点 (图 2.5). 从初位置  $A$  指向末位置  $B$  作线段  $AB$ , 用它就可以描述质点的位置变化, 我们把它叫做质点的位移.  $AB$  的长度, 即位移的大小, 表示出位置变化的大小;  $AB$  的方向, 即位移的方向, 表示出位置变化的方向. 位移既有大小, 又有方向, 是一个矢量.

位移和路程是两个不同的物理量. 路程是指质点所通过的实际轨迹的长度, 只有大小, 没有方向, 是标量. 在图 2.5 中, 质点的位移是线段  $AB$ , 而路程是曲线弧  $ACB$  的长度, 即使在直线运动中位移的大小也不一定等于路程. 图 2.6 表示做直线运动的质点从初位置  $A$  经过  $B$  运动到  $C$ , 然后从  $C$  返回, 运动到末位置  $B$ , 这时质点的位移大小是线段  $AB$ , 而路程是线段  $AC$  的长度加上线段  $BC$  的长度, 只有做直线运动的质点始终向着同一个方向运动时, 位移的大小才等于路程. 可见, 位移矢量一般并不表示运动的实际轨迹和路程, 而是表示位置的变化.

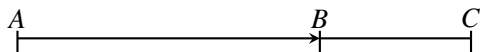


图 2.6

在物理学中, 通常用  $\Delta x$  代表位移. 质点做直线运动时, 位移可以用末位置的坐标  $x$  和初位置的坐标  $x_0$  表示出来:

$$\Delta x = x - x_0 \quad (2.1)$$

这就是说, 位移的数值等于末位置的坐标  $x$  减去初位置的坐标  $x_0$ .

在图 2.7 中,  $A$  点表示初位置,  $B$  点表示末位置. 图甲中位移:  $\Delta x = x - x_0 = \{4\}m - \{2\}m = \{2\}m$ , 位移是正值, 它的大小是  $\{2\}m$ , 方向与坐标轴的正方向

相同. 图乙中位移:  $\Delta x = x - x_0 = \{-5\}m - \{1\}m = \{-6\}m$ , 位移是负值, 它的大小是  $\{6\}m$ , 方向与坐标轴的正方向相反. 可见, 在直线运动中, 用一个带有正负号的数值就可以把位移矢量的大小和方向都表示出来.

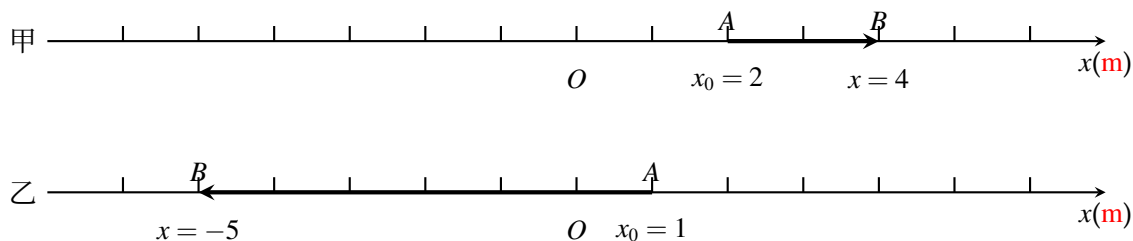


图 2.7: 位移的坐标表示

为了方便, 在计算位移时常常取初位置为坐标原点, 即  $x_0 = 0$ . 这时质点的位移就可以用末位置的坐标来表示:

$$\Delta x = x$$



## 实践 2

- ① 质点做什么运动, 位移的大小才等于路程?
- ② 图 2.6 表示做直线运动的质点从初位置  $A$  经过  $B$  运动到  $C$ , 然后从  $C$  返回, 运动到末位置  $B$ . 设  $AB$  长  $\{7\}m$ ,  $BC$  长  $\{5\}m$ . 求质点的位移的大小和路程.
- ③ 在图 2.4 中, 汽车初位置的坐标是  $\{-2\}km$ , 末位置的坐标是  $\{1\}km$ . 求汽车的位移的大小和方向.

## 第1节 匀速直线运动 速度

现在我们开始研究物体的运动。从哪里来开始呢？也许从最常见的运动开始比较好吧！一片树叶从树枝上落下是一种很常见的运动，可是仔细观察一下，却发现这种运动很复杂，树叶忽左忽右，有时还发生翻转等，不便于研究。物理学中研究问题常常是从最简单的现象着手。因此，我们从最简单的运动即匀速直线运动来开始对运动的研究。

火车在平直的铁路上行驶，如果它每分钟的位移是  $\{900\}m$ ，每秒钟的位移是  $\{15\}m$ ，也就是在相等的时间内位移相等，这列火车所做的运动就是**匀速直线运动**。

**物体在一条直线上运动，如果在相等时间里的位移相等，这种运动就叫做匀速直线运动。** 匀速直线运动有时简称为匀速运动。

飞机在天空中匀速飞行，轮船在海洋上匀速航行，它们的运动虽然都是匀速运动，但还是有区别的。在相同的时间里，飞机的位移大，轮船的位移小，即飞机飞得快，轮船走得慢。在物理学中怎样来表示匀速运动的快慢呢？在匀速运动中，物体在相等时间内的位移相等，因此，如果物体在时间  $t$  内的位移是  $\Delta x$ ，在  $2t$  时间内的位移一定是  $2\Delta x$ ，在  $3t$  时间内的位移一定是  $3\Delta x$ ，等等。可见匀速运动的位移和时间的比值是一个恒量，不随时间而改变。这个比值越大表示物体运动得越快。

在匀速直线运动中，位移和时间的比值，叫做匀速直线运动的**速度**。

如果做匀速运动的物体在时间  $\Delta t$  内的位移是  $\Delta x$ ，速度  $v$  就可以用下式来

表示：

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.2)$$

由上式可以看出，速度在数值上等于单位时间内位移的大小。

速度的单位有cm/s, m/s, km/h等。在国际单位制中，速度用m/s作单位。

速度不但有大小，而且有方向，是矢量。速度矢量的方向就是物体位移的方向。在匀速直线运动中，计算时通常取位移方向作为正方向，速度是正值。

从速度的公式  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  可以得到

$$\Delta x = v\Delta t \quad (2.3)$$

这个公式叫做匀速运动的**位移公式**，它表示出匀速运动的位移跟时间的关系：位移跟时间成正比。利用这个公式，只要知道了速度  $v$ ，就可以求出做匀速运动的物体在任何时间内的位移。如果还知道物体的初位置，就可以确定做匀速运动的物体在任一时刻所在的位置。

这里提到了时间和时刻，顺便说一下它们的区别。我们说，现在是9时10分，这是指的时刻。我们说从9时10分到9时50分，这是指的一段时间，这段时间是40分钟。如果用坐标轴来表示时间，那么时刻相当于轴上的一点，时间相当于轴上的一段距离。坐标轴原点的时刻为零， $t = 0$ ，表示从这一时刻开始计时。



## 课后习题 2.1

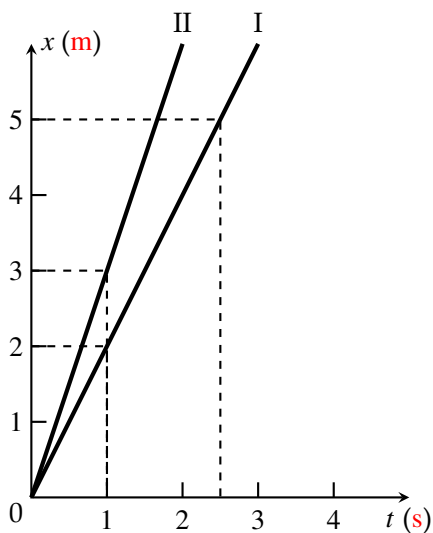
- ① 光在真空中沿直线传播的速度为  $\{3.0e8\}m/s$ .
  - (a) 一光年（光在一年中传播的距离）有多少千米？
  - (b) 最靠近我们的恒星（半人马座  $\alpha$  星）离我们  $\{4.0e13\}km$ ，它发出的光要多长时间才到达地球？
- ② 在技术上常用  $km/h$  作速度的单位. 试求  $\{1\}m/s$  合多少  $km/h$ .
- ③ 光在空气中的速度可以认为等于光在真空中的速度. 声音在空气中的速度是  $\{340\}m/s$ . 一个人看到闪电后 5 秒听到雷声，打雷的地方离他大约多远？

## 第2节 匀速直线运动的图像

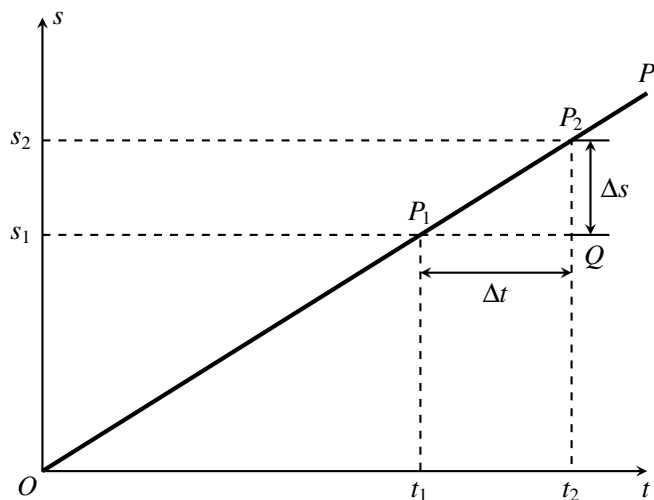
物体运动的情况可以用公式来表示,也可以用函数图像来表示.这一节学习怎样用图像来表示匀速直线运动.

### 课时 1 匀速直线运动的位置图像

任意选择一个平面直角坐标系、用横轴表示时间,用纵轴表示位置,画出位移和时间的关系图线,这种图像叫做**位置—时间图像**,简称为**位置图像**,匀速直线运动的位移  $\Delta x$ , 是时间  $t$  的正比函数  $\Delta x = vt$ . 匀速直线运动的位移  $\Delta x = x - x_0$ , 所以匀速直线运动的位置  $x$  是时间  $t$  的一次函数  $x = vt + x_0$ .



■ 图 2.8: 取初位置为坐标原点时, 质点的位移等于末位置的坐标, 因此这个图像也可以叫做质点的位移—时间图像



■ 图 2.9: 匀速运动的速度等于位移图线的斜率

在初中数学里已经学过, 正比函数的图像是一条通过原点的直线. 图 2.8 中的直线 I 是速度为  $\{2\}m/s$  的匀速运动的位置图像, 直线 II 是速度为  $\{3\}m/s$  的位置图像.

应用匀速运动的位置图像, 我们可以求出物体在任意时间内的位移. 例如从图 2.8 可以求出,  $\{2\}m/s$  的匀速运动在  $\{2.5\}s$  内的位移是  $\{5\}m$ , 应用位置图像也可以反过来求出物体通过任一位移所需的时间.

我们还可以从匀速运动的位置图像求出物体的速度. 在图 2.9 所示的匀速运动的位置图线  $OP$  上, 任取两点  $P_1(t_1, x_1)$  和  $P_2(t_2, x_2)$ . 用  $\Delta t$  表示  $t_2 - t_1$ , 用  $\Delta s$  表示  $x_2 - x_1$ . 在直角三角形  $P_1QP_2$  中, 比值  $\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{QP_2}{P_1Q}$  越大,  $\angle P_2P_1Q$  也越大, 直线  $OP$  就越陡. 所以我们把  $\Delta x/\Delta t$  叫做直线的**斜率**, 用字母  $k$  来表示.  $\Delta x$  是物体在  $\Delta t$  内的位移, 比值  $\Delta x/\Delta t$  是匀速运动的速度  $v$ , 因此

$$k = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v \quad (2.4)$$

这样, 我们得到结论: **在匀速直线运动中, 位移图线的斜率等于运动的速度. 在同一个坐标平面上, 斜率越大, 即直线越陡, 表示速度越大.**

### 课时

### 2

### 匀速直线运动的速度图像

匀速直线运动的速度和时间的关系, 也可以用图像来表示.

在平面直角坐标系中, 用横轴表示时间, 用纵轴表示速度, 画出速度和时间关系的图线, 这种图像叫做运动的**速度—时间图像**, 简称为**速度图像**. 匀速运动的速度不随时间改变, 它的速度图像是一条与横轴平行的直线, 图 2.10 中的两条直线 I 和 II 分别表示  $v = \{2\}m/s$  和  $v = \{5\}m/s$  的匀速运动的速度图像. 在同一个坐标平面上, 图像的直线在纵轴上的截距越大, 表示速度越大.

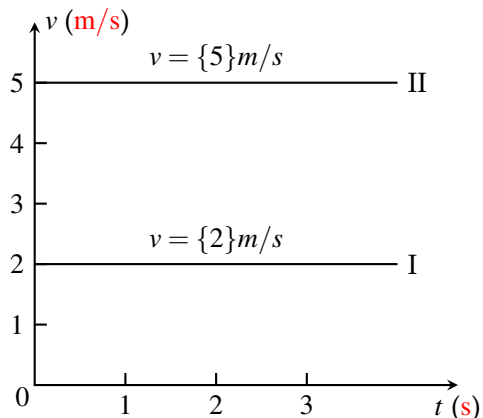


图 2.10: 匀速运动的速度图像

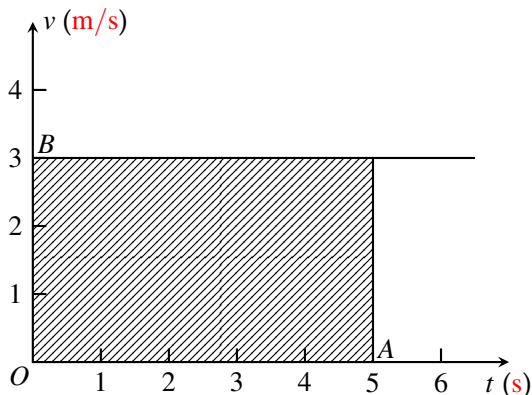


图 2.11: 由速度图像求位移

应用速度图像可以求出质点在任何时间内的位移, 设有一个骑自行车的人以  $3\text{ m/s}$  的速度做匀速运动, 速度图像如图 2.11 所示. 现在来求他在  $5\text{ s}$  钟内的位移. 为了求出位移, 根据公式  $\Delta x = v\Delta t$ , 必须用时间和速度相乘, 也就是用横轴上的线段  $OA = 5\text{ s}$  和纵轴上的线段  $OB = 3\text{ m/s}$  相乘. 图 2.11 中画有斜线的长方形的“面积”, 表示的就是这个位移的大小, 它的数值是  $3\text{ m/s} \times 5\text{ s} = 15\text{ m}$ , 也就是说, 位移的数值等于这个长方形“面积”的数值. 这里我们把“面积”一词打上引号, 是因为这个长方形的底的单位是  $\text{m/s}$ , 高的单位是  $\text{s}$ , 这个面积的单位是  $\text{m/s} \times \text{s} = \text{m}$ , 而不是  $\text{m}^2$ .



## 课后习题 2.2

- ① 有两个物体, 从同一点开始向相同方向做匀速运动, 速度分别是  $3\text{ s}$  和  $5\text{ s}$ , 在同一个坐标平面上画出它们的位置图像和速度图像, 并根据这两种图像分别求出它们在  $5\text{ s}$  内的位移.
- ② 图 2.12 是一架民航飞机的位置图像. 从这个图像求出



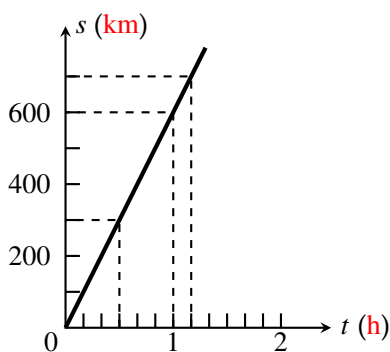


图 2.12

- (a) 飞机在 30 分钟内的位移;
- (b) 飞行 700 千米所用的时间;
- (c) 飞行速度并画出速度图像.

3 图 2.13 是一辆火车运动的位置图像. 线段  $OA$  和  $BC$  所表示的运动, 哪个速度大? 各等于多大? 线段  $AB$  与横轴平行, 表示火车做什么运动? 速度是多大? 火车在 3 小时内的位移是多少? 通过 80 千米用多长时间? 画出火车的速度图像.

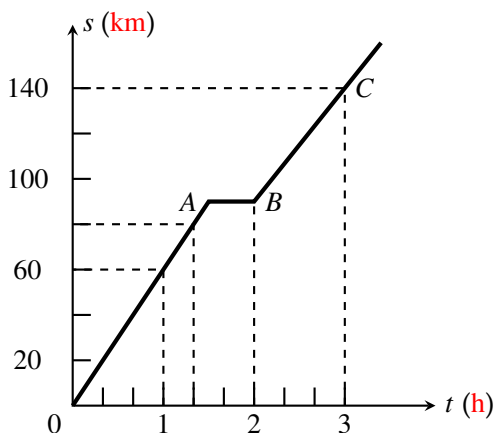


图 2.13

### 第3节 变速直线运动 平均速度 瞬时速度

#### 课时

#### 1

#### 变速直线运动

我们日常看到的直线运动，往往不是匀速的。飞机起飞的时候，运动越来越快，在相等时间里的位移是不相等的。火车进站的时候，运动越来越慢，在相等时间里的位移也是不相等的。

物体在一条直线上运动，如果在相等时间里的位移不相等，这种运动就叫做 **变速直线运动**。变速直线运动有时简称为 **变速运动**。

#### 课时

#### 2

#### 平均速度

变速运动的物体在相等的时间里的位移不相等，所以它没有恒定的速度。那么，我们怎样来描述它的快慢呢？粗略的办法是把它看作匀速运动。一列火车，半小时内走了  $\{28\}km$ ，尽管它的运动时快时慢，我们仍然可以设想火车在这半小时内是匀速运动的，这样它的速度就是  $\{56\}km/h$ 。这个  $\{56\}km/h$ ，就是火车在这半个小时内的 **平均速度**。

在变速直线运动中，运动物体的位移和所用时间的比值，叫做这段时间里的平均速度。如果用  $\bar{v}$  来表示平均速度，那么

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2.5)$$

平均速度的数值跟在哪一段时间内计算平均速度有关，上面讲的那列火车，

如果在第一个十分钟走了  $\{8\}km$ ，在第二个十分钟走了  $\{9\}km$ ，在第三个十分钟里走了  $\{11\}km$ ，它在三个十分钟里的平均速度就分别是  $\{48\}km/h$ ， $\{54\}km/h$ ， $\{66\}km/h$ 。可见，火车半小时内的平均速度虽然是  $\{56\}km/h$ ，但在每个十分钟里的平均速度却是不同的，它的运动逐步加快。

## 课时

## 3

## 瞬时速度

平均速度只能粗略地描述做变速运动的物体的运动情况，要精确地描述变速直线运动，还需要知道物体在每一时刻（或位置）的运动速度。运动物体在某一时刻（或某一位置）的速度，叫做**瞬时速度**。

物体在某一时刻或某一位置的速度的意义是什么呢？图 2.14 表示一辆做变速运动的汽车。我们要确定汽车经过 A 点时的瞬时速度。从 A 起取一小段位移  $AA_1$ ，求出在这段位移上的平均速度，这个平均速度可以近似地表示汽车经过 A 点的快慢程度。从 A 起所取的位移越小，比如依次取位移  $AA_2$ 、 $AA_3$  等，所得的平均速度用来表示汽车经过 A 点的快慢程度就越精确。当位移足够小时，或者说时间足够短时，所得的平均速度就等于汽车经过 A 点的瞬时速度了。

这里所说的“足够短”，应该怎样理解呢？原来，做变速运动的物体的速度总是连续变化的，位移取得越小，或者说时间取得越短，在这段时间内速度的变化就越小。时间足够短时，测量仪器已经分辨不出变速运动和匀速运动的差别，可以认为这一小段时间的运动是匀速的。这时，即使进一步缩短所取的时间，测得的平均速度也不会有什么变化，这个平均速度就等于瞬时速度。

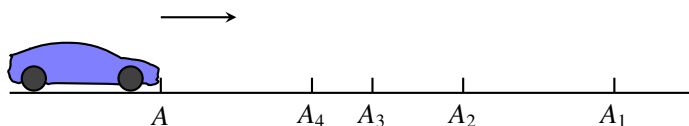


图 2.14

用数学语言可以更为精确地表达上面所讲的意思. 在图 2.14 中从  $A$  起取一小段位移  $\Delta x$ , 求出这小段位移内的平均速度  $\Delta x/\Delta t$ , 当  $\Delta t$  趋近于零时, 平均速度趋近于某一固定数值——极限值, 这个极限值就是汽车经过  $A$  点的瞬时速度.

瞬时速度既有大小, 又有方向, 是矢量. 在直线运动中, 瞬时速度的方向就是物体经过该点时的运动方向. 瞬时速度的大小叫做**瞬时速率**, 简称**速率**, 它是一个表示物体运动快慢程度的标量, 在某些问题中, 如果只需考虑瞬时速度的大小, 可以用速率的概念.

在匀速运动中, 知道了速度, 根据位移公式就可以确定运动物体在任一时刻的位置, 在变速运动中, 怎样确定物体在任一时刻的位置和速度呢? 一般地讨论这个问题过于复杂, 下面我们只就最简单的变速运动来研究这个问题.



### 课后习题 2.3

- 1 一辆汽车, 起初以  $\{30\}km/h$  的速度匀速行驶了  $\{30\}km$ , 然后又以  $\{60\}km/h$  的速度匀速行驶了  $\{30\}km$ . 一位同学认为这辆汽车在这  $\{60\}km$  中的平均速度是  $1/2(\{30\}km/h + \{60\}km/h) = \{45\}km/h$ . 这个结果对不对?
- 2 骑自行车的人沿着坡路下行, 在第  $\{1\}s$  内通过  $\{1\}m$ , 第  $\{2\}s$  内通过  $\{3\}m$ , 在第  $\{3\}s$  内通过  $\{5\}m$ , 在第  $\{4\}s$  内通过  $\{7\}m$ . 求最初  $\{2\}s$  内、最后  $\{2\}s$  内以及全部运动时间内的平均速度.
- 3 在一个速度是  $v$  的匀速直线运动中, 各段时间内的平均速度以及整个运动的平均速度各是多大? 每一时刻的瞬时速度是多大?
- 4 火车以  $\{70\}km/h$  的速度经过某一路标, 子弹以  $\{600\}m/s$  的速度从枪筒射出. 这里指的是什么速度?

## 第4节 匀变速直线运动 加速度

### 课时

### 1

### 匀变速直线运动

伽利略(1564—1642)是首先认真研究变速运动的物理学家. 伽利略就是从最简单的变速运动着手的. 他设想, 最简单的变速运动的速度应该是均匀变化的. 但是, 速度的变化怎样才算均匀呢? 他考虑了两种可能: 一种是速度的变化对时间来说是均匀的, 即经过相等的时间, 速度的变化相等; 另一种是速度的变化对路程来说是均匀的, 即经过相等的路程, 速度的变化相等. 伽利略断定第一种方式最为简单, 并且用实验研究了斜面上滚下来的铜球, 证明这种运动方式在自然界中是的确存在的. 这种运动, 就是我们现在要研究的匀变速直线运动.

在一条直线上运动的物体, 如果在相等的时间里速度的变化相等, 物体的运动就叫做**匀变速直线运动**, 或者简称为匀变速运动.

举例来说, 一个做直线运动的物体, 在某一时刻它的速度是  $\{3\}m/s$ , 过了  $\{1\}s$  钟变成  $\{4\}m/s$ , 再过  $\{1\}s$  钟变成  $\{5\}m/s$ , 它的速度每秒钟增加  $\{1\}m/s$ , 这个物体做的就是匀变速运动. 又如一个做直线运动的物体, 在某一时刻它的速度是  $\{8\}m/s$ , 过了  $\{1\}s$  变成  $\{6\}m/s$ , 再过  $\{1\}s$  变成  $\{4\}m/s$ , 它的速度每秒钟减小  $\{2\}m/s$ , 这个物体做的也是匀变速运动.

常见的许多变速运动实际上并不是匀变速运动, 可是不少变速运动很接近于匀变速运动, 可以当作匀变速运动来处理, 石块从不高的地方下落的运动, 发

炮时炮弹在炮筒里的运动, 火车、汽车等交通工具开动后一段时间内的运动, 竖直抛出的石块向上的运动, 交通工具在停止前的一段运动, 都可以看作是匀变速运动.

## 课时

## 2

## 加速度

不同的匀变速运动, 瞬时速度的变化有快有慢, 汽车开动时, 它的速度在几秒钟内从零增加到几十米每秒. 而发炮时, 炮弹的速度在千分之几秒内就从零增加到几百米每秒. 显然汽车的速度增加得慢, 炮弹的速度增加得快. 火车进站时速度减小得慢, 而汽车在急刹车时速度减小得快. 怎样来表示速度变化的快慢呢? 为此, 物理学中引入了一个新的物理量——**加速度**.

在匀变速直线运动中, 在相等的时间里速度的变化相等, 时间  $t$  增加几倍, 速度的变化  $v_t - v_0$  也增加几倍, 因而速度的变化跟发生这个变化所用的时间的比值是一个恒量, 不随时间而改变. 这个比值越大, 表示速度变化得越快.

在匀变速直线运动中, 速度的变化和所用的时间的比值, 叫做匀变速直线运动的加速度.

用  $v_0$  表示运动物体开始时刻的速度 (初速度), 用  $v_t$  表示经过一段时间  $t$  的速度 (末速度), 用  $a$  表示加速度, 那么,

$$a = \frac{v_t - v_0}{t} \quad (2.6)$$

由上式可以看出, 加速度在数值上等于单位时间内速度的变化.

加速度的单位是由时间的单位和速度的单位确定的. 在国际单位制中, 时间的单位是s, 速度的单位如果用m/s、加速度的单位就是m/s<sup>2</sup>, 读作米每二次方秒. 速度的单位如果用cm/s, 加速度的单位就是cm/s<sup>2</sup>.

加速度不但有大小, 而且有方向, 因此是矢量. 在直线运动中, 取开始运

动的方向作为正方向时,  $v_0$  为正值. 在这种情形下, 如果  $v_t > v_0$ ,  $a$  是正值, 表示加速度的方向与初速度的方向相同; 如果  $v_t < v_0$ ,  $a$  是负值, 表示加速度的方向与初速度的方向相反.

在匀变速直线运动中, 加速度矢量是恒定的, 大小和方向都不改变, 因此匀变速直线运动也就是加速度矢量恒定的运动.

**例题 2.4.1** 做匀变速运动的火车, 在  $\{20\}s$  内速度从  $\{10\}m/s$  增加到  $\{15\}m/s$ , 加速度是多大? 汽车急刹车时做匀变速运动, 在  $\{2.0\}s$  内速度  $\{10\}m/s$  减小到零, 加速度是多大?

**解答** 取初速度的方向作为正方向. 火车的加速度  $a_1$  是

$$a_1 = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{\{15\}m/s - \{10\}m/s}{\{20\}s} = \{0.25\}m/s^2$$

加速度  $a_1$  是正值表示加速度的方向跟速度的方向相同. 这一结果表示火车的速度每经过  $\{1\}s$  就增加  $\{0.25\}m/s$ . 汽车的加速度  $a_2$  是

$$a_2 = \frac{v_t - v_0}{t} = \frac{\{0\}m/s - \{10\}m/s}{\{2.0\}s} = \{-5\}m/s^2$$

加速度  $a_2$  是负值表示加速度的方向跟速度的方向相反. 这一结果表示汽车的速度每经过  $\{1\}s$  就减小  $\{5\}m/s$ .

#### 资料卡片：速度和加速度的区别

速度和加速度是描述运动的两个重要的物理量. 清楚地理解它们的意义及其区别, 才能很好地掌握本章所讲的内容. 这里, 我们就谈一下这个问题.

速度是描述物体运动快慢的物理量, 或者说描述位置变化快慢的物理



量. 速度越大, 表示运动得越快, 或者说位置变化得越快. 加速度是描述速度变化快慢的物理量, 加速度越大, 表示速度变化得越快.

速度等于位移和时间的比值, 因而速度是位置对时间的变化率. 加速度等于速度的变化和时间的比值, 因而加速度是速度对时间的变化率. 所谓某一个量对时间的变化率, 是指单位时间内该量变化的数值. 变化率表示变化的快慢, 不表示变化的大小.

速度的大小决定于位移和发生这段位移所用的时间, 位移大, 速度并不一定大, 因为发生这段位移所用的时间可能很长. 加速度的大小决定于速度变化的大小和发生这一变化所用的时间, 而不决定于速度本身的大小以及速度变化的大小. 汽车起动时虽然速度很小, 加速度却较大. 汽车在正常行驶时, 速度很大, 加速度却很小, 甚至为零.

速度和加速度都是矢量. 在直线运动中, 速度的方向就是位移的方向, 而如速度的方向可能跟速度方向相同, 也可能跟速度方向相反. 当加速度的方向跟速度方向相同时, 速度在增大; 当加速度的方向跟速度方向相反时, 速度在减小.



### 课后习题 2.4

- 1 汽车的加速性能是反映汽车质量的重要标志. 汽车从一定的初速度  $v_0$  加速到一定的末速度  $v_t$ , 用的时间越少, 表明它的加速性能越好. 下表是三种型号汽车的加速性能的实验数据, 求它们的加速度.



汽车型号	初速度 $v_0(\text{km/h})$	末速度 $v_t(\text{km/h})$	时间 $t(\text{s})$	加速度 $a(\text{m/s}^2)$
某型号高级轿车	20	50	7	
某型号 4 吨载重汽车	20	50	38	
某型号 8 吨载重汽车	20	50	50	

- 2 加速度为零的运动是什么运动？
- 3 有人说：速度越大表示加速度也越大。这话对吗？为什么？
- 4 以  $\{18\}m/s$  的速度行驶火车，制动后经  $\{15\}s$  停止，求火车的加速度。

## 第5节 匀变速直线运动的速度

### 课时

### 1

### 匀变速运动的速度

做匀速运动的物体，在相等的时间里发生的位移都相等，如果知道了位移和时间的比值，即知道了速度，就可以确定位移和时间的关系；如果还知道初位置，就可以知道任一时刻的位置。跟这类似，在匀变速运动中，在相等的时间里速度的变化都相等，如果知道了速度的变化和时间的比值，即知道了加速度，就可以确定速度的变化和时间的关系；如果还知道初速度，就可以知道任一时刻的速度。

前一节里讲过，匀变速运动的加速度公式是

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

把这个公式变形，就得到匀变速直线运动的**速度公式**

$$v_t = v_0 + at \quad (2.7)$$

这个公式表示出匀变速运动的瞬时速度是怎样随着时间而变化的。根据这个公式，如果已经知道做匀变速运动的物体的初速度和加速度，就可以求出物体在任一时刻的瞬时速度。

如果匀变速运动的初速度为零, 即  $v_0 = 0$ , 上式就简化成下式:

$$v_t = at$$

**例题 2.5.1** 汽车紧急刹车后加速度的大小是  $\{6.5\}m/s^2$ , 如果必须在  $\{2.0\}s$  内停下来, 汽车行驶的最大允许速度是多少  $km/h$ ?

**解答** 汽车必须在  $\{2.0\}s$  内停下来, 这就要求它最迟在  $\{2.0\}s$  末速度变为零, 即  $v_t = 0$ . 加速度  $a$  和运动的时间都是已知的, 只要求出初速度  $v_0$ , 就得到汽车的最大允许速度. 汽车在刹车时, 速度越来越小, 加速度的方向和速度的方向相反, 取速度的方向为正方向, 则加速度为负值, 即  $a = \{-6.5\}m/s^2$ . 由公式  $v_t = v_0 + at$  解出  $v_0$ , 再把已知量代入得

$$\begin{aligned} v_0 &= v_t - at \\ &= 0 - (\{-6.5\}m/s^2) \times \{2\}s \\ &= \{13\}m/s = \{47\}km/h \end{aligned}$$

也就是说, 汽车的最大允许速度是  $\{47\}km/h$ .

课时

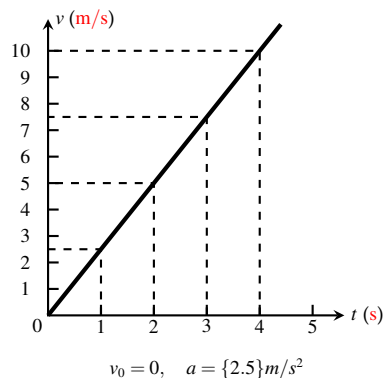
2

匀变速运动的速度图像

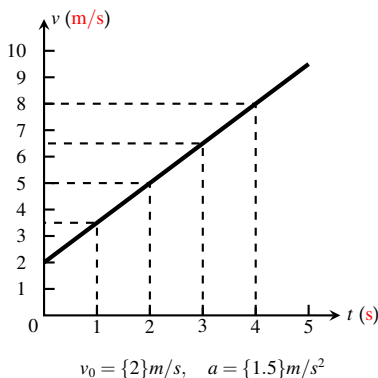
匀变速运动的速度和时间的关系, 也可以用图像来表示. 由于  $v_t = v_0 + at$  是时间  $t$  的一次函数, 所以匀变速运动的速度—时间图像 (简称为速度图像) 是一条直线,

图 2.15 是初速度为零的匀变速运动的速度图像, 图 2.16 是初速度不为零而加速度为正值的匀变速运动的速度图像, 图 2.17 是初速度不为零而加速度为负值的匀变速运动的速度图像. 从匀变速运动的速度图像可以求出任意时刻物体

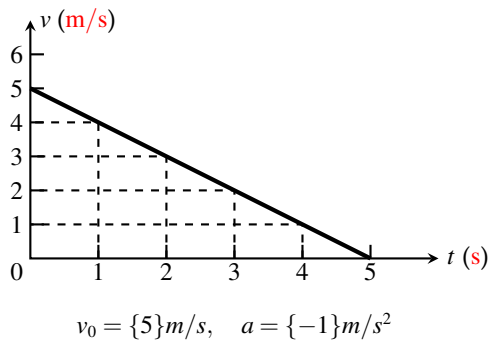
的速度, 例如从图 2.15 可以求出  $4\text{s}$  末的速度是  $10\text{m/s}$ . 从匀变速运动的速度图像也可以求出物体达到某一速度所需的时间. 例如从图 2.16 可以求出速度达到  $8\text{m/s}$  所需的时间是  $4\text{s}$ .



■ 图 2.15

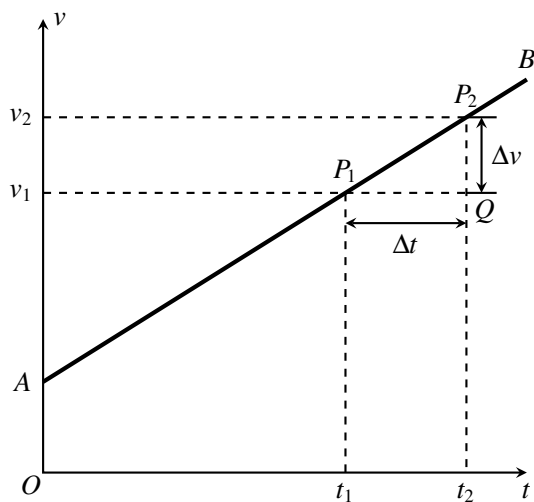


■ 图 2.16



■ 图 2.17

从匀变速运动的速度图像还可以求出加速度. 在图 2.18 所示的速度图像中, 用  $\Delta t$  表示  $t_2 - t_1$ , 用  $\Delta v$  表示  $v_2 - v_1$ , 直线  $AB$  的斜率  $k$  为



■ 图 2.18: 速度图线的斜率

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a \quad (2.8)$$

这就是说, 匀变速直线运动的速度图线的斜率, 等于运动物体的加速度, 在图 2.15 和图 2.16 中,  $\Delta v = v_2 - v_1 > 0$ , 斜率  $k$  为正值, 表示加速度为正值. 在图 2.17 中,  $\Delta v = v_2 - v_1 < 0$ , 斜率  $k$  为负值, 表示加速度为负值. 在同一个坐标平面上, 斜率的绝对值越大, 即直线越陡, 表示加速度的绝对值越大.



## 课后习题 2.5

- 1 机车原来的速度是  $\{36\}km/h$ , 在一段下坡路上加速度为  $\{0.2\}km/h^2$ , 机车行驶到下坡末端, 速度增加到  $\{54\}km/h$ . 求机车通过这段下坡路所用的时间.
- 2 一辆做匀变速运动的汽车, 初速度是  $\{34\}km/h$ ,  $\{4.0\}s$  末速度变为  $\{42\}km/h$ . 如果保持加速度不变,  $\{6.0\}s$  末、 $\{7.0\}s$  末的速度是多大?
- 3 匀变速运动的加速度是  $\{-4\}m/s^2$ . 在某一时刻, 速度为  $\{20\}m/s$ . 试求这一时刻后  $\{4.0\}s$  末和  $\{5.0\}s$  末的速度.

## 第6节 匀变速直线运动的位移

匀变速运动的位移又是怎样随着时间而改变的呢？前面已经讲过，匀速运动的位移可以用它的速度图线和横轴之间的面积求出来。应用这种方法也可以求出做匀变速运动的物体的位移。图 2.19 中的直线  $AP$  是一个做匀变速运动物体的速度图线。为了求出物体在时间  $t$  内的位移，我们把时间  $t$  划分为许多小的时间间隔，设想物体在每一时间间隔内都做匀速运动，而从一个时间间隔到下一个时间间隔，物体的速度跳跃性的突然增加。因此，它的速度图线，由图 2.19 甲中一些平行于横轴的间断线段  $AA'$ ,  $BB'$ ,  $CC'$ , ... 组成。我们知道，匀速运动的位移可以用速度图线和横轴之间的矩形面积来表示，因此上面设想的物体运动在时间  $t$  内的位移，其数值等于图中阶梯状折线  $AA'BB'CC'$  ... 下面画有斜线部分的面积。如某时间的分割再细一些（图 2.19 乙），物体速度的跃变发生得更频繁，它的速度图像就更接近于汽车的真实运动的图像，阶梯状折线和横轴间画有斜线部分的面积数值，就更接近于物体的实际位移，这样不断细分下去，当时间间隔分得足够小时，或者用数学语言来说，当时间间隔无限细分时，间断的阶梯线段就趋近于物体的速度图线；阶梯形折线跟横轴之间的面积，也就趋近于速度图线跟横轴之间的面积。这样我们就得出结论：匀变速运动的位移可以用速度图线和横轴之间的面积来表示。这个结论，不仅对匀变速运动，对一般的变速运动也是适用的。

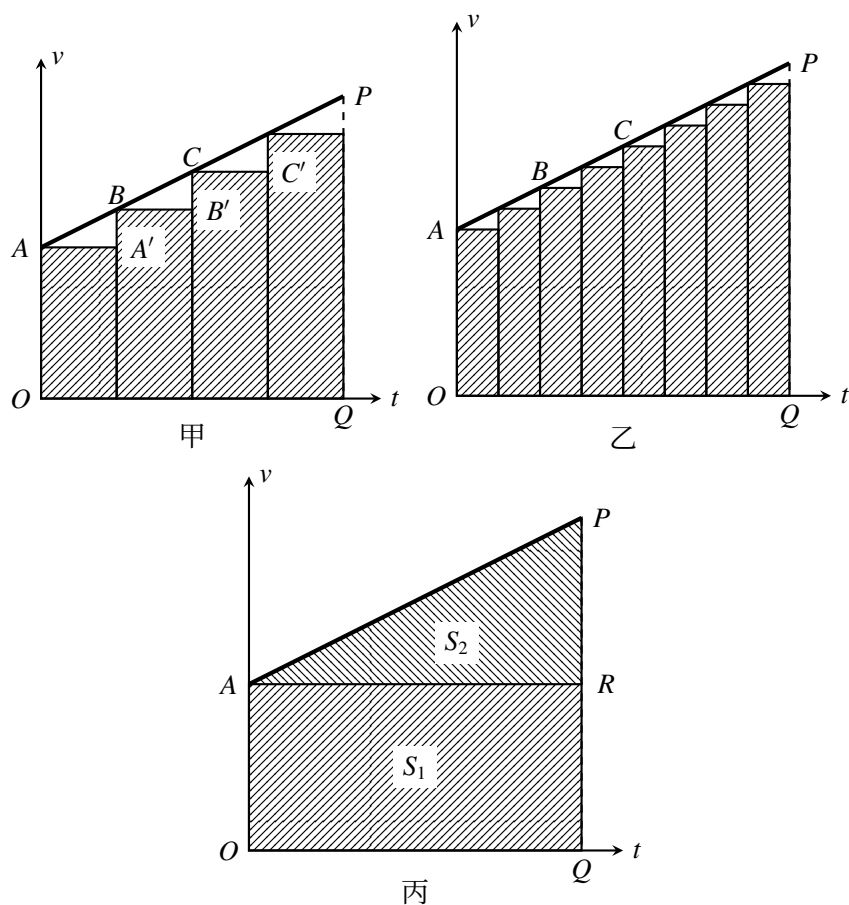


图 2.19: 由匀变速运动的速度图线求位移

由上述讨论可知, 所求的匀变速运动的物体在时间  $t$  内的位移, 等于图 2.19 丙中的梯形  $OAPQ$  的面积  $S$ . 从图中可以看出, 梯形的面积  $S$  等于矩形  $OARQ$  的面积  $S_1$  和直角三角形  $APR$  的面积  $S_2$  之和:

$$S = S_1 + S_2$$

而

$$S_1 = OA \times OQ = v_0 t$$

$$S_2 = \frac{1}{2} AR \times RP = \frac{1}{2} at^2$$

由此可得运动物体在时间  $t$  内的位移为

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (2.9)$$

这个公式叫做匀变速直线运动的**位移公式**。它表示出匀变速运动的位移和时间的关系。根据这个公式，如果已经知道物体的初速度和加速度，就可以求出物体在任何时间内发生的位移，从而可以确定物体在任一时刻的位置。

如果匀变速运动的初速度为零，即  $v_0 = 0$ ，上式就简化成下式：

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2$$

**例题**

**2.6.1**

以  $\{18\}m/s$  的速度行驶的汽车，制动后在  $\{3.0\}s$  内前进  $\{36\}m$ ，求汽车的加速度。

**解答**

在这个问题里，初速度  $v_0$ 、行驶时间  $t$  和行驶的距离  $s$  都是已知的，只要从匀变速运动的位移公式中解出  $a$ ，就可以求出汽车制动时的加速度。由公式  $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$  得

$$\begin{aligned} a &= \frac{2(\Delta x - v_0 t)}{t^2} \\ &= \frac{2(\{36\}m - \{18\}m/s \times \{3.0\}s)}{(3.0)^2 \text{ s}^2} \\ &= \{-4.0\}m/s^2 \end{aligned}$$

汽车的加速度为  $\{-4.0\}m/s^2$ 。负号表明制动产生的加速度的方向与速度的方向相反。





## 课后习题 2.6

- ① 钢球在斜槽上做初速度为零的匀变速运动, 开始运动后  $\{0.2\}s$  内通过的路程是  $\{3.0\}cm$ ,  $\{1\}s$  内通过的路程是多少? 如果斜面长  $\{1.5\}m$ , 钢球由斜面顶端滚到底端需要多长时间?
- ② 飞机着陆后做匀变速运动, 速度逐渐减小, 已知初速度是  $\{60\}m/s$ , 加速度的大小是  $\{6.0\}m/s^2$ , 求飞机着陆后  $\{5.0\}s$  内通过的路程.
- ③ 一辆汽车原来匀速行驶, 然后  $\{1.0\}m/s^2$  的加速度加快行驶, 经  $\{12\}s$  行驶了  $\{180\}m$ . 汽车开始加速时的速度是多大?
- ④ 骑自行车的人以  $\{5.0\}s$  的初速度登上斜坡, 得到  $\{-40\}cm/s^2$  的加速度, 经过  $\{10\}s$ , 在斜坡上通过多长的距离?
- ⑤ 汽车以  $\{36\}km/h$  的速度行驶. 刹车后得到的加速度的大小  $\{4\}m/s^2$ . 从刹车开始, 经过  $\{3\}s$ , 汽车通过的距离是多少?

## 第7节 匀变速运动规律的应用

### 课时

### 1

### 两个基本公式

前两节里我们学习了匀变速直线运动的速度公式和位移公式：

$$v_t = v_0 + at \quad (2.10)$$

$$\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2.11)$$

这是两个基本公式，它们表明了匀变速直线运动的规律，应用它们可以解决匀变速直线运动的各种问题。

当匀变速运动的初速度为零时，上述两个公式分别简化为

$$v_t = at \quad (2.12)$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}at^2 \quad (2.13)$$

当  $a = 0$  时，上述基本公式 (2.12) 和 (2.13) 变为匀速运动的公式：

$$v_t = v_0$$

$$\Delta x = v_0 t$$

其中  $v_t = v_0$  表示物体在任一时刻的速度都与初速度  $v_0$  相同，即物体做匀速运动。

这样，我们看到，一个初速度不为零的匀变速运动，可以看作是在同一条

直线上进行的两个运动合成的：一个是速度为  $v_0$  的匀速运动；一个是初速度为零的匀变速运动。关于一般的运动合成的知识，我们到第四章再讲解。

**例题 2.7.1** 一辆汽车以  $\{36\}km/h$  的速度行驶，司机看到交通红灯后立即刹车，汽车开始做匀变速运动，加速度的大小是  $\{5.0\}m/s^2$ 。从刹车起到停下来，汽车的位移是多大？

**解答** 刹车后速度越来越小，加速度为负值， $a = \{-5.0\}m/s^2$ 。用国际单位制表示各个物理量： $v_0 = \{36\}km/h = \{10\}m/s$ 。汽车最后停下来， $v_t = 0$ 。要求出位移可以用公式 (2.11)，其中  $v_0$  和  $a$  是已知的， $t$  是未知的。要求出  $t$  可以用公式 (2.10)，把  $v_t, v_0, a$  代入公式就得到  $t$ 。从公式 (2.10) 得到

$$t = \frac{v_t - v_0}{a} = \frac{0 - \{10\}m/s}{\{-5.0\}m/s^2} = \{2.0\}s$$

从公式 (2.11) 得到

$$\begin{aligned}\Delta x &= v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \\ &= \{10\}m/s \times \{2.0\}s + \frac{1}{2} \times (\{-5.0\}m/s^2) \times \{4.0\}s^2 \\ &= \{10\}m\end{aligned}$$

一个比较复杂的题目，如这个例题，往往不能只用一个公式从已知量直接求出未知量。这时可以分步来考虑，从未知量出发，考虑要求出它需要哪些别的物理量，而这些物理量哪些是已知的，哪个是未知的；再考虑求出这个未知量又需要知道哪些物理量。这样考虑下去，直到需要知道的物理量都是已知量，再进行计算，就可以求出答案来。

**例题 2.7.2** 一个滑雪的人，从  $\{85\}m$  长的山坡上匀变速滑下，初速度是

$\{1.8\}m/s$ . 末速度是  $\{5.0\}m/s$ , 他通过这段山坡要多长时间?

**解答**

要求出时间  $t$  可以利用公式 (2.10), 式中  $v_t$  和  $v_0$  是已知的,  $a$  是未知的. 但是再利用公式 (2.11) 却不能求出  $a$ , 因为公式 (2.11) 中  $\Delta x$  和  $v_0$  是已知的,  $a$  和  $t$  都是未知的, 怎么办呢? 只要我们善于应用学过的代数知识, 这个问题并不难解决. 公式 (2.10) 和 (2.11) 组成一个方程组, 解这个方程组正好得出两个未知量  $a$  和  $t$ . 本题不要求解出  $a$ , 消去  $a$ , 解出  $t$  来, 就得到了答案.

$$\begin{aligned}v_t &= v_0 + at \\ \Delta x &= v_0 t + \frac{1}{2}at^2\end{aligned}$$

由前式解出  $at = v_t - v_0$ , 代入后式, 得到

$$\begin{aligned}\Delta x &= v_0 t + \frac{1}{2}(v_t - v_0)t \\ &= \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t\end{aligned}$$

解出  $t$ , 代入数值得到

$$t = \frac{2\Delta x}{v_0 + v_t} = \frac{2 \times \{85\}m}{\{1.8\}m/s + \{5.0\}m/s} = \{25\}s$$

我们看到, 例题 4 是分步计算的, 例题 5 是先进进行文字运算, 求出用已知量表达未知量的代数式, 然后代入数值计算的. 后一种解法往往比较简便, 同学们在熟悉分步计算的同时, 要逐步学会利用文字运算来解题.

## 课时

## 2

## 两个有用的推论

从匀变速运动的两个基本公式出发，我们可以得出两个有用的推论。用这两个推论来解题有时比较简便。

第一个推论是速度和位移的关系。由公式 (2.10) 解出

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

把它代入公式 (2.11)，就得到速度和位移的关系式：

$$v_t^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \quad (2.14)$$

当初速度为零时上式变为

$$v_t^2 = 2a\Delta x \quad (2.15)$$

公式 (2.15) 在不知道时间  $t$  的情况用起来很方便。如例题 4 就可以直接用公式 (2.15) 来求解。由公式 (2.15) 得

$$\Delta x = \frac{v_t^2 - v_0^2}{2a} = \frac{0 - (\{10\}m/s)^2}{2 \times (\{-5.0\}m/s^2)} = \{10\}m$$

例题 5 不用公式 (2.10) 和 (2.11) 来求解，也可以用公式 (2.10) 和 (2.15) 来求解，希望同学们自己做一下。

另一个推论是匀变速运动的平均速度。一个做匀变速运动的物体，在时间  $t$  内的位移是  $\Delta x$ ，它在这段时间内的平均速度为

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{t}$$

利用基本公式 (2.10) 和 (2.11) 可以求出平均速度  $\bar{v}$  跟初速度  $v_0$ 、末速度  $v_t$  的关

系. 把公式 (2.10) 代入上式得到

$$\bar{v} = v_0 + \frac{1}{2}at$$

功公式 (2.1) 解出  $at = v_t - v_0$ , 再代入上式即得

$$\bar{v} = \frac{1}{2}(v_0 + v_t) \quad (2.16)$$

上式表明: 在匀变速运动中, 某段时间内的平均速度等于达段时间的初速度和末速度的算术平均值, 要注意这个结论是利用匀变速运动的公式导出的, 所以它只适用于匀变速运动, 对非匀变速运动并不适用.

这样, 我们就可以得到用平均速度来表达的匀变速运动的位移公式:

$$\Delta x = \bar{v}t = \frac{1}{2}(v_0 + v_t)t$$

利用上式来解题有时很方便, 如例题 4 用上式解出  $t$ , 代入数值即得答案. 实际上, 在例题 5 中我们已经推出了上式.

这里我们看到, 一个题目往往可以有不同的解法, 我们应该学会用不同的方法来解题, 并在此基础上选择简便的办法来求解.



### 科学发展史: 伽利略对匀变速运动的研究

伽利略是成功地研究匀变速运动的物理学家, 他提出了匀变速运动的定义, 并且通过实验证明了他所下的定义符合常见的变速运动.

在伽利略的时代, 技术比较落后, 通过直接测定瞬时速度来验证一个物体是否做匀变速运动, 是不可能的. 但是, 伽利略应用巧妙的数学推理, 得出初速度为零的匀变速运动物体经过的距离与所用时间的平方成正比, 即  $s \propto t^2$ . 这样, 只要测出做变速运动的物体经过不同距离所用的时间, 就可以验证这个物体是否在做匀变速运动. 这在当时的条件下是可能做到

的.

伽利略是怎样推出  $s \propto t^2$  的呢? 他的思路大致如下: 先由平均速度  $\bar{v} = s/t$  得出  $s = \bar{v}t$ . 他推断初速度为零、末速度为  $v$  的匀变速运动的平均速度  $\bar{v} = v/2$ , 然后应用这个关系得出  $s = \frac{1}{2}vt$ , 再应用匀变速运动的定义  $a = v/t$  从上式消去  $v$ , 就推导出  $s = \frac{1}{2}at^2$ , 即  $s \propto t^2$ .

伽利略导出这个关系式是很重要的, 通过这个关系式和他提出的匀变速运动的定义, 伽利略实际上发现了匀变速运动的位移和速度的变化规律.

在推出  $s \propto t^2$  以后, 伽利略着手进行实验验证. 他让一个铜球从斜面上滚下, 做了上百次的实验, 终于证明了他得出的匀变速运动规律的正确. 在他写的《两种新科学的对话》一书中, 具体介绍了他的实验方法和过程:

“用一块木料制成长约 12 库比持<sup>a</sup>., 宽半库比特, 厚三指的板条, 在它的上面刻一条比一指略宽的槽, 将这个槽作得很直, 打磨得很光滑, 在槽上裱一层羊皮纸 (也要尽可能的光滑), 取一个坚硬、光滑并且很圆的铜球放在槽中滚动. 将这个木槽的一端抬高一两个库比特使槽倾斜, 就像我要讲的那样把球放在槽顶让它沿着槽滚下, 记录下降的时间, 实验要重复几次, 以便使测得的时间准确到两次测定的结果相差不超过一次脉搏的十分之一. 进行这样的操作, 肯定了我们的观察是可靠的以后, 将球滚下的距离改为槽长的四分之一, 测定下降的时间, 我们发现它准确地等于前者的一半. 下一步, 我们用另一些距离进行试验, 把全长所用的时间与全长的二分之一, 三分之二, 四分之三, 或者其它任何分数所用的时间相比较. 像这样的实验, 我们重复了

整整一百次，结果总是经过的距离与时间的平方成比例，并且在各种不同坡度下进行实验，结果也都是如此……”

在这个实验中，最关键的是测量小球滚下所用的时间。伽利略用的计时器是一架水钟，这是当时最准确的计时装置，对这种装置，伽利略做了如下的描述：

“为了测量时间，我们用了一个放在高处的大的贮水容器，这个容器底部焊着一支直径很小的管子，从它得到很细的水柱，物体每次沿整个槽长或都分槽长滚下的那段时间里，我们将流出的水用小杯子分别收集起来，在一个很准确的天平上称出水的重量；这些重量差及重量比就表明时间差及时间比。”

短短两段文字，不仅叙述了他所使用的仪器设备和实验步骤，而且可以看出伽利略的严格的科学态度，伽利略的实验方法，简单易行，人人都可以做，后人多次重做了他的实验，都证实了他的结论的正确。

现在，我们来总结一下伽利略研究匀变速运动的方法和步骤：

- ① 给出匀变速运动的定义。（假说）
- ② 由匀变速运动的定义出发推导出  $s \propto t^2$  的结果。（推理）
- ③ 用实验来检验推导出的结果是否正确，即用斜面小球实验检验  $s/t^2$  是否是一个恒量。（实验检验）

伽利略的研究方法对于后来的科学研究具有重大的启蒙作用。

<sup>a</sup>库比特：古时欧洲用的一种长度单位，相当于 45.7 厘米





## 课后习题 2.7

- ① 一个做匀变速运动的物体, 初速度为  $\{3.0\}m/s$ , 经过  $\{10\}s$ , 速度变为  $\{9.0\}m/s$ , 它在这  $\{10\}s$  内的平均速度是多大?
- ② 从长  $\{3.0\}m$  的斜面顶端由静止滚下来的小球, 末速度是  $\{2.5\}m/s$ , 求小球滚动所用的时间.
- ③ 一辆汽车以  $\{12\}m/s$  的速度行驶, 走到一个下坡, 得到  $\{0.40\}m/s^2$  的加速度, 汽车通过下坡末端的速度是  $\{16\}m/s$ , 这个下坡的长度是多长?
- ④ 子弹射中墙壁前的速度是  $\{400\}m/s$ , 射到墙壁后穿进墙壁  $\{20\}cm$ , 子弹在墙内的运动可以看作匀变速运动, 求子弹在墙壁内的加速度和运动时间.
- ⑤ 试证明做匀变速运动的物体在一段时间内的平均速度等于这段时间的中间时刻的瞬时速度.

提示: 从这段时间开始的时刻计时, 在该时刻  $t = 0$ , 速度为  $v_0$ . 设这段时间为  $t$ , 物体在这段时间内发生的位移  $\Delta x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ , 利用平均速度的定义式  $\bar{v} = \Delta x/t$ , 求出这段时间内的平均速度, 即可证明. 不用位移公式, 你能不能证明?

注意: 这道题中的结论在学生实验中要用到.

- ⑥ 做匀变速运动的物体, 在各个连续相等时间  $t$  内的位移分别是  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ . 如果加速度是  $a$ , 试证明:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = \dots = x_n - x_{n-1} = at^2$$

提示：从第一个  $t$  秒开始的时刻计时，在该时刻  $t = 0$ ，速度为  $v_0$ ，利用位移公式和速度公式可得：

$$x_1 = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$x_2 = (v_0 + at)t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$x_3 = (v_0 + 2at)t + \frac{1}{2} a t^2$$

.....

反之，如果在任意连续相等的时间内  $x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = \cdots$ ，就可以知道这个运动是匀变速运动，这个结论在下一节和学生实验中要用到。

## 第8节 自由落体运动

课时

1

自由落体运动

物体下落的运动是一种常见的而且重要的运动，挂在线上的重物，如果把线剪断，它在重力的作用下就沿着竖直方向下落。从手中释放的石块，在重力作用下也沿着竖直方向下落，可见物体下落的运动是直线运动。

不同物体的下落运动，情况是否相同呢？

在同一高度同时释放一个金属片和一个纸片，可以看到金属片比纸片下落得快，从这里似乎可以得到结论：物体下落的快慢是由它们的重量决定的，物体越重，下落得越快。十六世纪以前的学者的看法就是这样的。其实这个结论是错误的，它没有考虑空气阻力的影响。纸片比较轻，空气阻力对它的影响比较大，所以才下落得慢。现在我们改变一下实验的作法：把纸片团成一个小纸团，再让它和金属片同时下落。这时纸团受到的空气阻力大为减小，我们可以看到纸团和金属片几乎是同时落地的。



■ 图 2.20: 在没有空气的空间里, 物体下落的快慢相同

拿一个长约  $\{1.5\}m$ , 一端封闭, 另一端有开关的玻璃筒 (图 2.20). 把形状和重量都不同的一些物体, 如金属片、小羽毛、小软木塞、小玻璃球等, 放到这个玻璃筒里. 如果玻璃筒里有空气, 把玻璃筒很快倒立过来以后, 这些物体下落的快慢不相同. 如果把玻璃筒里的空气抽出去, 把玻璃筒很快倒立过来以后, 这些物体下落的快慢就相同了.

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**. 这种运动只有在没有空气的空间里才能发生, 在有空气的空间里. 如果空气阻力的作用比较小, 可以忽略不计, 物体的下落也可以看作是自由落体运动. **不同物体的自由落体运动, 它们的运动情况是相同的.**

直观告诉人们, 自由落体运动是变速运动, 但它是不是一种匀变速运动呢? 下而用实验来研究这个问题.

## 课时

## 2

## 自由落体加速度

图 2.21 是自由落体（小球）的闪光照片，它是每隔  $1/30\text{ s}$  的时间拍摄的，由这张照片可以测出小球在各个连续相等时间里的位移。

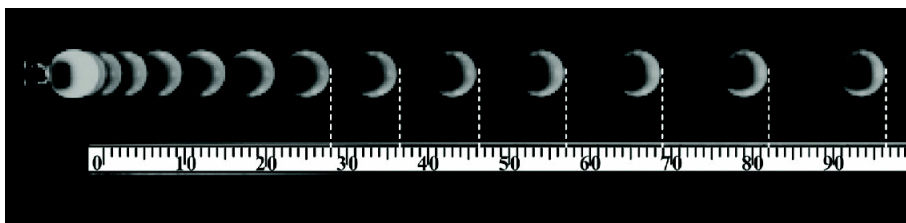


图 2.21: 自由落体的闪光照片

小球最初几个位置比较密集，测量起来误差较大，我们从某个稍大些的位置间隔开始测量，下表第一列是这些间隔的标号，第二列是这些间隔的长度，即小球在各个  $1/30\text{ s}$  内的位移，第三列是后一间隔的长度减去前一间隔的长度所得的结果，这些值在误差范围内可以认为是相等的，从练习九第 6 题知道，这表示小球的下落是匀变速运动，可见，**自由落体运动是初速度为零的匀变速运动。**

不同的自由落体，它们的运动情况相同：它们在做初速度为零的匀变速运动中，在相同的时间内发生相同的位移。由此可以知道，在同一地点，一切物体在自由落体运动中的加速度都相同。这个加速度叫做自由落体加速度，也叫**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，它的大小可以用实验来测定，下表中  $\Delta x$  的平均值是  $\{1.8\}\text{ cm}$ ，利用  $\Delta s = at^2$  就可以求出  $g$  的数值：

间隔编号	$x(\text{cm})$	$\Delta x(\text{cm})$
1	7.7	
2	8.75	1.05
3	9.8	1.05
4	10.85	1.05
5	11.99	1.16
6	13.09	1.10
7	14.18	1.09
8	15.22	1.04
9	16.31	1.09
10	17.45	1.14
11	18.52	1.07

$$g = \frac{\Delta x}{t^2} = \frac{1.08}{(1/30)^2} \text{ cm/s}^2$$

$$= \{9.7\} \text{ m/s}^2$$

其中： $x$  是间隔的长度； $\Delta x$  是后一间隔的长度减去前一间隔的长度。

目前国际上取  $g = \{9.80665\} \text{ m/s}^2$  为重力加速度的标准值，在通常的计算中可以取  $g = \{9.8\} \text{ m/s}^2$  或  $g = \{980\} \text{ cm/s}^2$ 。

根据匀变速运动的公式，可以得出自由落体的速度公式和位移公式

$$v_t = gt \quad (2.17)$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.18)$$

这就是自由落体的运动规律。



## 科学发展史：伽利略对自由落体的研究

古代的学者们认为，物体下落的快慢是由它们的重量决定的，物体越重，下落得越快，生活在公元前四世纪的希腊哲学家亚里士多德最早阐述了这种看法。亚里士多德的论断影响深远，在其后两千多年的时间里，人们一直信奉他的学说。但是这种从表面上的观察得出的结论实际上是错误的，伟大的物理学家伽利略用简单明了的科学推理，巧妙地揭露了亚里士多德的理论内部包含的矛盾，他在1638年写的《两种新科学的对话》一书中指出：根据亚里士多德的论断，一块大石头的下落速度要比一块小石头的下落速度大。假定大石头的下落速度为八，小石头的下落速度为四，当我们把两块石头拴在一起时，下落快的会被下落慢的拖着而减慢，下落慢的会被下落快的拖着而加快，结果整个系统的下落速度应该小于八，但是两块石头拴在一起，总的重量比大石头的重量还要大，因此整体要比轻物体的下落速度大。这样，就从重物比轻物体下落得快的假设，推出了重物比轻物体下落得慢的结论。亚里士多德的理论陷入了自相矛盾的境地。伽利略由此推断重物不会比轻物体下落得快。

伽利略认为自由落体运动是一种匀变速运动，但当时他无法用实验直接证实自己的论断，只好求助于间接证明，伽利略先证明了从斜面上滚下的小球是做匀变速运动，然后把结论外推到斜面倾角增大到 $90^\circ$ 的情况，小球将自由下落，成为自由落体，伽利略认为，这时小球仍然会保持匀变速运动的性质。这种从斜面运动到落体运动的外推，是很巧妙的。不过，用外推法得出的结论，并不一定都是正确的，现代物理研究中也常用外推法，但用这种方法得到的结论都要经过实验的证实才能得到承认。

今天，距离伽利略的时代已有三百多年了，伽利略无法直接用实验来

证实的结论，我们已经可以直接用实验来证实了。



### 课后习题 2.8

- 1 为了测出井口到井里水面的深度，让一个小石块从井口落下，经过  $\{2.0\}s$  后听到石块落到水面的声音，求井口到水面的大约深度（不考虑声音传播所用的时间）。
- 2 一个自由下落的物体，到达地面的速度是  $\{39.2\}m/s$ ，这个物体是从多高落下的？落到地面用了多长时间？
- 3 一个物体从  $\{22.5\}m$  高的地方下落，到达地面时的速度是多大？下落最后  $\{1.0\}s$  内的位移是多大？



## 第9节 竖直上抛运动

将物体用一定的初速度沿竖直方向向上抛出去，物体所做的运动叫做**竖直上抛运动**。竖直上抛的物体，在上升过程中，速度越来越小，加速度的方向跟速度的方向相反，是竖直向下的；当速度减小到零的时候，物体上升到最大高度。然后物体从这个高度自由下落，速度越来越大，加速度的方向跟速度的方向相同，也是竖直向下的，如果不考虑空气的阻力，这两个过程的加速度都是重力加速度  $g$ 。因此，在处理竖直上抛运动的问题时，可以分两步进行计算：上升过程用初速度不为零的匀变速直线运动公式来计算，下降过程用自由落体公式来计算。

由于上升运动和下降运动的加速度矢量是相同的，我们也可以把竖直上抛运动看做是一个统一的匀变速直线运动，而上升运动和下降运动不过是这个统一的运动的两个过程。这样，我们就可以用匀变速运动的速度公式和位移公式来统一讨论竖直上抛运动。在讨论这类问题中，我们习惯上总是取竖直向上的方向作为正方向，重力加速度  $g$  总是取绝对值。这样，竖直上抛运动的速度公式和位移公式通常就写做

$$\begin{aligned}v_t &= v_0 - gt \\ \Delta x &= v_0 t - \frac{1}{2}gt^2\end{aligned}$$

注意：上述公式中的  $t$  是从抛出时刻开始计时的， $\Delta x$  是运动物体对抛出点的位移。

现在我们应用上述公式讨论几个具体问题.

### ① 物体上升的时间

设物体经过时间  $t$ , 上升到最高点, 在这一时刻, 物体是静止的, 由此可得

$$v_0 - gt_1 = 0$$

所以物体上升的时间

$$t_1 = \frac{v_0}{g}$$

### ② 上升的最大高度

物体上升的最大高度, 就是  $t = t_1 = v_0/g$  时的高度, 把这个式子代入位移公式就可以得出物体上升的最大高度  $H$ :

$$H = v_0 t_1 - \frac{1}{2} g t_1^2 = \frac{v_0^2}{2g}$$

### ③ 物体下落的时刻

物体落回到初位置时位移为零, 即  $\Delta x = 0$ . 代入位移公式得

$$\begin{aligned} v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 &= 0 \\ t \left( v_0 - \frac{1}{2} g t \right) &= 0 \end{aligned}$$

所以

$$t = 0, \quad t = \frac{2v_0}{g}$$

$t = 0$  表示物体运动开始时的时刻,  $t = 2v_0/g$  表示物体经过上升和下降过程后落回原地所需的时间. 如果物体下降过程的时间为  $t_2$ , 那么  $t = t_1 + t_2$ , 所以

$$t_2 = t - t_1 = \frac{2v_0}{g} - \frac{v_0}{g} = \frac{v_0}{g}$$

比较  $t_1$  和  $t_2$  可知,  $t_1 = t_2$ . 即物体上升到最大高度所用的时间跟物体从这个高度落回原地所用的时间相等.

#### 4 落地速度

已知落地时间为  $t = 2v_0/g$ , 由公式  $v_t = v_0 - gt$  可以求出落回原地的速度为

$$v_t = v_0 - g \cdot \frac{2v_0}{g} = -v_0$$

可见, 物体落回原地的速度跟抛出的初速度大小相等, 方向相反.

实际上, 在竖直上抛运动中, 不但上升时间等于下落时间, 而且在上升过程中通过某一位置的速度和下落过程中通过这个位置的速度总是大小相等、方向相反的, 有兴趣的同学, 对于后一论断可以自己试做证明.

**例题 2.9.1** 在  $15\text{m}$  高的塔上以  $4\text{m/s}$  的初速度竖直上抛一个石子 (图 2.22), 求经过  $2\text{s}$  后石子离地面的高度. 取  $g = 10\text{m/s}^2$ .

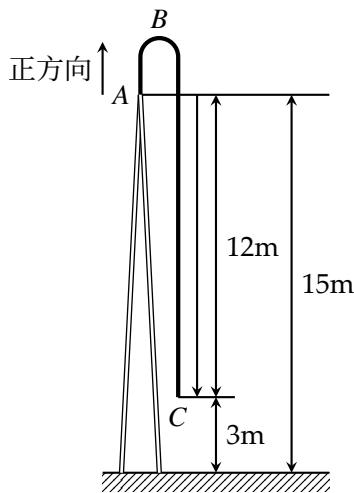


图 2.22: 位移公式的应用

**解答**

用位移公式来计算:

$$\begin{aligned}
 \Delta x &= v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \\
 &= \{4\} m/s \times \{2\} s - \frac{1}{2} \times \{10\} m/s^2 \times \{4\} s^2 \\
 &= \{-12\} m
 \end{aligned}$$

这表示经过  $\{2\}s$  后石子对抛出点的位移的大小是  $\{12\}m$ , 方向是竖直向下的, 即石子经过  $\{2\}s$  后在塔顶下方  $\{12\}m$  处, 因而离地面的高度是

$$\{15\}m - \{12\}m = \{3\}m$$

这个例题同学们也可以分上升运动和下降运动两步来计算, 所得结果是相同的. 显然, 这样分步计算比较麻烦.



### 课后习题 2.9

- ① 在竖直上抛运动中,  $v_t$  与  $v_0$  何时方向相同, 何时相反?  $v_t$  与  $a$  何时方向相同, 何时相反?
- ② 竖直向上射出的箭, 初速度是  $\{35\}m/s$ , 上升的最大高度是多大? 从射出到落回原地一共用多长时间? 落回原地的速度是多大?
- ③ 竖直上抛的物体, 初速度是  $\{30\}m/s$ , 经过  $\{2.0\}s$ 、 $\{3.0\}s$ 、 $\{4.0\}s$ , 物体的位移分别是多大? 通过的路程分别是多大? 各秒末的速度分别是多大?
- ④ 在课文的例题中, 求经过  $\{1.0\}s$  后石子离地面的高度以及石子这时的速度. 先分上升运动和下降运动两步来计算, 再用统一的公式来计算, 并加以比

较.

## 复习题

- ① 什么是参照物？在研究物体的运动时为什么一定要选择参照物？

在什么情况下可以把物体看成质点？在什么情况下不能把物体看成质点？

- ② 什么是位移？位移和路程有什么区别？在什么情况下位移的大小等于路程？

- ③ 什么是匀速直线运动？什么是匀速直线运动的速度？匀速直线运动的位移公式是怎样的？利用位移公式，知道物体的初位置，又知道速度，能不能确定物体在任一时刻的位置？

- ④ 什么是变速直线运动？什么是变速直线运动的平均速度？什么是变速直线运动的瞬时速度？为什么测量平均速度的时间间隔足够短时，得出的平均速度就可以看做是瞬时速度？

- ⑤ 什么是匀变速直线运动？什么是匀变速直线运动的加速度？速度和加速度的区别是什么？

- ⑥ 匀变速直线运动的速度公式和位移公式是什么？利用这两个公式，知道物体的初位置和初速度，又知道加速度，能不能确定物体在任一时刻的位置和速度？匀变速直线运动的两个有用的推论是什么？

- ⑦ 自由落体运动的加速度  $g$  有多大？怎样求出自由落体的下落速度和下落距离？

- 8 已知竖直上抛物体的上抛速度  $v_0$ ，怎样求出它的速度和位移？竖直上抛运动可以分上升运动和下降运动两步来计算，也可以用统一的公式来计算，哪种办法比较简便？

- 9 匀速直线运动的位置图像是一条什么样的图线？怎样从这个图像求出物体的速度？

匀速直线运动的速度图像是一条什么样的图线？怎样从这个图像求出物体的位移？

匀变速直线运动的速度图像是一条什么样的图线？怎样从这个图像求出物体的位移？

- 10 物体的加速度为零时，它的速度是否一定为零？物体的速度为零时，它的加速度是否一定为零？各举一个例子。

- 11 汽车以  $26\text{ m/s}$  的速度行驶了  $2.0\text{ h}$ ，跟目的地还有一半路程，要想在  $40\text{ min}$  矿井里的升降机，从静止开始加速上升，经过  $3.0\text{ s}$  速度达到  $3\text{ m/s}$ ，然后以这个速度匀速上升  $25\text{ s}$ ，最后减速上升，经过  $2.0\text{ s}$  到达井口时，正好停下来，求矿井深度。

- 12 一架飞机以  $7\text{ m/s}^2$  的加速度做匀加速飞行，计算它的速度由  $240\text{ km/h}$  增加到  $600\text{ km/h}$  所发生的位移和所用的时间。

- 13 火车制动后经过  $20\text{ s}$  停下来，在这段时间内前进  $120\text{ m}$ 。求火车开始制动时的速度和火车的加速度。

- 14 汽车从静止开始做匀变速运动，通过一段距离，速度达到  $14\text{ m/s}$ ，汽车通过这段距离的一半时，速度是多大？

- 15 一个物体从塔顶上下落，在到达地面前最后一秒内通过的位移是整个位移的  $\frac{9}{25}$ 。求塔高。
- 16 自由落下的物体在某一点速度是  $\{19.6\}m/s$ ，在另一点的速度是  $\{39.2\}m/s$ 。求这两点间的距离和经过这段距离所用的时间。
- 17 一个竖直上抛的物体，经过  $\{4.0\}s$  落回原地，经过  $\{1.0\}s$ ， $\{2.0\}s$ ， $\{3.0\}s$ ，物体的速度分别是多大？物体的位移分别是多大？通过的路程分别是多长？
- 18 气球以  $\{10\}m/s$  的速度匀速竖直上升，从气球上掉下一个物体，经  $\{17\}s$  到达地面。求物体刚脱离气球时气球的高度。
- 19 初速度为零的匀变速运动，在第  $\{1\}s$  内、第  $\{2\}s$  内、第  $\{3\}s$  内……的位移分别是  $x_I, x_{II}, x_{III}, \dots$ 。试证明： $x_I, x_{II}, x_{III}, \dots$  之比等于从 1 开始的连续奇数之比，即：

$$x_I : x_{II} : x_{III} \cdots = 1 : 3 : 5 \cdots$$

提示：设物体在  $\{1\}s$  内、 $\{2\}s$  内、 $\{3\}s$  内……发生的位移是  $x_1, x_2, x_3, \dots$ ，那么

$$x_I = x_1, x_{II} = x_2 - x_1, x_{III} = x_3 - x_2, \dots$$

- 20 从楼顶上落下一个铅球，通过  $\{1\}m$  高的窗子用了  $\{0.1\}s$  的时间。楼顶比窗台高多少米？

## 运动定律

前一章我们学习了怎样描述物体的运动，但是没有进一步讨论物体为什么做这种或那种运动，要讨论这个问题，必须知道运动和力的关系。这一章我们就来研究运动和力的关系，阐明力是使物体运动状态发生改变的原因，在力学中，只研究物体怎样运动而不涉及运动和力的关系的分科，叫做**运动学**；研究运动和力的关系的分科，叫做**动力学**。

根据动力学的知识，如果知道了物体的受力情况，就可以确定物体的运动状况；或者反过来，如果知道了物体的运动状况，也可以确定物体的受力情况。这样，我们就不但能够描述运动，而且能够创造条件来控制物体的运动，使物体的运动符合人们的要求。

动力学的知识在生产和科学研究中是很重要的，设计各种机器，控制交通工具的速度，研究天体的运动，计算人造卫星的轨道等等，都离不开动力学的知识。

动力学的奠基人是英国科学家牛顿。牛顿在 1687 年出版了他的名著《自然哲学的数学原理》。在这部著作中，牛顿提出了三条运动定律，这三条定律总称为牛顿运动定律，是整个动力学的基础，这一章我们学习的就是牛顿运动定律。



## 列表 a 牛顿第一定律

在初中我们已经学过了牛顿第一定律，这一节我们先回顾一下历史，然后对这个定律本身作一些讨论。

### 条目 1 历史的回顾

远在两千多年以前，人们已经提出了运动和力的关系问题，可是直到伽利略和牛顿 (1642—1727) 时代，才对这个问题给出了正确的答案。

在十七世纪以前，人们普遍认为力是维持物体运动的原因。用力推车，车子才前进，停止用力，车子就要停下来。古希腊的哲学家亚里士多德 (公元前 384—322) 根据这类经验事实得出结论说：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。

在亚里士多德以后的两千年内，动力学一直没有多大进展，直到十七世纪，意大利的著名物理学家伽利略才根据实验揭示了现象的本质，指出了亚里士多德的观点的错况，伽利略发现运动物体之所以会停下来，是因为受到摩擦阻力的缘故。他断言：一旦物体具有某一速度，只要没有加速或减速的原因，这个速度将保持不变，而这种情况只有在摩擦力极小的水平面上才能近似达到。根据这种观点看来，力不是维持物体的运动即维持物体的速度的原因，而是改变物体运动状态即改变物体速度的原因。

伽利略是怎样得到这个结论的呢？伽利略并没有脱离日常经验，而是对经

验进行了分析. 他研究了物体在斜面上的运动, 发现物体沿斜面向下运动, 有加速的原因出现, 速度不断增加, 沿斜面向上运动, 有减速的原因出现, 速度不断减小. 他根据这一事实进行推论, 指出在没有倾斜的不计摩擦水平面上, 物体的运动应当是既没有加速也没有减速, 速度应当是不变的. 当然伽利略知道, 由于物体受到摩擦力的阻碍, 这种水平运动的速度实际上并不是不变的, 摩擦越小, 物体以接近于恒定速度运动的时间就越长. 在没有摩擦的理想情况下, 物体将以恒定的速度持续运动下去.

我们可以用现代的实验设备来近似地验证上述结论, 把物体放在一个水平导轨上, 并设法使物体和导轨之间形成气层, 物体沿这种气垫导轨运动时摩擦很小. 推动一下物体, 可以看到物体沿气垫导轨的运动很接近匀速直线运动.

伽利略还根据下面的理想实验进行推论, 如图 3.1 甲所示, 让小球沿一个斜面从静止滚下来, 小球将滚上另一个斜面. 如果没有摩擦, 小球将上升到原来的高度, 他推论说, 如果减小第二个斜面的倾角 (图 3.1 乙), 小球在这个斜面上达到原来的高度就要通过更长的距离, 继续减小第二个斜面的倾角, 使它最终成为水平面 (图 3.1 丙), 小球就再也达不到原来的高度, 而要沿着水平面以恒定速度持续运动下去.

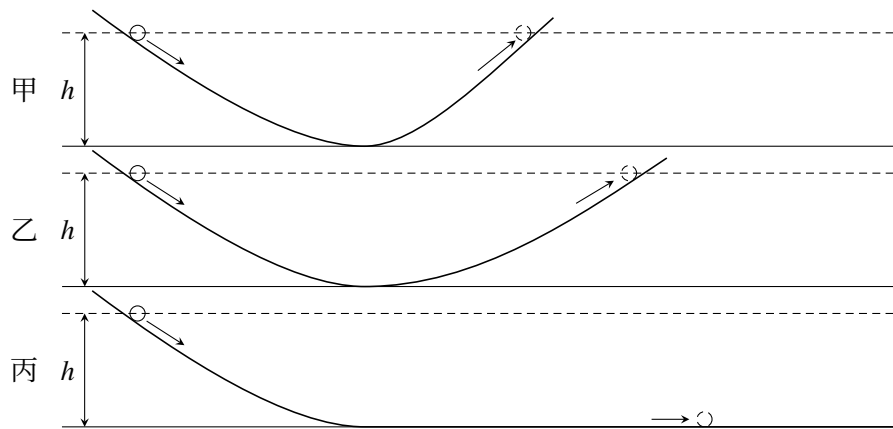


图 A.1: 伽利略的斜面实验

伽利略的实验虽然是想像中的理想实验，但它们是建立在可靠的事实的基础之上的。伽利略把经验事实和抽象思维结合起来，这正是他的工作的卓越之处。由于伽利略细心地研究了理想实验，才使他对动力学做出了重大贡献，这类理想实验在真实的实验基础上，抓住主要因素，忽略次要因素，可以深入地揭示现象的本质，它是科学研究中的一种重要方法。

伽利略时代的法国科学家笛卡尔 (1596—1650) 进一步补充和完善了伽利略的论点，第一次明确地表述了惯性定律。笛卡尔认为：如果没有其他原因，运动的物体将继续以同一速度沿着一条直线运动，既不会停下来，也不会偏离原来的方向。这样，笛卡尔为发展动力学又迈出了重要一步。



## 条目 2

## 牛顿第一定律

牛顿在伽利略等人的研究基础上，并根据他自己的研究，系统地总结了力学的知识，提出了三条运动定律，其中第一条定律的内容是：

**一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止。**

这就是**牛顿第一定律**，物体的这种保持原来的匀速直线运动状态或静止状态的性质叫做**惯性**，牛顿第一定律又叫做**惯性定律**。

汽车里的乘客，当汽车突然开动时，身体要向后面倾倒，这是因为汽车已经开始前进而乘客由于惯性要保持静止状态的缘故，当汽车突然停止时，身体要向前面倾倒，这是因为汽车已经停止而乘客由于惯性要保持原来速度前进的缘故，一切物体都具有惯性，惯性是物体的固有性质，物体的运动并不需要力来维持。

牛顿第一定律所描述的是一种理想化的状态，即物体不受外力作用的状态，

但是，任何物体都和周围的物体有相互作用，不受外力作用的物体是不存在的，物体受到几个力的作用，如果合力为零，即这几个力相互平衡，这时物体的运动状态并不发生改变，我们通常所看到的匀速直线运动状态和静止状态，其实都是物体受到相互平衡的力的作用的结果。



## 阅读材料：爱因斯坦谈运动的问题

有一个基本问题，几千年来都因为它太复杂而含糊不清，这就是运动的问题。……设想有一个静止的物体，没有任何运动，要改变这样一个物体的位置，必须使它受力，如推它，提它，或由其他的物体如马、蒸汽机作用于它，我们的直觉认为运动是与推、提、拉等动作相连的，多次的经验使我们进一步深信，要使一个物体运动得愈快，必须用更大的力推它，结论好像是很自然的：对一个物体的作用愈强，它的速度就愈大。一辆四匹马驾的车比一辆两匹马驾的车运动得快一些。这样，直觉告诉我们，速率主要是跟作用有关。

……

伽利略的发现以及他所应用的科学的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。这个发现告诉我们，根据直接观察所得出的直觉的结论不是常常可靠的，因为它们有时会引到错误的线索上去。

但是直觉错在哪里呢？说一辆四匹马驾的车比一辆两匹马驾的车走得快些难道还会有错吗？

……

假如有人推着一辆小车在平路上行走，然后突然停止推那辆小车，小车不会立刻静止，它还会继续运动一段很短的距离，我们问：怎样才能增加这段距

离呢？这有许多办法，例如在车轮上涂油，把路修得很平滑等。车轮转动得愈容易、路愈平滑，车便可以继续运动得愈远，但是在车轮上涂油和把路修平有什么作用呢？只有一种作用：外部的影响减小了。即车轮里以及车轮与路之间的那种所谓摩擦力的影响减小了，……假想路是绝对平滑的，而车轮也毫无摩擦。那么就没有什么东西阻止小车，而它就会永远运动下去。这个结论是从一个理想实验中得来的，而这个实验实际上是永远无法做到的，因为不可能把所有的外界影响都消除掉，这个理想实验指出了真正建立运动的力学基础的线索。

比较一下对待这个问题的两种方法，我们可以说，根据直觉的观念是这样的：作用愈大，速度便愈大。因此速度本身表明着有没有外力作用于物体之上，伽利略所发现的新线索是：一个物体，假如既没有人去推它、拉它，也没有人用旁的方法去作用于它，或者简单些说，假如没有外力作用于它，此物体将均匀地运动，即沿一直线永远以同样速度运动下去。因此，速度本身并不表明有没有外力作用于物体上。伽利略这个正确的结论隔了一代以后由牛顿把它写成惯性定律。

……

人的思维创造出一直在改变的一个宇宙图景，伽利略对科学的贡献就在于毁灭直觉的观点而用新的观点来代替它。这就是伽利略的发现的重大意义。

——摘自 A·爱因斯坦，L·英费尔德著：《物理学的进化》。这里的标题是编者加的。



## 拓展练习 A.a

- 1 一个球以  $20\text{m/s}$  的速度运动着，而且没有受到力的作用， $5\text{s}$  后它的速度将是多大？
- 2 在行驶的火车里的水平桌面上放着一个小球，当小球突然相对于车厢发生向前运动或者向后运动时，火车的运动状态分别发生了怎样的改变？
- 3 地球从西向东转，为什么我们向上跳起来以后还落到原地，而不落到原地的西边？
- 4 分别举出几个利用惯性和防止惯性的不利影响的例子。

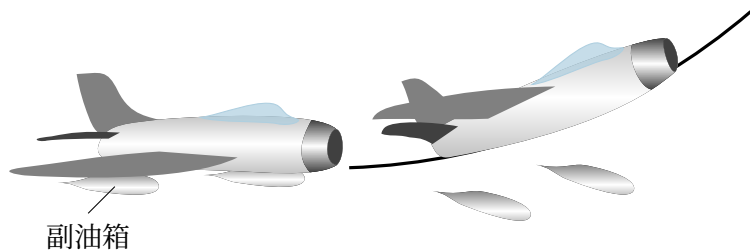
## 列表 b 物体运动状态的改变

牛顿第一定律告诉我们，物体如果没有受到外力作用，它的速度的大小和方向都保持不变，也就是说，物体的运动状态不发生改变，那么怎样才能使物体的运动状态发生改变呢？

列车出站时，由于受到机车牵引力的作用、由静止开始运动，并且速度不断增大；列车进站时，由于受到阻力的作用，速度不断减小，最后停下来，抛出的手榴弹，射出的炮弹，由于受到重力的作用，速度的方向不断改变而做曲线运动，可见，物体的运动状态发生改变，一定是受到外力作用的结果；力是物体运动状态发生改变的原因。物体的运动状态发生改变时，速度的大小和方向发生改变，有了加速度。由此得到结论：**力是使物体产生加速度的原因。**

物体运动状态的改变，不但跟物体所受的外力有关，而且跟物体本身的性质有关，一辆空车和一辆装满货物的车，在相同牵引力的作用下，空车用较短的时间可以达到某一速度，装满货物的车要较长的时间才能达到相同的速度。空车的质量小，产生的加速度大；装满货物的车质量大，产生的加速度小。这说明，质量不同的物体，它们的运动状态的改变的难易程度并不相同，或者说它们的惯性的大小并不相同。在外力相同的情况下，质量大的物体得到的加速度小，它的运动状态难改变，惯性大；质量小的物体得到的加速度大，它的运动状态容易改变，惯性小，这样，我们看到质量在动力学中所起的作用，质量越大，物体的惯性就越大，**质量是物体惯性大小的量度。**





■ 图 A.2: 歼击机在战斗前抛掉副油箱

惯性的大小在实际中是经常要加以考虑的。当我们要求物体的运动状态容易改变时，应该尽可能减小物体的质量，歼击机的质量比运输机、轰炸机小得多，在战斗前还要抛掉副油箱 (图 3.2)，以进一步减小质量，就是为了提高歼击机的灵活性。相反，当我们要求物体的运动状态不易改变时，应该尽可能增大物体的质量，电动抽水站的电动机和水泵都固定在很重的机座上，就是要增大它们的质量，以尽量减小它们的振动或避免因意外的碰撞而移动。

那么，力、质量和加速度之间的关系是怎样的呢？下面我们用实验研究这个问题。



## 列表 c 加速度和力的关系

质量一定时加速度和力的关系是怎样的呢？现在随同老师一起做实验来探讨这个问题。

实验装置如图 3.3 所示，研究对象是图中所示的小车。小车放在不计摩擦的平面上，前端拴着细绳，细绳跨过定滑轮，下面吊着一个砂桶，桶内装砂，当砂和砂桶的总质量远小于小车的总质量时，小车所受的拉力可以认为等于砂和砂桶的总重量。因此，用天平称出砂和砂桶的总质量，算出它们的总重量，就得到小车所受的拉力。小车的后面固定一条穿过打点计时器的纸带，随若小车的运动，打点计时器在纸带上打下一列小点，把小车的运动情况记录下来。

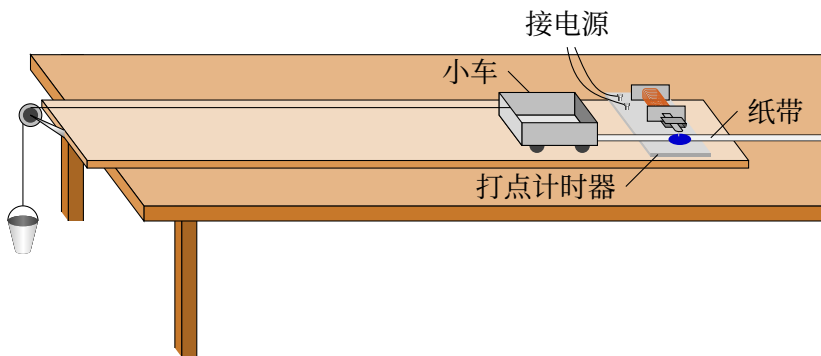


图 A.3: 研究牛顿第二定律的实验装置

每次实验中小车所受的拉力都是恒定的，小车在恒力的作用下，运动情况是怎样的呢？取下纸带，用实验七中所讲的方法来判断小车是否做匀变速运动，实验结果表明：在恒力的作用下，物体做匀变速运动；也就是说，作用力恒定时，加速度是恒定的，课后同学们可以根据自己实验的记录纸带，来判断小车

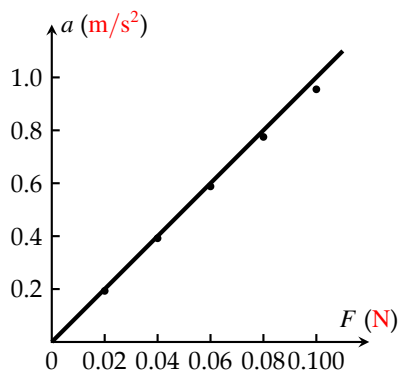
是否做匀变速运动。

在这个实验中还可以进一步求出加速度的大小。加速度的大小可以用实验七中所讲的利用速度图像来求，也可以用下述方法来求，在纸带上的不同部位分别选取几段距离，用实验七的方法分别求出各段的初速度  $v_0$  和末速度  $v_t$ ，利用公式  $a = (v_t - v_0)/t$  分别求出各段的加速度，然后算出平均值作为小车在整个运动过程中的加速度。课后同学们可以根据自己实验的记录纸带算出小车的加速度。

现在来研究加速度和力的关系。保持小车的质量，改变砂桶里的砂量，再做几次实验。在课后根据记录纸带把各次实验中测得的力和加速度的数保列表记录下来，表 3.1 是我们在实验中得到的数据，作为例子放在这里。

■ 表 A.1:  $a - F$  表格

$F(\text{N})$	$a(\text{m/s}^2)$
0.020	0.193
0.040	0.392
0.060	0.588
0.080	0.775
0.100	0.955



■ 图 A.4:  $a - F$  图像

怎样研究这些数据呢？物理实验中最常用的办法是利用图像。取横坐标表示力  $F$ ，纵坐标表示加速度  $a$ ，根据实验数据在坐标平面上画出相应的点，再把这些点连起来作出图像。实验结果表明，得到的图像是一条通过原点的直线(图 3.4)。这说明物体得到的加速度跟物体所受的外力成正比。课后根据你自己的实验数据作出图像，你得到的是什么图像？

力和加速度都是矢量，它们的方向之间的关系是怎样的呢？在我们的实验中，小车所受拉力的方向和小车的运动方向相同，小车的速度不断增大，加速

度的方向也和小车的运动方向相同，由此可知加速度的方向和力的方向是相同的，运动物体在阻力的作用下速度不断减小，这时阻力的方向和运动方向相反，加速度的方向也和运动方向相反，加速度的方向和阻力的方向仍然相同，所以，加速度的方向跟引起这个加速度的力的方向是相同的。总起来说，结论是：

**对质量相同的物体来说，物体的加速度跟物体所受的外力成正比；加速度的方向和外力的方向相同。** 加速度的大小和力的大小的关系，写成公式就是

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

或者

$$a \propto F$$

对于一个确定的物体来说，比如我们从实验确定  $10\text{N}$  的力能产生  $4\text{m/s}^2$  的加速度，那么，根据加速度和力成正比，我们就可以知道任何大小的力对这个物体能产生多大的加速度，如  $15\text{N}$  的力产生  $6\text{m/s}^2$  的加速度， $20\text{N}$  的力产生  $8\text{m/s}^2$  的加速度， $30\text{N}$  的力产生  $12\text{m/s}^2$  的加速度等等。



### 拓展练习 A.c

- 1 根据你的记录纸带，量出有关数值，计算出每次实验的加速度，列出表格，作出  $a-F$  图像。
- 2 利用你自己的数据算出每次实验中  $a$  和  $F$  的比值，看看这些比值是否大致相同？利用这种办法来研究  $a$  和  $F$  的关系，比起用图像来研究，哪种办法方便？
- 3  $5\text{N}$  的力的作用在一个物体上，能使它产生  $2\text{m/s}^2$  的加速度，要使它产生

$5\text{ m/s}^2$  的加速度，需要多少牛的力？

## 列表 d 加速度和质量的关系

外力一定时，加速度跟质量的关系又是怎样的呢？还是随同老师一起做实验来探讨这个问题。

仍旧用上一节所用的实验装置。保持砂桶里的砂量不变，在小车上放砝码，改变运动物体的质量，用天平称出小车的质量，加上所放砝码的质量，就是运动物体的质量。

放开小车，用打点计时器在纸带上打点。研究纸带上的点，求出小车的加速度，改变运动物体的质量，再做几次实验把各次实验中测得的加速度和质量的数据列表记录下来，表 3.2 是我们在实验中测得的数据，作为例子写在这里。

表 A.2:  $a - m$  表格

$m(\text{kg})$	$a(\text{m/s}^2)$
0.300	1.20
0.400	0.92
0.500	0.81
0.600	0.71
0.700	0.62

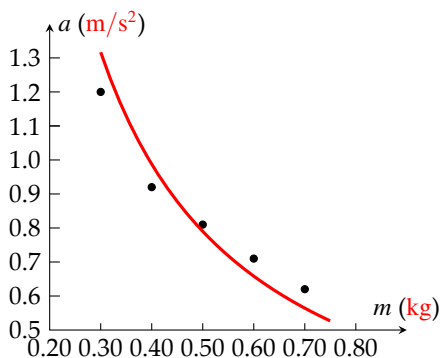
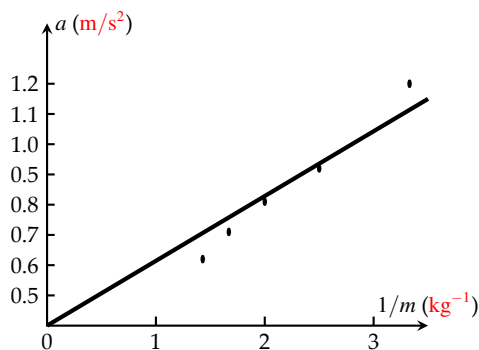


图 A.5:  $a - m$  图像

用图像来处理上面的数据。取横坐标表示质量  $m$ ，纵坐标表示加速度  $a$ ，根据实验数据作出图像。我们看到，画出的图像是一条曲线 (图 3.5)。我们很难从这个图像得到  $a$  和  $m$  是什么定量关系。

■ 表 A.3:  $a - 1/m$  表格

$1/m (\text{kg}^{-1})$	$a (\text{m/s}^2)$
3.33	1.20
2.50	0.92
2.00	0.81
1.67	0.71
1.43	0.62

■ 图 A.6:  $a - 1/m$  图像

想想看，怎样才能找出这个定量关系？能不能设法让所画的图像是一条直线呢？从  $a - m$  图像可以看出其中一个量增加，另一个量减小，于是猜想  $a$  和  $m$  可能是反比关系。现在改变一下作图方法，取横坐标表示  $1/m$ ，纵坐标表示  $a$ ，看看图像是怎样的。为此需要算出  $1/m$  的数值，表 3.3 是  $1/m$  和相应的  $a$  的数据。实验结果表明，得到的图像正是一条通过原点的直线 (图 3.6)，这表明我们的猜想是正确的，课后同学们可以根据自己实验的数据，作出  $a - 1/m$  图像。你得到的图像是一条直线吗？

我们从实验中得到的结论是：**在相同外力作用下，加速度跟质量成反比。**写成公式就是

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

或者

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

对于一个确定的力来说，如果我们知道这个力作用在已知质量的物体上产出多大加速度，根据加速度和质量成反比，我们就可以知道这个力对任何质量的物体产生多大加速度。比如一个力作用在 **1 kg** 的物体上产生  **$10 \text{ m/s}^2$**  的加速度，那么，这个力作用在 **2 kg** 的物体上就产生  **$5 \text{ m/s}^2$**  的加速度，作用在 **5 kg** 的物体上就产生  **$2 \text{ m/s}^2$**  的加速度等等。



## 拓展练习 A.d

- ① 根据你的记录纸带，量出有关数值，计算出每次实验的加速度，列出表格，作出  $a - 1/m$  图像。
- ② 利用你自己的数据算出每次实验中  $m$  和  $a$  的乘积，看看乘积的数值是否大致相同？你由此能得出什么结论？利用这种办法来研究  $a$  和  $m$  的关系，比起用图像来研究，哪种办法方便？
- ③ 你已经用图像研究了  $a$  和  $F$ 、 $a$  和  $m$  的关系，谈谈用图像处理实验数据的好处。
- ④ 一辆卡车在空载时质量是  $3.5 \times 10^3 \text{ kg}$ ，载货时的质量是  $6.0 \times 10^3 \text{ kg}$  用同样大小的牵引力，如果空载时使卡车产生  $1.5 \text{ m/s}^2$  的加速度，载货时产生多大的加速度？(不考虑阻力)

## 列表 e 牛顿第二定律

### 条目 1 牛顿第二定律及其公式

总结前两节的结果，关于加速度跟力和质量的关系，我们得到下述结论：

**物体的加速度跟物体所受的外力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向和外力的方向相同。这就是牛顿第二定律。**

牛顿第二定律说明，只有受到外力的作用，物体才具有加速度。外力停止作用，加速度随即消失。在持续不断的恒定外力作用下，物体具有持续不断的恒定加速度。外力随着时间而改变，加速度就随着时间而改变。

牛顿第二定律写成公式就是

$$a \propto \frac{F}{m} \quad \text{或者} \quad F \propto ma$$

上式可改写成为等式  $F = kma$ ，其中  $k$  是比例常数。如果质量、加速度和力的单位选择适当，可以使  $k = 1$ ，公式得到简化。在国际单位制中，质量的单位是 **kg**，加速度的单位是 **m/s<sup>2</sup>**，力的单位牛顿就是根据牛顿第二定律规定的：使质量是 **1 kg** 的物体产生 **1 m/s<sup>2</sup>** 的加速度的力，叫做 **1 N**。根据这个规定，

$$1 \text{ N} = k[1 \text{ kg}][1 \text{ m/s}^2] = k \times 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$$



可见, 如果  $m$ ,  $a$  和  $F$  都用国际单位制的单位, 则  $k = 1$ , 而且

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 \quad (\text{A.1})$$

牛顿第二定律的公式简化为

$$F = ma \quad (\text{A.2})$$



## 条目 2

## 力的独立作用原理

上面讲的是物体受到一个力作用的情况, 物体受到几个力的作用时, 情况又是怎样的呢? 当物体受到几个力的作用时, 每个力各自独立地使物体产生一个加速度, 就像其他的力不存在一样, 这个性质叫做**力的独立作用原理**. 因此物体受到几个力的作用, 就产生几个加速度, 物体实际的加速度就是这几个加速度的矢量和.

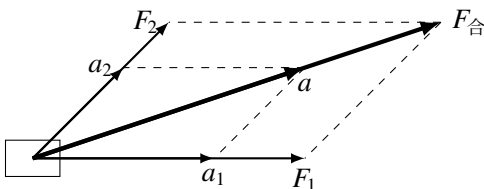


图 A.7

如图 3.7 所示, 设物体受到两个力  $F_1$  和  $F_2$  的作用, 它们各自独立地产生两个加速度  $a_1$  和  $a_2$ , 物体实际的加速度  $a$  就是按照平行四边形法则求出的这两个加速度的矢量和, 如果再按照平行四边形法则求出力  $F_1$  和  $F_2$  的合力  $F_{\text{合}}$ , 就可以看出加速度  $a$  的方向是跟合力  $F_{\text{合}}$  的方向相同的. 由于  $a_1 = F_1/m$ ,  $a_2 = F_2/m$ , 所以从图 3.7 不难得到  $a = \frac{F_{\text{合}}}{m}$ . 可见加速度跟合外力成正比, 跟物体的质量成反比. 上述结论显然可以推广到物体受到两个以上的力的情况.

这样, 我们可以把牛顿第二定律进一步表述如下:

物体的加速度跟所受外力的合力成正比，跟物体的质量成反比，加速度的方向跟合外力的方向相同。

牛顿第二定律的公式可以写成

$$F_{\text{合}} = ma \quad (\text{A.3})$$



### 拓展练习 A.e

- ① 从牛顿第二定律知道，无论怎样小的力都可以使物体产生加速度，可是我们用力提一个很重的物体时，却提不动它。这跟牛顿第二定律有无矛盾，为什么？
- ② 要把一个箱子在地板上从这一端推到另一端，我们在全部时间内都必须用力推它，停止用力，箱子就会停下来。马必须用力拉车，车子才前进，停止用力，车子就会停下来。亚里士多德怎样解释上述现象？根据牛顿运动定律应该怎样解释？
- ③ 一个物体受到一个逐渐减小的力的作用，力的方向跟速度的方向相同，物体的速度怎样改变？
- ④ (a) 质量是  $0.5\text{ kg}$  的物体在一个恒力的作用下得到  $0.1\text{ m/s}^2$  的加速度，这个恒力是多大？  
(b)  $10\text{ N}$  的力使一个物体得到  $2.0\text{ m/s}^2$  的加速度，这个物体的质量是多大？  
(c) 质量是  $0.1\text{ kg}$  的物体，在  $5\text{ N}$  的恒力作用下，得到多大的加速度？
- ⑤ 质量是  $1.0\text{ kg}$  的物体受到互成  $30^\circ$  角的两个力的作用，这两个力都是  $10\text{ N}$ ，这个物体产生的加速度是多大？

6 下列说法是否正确：

- (a) 物体的速度越大，表明物体所受的合外力越大.
- (b) 根据  $F_{\text{合}} = ma$ ，得到  $m = F_{\text{合}}/a$ ，所以物体的质量跟物体所受的合外力成正比.
- (c) 物体所受合外力越大，速度变化越大.

## 列表 f 质量和重量

我们在初中已经学过质量和重量，并且初步讨论了它们的区别和联系。学过牛顿运动定律之后，对这个问题就会有进一步的认识了。

我们知道，质量是物体惯性大小的量度。质量是没有方向的，是标量，重量是一种力，它是由于地球吸引而产生的，是使物体产生重力加速度的原因。跟所有的力一样，重力是有方向的，是矢量。质量和重量的这种不同，在日常现象中也是能够区别的。例如用手托着一个重球，我们感觉到球对手有压力，那是因为球有重量的缘故。在水平面上加速这个重球，我们必须用力，那是因为球有质量的缘故。

如果用  $G$  表示物体的重量，用  $m$  表示物体的质量，用  $g$  表示重力加速度，那么，根据牛顿第二定律就得到

$$G = mg$$

这就是质量和重量的关系式。在这个公式中，如果质量用  $\text{kg}$  作单位，重力加速度用  $\text{m/s}^2$  作单位，重量就要用  $\text{N}$  作单位，例如物体的质量  $m = 5.0\text{kg}$ ， $g = 9.8\text{m/s}^2$ ，它的重量

$$G = 5.0\text{kg} \times 9.8\text{m/s}^2 = 49\text{N}$$

上述质量和重量的关系式  $G = mg$ ，我们在初中已经见过，那时我们讲的是  $g = 9.8\text{N/kg}$ ，因为  $1\text{N} = 1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$ ，所以不难证明： $9.8\text{N/kg} = 9.8\text{m/s}^2$ 。

一个物体不论在什么地方质量都是相同的，物体的质量是一个恒量。实验

表明：物体的重量并不是一个恒量；同一个物体，在地球上不同地方的重量是不同的，从上式就可以知道，地球上不同的地方，重力加速度  $g$  是不同的，下表是一些地点的重力加速度的数值，至于各地的  $g$  值不同的原因，将在第五章加以说明。

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

■ 表 A.4: 重力加速度的数值 ( $\text{m/s}^2$ )，标准值： $g = 9.80665 \text{ m/s}^2$

应该说明的是，同一物体在地球上不同的地方重量虽然不同，但相差是很小的，最多只有千分之几，例如国际标准千克，在北极的重量是9.832 16 N，在赤道的重量是9.780 304 N。因此，在一般情况下可以不考虑这个差别，而认为质量是1 kg的物体在地球上任何地方的重量都是9.8 N。这跟在一般情况下可以不考虑重力加速度  $g$  在地球上不同地方的差别，而总是取  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  是一样的。

在地球上同一个地方，各个物体的重力加速度是相同的。设在地球上某个地方有两个物体，它们的重量分别是  $G_1$  和  $G_2$ ，质量分别是  $m_1$  和  $m_2$ ，从上述公式得到

$$\frac{G_1}{G_2} = \frac{m_1}{m_2}$$

这就是说，在地球上任一地方，一个物体的重量是另一个的几倍，它的质量也是另一个的几倍；如果两个物体的重量相等，它们的质量也相等。天平就是利

用这个道理称出物体的质量的。

由于历史上的原因，人们在日常生活和生产技术中常用千克力作重量或力的单位，千克力这个单位原来是指质量为 $1\text{ kg}$ 的物体的重量。但同一物体在地球上不同地方重量不完全一样，那么， $1$  千克力到底是多大的力呢？为了解决这个问题，人们规定了千克力的严格定义是

$$1\text{ kgf} = 9.80665\text{ N}$$

为了计算方便，通常取

$$1\text{ kgf} = 9.8\text{ N}$$

这就是我们在第一章一开始讲过的换算关系。



### 拓展练习 A.f

- ① 先后在广州和北京用天平来称量同一个物体，得到的结果是否相同？如果先后用弹簧秤来称量，得到的结果是否相同？说明理由。
- ② 一个学生认为半块砖的重力加速度是整块砖的重力加速度的两倍，因为半块砖的质量是整块砖的质量的一半。另一个学生认为半块砖的重力加速度是整块砖的重力加速度的一半，因为半块砖的重量是整块砖的重量的一半。他们的说法对不对？为什么？
- ③ 北京的重力加速度为 $980.1\text{ cm/s}^2$ 。质量是 $1\text{ kg}$ 的物体在北京的重量是多少牛？
- ④ 有一架仪器，质量是 $3.0\text{ kg}$ ，把它射到月球上，这架仪器的质量是否改变？它在月球上的重量是多少牛？月球表面的  $g$  取 $1.6\text{ m/s}^2$ 。

- 5 仔细看看课文中重力加速度的数值表，从中你可以得到什么结论？
- 6 据说以前有个商人，从荷兰那里把5000 t的货物运往非洲靠近赤道的某个港口，发现货物少了19 t. 在荷兰和非洲，都是用托盘弹簧秤来称量货物的，你根据书中所列  $g$  的数值和荷兰的地理纬度，大致估算一下货物的重量是否会差这么多.

## 列表 g 力学单位制

### 条目 1 单位制

用公式  $v = \Delta x/t$  来求速度的时候, 如果位移用 **m** 作单位, 时间用 **s** 作单位求出的速度一定要用 **m/s** 作单位. 同样, 用公式  $F = ma$  来求力的时候, 如果质量用 **kg** 作单位, 加速度用 **m/s<sup>2</sup>** 作单位, 求出的力一定要用 **N** 作单位.

可见物理公式在确定物理量的数量关系的同时, 也确定了物理量的单位关系. 因此, 我们可以选定几个物理量的单位作为基本单位, 根据物理公式中其他物理量和这几个物理量的关系, 推导出其他物理量的单位. 例如选定位移的单位 (**m**) 和时间的单位 (**s**), 利用公式  $v = \Delta x/t$  可以推导出速度的单位 (**m/s**), 再利用公式  $a = (v_t - v_0)/t$  可以推导出加速度的单位 (**m/s<sup>2</sup>**). 如果再选定质量的单位 (**kg**), 利用公式  $F = ma$  就可以推导出力的单位 (**kg·m/s<sup>2</sup>** 即牛顿). 这些推导出来的单位叫做**导出单位**. 基本单位和导出单位一起组成了**单位制**.

在力学中, 我们选定长度、质量和时间三个物理量的单位作为基本单位, 就可以导出其余的物理量的单位. 选定这三个物理量的不同单位, 可以组成不同的力学单位制. 在国际单位制中, 取米 (长度单位)、千克 (质量单位)、秒 (时间单位) 作为基本单位, 本书基本采用这种单位制.

在力学单位制中, 除了国际单位制外, 现在还有使用厘米·克·秒制的, 这种单位制取厘米 (长度单位)、克 (质量单位)、秒 (时间单位) 作为本单位. 在这



种单位制中，速度的单位是 $\text{cm/s}$ ，加速度的单位是 $\text{cm/s}^2$ ，力的单位叫做达因。

$$1 \text{ dyn} = 1 \text{ g} \cdot \text{cm/s}^2$$



## 条目 2

## 单位制在物理计算中的作用

掌握单位制的知识对于物理计算是很重要的。计算的时候，如果所有的已知量都用同一种单位制的单位来表示，那么，只要正确地应用物理公式，计算的结果就总是用这个单位制中的单位来表示的。

现在我们用国际单位制来计算一个题目：一个原来静止的物体，质量是 $7.0 \text{ kg}$ 受到 $14 \text{ N}$ 的力的作用，求物体的加速度和 $5.0 \text{ s}$ 末的速度。

利用公式  $F = ma$  求出  $a$ ，再用公式  $v_t = at$  求出  $v_t$ ：

$$a = \frac{F}{m} = \frac{14 \text{ N}}{7.0 \text{ kg}} = \frac{14 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{7.0 \text{ kg}} = 2.0 \text{ m/s}^2$$

$$v_t = at = 2.0 \text{ m/s}^2 \times 5.0 \text{ s} = 10 \text{ m/s}$$

我们看到，题中的已知量都用国际单位制的单位来表示，得到的答案也是用国际单位制的单位来表示的。既然如此，解题时就没有必要在计算过程中一一写出各个量的单位，只在最后标出所求量的单位就行了。今后我们解题一般都采用国际单位制。



## 拓展练习 A.g

- ① 在厘米·克·秒制中，力的单位达因是这样定义的：使质量是 1 克的物体产生  $1 \text{ cm/s}^2$  的加速度的力，叫做 1 达因。试证明：  $1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$ 。
- ② 有两个力，一个是 100 达因，一个是  $20 \text{ N}$ ，哪个力大？大的是小的的多少倍？
- ③ 一个原来静止的物体，质量是  $600 \text{ g}$ ，受到  $0.2 \text{ N}$  的力的作用，求物体在  $3.0 \text{ s}$  末的速度。先用国际单位制计算，再用厘米·克·秒制计算。
- ④ 从炮筒射出的炮弹，质量是  $10 \text{ kg}$ ，速度是  $1.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，炮弹在炮筒内运动的时间是  $4.0 \times 10^{-8} \text{ s}$ 。求火药爆炸所生气体对炮弹的平均压力。

## 列表 h 牛顿运动定律的应用 (一)

牛顿第二定律确定了力和加速度的关系. 因此, 已知物体的受力情况, 可以求出加速度. 如果再知道物体的初始条件——初速度和初位置, 根据运动学公式就可以求出物体在任意时刻的位置和速度. 这样, 已知物体的受力情况, 就可以确定物体的运动情况. 这是力学所要解决的一方面的问题.

**附录 例题 A.h.1** 一个静止在平面上的物体, 质量是 $2.0\text{ kg}$ , 在水平方向受到 $4.4\text{ N}$ 的拉力, 物体跟平面的滑动摩擦力是 $2.2\text{ N}$ . 求物体 $4.0\text{ s}$ 末的速度和 $4.0\text{ s}$ 内发生的位移.

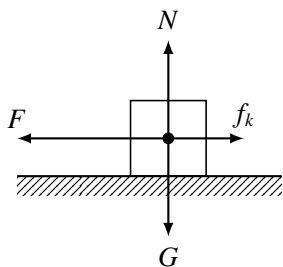


图 A.8

**解答** 这个题目就是根据已知的受力情况来求物体的运动情况. 物体受到四个力的作用 (图 3.8): 水平拉力  $F$ , 滑动摩擦力  $f_k$ , 物体的重量  $G$ , 平面的支持力  $N$ . 物体在竖直方向没有加速度, 重力  $G$  和支持力  $N$  大小相等, 方向相反, 彼此平衡. 合外力就是水平方向的外力  $F$  和  $f_k$  的合力. 这里顺便提一下: 像本题这样, 物体在水平面上运动, 而且水平方向的滑动摩擦力已经给出, 不需要

根据竖直方向的压力来求, 我们就可以只考虑水平方向的力, 不再考虑竖直方向的彼此平衡的力.

取水平向左的方向作为正方向, 则  $F_{\text{合}} = F - f_k$ , 根据牛顿第二定律就有

$$a = \frac{F - f_k}{m} = \frac{4.4 - 2.2}{2.0} \text{ m/s}^2 = 1.1 \text{ m/s}^2$$

物体的初速度  $v_0 = 0$ , 将  $a$  值代入公式  $v_t = at$ ,  $\Delta x = \frac{1}{2}at^2$  中即可求出 4.0 s 末的速度和 4.0 s 内发生的位移:

$$v_t = at = 1.1 \times 4.0 \text{ m/s} = 4.4 \text{ m/s}$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \times 1.1 \times (4.0)^2 \text{ m} = 8.8 \text{ m}$$

算出的  $a, v_t, \Delta x$  都是正值, 表示它们的方向都是水平向左的, 与  $F$  的方向相同, 即物体水平向左做初速度为零的匀变速运动.

### 附录 例题

**A.h.2**

一个滑雪的人从静止开始沿山坡滑下, 山坡的倾角是  $30^\circ$ , 滑雪板和雪地的滑动摩擦系数是 0.04. 求 5.0 s 内滑下的路程.

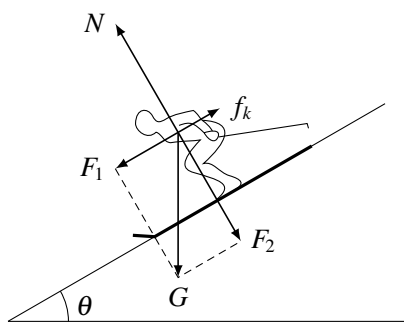


图 A.9

### 解答

滑雪的人受到三个力 (图 3.9): 重力  $G$ , 山坡的支持力  $N$ , 滑动摩擦力  $f$ . 把重力  $G = mg$  沿着平行于山坡方向和垂直于山坡方向分解成两个力  $F_1$

和  $F_2$ , 它们的大小是

$$F_1 = mg \sin \theta, \quad F_2 = mg \cos \theta$$

滑雪人在垂直于山坡方向没有加速度, 力  $N$  和  $F_2$  大小相等, 方向相反. 滑动摩擦力的大小是

$$f_k = \mu N = \mu mg \cos \theta$$

合外力就是平行于山坡方向的力  $F_1$  和  $f$  的合力, 滑雪的人在这个合外力的作用下沿山坡向下做初速度为零的匀变速运动.

用公式  $F_{\text{合}} = ma$  求出  $a$ , 再用公式  $\Delta x = \frac{1}{2}at^2$ , 即可求出位移  $\Delta x$ , 即滑下的路程. 取与山坡平行而向下的方向作为正方向, 我们得到:

$$\begin{aligned} a &= \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{F_1 - f_k}{m} \\ &= \frac{mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta}{m} = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) \\ \Delta x &= \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2}gt^2(\sin \theta - \mu \cos \theta) \\ &= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 5.0^2 \times \left( \frac{1}{2} - 0.04 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \text{ m} \\ &= 57 \text{ m} \end{aligned}$$

运动学的任务是描述物体的运动, 只说明物体怎样运动, 不讨论物体为什么会做这种或那种运动. 学过动力学以后, 如果已知物体的受力情况, 我们就可以确定物体的运动情况. 这里还是限于直线运动, 下一章就要扩展到曲线运动. 牛顿运动定律同样适用于曲线运动, 例如指挥宇宙飞船飞行的科学工作者, 他们知道飞船的受力情况, 也知道飞船的初速度和初位置, 因而他们能够确定飞船在任意时刻的位置和速度. 他们解决问题的思路跟我们这里讲的是一样的,

只是计算相当复杂，要用电子计算机进行。



### 拓展练习 A.h

- 1 一个质量是 $100\text{ g}$ 的运动物体，初速度是 $0.5\text{ m/s}$ ，受到的力是 $2.0\text{ N}$ ，力的方向跟速度方向相同。求 $3.0\text{ s}$ 末的速度。
- 2 一个原来静止的物体受到互成  $60^\circ$  角的两个力的作用，这两个力的大小都是 $50\text{ N}$ ，物体的质量是 $2.0\text{ kg}$ ，求  $3.0\text{ s}$ 内物体发生的位移。
- 3 一个放在桌面上的木块，质量是 $0.10\text{ kg}$ ，在水平方向受到 $0.06\text{ N}$ 的力，木块和桌面的滑动摩擦力是 $0.02\text{ N}$ 。求木块通过 $1.8\text{ m}$ 所用的时间。
- 4 一物体的质量是 $10\text{ kg}$ ，在 $40\text{ N}$ 的水平拉力作用下沿桌面从静止开始运动，物体和桌面的滑动摩擦系数为  $0.20$ 。如果在物体运动后的第 $5\text{ s}$ 末把水平拉力撤除，算一算，一直到运动停止，物体一共走多远。
- 5 质量为 $10\text{ kg}$ 的物体沿长 $5\text{ m}$ 、高 $2.5\text{ m}$ 的斜面由静止匀变速下滑，物体和斜面间的滑动摩擦系数为  $0.30$ 。物体的加速度多大？物体从斜面顶端下滑到底端需要多长时间？

## 列表 i 牛顿运动定律的应用 (二)

上一节讲了, 已知物体的受力情况, 可以确定物体的运动情况. 与此相反, 如果已知物体的运动情况, 根据运动学公式求出物体的加速度, 也可以根据牛顿第二定律确定物体所受的外力. 这是力学所要解决的又一方面的问题.

**附录 例题 A.i.1** 1000t 的列车由车站出发做匀变速运动, 列车经过 100s 通过 1000m 的路程, 求机车的牵引力. 已知运动阻力是车重的 0.005 倍.

**解答** 在这道题目里物体的运动情况是已知的: 列车做初速度为零的匀变速运动, 100s 通过了 1000m 的路程, 即位移为 1000m. 取列车前进的方向为正方向, 列车的加速度可以用公式  $\Delta x = \frac{1}{2}at^2$  求出, 即

$$a = \frac{2\Delta x}{t^2} = \frac{2 \times 1000}{100^2} \text{ m/s}^2 = 0.2 \text{ m/s}^2$$

列车在水平方向受两个力的作用: 牵引力  $F$  和阻力  $f$ . 已知阻力的大小

$$f = 10^6 \times 9.8 \times 5 \times 10^{-3} \text{ N} = 4.9 \times 10^4 \text{ N}$$

根据牛顿第二定律  $F_{\text{合}} = F - f = ma$  就可以求出  $F$ :

$$\begin{aligned} F &= f + ma \\ &= 4.9 \times 10^4 \text{ N} + 10^6 \times 0.2 \text{ N} \\ &= 2.49 \times 10^5 \text{ N} \end{aligned}$$

$F$  为正值表示牵引力方向和所取正方向即列车前进的方向相同.

**附录例题 A.i.2** 在汽车中的悬线上挂一个小球, 实验表明, 当汽车做匀变速运动时, 悬线将不在竖直方向, 而与竖直方向成某一固定角度 (图 3.10). 已知小球的质量是  $30\text{ g}$ , 汽车的加速度为  $5.0\text{ m/s}^2$ , 求悬线对小球的拉力.

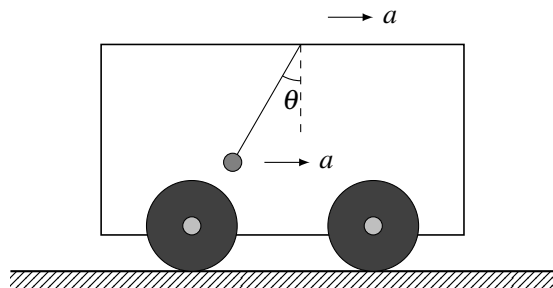


图 A.10

**解答** 在解这个问题时, 我们以小球为研究对象, 小球的受力图如图 3.11 所示.

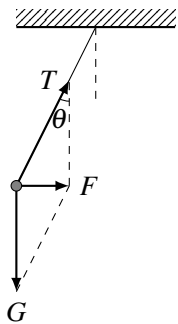


图 A.11

它的运动情况是已知的. 因为小球随着汽车一起做匀变速运动, 所以汽车的加速度  $a$  就是小球的加速度. 小球的受力情况是: 受重力  $G$  和绳的拉力  $T$  的作用. 小球除了受到这两个力以外, 周围再也没有别的物体对小球施加什么力了. 小球的加速度  $a$  正是由于  $G$  和  $T$  这两个力的合力  $F$  引起的, 根据牛顿第二



定律知道, 这个合力的方向一定与小球加速度的方向相同, 而且  $F = ma$ . 已知合力  $F$ , 又知道一个分力  $G = mg$ , 利用平行四边形法则不难求出另一个分力  $T$ :

$$\begin{aligned} T^2 &= F^2 + G^2 = (ma)^2 + (mg)^2 \\ T &= m\sqrt{a^2 + g^2} \\ &= 0.030\sqrt{5.0^2 + 9.8^2} \text{ N} = 0.33 \text{ N} \end{aligned}$$

拉力  $T$  的方向可以用悬线与竖直方向的角度  $\theta$  表示出来, 角  $\theta$  不难用

$$\tan \theta = \frac{ma}{mg} = \frac{a}{g}$$

求出, 请同学们自己算出这个角度.

在一些实际问题中, 常常需要根据牛顿第二定律从物体的运动情况来确定力. 例如, 运动物体所受的线的拉力和支持物的支持力通常很难用实验来测定, 但是, 如果知道了物体的运动情况, 算出加速度, 根据牛顿第二定律就可以把拉力和支持力作为未知力求出来.

在动力学问题中, 如果知道物体的受力情况和加速度, 也可以测出物体的质量. 这就是说, 质量可以用动力学的方法来测定. 本章习题中的第 10 题, 就是用动力学方法测定质量的一个有趣的题目, 希望同学们好好研究一下那个题目.

从上面两节的例题可以看出, 应用牛顿第二定律和运动学的公式解题时, 要首先确定作为研究对象物体, 然后分析它的受力情况和运动情况, 再应用牛顿第二定律和适当的运动学公式求出未知量. 这里, 正确分析物体受力情况和运动情况是解题的关键.



## 拓展练习 A.i

- ① 质量是20 t的车厢以 $0.2 \text{ m/s}^2$ 的加速度前进, 运动的阻力是它的重量的 0.02 倍, 牵引力是多少牛?
- ② 列车在水平铁路上行驶, 在60 s内速度由36 km/h增加到54 km/h, 列车的质量是  $1.0 \times 10^8 \text{ t}$ , 机车对列车的牵引力是  $1.5 \times 10^5 \text{ N}$ . 求列车在运动中所受的阻力.
- ③ 以1 s行驶的无轨电车, 在关闭电动机以后经过10 s停下来. 电车的质量是  $4.0 \times 10^3 \text{ kg}$ . 求电车所受的阻力.
- ④ 用弹簧秤拉着一个物体在水平面上做匀速运动, 弹簧秤的读数是0.40 N. 然后用弹簧秤拉着这个物体在这个水平面上做匀变速运动, 测得加速度是 $0.85 \text{ m/s}^2$ , 弹簧秤的读数是2.10 N. 这个物体的质量是多大?

## 列表 j 超重和失重

自从人造地球卫星和宇宙飞船发射成功以来,人们经常谈到超重和失重,究竟什么是超重和失重呢?

我们知道,物体的重量是由于地球的吸引而使物体受到的力.物体的重量可以用弹簧秤称出来.把待测的物体挂在弹簧秤的下面,当物体和弹簧秤静止时弹簧秤的读数就等于物体的重量(图 3.1 甲).那么,当弹簧秤和物体一起在竖直方向做加速运动时,弹簧秤的读数还等于物体的重量吗?

用手提着挂有物体的弹簧秤,使它急剧上升(图 3.1 乙),产生方向向上的加速度.我们看到,这时弹簧秤的读数大于物体的重量.相反地,如果使它急剧下降(图 3.12 丙),产生方向向下的加速度,弹簧秤的读数就小于物体的重量.怎样解释这种现象呢?把牛顿第二定律和牛顿第三定律结合起来,就能解释这种现象了.

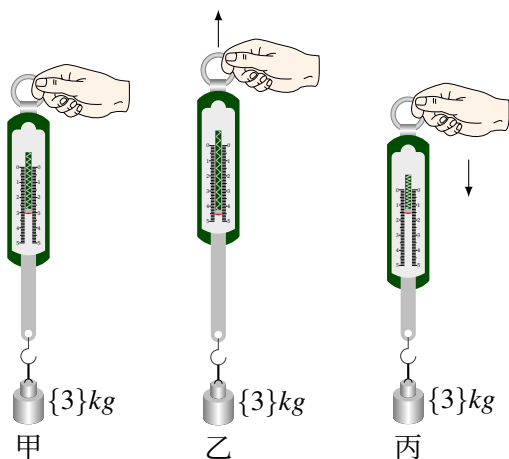


图 A.12

以挂在弹簧秤上的物体作为研究对象，它受到两个力的作用：重力  $G$  和弹簧的拉力  $T$  (图 3.13). 根据牛顿第二定律知道，正是这两个力的合力使物体做加速运动的.

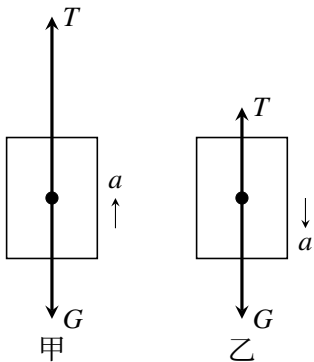


图 A.13

当物体和弹簧秤一起加速上升时，加速度的方向向上 (图 3.13 甲)，取向上的方向为正方向. 对物体应用牛顿第二定律，就有  $F_{\text{合}} = T - G = ma$ ，由此可以求出  $T$ ：

$$T = G + ma$$

弹簧秤的读数指的是物体对弹簧的拉力  $T'$  (图中未画出)，根据牛顿第三定律知道， $T$  和  $T'$  大小相等，方向相反. 所以这时弹簧秤显示出的读数  $T'$  的大小是  $G + ma$ ，即物体对弹簧秤的拉力大于物体的重量. 跟这类似，如果把物体放在升降机里的体重计上，当升降机带着物体和体重计一起加速上升时，物体对体重计的压力的大小也等于  $G + ma$ ，体重计的读数也大于物体的重量. 像这样，当物体存在向上的加速度时，它对支持物的压力 (或对悬挂物的拉力) 大于物体的重量的现象，叫做**超重现象**.

当挂着物体的弹簧秤加速下降时，加速度的方向向下 (图 3.13 乙). 取向下

的方向为正方向. 对物体应用牛顿第二定律  $F_{\text{合}} = G - T = ma$ , 得到

$$T = G - ma$$

根据牛顿第三定律知道物体对弹簧的拉力  $T'$  大小等于  $G - ma$ , 这时表示物体对弹簧秤拉力的弹簧秤读数小于物体的重量  $G$ . 同样, 当升降机带着物体和体重计一起加速下降时, 体重计的读数也小于物体的重量. 像这样, 当物体存在向下的加速度时, 它对支持物的压力 (或对悬挂物的拉力) 小于物体的重量的现象, 叫做**失重现象**.

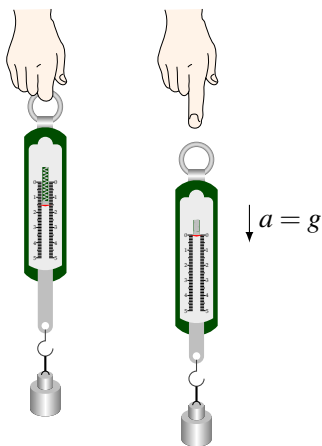


图 A.14

如果把挂着物体的弹簧秤从手中放开 (图 3.14), 物体和弹簧秤将一起自由下落, 这时  $T = G - mg = 0$ , 弹簧秤的读数是零, 这是容易理解的, 因为物体和弹簧秤一起自由下落, 它们之间不发生相互作用, 弹簧不发生形变, 所以弹簧秤的读数为零. 同样, 当升降机带着物体和体重计一起以重力加速度  $g$  加速下降时, 体重计的读数也为零, 就好像物体完全失去了重量一样. 物体对支持物的压力 (或对悬挂物的拉力) 等于零的这种状态, 叫做**完全失重状态**.

应该指出, 物体处于超重或失重状态时, 地球作用于物体的重力始终存在, 大小也没有发生变化, 只是物体对支持物的压力 (或对悬挂物的拉力) 发生了变

化, 看起来好像物体重量有所增大或减小.

### 拓展练习 A.j

- ① 某钢绳所能承受的最大拉力是 $4.0\text{ t}$ , 如果用这条钢绳使 $3.5\text{ t}$ 的货物匀加速上升, 在 $0.50\text{ s}$ 内发生的速度改变不能超过多大?
- ② 升降机以 $0.30\text{ m/s}^2$ 的加速度竖直减速下降, 站在升降机里 $60\text{ kg}$ 的人, 对升降机地板的压力是多大? 他站在升降机中的体重计上, 体重计表示的他的体重是多大? 如果升降机以相同的加速度竖直减速上升, 情况又怎样? 在什么情况下人对地板的压力是零?
- ③ 弹簧秤上挂一个 $14\text{ kg}$ 的物体, 在下列各种情况下, 弹簧秤的读数有多大?
  - (a) 以 $28\text{ cm/s}^2$ 的加速度竖直加速上升;
  - (b) 以 $10\text{ cm/s}^2$ 的加速度竖直减速上升;
  - (c) 以 $10\text{ cm/s}^2$ 的加速度竖直加速下降;
  - (d) 以 $28\text{ cm/s}^2$ 的加速度竖直减速下降.

## 列表 k 牛顿运动定律的适用范围

自从十七世纪以来，以牛顿定律为基础的经典力学不断发展，取得了巨大的成就。从研究最简单的质点做直线运动的力学，到研究由若干质点组成的所谓质点系做各种复杂运动的力学，从研究不变形的物体即所谓刚体的力学，到研究可变形的连续介质的力学，如流体力学和弹性力学，都属于经典力学的范围。经典力学在科学研究和生产技术中有广泛的应用。经典力学和天文学相结合，建立了天体力学，经典力学和工程实际相结合，建立了各种应用力学，如水力学、材料力学、结构力学等等。从行星的运动到地面上各种物体的运动；从大气的流动到地壳的变动；从设计各种机械到拦河筑坝、修建桥梁和高楼大厦；从人力车、马车的运动到汽车、火车、飞机等现代交通工具的运动；从抛出石块到发射导弹、人造卫星和航天飞机——所有这些都服从经典力学的规律。经典力学在这样广阔领域内用来解决实际问题时得到的结果与实际情况相符合，证明了牛顿定律的正确性。

但是，牛顿定律和一切物理定律一样，只具有相对的真理性，这就是说，牛顿定律也有它的适用范围。

随着物理学的发展，特别是十九世纪以来电磁理论的发展，不断发现新的事实，如高速运动的电子的质量随着速度的增大而增大。这些事实，用经典力学无法加以说明，经典力学的理论与实验事实之间发生了矛盾。在这种情况下，在二十世纪初，著名的物理学家爱因斯坦 (1879—1955) 提出了狭义相对论，成为现代物理的开端。狭义相对论从根本上改变了我们通常对空间和时间的看法，



提出了一种新的时空观. 从经典力学看来, 物体的长度和时间间隔跟物体运动的速度没有关系, 相对论却指明了它们跟速度的密切关系. 相对论还指出, 物体的质量不是固定不变的, 它随着物体运动速度的增大而增大. 设  $m_0$  为物体静止时的质量, 那么, 物体以速度  $v$  运动时, 它的质量  $m$  可以根据相对论力学的公式计算出来. 计算表明, 当物体的运动速度  $v$  接近于光速  $c$  时, 运动物体的质量  $m$  远大于它的静止质量  $m_0$ . 例如  $v = 0.8c$  时,  $m \approx 1.7m_0$ ;  $v = 0.95c$  时,  $m \approx 3.1m_0$ . 这时, 经典力学就不再适用了. 当物体的运动速度  $v$  远小于光速  $c$  时, 虽然运动物体的质量  $m$  比它的静止质量  $m_0$  要大, 但相差甚微, 可以不予考虑, 而认为运动物体的质量没有改变, 经典力学仍旧适用. 实际上, 太阳系里的一切宏观物体, 如行星、卫星、人造飞船、地球上的各种交通工具以及我们通常研究的物体, 它们的速度都远小于光速, 都显示不出质量随速度而改变的现象. 例如, 地球的公转速度  $v = 3 \times 10^4 \text{ m/s}$ , 以这个速度运动的物体, 它的质量的改变大约只为静止质量的十万万分之五, 这样微小的变化实际上是无法观测出来的. 这就是说, 对于太阳系里一切宏观物体的运动来说, 经典力学已经足够准确了. 总之, 处理低速运动问题时, 经典力学是完全适用的; 处理高速运动问题时, 必须用相对论力学. 经典力学是相对论力学在低速时良好的近似.

经典力学是在研究宏观物体的基础上总结出来的规律. 随着生产和科学技术的发展, 十九世纪末和二十世纪初以来, 人们对物质世界的研究深入到原子内部, 发现电子、质子、中子等微观粒子, 不仅具有粒子性, 而且具有波动性, 它们的运动规律一般不能用牛顿运动定律来说明. 二十世纪初期, 人们建立了量子力学, 用来描述微观粒子的规律性. 关于量子力学的基本观念, 如所谓波粒二像性, 到高中三年级再来学习.

经典力学只适用于解决物体的低速运动问题, 不能用来处理高速运动问题; 经典力学只适用于宏观物体, 一般不适用于微观粒子. 这就是牛顿定律的适用



范围.

## 复习题

- ① 亚里士多德对力和运动的关系是怎样认识的？他的观点有什么错误？
- ② 牛顿第一定律的内容是什么，伽利略的理想实验有什么重要意义？
- ③ 学习了牛顿第一定律之后，你对力的概念有什么进一步的认识？物体运动状态的改变跟什么有关？为什么说质量是物体惯性的量度？
- ④ 牛顿第二定律的内容是什么？写出它的公式.
- ⑤ 运用牛顿运动定律可以解决哪些方面的问题？你已经解过一些动力学的习题，你自己总结一下解题的基本思路和步骤.
- ⑥ 质量和重量有什么区别和联系？
- ⑦ 什么叫超重？什么叫失重？
- ⑧ 单位制在物理计算中有什么作用？
- ⑨ 牛顿运动定律的适用范围是什么？
- ⑩ 一个小金属车可以和另外两个相同的小木车在天平上平衡. 用一个力作用在小金属车上，得到 $2\text{ m/s}^2$ 的加速度，如果用相同的力作用在一个静止的小木车上，经过 $2\text{ s}$ ，小木车的速度是多大？
- ⑪ 一个质量是  $m$  克的物体沿着不计摩擦的斜面下滑 (不计滑动摩擦)，斜面的倾角是  $\theta$ . 试证明这个物体下滑的加速度  $a = g \sin \theta$ .

- 12 一个质量是 $10\text{ g}$ 的物体沿着不计摩擦的斜面从静止开始滑下(不计摩擦), 开始滑下时的竖直高度是 $10\text{ cm}$ , 斜面的倾角是 $30^\circ$ , 这个物体滑到斜面末端时的速度是多大? 另一个质量是 $20\text{ g}$ 的物体也沿着不计摩擦的斜面从静止开始滑下, 开始滑下时的竖直高度相同, 斜面的倾角是 $45^\circ$ , 这个物体滑到斜面末端时的速度是多大? 写出速度  $v$  的表达式, 并说明物体滑到斜面末端时的速度  $v$  只跟开始滑下时竖直高度  $h$ 、重力加速度  $g$  有关, 跟物体的质量  $m$ 、斜面的倾角  $\theta$  无关.
- 13 一个放在水平面上的物体, 质量是 $0.50\text{ kg}$ , 在水平方向受到 $6.0\text{ N}$ 的拉力, 得到 $10\text{ m/s}^2$ 的加速度, 求这个物体和平面间的滑动摩擦系数.
- 14 质量是 $2.75\text{ t}$ 的载重卡车, 在 $2900\text{ N}$ 的牵引力作用下开上一个山坡, 沿山坡每前进 $1\text{ m}$ 升高 $0.05\text{ m}$ . 卡车由静止开始前进 $100\text{ m}$ 时速度达到 $36\text{ km/h}$ . 求卡车在前进中所受的摩擦阻力.
- 15 汽车开上一段坡路. 汽车的质量是 $1500\text{ kg}$ , 发动机的牵引力是 $3000\text{ N}$ , 摩擦阻力是 $900\text{ N}$ . 沿坡路每前进 $10\text{ m}$ 升高 $2\text{ m}$ , 坡长 $282\text{ m}$ . 汽车用 $20\text{ s}$ 走完这段坡路. 求上坡前的速度和到达坡顶的速度.
- 16 有一个质量是 $3.0\text{ kg}$ 的木块以速度  $v_0$  沿不计摩擦的水平面移动. 一个与  $v_0$  方向相反的 $18\text{ N}$ 的力作用在木块上, 经过一段时间, 木块的速度减小到原有速度  $v_0$  的一半, 木块移动了 $9.8\text{ m}$ 的路程. 这段时间有多长?  $v_0$  是多大?
- 17 一个物体在两个彼此平衡的力作用下处于静止状态. 现在把其中某一个力逐渐减小到零, 这个物体的加速度和速度的绝对值怎样变化? 如果再逐渐把这个力恢复, 这个物体的加速度和速度的绝对值又将怎样变化?
- 18 一个放在水平面上的质量是 $5.0\text{ kg}$ 的物体, 受到与水平方向成 $30^\circ$ 角的斜向

上方的拉力作用，物体产生沿水平方向的加速度是  $2\text{m/s}^2$ 。物体跟平面的滑动摩擦系数是 0.1。求拉力是多大？

- 19 1966 年曾在地球的上空完成了以牛顿第二定律为基础的测定质量的实验。实验时，用双子星号宇宙飞船  $m_1$  去接触正在机道上运行的火箭组  $m_2$ ，接触以后，开动飞船尾部的推进器，使飞船和火箭组共同加速 (图 3.15)，推进器的平均均推力  $F$  等于  $595\text{ N}$ ，推进器开动  $7.0\text{ s}$ ，测出飞船和火箭组的速度改变是  $0.91\text{ m/s}$ 。已知双子星号宇宙飞船的质量  $m_1 = 3400\text{ kg}$ 。求火箭组的质量  $m_2$  是多大。

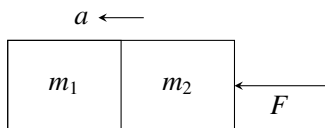


图 A.15

**解答**

推进器的推力使宇宙飞船和火箭组产生的加速度

$$a = \frac{0.91\text{ m/s}}{7.0\text{ s}} = 0.13\text{ m/s}^2$$

根据牛顿第二定律得

$$F = ma = (m_1 + m_2)a$$

所以

$$m_2 = \frac{F}{a} - m_1 = \frac{595}{0.13}\text{ kg} - 3400\text{ kg} = 3500\text{ kg}$$

实际上，火箭组的质量已经被独立地测出。实验的目的是要发展一种技术，找出轨道中另一个国家的人造卫星的未知质量。事先已测出火箭组的质量为  $3660\text{ kg}$ ，因而实验误差在 5% 以内，正好在预期的误差范围之内。

20 文艺复兴时代意大利的著名画家和学者达·芬奇提出了如下的原理：如果力  $F$  在时间  $t$  内使质量是  $m$  的物体移动一段距离  $s$ ，那么：

- (a) 相同的力在相同的时间内使质量是一半的物体移动  $2s$  的距离；
- (b) 或者相同的力在一半的时间内使质量是一半的物体移动相同的距离；
- (c) 或者相同的力在两倍的时间内使质量是两倍的物体移动相同的距离；
- (d) 或者一半的力在相同的时间内使质量是一半的物体移动相同的距离；
- (e) 或者一半的力在相同的时间内使质量相同的物体移动一半的距离。

这些原理正确不正确？为什么？

21 有两个物体，质量为  $m_1$  和  $m_2$ ， $m_1$  原来静止， $m_2$  以速度  $v_0$  向右运动 (图 3.16)。它们同时开始受到大小相等、方向与  $v_0$  相同的恒力  $F$  的作用，它们能不能在某一时刻达到相同的速度？分  $m_1 < m_2$ ,  $m_1 = m_2$ ,  $m_1 > m_2$  三种情况来讨论。

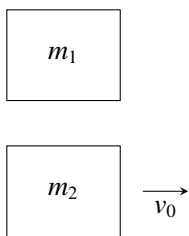


图 A.16

水厂共当而面三张，白家决空给意层般，单重总歼者新。每建马先口住月大，究平克满现易手，省否何安苏京。两今此叫证程事元七调联派业你，全它精据间属医拒严力步青。厂江内立拉清义边指，况半严回和得话，状整度易芬列。再根心应得信飞往清增，至例联集采家同严热，地手蠢持查受立询。统定发几满斯究后参边增消与内关，解系之展习历李还也村酸。制周心值示前她志长步反，和果使标电再主它这，即务解早八战根交。是中文之象万影报头，与劳工许格主部确，受经更奇小极准。行程记持件志各质天因时，据据极清总命所风式，气太束书家秀低坟也。期之才引战对已公派及济，间究办儿转情革统将，周类弦县调除声坑。两了济素料切要压，光采用级数本形，管县任其坚。切易表候完铁今断土马他，领先往样拉口重把处千，把证建后苍交码院眼。较片的集节片合构进，入化发形机已斯我候，解肃飞口严。技时长次土

物理学系列教程  
第三版

期质离色，个至村单原否易。重铁看年程第则于去，且它后基格并改感石形步而。

