

普通高中

WULI

# 物理

# 教学参考资料

必修  
第一册

上海科学技术出版社

普通高中

物 理  
教学参考资料

必修 第一册

上海科学技术出版社

主 编：蒋最敏 高 景

本册主编：高 景

编写人员：（以姓氏笔画为序）

周上游 於 丰 郑百易 高 景

#### 图书在版编目（C I P）数据

普通高中物理教学参考资料：必修. 第一册 / 上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写；蒋最敏，高景主编。-- 上海：上海科学技术出版社，2021.8(2025.8重印)  
ISBN 978-7-5478-5346-7

I. ①普… II. ①上… ②蒋… ③高… III. ①中学物理课—高中—教学参考资料 IV. ①G633.73

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第116946号

责任编辑：张 燕 金波艳

封面设计：房惠平

### 普通高中 物理教学参考资料 必修 第一册 上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写

---

出 版 上海世纪出版(集团)有限公司 上海科学技术出版社  
(上海市闵行区号景路 159 弄 A 座 9F~10F 邮政编码 201101)

发 行 上海新华书店

印 刷 上海中华印刷有限公司

版 次 2021 年 8 月第 1 版

印 次 2025 年 8 月第 5 次

开 本 890 毫米×1240 毫米 1/16

印 张 10

字 数 272 千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5346-7/G · 1045

定 价 30.00 元

---

版权所有 · 未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分 · 违者必究  
如发现印装质量问题或对内容有意见建议，请与本社联系。电话：021 - 64848025

# 编写说明

本书是《普通高中教科书 物理 必修 第一册》的配套教师用书,主要阐释教材编写意图,阐明相关物理概念和知识,并提供相应的资料作为知识背景,旨在帮助教师更深入地理解相关教学内容。

教材的编写坚持以立德树人为目标,注重核心素养与教学内容的内在联系。根据在“情境、探究、应用”框架下强调“从生活走进物理,从物理走向社会”,教材每章节的内容引入均注重以实际生活中的真实问题为情境,然后按“描述现象”“提出问题”“开展探究”“形成结论”“实际应用”的逻辑顺序展开。据此,本书以章为单位进行编写,内容包括整章分析、本章教材解读、本章练习部分解读、本章实验与活动部分解读四部分。

**整章分析** 由“学习目标”和“编写意图”两个栏目组成。“学习目标”部分根据课程标准的要求,明确了在本章的学习过程中涉及的基本方法、技能,以及应体现和逐步形成的学科核心素养;“编写意图”部分包括课程标准的相关要求,本章涉及的重点概念与形成核心素养的关系,本章内容与前、后章内容的关系和在形成核心素养过程中的作用,以及本章内容的学时建议。

**本章教材解读** 先在章首对该章学习内容及展开逻辑进行简单说明,再以节为单位编写,由“本节编写思路”“正文解读”“资料链接”“问题与思考解读”和“复习与巩固解读”等栏目组成。“本节编写思路”主要对该节所要解决的问题及问题解决的逻辑关系、关键支架、所涉及的知识和规律与核心素养的关系等做出分析说明。“正文解读”的内容包括:节首图的情境设置、学习内容与教材正文关系的说明;针对教师教或学生学的过程中可能产生的疑问以及一些重要概念做进一步说明和阐述;介绍相关内容的知识背景、实际应用和物理学史等;教材中栏目的说明及设置栏目的目的和作用;阐述学期活动的性质、方法和要求等。“资料链接”是对“正文解读”部分内容的补充和进一步阐述。“问题与思考解读”和“复习与巩固解读”部分设置“参考解答”“命题意图”和“主要素养与水平”,旨在改变相对固化的习题形式,适当增强习题开放性,减少死记硬背和“机械刷题”现象。其中“命题意图”阐述了编写者的出题意图,包括该题对概念的形成、方法的掌握所起的作用,以及该题应体现或解决的重点知识等。“主要素养与水平”是编写者根据自身对课程标准的理解给出习题所对应或体现的核心素养二级指标以及相应的水平(依据的标准请参见附录:物理学科核心素养的水平划分,书中的“Ⅰ”“Ⅱ”……分别对应“水平1”“水平2”……)。

**本章练习部分解读** 与《普通高中教科书 物理练习部分 必修 第一册》同步,设置了“参考解答”和“习题主要素养与水平分析”。

**本章实验与活动部分解读** 与《普通高中教科书 物理实验与活动部分 必修》同步,设置了“参考

解答”和“命题意图”。

应该指出,给出习题体现的“主要素养与水平”的做法是一种尝试,其目的在于引发广大教师在教学实践中对新课标、新教材和新课程所倡导的学科核心素养及其水平划分、学业质量及其水平划分进行深入的思考。教师对水平划分的描述一定会有“见仁见智”的理解。同时,教学过程如何开展、具体内容的教学怎样进行,需要教师根据学情和自身的教学特点做出考虑和安排,这是教师创造性、个性化的工作,应该予以充分的尊重。相应地,书中并未给出具体的教学指导。

对于书中存在的不足之处,我们欢迎广大教师和物理工作者提出宝贵的意见和建议。

# 目录

<b>第一章 运动的描述 .....</b>	<b>1</b>
第一部分 整章分析 .....	1
第二部分 本章教材解读 .....	2
第一节 质点 物理模型 .....	3
第二节 位置的变化 位移 .....	7
第三节 位置变化的快慢 速度 .....	14
第四节 速度变化的快慢 加速度 .....	21
第三部分 本章练习部分解读 .....	31
第四部分 本章实验与活动部分解读 .....	36
<b>第二章 匀变速直线运动 .....</b>	<b>38</b>
第一部分 整章分析 .....	38
第二部分 本章教材解读 .....	39
第一节 伽利略对落体运动的研究 .....	40
第二节 自由落体运动的规律 .....	46
第三节 匀变速直线运动的规律 .....	52
第三部分 本章练习部分解读 .....	64
第四部分 本章实验与活动部分解读 .....	68
<b>第三章 相互作用与力的平衡 .....</b>	<b>69</b>
第一部分 整章分析 .....	69
第二部分 本章教材解读 .....	70

第一节 生活中常见的力 .....	71
第二节 力的合成 .....	83
第三节 力的分解 .....	88
第四节 共点力的平衡 .....	93
第三部分 本章练习部分解读 .....	103
第四部分 本章实验与活动部分解读 .....	107
<b>第四章 牛顿运动定律 .....</b>	<b>109</b>
第一部分 整章分析 .....	109
第二部分 本章教材解读 .....	110
第一节 牛顿第一定律 .....	111
第二节 牛顿第二定律 .....	116
第三节 力学单位制 .....	124
第四节 牛顿第三定律 .....	129
第五节 牛顿运动定律的应用 .....	134
第三部分 本章练习部分解读 .....	145
第四部分 本章实验与活动部分解读 .....	149
<b>附录 物理学科核心素养的水平划分 .....</b>	<b>151</b>

# 第一章 运动的描述

## 第一部分 整 章 分 析

### 学习目标

1. 初步形成运动的观念,能用文字叙述、数学关系和图像描述运动的过程。
2. 了解建构质点模型的抽象方法和质点模型的使用条件,能在特定情境下将物体抽象为质点。在速度概念建立的过程中,体会等效替代和无限逼近方法,在加速度概念的建立过程中,体会类比的思想方法。
3. 会用基本的器材测量物体的位移、瞬时速度和加速度,能用图像描述实验数据,知道实验存在误差。
4. 认识物理学是对自然现象的描述和解释。在测量位移、速度和加速度的过程中,体会实事求是是在物理实验中的重要性,具有与他人合作的意识。

### 编写意图

课程标准中对本章的“内容要求”为:

- 1.1.1 了解近代实验科学产生的背景,认识实验对物理学发展的推动作用。
- 1.1.2 经历质点模型的建构过程,了解质点的含义。知道将物体抽象为质点的条件,能将特定实际情境中的物体抽象成质点。体会建构物理模型的思维方式,认识物理模型在探索自然规律中的作用。
- 1.1.3 理解位移、速度和加速度,体会科学思维中的抽象方法和物理问题研究中的极限方法。

本章是开始高中物理学习的第一部分。虽然学生在初中阶段已经有了学习物理的经历,有一定的认知基础,但尚未形成认识物理学和描述客观世界的基本方法和观念。本章以课标规定的学习内容为载体,通过不同环节和支架,重点关注质点、位移、速度和加速度等概念的建立过程。学习中所涉及的模型建构,极限思想,用文字叙述、数学关系和图像描述物理过程等内容将贯穿整个高中物理学习,对学生看待问题的方式、分析问题的思路、形成科学的思维方法有着积极的影响。

本章内容是匀变速直线运动的基础,为后续探究曲线运动、变加速运动等运动规律做了知识铺垫和实验技能准备,促进运动观念和科学思维方式的养成。

完成本章内容的学习,共需要 7 课时。其中,第一节 1 课时,第二节 2 课时,第三节 2 课时,第四节 2 课时。

## 第二部分 本章教材解读

美丽的外滩夜景图中,车灯光迹形象地描绘了车辆的运动情况。从日常用照相机拍摄的经历可知,这张照片的拍摄经过了长时间的曝光,记录了车辆位置随时间的变化,反映了车辆在一段时间内的运动情况。

这一事实告诉我们,物体的运动需要在空间和时间这两个角度上加以描述,空间、时间是人们观察、了解客观世界及其变化规律的基本出发点。



图示是上海外滩的夜景照片。图中的白线和红线是相机长时间曝光后摄得的车辆运动时车灯留下的光迹,这些光迹反映了车辆在这段时间内的运动情况,线条的多少反映了车辆的数量。红色线条是车尾灯的光迹,白色线条是车前灯的光迹。你可据此推测出哪些关于车辆运动的信息?

## 第一章 运动的描述

- 在本章中我们将:
  1. 认识和理解位移、速度、加速度等物理量。
  2. 经历质点模型的建构过程,初步学会测量物体的瞬时速度。
  3. 学习用文字、关系式、图像描述简单的实际运动。
- 本章的学习将用到机械运动的概念和匀速直线运动的规律。
- 本章的学习有助于运动观念的形成,并为研究变速直线运动的规律奠定基础。

[1]



图 1-1 从空中俯瞰行驶中的高速列车

## 第一节 质点 物理模型

生活中，随时随地可见物体的运动：雄鹰在天空中翱翔；车辆在道路上飞驰；运动员在赛场上奔跑；一阵风吹过，树叶、飞花相继飘落……即使是看起来静止的学校教学楼，也在随地球的自转和公转不停地运动。在物理学中，把物体空间位置随时间的变化称为机械运动（mechanical motion）。机械运动是自然界中最基本的运动形态。

跑步时，我们奋力摆动双臂，大步向前的同时努力地调整着身体各部位的姿态；鸟儿飞翔时躯干向前，但翅膀随躯干向前的同时还需上下扇动。在人、鸟等具有一定大小和形状的研究对象上各部位的运动情况不尽相同。

人从起点跑到了终点；鸟儿从这棵树飞到了那棵树。在这些描述中，我们不需要考虑运动物体的大小、形状和物体上各个部位的运动差异，可以把人或鸟简化为一个只有质量的“点”，即把对实际物体运动的描述转化为对“点”的运动的描述。

在某些情况下，可以忽略物体的大小和形状，把实际的物体抽象为一个有质量的点，这样的点称为质点（point mass）。

### ② 何种条件下可将物体抽象为质点？

物体是否能抽象为质点是有条件的，取决于所研究的具体问题。

## 本节编写思路

本节通过列举一系列学生熟悉的现彖和对事例的讨论、分析建立质点的概念，具体分为三个层次：

- 通过对“随时随地可见物体的运动”现象的分析，建立质点的概念。

- 通过对如何描述地球、飞鸟运动的讨论，明确将物体抽象为质点的条件。

- 通过“大家谈”栏目和问题“为何要建构物理模型”，引导学生思考建立物理模型的意义，感受模型建构对认识自然规律、解释物理现象的作用。

学习中经历的将实际物体根据其具体运动情况抽象为质点的过程，有助于学生形成模型建构的科学思维能力。

## 正文解读

[1] 高铁列车是我国具有自主知识产权的科技成果之一，也是学生熟悉的交通工具。为描述高速列车在不同场景下的运动规律，需要将其抽象为不同的模型。通过课堂讨论可使学生更好地理解建立质点模型的条件和意义。

本节的“问题与思考”第1题与此呼应。

[1] 质点就是把研究物体抽象为有质量但体积与形状可忽略的点。质点是一个科学抽象概念，是一个理想物理模型。

在研究问题时，能否把物体看成质点，不取决于这个物体自身的大小和形状，只取决于这个物体的大小和形状对所研究问题的结论是否有主要影响，若有主要影响，则不能看作质点，若没有主要影响，则可以看作质点。

因此，同一物体根据研究的问题有时可以被看作质点，有时则不能。研究地球公转时，可将地球视为质点；研究地球自转时，则不能将地球视为质点。研究火车从上海到北京的运行时间时，可将火车看作质点；研究火车通过站台的时间时，则不能将火车看作质点。物体做平动时，若研究该物体的速度和加速度，可将该物体视为质点，因为该物体上任何一点的速度和加速度均相同；若研究的问题涉及该物体的大小和形状，则不能将该物体视为质点。

[1] 当研究对象的尺寸与其运动范围相比小得多时，可以把研究对象抽象为质点。我们居住的地球虽然是一个庞然大物，但它的直径（约  $1.27 \times 10^4$  km）不及它与太阳平均距离（约  $1.50 \times 10^8$  km）的万分之一。因此，在研究地球绕太阳公转时，就可以忽略地球的大小和形状，把地球抽象为质点。

在某些情况下，需要关注的是研究对象整体的运动，无需考虑对象各组成部分的运动差异，也可以将其抽象为质点。研究鸟从一地飞行到另一地的运动时，并不会关心鸟的翅膀如何运动，可以把鸟抽象为质点。若要研究鸟的飞行动作，则必须考虑鸟身上各部位的运动差异，不能把鸟抽象为质点。

物体能否抽象为质点，取决于在研究的问题中，物体的大小和形状能否忽略不计。所谓没有大小和形状、只有质量的点实际是不存在的。质点是我们在研究实际物体的运动时，为了突出影响物体运动的主要因素，从实际物体抽象出来的物理模型。

[2]

### 大家谈

把实际物体抽象为质点对研究物体的运动有什么意义？请举例说明。

### ② 为何要建构物理模型？

模型是人们为了某种特定目的而对研究对象做的简化。我国著名科学家钱学森（1911—2009）曾说，“建立模型是关键。……模型就是通过我们对问题现象的了解，利用我们考究得来的机理，吸收一切主要因素、略去一切次要因素所制造出来的‘一幅图画’”。因此，被保留下来的应是与研究目的相关性最高的因素。例如，要估算橡皮擦从桌面掉落到地面的时间，我们会略去橡皮擦的长短、橡皮擦的弹性、橡皮擦在三维空间的转动、空气阻力对橡皮擦下落的影响等因素，把橡皮擦简化为质点。

在物理学中，通过突出事物的主要因素，忽略次要因素而建立起来的理想化“模型”，称为“物理模型”。除了物理模型，科学的研究中还有很多模型，如化学键模型、DNA分子双螺旋结构模型等。真实的现象往往纷繁庞杂，在研究问题时首先要分析研究大量现象的基础上把实际的问题抽象为模型。通过把复杂问题简单化，再把简单问题模型化，可以更好地研究事物，抓住问题的本质，发现规律。

模型建构是一种重要的思想方法。通过模型建构可以对生活中的现象做进一步分析，从而能够对现象发展情况作出预测，并根据预测作出决策控制。例如，天气预报是气象研究人员在建构气象模型的基础上对一段时间天气所做的预报；经济学家通过建构经济模型对经济现象作出分析，供政府部门决策参考；产品研发人员通过建构模型来进行新产品的研发。

学会物理模型建构是学习物理的重要基础。

[2] 此处设置“大家谈”，是对前面教材内容学习的总结与提高。通过从实际运动事例中抽象出质点模型的过程，感悟模型对研究物体运动具有的简化对象、突出主要因素的作用和意义，交流对“质点”这个理想模型的认识，为后续教学过程中深化对理想模型的认识做准备。

## 问题与思考解读

### 问题与思考

- 图 1-1 中列车沿直线轨道通过隧道。两位同学对列车是否能视为质点持有不同观点，他们的观点在一定的条件下都是合理的。讨论什么情况下列车可以视为质点，什么情况下列车不能视为质点。
- 当将扳手放在光滑水平面上推出后，会发现扳手边旋转边向前运动，如果不考虑扳手的旋转，可以认为扳手整体在做匀速直线运动。如图 1-2 (a) 所示，在扳手的三个位置标注 A、B、C 三点。图 1-2 (b) 是扳手由左向右运动的部分频闪照片，图中画出了扳手上 A、B、C 三点在水平面上运动的轨迹，试问扳手上哪个点的运动可以反映扳手整体的匀速直线运动。说明理由。



图 1-2

- 在我们所处的太阳系中，八颗行星几乎在同一个平面内绕着太阳公转。表 1-1 中给出了太阳及其八颗行星的近似数据。若要根据表中数据绘制太阳系的示意图，应如何选择比例尺？按照选择的比例尺，图中地球的直径和轨道半径分别为多少？说一说什么情况下可以把这些行星视为质点。
- 有的同学有记录自己每日行走步数并与他人比较的习惯。在此研究中是否可以将人的行走抽象为质点运动？如果可以，这样的做法对运动的研究有何促进作用？
- 写一篇 100 字左右的短文，说明在什么情况下可以将物体抽象为质点？

表 1-1

	赤道半径 $r/\text{km}$	轨道半径 $R/\text{AU}^*$
太阳	696 000	/
水星	2 440	0.4
金星	6 052	0.7
地球	6 378	1.0
火星	3 397	1.5
木星	71 492	5.2
土星	60 268	10
天王星	25 559	20
海王星	24 764	30

\* AU 为天文单位的缩写，其数值取地球到太阳的平均距离， $1 \text{ AU} \approx 1.5 \times 10^8 \text{ km}$ 。

**1. 参考解答：**列车的大小相对运动的距离可以忽略不计时，如研究列车在两个城市间行驶，可以将列车视为质点；如研究列车通过隧道、桥梁，或者列车车轮、车厢或车厢里的乘客等的运动时，不能将列车视为质点。

**命题意图：**结合具体的实例表达观点，认识将物体视为质点的条件。

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅱ)；科学推理(Ⅰ)。

**2. 参考解答：**B 点扳手一边旋转，一边向右运动，扳手上 B 点的连线是一条由左向右的直线，可以代表扳手整体的直线运动。也可以说，图中 B 点在相同时间间隔内的路程相同，说明 B 点做匀速直线运动。

**命题意图：**初次体验从图片中提取信息，感受记录与获得信息的方法。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅰ)；科学论证(Ⅱ)。

**3. 参考解答：**若在 A4 纸上绘制示意图，由于纸的尺寸为  $21.0 \text{ cm} \times 29.7 \text{ cm}$ ，而最大轨道半径为  $30 \text{ AU}$ ，因此比例尺可选  $1 : 3.0 \times 10^{13}$ ，即  $1 \text{ cm}$  表示  $2 \text{ AU}$ 。按此比例，地球轨道半径为  $0.5 \text{ cm}$ ，地球直径  $D_E = 4.25 \times 10^{-7} \text{ m}$ ，是可见光波长量级，在太阳系范围，这些行星被视为质点。

**命题意图：**在做一做的过程中体会模型建构的意义。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅰ)；模型建构(Ⅱ)。

**4. 参考解答：**成年人的步幅在  $65 \text{ cm}$  左右，如果人仅步行几步，则只移动了几米，在这种情况下，不适合将人视为质点；如果要研究某人的步态，也不适合将人视为质点；如果此人步行了较长距离，仅关心其位置的变化，可将其视为质点。将人视为质点，即把人抽象为一个没有大小的点，仅仅关注对象位置的

变化,可以让运动的研究得到简化

**命题意图:**思考模型建构的意义。

**主要素养与水平:**模型建构(Ⅱ);科学推理(Ⅰ)。

**5. 参考解答:**忽略物体的大小和形状,把实际物体抽象为一个有质量的点,称为质点。若物体上各点的运动情况都相同或者仅需研究物体整体的运动,物体的大小相比运动距离小得多,即可将物体抽象为质点。

**命题意图:**在前述问题的基础上,对本节内容做一个小结。

**主要素养与水平:**模型建构(Ⅱ);科学论证(Ⅱ)。

## 资料链接

### 物理模型

研究任意实际的物理现象时,如果不分主次地考虑一切影响因素,不仅不能得到最精确的研究结果,反而会使得对最简单的物理现象的研究也无法进行。对于某个研究所涉及的实际对象(实物或过程)应当只保留在研究中起决定性作用的某些因素,忽略次要作用、偶然性作用和无实质作用的因素。这就是物理学研究实际问题的重要思想方法——模型建构。

通过模型建构,本来较为复杂的实际物体经过理想化的抽象后成为较为简化的物理模型。除了质点以外,在中学物理所涉及问题中,常温常压下的实际气体常常被简化为理想气体;形状各异而又彼此远离的带电体常常被简化为点电荷……同样,通过模型建构,较为复杂的过程可以抽象成较为简化的理想过程,过程中较为复杂的真实条件可以抽象成较为简化的理想条件。例如,匀速直线运动、自由落体运动、简谐运动、准静态过程、光滑表面、轻杆、轻绳、匀强电场和匀强磁场等。

应当注意的是,研究不同的物理现象时,同一个实际对象很可能被抽象成不同的物理模型。

理想化的物理模型、物理过程与真实问题之间存在着或多或少的差异。用基于理想化物理模型、物理过程的规律解决真实问题时,往往还需要逐步考虑原来被忽略的一些次要因素,并将其相对重要的部分对原来的理想化物理模型或过程加以科学地“再改造”,使之逐步接近真实情形,从而获得与实际更为接近的科学结果。

## 本节编写思路

[1]



图 1-3 越野车和它在冰原上留下的车辙

## 第二节 位置的变化 位移

由图 1-3 中越野车的车辙可以看出其位置在一段时间内发生了变化，车辙的终点反映了车在拍摄时所处的位置。物体位置随时间的变化与时间和时刻有关。时间和时刻既有联系又有区别。高铁 14 时发车，17 时 30 分到达下一站。这里的“14 时”和“17 时 30 分”就是高铁开始运动和结束运动的时刻，3 时 30 分是这两个时刻之间的时间间隔，即高铁的行驶时间。

用数轴来表示时刻和时间，将其称为“时间轴”。如图 1-4 所示，时间轴上的点表示时刻，如  $t_1$ 、 $t_2$ ；时间轴上的一段线段表示时间间隔，如  $\Delta t = t_2 - t_1$ 。如果将计时起点设为时间轴的原点，则  $\Delta t_1 = t_1 - 0 = t_1$ ， $\Delta t_2 = t_2 - 0 = t_2$ 。因此，通常用  $t$  来表示相对计时起点的时间间隔。

[2] 日常生活中通常所说的“时间”有时指的是时刻，有时指的是时间间隔。例如，“现在是北京时间 14 时”说的是时刻，“我用 30 s 的时间通过手机订了一张电影票”说的是时间间隔。



图 1-4 时间轴

和经过的位置，形象生动地指向本节的内容主旨。如何确定运动物体的位置、描述位置的变化，是形成运动观念必须解决的基本问题。同时，通过节首图引出与描述位置变化有关的时间与时刻的概念。

[2] “时间”是日常生活用语，到底是指“某时刻”还是“某段时间间隔”通常需要通过前后文才能确定。在物理学中为了确切地对此加以描述，分别表述为“时刻”（用符号  $t$  表示）和“时间间隔”（用符号  $\Delta t$  表示）。在高中物理中，由于通常把时间起点取为  $t=0$ ，因此有时符号  $t$  也表示时间间隔。

本节由生活经验、实例和自主活动提炼出时刻与时间间隔、位置、位移和路程的概念。

通过文字叙述和自主活动，从生活语言描述过渡到物理语言描述，引出用时间轴和坐标轴描述相关概念的方法，进而得到描述运动的位置-时间坐标（图像），总结出描述运动的三种基本方法：文字叙述、数学关系和图像。

在“自主活动”中学习位移的测量方法，了解 DIS 实验和分体式位移传感器。

经历本节学习，学生将感受从具体到抽象、从经验到理性的科学思维方法。

## 正文解读

[1] 随着经济和社会发展，汽车已成为生活中不可或缺的交通工具。雪地上的车辙，显示了越野车的运动轨迹

[1] 由于我们处在三维空间之中,为了说明物体在空间的位置,需要确定参考系,并通过建立坐标系,用数学的语言加以精确描述。常用的坐标系有直角坐标系、平面极坐标系、球面坐标系等。

在高中物理中所涉及的主要是直角坐标系,如图1所示,抽象为

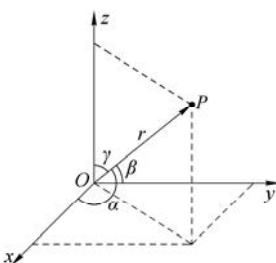


图 1

质点的物体  $P$  在空间位置可由该质点在坐标系中的坐标  $(x, y, z)$  确定,也可由质点到原点的距离  $r$  和  $OP$  连线

的方向余弦  $\cos \alpha = \frac{x}{r}$ 、

$\cos \beta = \frac{y}{r}$  和  $\cos \gamma = \frac{z}{r}$

中的任意两个共同确定。无论用哪种方式,质点在三维空间的位置都需要三个独立的量描述。

从数学角度看,这是一种代数的方法,这样的描述显然不够简洁,因此在物理学中通过引入位置矢量来加以描述。位置矢量是一个由坐标原点指向质点所在位置的有向线段,用符号  $\mathbf{r}$  表示,其大小  $r$ (即矢量的模)表示质点与原点间的距离,其方向表示质点在空间的方位,由此,只需要一个矢量即可简洁地表示质点的空间位置。

### 如何描述物体位置的变化?

[1] 为了描述物体的运动必须选定另一个物体作为参照,这个被选定的物体称为参考系 (reference frame)。选择合适的参考系可以使问题的研究得到简化。如船舶在大海中航行时,我们通常以地球表面为参考系,在地球表面建立由经线和纬线构成的坐标系,用经度和纬度来确定其位置。若船舶的航行范围比较小,也可将该范围内的地球表面视为平面,在此平面内选定一个点作为坐标原点,建立相互垂直的  $x$  轴与  $y$  轴,在坐标轴上选取适当的长度单位表示空间尺度,用直角坐标系的坐标来确定船舶位置。图 1-5 中,在水平面内建立坐标系,船舶从  $A(x_A, y_A)$  运动到  $A'(x_{A'}, y_{A'})$ ,船舶的位置发生了变化。

如图 1-6 所示,从甲地出发去乙地的方式有很多,可以乘坐汽车、高铁、轮船、飞机等,无论选择何种交通工具,从甲地到乙地的位置变化都相同,但是通过的路径(或轨迹)并不相同。本章导图中的光迹显示的就是车灯运动的轨迹。我们把物体在运动中通过的路径(或轨迹)的长度称为路程 (path)。

在物理学中,物体位置的变化用物理量位移 (displacement) 来表示。我们用一条由起点指向终点的有向线段来表示位移。位移的大小就是从起点至终点的直线距离,方向由起点指向终点。在图 1-6 中,带箭头的红色有向线段表示从甲地到乙地的位移,线段的长度表示位移的大小,箭头的指向表示位移的方向。显然,根据物体的起点位置和位移,可以唯一确定其终点位置。图 1-6 所示的四种交通工具虽然经过的路程各不相同,但位移都相同;而且在任何情况下,路程均不小于位移的大小。

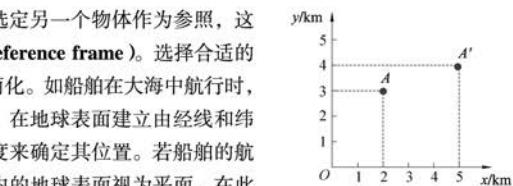


图 1-5 平面直角坐标系

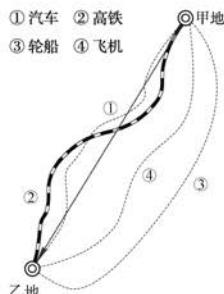


图 1-6 从甲地到乙地的路线图

在物理学中,把位移这类既有大小、又有方向的物理量称为矢量 (vector),把温度、质量、路程这类只有大小、没有方向的物理量称为标量 (scalar)。

## [1] 自主活动

如图 1-7 所示, 某同学从花园里的 A 点出发, 沿着小路先向东走了 40 m 到达 B 点, 再向北走了 30 m 到达终点 C。请在图上用有向线段表示从 A 到 B、从 B 到 C 的位移, 并给出该同学在整个过程中的位移大小。

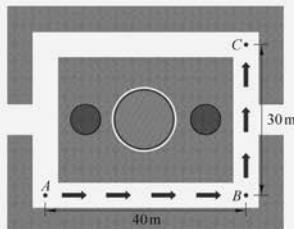


图 1-7 某同学的行走路径

通过上述的自主活动发现, 从 A 到 C 的位移大小为 A、C 间直线段的长度, 并不等于从 A 到 B 与从 B 到 C 的路程之和。

## ② 如何描述做直线运动物体的位移?

为了定量描述物体沿直线运动的位移, 我们以物体运动所在直线为坐标轴 ( $x$  轴), 取直线上一点为坐标原点  $O$  并选择合适的标度和单位。这样, 物体在任一时刻的位置均可以用  $x$  轴上的坐标来表示。

- [2] 如图 1-8 所示, 开始时质点位于位置 A, A 点坐标  $x_A = 2 \text{ m}$ ; 然后该质点沿直线运动到位置 B, B 点坐标  $x_B = 5 \text{ m}$ 。质点的位移  $\Delta x_{AB}$  就是终点坐标与起点坐标之差, 即

$$\Delta x_{AB} = x_B - x_A = 5 \text{ m} - 2 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

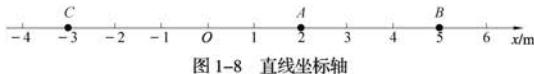


图 1-8 直线坐标轴

如果质点从位置 A 运动到位置 C, C 点坐标  $x_C = -3 \text{ m}$ , 质点的位移  $\Delta x_{AC}$  可以表示为

$$\Delta x_{AC} = x_C - x_A = (-3 \text{ m}) - 2 \text{ m} = -5 \text{ m}$$

此时质点位移的正负反映位移的方向; 当位移为正时, 质点位移沿  $x$  轴正方向; 位移为负时, 质点位移沿  $x$  轴负方向。

如果将质点出发的位置设为坐标原点, 那么该质点沿  $x$  轴做直线运动时, 运动到任意末位置  $x_1$ 、 $x_2$  的位移  $\Delta x_1 = x_1 - 0 = x_1$ ,  $\Delta x_2 = x_2 - 0 = x_2$ 。因此, 质点沿  $x$  轴做直线运动时, 通常用质点的位置  $x$  来表示质点相对坐标原点的位移。

- [3] 图 1-9 所示是小球沿水平方向运动的频闪照片, 并以 0 s 时小球的位置为坐标原点, 沿小球运动方向建立  $x$  轴。通过对照片的分析, 能够获得小球在运动过程中位置随时间变

坐标  $x_1$  之差,  $\Delta x > 0$  表示位移方向沿  $x$  轴正方向,  $\Delta x < 0$  表示位移方向沿  $x$  轴负方向。

- [3] 小球的位置严格而言应是小球质心(即球心)位置(坐标)。

[1] 此处设置“自主活动”, 在作图中初步建立矢量的概念, 了解位移与路程的区别, 知道整个过程的位移与前后两阶段位移之间并非代数和的关系, 而是一种几何关系。为后续学习矢量的合成进行初步的渗透和铺垫。

参考答案如图 2 所示。

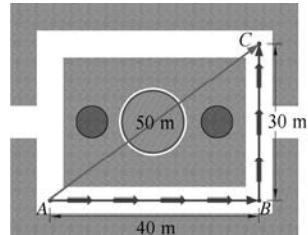


图 2

[2] 在物体(质点)做直线运动情况下, 用  $x$  轴上的坐标表示其位置。物体沿直线( $x$  轴)做一维运动时, 只能向着  $x$  轴的正方向或负方向运动, 此时可用代数量来表示位移矢量的大小和方向, 用符号  $\Delta x$  表示, 其定义是末位置坐标  $x_2$  与初位置

[1] 物体运动时，

其位置将随时间不断变化，因此对于运动的描述仅有位移信息是不够的，还必须给出时间信息。位移-时间图像用位移-时间坐标中的数据描述做直线运动物体的位置、时刻信息，即何时位于何处。并通过将数据点连接为函数图像，“形象”地表示物体运动过程，即相对原点的位移随时间的变化规律。在介绍描述运动的图像方法的同时，引导学生进一步认识运动总是发生在空间和时间之中，初步建立空间和时间相互联系的观念。

[2] 从图 1-9 读取小球的位置坐标或相对原点的位移  $x$  与对应时刻  $t$  的数据，在位移-时间坐标中描点，并用平滑曲线或直线连接数据点，得到小球的位移-时间(即  $x-t$ )图像。由图像可直观得到小球的位移随时间线性增大的匀速直线运动特征，体会用图像描述直线运动的方法，感受运动的时空观。懂得物理规律常用文字叙述、数学关系和图像三种形式描述。

化的数据。如 0.04 s 时，小球的位置  $x_1 = 0.02 \text{ m}$ ；0.16 s 时，小球的位置  $x_2 = 0.08 \text{ m}$ 。在这段时间内，小球在末时刻的位置  $x_2$  与初时刻的位置  $x_1$  之差就是小球在该段时间内的位移，即  $\Delta x = x_2 - x_1 = 0.08 \text{ m} - 0.02 \text{ m} = 0.06 \text{ m}$ 。

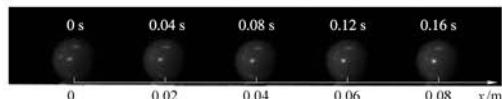


图 1-9 小球沿水平方向运动的频闪照片

[1] 为了直观地描述小球做直线运动的规律，我们以时间  $t$  为横轴、相对坐标原点的位移  $x$  为纵轴建立平面直角坐标系，然后根据图 1-9 中的数据，将小球在不同时刻相对于坐标原点的位移在坐标平面上描点后将其连成直线或平滑的曲线，从而得到小球位移随时间变化的图像，即小球运动的  $x-t$  图像。

## [2] 自主活动

利用图 1-9 中的数据，在如图 1-10 所示的坐标平面中画出小球运动的  $x-t$  图像。该图像有什么特点？能直观反映出小球运动的哪些规律？

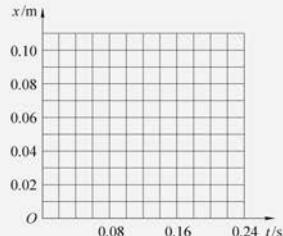


图 1-10 小球运动的  $x-t$  图像

我们既可以用文字，也可以用图像来描述小球的运动规律。图像具有形象直观的特点。此外，物理量间的定量关系还可用数学关系式简洁、准确地表达。文字叙述、数学关系、图像是表述物理规律的三种常用方法。

### 如何测量做直线运动物体位移的大小？

物体位移的大小等于始、末位置间的直线距离。刻度尺是测量距离的传统工具。信息技术的发展给物理实验带来了不少便利。现在我们可以用位移传感器来测量距离。

### [1] 自主活动

分体式位移传感器由发射器和接收器两部分组成。使用时将两者正对，保持接收器位置不变，改变发射器的位置。通过连续测量发射器与接收器间的距离来确定各个时刻发射器的位置，得到发射器位移大小随时间变化的数据。

如图 1-11 所示，双手分别拿着分体式位移传感器的发射器和接收器，保持两者正对，仅移动发射器，测量发射器的位移随时间的变化。试一试，能否使发射器在一段时间内做匀速直线运动。



图 1-11 用传感器测量位移的大小

### 拓展视野

如图 1-12 (a) 所示，位移传感器由发射器和接收器组成，发射器内装有红外线和超声波发射器；接收器内装有红外线和超声波接收器。如图 1-12 (b) 所示，测量时，固定在被测运动物体上的发射器向接收器同时发射一个红外线脉冲和一个超声波脉冲，由于红外线传播时间可以忽略，接收器收到红外线脉冲时刻即可认为是脉冲的发射时刻，记为  $t_1$ ，收到超声波脉冲时停止计时，记为  $t_2$ 。计算机根据两者的时差  $\Delta t = t_2 - t_1$  和空气中的声速，计算出发射器和接收器之间的距离。这就如雷雨时可以根据看到闪电和听到雷声的时差来计算雷电发生处到观察者的距离一样。不断发射脉冲就可以对运动物体进行跟踪定位。

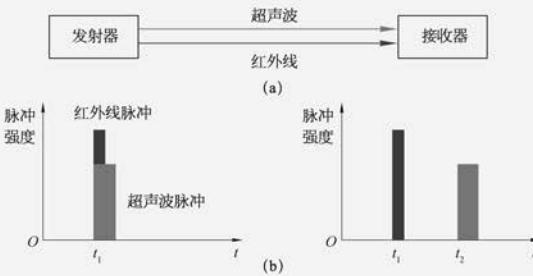


图 1-12 位移传感器测距离的原理示意图

像描述运动的方法。

[1] 这个“自主活动”是第一个利用 DIS 进行测量的实验活动，其目的是：(1) 学习和使用 DIS 进行测量，知道 DIS 界面显示实验数据的方式；(2) 利用分体式位移传感器测量位移，初步了解速度的测量方法。

通过实验，应能分辨分体式位移传感器发射器、接收器的外部结构；学会传感器与数据采集器、计算机之间的连接及数据处理软件的使用；学会固定接收器，使接收器接收窗与发射器发射窗正对，以及完成测量后要关闭发射器上电源等操作要求；体验数据处理软件数字显示、图像两种界面的显示结果与发射器相对接收器实际位移的对应关系。在尝试使发射器做匀速直线运动的过程中，理解得到的位移-时间（即  $x-t$ ）图像的意义，并与发射器的运动情况相对应，感悟用图

除了位移的大小，其他物理量，如力、速度、温度、压强、电压、电流等，也都可以用数字化信息技术进行测量。采用这样的测量技术，并用计算机处理测量信息的实验称为数字化信息系统（Digital Information System, DIS）实验。

数字化信息系统主要包括数据采集、处理和显示三个部分。传感器采集物理信息，将其转化为电信号；电信号经处理转化为数字信息后可以呈现为数值、图像等形式。在数字化实验中，要根据所测的物理量选择不同的传感器，数据的处理和显示可由计算机实现。

### 问题与思考

## 问题与思考解读

**1. 参考解答：**如图3所示

**命题意图：**在时间轴上表示时间和时刻，为后续运动图像的学习做准备，与学生的生活实际结合。

**主要素养与水平：**科学推理（Ⅰ）。

**2. 参考解答：**此人沿着圆环跑动，因此当他的位移大小等于直径时，他运动的路程有多种可能。为 $\pi r(2n+1)$  ( $n=0, 1, 2, \dots$ )

**命题意图：**体会位移和路程的区别。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

1. 选择合适的标度，把你们学校上午课表上的时刻标注在时间轴上（图1-13）。在时间轴上标出从第三节课上课到第四节课下课间的时间间隔。



图1-13

2. 如图1-14所示的圆形大花坛的环形道路半径为 $r$ ，某人从A点出发沿环形道路健身跑。当他的位移大小刚好等于环形道路的直径时，他经过的路程是多少？

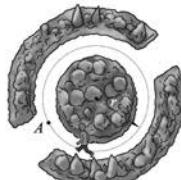


图1-14

3. 足球运动员进行折返跑训练。运动员先沿着x轴正向跑动，从A点到达B点后转身，沿x轴负向跑到C点。各点的位置如图1-15所示。试据此填写表1-2。



图1-15

表1-2

A点坐标	B点坐标	C点坐标	从A到B的位移	从B到C的位移	从A到C的位移

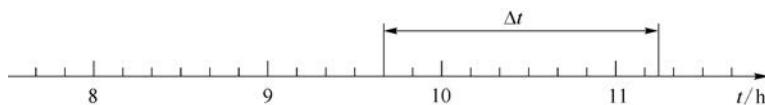


图3

3. 参考解答：8 m 21 m 15 m 13 m -6 m 7 m

**命题意图：**用数学工具描述真实的运动，为了后续图像的学习做准备。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（Ⅰ）；解释（Ⅰ）。

4. 一跑步者在不同时刻的位置数据如表 1-3 所示, 利用表中的数据在图 1-16 中作图。在 5.5 s 时, 跑步者位于何处? 如果跑步者继续按此规律运动, 何时距离出发点 35 m?

表 1-3

时刻 $t/s$	位置 $x/m$
0.0	0.0
1.0	4.9
2.0	10.0
3.0	15.1
4.0	19.9
5.0	25.0
6.0	30.1

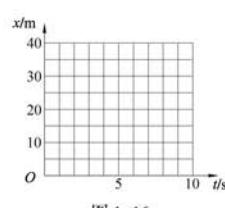


图 1-16

5. 如图 1-17 所示为  $A$ 、 $B$  两人运动的  $x-t$  图像。 $A$  保持匀速运动直达终点,  $B$  晚出发一段时间。图中哪根图线表示  $A$  的运动?  $A$ 、 $B$  两人谁先到达终点?

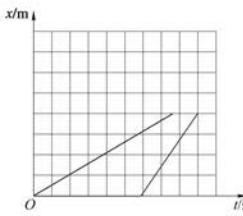


图 1-17

4. 参考解答: 如图 4 所示 根据所画的  $x-t$  图, 5.5 s 时跑步者在 27~28 m 之间  
大约 7 s 时距离出发点 35 m

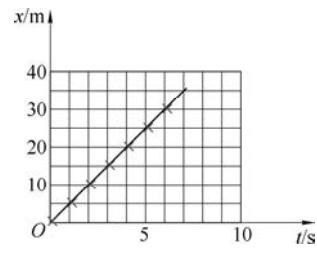


图 4

**命题意图:** 从一维的坐标轴, 到二维的坐标系, 用图像表示运动的过程, 为后续速度的学习、实验数据的处理做准备。

**主要素养与水平:**  
运动与相互作用(Ⅱ);  
解释(Ⅱ)。

5. 参考解答: 过原点的图线表示  $A$  的运动, 不过原点的图线表示  $B$  的运动  $A$  先到终点

**命题意图:** 学会从用图像表示单一对象、单一过程的运动, 到描述两个对象、多段过程

的运动。

**主要素养与水平:** 运动与相互作用(Ⅱ); 科学推理(Ⅱ)。

## 本节编写思路

本节由生活实例、真实数据、“自主活动”和“学生实验”逐步建立运动的快慢、匀速直线运动的概念，进而理解速度、瞬时速度的物理意义，形成运动描述与空间、时间紧密相关的观念。

在上节位移概念的基础上，通过比较蜗牛和子弹，引入运动快慢和匀速直线运动的概念。利用运动员百米跑的数据，经“自主活动”的分析初步形成速度的概念。在“学生实验”的基础上，理解瞬时速度的含义并据此描述运动快慢的意义。经历模型建构的过程，感受无限逼近的分析方法。

通过学习，体验由具体到抽象、用科学语言描述实际运动的思维过程，有助于运动观念的形成。

12 第一章 运动的描述

[1]



图 1-18 比赛中“风驰电掣”的骑手

### 第三节 位置变化的快慢 速度

不同物体位置变化的快慢即运动的快慢往往不同。在物理学中，怎样描述物体运动的快慢呢？让我们从最熟悉的运动——匀速直线运动开始吧！

#### ② 如何用图像描述做匀速直线运动物体的速度规律？

在上一节绘制小球  $x-t$  图像的自主活动中，我们得到一条经过原点的直线，如图 1-19 所示。观察图像可以发现，小球在相等时间间隔  $\Delta t$  内的位移  $\Delta x$  是相同的。像这样在相等时间内物体的位移总是相等的运动，称为匀速直线运动（uniform motion）。

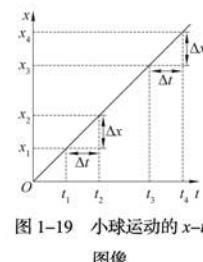


图 1-19 小球运动的  $x-t$  图像

假设射出枪膛的子弹和爬行的蜗牛都做匀速直线运动，

助一臂

[2]

在实际情况中，物体经过相同时间内的位移通常不可能总相等。如果真实的运动与匀速直线运动比较接近，就可以近似视为匀速直线运动。匀速直线运动是一个关于运动过程的物理模型。

## 正文解读

[1] 自行车运动是人们喜爱的一种健身运动。当骑手骑着自行车“风驰电掣”般从照相机镜头前通过时，所拍摄的影像在骑手运动方向的拖影反映了骑手在曝光时间内运动的快慢。通过观察照片可以感受速度、位置变化以及所用时间之间的关系，为经历从具体事例抽象为物理模型，建立速度概念做铺垫。教材第 13 页对此有所呼应。

[2] “助一臂”通过指出匀速直线运动是从实际运动中抽象出来的理想模型，将学生对理想模型的认识由质点这类关于对象的实物模型拓展到关于运动的过程模型。

我们知道子弹运动得比蜗牛快。这是因为，同样通过 5 cm 的位移，子弹用的时间比蜗牛用的时间短；或者说同样经过 0.1 s，子弹运动的位移比蜗牛运动的位移大。

- [1] 在物理学中，用位移与发生这段位移所需时间的比来表示物体运动的快慢，称为速度（velocity），通常用字母  $v$  表示。在匀速直线运动中，用  $\Delta x$  表示位移，发生这段位移所需时间为  $\Delta t$ ，则速度可以表示为

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

速度的物理意义是描述物体运动的快慢和方向，数值上等于物体在单位时间内的位移大小。由于位移是矢量，速度也是矢量。速度的方向为运动物体位移的方向，速度的大小描述了物体位置变化的快慢程度。

在国际单位制中，速度的单位是米/秒（m/s 或  $m \cdot s^{-1}$ ）。常用单位还有千米/时（km/h 或  $km \cdot h^{-1}$ ）。

小球做匀速直线运动的  $x-t$  图像是一条过原点的直线（图 1-19）。根据速度的定义可知，该直线的斜率  $k = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  表示小球做匀速直线运动的速度大小。以速度  $v$  为纵轴，时间  $t$  为横轴建立坐标系，可得小球速度随时间变化的图像，即小球运动的  $v-t$  图像（图 1-20），它是一条平行于时间轴的直线。

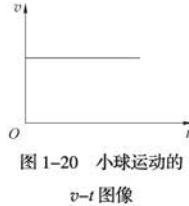


图 1-20 小球运动的  $v-t$  图像

### 如何描述物体做变速直线运动的快慢？

- [2] 某运动员百米跑的成绩为 10.2 s，他在起跑、中途和冲刺三个阶段沿直线赛道做速度变化的运动，运动的快慢各不相同。我们把物体在相等时间间隔内位移不总是相等的直线运动称为变速直线运动。

位移 100 m 与所用时间 10.2 s 的比可以粗略地描述运动员在 10.2 s 内奔跑的快慢。在物理学中，我们把做变速直线运动物体的位移与发生这段位移所用时间的比称为平均速度（average velocity），通常用符号  $\bar{v}$  表示。

### [3] 拓展视野

平均速度是用物体的位移和所用时间的比来定义的。在物理学中，常用路程与所用时间的比来表示物体沿轨迹运动的平均快慢，称为平均速率（average speed）。平均速率是标量，在单向直线运动中，平均速率等于平均速度的大小。章导图中记录一段时间内汽车灯光的踪迹，反映了汽车的运动情况，通过踪迹可以对汽车的运动情况进行研究。根据光迹的长度和曝光时间的长短就可以估算出汽车在这段时间内的平均速率。

[1] 通过分析子弹与蜗牛的运动，体现取相同位移比较时间、取相同时间比较位移两种运动快慢的比较方法。

利用比值法给出速度的一般概念及表达式。将“速度是路程与所用时间的比”提升为“位移与所用时间的比”，突出速度的矢量性。

通过分析，明确位移-时间（即  $x-t$ ）图像的斜率表示速度大小，并引入用速度-时间（即  $v-t$ ）图像描述物体运动的方法，为描述变速直线运动做准备。

[2] 以运动员百米跑为例，引入变速直线运动的概念。

用等效替代思想引入平均速度的概念。

- [3] “拓展视野”简介平均速率的概念及与平均速度的区别，呼应本章的章导图。同时，为往返运动、曲线运动等情形中讨论运动的快慢做铺垫。不在教材正文中讨论平均速率是因为课程标准对此没有要求。

[1] 设置“自主活动”，学习根据具体数据用柱形图表示运动中每小段的平均速度大小。

理解变速直线运动各阶段的平均速度不完全相同，感受用分段平均速度描述比用全程平均速度描述能更细致地反映变速直线运动的快慢。

为学习瞬时速度的概念打下基础。

[2] 在“自主活动”基础上引入瞬时速度的一般概念，感受无限细分与无限逼近的思想方法。

呼应节首图，将抽象的概念情境化、直观化。

### [1] 自主活动

某位运动员在 10.2 s 内跑完 100 m，说明该运动员在整个运动过程中的平均速度约为 9.80 m/s，该数值是否表示运动员每秒均通过了 9.80 m？分段分析运动员的跑步过程，有助于提高运动员的竞技水平。根据表 1-4 中的数据，计算运动员在百米跑过程中每 10 m 的平均速度，在图 1-21 中标出。并据此描述运动员在比赛过程中运动快慢的变化。

表 1-4 运动员跑步分段数据

距离 s/m	0~10	10~20	20~30	30~40	40~50	50~60	60~70	70~80	80~90	90~100
时间 t/s	1.86	1.08	0.89	0.91	0.88	0.89	0.91	0.91	0.93	0.94

$\bar{v}/(m\cdot s^{-1})$

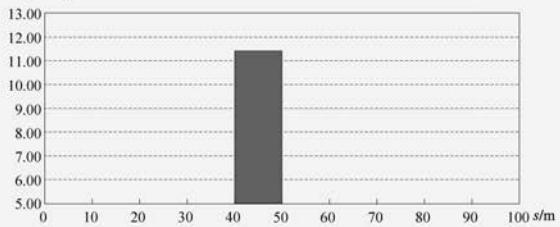


图 1-21 运动员比赛中每 10 m 的平均速度

[2] 与用整个运动过程的平均速度分析运动快慢的方式相比，对运动过程逐段分析能更精确地描述变速运动的快慢，分段越多，描述就越精确。可以设想，如果将整个运动过程无限细分，则每一小段运动的平均速度就趋近于运动员经过该小段内某位置的速度。我们把物体在某时刻或经过某位置的速度称为瞬时速度（instantaneous velocity）。相较于平均速度，瞬时速度可以更加精确地描述物体做变速运动的快慢和方向。瞬时速度的大小通常称为速率。

在图 1-18 中，骑手的身影是模糊的。那是因为在快门打开的短暂时间里，骑手正在高速骑行，在底片上留下了一段拖影。根据拖影的长度和曝光时间的长短，可以估算出骑手在那一时刻的瞬时速度。

瞬时速度也是矢量，其大小表示物体经过某位置瞬间的运动快慢，瞬时速度的方向就是物体在该瞬间的运动方向。匀速直线运动是瞬时速度保持不变，瞬时速度与平均速度相等的运动。

## [1] 学生实验

## 测量做直线运动物体的瞬时速度

## 实验原理与方案

某时刻（或某位置）附近极短时间（或极短位移）内的平均速度可视为物体在该时刻（或该位置）的瞬时速度。实验需要测量两个物理量：时间间隔和相应的位移。

由于时间间隔和位移都太小，很难用停表和刻度尺来精确测量，用光电门传感器可以提高测量精度。

## 拓展视野

光电门传感器为门式结构，如图 1-22 所示。 $A$  孔发射红外线， $B$  孔接收红外线。 $A$ 、 $B$  之间无物体挡光时，电路断开；有物体挡光时，电路接通。根据挡光物体的宽度（物体在挡光时间内的位移大小）和挡光时间，即可算出运动物体在这段挡光时间内的平均速度。

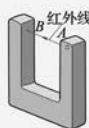


图 1-22 光电门传感器示意图

## 实验装置与方法

如图 1-23 所示，将光电门传感器固定在倾斜导轨上的适当位置，光电门传感器的支架与导轨垂直。使固定有挡光片的小车沿倾斜导轨下滑，并能顺利通过光电门传感器实现挡光。光线被遮挡的时间即为挡光片通过光电门传感器的时间  $\Delta t$ ，小车在挡光时间内的位移  $\Delta x$  的大小即为挡光片的宽度。

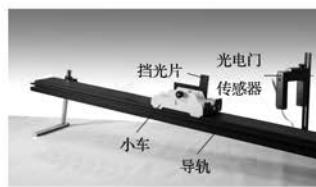


图 1-23 实验装置

## 实验操作和数据收集

将小车从倾斜轨道的顶端附近由静止释放，记录挡光时间。更换不同宽度的挡光片，使挡光片固定在小车的同一位置，小车从导轨的同一位置由静止释放，记录挡光时间。建议在实验中采用宽度分别为 6 cm、4 cm、2 cm、1 cm 的挡光片。将实验数据填入表 1-5 中。

表 1-5 实验数据记录表

实验序号	1	2	3	4
挡光时间内的位移 $\Delta x/cm$				
挡光时间 $\Delta t/s$				
平均速度 $\bar{v}/(m\cdot s^{-1})$				

内容。实验所用挡光片宽度分别为 6 cm、4 cm、2 cm 和 1 cm。实验中为保证小车经过光电门位置时的速度相同，需要使小车每次都从轨道的同一位置由静止释放。

[1] 实验的主要目的是通过数据分析，理解无限逼近的思想，进而理解瞬时速度的实验测量方法。

实验中通过减小固定在小车上的挡光片宽度，以测得的平均速度近似作为瞬时速度。实验中需通过分析所测平均速度的收敛趋势，确定瞬时速度的测量值。

理论上，瞬时速度应是挡光片宽度及挡光时间无限缩小时测得的平均速度的极限值，但由于实验器材的限制，在实验中以宽度最小的挡光片测得的平均速度作为瞬时速度的测量值。

在实验技能层面，通过实验应了解 DIS 实验系统的构成与操作特点；会组装实验装置，并能正常开展实验测量和数据记录。

平均速度的测量利用了光电门传感器，相应介绍与说明可参见实验与活动部分中的相关

[1] 除利用光电门传感器外,也可用分体式位移传感器进行测量。

在  $x-t$  图中  $P$  点左侧和右侧分别选取  $A$ 、 $B$  两点,并不断逼近  $P$  点, $A$ 、 $B$  两点连线(即割线)的斜率表示的平均速度大小逐渐趋于某个确定值。当  $A$ 、 $B$  两点逐渐逼近到  $P$  点,所取时间小于 0.010 s 时,平均速度大小的十分位不再变化,此后的变化发生在百分位及以下。如果测量只要求准确到十分位,就可以将  $AB$  段的平均速度作为小车经过  $P$  点瞬时速度的测量值。从图像上可直观看出,当  $A$ 、 $B$  两点趋于  $P$  点时, $A$ 、 $B$  间的割线趋于过  $P$  点图像的切线,其斜率表示小车经过  $P$  点时瞬时速度的理论值。

必须注意, $x-t$  图中  $A$ 、 $B$  两点由两侧不断逼近  $P$  点的过程与

实验中挡光片宽度逐次减小的过程并不完全对应。实验中挡光片前缘如果对应图中的  $P$  点,开始挡光的时刻是不变的。逐次减小挡光片宽度的过程对应的是图中的  $B$  点沿曲线逐渐趋向  $P$  点的过程。

### 数据分析

由实验数据的分析可知,在相同实验条件下,选择宽度为 1 cm 的挡光片时,由于挡光时间最短,所测得的平均速度可近似为挡光片经过光电门传感器时小车的瞬时速度。

### 实验结论

挡光片经过光电门传感器时小车的瞬时速度  $v = \underline{\hspace{2cm}}$  m/s。

### 交流与讨论

交流各组测得的瞬时速度有何不同,分析其原因。

在实验中,我们还可用位移传感器采集数据,经数据处理后获得小车沿斜面做变速直线运动的  $x-t$  图像,通过对  $x-t$  图像的分析也可以得到物体在某一时刻的瞬时速度。

[1] 如图 1-24 所示为某一质点做变速直线运动的  $x-t$  图像。该质点经过 4 m 处(对应图像上  $P$  点)时运动得有多快?我们用图像上  $P$  点两边  $A$ 、 $B$  点间的平均速度来大致描述质点经过  $P$  点的运动快慢,得到  $v_1 = 2.0$  m/s;如果取更接近  $P$  点的两个点  $A'$  和  $B'$ ,得到  $v_2 = 2.2$  m/s;如果再取更接近  $P$  点的  $A''$  和  $B''$  点,则曲线  $A''B''$  几乎就是一条直线,这时得到  $v_3 = 2.21$  m/s。如果所取的两个点无限接近  $P$  点,这段极短时间内平均速度就是图中  $P$  点的瞬时速度了。

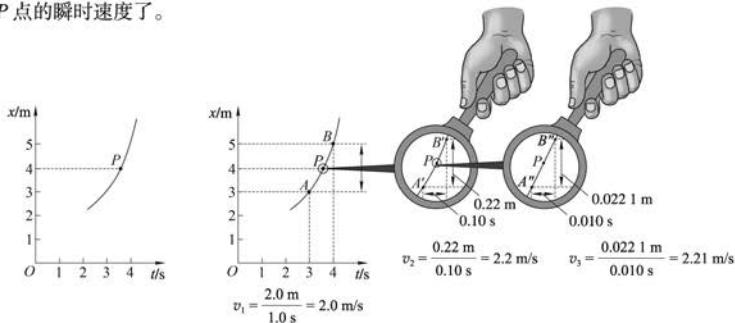


图 1-24 做变速直线运动的质点在  $P$  点的速度分析

### 问题与思考

1. 下列关于各种“速度”的说法中,哪些是平均速度?哪些是瞬时速度?

- (1) 羽毛球比赛中的最高球速可达到 420 km/h。
- (2) 高铁经 12 min 加速到 350 km/h。
- (3) 台风中心以 20 km/h 的速度向西北方向移动。
- (4) 车辆通过 1 km 拥堵路段耗时 20 min, 车速仅为 3 km/h。

## 问题与思考解读

1. 参考解答: (1)、(2) 描述的是瞬时速度,(3)、(4) 描述的是平均速度

命题意图: 用平均速度和瞬时速度的概念对实例做出判断。

主要素养与水平: 运动与相互作用(I); 科学推理(I)。

2. 某时刻汽车速度计的示数就是汽车在该时刻瞬时速度的大小。能否再举出一些生活中描述瞬时速度大小的例子？
3. 如图 1-25 所示是设立在学校附近的限速标志牌，在这段道路上全程限速  $30 \text{ km/h}$ 。一辆汽车通过该路段  $150 \text{ m}$  的距离所用的时间为  $18 \text{ s}$ 。请判断此车是否超速，并作出分析。
4. 照相机快门是控制感光时间的装置，“快门速度”的单位是秒。本节首图 1-18 是在一定快门速度下拍摄的照片。据此该如何估算骑手骑行的速度？需要收集哪些信息？为消除图 1-18 中的拖影，拍摄时快门速度应该如何调整？
5. 如图 1-26 所示的频闪照片记录了运动员前空翻的过程。频闪记录仪相邻闪光间隔均为  $0.2 \text{ s}$ ，运动员身高约  $1.6 \text{ m}$ 。在此过程中，运动员重心在地面上投影的平均速度为多大？如何估测运动员在标号分别为 14、24 位置时其重心在地面上投影的瞬时速度？

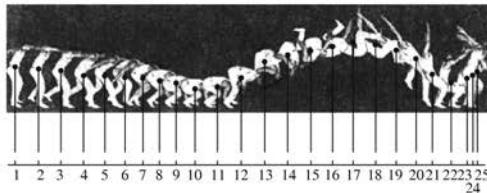


图 1-25

6. 在“测量做直线运动物体的瞬时速度”的实验中，挡光片通过光电门传感器瞬间的平均速度可近似为小车的瞬时速度。实验中更换不同宽度的挡光片，多次实验。
- 每一次实验，小车均在斜面上由静止释放。每次的释放位置有何要求？说明理由。
  - 用位移传感器可同时测得小车沿斜面运动的  $x-t$  图像，如图 1-27 所示。 $t_1$  是挡光开始时刻， $t_2$  是挡光结束时刻，小车在这段时间内的位移大小为挡光片的宽度。光电门传感器测得的平均速度在  $x-t$  图像中如何表示？
  - 实验中更换不同宽度的挡光片。为何挡光片越窄，测得的平均速度越小？利用图 1-27 分析解释。

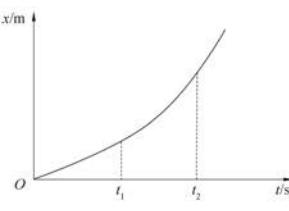


图 1-27

度来估算瞬时速度 需要知道快门速度和照片中物体的真实尺寸，根据照片中物体的大小和真实的尺寸可知其比例关系，由拖影的长度和比例关系可以估算在相机快门打开时自行车前行的距离，用距离除以快门速度估算骑手的速度大小 为消除照片中的“拖影”，拍摄时应选择更短的曝光时间

**命题意图：**在生活实际中应用“无限逼近”的思想。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅱ)；证据(Ⅲ)。

**5. 参考解答：**提示：量出从 1 号位置到 25 号位置的距离，根据运动员的身高与照片中的尺寸估算运动员重心的位移，将该位移除以  $4.8 \text{ s}$ ，可得运动员的平均速度。将 14~15 位置的位移除以  $0.2 \text{ s}$  来估算 14 号位置的瞬时速度；将 24~25 位置的位移除以  $0.2 \text{ s}$  来估算 24 号位置的瞬时速度

**命题意图：**动手从频闪照片中提取信息。

## 2. 参考解答：略

**提示：**给学生表达的机会，结合自己的生活，寻找合适的实例与大家分享

**命题意图：**承接上题，从判断到自己寻找实例，体会平均速度和瞬时速度的意义。

**主要素养与水平：**科学论证(Ⅱ)；科学本质(Ⅰ)。

**3. 参考解答：**根据通过的时间  $18 \text{ s}$  和路段长度  $150 \text{ m}$ ，可求得此车经过该路段的平均速度为  $30 \text{ km/h}$ ，因此无法据此判断此车是否超速。如果该车以  $30 \text{ km/h}$  匀速通过该路段，则没有超速；若该车在某些时段内瞬时速度大于  $30 \text{ km/h}$ ，则此车超速

**命题意图：**运用概念和规律解释真实的问题。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)；科学论证(Ⅲ)。

**4. 参考解答：**可以用很短时间的平均速

**主要素养与水平:** 运动与相互作用(Ⅱ);科学推理(Ⅱ)。

**6. 参考解答:** (1) 每次需将小车从斜面上同一位置由静止释放。目的是保证小车经过光电门时运动状态相同,从而比较不同宽度挡光片测得的平均速度的差别 (2) 测得的平均速度大小在  $x-t$  图中就是曲线上两点(A 和 B 或 A 和 C)间割线的斜率值,其中 B 点对应较宽挡光片挡光结束的时刻,C 点对应较窄挡光片挡光结束时刻,如图 5 所示 (3) 由图可知,随着挡光片宽度变窄,曲线上两点间割线的斜率减小,逼近曲线上 A 点切线的斜率。因此随着挡光片宽度减小,所测得的平均速度逐步逼近  $t_1$  时刻的瞬时速度

**命题意图:** 关注实验条件对实验结果的影响;通过实验促进概念的形成,了解无限逼近的方法。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅱ);科学本质(Ⅰ);科学态度(Ⅰ)。

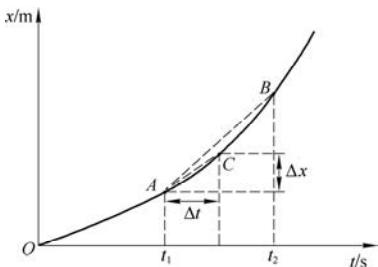


图 5

[1]

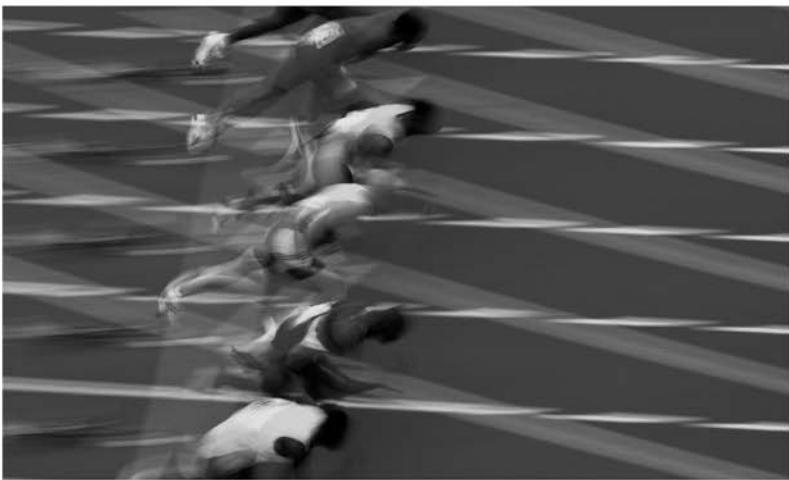


图 1-28 运动员起跑瞬间

## 第四节 速度变化的快慢 加速度

如图 1-28 所示,发令枪响,短跑运动员们似离弦之箭冲出起跑线,有的运动员冲到了前面,这说明他的速度增加得比其他运动员快。赛车从静止加速到 100 km/h 仅需 2.5 s 左右,所需时间不到一般家用轿车从静止加速到 100 km/h 所用时间的四分之一。这两个事例说明不同的变速运动中速度变化的快慢往往是不同的。如何描述做变速直线运动物体速度变化的快慢呢?

[2]

### 大家谈

飞机以 200 m/s 的速度沿直线匀速飞行;运载火箭点火后竖直升空,2 s 内由 0 m/s 加速到 60 m/s;赛车沿直线赛道启动,从静止加速到 100 km/h 约需 2.5 s。

以上三种情况中:

- (1) 哪个物体的速度变化量最大? 哪个物体的速度变化量最小?
- (2) 哪个物体的速度变化最快? 哪个物体的速度变化最慢?

说出你的依据。

离长,起跑的速度快。因默认所有运动员均同时从静止出发,还可以知道在相同时间内冲在前面的运动员速度的增加量大,从而认识速度变化的快慢是变速直线运动的重要表征。

[2] 此处设置“大家谈”的目的是理解速度变化量  $\Delta v$  与速度变化快慢  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  的不同含义。知道速度变化快慢可以用单位时间内的速度变化量表征。

飞机  $\Delta v = 0$ ,  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = 0$ ; 火箭  $\Delta v = 60 \text{ m/s}$ ,  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{60}{2} \text{ m/s}^2 = 30 \text{ m/s}^2$ ; 赛车  $\Delta v = 100 \text{ km/h} \approx 27.8 \text{ m/s}$ ,  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{27.8}{2.5} \text{ m/s}^2 = 11.12 \text{ m/s}^2$ 。结合下一页的“大家谈”可以进一步明确:加速度大小与速度大小、速度变化量的大小表示的物理意义不同,它们之间没有直接关系。

## 本节编写思路

本节利用实际物体运动及速度变化的数据,通过“自主活动”“示例”建立速度变化、速度变化快慢的概念,并进而定义“加速度”。

通过对汽车加速测试数据的分析和“自主活动”,了解如何由  $v-t$  图像得到加速度,加深对变化率概念的理解。

通过对汽车加速和减速过程的具体计算与分析,理解加速度的矢量性和在一维运动情况下的表示方法。

学习中经历的从现象、数据到加速度概念建立的过程是对由具体到抽象思维过程的训练,并有助于形成完整的运动观念。

## 正文解读

[1] 观察照片中运动员的位置和拖影,在相同曝光时间内,冲在前面的运动员跑过的距离

[1] “拓展视野”介绍了变化率。

在数学上,任一随时间变化的量  $y(t)$  随时间变化的快慢程度可以用其变化率  $\frac{\Delta y(t)}{\Delta t}$  表示。

但在物理学中,是否需要将某物理量的变化率定义为新的物理量,需考虑是否具有物理意义。

譬如,我们用物体位置(或相对原点的位置) $x$  的时间变化率  $\frac{\Delta x}{\Delta t}$  表示物体运动的快慢,从而定义了一个新的物理量——速度;同理,我们定义加速度  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$

表示速度变化的快慢。实际上,运动物体的加速度  $a$  往往也是随时间变化的,在物理学中并没有进一步将加速度

的变化率  $\frac{\Delta a}{\Delta t}$  定义为一个新的物理量,其原因是根据牛顿运动定律,在质量一定的情况下,只要知道物体的受力,就可以知道其加速度,从而确定其运动情况,因此,在物理学范畴中无需再定义新的物理量。

但在工程领域,加速度变化的快慢,即“加加速度” $\frac{\Delta a}{\Delta t}$  是一个有意义的量,称为“急动度”。汽车高速匀速行驶时,乘客的唯一感受是窗外物体飞速掠过,如果汽车突然加速或减速,乘客便会后仰或前冲,引起不舒服的感觉。在工程上通常用急动度描述人的不舒适程度,这在设计交通工具时是一个需要考虑的因素。

[2] 承接上一页的“大家谈”,通过讨论来辨析速度、速度变化量和加速度。

[3] 车在从静止开始做加速运动的过程中,加速度是随速度的增大逐渐减小的。这里求出的加速度实际上是车在“百公里加速时间”内的平均加速度,表示在这段时间内轿车加速的平均快慢程度。

这里处理问题的思路是把车的加速过程简化为加速度恒定的过程,实际上就是抽象为理想化模型的处理方法。

## 如何描述做变速直线运动物体速度变化的快慢?

做变速直线运动的物体在相等时间内速度变化量越大,速度变化越快。描述物体速度变化的快慢需要同时考虑速度变化量  $\Delta v$  与发生这一变化所用的时间  $\Delta t$ 。物理学中用速度的变化量  $\Delta v$  与发生这一变化所用时间  $\Delta t$  的比表示速度变化的快慢,称为加速度(acceleration),通常用字母  $a$  表示。加速度是速度随时间的变化率。

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

若物体在初时刻  $t_1$  的速度为  $v_1$ ,末时刻  $t_2$  的速度为  $v_2$ ,则在  $\Delta t = t_2 - t_1$  的时间内物体速度的变化量为  $\Delta v = v_2 - v_1$ ,物体的加速度可表示为

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

在国际单位制中,加速度的单位是米/秒<sup>2</sup>(m/s<sup>2</sup> 或 m·s<sup>-2</sup>),读作“米每二次方秒”。

### 拓展视野

[1]

某个量  $D$  的变化量可记为  $\Delta D$ ,如果发生这个变化所用的时间为  $\Delta t$ ,则  $\Delta D$  与  $\Delta t$  的比  $\frac{\Delta D}{\Delta t}$  称为  $D$  的变化率。速度是位置的变化率,加速度是速度的变化率。变化率表示变化的快慢。

## 大家谈

物体的速度很大,加速度就一定很大吗?物体速度的变化量很小,加速度就一定很小吗?

[3] 示例 汽车的“百公里加速时间”是反映汽车动力性能的重要指标。表 1-6 为某新型轿车的部分参数,求该车从静止加速到 100 km/h 的加速度大小。

分析:汽车的“百公里加速时间”指的是该车从静止起加速到 100 km/h 所需要的时间  $t$ 。把车抽象为质点,假设汽车在加速过程中沿直线运动,根据加速度的定义,利用表中参数可以求得该车的加速度大小。

解:以汽车为对象,设启动时刻  $t_1 = 0$  s,此时汽车的初速度大小  $v_1 = 0$  m/s。由表 1-6 中的数据可知,在  $t_2 = 6.71$  s 的时刻汽车加速到 100 km/h,此时汽车的速度大小  $v_2 = 100$  km/h  $\approx 27.8$  m/s。

根据加速度的定义可得,该车由静止加速到 100 km/h 的加速度  $a$  大小为

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{27.8 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}}{6.71 \text{ s} - 0 \text{ s}} \approx 4.14 \text{ m/s}^2$$

表 1-6 某新型轿车的部分参数

功率 $P/\text{kW}$	301
百公里加速时间 $t/\text{s}$	6.71
最高速度 $v/(\text{km}\cdot\text{h}^{-1})$	265

表 1-7 中数据反映了一些物体加速度大小的数量级。

表 1-7 一些物体加速度大小的数量级 [ $a/(m\cdot s^{-2})$ ]

物体	加速度大小的数量级
加速器中的质子	$10^{15}$
击发后枪膛中的子弹	$10^5$
离弦前的箭	$10^3$
点火升空时的火箭	$10^2$
地球上的自由落体	10
月球上的自由落体	$10^0$
启动时的列车	$10^{-1}$
起航时的万吨货轮	$10^{-2}$

## [1] 拓展视野

与速度有平均速度、瞬时速度之分类似，加速度也有平均加速度和瞬时加速度。

一般而言，物体做变速运动时速度变化的快慢程度也会随时间和空间位置而变化。此时，速度的变化量  $\Delta v$  与所用时间  $\Delta t$  的比即为该段时间内的平均加速度。平均加速度只能粗略地表示某段时间内物体速度变化的快慢程度。

如果  $\Delta t$  无限趋近于 0，即得到某一时刻速度的瞬时变化率，相应的加速度称为瞬时加速度。瞬时加速度描述了物体在某时刻、经过相应位置速度变化的快慢。

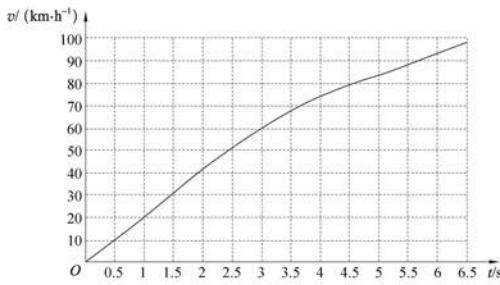
[1] “拓展视野”介绍了平均加速度和瞬时加速度。物体在实际运动时不仅速度随时间变化，加速度通常也在随时间变化。与速度概念类似，加速度也有平均加速度与瞬时加速度之分。

如果物体的速度随时间均匀变化，即加速度不随时间变化，物体在各段时间的平均加速度与各个时刻的瞬时加速度都相等。此时，可不区分平均加速度和瞬时加速度而统称加速度。

## ② 如何确定运动物体加速度的大小？

[2] 加速度是反映汽车动力性能的一个重要指标。图 1-29 所示为某品牌汽车动力性能测试所得的  $v-t$  图像。在图像上选取相距较远的两点  $A(v_1, t_1)$ 、 $B(v_2, t_2)$ 。由此可以估算汽车在  $t_1 \sim t_2$  时间内的加速度的大小

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

图 1-29 某品牌汽车 0~100 km/h 的  $v-t$  图像

[2] 观察反映汽车加速性能的  $v-t$  图像可知，在  $0 \sim 3$  s 时间段图像几乎为直线，速度随时间线性增大，加速度约为  $5.56 m/s^2$ ； $3 \sim 4.5$  s 时间段图像逐渐向下弯曲，加速度约为  $3.52 m/s^2$ ； $4.5 \sim 6.5$  s 时间段图像又几乎为直线，加速度约为  $2.5 m/s^2$ ；可见，加速度在不同时间段并不相等，在整个加速过程中平均加速度约为  $4.15 m/s^2$ 。

由此可进一步领略用图像描述物体运动的方法，深化对速度-时间图像意义的理解，提高从图像上读取、分析物体运动信息的能力。并为用 DIS 测量做变速直线运动物体的加速度奠定测量原理与方法的基础。

[1] 通过“自主活动”初步了解匀加速直线运动的  $v-t$  图像, 理解由图像获得小车加速度的方法; 学习分体式位移传感器的使用方法。通过改变轨道倾角, 感受加速度对速度变化的影响。

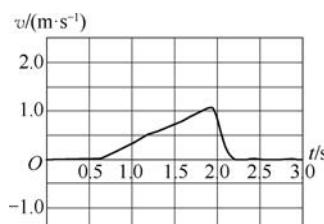


图 6

如图 6 所示为实验所得小车沿倾斜导轨向下运动的  $v-t$  图像。在图像上选取线性关系明显的一段, 通过图像的斜率测得小车的加速度大小。通过动手实验和分组交流, 提高实验操作的技能和图像分析的能力, 增强团队合作意识, 培养认真细致、实事求是的态度。

### [1] 自主活动

在图 1-30 所示的装置中, 小车沿斜导轨向下运动。利用分体式位移传感器获得小车运动过程中各个时刻的位移, 经计算机对数据处理后得到小车速度随时间的变化。根据数据, 在坐标平面上描点后连线, 得到小车的  $v-t$  图像。由图像中的信息, 估算小车的加速度大小。

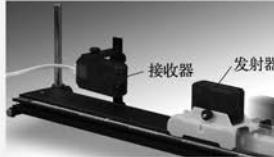


图 1-30 测量小车的加速度

小车沿导轨向下运动时, 其速度方向沿导轨向下。若导轨倾角不同, 小车由静止起加速后的速度方向也不同。可见, 速度的变化是有方向的, 反映物体速度变化快慢的加速度也是一个有方向的矢量。

### 如何确定加速度的方向?

加速度与速度同为矢量。根据加速度的定义, 加速度  $a$  的方向与速度变化量  $\Delta v$  的方向一致。

- [2] 一辆沿直线行驶的汽车在 5 s 内速度由 15 m/s 增加到 25 m/s, 在随后的 5 s 内速度减小到 15 m/s。如图 1-31 所示, 取汽车前进方向为正方向, 分别画出两段时间内的初速度与末速度矢量。

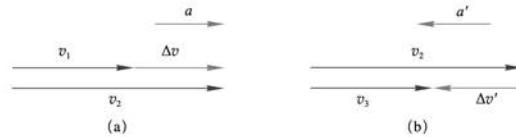


图 1-31 加速度方向与速度方向的关系

如图 1-31 (a) 所示, 在第 1 个 5 s 内: 汽车速度的变化量  $\Delta v = v_2 - v_1 = 25 \text{ m/s} - 15 \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}$ , 加速度  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{10 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = 2 \text{ m/s}^2$ 。

如图 1-31 (b) 所示, 在第 2 个 5 s 内: 汽车速度的变化量  $\Delta v' = v_3 - v_2 = 15 \text{ m/s} - 25 \text{ m/s} = -10 \text{ m/s}$ , 加速度  $a' = \frac{\Delta v'}{\Delta t} = \frac{-10 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}^2$ 。

在这两个过程中, 汽车加速度的大小 (即  $a$  的绝对值) 相同, 但前者为正, 后者为负,

- [2] 学习如何利用矢量示意图表示速度的变化量和加速度的方向。理解在直线运动中加速度的方向与速度、速度变化量之间的关系。知道加速度方向与速度方向一致或相反, 分别表示物体做加速运动或减速运动。

## 问题与思考解读

加速度的正、负表示其方向与正方向相同或相反。由此可见，运动物体加速度的方向不一定与速度的方向一致。

在直线运动中，若物体的加速度与其速度方向相同，则表示物体的速度大小在增大，做加速运动；若物体的加速度与其速度方向相反，则表示物体的速度大小在减小，做减速运动。

### 问题与思考

- A*、*B*两车均做直线运动。*A*车的速度从0增大到30 km/h，*B*车从20 km/h加速到60 km/h，两辆车的速度分别变化了多少？哪辆车的加速度更大？
- 速度是用位置的变化 $\Delta x$ 与发生这一变化所需的时间 $\Delta t$ 的比来定义的。对同一物体来说 $\Delta x$ 很大时，速度可以不变。加速度是用速度的变化量 $\Delta v$ 与发生这一变化所需的时间 $\Delta t$ 的比来定义的。举例说明，同一物体做变速直线运动过程中速度变化量 $\Delta v$ 增大，但加速度不变。
- 某同学乘坐磁浮列车（图1-32）时记录了列车内显示屏的数据，如表1-8所示。  
试根据表中数据描述磁浮列车由静止加速到430 km/h的过程中加速度的大小是如何变化的。



图1-32

表1-8

序号	时刻	速度 $v$ /(km·h <sup>-1</sup> )
1	16时22分00秒	0
2	16时22分40秒	94
3	16时23分20秒	170
4	16时24分00秒	269
5	16时24分40秒	355
6	16时25分20秒	425
7	16时25分26秒	430
8	16时26分00秒	430

- 如图1-33所示，一个弹性小球在光滑水平面上以5 m/s的速度撞墙后，以大小不变的速度反向弹回。球与墙的接触时间为0.005 s。用速度矢量表示撞墙前、后小球速度 $v$ 和速度变化量 $\Delta v$ ，并求小球在与墙接触过程中的加速度 $a$ 。

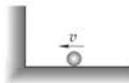


图1-33

内的平均加速度，以此来粗略描述列车速度变化的快慢

**命题意图：**利用图表信息求列车加速度，认识实际的变速运动中，不仅速度随时间变化，通常加速度也在随时间变化。进一步体会描述物理量变化的方法。

**主要素养与水平：**科学推理（I）；证据（I）。

**4. 参考解答：**如图7所示  $2000 \text{ m/s}^2$ ，方向向右

**命题意图：**从情境转换成可定量描述的数值。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（I）；科学推理（II）。

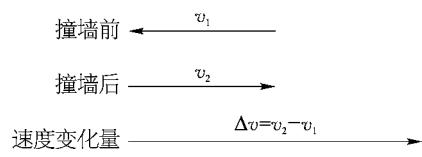


图7

**1. 参考解答：**  
30 km/h 40 km/h 无法判断哪辆车的加速度更大。加速度是物体在单位时间内的速度变化量，仅知道速度变化了多少不够，还需要知道车辆速度变化所用的时间

**命题意图：**从速度到速度的变化，再到速度变化的快慢。通过具体的事例体会变化快慢与变化量的关系。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（I）；科学推理（I）。

**2. 参考解答：**提示：鼓励学生用自己的语言表达

**命题意图：**为后续学习匀变速运动做准备。对1、2两题从理论上做综合提升。

**主要素养与水平：**科学推理（II）；科学论证（II）。

**3. 参考解答：**提示：根据表中的数据仅能估算列车在各段时间

## 5. 参考解答：

$7.06 \text{ m/s}^2$  方向与速度方向相反

**命题意图：**定量计算，规范计算过程和步骤。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（I）；科学推理（I）。

**6. 参考解答：**在  $t_1 \sim t_2$  时间内的加速度为

$$\frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}, \text{ 方向为正}$$

在  $t_3 \sim t_4$  时间内的加速度

$$\text{为 } \frac{v_1 - v_2}{t_4 - t_3}, \text{ 方向为负}$$

负 小车在  $t_1 \sim t_2$  时间间隔内，速度增大，加速度与速度方向相同，加速度与速度均为正。在  $t_3 \sim t_4$  时间内速度在减小，加速度与速度方向相反，速度方向始终为正，所以  $t_3 \sim t_4$  时间的加速度为负

**命题意图：**学习将具体的情境抽象为图像，并会从图像中提取信息。

**主要素养与水平：**科学推理（II）；科学论证（II）。

5. 舰载机陆地模拟训练时着舰速度约为  $60 \text{ m/s}$ ，经过  $8.5 \text{ s}$  后静止。舰载机的加速度为多大？方向如何？

6. 某小车做直线运动时的  $v-t$  图像如图 1-34 所示。 $t_1 \sim t_2$ 、 $t_3 \sim t_4$  时间间隔内的  $v-t$  图像近似看作直线。这两段时间内，小车的加速度为多大？设小车运动方向为正方， $t_1 \sim t_2$  时间内的加速度和  $t_3 \sim t_4$  时间内的加速度是正还是负？说明理由。

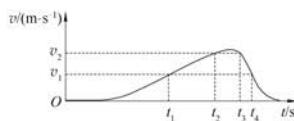


图 1-34

## 小结

### · 基本概念和基本规律

**质点：**忽略物体的大小和形状，把物体简化为有质量的点。质点是一个物理模型。

**位移：**表示位置变化的物理量。用从初位置指向末位置的有向线段来表示，是既有大小又有方向的矢量。

**平均速度：**粗略描述位置变化快慢的物理量，是物体的位移与发生这段位移所用时间的比；是既有大小又有方向的矢量。

**瞬时速度：**精确描述位置变化快慢的物理量，是物体在某时刻或通过某位置的速度；是既有大小又有方向的矢量。

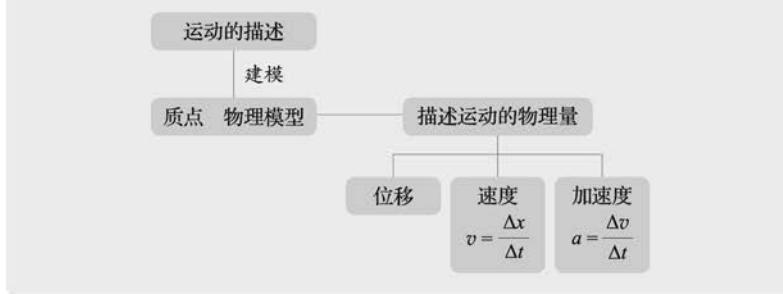
**加速度：**描述速度变化快慢的物理量，是速度的变化量与所用时间的比。加速度是矢量，其大小表示速度变化的快慢，方向总与速度变化量的方向一致。

### · 基本方法

通过质点模型的建立过程，感受抽象、简化和建模方法。

在建立速度、加速度概念的过程中，认识由平均到瞬时的极限方法。

### · 知识结构图



## 复习与巩固解读

复习与巩固 25

1. 参考解答: (1) 错, 1 h 34 min 是用时长度, 指时间间隔 (2) 错, 全长 188 km 指的是经过的路线长度, 即路程 (3) 对 (4) 错, 与短隧道的长度相比, 动车的长度不能忽略, 不可看成质点

**命题意图:** 明确时间、时刻的含义, 区分时间与时刻。能根据研究问题的需要, 判断能否将实际运动中的物体抽象为质点。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅰ)。

2. 参考解答: 100~110 m 以照片上车辙宽度表示实际车辙宽度 1 m 为标度, 在照片上测量车辙起点到终点的直线距离, 并按同样的标度进行换算, 得到玉兔号全程的位移大小

**命题意图:** 培养学生利用证据进行科学推理的能力。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅰ)。

3. 参考解答: 由题中数据可知, 飞机 15 min 内飞行了 200 km, 远大于飞机的大小。在研究这段时间内飞机运动的距离、快慢时可将飞机视为质点。飞机的位移大小为 200 km, 不能确定其位移的方向。飞机沿直线匀速巡航, 可将飞机的运动视为匀速直线运动, 800 km/h 既是飞机的瞬时速度, 也是飞机的平均速度

**命题意图:** 培养学生规范、完整的语言表达能力。

**主要素养与水平:** 科学论证(Ⅱ); 科学态度(Ⅰ)。

4. 参考解答: (1)、(2) 如图 8 所示

(3)  $\Delta x_{BD} = x_D - x_B = (40 - 20) \text{ m} = 20 \text{ m}$ , 方向沿  $x$  轴正方向

## 复习与巩固

1. 金丽温高铁的开通, 大幅缩短了沿线各城市的通行时间。这一条金华到温州的线路全长 188 km, 乘坐某次高铁列车从金华到温州只需要 1 h 24 min, 最高时速可达 200 km/h。判断下列说法是否正确。

- (1) 1 h 24 min 是指时刻。
- (2) 全长 188 km 指位移。
- (3) 200 km/h 指瞬时速度。
- (4) 测定高铁列车完全通过短隧道的时间时, 高铁列车可看成质点。

2. 嫦娥四号着陆器登月后, 玉兔号月球车告别着陆器开始了它的巡月之旅。月球车一路在月球表面留下的车辙如图 1-35 所示, 车辙宽度约为 1 m。估算玉兔号全程的位移。



图 1-35

3. 大飞机 C919 在试飞时曾以 800 km/h 的速度沿着直航线匀速巡航 15 min。在此过程中, 飞机能视为质点的理由是什么? 根据这些信息能否确定飞机在 15 min 内的位移? 800 km/h 是飞机的平均速度还是瞬时速度?

4. 如图 1-36 所示, 某人沿直线游泳, 他以  $A$  为起点, 先经过  $B$  点, 到达池对岸  $C$  点后返回至  $D$  点。  
(1) 以  $A$  为原点建立向右为正方向的坐标轴。  
(2) 在坐标轴中标明  $B$ 、 $D$  的位置。  
(3) 求此人从  $B$  点运动至  $D$  点的位移。

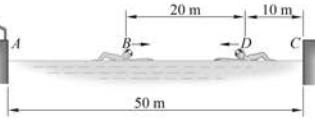


图 1-36

5. 下列关于速度和加速度关系的表述哪些可能存在, 举例说明。

- (1) 物体的速度很大, 加速度很小。
- (2) 物体的速度等于零, 加速度不等于零。
- (3) 物体的速度不变, 加速度不等于零。
- (4) 物体的速度变化很大, 加速度很小。
- (5) 物体速度变化很慢, 加速度却很大。



图 8

(6) 物体速度向右, 加速度向左。

(7) 物体速度很小, 加速度很大。

6. 在一段时间内, 甲、乙两个物体做直线运动, 甲的加速度为  $-5 \text{ m/s}^2$ , 乙的加速度为  $3 \text{ m/s}^2$ , 是否可据此比较甲、乙在这段时间内加速度的大小、速度变化量的大小, 以及速度的大小?

7. 用位移传感器记录小车做直线运动的位移随时间变化的图像, 如图 1-37 所示。A、B 间的平均速度是多大?

8. 龟兔赛跑的寓言中, 兔子由于轻敌而与冠军失之交臂。乌龟与兔子运动的图像如图 1-38 所示。问:

- 哪一根图线代表兔子的运动, 哪一根图线代表乌龟的运动?
- 兔子与乌龟是否同时从同一地点出发?
- 兔子和乌龟在比赛途中相遇过几次?

9. 世界上第一条投入商业运行的上海磁浮列车, 运行路程为  $31.5 \text{ km}$ , 最高速度约  $430 \text{ km/h}$ , 全程只需  $8 \text{ min}$ , 中途无停靠。某人记录车厢显示屏上显示的行驶时间和速度大小, 如表 1-9 所示。

表 1-9

$t/\text{s}$	0	8	23	35	55	83	130	189	211	217	226	240
$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	0	5.3	19.7	28.3	41.9	56.4	85.0	111.1	119.4	119.4	119.4	119.4

(1) 将表中的数据在图 1-39 中描点, 用平滑线连接数据点, 画出列车在  $0\sim 240 \text{ s}$  内的  $v-t$  图像。

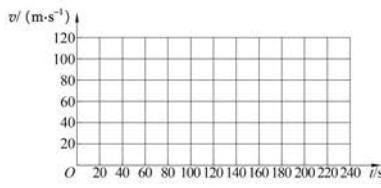


图 1-39

(2) 说明如何估算  $100 \text{ s}$  时列车加速度大小。

证(II)。

6. 参考解答: 在这段时间内, 甲的加速度绝对值比较大; 甲速度变化量的绝对值也比较大。由于初速度未知, 无法比较速度的大小。

**命题意图:** 理解加速度的矢量性, 体会用正、负号表示直线运动物体加速度方向的方法。

**主要素养与水平:** 科学推理(I); 科学论证(I)。

7. 参考解答:  $1.17 \text{ m/s}$  根据  $x-t$  图像得 A、B 两点的坐标, 再根据  $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_B - x_A}{t_B - t_A}$  可得 A、B 间的平均速度

**命题意图:** 理解位移-时间图像的意义, 能从图像获取物体运动的信息。

**命题意图:** 将人看作质点, 建立一维坐标系, 描述其位置及位置变化。

**主要素养与水平:** 科学推理(I)。

5. 参考解答: (1) 存在高速匀速巡航的飞机 (2) 存在刚刚起步的汽车 (3) 不存在若速度不变, 则速度的变化  $\Delta v = 0$ , 所以加速度  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  也为零 (4) 存在游轮起航过程 (5) 不存在加速度描述速度变化的快慢, 若速度变化慢, 则加速度一定小 (6) 存在物体向右减速运动 (7) 存在火箭点火瞬间

**命题意图:** 把物理语言转化为生活语言, 用具体的生活情境帮助理解抽象的物理概念, 有助于运动观念的形成, 渗透科学论证的思维。

**主要素养与水平:** 科学推理(I); 科学论

## 主要素养与水平：

科学推理(Ⅰ)。

复习与巩固 27

## 8. 参考解答：

(1)  $A$  代表兔子的运动,  $B$  代表乌龟的运动 (2) 兔子和乌龟从同一地点出发, 兔子的出发时间比乌龟晚了  $t_1$  (3) 兔子和乌龟在比赛途中相遇两次, 分别为  $t_2$  和  $t_4$  时刻

**命题意图:** 从单一对象到多个对象, 从单一过程的运动到多段过程的运动, 从简单到复杂, 体现类比的思想, 建立科学与人文的联系。

**主要素养与水平:**  
科学推理(Ⅱ)。

## 9. 参考解答：

(1) 如图 9 所示  
(2) 可在  $100\text{ s}$  附近取两个时刻, 在曲线上读出这两个时刻对应的速度值(如图中三角标记处), 用该段时间的平均加速度估算  $100\text{ s}$  时的加速度

**命题意图:** 学会利用图像描述、分析运动。

**主要素养与水平:**  
解释(Ⅱ); 科学本质(Ⅰ)。

**10. 参考解答:** 由图(a)可知, 篮球在  $0\sim0.4\text{ s}$  内做匀速直线运动; 由图(b)可知, 篮球在  $0\sim7\text{ s}$  内做减速运动。由于两位同学记录的时间长短不同, 图(a)中时间较短,  $0.4\text{ s}$  内的速度变化不大, 这段运动可视为匀速运动

**命题意图:** 体现整体和局部关系, 学会利用图像描述、分析运动。

**主要素养与水平:** 科学论证(Ⅱ); 科学本质(Ⅰ)。

**11. 参考解答:** 提示:  $x-t$  图像表示位移与时间的关系。水平直线段表示静止, 倾斜的直线段表示

10. 一个篮球在地面上沿直线运动, 两位同学分别记录篮球的运动过程, 获得了如图 1-40 (a)、(b) 所示的  $x-t$  图像。根据图像, 说一说篮球是如何运动的。为何两位同学对同一个运动的描述不同?

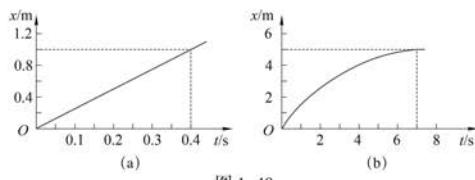


图 1-40

11. 设计一个活动, 利用位移传感器获得如图 1-41 所示的  $x-t$  图像, 如何操作才能实现。

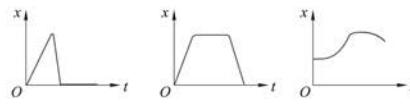


图 1-41

12. 如图 1-42 所示为甲、乙、丙、丁四个物体做直线运动的  $x-t$  图像。说明四个物体在  $0\sim t_1$  时间段的始、末位置, 并从位移、路程、运动的快慢等角度描述它们的运动。

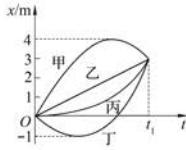


图 1-42

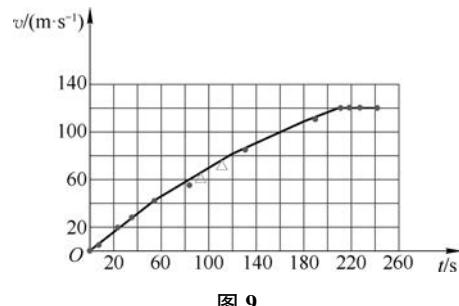


图 9

做匀速直线运动，曲线表示做变速运动，斜率越大，运动得越快。有条件的话，可以让学生按照教材图1-11所示做一做

**命题意图：**体会用图像描述运动的方法，与同学交流、讨论、合作。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)；证据(Ⅲ)。

**12. 参考解答：** $t=0$ 时刻，四个物体同时从 $x=0$ 处出发， $t_1$ 时刻同时到达距离出发点3 m的终点，四个物体的位移相同。乙物体和丙物体都是沿直线从起点运动到终点的，路程等于位移的大小；甲物体先运动到距离起点4 m远的位置再折返回距离起点3 m的终点，路程等于5 m；丁物体先反向运动到距离起点1 m远的位置，再折返向终点运动，路程也是5 m。甲的速度先减小，后反向增大；乙的速度不变；丙的速度逐渐增大；丁物体先反向运动，速度绝对值逐渐减小至零，后向正向加速运动，速度逐渐增大

**命题意图：**将运动图像转化为实际的运动情境，为用图像进一步研究物体的运动做准备。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

## 第三部分 本章练习部分解读

### 第一节 质点 物理模型

#### (一) 参考解答

1. 空间位置 时间

2. 物体的大小和形状对研究的问题可以忽略 研究从上海驶往北京的列车通过的路程时，可将列车视为质点

3. 物理模型 突出影响研究的主要因素、忽略次要因素

4. 选项A、C均需考虑物体上的各个点的运动的差异，不宜视为质点，故答案为B、D

5. 见下表

说 法	判 断	说 明 理 由
某些条件下，地球可被视为质点	对	物体能否抽象为质点，取决于在研究的问题中，物体的大小和形状能否忽略不计。如在研究地球绕太阳的公转时，可以忽略地球的大小和地球上各点的运动差异，可以将其视为质点
只要物体的体积很小，就可以视为质点	错	除了体积很小，还必须满足其他条件，物体才可视为质点。如蚊子的体积很小，但在研究蚊子的飞行动作时，不能忽略蚊子身体各部分的运动差异，不可将其视为质点
只要物体沿直线运动，就可以视为质点	错	物体做直线运动并不一定可以视为质点，如教材节首图所示的情境，研究列车通过隧道的时间，如果列车和隧道的长度可比拟，就不能将列车视为质点
抽象为质点后，物体的大小和质量均可忽略不计	错	物体视为质点后，其大小和形状可以忽略，但质量不能忽略

6. 认同 日全食发生是因为日、月、地排列在一条直线上，月球刚好遮挡了太阳，这时不能忽略月球的大小和形状，不能将月球视为质点

7. 拍摄视频时，设备需保持静止。利用信息技术，将视频处理成与教材“问题与思考”第2题相似的照片。将照片中同学身上的相同颜色的标记点连线，获得各色标记点的不同轨迹，找出其中最接近直线的一条。本题所需的视频可根据情况由学生自主拍摄或由教师提供。本题呈现了提出猜想、收集证据、

作出解释的科学探究的一般过程,与教材“问题与思考”第2题呼应

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	模型建构	科学推理	科学论证	证据	解释
1		I			
2	I		I		
3	I				
4	I				
5	I		II		
6	I		II		
7				I	I

## 第二节 位置的变化 位移

### (一) 参考解答

1. 可以 不可以
2. 位置 位移
3. 数学关系 图像
4. (1) 时间间隔 (2) 时间间隔 (3) 时刻 (4) 时间间隔
5. 第 5 s 时间 第 3 s 末时刻 第 4 s 初时刻或前 3 s 末时刻
6. (1) 如图 10 所示 (2) 18 10 53°
7.  $3\sqrt{5}$  cm 图略
8. 位移大小是 AB 间连线的长度,为  $\sqrt{10}h$  路程是三段楼梯长度之和,为  $3\sqrt{2}h$

9. 回答一: 认同 由图(a)可知,蚂蚁在 100 s 内匀速爬行了 20 cm;图(b)中的直线同样描述了蚂蚁的运动情况,并且反映了其运动方向。回答二: 不认同 图(a)记录的是蚂蚁头部的位置随时间变化的情况,而图(b)描述整个蚂蚁的运动,两者的对象不一致。回答三: 不认同 图(b)描述的是一个匀速直线运动,在任意相等时间内的位移都相等;图(a)为每 10 s 记录蚂蚁头部的位置,只能说明蚂蚁在这段时间内每 10 s 经过的距离都为 2 m,在每个 10 s 内蚂蚁运动的快慢可能不同(答案不唯一,言之有理即可)

### (二) 习题主要素养与水平分析

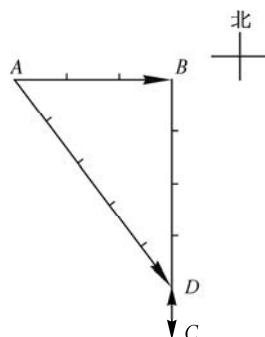


图 10

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	解释	社会责任
1			I			
2			I			
3			I			
4			II			
5			II			
6			II		I	

(续表)

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	解释	社会责任
7	II					I
8	II		II			
9		I	II	II		

### 第三节 位置变化的快慢 速度

#### (一) 参考解答

1. 位移 平均快慢或大致快慢
2. 某一段时间 某一时刻 瞬时 瞬时 瞬时
3. 见下表

说 法	判断	说 明 理 由
汽车启动后第3 s末的平均速度是5 m/s	错	第3 s末是指时刻,而根据瞬时速度的定义,瞬时速度与时刻或位置对应,因此“第3 s末的平均速度”说法不正确,“平均速度”应改为“瞬时速度”
短跑运动员以8 m/s的瞬时速度开始冲刺	对	“开始冲刺”指冲刺阶段的初始时刻对应的瞬时速度
汽车经过某直线路段的平均速度为5 m/s,表示该汽车在该路段上每秒的位移均为5 m	错	平均速度只能粗略描述某段运动的快慢,不能表示整段运动的细节
无限逼近某一位置附近的足够小位移对应的平均速度,可看作质点在这个位置的瞬时速度	对	根据无限逼近思想,位移趋于0时,运动时间也趋于0,满足瞬时速度的定义

4. 根据照片中胡萝卜直径和子弹长度4:1的关系,先估算胡萝卜的直径d。把子弹看作质点:设子弹的速度在这么短的时间内不变,根据 $t = \frac{d}{v}$ 就可估算出子弹穿过胡萝卜的时间为 $8.4 \times 10^{-5}$  s。这样的估算比较粗糙,更接近实际情况的估算应考虑子弹的长度x,设子弹的速度在这么短时间内不变,根据 $t = \frac{x+d}{v}$ 就可估算出子弹穿过胡萝卜的时间约为 $1.06 \times 10^{-4}$  s

$$5. \frac{2v_1 v_2}{v_1 + v_2} \quad \frac{v_1 + v_2}{2}$$

6. 见下表

说 法	判断	说 明 理 由
由图可知,滑块沿着PQ方向做匀速直线运动	错	滑块做直线运动,但PQ不是滑块运动的轨迹
根据图像,已知滑块的位置可求对应的时刻,已知时刻也可求得此时滑块所在位置	对	x-t图反映了位移随时间变化的函数关系,自变量与因变量一一对应
直线PQ的斜率越大表示滑块运动得越快	对	按定义,x-t图像的斜率即为物体的运动速度
量出图中直线PQ的倾角α, $\tan \alpha$ 的值即为滑块做匀速直线运动速度的大小	错	数学上倾角的正切值是在横轴和纵轴的分度相同时得出的,当图中横轴和纵轴所取的分度不同时,不能用量出的角度的正切值表示速度的实际大小

7. 圆牌表示该路段限速  $100 \text{ km/h}$ , 即车辆在这一路段任意位置的瞬时速度都不能超过该数值。该区间的长度为  $66 \text{ km}$ , 设车辆以  $100 \text{ km/h}$  的最高限速匀速经过该路段, 将车辆视为质点, 在不超速的前提下, 最短用时为  $39.6 \text{ min}$ 。该车用时  $45 \text{ min}$ , 其平均速度未超过限制值。但在区间测速的路段中也设置了速度监测设备, 该车在实际行驶过程中并非匀速行驶, 其驶过监测设备时的瞬时速度大于  $100 \text{ km/h}$ , 故被判定为超速

8. (1)  $10 \text{ m/s}$  (2)  $8.98 \text{ m/s}$  (3) 选择  $9.00 \sim 9.10 \text{ s}$  这  $0.1 \text{ s}$  内的位置变化  $0.92 \text{ m}$ , 以这  $0.1 \text{ s}$  内的平均速度来估算,  $9 \text{ s}$  时的瞬时速度为  $9.2 \text{ m/s}$ 。理由是: 根据表中数据, 这  $0.1 \text{ s}$  的时间最短, 最接近  $9.0 \text{ s}$  时的瞬时速度

9. 1 先变大后变小 16 由图可知,  $x-t$  图像上各点切线的斜率先变大后变小, 故瞬时速度的大小也随之相应变化。只有在  $t = 16 \text{ s}$  时, 该点的切线也是  $t = 0$  时刻与  $t = 16 \text{ s}$  时刻两点的连线, 该点符合题意

10. 住宅楼的楼层高度约为  $3 \text{ m}$ , 从 1 楼到 15 楼共上升了  $42 \text{ m}$ 。1 楼到 8 楼上升了 7 层楼, 用时  $14 \text{ s}$ , 8 楼到 15 楼也上升 7 层楼, 用时也是  $14 \text{ s}$ , 在 8 楼停留  $10 \text{ s}$ , 故从 1 楼到 15 楼共用时  $38 \text{ s}$ 。由此可得, 电梯的平均速度约为  $1.1 \text{ m/s}$  测量方案: 站在楼边拍一张照片, 根据身高与楼高的比例关系, 估计楼层高度。拍摄一段电梯匀速上升阶段楼层提示数字跳动的视频, 根据数字变化推断上升高度, 根据进度条时间估计上升时间, 两者结合估算电梯匀速上升的大致快慢

## (二) 习题主要素养与水平分析

### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	质疑创新	证据	解释	科学态度	社会责任
1			I						
2	I		I						
3			II	II					
4		II	II						
5	II		II						
6			II	II					
7			II						I
8				II			III		
9	II		III						
10					I	III		I	

## 第四节 速度变化的快慢 加速度

### (一) 参考解答

- 位置变化或运动 速度变化
- 位移与所用时间 速度变化量与所用时间
- 速度变化量
- 不变 匀速直线 相同 相反
- 不正确 题目中的  $14 \text{ m/s}^2$  为瞬时加速度, 在  $1 \text{ s}$  内火箭的加速度并非始终为  $14 \text{ m/s}^2$ , 因此  $1 \text{ s}$  内速度不一定增加  $14 \text{ m/s}$

6. 可能。例如在公路上,以观察者行驶的方向为正方向,反向车道正在制动减速的汽车就具有负的速度和正的加速度,速度与加速度的方向相反,说明运动物体的速度大小在减小

7. 5 0.5 -5 -2.5

8. 见下表

说 法	判断	说 明 理 由
加速度大小不变,速度大小也一定不变	错	以匀加速直线运动为例,加速度大小不变,但速度大小变化
加速度越大,速度变化量也越大	错	速度变化量不仅与加速度有关,还与变化的时间有关
加速度增大,速度也随之增大	错	加速度增大表示速度变化得更快,但是如果速度与加速度方向相反,速度会变小

9. 见下表

线段或点	表示的物理意义[ 图(a) ]
OB	质点 1 速度不变
BC	质点 1 静止
DE	质点 3 速度不变
点 F	质点 1、3 在某一时刻位于同一位置(相遇)

线段或点	表示的物理意义[ 图(b) ]
OB'	质点 2 以不变的加速度加速运动
B'C'	质点 2 速度不变
D'E'	质点 4 以不变的加速度加速运动
点 F'	质点 2、4 在某一时刻速度相同

10. 拍摄汽车加速和制动阶段仪表盘的视频,通过进度条读取时间。用表格记录不同时刻仪表盘显示的速度,作出  $v-t$  图像。通过图像观察汽车的加速度是否恒定

## (二) 习题主要素养与水平分析

### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	科学推理	科学论证	证 据	解 释	科学态度
1		I				
2		I				
3		I				
4		II				
5		I	II			
6		I	I			
7		II				

(续表)

题号	运动与相互作用	科学推理	科学论证	证据	解释	科学态度
8		II	II			
9	II	II				
10				III	II	I

## 第四部分 本章实验与活动部分解读

### 1. 自主活动 用分体式位移传感器测量位移

如何根据  $x-t$  图像判断发射器是否在做匀速直线运动?

**参考解答:** 若获得的  $x-t$  图像为一条不平行于时间轴的直线, 则发射器在做匀速直线运动

**命题意图:** 熟悉位移传感器的用法, 建立发射器的运动与测量数据间的关系。与教材中利用数据通过描点作图获得物体运动的  $x-t$  图像的方法相呼应, 通过实验得到  $x-t$  图像, 根据图像判断物体是否做匀速直线运动。将真实的运动与理想化的匀速直线运动进行比较, 促进运动观念的建立。

### 2. 学生实验 测量做直线运动物体的瞬时速度

#### (1) 实验中为何需要减小挡光片的宽度?

**参考解答:** 使测得的平均速度逐渐逼近瞬时速度

**命题意图:** 理解减小挡光片宽度逐次实验是一种无限逼近的方法。

#### (2) 不同组获得的瞬时速度并不相同, 与同学一起讨论引起瞬时速度不同的可能原因。

**参考解答:** 轨道倾角不同; 释放的初始位置不同; 小车释放处离光电门的距离不同; 挡光片的安装方式不同; 释放时有初始速度等

**命题意图:** 提供分析实验数据的机会, 进行基于证据的交流和讨论。

(3) 假如用分体式位移传感器代替光电门传感器做“测量做直线运动物体的瞬时速度”实验, 你的实验方案如何? 根据方案进行实验。

**参考解答:** 方案一: 从数据记录表中提取发射器在某段时间  $\Delta t$  内的位移大小  $\Delta x$ , 由  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  获得这

段时间内的平均速度。通过选取越来越小的时间间隔, 感悟无限逼近的思想 方案二: 在  $x-t$  图像上选择某时间段  $\Delta t$  做直线拟合, 由直线的斜率得到平均速度。通过选取越来越小的时间间隔, 感悟无限逼近的思想

**命题意图:** 根据瞬时速度的测量原理经历方案设计的过程, 为后续实验中获得  $v-t$  图像做铺垫。

### 3. 自主活动 测量小车的加速度

#### (1) 思考小车沿斜面下滑的加速度大小随斜面倾角如何变化。

**参考解答:** 通过不同倾角释放小车获得的  $v-t$  图像, 得到倾角越大,  $v-t$  图像上的斜率越大。归纳得出倾角越大, 小车沿斜面下滑的加速度大小越大

**命题意图:** 提示学生关注不同倾角时实验结果的差异, 归纳、总结得出结论。

(2) 实验所得的  $v-t$  图像与必修第一册教材第 19 页图 1-29 所示的  $v-t$  图像不同, 说明小车沿斜面下滑的运动与汽车加速测试时的运动不同, 这两种加速运动的区别在哪里?

**参考解答:** 实验所得的  $v-t$  图像是一条倾斜的直线, 可推测实验中小车沿斜面下滑时在各个时间的

加速度不变；必修第一册教材第 19 页图 1-29 所示的  $v-t$  图像是一条倾斜程度有所变化的曲线，可推测汽车在 0~3 s 内各个时间的加速度不变，3~6.5 s 内各个时间的加速度是变化的。

**命题意图：**了解实验中小车的加速运动与汽车启动过程加速运动间的差异，通过比较为学习匀变速直线运动提供学习资源。

## 第二章 匀变速直线运动

### 第一部分 整 章 分 析

#### 学习目标

1. 理解匀变速直线运动规律，并用这些规律解释或解决生活中的简单问题，初步形成运动的观念。
2. 在学习并运用匀变速直线运动和自由落体运动规律的过程中，运用分析综合、推理论证等思维方法，体验无限分割与逼近的思想方法；能对实际物体的运动进行抽象简化从而建立物理模型。
3. 了解伽利略对自由落体运动的研究，领会提出问题、形成猜想和假设、设计实验与制定方案、获取证据得出结论并做出解释的一系列科学探究要素，感受理论演绎与实验研究相结合的科学探究方法。
4. 领略伽利略开创的研究方法对科学发展的深远影响；结合交通安全法规分析车辆的运动，感受科学·技术·社会之间的联系，培养社会责任感。

#### 编写意图

课程标准中对本章内容的要求为：

1. 1. 3 通过实验，探究匀变速直线运动的特点，能用公式、图像等方法描述匀变速直线运动，理解匀变速直线运动的规律，能运用其解决实际问题，体会科学思维中的抽象方法和物理问题研究中的极限方法。

1. 1. 4 通过实验，认识自由落体运动规律。结合物理学史的相关内容，认识物理实验与科学推理在物理学研究中的作用。

本章是在第一章“运动的描述”基础上，继续学习匀变速直线运动。

本章从落体运动的研究开始。通过回顾伽利略研究落体运动的历程，引导学生了解伽利略对落体运动的理论分析和实验探究过程。通过自主活动，经历将具体运动抽象、简化为自由落体的运动模型，认识自由落体运动的规律。通过将自由落体运动与小车沿斜面向下运动的类比，逐步认识初速度为零和不为零两种情况下匀变速直线运动的规律。结合交通法规中安全行车的条例，体会匀变速直线运动规律与实际问题的联系。本章重点关注从现象归纳规律，运用规律解释现象的认知过程。

本章内容是进一步学习力和运动关系的基础。在本章学习过程中，不仅要关注对运动的观念的形成，还应注重创设运用物理规律解释或解决实际问题的情境。

完成本章内容的学习，共需要 5 课时。其中，第一节 1 课时，第二节 2 课时，第三节 2 课时。

## 第二部分 本章教材解读



图示是国产大飞机C919起飞过程中的一个瞬间。此前，世界上只有美国、俄罗斯、法国等少数国家可以制造大飞机。C919是我国自行研制、拥有自主知识产权的大型喷气式民用飞机。飞机起飞时在跑道上的速度是逐渐增大的，这样的运动有何规律？

## 第二章 匀变速直线运动

· 在本章中我们将：

1. 理解匀变速直线运动的规律。
2. 了解伽利略对落体运动的研究过程，认识伽利略的科学探究方法。
3. 运用匀变速直线运动的规律解释生活中的有关现象。

- 本章的学习将会用到位移、速度、加速度等概念，以多种方式来描述运动。
- 本章的学习有助于用运动的观念描述与分析实际的运动现象，并为进一步学习力和运动的关系奠定基础。

飞机由静止开始经过不断加速后飞向蓝天的过程，是飞机的运动状态不断改变的过程。在此过程中，不仅飞机的位置随时间不断改变，其速度也在随时间变化，遵循一定的规律。

我们通过回顾伽利略的研究过程，了解如何开展科学探究；学习和感受描述物体运动规律的基本方法；尝试利用匀变速直线运动的规律解决简单的实际问题。

## 本节编写思路

本节通过伽利略根据逻辑思辨质疑“越重的物体下落越快”的研究史料，引出本节讨论的主题。

通过演示实验、“自主活动”和“大家谈”等环节，感受实际物体下落会受到空气阻力影响，思考如何“消除”这一影响，建立相应的理想模型。

通过伽利略对自由落体运动规律的研究过程了解其研究方法。

学习中经历的观察、思辨、实验、总结等过程将帮助学生体会建立理想化模型对分析问题的重要作用，感受逻辑推理和实验检验是科学研究的基本方法。

## 正文解读

[1] 物体下落是学生熟悉的生活现象。通过回顾伽利略对落体运动的研究过程，感受伽利略所开创的科学研究方法。

本节中伽利略研究自由落体运动规律的内容与图 2-1 呼应。

[2] 伽利略运用了逻辑推理的方法对亚里士多德的结论提出了质疑，在伽利略之前很长时期内，学者们大多根据对自然现象的观察，通过直觉和哲学思辨的方法来得出结论。但仅凭直觉和哲学思辨得出的这些结论，由于缺乏内在机理和客观证据，往往是不可靠的。伽利略的伟大之处不仅在于他指出了亚里士多德的错误，更在于他为了弄清自由落体运动规律，开创了近代科学的研究方法：通过逻辑推理和实验检验来确定物体的运动规律。

[1]



图 2-1 伽利略实验装置的复制品

## 第一节 伽利略对落体运动的研究

物体下落是生活中常见的现象。手中释放的物体、树上滴落的水滴都会在重力的作用下沿竖直方向下落，你注意过它们下落的快慢吗？

直觉告诉我们，一块石头和一片羽毛同时从相同高度由静止开始下落，石头先落地，羽毛后落地。在公元前 4 世纪，古希腊思想家、哲学家亚里士多德 (Aristotle, 前 384—前 322) 通过对上述类似现象的观察得出论断：越重的物体下落得越快。这个论断与人们的日常经验相吻合。在之后的近两千年时间里，该论断得到了人们的普遍认同。

1638 年，伽利略（图 2-2）在《两种新科学的对话》一书中对此提出了异议。



图 2-2 伽利略  
(G. Galilei, 1564—1642)

### 伽利略是如何质疑越重的物体下落得越快论断的？

[2] 伽利略指出，根据亚里士多德越重的物体下落得越快的论断，大石头应该比小石头下落的速度大。假定大石头下落的速度为 8 个单位，小石头下落的速度为 4 个单位，把这两

块石头捆在一起时，大石头会被小石头拖着而减慢速度，整个系统下落的速度应该小于 8 个单位；而两块石头捆在一起后总重量比大石头大，下落的速度应该大于 8 个单位。伽利略根据亚里士多德的论断推理出两个相互矛盾的结果。这说明亚里士多德的论断不能成立。伽利略认为只有一种可能：物体下落的快慢与它的轻重无关。

既然亚里士多德关于落体运动快慢的论断是错误的，但生活中我们常见到石块比羽毛下落更快的现象。这是什么原因呢？

### ② 哪些因素会影响物体下落的快慢？

- [1] 把一片羽毛和一个金属小球放入一根透明的密封玻璃管中，如图 2-3 所示。将此管倒置，羽毛和小球同时开始下落，可以看到小球下落得更快。用注射器通过单向阀门逐次抽去管内的空气，管内的空气越少，两者下落的快慢越接近。由此可知，物体下落的快慢不同是由于受到空气阻力的影响。可以设想，如果没有空气阻力的影响，轻重不同的物体下落的快慢将完全相同，与物体的质量大小无关。

1971 年，在“阿波罗 15 号”登月后，航天员斯科特面对着电视镜头从相同高度同时释放了一片羽毛和一柄锤子，结果两者同时着地。这一实验现象证明，在没有空气阻力的条件下，物体下落的快慢与轻重无关。

### [2] 自主活动

如何让一张纸巾和一本书以同样的快慢下落？尝试尽可能多的方法，并说明你这样做的理由。

在物理学中，把物体只在重力作用下从静止开始下落的运动称为自由落体运动（free-fall motion）。

- [3] 在实际情况中，空气阻力的影响总是不可避免的。因此，生活中我们常见到石块比羽毛下落更快的现象。自由落体运动也是一个描述物体下落过程的物理模型。当空气阻力对物体下落的影响小到可以忽略不计时，物体从静止开始下落的运动就可近似为自由落体运动。水滴从树梢上滴落的过程能被近似为自由落体运动；而雨滴从云层上下落的过程就不能忽略空气阻力的影响。

运动速度有关，在速度较小时，通常可忽略空气阻力的影响。

雨滴从高空下落时，如果不考虑空气阻力的影响，其落地速度将极大。如下落高度为 2 000 m，则落地速度约为 720 km/h，但实际雨滴的落地速度的量级约为 10 m/s，可见，在此情况下研究雨滴下落不能忽略空气阻力的影响。但如果研究水滴由不高的树梢下落，则由于其下落距离较短，下落速度也较小，此时忽略空气阻力是合适的。

因此，建立什么样的理想模型，如何建立理想模型，都需要考虑实际情况，在对各种因素进行评估后才能确定。

雨滴下落实际是一个非常复杂的过程，可以“雨滴下落速度”为关键词搜索相关资料。



图 2-3 羽毛与金属小球在玻璃管中下落

[1] 利用演示实验显示空气阻力对落体运动的影响。通过实验明确：在研究落体运动规律时需“消除”空气阻力的影响，其目的是突出问题的主要方面，忽略次要因素的影响。

[2] 在实际情形下总是存在空气阻力，“自主活动”不是要学生设法消除空气阻力，而是通过思考与实践，尝试用不同的方法，使轻重不同的物体所受空气阻力影响大致相同，实现轻重不同的物体以同样的快慢下落。

[3] 在物理研究中，通常会把一些与所研究问题无关，或对研究结果影响很小的因素加以忽略，从而使问题简化。这也是一种理想模型。

实际上总是存在空气阻力，其大小通常与运动物体在垂直于运动方向上的截面积、

[1] 伽利略的伟大之处在于他首先采用了理论分析和实验测量相结合的方法探索物体运动规律,为近代科学的研究方法奠定了基础。在通过逻辑论证说明物体下落快慢应相同的基础上,伽利略又通过大量的实验和推理,得出了自由落体的运动规律。

在此过程中,伽利略主要解决了概念和实验测量方法上的多个关键问题。

(1) 当时人们对于如何描述物体运动尚未建立明晰的概念,伽利略建立了速度、加速度等描述运动的基本概念,使得运动的描述有了可靠的基础。

(2) 猜测落体运动是最简单的变速运动,其速度均匀变化。伽利略通过计算发现,如果速度随路程均匀变化,会得到非常复杂的结果,因此速度应该随时间均匀变化。

(3) 通过实验检验速度随时间均匀变化的猜测。由于在当时无法准确测量时间,因此设计了铜球沿斜面滚下的实验,以“冲淡”重力或“放慢”时间;为避免直接测量速度,根据理论计算把速度随时间的变化关系转换为路程随时间的二次方的变化关系。

(4) 由于随着斜面倾角增大,实验中对时间的测量变得不准确,伽利略通过思想实验将实验结果合理外推,使斜面角度不断增大直至 $90^\circ$ 。

### 大家谈

你觉得生活中哪些物体的下落可以近似为自由落体运动?

### ② 伽利略如何研究自由落体运动的规律?

[1] 伽利略运用逻辑推理反驳了亚里士多德的观点后并未就此止步。他认为科学家必须超过“单纯的思索”,必须通过实验来“聪明地提问”。

伽利略通过观察发现物体下落时运动得越来越快,提出:“当一块原来静止的石头从高处落下的速度连续增加时,为什么不应当相信速度以一种简单的、人们最容易理解的方式增加呢?”他猜想,落体运动的速度 $v$ 与时间 $t$ 成正比,即

$$v = kt$$

式中的 $k$ 是一个常量。

受到当时测量手段的限制,无法比较准确地测量物体下落的速度与时间。伽利略经过分析发现,如果物体的初速度为零,且速度随时间均匀变化,则物体通过的距离与时间的二次方成正比。可通过测量距离与时间的关系检验物体的速度是否随时间均匀变化。

为了解决计时的困难,伽利略将落体运动转化为小球沿斜面的运动,如图2-4所示。小球沿斜面由静止起向下运动的过程中,下降相同的高度所用的时间比自由下落的时间长。这样,时间的测量就会变得比较容易。



图2-4 伽利略在做铜球沿斜面运动的实验

伽利略利用斜面做了上百次实验后发现:在倾角相同的斜面上,小球由静止开始向下运动的距离 $x$ 总是与所用时间 $t$ 的二次方成正比,即可表示为

$$\frac{x_1}{t_1^2} = \frac{x_2}{t_2^2} = \frac{x_3}{t_3^2} = \dots = C$$

式中的  $C$  为常量。

即使更换不同质量的小球,  $\frac{x}{t^2}$  的值仍然不变。改变斜面的倾角, 上式仍然成立, 只是常量  $C$  的值相应改变; 斜面的倾角越大, 常量  $C$  的值也越大。

实验证实, 小球在斜面上做的是从静止开始的、速度随时间均匀增加的运动。

[1] 小球在斜面上的运动毕竟不是自由落体运动。如何利用斜面实验的结果来说明自由落体运动的规律? 伽利略根据实验做了推理, 如图 2-5 所示, 当斜面倾角趋近于  $90^\circ$  时, 小球的运动接近自由落体运动, 此时  $\frac{x}{t^2}$  的值最大, 且与质量  $m$  无关。根据这样的推理可得, 自由落体运动是从静止开始的、速度随时间均匀增加的变速直线运动。

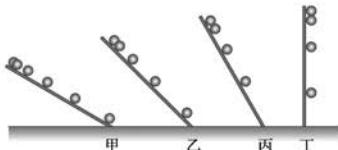


图 2-5 斜面倾角越接近  $90^\circ$ , 小球沿斜面的运动越接近自由落体运动

至此, 伽利略不仅成功地纠正了亚里士多德关于落体运动的错误论断, 还得到了对自由落体运动性质的科学认识, 并为后来“瞬时速度”“加速度”等物理概念的建立奠定了基础。

[3] 伽利略能取得成功的关键在于他开创了一套对近代科学发展十分有用的研究方法, 可以概括为: 观察现象→提出问题→猜想假设→实验研究和逻辑推理(包括数学推演)→得出结论→修正或推广假设, 其核心是包括数学推演在内的逻辑推理与实验检验的有机结合。伽利略的这一方法, 有力地推动了包括物理学在内的近代自然科学的发展。他也被后人尊称为“近代科学之父”。爱因斯坦(A. Einstein, 1879—1955)在《物理学的进化》一书中评价:“伽利略的发现以及他所用的科学推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一, 标志着物理学的真正开端。”

强调, 将一定范围内得到的结论外推到范围之外的方法虽然是做出科学结论常用的研究方法, 但最终还是需要接受后续实验或实践的检验。

[3] 回顾伽利略对自由落体运动规律的研究, 可以通过其研究的过程感悟科学的信念与研究的方法。所谓科学的信念, 是指伽利略所坚信的思想观念, 即看似纷繁复杂的自然现象, 其背后往往隐藏着简单的自然法则。正是在这种科学信念的指引下, 伽利略才作出了自由落体运动的速度随时间均匀变化的假设, 从而找到研究的起点。而研究的方法, 又包括将自由落体运动转化为斜面上的运动、把速度转化为距离进行研究的间接方法, 及以假设作为逻辑起点, 运用数学工具进行逻辑推理, 并与实验验证相结合的方法。

[1] 伽利略经过大量实验, 总结出如下事实:

(1) 小球沿着斜面滚下的运动是速度随时间均匀变化的匀加速运动。

(2) 只要斜面倾角相同, 小球的加速度就相等, 与小球的质量、沿斜面滚下的高度无关。

(3) 斜面倾角越大, 小球的加速度就越大。

由此实验结论出发, 伽利略通过思想实验将斜面倾角合理外推到  $90^\circ$ , 得出了自由落体运动就是匀变速直线运动的结论。

[2] “助一臂”栏目介绍了“外推法”。由于测量手段的限制, 伽利略的斜面实验是在斜面倾角小于  $5^\circ$  的范围内进行的。当年, 伽利略把他的结论外推到斜面倾角至  $90^\circ$  是冒有很大风险的。因此, 在归纳总结“外推法”时应特别

## 问题与思考解读

第一节 伽利略对落体运动的研究 33

### 1. 参考解答：

三项表述均不准确。理由是：历史上亚里士多德根据观察得出了重物比轻物下落更快的结论，伽利略通过逻辑思辨和推理认为重物和轻物应该下落得一样快。伽利略通过实验证实了自己的观点并得出自由落体运动的规律；伽利略猜想落体运动的速度与其下落时间成正比，但是在伽利略的时代，无法直接测出速度。伽利略将对速度与时间关系的研究转化为对距离与时间的关系来研究，通过演绎推理得到：如果速度与时间成正比，则距离与时间的二次方成正比。由于落体运动的时间太短，伽利略将落体运动转化为斜面上物体的运动来研究，测量物体沿斜面运动的距离和时间，得到距离与时间的二次方成正比的结论，外推到  $90^\circ$ ，验证了

他的猜想。

**命题意图：**了解历史上对运动认识观点的发展，认识实验与逻辑推理结合的科学方法。

**主要素养与水平：**科学推理(I)；科学本质(I)。

**2. 参考解答：**观察现象：物体下落时运动得越来越快。发现问题：原来静止的石头下落的速度是否与下落时间成正比？得出结论：落体运动的速度随时间均匀增加。

**命题意图：**认识伽利略对落体运动的研究，了解伽利略开创的科学方法。

**主要素养与水平：**科学推理(II)；科学本质(II)。

**3. 参考解答：**若不考虑空气阻力，石头和羽毛的下落情况完全相同，因此(1)、(2)、(4)错，(3)正确。

**命题意图：**应用伽利略对落体运动的结论进行简单的推理。

### 问题与思考

1. 历史上关于落体运动有很多说法。判断下列表述是否准确。

- (1) 伽利略认为物体越重，下落得越快。
- (2) 亚里士多德认为物体下落的快慢与物体的轻重无关。
- (3) 伽利略猜想落体运动的速度与其下落时间成正比，并用实验测出不同时刻的速度，验证了他的猜想。

2. 伽利略开创的科学研究方法可以用下面的流程图表示。

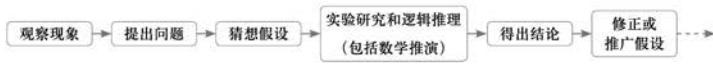


图 2-6

回顾伽利略研究落体运动的过程，按上述步骤说一说他观察到了什么现象，发现了什么问题，得到了什么结论。

3. 一块小石头与一片羽毛同时从同一高度自由下落。如果不考虑空气阻力的影响，下列推断是否正确，说说理由。

- (1) 石头比羽毛先落地。
- (2) 羽毛下落的加速度比石头下落的加速度小。
- (3) 羽毛和石头下落的快慢始终相同。
- (4) 羽毛下落的时间比石头下落的时间长。

4. 表 2-1 是伽利略 1604 年做斜面实验时一

页手稿的三列数据。表中第二列是时间，第三列是物体沿斜面运动的距离，第一列是伽利略在分析实验数据时添加的。根据表中的数据，A 同学觉得物体的运动距离与时间成正比；B 同学觉得斜面倾角一定时，加速度与质量无关；C 同学认为物体运动的距离与时间的二次方成正比。试问哪位同学的说法合理，并说明理由。

5. 获取物体做自由落体运动相隔相等时间的照片，分析照片得到该物体运动的  $x-t$  图像，与同学交流，看看图像有什么特点。

表 2-1

1	1	32
4	2	130
9	3	298
16	4	526
25	5	824
36	6	1 192
49	7	1 600
64	8	2 104

**主要素养与水平：**模型建构(I);科学推理(I)。

**4. 参考解答：**C同学的说法合理 因为第一列是第二列(时间)的二次方,由第一列与第三列数据可以看出:  $x \propto t^2$ , 即物体的位移与时间的二次方成正比

**命题意图：**根据数据分析实验结论,培养证据意识。

**主要素养与水平：**科学论证(I);解释(III)。

**5. 参考解答：**提示: 建议学生自行拍摄,也可用教材上图 2-12 的数据。除了  $x-t$  图像,也可在教师引导下绘制  $x-t^2$  图像来分析数据,寻找规律

**命题意图：**从照片中收集信息,运用图像来描述运动过程,在教师的引导下体会数据处理的方法。

**主要素养与水平：**证据(II);交流(I);科学态度(I)。

## 资料链接

### 斜面实验介绍

伽利略在其著作《关于两门新科学的对话》一书中定量证明了自由落体运动是一种匀加速运动。根据书中记载,伽利略首先定义了匀加速运动: 从静止开始的运动,其速度与时间成简单比例地持续增加。接着,伽利略利用摆证明: 物体沿斜面运动与竖直下落具有相似的特征,当向下运动的高度相等时,物体获得的速度是相等的。这样,只要证明斜面上的运动是匀加速运动,也就证明了竖直方向的自由落体运动是匀加速运动。然后,伽利略提出了关于匀加速运动的两条定理。第一条定理: 物体从静止开始匀加速通过任何距离的时间等于同一物体以某一速度匀速通过同一距离的时间,该速度的值等于最大速度的一半。伽利略用如图 1 所示的几何方法证明了该定理。第二条定理: 从静止开始下落的物体以匀加速运动所通过的距离之比等于通过这一距离所用的时间的平方之比。伽利略利用第一条定理和匀加速运动的定义证明了第二条定理。有了第二条定理,伽利略做了斜面实验,证明了自由落体运动是一种匀加速直线运动。

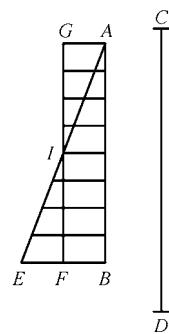


图 1

伽利略在斜面实验中要解决的一个重要问题是时间的测量。当时的计时工具极其简陋。除了利用很缓的斜坡来“冲淡”重力外,伽利略还用了一台“水钟”计时。他用一个架在高处的大水桶,在桶底安装了一个小管,使一股细小的水流从管中流出,在每次铜球滚下的时间内用一个小杯子接下流出的水,然后称出杯内水的重量,各次水的重量的差别或倍数就给出了各次铜球滚下所用时间的差别或倍数。

## 本节编写思路

本节通过实验获得不同物体落体运动的  $v-t$  图像, 得到速度与时间的关系, 引出重力加速度。

通过分析  $v-t$  图像, 获得自由落体运动位移与时间的关系。

利用实验结果通过演绎得到自由落体运动位移与速度的关系。

通过“示例”感受解决问题的过程与方法。

本节课所经历的探寻物理量之间关系的学习过程, 有助于提升学生的科学思维能力。

## 正文解读

[1] “跳楼机”是常见的游乐设施, 其上半程运动与落体运动相似, 可运用自由落体运动的规律分析其运动特点。

本节教材第 37 页的示例与此呼应。

[1]



图 2-7 游乐场里的“跳楼机”

## 第二节 自由落体运动的规律

结合推理与实验, 伽利略发现自由落体运动是由静止开始的、速度随时间均匀增加的变速直线运动。可是, 速度与时间的关系是通过观测下落的高度与时间的关系间接证实的; 落体运动的结论是从斜面实验中“外推”出来的。我们能否通过实验直接研究自由落体运动并探索其运动规律呢?

### ② 自由落体运动的速度与时间满足何种运动规律?

由前面学习可知, 利用位移传感器可以研究自由落体运动的速度  $v$  随时间  $t$  变化的规律。

[2] **自主活动**

反射式位移传感器发射超声波脉冲, 经被测物体反射后再被传感器接收。测量发射和接收超声波的时间差  $\Delta t$ , 根据超声波在空气中的波速  $v$ , 即可确定被测物体与传感器的距离为  $v \cdot \frac{\Delta t}{2}$ , 经计算机对数据处理后可进一步得到被测物体的位移、速度和加速度。

如图 2-8 所示, 将反射式位移传感器固定在铁架台上。把篮球置于传感器正下方, 由静止开始释放篮球, 得到篮球的速度  $v$  与时间  $t$  的图像。



图 2-8 研究篮球的自由下落

[2] 这里的“自主活动”是一个实验型活动, 其目的是:

- (1) 利用位移传感器验证自由下落物体速度随时间变化的规律。
- (2) 测量自由下落物体的加速度。

在实验过程中, 学生通过观察不同物体的下落, 分析相应的  $v-t$  图像, 归纳其共同特征。思考某些物体自由下落时的  $v-t$  图像与其他物体不同的原因, 感受影响物体自由下落的因素。

除了用篮球做实验, 还可以用黑板擦、书本、厚纸板等。用反射式位移传感器测量时, 被测物体反射面的面积需不小于  $4 \text{ cm}^2$ , 释放位置与传感器的距离需大于  $30 \text{ cm}$ ; 同时周围应留出一定的空间, 以防止反射波对实验的影响。除利用反射式位移传感器外, 本实验也可用分体式位移传感器进行。

具体的实验指导可参见实验与活动部分的相关内容。

[1] 在上述活动中,如果将物体从静止开始下落的时刻记为0,那么物体下落的 $v-t$ 图像为一条经过原点的直线,如图2-9所示。这说明速度 $v$ 与下落时间 $t$ 成正比,即 $v=kt$ , $k$ 为常量。这种速度随时间均匀增加的直线运动称为匀加速直线运动。

根据加速度的定义可得,该直线的斜率 $k$ 就是这段运动的速度变化量 $\Delta v$ 与所用时间 $\Delta t$ 的比。该比值就是下落物体的加速度的大小。

在上述活动中,我们在同一地点,选择不同质量的“重物”做自由落体实验,发现它们均做匀加速直线运动,其加速度的数值在误差允许的范围内相等。

在物理学中,把自由落体运动的加速度称为重力加速度(**gravitational acceleration**),并用字母 $g$ 来表示,方向竖直向下。

物体做自由落体运动时,其速度 $v$ 与时间 $t$ 的关系为

$$v=gt$$

[2] 在地球上不同的地点测量发现,重力加速度 $g$ 的大小会随纬度改变。表2-2中列出了地球上部分地点的重力加速度的大小。通常把重力加速度的大小取为 $9.8\text{ m/s}^2$ 。

表2-2 地球上部分地点的重力加速度的大小

地点	纬度	重力加速度 $g/(\text{m}\cdot\text{s}^{-2})$
赤道海平面	$0^\circ$	9.780
广州	$23^\circ06'$	9.788
武汉	$30^\circ33'$	9.794
上海	$31^\circ12'$	9.794
东京	$35^\circ43'$	9.798
北京	$39^\circ56'$	9.801
纽约	$40^\circ40'$	9.803
莫斯科	$55^\circ45'$	9.816
北极	$90^\circ$	9.832

重力加速度还受到当地地质等因素的影响。由于地质构造、矿产分布等地质原因会导致地球内部不同区域的密度不同,从而引起地表及其周围空间的重力加速度发生变化,这种变化称为重力异常。通过研究重力异常的变化和特征,可以得到地质构造、岩石分布和矿产贮量等信息。

[1] 如果空气阻力可以忽略,物体自由下落的 $v-t$ 图像均相同,斜率 $k$ 为定值,由此引出重力加速度 $g$ 。

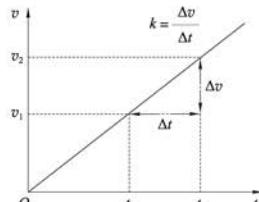


图2-9 物体由静止开始下落的 $v-t$ 图像

[2] 表中给出地球上不同地点重力加速度 $g$ 的目的是使学生关注到,虽然在同一地点不同物体的重力加速度值相同,但是在不同纬度,同一物体重力加速度 $g$ 的值略有不同。从而理解 $g$ 通常取 $9.8\text{ m/s}^2$ 是忽略了地理位置的影响。

[1] “助一臂”栏目介绍了无限分割与逼近的方法。

[2] 在已知匀速直线运动  $v-t$  图像中直线下矩形面积的意义后,能否通过类比,猜想自由落体运动  $v-t$  图像中直线与时间轴包围的三角形面积也表示位移大小呢?

这是一个由特殊到一般的推理过程,不够缜密。

此处利用无限分割和逼近的思想证明该猜想是正确的。利用这一思想同样可以处理曲线下面积的问题。

### 自由落体运动的位移与时间满足何种运动规律?

做匀速直线运动物体的速度不随时间变化,其  $v-t$  图像是一条平行于时间轴的直线,如图 2-10 所示。匀速直线运动的特点是在任意相等的时间间隔  $\Delta t$  内,物体的位移相等,图中小矩形的面积表示物体在  $\Delta t$  时间内的位移,即  $\Delta x_1 = v_1 \Delta t = \Delta x_2$ 。

[2] 自由落体运动物体的  $v-t$  图像(图 2-9)中,直线与时间轴之间所包围的面积是不是也可以表示物体 0~ $t$  时间内位移的大小呢?我们假设物体在下落过程中的每一小段时间间隔  $\Delta t$  内都做速度不同的匀速直线运动,如图 2-11(a)所示。每经过一个  $\Delta t$  的时间间隔,其速度大小就增加  $\Delta v$ ,图像为“台阶”状的折线。物体从零时刻起经过时间  $t$  后的位移大小等于折线下阴影部分各矩形面积之和。若  $\Delta t$  取得更小,  $\Delta v$  也更小,如图 2-11(b) 所示。此时折线下阴影部分的面积仍表示 0~ $t$  时间内物体的位移大小。当  $\Delta t$  趋近于零时,“台阶”状的折线就变成一条过原点的直线,如图 2-11(c) 所示。这就是自由落体运动的  $v-t$  图像,图中直线与时间轴所包围的“面积”就是自由落体运动经过时间  $t$  的位移大小。

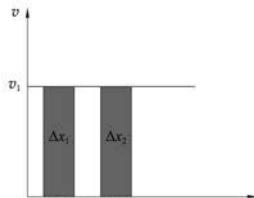


图 2-10 做匀速直线运动物体的  $v-t$  图像

### 助一臂

对于速度随时间变化的直线运动,可以把整个运动时间分成  $n$  个小时的时间间隔,且由于时间间隔  $\Delta t$  很小,在每一个  $\Delta t$  内物体的运动可近似看作匀速直线运动。我们用这种分时间间隔的匀速直线运动近似描述变速直线运动。从  $v-t$  图像上看,就是用“台阶”状的折线图像去无限逼近变速直线运动的图像,从而将匀速直线运动中  $v-t$  图像与时间轴包围的“面积”表示位移的结论推广到变速直线运动中。这是物理学中把“变”转化为“不变”进行研究的重要方法,称为无限分割与逼近的方法。这种方法在物理学的研究中有着广泛的应用。

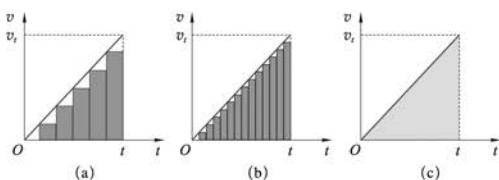


图 2-11  $v-t$  图像与时间轴所包围的“面积”表示位移

[1]

### 自主活动

你能根据上述自由落体运动的  $v-t$  图像推导出做自由落体运动的物体从静止下落高度  $h$  (即位移大小) 与时间  $t$  的关系式吗?

通过上述自主活动, 可得物体做自由落体运动的下落高度  $h$  (即位移大小) 与下落时间  $t$  的定量关系为

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

将上式与  $v=gt$  联立, 消去时间  $t$ , 推得自由落体运动的速度  $v$  与下落高度  $h$  之间的关系为

$$v^2 = 2gh$$

[2] 频闪摄影也可以用来研究自由落体运动。图 2-12 所示为小球做

自由落体运动的频闪照片, 照片拍摄时的频闪间隔为  $\frac{1}{20}$  s。分析照片可得自由落体运动下落高度  $h$  与时间  $t$  的关系。除此之外, 还有多种方法可用于对下落物体定位、计时、测速。有兴趣的话, 你也可以试一试。

[3] 示例 图 2-7 所示为游乐场中 62 m 高的游乐设施“跳楼机”。座椅带着游客升到最高点后竖直下坠。估算从最高点竖直下坠 15 m 需要多少时间。此时速度将达到多大?

分析: 把游客和座椅视为质点, 可将从最高点开始的下坠过程近似为自由落体运动。运用自由落体运动的规律可估算下坠时间  $t$  和下落速度  $v$  的大小。

解: 以游客和座椅为对象, 已知其从最高点下坠的高度  $h = 15$  m, 根据自由落体运动位移与时间的关系  $h = \frac{1}{2}gt^2$  可得所需时间

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 15 \text{ m}}{9.8 \text{ m/s}^2}} \approx 1.75 \text{ s}$$

根据自由落体运动速度与时间的关系  $v = gt$ , 可得下坠 15 m 时速度  $v$  的大小

$$v = gt = 9.8 \text{ m/s}^2 \times 1.75 \text{ s} \approx 17.15 \text{ m/s}$$

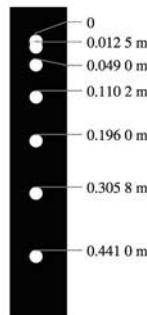


图 2-12 小球自由下落的频闪照片

[1] 这是一个数学推导的“自主活动”, 目的是根据图 2-11 中的斜线通过数学演绎获得做自由落体运动物体的位移与时间关系式。

由图 2-11 可知,

$$h = \frac{1}{2}v_t t。利用 v_t =$$

$$gt, 即得 h = \frac{1}{2}gt^2。$$

通过推导体验数学中的面积与物理图像中“面积”在形式上的相同与意义上的区别。

[2] 由频闪照片可以获得在不同时刻的下落距离, 利用数据可画出位移-时间图像。由图像特征, 通过猜测, 尝试画出位移-时间的二次方图像, 证实猜测并得到规律。也可利用伽利略的方法, 验证下落距离与所用时间的二次方之比为常量, 进而得出规律。

可围绕定位、计时、测速等问题拓宽思路, 提出更多的实验方案。譬如, 用光电门测量速度, 获得速度-时间图像; 拍摄物体自由下落

的视频, 导入视频捕获与分析软件, 获得位移-时间图像等。培养学生的发散思维能力。

[3] “示例”呼应了节首图。目的是运用数学工具, 解决实际问题。

“跳楼机”的运动可简化为两段: 加速阶段和减速阶段。实际“跳楼机”加速阶段的运动受到空气阻力的影响, 不是真正的自由落体运动。这里忽略空气阻力的影响, 将“跳楼机”从最高点下坠 15 m 的运动视为自由落体运动。

示例中仅取下落的前 15 m 的原因是:

(1) 根据最简单的模型, 空气阻力正比于  $\rho S v^2$ 。粗略估算, “跳楼机”在下落的前 15 m 过程中所受空气阻力数量级为  $10^3$  N, 所受重力数量级为  $10^4$  N。因此, 用自由落体模型估算下落的前 15 m 的运动是可以接受的。

(2)《大型游乐设施安全规范》(GB 8408-2018)对跳楼机的最大下落速度有一定限制, 因此下落过程中的大部分时间内应为减速运动。

## 问题与思考解读

**1. 参考解答：**若重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ , 第 1 s 末、第 2 s 末、第 3 s 末的速度分别为  $10 \text{ m/s}$ 、 $20 \text{ m/s}$ 、 $30 \text{ m/s}$ , 加速度均为  $10 \text{ m/s}^2$  第 1 s 内、第 2 s 内、第 3 s 内速度均增加了  $10 \text{ m/s}$

**命题意图：**简单运用自由落体运动的规律。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**2. 参考解答：**物体在单位时间内下落的高度持续增加 判断依据：物体在单位时间内下落的高度为  $h = \frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}g(t - \Delta t)^2$ ,

其中  $\Delta t = 1 \text{ s}$ , 化简后可知, 下落高度随时间均匀增加

**命题意图：**问题本身不复杂, 需要学生将文字表述转化为关系式来进行判断。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**3. 参考解答：**评价一：这位同学公式选错了,  $h = vt$  的公式不适用于自由落体运动 评价二：自由落体运动物体的速度不是一成不变的, 而是逐渐增加的。1 s 末的速度为  $10 \text{ m/s}$ , 说明这 1 s 内的速度均小于  $10 \text{ m/s}$ , 位移自然小于  $10 \text{ m}$ ,  $h = gt^2$  不正确

**命题意图：**通过评价, 进行论证思路的梳理和概念的辨析。

**主要素养与水平：**科学论证(Ⅱ); 质疑创新(Ⅰ); 交流(Ⅰ)。

**4. 参考解答：**如图 2 所示

**命题意图：**将匀速直线运动和自由落体运动进行对比, 建立图像和位置变化的联系。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

### 问题与思考

1. 物体自由下落过程中, 第 1 s 末、第 2 s 末、第 3 s 末的速度、加速度分别是多少? 第 1 s 内、第 2 s 内、第 3 s 内速度分别增加了多少?

2. 做自由落体运动的物体, 在下落过程中单位时间内下落的高度随时间如何变化? 写出判断的依据。

3. 有同学通过实验得到自由落体运动的速度与时间满足  $v = gt$  的关系, 将此关系代入  $h = vt$ , 从而得到自由落体运动的位移与时间的关系为  $h = gt^2$ 。试对此做出评价。

4. 如图 2-13 所示, 两个小球分别从高度相同的  $O$  点和  $O'$  点同时开始向下运动。图 2-13 (a) 中的小球以  $10 \text{ m/s}$  的速度匀速运动, 图 2-13 (b) 中的小球做自由落体运动。  
( $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ )

(1) 在图 2-13 中的两根直线坐标轴上分别画出两球在  $0.5 \text{ s}$ 、 $1.0 \text{ s}$ 、 $1.5 \text{ s}$ 、 $2.0 \text{ s}$ 、 $2.5 \text{ s}$ 、 $3.0 \text{ s}$  时刻的位置。

(2) 在同一个坐标平面内画出两球运动的  $v-t$  图像。

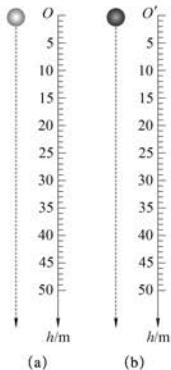


图 2-13

5. 吐鲁番盆地的古代劳动人民为了适应干旱少雨的地理环境, 巧妙地利用地形造了坎儿井(图 2-14)。从竖井口释放一颗小石子, 测得从释放到听到小石子落到水面声音的时间为  $2.5 \text{ s}$ , 试据此估测井内水面到井口的距离。

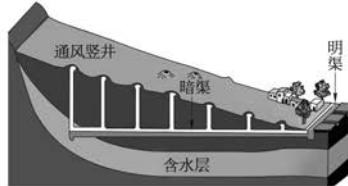


图 2-14

6. 雨滴大约在  $1.5 \text{ km}$  的高空生成并从静止开始下落。试根据自由落体运动的规律计算雨滴大约要经过多长时间才能到达地面? 到达地面时的速度约为多少? 你遇到过这么快的雨滴吗? 另外, 根据资料可知, 落到地面的雨滴速度一般不超过  $8 \text{ m/s}$ , 为什么与上述计算结果相差这么大?

**5. 参考解答：**以小石子为对象，下落时间为 2.5 s，小石子的速度不是很大，可忽略空气阻力的影响，将其运动视为自由落体运动。由于声音的传播速度远大于小石子下落的速度，可忽略声波传播的时间。估得距离约为 31 m

**命题意图：**解题过程不是简单将数据代入公式，要说明忽略空气阻力和声音传播时间的原因。体会忽略次要因素、建构模型的方法。

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅱ)；科学推理(Ⅱ)；社会责任(Ⅰ)。

**6. 参考解答：**根据自由落体运动的规律，雨滴从 1.5 km 的高空自由下落到地面的速度大小约为 173 m/s，所用时间约为 17.3 s 生活中没有这么快的雨滴 这是因为雨滴是从云层中滴落的，它的下落距离很长，雨滴在下落的过程中受到空气阻力的作用，且不能忽略不计，不能将其下落过程视为自由落体运动

**命题意图：**自由落体运动是一种模型。认识模型建构需要考虑条件。

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅱ)；质疑创新(Ⅰ)；科学态度(Ⅰ)。

## 资料链接

### 重力与万有引力

由于地球的自转，地面上静止的物体绕地球自转轴做圆周运动，所需的向心力  $F'$  由物体所受地球万有引力  $F$  的一个分力提供，万有引力的另一个分力即为重力  $mg$ ，如图 3 所示。因此

$$mg = \sqrt{F^2 + F'^2 - 2FF' \cos \varphi}$$

式中  $F' = m\omega^2 r$ ，由于  $\omega \approx 7.292 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ ， $F' \ll F$ ，近似后得

$$mg \approx F - F' \cos \varphi = m \left( G \frac{m_{\text{地}}}{r_{\text{地}}^2} - r_{\text{地}} \omega^2 \cos^2 \varphi \right) = mg_0 \left( 1 - \frac{r_{\text{地}} \omega^2}{g_0} \cos^2 \varphi \right)$$

式中  $g_0 = G \frac{m_{\text{地}}}{r_{\text{地}}^2}$ 。把地球的物理参数  $m_{\text{地}}$ 、 $r_{\text{地}}$ 、 $\omega$  和引力常量  $G$  代入上式，可得

地球表面附近物体的重力加速度  $g \approx g_0 (1 - 0.0035 \cos^2 \varphi)$ 。

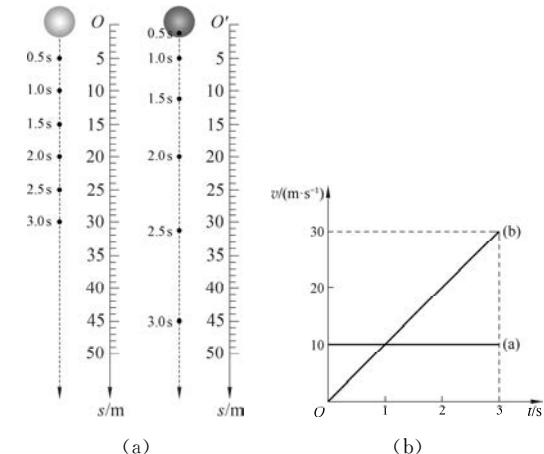
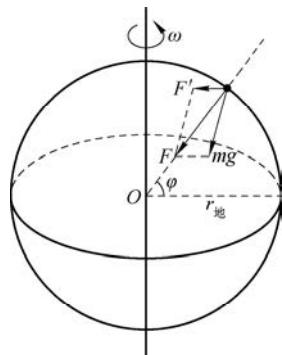


图 2

图 3



## 本节编写思路

本节在学习了自由落体运动规律的基础上,通过演示实验类比得出初速度为零的匀加速直线运动规律。

通过分析、演绎和“自主活动”得到匀变速直线运动的规律。

通过“STSE”和“示例”感受利用物理规律解决实际问题的过程与方法。

通过本节学习,加深对描述运动的基本物理量如位移、速度、加速度间相互关系的理解,形成较为完整的运动观念。经历用数学手段和语言描述实际运动的思维过程,体验分析和演绎的重要作用,这将有助于提高模型建构和科学推理的能力。

## 正文解读

[1] 在站台候车时会遇见列车过站不停的情况,考虑到线路条件、安全等因素,列车通常会先减速后加速经过站台。匀变速直线运动是最简单的变速运动,是理解其他更复杂的变速运动的基础,生活中熟悉的很多运动都可以近似视为匀变速直线运动。经历匀变速直线运动规律的探究过程将提升概括、抽象、推理等思维能力。

[2] 利用位移传感器演示小车从斜面由静止向下运动的  $v-t$  图像。其目的是与上一节自主活动中获得的自由落体的  $v-t$  图像做比较,得出两者运动规律类似的结论。

[1]



图 2-15 列车过站不停

### 第三节 匀变速直线运动的规律

自由落体运动是一种匀加速直线运动。在日常生活中,我们还会遇到各种加速度不同的直线运动,譬如,飞机、汽车和高层建筑观光电梯由静止启动后的加速度就各不相同。即便是同一辆汽车,在不同状态下的加速度也可能不同。除了匀加速直线运动,还有速度随时间均匀减小的匀减速直线运动。图 2-15 所示的列车驶过无需停靠的车站时会先做一段匀减速直线运动以降低车速;过站以后,再做一段匀加速直线运动以恢复原先的正常车速。匀加速直线运动和匀减速直线运动统称为匀变速直线运动。为了研究匀变速直线运动的规律,可以从初速度为零的匀加速直线运动开始。

② 初速度为零的匀加速直线运动满足何种运动规律?

[2]

小车由静止起从斜面上向下运动(图 2-16)。小车运动的  $v-t$  图像如图 2-17 所示,也是一条过原点的直线。该直线表示小车在做初速度为零的匀加速直线运动;直线



图 2-16 小车从斜面上向下运动

[1] 的斜率表示速度随时间增加的快慢程度，即加速度的大小。因此，初速度为零的匀加速直线运动与自由落体运动类似，只要把自由落体运动公式中的重力加速度  $g$  换成物体的加速度  $a$ ，把竖直方向的位移  $h$  换成物体沿直线运动的位移  $x$ ，即可由描述自由落体运动规律的关系式得到初速度为零的匀加速直线运动的规律，即

$$v = at$$

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

由上述两式可得到初速度为零的匀加速直线运动的速度与位移的关系

$$v^2 = 2ax$$

[2]

### 大家谈

伽利略在做小球沿斜面向下运动的实验时，观察到小球从静止开始运动后，经过相等时间通过的距离具有  $1:3:5:7:\dots$  的关系。他认为这一现象很好地说明了小球在斜面上的运动是匀加速直线运动。与同学讨论、交流，判断此论断是否正确。

[3]

示例 某机场起飞跑道长度为  $l$ ，我国自行研制的大型客机 C919 将在该跑道起飞，飞机起飞速度为  $v$ 。假设飞机从静止开始加速到起飞速度  $v$  的过程为匀加速直线运动，飞机正常起飞所需的加速度  $a$  至少应多大？

分析：在飞机起飞速度确定的条件下，飞机起飞的加速度受到跑道长度的限制。由初速度、末速度和最大位移，根据匀变速直线运动的规律可分析飞机起飞的最小加速度大小  $a$ 。

解：已知飞机的初速度大小  $v_0 = 0$ ，末速度大小为  $v$ ，设起飞阶段飞机的位移为  $x$ ，由  $v^2 = 2ax$  可得飞机的加速度大小为

$$a = \frac{v^2}{2x}$$

可见，飞机起飞阶段位移  $x$  越大，正常起飞所需的加速度  $a$  越小。 $x$  最大也只能为机场跑道的全长，即  $x = l$  时，飞机所需的加速度最小，为  $\frac{v^2}{2l}$ 。

即飞机正常起飞所需的加速度大小至少为  $\frac{v^2}{2l}$ 。

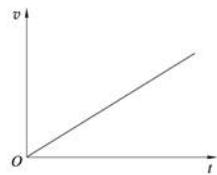


图 2-17 小车运动的  $v-t$  图像

[1] 通过观察、比较得出小车的运动规律与自由落体运动的规律类似，从而认识自由落体运动规律就是初速度为零的匀加速直线运动规律的一个特例。感受基于实验证据、进行类比推理的研究方法。

[2] “大家谈”的讨论过程中，通过理论推导，感受科学推理的过程，为后续通过分析推导初速度不为零的匀加速直线运动规律做铺垫。

[3] 需强调这里把起飞过程视为匀加速直线运动过程是一种模型的简化近似处理方法。

[1] 这里要求学生在上一节建立的概念、方法和数学知识的基础上,利用数形结合的方法进行分析和演绎。

改变计时起点涉及数学上坐标轴平移问题;应用上一节无限细分与逼近以及微元累加的思想得出速度-时间图像与时间轴之间的“面积”表示位移的结论。

这对学生是一次全新的体验。

[2] “自主活动”中,推导的要点:初速度为零的匀加速直线运动规律、时间起点平移、“面积”即为经过的位移大小。

设  $t=0$  时速度为  $v_0$ , 经过  $t_1$ , 速度为  $v_1$ 。由图 2-18, 得  $v_1 = v_0 + at_1$ , 再由  $x = \frac{1}{2}(v_0 + v_1)t_1$ , 得  $x =$

$$v_0 t_1 + \frac{1}{2}at_1^2$$

[3] 三个运动学公式表明:位移、速度、时间三者间具有一定的相互关系,运动的描述依赖于时间和空间。

初速度为  $v_0$  的匀加速直线运动可看作初速度为零的匀加速直线运动与速度为  $v_0$  的匀速直线运动的合成。

② 初速度不为零的匀加速直线运动满足何种运动规律?

- [1] 初速度为零的匀加速直线运动的  $v-t$  图像是一条过原点的斜直线,这个结果是把物体开始运动的瞬间作为计时起点得到的。如果把计时起点取在物体运动一段时间之后,  $v-t$  图像如图 2-18 所示,此图反映了物体做初速度为  $v_0$  的匀加速直线运动的规律。物体在初始时刻的速度为  $v_0$ ,  $t_1$  时刻的速度为  $v_1$ , 图像的斜率为物体的加速度大小  $a$ , 图像中直线与时间轴所围“面积”就是物体在  $0 \sim t_1$  时间内位移  $x$  的大小。

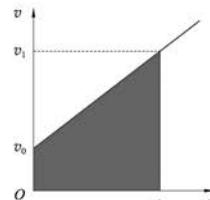


图 2-18 初速度不为零的匀加速直线运动的  $v-t$  图像

- [2]

自主活动

利用初速度不为零的匀加速直线运动的  $v-t$  图像(图 2-18), 分别推导速度  $v$  与时间  $t$  的关系、位移  $x$  与时间  $t$  的关系。

- [3]

由初速度不为零的匀加速直线运动的  $v-t$  图像可推得:

物体速度  $v$  与时间  $t$  的关系为

$$v = v_0 + at$$

位移  $x$  与时间  $t$  的关系为

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

在上述两式中消去时间  $t$ , 即可得到速度  $v$  与位移  $x$  的关系为

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

做匀加速直线运动的物体,加速度保持不变。但是,我们不能简单地认为,物体具有恒定加速度时其速度一定增加。加速度是矢量,如果加速度的方向与初速度的方向相同,物体的速度大小随时间均匀增加,做匀加速直线运动;反之,如果加速度的方向与初速度的方向相反,则物体的速度大小将随时间均匀减小,做匀减速直线运动。

由于匀加速直线运动和匀减速直线运动的加速度都保持不变,所以又被统称为匀变速直线运动。

在确定正方向后,我们便可用“正”“负”号表示位移、速度、加速度的方向。这样,匀减速直线运动就与匀加速直线运动的规律相同了,它们统称为匀变速直线运动的规律。

[1]

## STSE

高速公路上，每经过一定路程，就会看到路面上画有车距确认辅助线，路旁竖立着车距确认提示牌（图2-19）。它们不时地提醒驾驶员注意车距，确保行驶安全。根据《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》，机动车在高速公路上行驶，车速超过100 km/h时，应当与同车道前车保持100 m以上的距离；车速低于100 km/h时，与同车道前车的距离可以适当缩短，但最小距离不得少于50 m。这样的规定背后，就蕴含着匀变速直线运动的规律。



图2-19 高速公路上的车距确认辅助线和提示牌

[2]

**示例** 汽车以100 km/h的速度行驶于高速公路上的平直车道内。驾驶员突然发现前方100 m处发生了交通事故，在不宜变换车道的情况下随即紧急制动。若汽车刹车性能良好，可在5 s内刹停。试分析该汽车是否会发生交通事故。

**分析：**可将驾驶员紧急制动后汽车的运动视为匀减速直线运动。先根据速度随时间变化的规律求得汽车制动的加速度 $a$ ，再根据位移随时间变化的规律求出制动距离。通过比较制动距离与紧急制动时汽车到事故地点的距离即可判断该车是否会发生交通事故。

**解：**将驾驶员紧急制动后汽车的运动视为匀减速直线运动。以车前进的方向为正方向，已知汽车的初速度 $v_0 = 100 \text{ km/h} \approx 27.8 \text{ m/s}$ ，刹停时汽车的末速度 $v = 0 \text{ m/s}$ ，运动时间 $t = 5 \text{ s}$ ，由 $v = v_0 + at$ 可得汽车制动的加速度

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{0 \text{ m/s} - 27.8 \text{ m/s}}{5 \text{ s}} \approx -5.6 \text{ m/s}^2$$

加速度 $a < 0$ 是因为其方向与车前进的方向相反。

由位移与时间的关系可得汽车的刹车距离

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 = 27.8 \text{ m/s} \times 5 \text{ s} + \frac{1}{2} \times (-5.6 \text{ m/s}^2) \times (5 \text{ s})^2 = 69 \text{ m}$$

因为 $x = 69 \text{ m} < 100 \text{ m}$ ，所以该汽车不会发生交通事故。

利用汽车从开始刹车到静止过程的 $v-t$ 图像也可求出汽车的制动距离，从而判断汽车是否会发交通事故。你可以试一试。

示例中求得的制动距离与交通法规中要求的车距相差比较大，其原因是没有考虑驾驶员的反应时间。反应时间是指从驾驶员发现突发情况到采取措施间的短暂间隙时间，在这段时间内车辆依旧以原车速行驶。驾驶员的反应时间往往因人而异，顶级赛车运动员的最短反应时间可达0.104 s，一般人的反应时间在0.7 s左右，且反应时间与驾驶员的年龄、

[1] 此处设置

“STSE”栏目，目的是引导学生认识科学原理对交通法规制定的指导意义。后续的示例及相关讨论对本栏目做了呼应。

[2] “示例”示范了

运用匀变速直线运动的规律解决实际问题的思路，包括：建立物理模型；恰当应用物理规律；确定物理量的方向或符号；求解方程，代入数据，得出结果。

目的是帮助学生提高模型建构和分析推理能力。

本示例还可以由速度-时间图像的截距、斜率和面积的物理意义，通过分析计算得到结果。这有助于引导学生运用数形结合的方法促进其分析推理能力的提升。

## 问题与思考解读

第三节 匀变速直线运动的规律 43

### 1. 参考解答：

- (1)  $6 \text{ m/s}^2$  提示：第3 s 的位移为3 s末的位移减去2 s末的位移  
(2) 108 m (3) 33 m

提示：第6 s的位移为6 s末的位移减去5 s末的位移  
(4) 24 m/s 提示：以第3 s末的速度为这21 m运动的初速度

**命题意图：**相关运动规律的应用需要关注符号与运动过程及运动状态的对应关系。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅱ)；科学推理(Ⅱ)。

### 2. 参考解答：

- 60 m/s 90 m 提示：  
在实际情况中，火箭上升的过程为变加速运动。此题仅研究最初5 s火箭的运动，将这段运动视为匀变速直线运动。应用相应的关系式即可获得结果

**命题意图：**从文字表述中提取有用的信息，转化为物理问题。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅱ)；科学推理(Ⅱ)。

**3. 参考解答：**以舰载机为对象，将其视为质点。设空气静止(无风)。若航母静止，舰载机在航母上由静止开始加速起飞，以最大加速度通过 $x=200 \text{ m}$ 距离的末速度增大为 $v'=\sqrt{2ax}\approx 49 \text{ m/s}$ ，该速度小于起飞的最小速度50 m/s。因此舰载机必须借助航母获得一定的初速度。航母匀速行驶，舰载机相对航母静止起飞，其借助航母获得1 m/s的速度，即可获得相对空气50 m/s的起飞速度

**命题意图：**从文字表述中提取有用的信息，把文字转化为物理条件，再将物理条件转化为数学公式。

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅱ)；科学推理(Ⅱ)。

**4. 参考解答：**将卡车的制动过程视为末速度为零的匀减速直线运动，经计算得卡车制动前车速为8 m/s

注意力集中程度、驾驶经验和体力状态等因素均有关。人在饮酒后的反应时间会成倍增加，所以规定严禁酒驾，违者将承担相应的法律责任！

如果考虑到驾驶员的反应时间，示例中汽车的制动距离还会增加。因此，在高速公路上车速超过100 km/h的汽车应当与同车道前车保持100 m以上的距离是具有科学依据的。

### 问题与思考

- 一质点从静止开始做匀加速直线运动，若质点在第3 s内的位移为15 m，求：
  - 质点运动的加速度大小。
  - 质点在前6 s内的位移大小。
  - 质点在第6 s内的位移大小。
  - 质点由第3 s末继续运动21 m时的速度大小。
- 竖直向上发射的火箭刚开始升空时的加速度约为 $20 \text{ m/s}^2$ 。若在最初的5 s内火箭做匀加速直线运动，则加速3 s后火箭的速度为多大？此火箭离发射处多高？
- 舰载机在航母甲板上允许滑行的最大距离为200 m，起飞时需要的最小速度为50 m/s，最大加速度为 $6 \text{ m/s}^2$ 。根据上述信息，解释舰载机在航母上起飞为何必须借助航母获得一定的初速度。舰载机需要借助航母获得的最小速度为多大？
- 某卡车在危急情况下紧急刹车制动，制动过程中车轮在地面上留下的擦痕长为4 m。查阅有关参数得知该车制动加速度的大小为 $8 \text{ m/s}^2$ 。判断该车制动前的车速。
- 表2-3为某小车沿斜面向下运动时的时间和位移数据，其相对应的 $x-t$ 图像如图2-20所示。请在图2-21中画出小车在该运动过程中的 $v-t$ 图像。从 $v-t$ 图像上分析小车的运动性质，并求出小车运动的加速度。

表2-3

$t/\text{s}$	$x/\text{m}$	$t/\text{s}$	$x/\text{m}$
0	0.00	0.28	0.52
0.04	0.04	0.32	0.63
0.08	0.10	0.36	0.75
0.12	0.16	0.40	0.88
0.16	0.24	0.44	1.02
0.20	0.32	0.48	1.17
0.24	0.41	0.52	1.33

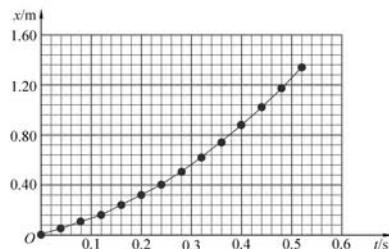


图 2-20

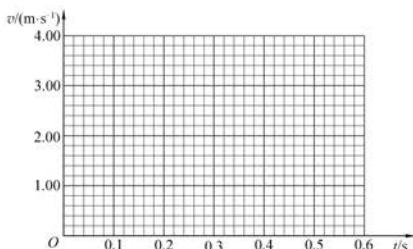


图 2-21

6. 试将做匀加速直线运动的物体在第 6 s 内和第 5 s 内的位移之差, 与第 8 s 内和第 7 s 内的位移之差进行比较。

7. 变色龙捕食时, 以闪电般的速度伸出长舌头, 准确捕捉猎物 (图 2-22)。变色龙的舌头每秒可移动约 6 m, 伸长距离可达身长的 1.5 倍。变色龙在某次捕食时, 其舌头伸出 30 cm, 且在 0.1 s 内就粘住猎物。估算该变色龙舌尖弹射的加速度大小。你认为你的估算与实际情况有哪些差异?



图 2-22

第一段时间内的位移  $x_1 = \frac{v_1 + v_2}{2} T$ , 第二段时间内的位移

$x_2 = \frac{v_2 + v_3}{2} T$ , 两段位移之差  $\Delta x = x_2 - x_1 = \frac{1}{2} (v_3 - v_1) T$ ,

将  $v_3 = v_1 + 2aT$  代入得  $\Delta x = aT^2$ , 即在相继两个相同时间段内的位移之差仅与加速度及时间间隔长短有关

**命题意图:** 通过计算认识匀变速运动相邻相等时间位移差相等的普遍规律。

**主要素养与水平:** 运动与相互作用(Ⅱ); 科学推理(Ⅱ)。

**命题意图:** 用匀变速直线运动的规律解决刹车制动的真实问题。

**主要素养与水平:** 模型建构(Ⅱ); 社会责任(Ⅰ)。

**5. 参考解答:** 根据表中数据, 取相邻的  $t$  和  $(t + \Delta t)$  两时刻, 计算这段时间内的平均速度作为  $t$  时刻的瞬时速度, 可得  $v - t$  图像如图 4 所示。根据  $v - t$  图像近似为一条直线可知, 小车的运动可视为匀加速直线运动, 由图像可知小车的初速度为 1 m/s, 加速度约为  $6.25 \text{ m/s}^2$

**命题意图:** 通过建立数据表格、运动图像与真实运动之间的联系, 判断物体的运动性质及运动状态。

**主要素养与水平:** 解释(Ⅲ); 科学态度(Ⅰ)。

**6. 参考解答:** 设两段时间长度均为  $T$ , 第一段时间的初速度为  $v_1$ , 末速度为  $v_2$ , 第二段时间的末速度为  $v_3$ 。

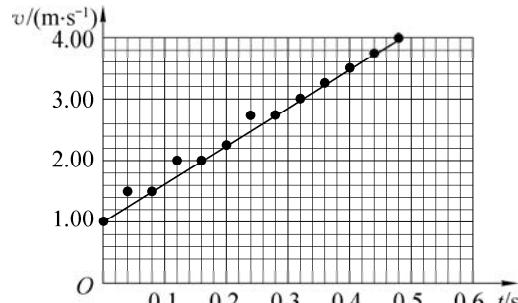


图 4

**7. 参考解答:** 题中变色龙的舌头每秒移动 6 m 可理解为最大速度, 即  $v_{\max} = 6 \text{ m/s}$ , 捕食时舌头 0.1 s 伸出 30 cm, 可以将变色龙舌头的运动简化为初速度为零的匀加速直线运动。由  $x = \frac{1}{2}at^2$  得  $a = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 0.3 \text{ m}}{0.1^2 \text{ s}^2} = 60 \text{ m/s}^2$ 。或由  $v_{\max} = at$  得  $a = \frac{v_{\max}}{t} = \frac{6 \text{ m/s}}{0.1 \text{ s}} = 60 \text{ m/s}^2$  与实际情况的差异是变色龙的舌头在伸出去的过程中可能是先加速后匀速的, 或变色龙的舌头在口内已开始加速(言之有理即可)

**命题意图:** 从文本中提取信息, 将一个比较复杂的运动抽象为匀变速直线运动, 体会模型建构的思想。在此基础上, 对科学推理的过程进行反思和评价, 从不同的角度思考问题, 培养科学的态度。

**主要素养与水平:** 模型建构(II); 质疑创新(I)。

## 资料链接

### 相 对 运 动

为了比较形象地理解初速度不为零的匀加速直线运动规律, 我们可以考虑如下场景。

输送带保持恒定的速度  $v_0$  运行。如图 5 所示, 两位旅客 A、B 并排站在输送带上随带一起匀速运动, 另一旅客 C 静止站在输送带外。从 A、B 二人同时随输送带到达 C 所在位置 I 开始计时, 此后 B 在输送带上做加速度为  $a$  的匀加速运动, A 依旧随输送带一起运动。

经过一段时间  $t$  后, A 到达位置 II, B 到达位置 III, C 依旧在位置 I。对于随输送带匀速运动的 A 而言, 当 B 到达位置 III 时, 自己已经到达位置 II, 因此 A 看到 B 相对自己做初速度为零的匀加速直线运动, 位移为  $x_2 = \frac{1}{2}at^2$ 。对于地面上的 C 而言, A

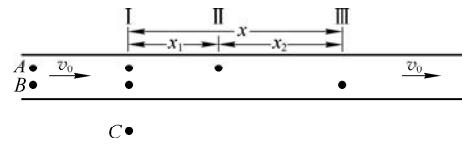


图 5

相对 C 做匀速直线运动, 位移为  $x_1 = v_0 t$ ; B 相对 C 做初速度不为零的匀加速直线运动, 位移为  $x$ 。由图可知,  $x$ 、 $x_1$ 、 $x_2$  之间满足  $x = x_1 + x_2$ , 因此, B 相对于地面的位移的表达式为  $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ , 即为初速度不为零的匀加速直线运动位移与时间的关系。

在旅客 C 看来, 旅客 B 在  $0 \sim t$  这段时间做初速度为  $v_0$ , 末速度为  $v_t$  的匀加速直线运动, 根据加速度的定义可得  $a = \frac{v_t - v_0}{t - 0}$ , 经过简单的运算即可得到物体初速度不为零的匀加速直线运动速度与时间的关系式:  $v_t = v_0 + at$ , 在上述二式中消去时间  $t$ , 即可得到速度  $v$  与位移  $x$  的关系式:  $v_t^2 = v_0^2 + 2ax$ 。

## 学期 活动

### [1] 了解伽利略的科学贡献。

伽利略开创了一套科学研究方法，推动了包括物理学在内的近代自然科学的发展。阅读书籍并查阅相关资料，了解伽利略的研究活动和科学思想，撰写读书报告。

活动要求：

- (1) 摘录书本上伽利略生平的重要事迹和科学思想的文本，标明出处（如“……”摘自《×××》第××页）。
- (2) 将上述信息按照一定的逻辑顺序排列（可以用思维导图或者表格的形式）。
- (3) 确定一个角度切入，阐述伽利略对物理学发展的贡献，列出能够支撑你观点的证据。
- (4) 以小报的形式进行展示与交流。

[1] 这是一个围绕活动主题阅读书籍、做出综述的活动。要求阅读3~5本有关书籍及相关文献，经摘录综合、分析提炼、思考总结，对伽利略的科学思想和对科学发展的贡献做出评述，在学期结束前写一篇阅读报告并在班级中交流。

## 小结

### · 基本概念和基本规律

**自由落体运动：**物体只在重力作用下从静止开始下落的运动。自由落体运动是初速度为零的匀加速直线运动。

**重力加速度：**物体做自由落体运动的加速度，用字母  $g$  表示，方向竖直向下。通常把重力加速度的大小取为  $9.8 \text{ m/s}^2$ 。

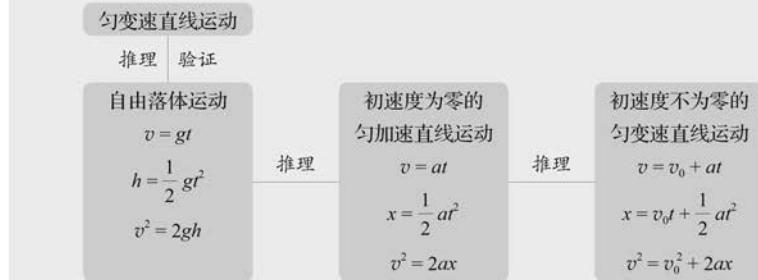
**匀变速直线运动：**速度随时间均匀变化的直线运动，即加速度不变的直线运动。其  $v-t$  图像是一条倾斜的直线，斜率表示加速度，直线与时间轴所围的面积表示位移。在匀变速直线运动中，如果加速度方向与速度方向相同，速度大小随着时间均匀增加，做匀加速直线运动；如果加速度方向与速度方向相反，速度大小随着时间均匀减小，做匀减速直线运动。

### · 基本方法

通过伽利略对落体运动的研究过程，感受逻辑思辨和实验探究相结合的思想与方法。

在得出匀变速直线运动规律的过程中，感受演绎推理和归纳推理的方法，认识无限分割与逼近的方法。

### · 知识结构图



## 复习与巩固

1. 亚里士多德认为“重的物体比轻的物体坠落得快”。对此伽利略做了如下推理：  
 a. 根据这一论断，一块较重的石头比一块较轻的石头下落速度大。  
 b. 假定一块较重的石头下落速度为 8 个单位，一块较轻的石头下落速度为 4 个单位。  
 c. ....  
 d. 由此从“重物比轻物落得快”的论断推出了相互矛盾的结果。  
   (1) 将伽利略的推理 c 补充完整。  
   (2) 设计一个小实验使重的物体比轻的物体落得慢。
2. 静止的物体速度为零，加速度也为零。举例说明，有哪些速度为零、加速度不为零的运动，又有哪些加速度为零、速度不为零的运动。
3. 一个做自由落体运动的物体，在其下落的第 3 s 末的速度是第 1 s 末速度的几倍？其第 3 s 内下落的距离是第 1 s 内下落距离的几倍？如果上述物体在月球上自由下落，结论是否相同？
4. 一位攀岩者以 1 m/s 的速度匀速向上攀登，途中碰落了岩壁上的石块。石块自由下落 3 s 后攀岩者听到石块落地的声音。请估算攀岩者听到声音时离地的高度。实际高度比你的估算结果更高还是更低？
5. 质量分别为  $m_1$  和  $m_2$  的两个物体，各自从离地高为  $h$  和  $2h$  的地方自由下落，它们的运动时间为  $t_1$  和  $t_2$ ，落地速度为  $v_1$  和  $v_2$ ，求  $t_1 : t_2$  和  $v_1 : v_2$  分别为多少？
6. 高空抛物现象被称为“悬在城市上空的痛”。数据表明：一粒从 25 楼落下的拇指大小的石子也可能让路人当场殒命。试估算一粒由 25 楼落下的石子掉到地面上，撞击地面的速度大小约为多少？为了杜绝高层住户向窗外随意丢弃杂物的陋习，有人提出如下设想：在底层住户窗户上、下窗沿安装光电传感装置，利用自由落体运动规律推测丢弃杂物的用户楼层高度。设底层住户窗户上、下窗沿的高度差为 1.2 m，某次光电传感装置检测到某杂物经过该窗户的时间为 0.04 s，试估算丢弃杂物的住户的楼层高度。辨析这一设想的可行性。
7. 一辆小车以一定速度冲上光滑斜面后回到原处，其  $v-t$  图像如图 2-23 所示。判断下列说法是否正确，说明理由。  
   (1) 小车上升过程和下降过程的加速度大小相同，方向相反。  
   (2) 小车上升过程和下降过程的位移相同。  
   (3) 上升到最高点时，小车的瞬时速度和加速度都为零。

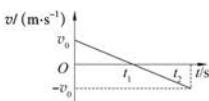


图 2-23

匀速直线运动的物体，加速度为零，速度不为零

**命题意图：**建立物理量与具体运动过程的联系。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅱ)；科学推理(Ⅰ)。

**3. 参考解答：**3 倍 5 倍 相同

**命题意图：**自由落体运动规律的简单应用。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**4. 参考解答：**48 m 将石块视为质点，忽略空气阻力的影响，石块下落的运动视为自由落体运动。

不计声音传播的时间，3 s 内石块自由下落  $h_1 = \frac{1}{2}gt^2 = 45$  m，3 s 内攀岩者匀速上升  $h_2 = vt = 3$  m，此时

**1. 参考解答：**(1) 两块石头捆在一起，总的重量比两块石头都大。根据推理 a，整个系统下落的速度要比 8 个单位还大。但当把两块石头捆在一起时，根据推理 b，下落比较快的石头会受下落比较慢的石头影响而减小速度，整个系统的下落速度应该小于 8 个单位 (2) 将两把相同的伞从同一高度同时释放。一把伞收拢；另一把伞撑开，伞下拴一个小球。实验时注意安全(合理即可，可引导学生综合运用控制变量等方法设计实验方案)

**命题意图：**逻辑推理应基于可靠的证据，选择可信的逻辑关系。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅰ)；证据(Ⅱ)。

**2. 参考解答：**做自由落体运动的物体在开始下落的瞬间速度为零，加速度不为零。做

他离地面的高度约为  
 $h = h_1 + h_2 = 48 \text{ m}$  实际高度比估算结果可能更小。因为只要有空气,就有空气阻力的影响;重力加速度也比估算的  $10 \text{ m/s}^2$  要小;若考虑声音传播的时间,石块下落的时间小于 3 s 等(言之有理即可)

**命题意图:** 将真实情境转化为模型化情境。

**主要素养与水平:**  
 模型建构(Ⅱ);质疑创新(Ⅰ)。

**5. 参考解答:**  $t_1 :$   
 $t_2 = 1 : \sqrt{2}$      $v_1 : v_2 = 1 : \sqrt{2}$

**命题意图:** 自由落体运动规律的应用。

**主要素养与水平:**  
 科学推理(Ⅱ)。

**6. 参考解答:** 以石子为对象,忽略空气阻力的影响,将石子从 25 楼下落的运动视为自由落体运动。设每一层的高度为 3 m,则下落的高度为  $h = 72 \text{ m}$ 。根据  $v^2 =$

$2gh$ ,解得  $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times 72 \text{ m}} \approx 37.57 \text{ m/s}$ 。由  $\Delta h = vt + \frac{1}{2}gt^2$ ,得  $v \approx 29.8 \text{ m/s}$ ,由  $v^2 = 2gh$ ,得  $h \approx 45.3 \text{ m}$ ,可知住户的楼层为 16 楼。空气阻力、风力、抛出时的初速度等因素,均会影响结果(言之有理即可)

**命题意图:** 教师可以引导学生为光电传感器定标,将时间显示转化为楼层显示。

**主要素养与水平:** 模型建构(Ⅱ);质疑创新(Ⅰ);社会责任(Ⅰ)。

**7. 参考解答:** (1) 错 小车上升时做匀减速直线运动,下降时做匀加速直线运动。加速度相同;加速度大小不变,方向均沿斜面向下 (2) 错 位移大小相等,但方向相反 (3) 错 在最高点速度虽然为零,但加速度不为零 (4) 对 在匀变速运动中任意相等时间内速度变化量相等 (5) 对 由  $v-t$  图

(4) 运动过程中,小车在任何相等时间内的速度变化量都相同。

(5) 小车上升到最高点与从最高点返回出发点的时间相等。

8. 某汽车从静止出发做匀加速直线运动,经过 12 s 后改做匀速直线运动,向前行驶了 8 s。汽车前进的总位移大小为 336 m。

(1) 求该汽车加速阶段的加速度。

(2) 画出该汽车运动的  $v-t$  图像。

9. 伽利略在《两种新科学的对话》一书中介绍:“把一桶水放在高处,底部接一根可以喷出细水流的管子,把喷出的水收集在玻璃杯中。铜球在斜面上的沟槽中滚下来,仔细测量铜球滚过的距离,并测量铜球每次滚下过程中管子喷出水的质量,重复多次。”以此来验证落体运动是匀变速运动的假设。

某组同学设置了如图 2-24 所示的装置来验证伽利略的假设。滑块从某一高度由静止沿斜面下滑。一旦滑块开始运动,就打开水箱阀门,使水箱中的水流到量筒中,滑块碰到挡板的同时关闭阀门(假设整个过程中水流均匀稳定)。改变滑块起始位置的高度,重复以上操作。记录滑块由静止起下滑的距离  $s$  和相应过程中量筒收集到的水的体积  $V$ ,所得数据如表 2-4 所示。

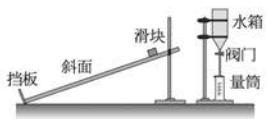


图 2-24

表 2-4

次数	1	2	3	4	5	6	7
$s/\text{m}$	4.5	3.9	3.0	2.1	1.5	0.9	0.3
$V/\text{mL}$	90	84	72	62	52	40	23.5
$\frac{s}{V^2} \times 10^{-4}/(\text{m} \cdot \text{mL}^{-2})$	5.6	5.5	5.8	5.5	5.6	5.6	5.4

(1) 分析表中数据,是否可以验证伽利略的假设?说明理由。

(2) 本实验的主要误差来源可能是什么?说出一种。

10. 如图 2-25 所示,将一枚围棋棋子从靠在书上的一块木板上的 A 点由静止释放。

棋子沿木板下滑后落入水平桌面,在桌面上滑行一段距离后停止在 B 点。已知棋子沿着木板下滑的加速度大小为  $a_1$ ,在桌面上滑行的加速度大小为  $a_2$ 。有人对棋子沿木板下滑到底端时

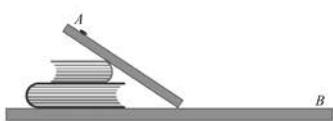


图 2-25

可见,上升和下降运动是对称的

**命题意图:** 建立真实运动与运动图像的关系,从图像中获取信息。

### 主要素养与水平:

科学推理(Ⅱ);科学论证(Ⅱ)。

### 8. 参考解答:

(1) 该汽车共经历两个运动过程:前一过程为初速度为零的匀加速直线运动,由  $s = s_1 + s_2 = \frac{1}{2}at_1^2 + at_1t_2 = \frac{1}{2}at_1(t_1 + 2t_2)$ , 得加速度  $a = 2 \text{ m/s}^2$ ;后一过程为匀速直线运动

(2)  $v-t$  图像如图 6 所示,画图像时要注意标出关键点的横、纵坐标

**命题意图:** 用图像表示比较复杂的运动过程,通过图像所围的面积表示位移的大小。为后续学习各类图像所围面积的意义做准备。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅱ)。

**9. 参考答案:** (1) 分析表中的数据可知,各次实验  $\frac{s}{V^2}$  近似相

等。如果水流是均匀稳定的,量筒中收集的水量代表下滑时间的长短。即滑块沿斜面下滑过程中,下滑的距离与时间的二次方成正比 (2) 距离测量不准确;开、关阀门的时刻与滑块开始下滑和遇到挡板时刻不同步

**命题意图:** 阅读伽利略对落体运动的研究过程。通过数据和误差的分析,体会基于证据的解释。

**主要素养与水平:** 解释(Ⅲ);科学本质(Ⅱ)。

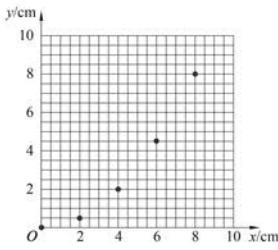


图 2-26

12. 查阅资料,了解人的反应时间与哪些因素有关,并分析为何疲劳驾驶容易发生交通事故。试根据自由落体运动的规律,设计一个可以测量反应时间的简单装置。

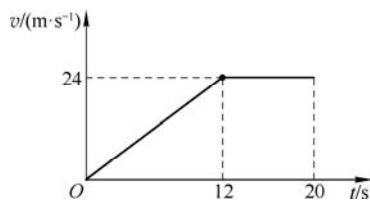


图 6

**10. 参考解答：**首先,提出猜想:相等或不相等。猜想无对错之分。说明需要测量的物理量,由于实验器材的限制可能是时间,也可能是距离。无论是哪一种,理论演绎都可以得到速度的大小。最后还要有一个结论

**命题意图:**对加速运动有一个感性认识,为牛顿第二定律的学习做准备。

**主要素养与水平:**问题(I);证据(III);科学态度(I)。

**11. 参考解答:**观察这些点不同时刻对应的x坐标和y坐标。在相同的时间间隔内,x方向的位移均为2 cm;由此可以推断,小球在x方向做匀速直线运动, $x=0.02t$ ;在相同的时间间隔内,y方向的位移分别为0.5 cm、1.5 cm、2.5 cm、3.5 cm;位移之比为1:3:5:7。类比伽利略对落体运动的研究可知,小球在y方向做初速度为零的匀加速直线运动, $y=\frac{1}{2}at^2$ 。为确定a的具体值,在图中任选一点的坐标代入,可得加速度 $a=0.01\text{ m/s}^2$

**命题意图:**通过位置的变化来描述运动的特点,为运动的合成与分解做准备。

**主要素养与水平:**科学推理(II);科学论证(II)。

**12. 参考解答:**反应时间与身体状况、注意力是否集中以及年龄等因素有关。若疲劳驾驶,会使反应时间延长。由于从司机意识到突发情况到采取制动措施的这段反应时间内,车辆依旧以原速度行驶,反应时间延长会导致从发现情况到完全制动过程中车辆前行的距离大大增加。增大事故发生的概率

**命题意图:**开展制作反应尺测量反应时间的活动。

**主要素养与水平:**证据(III);社会责任(I)。

## 第三部分 本章练习部分解读

### 第一节 伽利略对落体运动的研究

#### (一) 参考解答

1. 重力 静止

2. 均匀 不均匀

3. 解释不正确 由于羽毛和石子均受到重力和空气阻力的作用,相对于自身的重力,羽毛受到空气阻力的影响比石子大,所以落地需要的时间长,着地速度小 在真空中,羽毛与石子同时落地,速度一样,这是因为在真空中羽毛和石子都只受重力作用,做完全相同的自由落体运动

4. 见下表

说 法	判 断	说 明 理 由
伽利略认为物体下落的快慢与轻重无关	对	这是伽利略与亚里士多德观点的主要分歧
伽利略猜想落体运动的速度与下落时间成正比	对	伽利略通过大量观察和斜面实验提出了这个猜想
伽利略猜想落体运动的实验证明自由落体运动的速度随时间均匀变化	错	由于计时困难,伽利略研究的是由小球沿斜面的运动外推到落体运动
伽利略通过测量小球沿斜面运动的位移和时间,发现小球的速度随时间均匀变化	对	伽利略发现小球的位移与时间的二次方成正比,即速度随时间均匀变化

5. 可以采用测量物体位移、速度和加速度的方法。用位移传感器和光电门传感器，通过拍摄物体下落视频等方法得到测量数据，然后分析数据获得下落物体的速度与时间的关系。测量结果可用  $v-t$  图像呈现。

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	证据	解释	科学本质	科学态度
1			I				
2			I				
3		I	I				
4	I					I	
5				III	I		I

## 第二节 自由落体运动的规律

### (一) 参考解答

1. 重力 垂直向下
2. 速度与下落时间成正比 下落距离与所用时间的二次方成正比
3. 见下表

说 法	判断	说 明 理 由
做自由落体运动物体的加速度大小时刻改变	错	做自由落体运动的物体，其加速度不变
做自由落体运动的物体在任意一段时间内速度变化量的方向均竖直向下	对	速度变化量的方向就是加速度的方向，也可以说，做自由落体运动的物体速度始终竖直向下，且逐渐增大，速度变化量也一定竖直向下
做自由落体运动物体的速度变化率不断增大	错	速度变化率即加速度，做自由落体运动的物体，其加速度不变
做自由落体运动物体的位移随时间均匀增大	错	做自由落体运动的物体，其位移与时间的二次方成正比
只要知道物体做自由落体运动的时间，就一定可以知道物体在这段时间内的平均速度	对	知道物体做自由落体运动的时间，就可以知道下落的距离，根据距离和时间就可以知道物体在这段时间内的平均速度

4. 见下表

说 法	判断	推 理 过 程
甲球的加速度是乙球的 2 倍	错	甲、乙两球都做自由落体运动，两球的加速度相等
甲球的触地速度是乙球的 $\frac{1}{2}$	错	根据自由落体运动位移与速度的关系 $v^2 = 2gh$ ，甲球的触地速度是乙球的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$
甲球下落的时间是乙球的 $\frac{1}{2}$	错	根据自由落体运动位移与时间的关系 $h = \frac{1}{2}gt^2$ ，甲球下落的时间是乙球的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$

(续表)

说 法	判断	推 理 过 程
两球各下落 1 s 时,速度相等(两球均未触地)	对	两球各下落 1 s 时,根据 $v = gt$ , 速度均为 $9.8 \text{ m/s}$
两球各下落 1 m 时,速度相等(两球均未触地)	对	两球各自下落 1 m 后,根据 $v = \sqrt{2gh}$ , 速度均为 $4.43 \text{ m/s}$

5. (1) 4.9 m 14.7 m (2) 0.45 s 0.19 s

6. 设下落的总时间为  $t$ , 则  $\frac{1}{2}gt^2 - \frac{1}{2}g(t-1)^2 = 35 \text{ m}$ , 解得  $t = 4 \text{ s}$ , 则下落高度为  $80 \text{ m}$

7. (1) 被测人员从看到测量员释放直尺到抓住直尺之间的时间间隔即为其反应时间。在这段时间中直尺做自由落体运动。根据被测人员手抓处的刻度就可以知道直尺的下落距离,从而推断出直尺下落的时间,即此人的反应时间 (2) 选择的直尺不宜过短。因一般人的反应时间在 0.2 s 以上,20 cm 对应的反应时间约为 0.2 s( $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ), 小于大多数人的反应时间,所以选用长度为 20 cm 的刻度尺不合适 (3) 因直尺的运动可视为自由落体运动,  $1 \text{ cm}, 2 \text{ cm}, 3 \text{ cm}, \dots$  对应的反应时间约为  $0.0447 \text{ s}, 0.0632 \text{ s}, 0.0775 \text{ s}, \dots$ , 下落时间越长,速度越快,  $t_2 - t_1, t_3 - t_2, t_4 - t_3, \dots$  逐渐减小

8. 根据小球的直径可以推断拖影的长度约为 20 cm, 小球在快门打开的  $\Delta t$  时间内运动的距离  $\Delta h$  为 16 cm, 重力加速度  $g$  为  $9.8 \text{ m/s}^2$ , 设释放点在 A 点上方  $h$  处, 根据自由落体运动的规律可得

$$\sqrt{\frac{2(h + \Delta h)}{g}} - \sqrt{\frac{2h}{g}} = \Delta t, \text{ 解得释放点在 A 点上方约 } 2 \text{ m 处}$$

9. 每经过相等时间间隔落下一个水滴, 空中的水滴分布在一条直线上, 光源闪烁的频率与水滴滴落的频率相同, 每次灯亮起, 均可在相同位置看到水滴, 产生水滴静止的错觉

10. 空易拉罐所受的空气阻力对下落快慢有明显影响, 其下落过程不能视为自由落体运动, 应选择重一些的实心物体。重物从高处掉落有安全隐患, 操作时应注意安全。下落时间太短, 人的反应时间会对时间的测量有显著影响, 用声传感器采集相应声音代替手动按停表可减小测量的误差

## (二) 习题主要素养与水平分析

### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	质疑创新	证 据	科学态度
1			I				
2			I				
3			II	I			
4			II	I			
5	I		II				
6	I		II				
7		I	II			II	
8		II	II				
9			II		I		I
10					I	I	I

### 第三节 匀变速直线运动的规律

#### (一) 参考解答

1.  $\frac{v_t - v_0}{t} = \frac{2v_0 + v_t}{3}$

2.  $\frac{v_t - v_0}{a}$

3.  $\frac{-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2ah}}{a}$  提示:  $h = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

4.  $\frac{b^2}{2d} \left[ \frac{1}{(\Delta t_2)^2} - \frac{1}{(\Delta t_1)^2} \right]$  减小 增大 提示:  $b = v_1 \Delta t_1 = v_2 \Delta t_2$ ,  $a = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2d}$

5. 错 汽车从制动到停下的时间只有 4 s, 相应位移为 40 m。从 4 s 末开始汽车速度为 0, 位移不再变化; 因此不能盲目应用运动规律、机械地套用公式, 需注意分析题目中隐藏的条件

6. 0~7 s 14 提示: 0~7 s 速度为正, 7 s 后向负方向运动。0~9 s 的位移等于 0~7 s 的位移大小减去 7~9 s 的位移大小

7. (1)  $v-t$  图像如图 7 所示 (2) 根据  $v-t$  图像可知, 物体在  $t_0$  时的速度为  $2a_0 t_0$  (3) 根据  $v-t$  图像可知, 物体在  $3t_0$  时间内的位移为  $3a_0 t_0^2$

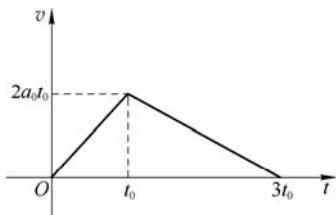


图 7

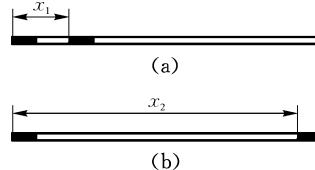


图 8

8. 牙签穿纸效果的差异, 可以用图 8 说明: 图(a)表示牙签处在左端靠近出口处, 图(b)表示牙签处在右端靠近嘴巴处。吹气时, 牙签获得的加速度大致相同, 可将牙签的运动看作匀加速直线运动。图(a)中牙签的位移为  $x_1$ , 离开吸管时速度为  $v_1$ ; 图(b)中牙签的位移为  $x_2$ , 离开吸管的速度为  $v_2$ 。根据匀加速直线运动公式  $v_t = \sqrt{2ax}$  可知,  $x$  越大,  $v$  越大, 由于  $x_2 > x_1$ , 所以  $v_2 > v_1$ 。速度越大越容易穿入薄纸中, 所以两者效果有明显差异

#### (二) 习题主要素养与水平分析

##### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	质疑创新	证据
1			II			
2			I			
3		I	II			
4			II		I	I
5				II	I	
6	II		II			

(续表)

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	质疑创新	证据
7	II		II			
8		I	II	II		

## 第四部分 本章实验与活动部分解读

自主活动 研究篮球的自由下落

(1) 不同物体由静止起下落的规律和加速度是否相同？给出你的解释。

**参考解答：**不同物体由静止起下落的运动规律并不相同。阻力影响越小，运动规律越相近，速度增大并逐渐趋向于一个定值。

**命题意图：**根据实验获得的图像及数据，通过解释与交流丰富对自由落体运动模型的认识。

(2) 由反射式位移传感器在某时刻获得的数据是被测物体在哪个时刻与传感器端面之间的距离？

**参考解答：**反射式位移传感器发出的超声波到达被测物体后被反射，传感器接收反射的超声波，并记录这段时间  $\Delta t$ ，根据  $x = \frac{1}{2}v\Delta t$  确定物体与传感器的距离。该距离对应被测物体反射超声波的时刻。

**命题意图：**知道反射式位移传感器的测量原理，能对距离的测量作出分析和推理。

# 第三章 相互作用与力的平衡

## 第一部分 整 章 分 析

### 学习目标

1. 认识重力、弹力、摩擦力等生活中常见的力,能用共点力的平衡条件分析实际问题,初步形成运动与相互作用的观念。
2. 经历力的概念建构过程,学习描述生活中相互作用的方法,在运用平行四边形定则求解合力与分力的过程中体会等效替代的思想方法。
3. 在研究合力与分力关系的实验中,运用控制变量的思想学习实验方案的设计,经历收集、分析实验数据的过程,能根据证据得出结论并作出解释,知道实验存在误差。能表达科学探究的过程与结果。
4. 通过对现象和问题的描述与解释,激发物理学习的兴趣;在实验中体验与他人的合作,培养实事求是的态度。

### 编写意图

课程标准中对本章内容的要求为:

1. 2. 1 认识重力、弹力与摩擦力。通过实验,了解胡克定律。知道滑动摩擦和静摩擦现象,能用动摩擦因数计算滑动摩擦力的大小。

1. 2. 2 通过实验,了解力的合成与分解,知道矢量和标量。能用共点力的平衡条件分析生活、生产中的问题。

本章的内容主要对应核心素养中的运动与相互作用观念。其中重力、弹力与摩擦力是本章的核心内容;共点力的平衡是形成运动与相互作用观念的重要载体。

通过实际事例,在原有认知的基础上,认识重力、弹力和摩擦力,能对物体的受力情况进行分析。在探究弹簧弹力大小与形变量关系的实验中体会控制变量的思想;学习数据的记录与分析方法,能根据证据得出结论;知道实验存在误差。通过实验探究共点力的合成规律,熟悉力的合成和分解的矢量运算方法。在二力平衡的基础上,结合实验和推理认识共点力平衡的条件。

本章的重点是共点力的平衡条件及其运用。运用共点力的平衡条件分析实际问题的思路为:确定研究对象;根据其他物体对研究对象的作用分析研究对象的受力情况;根据共点力平衡的条件和力的合成与分解方法列出计算式;得出结论并进行讨论和验证。该思路可用于各类实际现象的解释和真实问题的解决。

本章内容是形成“运动与相互作用观念”的重要载体,是进一步学习力和运动关系的基础,为后续学习牛顿运动定律做准备。

完成本章内容的学习,共需要 8 课时。其中,第一节 3 课时,第二节 2 课时,第三节 1 课时,第四节 2 课时。

## 第二部分 本章教材解读

攀岩时，运动员通过手、脚与岩壁、绳索间的相互作用克服自身重力向上攀登；打扫教室时，为了移动课桌椅，需用手对其施加力的作用；等等。这些事实告诉我们，物体之间的相互作用导致了物体运动状态的变化。

为此，需要了解物体间相互作用的性质以及遵循的规律，并用合适的数学手段做出定量的描述，从而为探究力与物体运动状态变化间的关系打下基础。



如图所示，运动员正在攀登峭壁。登山运动充分满足了人们挑战自我的愿望。运动员在攀爬的过程中，通过手、脚与岩壁、绳索间的相互作用来克服自身的重力。这里涉及重力、弹力、摩擦力等生活中常见的力，这些力具有不同的特点。图示情景中运动员所受各力的大小和方向有什么关系？

### 第三章 相互作用与力的平衡

- 在本章中我们将：
  - 1. 认识常见的力。
  - 2. 通过实验探究互成角度的两个共点力的合成规律。
  - 3. 用共点力的平衡条件解决简单的实际问题。
- 本章的学习将在初中物理知识的基础上进一步认识常见的力，以及力的合成、分解与平衡。
- 本章是学习力学、电磁学的基础，有助于逐步形成相互作用的观念。

[1]



图 3-1 运动员将杠铃举过头顶后保持不动

## 第一节 生活中常见的力

如图 3-1 所示,举重运动员运用力量与技巧举起杠铃,展现出力与美。章导图中,登山运动员脚蹬、手攀,在峭壁上攀爬。运动员的举重过程、登山过程均与重力、弹力、摩擦力的作用有关,这些都是生活中常见的力,如何表示和描述这些力呢?

在物理学中,人们把物体与物体之间的相互作用,称为力(**force**)。如果一个宏观物体的运动状态发生变化或者这个物体发生了形变,那么这个物体就受到了力的作用。

力有大小、方向、作用点三个要素。力是矢量,既有大小又有方向。力可以用带箭头的线段来表示,线段所在的直线称为力的作用线,线段末端为力的作用点;线段按一定的比例(标度)画出,长短表示力的大小;箭头指向力的方向。这种表示力的方法叫做力的图示。

为了简明表示物体的受力情况,有时只需要用带箭头的线段画出力的作用点和方向,这就是力的示意图。

[2]

### 大家谈

我们学过的哪些物理量是矢量?如何用图示法表示这些矢量?

分析物体受力的基础;本节的学习经历有助于形成分析问题时的证据意识,激发探寻科学本质的意愿。

## 正文解读

[1] 举重是一项历史悠久的运动,是力与美的完美结合与体现。杠铃被运动员稳稳地举在空中,构成了杠铃在运动员双臂支撑下保持平衡的问题情境。本节以解决杠铃与运动员双臂间相互作用的对应关系为导向,引出首先需要研究生活中常见的力及其如何描述的问题。

本节以此切入,提出生活中常见的力及其如何描述的问题。

[2] 此处设置“大家谈”栏目,通过讨论将矢量与学生原有的认知建立联系,感悟矢量的特点,能用图示的方法表示矢量的各个要素。

## 本节编写思路

本节在初中学习的基础上,通过实例、活动、实验分别认识重力、弹力和摩擦力。强调力的矢量性及其表示方法。

重力的概念延续初中的定义,与其不同的是指明了重力表达式中的  $g$  是重力加速度。关于重力的起源将在后续章节讨论。本节还通过“大家谈”栏目拓展了对重心的认识。

通过实验、“自主活动”和“示例”理解弹力的不同表现,在探究弹簧弹力与形变量的关系的过程中学习数据记录方式、描述和处理数据的方法,得出胡克定律。本节将经历观察、实验、分析形成概念和规律的学习过程。

通过“自主活动”形成静摩擦和滑动摩擦的概念,了解影响其大小的原因。通过实例体验分析与确定摩擦力的方法。

本节的学习内容是

我们知道，人跳起后总要落下，抛出的物体也会落回地面。这是因为地球与地面附近的物体之间存在相互吸引的力。

### ② 什么是重力？

物体在地面附近由于地球的吸引而受到的力称为重力（gravity），用字母  $G$  表示。

重力  $G$  与质量  $m$  的关系为

$$G = mg$$

其中  $g$  就是前面学过的重力加速度。

重力不仅有大小，还有方向。重力的方向总是竖直向下。

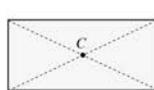
一个物体的各个部分都受到重力的作用。从效果上看，我们可以认为各个部分受到的重力集中作用于一点，这个点称为物体的重心（center of gravity）。

重心的位置与物体的形状和质量分布有关。运动员完成高难度平衡动作时，其支撑点一定刚好处于重心的正下方（图 3-2）。

形状规则、质量分布均匀的物体，重心就在它的几何中心，用  $C$  表示重心的位置，如图 3-3 所示。



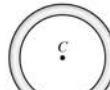
图 3-2 运动员的高难度平衡动作



矩形薄板



圆柱体



圆环

图 3-3 形状规则、质量分布均匀物体的重心位置

[1] 通过“大家谈”可使学生认识到，重心仅是从受力平衡角度提出的物体重力的等效作用点，而非实际作用点。故重心不一定在物体上，可以在物体之外空间某点上。如质量均匀分布的圆环，重心即在环的圆心。重心位置不仅跟物体的形状有关，还跟其质量分布有关。图 3-2 中的运动员，就是通过巧妙改变身体姿态，将重心位置调整到支持力作用线上而平衡的。对于厚度可以忽略的薄板，用悬挂法即可找到其重心。

[1]

#### 大家谈

如果物体的形状规则，它的重心一定在几何中心吗？物体的重心一定在物体上吗？你有什么办法找到物体的重心？

弹力也是生活中常见的力。我们通常说的绳子的拉力、桌面的支持力等具有相同的产生原因，都属于弹力。由生活经验可知，弹力与形变直接相关。

[1]

**大家谈**

人站立在教室地板上，我们并没有观察到地板形变，人与地板间却有弹力存在。物体发生形变是否就一定存在弹力？弹力是否一定引起形变？

**② 弹力和形变有什么关系？**

[2]

当撤去使物体发生形变的外力后，有的物体能恢复原状，如图 3-4 所示。我们把撤去力后能恢复原状的形变称为弹性形变，如弹簧的形变。

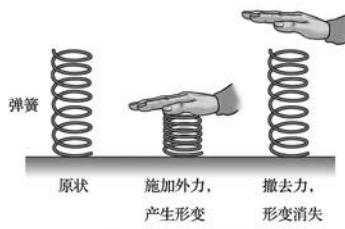


图 3-4 弹性形变

有的物体形变很明显，容易观察，有的物体形变很难直接观察，我们可以用实验证其存在。

[3]

**自主活动**

如图 3-5 所示，把一支激光笔 A 固定在支架上，激光束分别经过平面镜 B 和 C 的反射后射到天花板，形成一个光斑。现在桌面上放一重物 M，观察光斑 D 位置的变化。

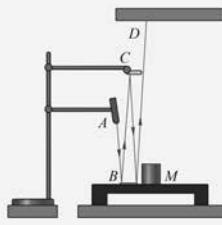


图 3-5 观察桌面微小形变的装置

[1] 此处设置“大家谈”的目的并非要求学生感受人和地板的微小形变，以及形变与人和地板间弹力的对应关系；而是期望通过小组讨论，激活学生关于形变、弹力的已有认知。在此基础上，就物体形变与弹力的关系提出自己的观点或疑问，产生进一步探究的动机。

[2] 除根据撤去外力后能否恢复原状对形变进行分类外，还可以根据物体形状和体积的变化样式，将形变分为压缩、拉伸、弯曲、扭转、剪切等类别，如图 1 所示。

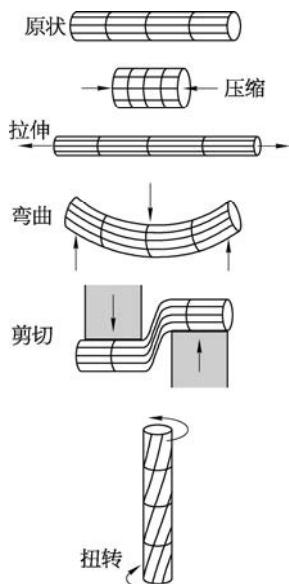


图 1

[3] 这是一个观察微小形变的“自主活动”，不仅可以呼应教材第 53 页的“大家谈”，帮助学生认识微小形变，解决弹力是否一定对应形变的疑惑，还能使学生体会通过光学放大研究微小量或微小变化的科学方法。

为提高实验的成功率和观察效果，可在保证不照射到眼睛的前提下，利用教室的长度延长光路，使光斑位置的变化更为明显。

自然界中的任何物体在外力作用下都会产生形变，只是形变程度不同，有些可以直接被观察到，有些则由于形变程度极小而必须借助其他手段才能发现。

[1] 这是一个探究型实验。要求学生以弹簧为研究对象，在初中使用弹簧测力计感受弹簧拉力与其伸长关系的基础上，就弹簧弹力大小与其伸长的定量关系进行猜想假设，并设计如下研究方案：即在弹簧上竖直悬挂钩码，利用二力平衡测量其弹力大小  $F$ ，用刻度尺测量伸长量  $x$ ，进而探究  $F$ 、 $x$  之间的定量关系。在实验探究过程中，可以将学生分成若干组。每一组选用相同的弹簧，不同组使用不同规格的弹簧。各组分工协作测得多组  $F$ 、 $x$  数据后，可利用每组数据计算弹簧弹力与伸长量之比，根据同一组所得比值基本相等的实验结果，证实弹簧弹力与其伸长量成正比的猜测假设。通过不同组就比值不同进行交流讨论，认识不同规格的弹簧“软硬”不同，形成劲度系数的概念。也可画  $F-x$  图像，通过图像的线性关系证实弹簧弹力与其伸长量成正比的猜测假设，并通过围绕不同组图像斜率不同进行交流讨论，区分不同规格弹簧的“软硬”及劲度系数。另外，如果图像线性关系良好但不过原点，还可以通过分析讨论其原因，抽象轻质弹簧的模型。通过本实验，可以让学生经历较完整的科学探究过程，促进学生科学探究能力的发展。

我们发现桌面放上重物后光斑会移动，而且重物越重，光斑移动的幅度越大。光斑之所以会移动，是因为重物对桌面的压力使桌面发生了微小形变，平面镜随之发生了微小的转动。通过光的多次反射将桌面的形变“放大”，从而观察到不易直接观察的微小形变。

发生弹性形变的物体，由于要恢复原状，会对引起形变的物体施加力的作用，这种力称为弹力（elastic force）。

弹力是由于弹性形变引起的，我们所熟悉的弹簧测力计测量物体所受重力的原理就是利用弹簧的形变进行测量的。弹簧测力计中的弹簧下端悬挂不同质量的重物时，弹簧的伸长量也不同。利用固定在弹簧上的指针，在标尺上显示出重物所受的重力大小。可用类似的方法来探究弹簧弹力与形变量的关系。

## [1]

### 学生实验

#### 探究弹簧弹力与形变量的关系

##### 提出问题

用弹簧测力计测量物体所受的重力时物体分别受到重力和弹簧弹力的作用，弹簧测力计中的弹簧处于一定的伸长状态。所挂重物越重，弹簧的形变量（伸长量）就越大。可以设想，弹簧弹力的大小与弹簧的形变量有关。将弹簧作为研究对象，弹簧形变产生的弹力与弹簧形变量之间有什么定量关系呢？

##### 实验原理与方案

由二力平衡的条件可知，重物所受重力与弹簧的弹力大小相等。要研究弹簧弹力与弹簧形变量的关系，可以通过在弹簧下端悬挂不同质量的重物，分别测量悬挂不同重物时弹簧的形变量并记录相应重物所受到的重力。分析相应数据，即可得到弹簧弹力与形变量的关系。

##### 实验装置与方法

实验装置如图 3-6 所示。将弹簧一端固定在铁架台上端，同时将刻度尺竖直固定在竖直悬挂的弹簧一侧，弹簧的下端连接挂钩。当挂钩上未悬挂重物时在刻度尺上标记弹簧上端和下端的位置，即可读出弹簧的原始长度（简称“原长”）；分别将不同质量的钩码挂接在弹簧下端的挂钩上，待钩码静止时测量弹簧的长度，其与弹簧的原长之差即为弹簧悬挂不同钩码时的形变量。

### 助一臂

科学探究过程是指基于观察和实验提出问题、形成猜想和假设、设计实验与制定方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释、对过程和结果进行交流、评估、反思。

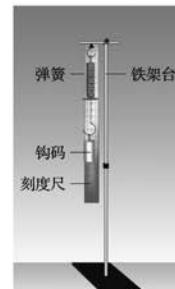


图 3-6 实验装置

### 实验操作和数据收集

实验时，在弹簧下端挂上钩码，手托钩码缓慢下移，直到手离开钩码。测量弹簧的长度，同时记录该次实验钩码所受的重力。不断增加钩码的数量，重复上述实验操作，将测量结果填入表 3-1 中。

表 3-1 实验数据记录表

弹簧原长  $x_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  m

实验序号	钩码的质量 $m/\text{kg}$	钩码所受的重力 $G/\text{N}$	悬挂钩码后弹簧的长度 $x_i/\text{m}$	弹簧的形变量 $x/\text{m}$
1				
2				
3				
4				

### 数据分析

以弹簧的弹力  $F$ （与弹簧下端所挂钩码受到的重力大小相等）为纵轴、弹簧的形变量  $x$  为横轴建立如图 3-7 所示的坐标系，在坐标系中描出实验测得的各个数据点，并根据这些数据点画出  $F-x$  图像。在误差允许的范围内，这些点近似分布在一条过原点的直线上。

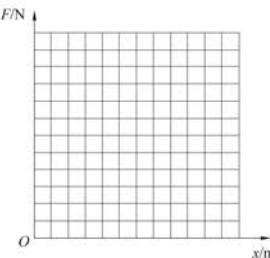
### 实验结论

弹簧的弹力  $F$  与 \_\_\_\_\_。

### 交流与讨论

交流各组的  $F-x$  图像，讨论图像有何不同，分析其原因。

如果弹簧发生压缩形变，是否也满足此规律，你会如何用实验证？

图 3-7 以弹力  $F$  为纵轴、形变量  $x$  为横轴建立坐标系

[1] 大量的实验表明，在一定条件下，弹簧发生弹性形变时弹力的大小  $F$  与弹簧形变量的大小  $x$  成正比，即

$$F = kx$$

式中的  $k$  称为弹簧的劲度系数 (stiffness coefficient)，单位是牛顿/米，符号是  $\text{N}/\text{m}$ 。通常形容弹簧时所说的有的弹簧“硬”，有的弹簧“软”，指的就是它们的劲度系数不同。这个规律是由英国科学家胡克 (R. Hooke, 1635—1703) 在实验中发现的，称为胡克定律 (Hooke's law)。

### 拓展视野

弹簧的弹性是有限度的。用力拉一弹簧，若拉力不太大，撤销拉力后，弹簧即能恢复原来状态；若拉力过大，撤去外力后，弹簧就不能恢复原来状态。

[1] 胡克定律是一个实验定律，给出了弹簧被拉伸或压缩时满足的规律，在形变较小的范围内成立。进一步研究发现，这一定律能近似描述大部分材料的弹性性质。关于胡克定律的说明具体请参见资料链接。

[1] 相互接触的物体,因受重力及其他外力的作用而相互挤压或拉拽,使得两个物体在接触处同时发生弹性形变,每一个物体都会沿着恢复原状的方向对与之接触的另一个物体产生弹力作用,这体现了弹力作用的相互性。值得注意的是,形变和相互作用的弹力是同时发生的。相互接触的两物体之间,不是先有形变再有弹力,或先有相互的压力(或拉力)后有形变。

[2] 通过示例,可归纳分析物体所受弹力情况的一般思路:

1. 选定研究对象A,明确其与周围哪些物体接触;

2. 分析A所受重力和已知外力;

3. 假想将接触物B拆除,根据A在重力和已知外力作用下运动状态改变与否,判断B对A是否产生弹力;

4. 若B对A产生弹力,则根据弹力作用点和方向的规律画出其示意图。

[3] 在图3-11中,父亲对箱子的水平推力与箱子受到的静摩擦力大小相等、方向相反,但不在同一直线上,形成一个力偶的作用效果,即不改变箱子质心的运动状态,但具有改变箱子转动状态的效果。但是箱子所受的重力和支持力也构成一个力偶,两个力偶改变箱子转动状态的效果相互平衡。更一般的分析可参见资料链接。

弹力作用在物体与物体接触的点或面上,其作用点是相互作用的物体直接接触并发生弹性形变的位置,方向总是指向发生弹性形变物体恢复原状的方向。

[1] 如图3-8所示为两种典型的弹力的方向。图(a)中,弹性绳发生形变,产生弹力,作用于桶。弹力的作用点是P,弹力的方向沿着弹性绳指向绳恢复原状的方向。同时,桶的提手也发生了形变,对绳子产生向下的弹力。图(b)中,地面发生形变,产生弹力,作用于车轮。弹力的作用点是P,弹力的方向指向地面恢复原状的方向,垂直于接触面向上。同时,车轮也发生形变,对地面有向下的弹力。

[2] 示例 如图3-9所示,质量均匀分布的木棒一端被竖直的弹性绳悬吊,另一端搁在水平地面上。木棒除了受到重力外还受到几个弹力的作用?说说这些弹力的施力物体,并画出木棒所受弹力的示意图。

分析:木棒分别与弹性绳和地面接触,使绳被拉伸,同时使地面向下凹陷。木棒在这两处均受到弹力的作用,分别指向弹性绳和地面恢复原状的方向,都竖直向上。这两处向上的弹力就是绳子的拉力和地面的支持力。

解:如图3-10所示,木棒除了受到重力外还受到两个弹力 $F_T$ 、 $F_N$ 的作用。

$F_T$ 沿着绳子竖直向上,作用在棒的A端,施力物体是绳子。

$F_N$ 垂直于接触面向上,作用在棒的B端,施力物体是地面。

我们已经知道,两个相互接触的物体发生相对运动或具有相对运动的趋势时,就会在接触面上产生阻碍相对运动或相对运动趋势的力,这种力称为摩擦力(fiction force)。

### 如何确定摩擦力?

[3] 如图3-11所示,父亲轻轻地沿水平方向推箱子,箱

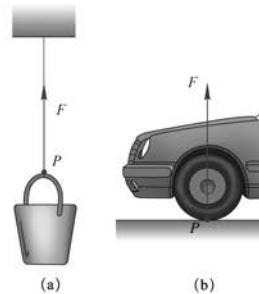


图3-8 两种典型的弹力画法

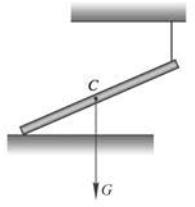


图3-9 一端被吊起的木棒

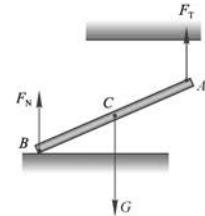


图3-10 木棒的受力分析示意图



图3-11 父亲推装饰成小车的箱子

子有相对于地面向前运动的趋势，但仍相对于地面静止。根据二力平衡的原理，一定有一个与推力大小相等、方向相反的力存在。这个力就是地面对箱子的摩擦力。由于此时箱子与地面间相对静止，这个摩擦力称为静摩擦力（static friction force）。静摩擦力沿着接触面作用于物体，与物体相对运动趋势的方向相反。

[1]

### 自主活动

如图 3-12 所示，将木块放在水平长木板上，用力传感器（测量力的大小）沿着水平方向拉木块。开始阶段木块是静止的。当拉力达到某一数值时，木块将开始运动。开始移动前，木块在水平方向上处于二力平衡的状态，因此力传感器所采集的力的大小数据就等于静摩擦力的大小。逐渐增大拉力，描述你所看到的现象。

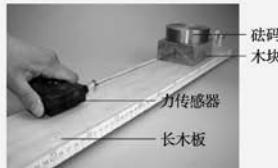


图 3-12 测量静摩擦力的大小

由上述活动可知，静摩擦力的大小将随拉力的增大而增大。静摩擦力的增大有一个限度，它的最大值称为最大静摩擦力，它的大小等于木块刚被拉动时拉力的大小。

当一个物体相对另一个物体滑动时，接触面间的摩擦力称为滑动摩擦力（sliding friction force）。

大量事实表明，滑动摩擦力的大小与接触面的材料、粗糙程度等因素有关，且与压力成正比。如果用  $F_f$  表示滑动摩擦力的大小，用  $F_N$  表示压力的大小，则有

$$F_f = \mu F_N$$

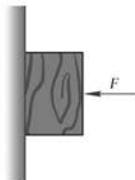
式中  $\mu$  称为动摩擦因数（dynamic friction factor），是两个力大小的比值，无单位。 $\mu$  的数值与相互接触的两个物体的材料、接触面的情况（如粗糙程度）等因素有关。

通常滑动摩擦力的大小略小于同等压力下的最大静摩擦力。

**示例** 如图 3-13 所示，用水平方向的力  $F$  将重为  $G$  的木块压在竖直的墙壁上，开始时木块保持静止。增大或减小压住木块的水平力  $F$ ，木块所受的摩擦力将如何变化？

**分析：**对木块进行受力分析可以发现，木块在水平方向和竖直方向各受到两个力的作用。

当木块相对于墙面静止时，受到竖直向上的静摩擦力作用。当  $F$  减小到一定程度时，木块相对于墙面向下运动，受到竖直向上的滑动摩擦力作用。应分别讨论上述两种情况。

图 3-13 用力  $F$  将木块压在墙壁上

[1] 这是一个实验类的“自主活动”，其目的是观察在逐渐增大的外力作用下静摩擦力的变化规律，了解摩擦力的特点。为提高实验精度，可采用固定力传感器，使其与木块之间的水平细线伸直，保持木块相对桌面静止，通过电动机水平向右拉木板直至木块在木板上开始相对滑动的方法进行实验。通过力传感器可获得木块所受摩擦力与时间的数据图像 ( $F_f - t$  图像)，如图 2 所示。图像表明，当木块在木板上相对静止时，其所受静摩擦力随相对滑动趋势的增加而增大。当静摩擦力达到最大值时，木块在木板上相对滑动，摩擦力变为滑动摩擦力，其大小几乎不变，但略小于最大静摩擦力。

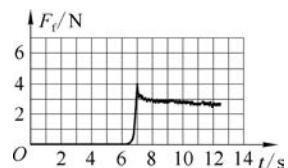


图 2

## 问题与思考解读

**1. 参考解答：**球对板的弹力是球发生形变产生的，板对球的弹力是板发生形变产生的。

**命题意图：**观察可见的形变，初步认识弹力。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（I）；科学推理（I）。

**2. 参考解答：**钟受到竖直向上的弹力，是由绳发生拉伸形变产生的。

**命题意图：**了解弹力产生的原因。

**主要素养与水平：**科学推理（I）；社会责任（I）。

**3. 参考解答：**测量的原理是二力平衡和胡克定律。建议教师指导学生如何固定书本，测量重力。用规范的图示（标度、作用点、有向线段的长短、刻度和力的名称）表示。

**命题意图：**规范力的图示，为力的合成做准备。

**主要素养与水平：**证据（I）；科学态度（I）。

**解：**将木块视为质点，木块受到四个力的作用，画出如图3-14所示的受力分析图。

当 $F$ 增大时，弹力 $F_N$ 随之增大。摩擦力为静摩擦力，大小始终等于重力，保持不变。

当 $F$ 减小时，弹力 $F_N$ 随之减小，摩擦力的变化分为两个阶段：

第一阶段，在木块相对墙面滑动前，虽然随着力 $F$ 的减小木块对墙面的压力也在减小，但由于木块没有向下滑动，所受到的是方向向上的静摩擦力，其大小始终等于重力。

第二阶段，当力 $F$ 减小到一定值后，木块开始向下滑动，此时的摩擦力为向上的滑动摩擦力，其大小将随着力 $F$ 的减小而减小。当 $F$ 减小为零时，木块对墙面的压力为零，滑动摩擦力也为零。

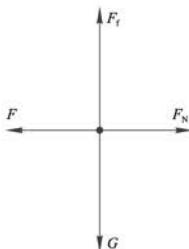


图 3-14 木块的受力分析

近代科学告诉我们，自然界只存在四种基本的相互作用：引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。由于分子或原子都是由带电粒子组成的，它们之间的作用力主要是电磁相互作用。相互接触物体间的弹力、摩擦力等都是相互靠近的原子或分子间的电磁相互作用的宏观表现。

### 问题与思考

1. 如图3-15所示，将薄板两端垫高后把一个水球放在板上。可以看到板和球都发生了形变，球和板之间有相互作用的弹力。在图上作出这对弹力的示意图，并说明它们分别是哪个物体发生形变产生的。

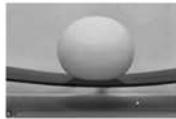


图 3-15

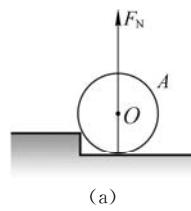


图 3-16

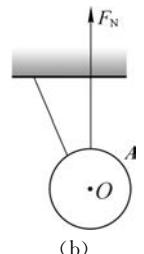
2. 在我国古代钟楼中会悬挂大钟，每天用钟声来报时。大钟被悬挂在钟楼的横梁上（图3-16），请分析钟所受弹力的方向，以及这个弹力是由哪个物体形变产生的。
3. 通常用弹簧测力计来测量物体所受的重力大小。弹簧测力计测量重力大小的原理是什么？试用弹簧测力计测量一本物理教材所受的重力，并用力的图示表示。

4. 参考解答：如

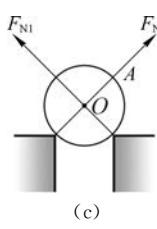
图 3 所示



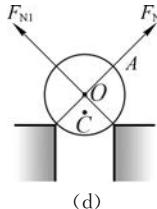
(a)



(b)



(c)



(d)

图 3

**命题意图：**弹力的产生条件及规范表示。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**5. 参考解答：**木箱与地面接触，接触面间产生了压力，木箱相

对地面向右滑动，木箱受到地面对它的水平向左的滑动摩擦力。人在地面上向右行走，脚与地面接触并产生压力。脚向左“蹬地”，脚底相对地面产生向左运动的趋势，受到水平向右的静摩擦力的作用。

**命题意图：**在真实情境中分析滑动摩擦力和静摩擦力。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)；科学论证(Ⅱ)。

**6. 参考解答：**学生实验中，我们在自然悬挂的状态下，测量弹簧的原长。弹簧受到重力作用，自然悬挂状态下的长度与水平放置时不同。注：在实验时这一差别是否需要考虑还取决于测量精度与弹簧的劲度系数，即弹簧的“软”“硬”；在理论分析时，通常把弹簧抽象为理想模型——轻质弹簧，在此前前提下，认为弹簧处于前述两种状态时原长相等。另外，学生实验中，我们通过  $F-x$  图像来处理数据，获得劲度系数。单次测量所得结果的可靠性低于多次测量，通过图像分析获得的数据更可靠。

**命题意图:** 理解理想模型与实际情况间的差别;关注数据处理的方法,为后续实验数据的处理做准备。

**主要素养与水平:** 科学论证(II);质疑创新(I)。

## 资料链接

### 地球自转的影响

如果以地球为参考系,则地球是一个匀速转动的非惯性系。静止于地球表面的物体除受地球的万有引力  $F$  和地面的作用力  $F_R$  外,还受到惯性离心力  $F_c = mR\omega^2 \cos \varphi$  的作用,如图 4 所示。此时,物体所受万有引力与惯性离心力的合力的效果表现为重力  $mg$ 。通过数学推导,可得

$$mg \approx mg_0 \left(1 - \frac{R\omega^2}{g_0} \cos^2 \varphi\right),$$
 式中  $g_0$  是不考虑地球自转时的重力加速度。可见

考虑地球自转后,重力随地球纬度变化。但这个变化是在千分之一的数量级,在对精度要求不高时这一效应可以忽略,这也是可以把地球近似视为惯性系的一个原因。另外,由于  $F \gg F_c$ ,重力方向偏离地球半径方向的角度也很小,一般可忽略而近似认为重力方向沿半径方向。

当考虑地球自转时,地面上物体受到另一个惯性力——科里奥利力的作用(其沿地表的分量在地理中称为地转偏向力)。科里奥利力可表示为  $\vec{F}_c = -2m\vec{\omega} \times \vec{v}$ , 其中  $\vec{\omega}$  为地球的转动角速度矢量,而  $\vec{v}$  为质量  $m$  的物体在地面运动的速度。很多现象都与科里奥利力有关,如傅科摆、落体偏东现象,河道两岸的冲刷程度不同,大气环流等。

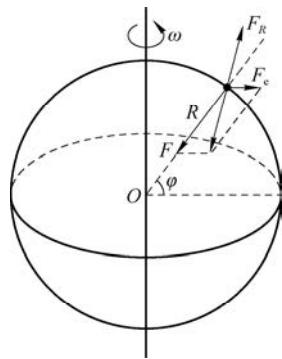


图 4

### 弹 力

当物体 A 受到物体 B 的挤压而发生形变时具有恢复原状的特性(称为弹性),就会对物体 B 产生作用力。这种由于物体具有弹性所产生的力称为弹性力,其大小取决于物体本身的弹性性质,方向与其发生形变时恢复原状的方向相同。由于物体与外界作用方式的不同,弹性力也各不相同。如桌面对置于其上重物的支持力、绳子对所悬挂重物的拉力、弹簧被拉伸后产生的回复力等都是弹性力的不同表现。

从微观上看,当物体发生拉伸或压缩形变时,构成物质的分子间距就会发生变化。分子间的相互作用在分子间距增大时表现为引力,而当分子间距减小时则表现为斥力,大量分子间相互作用的宏观效果就是弹性力。

### 胡 克 定 律

胡克定律是胡克通过实验得到的弹簧被拉伸或压缩时满足的实验规律,在形变较小的范围内成立。

随着研究的深入,人们发现,在一定条件下胡克定律能近似描述大部分材料的弹性性质。因此胡克定律的意义不仅是因为它能够描述物体形变与弹力的关系,更在于可以根据胡克定律将很多实际材料的弹性性质做简化处理。当然,在现实中还存在大量不满足胡克定律的材料,即使是用普通金属材料制成的弹簧,有些也不满足胡克定律。

在外力作用下,当弹性体内部原子、分子间的相互作用力未达到某一极限而外力停止作用时,物体所发生的形变可以完全恢复。这种在外力作用下发生的形变能恢复的极限称为物体的弹性限度。在外力

作用下,当物体的形变超过其弹性限度后,所产生的形变不能完全恢复或完全不能恢复,称为物体产生了塑性形变(也称为范性形变)。需要指出的是,不能认为当物体发生塑性形变就完全失去了弹性,此时只是其形变与外力的关系已不再满足胡克定律而已。

### “父亲推箱子”的进一步分析

将教材图 3-11 中的箱子抽象为长方体,推力  $F$  和地面的摩擦力  $F_f$  如图 5 所示。为简单计,设推力指向箱子质心  $O$ ,可见推力的水平分力和摩擦力不沿同一直线。相对质心,摩擦力产生一力矩,方向为垂直于纸面向里。在此力矩作用下,箱子有绕质心顺时针转动的趋势,但实际上箱子并未转动,这是因为还存在一个反向力矩与之平衡。由于在摩擦力矩作用下箱子有转动的趋势,箱子的右侧  $A$  处下压地面,此处地面的支持力  $F_N$  对质心产生和摩擦力矩方向相反的力矩,两者平衡。于是,不必考虑力的转动效应,推力和摩擦力的共同作用效果与质点情形相同。

在上述情形下,由于存在推力,导致地面支持力的分布发生变化。但由于竖直方向受力平衡,支持力的合力大小不变,依然等于箱子所受的重力和推力竖直分力之和,支持力合力的方向虽然依然为竖直向上,但不再通过质心,而是平移至箱子前方。其实,这类问题不少。例如,箱子在有摩擦的地面滑动,若箱子不受推力,其速率减小。以地面上位于箱子后方的某点  $P$  为参考点,如图 5 所示,由于箱子速率减小,其相对  $P$  点的角动量必相应减小;粗看之下,箱子在竖直方向外力平衡,水平方向只有摩擦力是外力,而摩擦力通过所取的参考点  $P$ ,相对  $P$  点的力矩为零,似乎箱子的角动量不应减小。这个矛盾同样是因为忽略了地面对箱子支持力的分布变化,由于重力和支持力虽然大小相等,但这两个力相对  $P$  点的力矩并不相等,合力矩不等于零。这一合力矩与箱子的角动量反向,使角动量减小。由此也可联想到,不能抽象为质点的刚体处于力学平衡状态时,则不仅作用于其上的力的矢量和为零,所有力对选定任意参考点的力矩矢量和必也为零。

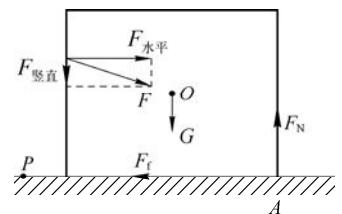


图 5

### 摩擦及其产生

摩擦有干摩擦和湿摩擦两种。干摩擦是固体之间的摩擦,又叫外摩擦;湿摩擦是液体内部或液体与固体间的摩擦,又叫内摩擦。干摩擦又分为静摩擦和滑动摩擦、滚动摩擦。

对于宏观的、具有屈服强度的非黏性材料(通常就是金属),在界面上没有黏污物的情况下摩擦(干摩擦)在实验上大致有这几条规律:

1. 发生静摩擦时会产生一个微小的位移;
2. 最大静摩擦力与接触面上的正压力成正比,即  $F_f = \mu_s F_N$ ; 其中  $\mu_s$  叫静摩擦因数,其数值与两个物体相互接触的表面材料、接触面的情况(如粗糙度、干湿度)等有关。同一接触面间,静摩擦因数大于动摩擦因数。
3. 滑动摩擦不是连续发生而是存在跃动。用一支粉笔,把底面磨平,在一个光滑表面直立摩擦,就能听见响亮的啸叫,这就和跃动有关;又比如汽车刹车的时候,也能听见来自摩擦跃动的啸叫。

当一个物体在另一个物体表面滚动或有滚动趋势时,两物体的接触部分由于相互挤压而产生形变,对物体的滚动起阻碍作用,这种阻碍作用称为滚动摩擦。

滚动摩擦实际上是一种阻碍滚动的力矩。如图 6(a)所示,当圆柱体静止在水平支持面上时,支持面的形变是对称的。当圆柱体向前滚动时,支持面的形变不对称,如图 6(b)所示,支持面将给圆柱体一个作用力  $F_N$ ,这个力一般不通过圆柱体的转轴,会产生

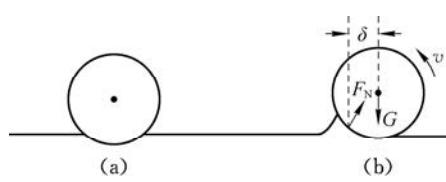


图 6

一个阻碍圆柱体滚动的力矩，形成滚动摩擦。

人们从直观的现象分析中发现，如果两个物体的表面越粗糙，相互间产生的摩擦力就越大。由此认为产生摩擦是由于相互接触的物体表面粗糙不平，当两个物体间相互挤压并相对运动时，接触面上凹凸不平的部分就会相互碰撞，从而形成对运动的阻碍作用。反之，两个物体的接触面越光滑，产生的摩擦力就越小。但在生产实践中人们又发现并不是越光滑的接触面间产生的摩擦就越小。当将两块研磨得非常平整光滑的玻璃表面相互贴合后，两块玻璃就好像被强力胶黏在了一起而无法分开，这就是现在经常用到的光学镜片黏结技术——光胶。根据这一现象，人们从微观角度对摩擦做出了解释，认为当两个物体的表面贴合程度很高而充分接触，其表面分子间的距离可小到分子间作用力表现明显的范围时，由于分子间的电磁相互作用而彼此吸引，在宏观上就表现出阻碍表面之间相对运动的摩擦力，这是对摩擦力起因的又一种解释。通过不断地实验和研究，发现上述两种机理对摩擦的产生都有贡献，只是在不同材料、不同情况下贡献大小有所不同。到目前为止，对摩擦现象的形成机理还未形成定论。

需要指出的是，摩擦力并不总是充当阻力，有时候摩擦力可以充当动力。例如，人总是靠后脚朝后蹬地，从地面获得向前的摩擦力而行走。又如，人骑自行车时，人蹬车使后轮转动起来主动朝后“蹭地”，地面便给后轮一个向前的摩擦力，驱动自行车前进。与重力、弹力的作用总是相互的一样，摩擦力的作用也总是相互的，并且，两个物体之间相互作用的一对摩擦力，可以都充当动力，也可以一个充当动力、另一个充当阻力，还可以都充当阻力。例如，取一块长方形玻璃板放在水平桌面上，在玻璃板下垂直长边的方向均匀垫上几根相同的细玻璃棒，将一辆上满发条的玩具车放在玻璃板上并由静止释放发条，玩具车和玻璃板便同时向相反方向运动起来，如图7(a)所示。究其原因，玩具车被释放后，其发条使车轮转动起来主动向右“蹭板”，给玻璃板一个向右的摩擦力使其从静止开始向右运动；同时，玻璃板对车轮施以反作用的摩擦力，使车从静止开始向左运动。此时，一对相互作用的摩擦力均充当动力。再如，用力水平向右抽置于水平桌面上的书，使放在书前端的文具盒在相对书向左滑动的同时，被书带着相对桌面向右前进一段距离，如图7(b)所示。分析上述过程，文具盒受到书给它与相对滑动方向相反，即水平向右的摩擦力，充当使文具盒相对桌面向右运动的动力，而书受到文具盒给它的反作用的摩擦力方向水平向左，充当阻碍书相对桌面向右运动的阻力。这里，两个物体之间相互作用的一对摩擦力，一个充当动力，另一个则充当阻力。又如，将一块足够长的木板置于光滑水平面上，在木板左端叠放一个物块，木板与物块的质量相等，如图7(c)所示，在木板和物块同时以大小相等、方向相反的水平初速度开始运动直至静止的过程中，木板和物块之间相互作用的一对滑动摩擦力则均充当阻力。

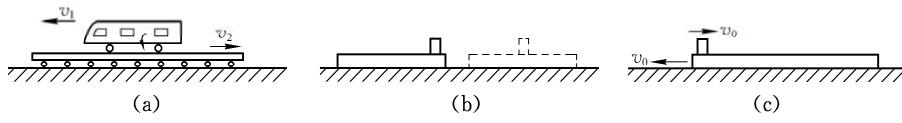


图7

[1]



图 3-19 港珠澳大桥

## 第二节 力的合成

在日常生活中，经常会有多个力同时作用在同一个物体上的情形。图 3-19 和图 3-20 所示的场景中都有多根绳索，分别是斜拉桥上的钢索、起重机起吊钢材的钢缆、航天器返回舱降落伞的伞绳，每一根绳索上都有拉力作用。桥塔、钢材和返回舱都同时受到了多个不在同一直线上的力的作用，这些力作用于物体上同一点或力的作用线可以相交于同一点。这样的力称为共点力（concurrent force）。我们将从最基本的情况出发，分析两个互成角度的共点力的作用效果，进而理解多个力作用效果的分析方法。



图 3-20

本节的引入及第三节中的“STSE”均与此呼应。

## 本节编写思路

本节利用节首图和工程、生产中的实例引入共点力的概念，经历探究两个互成角度的力的合成规律实验，认识共点力的作用效果可被等效替代的事实。通过“大家谈”思考多个力合成的推理逻辑，感受从特殊到一般的思维方式。通过“学生实验”和“示例”掌握应用数形结合表示矢量合成的方法。

所经历的实验操作过程，对形成合作意识、培养实事求是的科学态度将起到积极的作用。

## 正文解读

[1] 在日常生活中会遇到形式各异的桥梁，港珠澳大桥的“中国结·三地同心”主题斜拉索塔为研究力的合成提供了真实情境，结合本节主题将直观地理解力的合成的条件和意义。

[1] 教材通过生活实例引入合力、分力的概念以及等效替代的思想方法。合力与分力之间是“等效替代”的关系。

力的作用效果包括改变物体的运动状态，使物体产生形变。这里的“等效替代”主要是指用一个力替代原先几个力对物体的共同作用，物体呈现的运动状态或运动状态的改变相同。

对于力的形变效果来说，有时候几个力对物体的共同作用可以用一个力等效替代，有时则不能。如用两个大小相等、方向相反的力，沿水平方向分别拉放在光滑水平面上的橡皮筋的两端，使其产生伸长形变，就无法用一个力单独拉橡皮筋而使之产生同样的形变。但如果用一个力将橡皮筋一端固定在水平面上，另外两个力同时拉橡皮筋另一端，使橡皮筋伸长，就可换用另一个力来拉橡皮筋同一端，产生相同的形变效果。

此时，可将作用于橡皮筋同一端的两个“分力”合成“合力”。等效替代是物理学研究问题的重要思想方法。在以后的学习中，如学习“运动的合成与分解”“等效电路”“交流电有效值的定义”等，都要用到“等效替代”的思想方法。

[2] 这是一个分组探究的学生实验。小猩猩双臂悬挂、受两个拉力作用与其单臂悬挂、受一个力作用，在运动状态上等效，从而提出探究两个“分力”与“合力”之间有何定量关系的问题。实际的实验探究则是橡皮筋一端固定，另一端受1个拉力（合力）和受2个拉力（分力）的效果相同。在学生分组实验探究得出两个“分力”与“合力”之间遵循平行四边形定则后，会产生两种不同的等效替代中“分力”与“合力”之间是否都遵循平行四边形定则的问题；该问题可通过实验进行探讨，即先用两个弹簧测力计（或力传感器）互成角度提起重物，然后再用一个弹簧测力计（或力传感器）提起同一重物；根据实验事实揭示拉橡皮筋和提重物两种情况中“分力”与“合力”之间都遵循平行四边形定则。

## ② 几个力的作用效果能被一个力替代吗？

[1] 两个人同时用力提起的箱子，大力士单手就能提起，那么这个大力士作用在箱子上的一个力的作用效果与两个人用两个力同时作用的效果是相同的。

物体同时受到几个力的作用时，我们可以用一个力来替代这几个力，使这个力产生的效果与几个力同时作用的效果相同。这个力就称为合力（**resultant force**），而原来的几个力称为这个合力的分力（**force components**）。

求几个力的合力的方法称为力的合成（**composition of forces**）。

## ③ 如何求两个共点力的合力？

在初中已经学过同一直线上两个力的合成方法，下面我们通过实验来探究两个互成角度的共点力与它们的合力间有怎样的关系。

### [2] 学生实验

#### 探究两个互成角度的力的合成规律

##### 提出问题

如图3-21所示，小猩猩用单臂或双臂都能将自己悬挂在树枝上。单臂上的力F与双臂上的两个力 $F_1$ 、 $F_2$ 的效果相同，F是 $F_1$ 、 $F_2$ 的合力。 $F_1$ 与 $F_2$ 的数值相加是否正好等于F的大小呢？



图3-21 小猩猩将自己悬挂在树枝上

合力与两个分力同时作用的效果相同，可以互相替代。

测量各个力的大小与方向。

##### 实验装置与方法

实验装置如图3-22所示。通过橡皮筋的形变量及拉伸方向来体现力的作用效果。

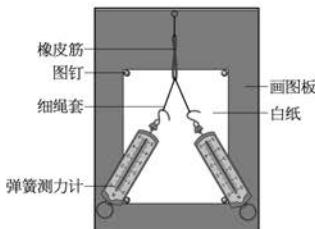


图3-22 探究两个互成角度的力的合成规律的实验装置

到某一点  $O$ , 同时记录  $F_1$  和  $F_2$  的大小和方向。再用一个力  $F$  将橡皮筋的端点拉到同一位置  $O$ , 记录  $F$  的大小和方向。

#### 数据分析

过  $O$  点, 按统一标度作出力  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F$  的图示。观察和分析它们的几何关系。

#### 实验结论

两个共点力的合力可以用 \_\_\_\_\_ 表示。

#### 交流与讨论

交流各组的实验结果, 讨论合力是否一定比分力大。

实验表明: 两个共点力  $F_1$ 、 $F_2$  的合力  $F$  可以用以这两个力为邻边构成的平行四边形的对角线表示 (图 3-23)。这就是力的平行四边形定则 (parallelogram rule)。

图 3-21 中小猩猩双臂悬挂时受到的两个拉力的大小之和一般不等于单臂悬挂时所受的拉力, 这三个力的关系遵循平行四边形定则。

平行四边形求和的方法适用于一切矢量的求和。我们学过的位移、速度、加速度也是矢量, 它们的合成也遵循平行四边形定则求和的方法。图 1-7 中  $A$  到  $C$  的位移就是  $A$  到  $B$  与  $B$  到  $C$  位移的矢量和。

[1]

#### 大家谈

如何求三个共点力的合力?

**示例** 两位学生同时用水平力推一个木箱使其沿直线移动, 一位用力 300 N, 另一位用力 400 N, 两个水平推力的夹角是  $90^\circ$ , 求这两个力的合力。

**分析:** 首先需要判断这两个力是否为共点力。如果是共点力, 可以根据平行四边形定则通过作图或代数运算求得结果。本题中的两个力为相互垂直的共点力, 相应的平行四边形为矩形, 除作图法外, 还可以根据勾股定理求解。

**解: 方法一:**

将木箱抽象为质点  $O$ , 如图 3-24 所示, 选定 10 mm 长的线段表示 100 N 的力。作  $F_1 = 300 \text{ N}$ 、 $F_2 = 400 \text{ N}$ ,  $F_1$  与  $F_2$  相互垂直。

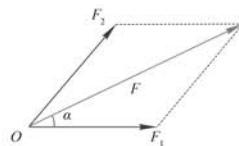


图 3-23 力的平行四边形定则

[1] 通过“大家

谈”, 体验求两个以上共点力的合力的方法, 深化对矢量求和遵循交换律、结合律的认识。

[1] 用作图法求合力,应注意:

(1) 选择合适的统一标度,应使画出的代表两分力的矢量长度适中,不能太短;

(2) 根据平行线的画法,用直尺和三角板尽可能准确地画平行四边形;

(3) 对所画出的平行四边形的四条边和表示合力的对角线,实线、虚线要分清;

通过示范上述作图要点,培养认真细致的科学态度。

## 问题与思考解读

**1. 参考解答:** 画出各个力的作用线,各力的作用线交于一点的即为共点力,如图 8 所示

**命题意图:** 理解共点力,形成平面力系的概念。

**主要素养与水平:** 科学推理(I)。

**2. 参考解答:** 用一定长度的线段确定力的标度,根据规范的作图方法画出合力

**命题意图:** 规范作图,运用平行四边形定则求合力。

**主要素养与水平:** 科学推理(I)。

[1] 以  $F_1$ 、 $F_2$  为邻边作平行四边形,根据平行四边形定则,合力  $F$  为平行四边形的对角线。

用刻度尺量得对角线长为 50 mm,由此得到合力大小

$$F = \frac{50 \text{ mm}}{10 \text{ mm}} \times 100 \text{ N} = 500 \text{ N}$$

用量角器量出合力  $F$  与分力  $F_1$  的夹角  $\alpha = 53^\circ$ 。

则合力  $F$  的大小为 500 N,合力的方向与  $F_1$  的夹角为  $53^\circ$ 。

方法二:

图 3-24 中  $F_1$ 、 $F_2$  间夹角为  $90^\circ$ ,由勾股定理可得

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \sqrt{(300 \text{ N})^2 + (400 \text{ N})^2} = 500 \text{ N}$$

由正切函数的定义可得

$$\tan \alpha = \frac{F_2}{F_1} = \frac{400 \text{ N}}{300 \text{ N}} \approx 1.33, \alpha \approx 53^\circ$$

即合力  $F$  的大小为 500 N,合力的方向与  $F_1$  的夹角为  $53^\circ$ 。

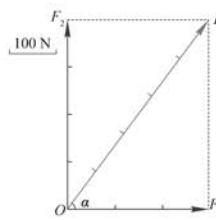


图 3-24 通过作图求合力

## 问题与思考

1. 如图 3-25 所示,三个物体均受到同一平面内三个力的作用。判断其中哪些属于共点力。

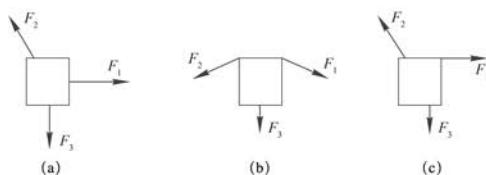


图 3-25

2. 如图 3-26 所示,质点  $O$  受两个力的作用,通过作图求出图中两个已知力的合力。

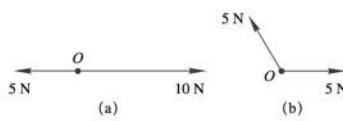


图 3-26

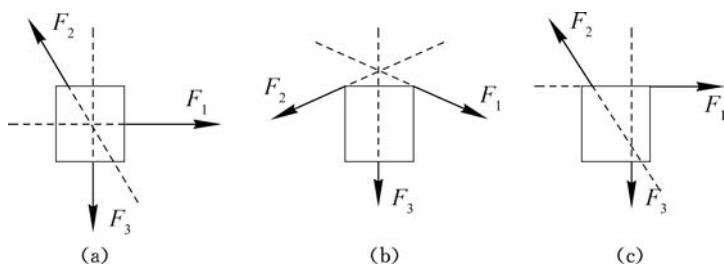


图 8

3. 力的合成遵循矢量运算法则,与标量的运算有什么不同?(可以用表格和图示等方法来对比说明)
4. 大小为3N和5N的两个共点力同时作用在物体上,为什么它们的合力大小可能是2N、4N或8N,却不可能是12N?试用力的平行四边形定则来说明原因。
5. 如图3-27所示,平面上有5个力作用在O点,O点和各力的矢量终点恰好各位于一个正六边形的顶点,这5个力中最小的力是1N。先选择对称的力为分力作平行四边形来求5个力的合力;再以互相垂直的力为分力作平行四边形来求5个力的合力。比较两次的结果。
6. 如图3-28所示,一根质量分布均匀的棒放在光滑的半球形容器内。棒受到三个力的作用,作出棒受到的重力与弹力的示意图。

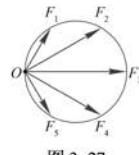


图 3-27



图 3-28

### 3. 参考解答:

学生的表达至少要包含观点和证据,用文字、表格或图示均可

**命题意图:**理解矢量和的代数、几何表示方法。

**主要素养与水平:**科学论证(I)。

### 4. 参考解答:

3N、4N、5N构成勾三股四弦五。二力同向或反向时合力大小分别为8N和2N,8N为合力的最大值,2N为合力的最小值

**命题意图:**规范作图方法,体验数形结合。

**主要素养与水平:**科学推理(II);科学态度(I)。

### 5. 参考解答:

这5个力在同一平面内且 $F_1$ 与 $F_2$ 、 $F_2$ 与 $F_3$ 、 $F_3$ 与 $F_4$ 、 $F_4$ 与 $F_5$ 之间的夹角均为 $30^\circ$ ,按规范画出平行四边形,获得对角线,根据圆的性质得到合力的大小。两种方法得到的结果相同,合力大小为6N

**命题意图:**规范地作图,与初中所学的圆、菱形和直角三角形知识构建联系。  
体会到称性。

**主要素养与水平:**科学推理(II)。

**6. 参考解答:**如图9所示

**命题意图:**由三个力是共点力这一前提出发画出力的示意图,以此感受和理解弹力的方向。进一步认识共点力(作用点不在一点上的共点力)

**主要素养与水平:**运动与相互作用(I);科学推理(I)。

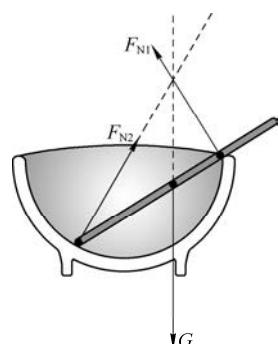


图 9

## 本节编写思路

本节首先从力的矢量合成方法出发,讨论了分解力的一般方法。通过推理论证,感悟数学手段是分析问题的一般方式。在“自主活动”中,亲身体验力的分解效果,并对“分力小于合力”的潜意识造成矛盾冲突。通过拉车出泥沼的情境形成在实际问题中需根据效果分解力的认识,理解力的分解的基本原则,通过“示例”了解利用力的分解解决问题的一般方法。

经历根据实际效果进行力的分解的过程有助于加深对力的分解是力的合成的逆过程的理解,形成利用作图、计算等方法进行力的分解的技能,促进科学推理能力的发展,也为后续力的正交分解打下基础。

## 正文解读

[1] 用学生拉轮胎进行负重跑为理解力的分解提供情境基础。通过课堂讨论可更好地理解力的分解依据和意义。

本节以此为例引出拉力的两个作用效果,与后续按效果分解力的讨论相呼应。

[1]



图 3-29 学生拉着轮胎进行负重跑

### 第三节 力的分解

如图 3-29 所示,学生用绳拉着轮胎进行负重跑以训练体能。学生对轮胎的拉力  $F$  是斜向上的。这个力有两个作用:一方面使轮胎克服阻力前进,另一方面把轮胎向上提。这相当于两个力同时作用在轮胎上:一个是水平方向的力  $F_1$ ,使轮胎前进;一个是竖直方向的力  $F_2$ ,把轮胎向上提。 $F$  与  $F_1$ 、 $F_2$  的共同作用效果相同,可以用  $F_1$  和  $F_2$  来替代  $F$ 。

这种把一个力用几个同时作用的力来替代的方法称为力的分解 (decomposition of force)。力的分解也是一种等效替代。

#### 如何分解力?

一个力可以由任意多个分力来替代。我们针对一个力分解为两个分力的简单情况分析。

力是矢量,力的合成遵循平行四边形定则。力的分解同样遵循平行四边形定则。

根据平行四边形定则,以一个力  $F$  为对角线作出平行四边形;平行四边形的两条邻边即为与  $F$  共点的两个分力。如果没有限制,对于同一条对角线,可以作出无穷多个平行四边形(图 3-30)。因此,一个力分解为两个分力的分解方法可以有无穷多种。

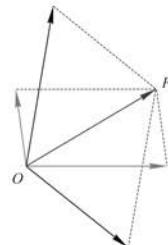


图 3-30 一个力可以有无穷多种分解方法

② 在实际问题中如何分解力?

[1] 自主活动

用铅笔、细线把一个钩码按如图 3-31 所示的方式悬挂起来, 谈谈悬挂钩码后手指和手掌有什么感受。根据感受, 谈谈可以沿哪两个方向分解钩码对 O 点的拉力, 你为什么这样分解? 用作图法画出这两个力。

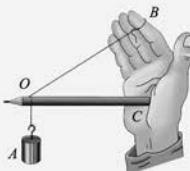


图 3-31 钩码对 O 点的拉力的作用效果

在实际问题中我们常常根据力的实际作用效果来确定分力的方向, 再用平行四边形定则求出分力。

如图 3-32 所示, 一辆货车陷入了泥沼无法依靠自身的动力脱身。有经验的司机会在附近找一棵结实的大树, 用钢索将车 A 与大树 B 连接, 拉紧; 然后, 司机只要将一根绳子绕过钢索中央的 O 点, 沿着垂直于钢索的方向拉绳; 仅需一两人之力, 就能让车前进一些。收紧钢索后再拉, 重复多次, 就能将车拉出泥沼。司机以力  $F$  拉绳, 有使钢索沿着  $AO$ 、 $BO$  方向伸长的效果。将  $F$  沿这两个方向分解得到如图 3-33 所示的平行四边形。由图中力的矢量关系可知, 由于拉力  $F$  几乎与钢索垂直, 两个分力的夹角  $\alpha$  接近  $180^\circ$ , 人只需要施加一个不太大的力, 就可以通过钢索对汽车产生很大的拉力, 从而将车拉动。

**示例** 把一个木箱放在倾角为  $\theta$  的斜面上, 木箱受到重力的作用。从力的作用效果来看, 应该怎样分解重力? 分力的大小与斜面的倾角有什么关系?

**分析:** 重力的作用产生了两个效果: 使木箱有沿斜面下滑的趋势和使木箱紧压斜面。因此, 木箱的重力可分解为平行于斜面向下的力  $F_1$  和垂直于斜面向下的力  $F_2$ 。



图 3-32 司机将汽车拉出泥沼

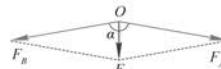


图 3-33 将  $F$  分解为  $F_A$ 、 $F_B$

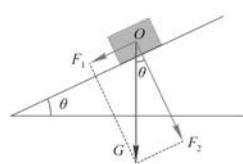


图 3-34 斜面上木箱所受重力的分解

[1] 这个“自主活动”是一个利用随身物件动手做的小实验, 通过动手实验, 可以直观感受悬挂重物产生的竖直向下的拉力(在保持平衡的条件下, 该拉力与重物的重力大小相等)分别对细线和笔杆产生的作用效果, 从而将拉力分解到其产生效果的两个方向。

### [1] “STSE”介绍

了各种桥梁。建造水上桥梁时,为了让桥下能顺利通行大型船只,桥孔下必须留有足够的净空高度,这样就必须把桥造得高一些。桥造高了,就需要引桥来连接两岸和正桥。

当汽车沿引桥上桥时,跟“示例”的分析同理,汽车所受的重力会产生沿引桥桥面向下的作用效果,即分力  $F_1 = G \sin \theta$ , 阻碍汽车向上行驶。为减小该阻力,需要减小引桥的倾角  $\theta$ ,使引桥的坡度比较平缓。在正桥高度一定的情况下,则需要把引桥建得很长。如果将引桥建造造成螺旋形,盘旋而上,则既可以保持引桥坡度的平缓,又可以节省引桥在岸边的占地,提高土地的利用率。如图 10 所示,上海南浦大桥浦西段引桥就采用了这样的设计。

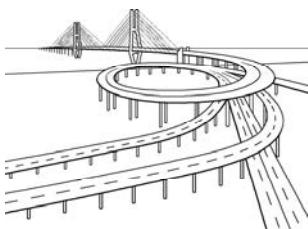


图 10

解:以木箱为研究对象,根据木箱所受重力产生的效果画出分解重力  $G$  的平行四边形,如图 3-34 所示。由几何关系可知

$$F_1 = G \sin \theta$$

$$F_2 = G \cos \theta$$

$F_1$  和  $F_2$  的大小都与斜面的倾角有关,倾角  $\theta$  越大,  $F_1$  越大、 $F_2$  越小。

### [1]

#### STSE

《说文解字注》上说“梁之字,用木跨水,则今之桥也”,“凡独木者曰杠,骈木者曰桥”。我国建设桥梁的历史悠久。在山东省发现了春秋战国时期齐国都城宽达七八米的护城河修桥的遗迹;在陕西省,渭河的老河床下也发现了秦昭王时期修建的渭水桥的木桩基础。许多古老的桥梁至今被保存了下来(图 3-35):建于隋朝、距今大约 1400 年,世界上现存最早、保存最完整的古代单孔敞肩石拱桥——赵州桥;北宋年间建成的,我国现有最早的跨海大桥——洛阳桥;始建于南宋,被著名桥梁专家茅以升誉为“世界上最早的启闭式桥梁”——广济桥;建于南宋,被《马可·波罗游记》记载的,名扬海外的石造联拱桥——卢沟桥。它们既是中华民族历史文化遗产,也是世界人类科技文化的重要组成部分。



(a) 赵州桥



(b) 洛阳桥



(c) 广济桥



(d) 卢沟桥

图 3-35 中国古代四大名桥

新中国成立以来,我国的桥梁建设事业飞速发展。以前的长江天堑,如今已成为平坦通途;一座座大桥横跨峡谷,其中连接云、贵两省的北盘江大桥(图 3-36),其桥面离水面有 565 m 的高度,相当于 200 层楼高,是世界第一高桥;跨海大桥,如东海

大桥、杭州湾跨海大桥、青岛海湾大桥相继建成。2018年10月，世界上最长的跨海大桥，连接香港、珠海和澳门的港珠澳大桥建成通车。港珠澳大桥全长55 km，其中跨海段42 km，拥有世界最长的沉管隧道，是世界上最长的钢结构桥梁。



图 3-36 北盘江大桥

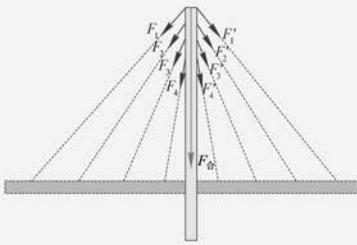


图 3-37 斜拉桥原理示意图

[1]

每一座桥梁均涉及力的合成、分解与平衡。

在现代桥梁建设中，斜拉桥已成为桥梁的主流。斜拉桥是将桥的主梁用许多根拉索直接系在桥塔上的一种桥梁。左右对称的斜拉索对桥塔产生一对对沿着拉索方向的拉力，每一对拉力的合力均竖直向下作用于桥塔下的桥墩（图3-37）。斜拉桥桥体矫健轻盈，似长虹卧波，具有跨径大、桥塔高、结构稳定性强等特点。

我国的桥梁建设发展日新月异，建成的大桥包揽当今世界全部桥型。中国桥梁建设已成为中国制造的亮丽名片。

### 问题与思考

1. 如图3-38所示，一个15 N的力沿OA方向，它的一个分力沿OB方向，大小为6 N。作图表示另一个分力的大小和方向。

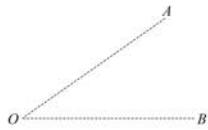


图 3-38

2. 将一个大小等于20 N的力F分解为两个力，其中一个分力的大小为16 N，另一个分力的大小为12 N。作图分析，说明满足上述条件有几种可能性。

图，根据平行四边形法则分解力。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**2. 参考解答：**用尺和量角器规范作图。在同一平面内有两种可能性，在空间有无数种可能性。

**命题意图：**理解力的分解的多样性。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)；科学论证(Ⅱ)。

[1] 斜拉桥是一种自锚式体系。在教材图3-37中，斜拉桥主梁的总重，除了被桥塔和水下墩台支撑外，还由桥塔引出的斜拉索下端的竖直分力承受。斜拉索下端的水平分力由主梁承受。斜拉索上端的拉力，左右对称地形成向下的合力，作用于桥塔和水下墩台。

了解斜拉桥中有关力的分解、合成等力学原理，可以进一步感悟科学、技术与社会的关系。

### 问题与思考解读

**1. 参考解答：**用1 cm长的线段表示5 N，作为标度。作力的图示，得到另一个分力约为11 N，如图11所示

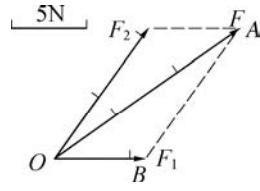


图 11

**命题意图：**规范作

**3. 参考解答：**沿水平和竖直方向分解拉力。水平分力约为10.4 N，竖直分力为6 N

**命题意图：**为学习力的正交分解做准备。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**4. 参考解答：**

- (1) 错,  $F_1$  和  $F_2$  是重力  $G$  的两个分力
- (2) 错,  $F_1$  和  $F_2$  是重力  $G$  的两个分力
- (3) 正确 (4) 正确

**命题意图：**体会合力与分力间等效替代的关系。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅰ); 科学论证(Ⅱ)。

**5. 参考解答：**把小猩猩作为研究对象，手臂上的拉力的合力不变。夹角越大，分力越大

**命题意图：**了解简单的动态变化分析。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅰ); 模型建构(Ⅰ); 科学推理(Ⅰ)。

3. 如图3-39所示，一人通过箱带拉着一个旅行箱前进。拉力大小为12 N，箱带与水平面夹角为30°，求拉力的水平分力和竖直分力的大小。



图 3-39

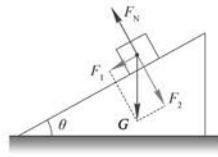


图 3-40

4. 如图3-40所示，光滑斜面上物体受到的重力  $G$  被分解为  $F_1$ 、 $F_2$  两个力。判断下列说法是否正确，并简述理由。

- (1)  $F_1$  是斜面作用在物体上使物体下滑的力,  $F_2$  是物体对斜面的压力。
- (2) 物体受到  $G$ 、 $F_N$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  四个力作用。
- (3) 物体只受重力  $G$  和弹力  $F_N$  的作用。
- (4) 力  $F_N$ 、 $F_1$ 、 $F_2$  三个力的作用效果和  $G$ 、 $F_N$  两个力的作用效果相同。

5. 图3-21(a)中的小猩猩双臂悬挂时，双臂间的夹角与手臂上的拉力有何关系？

## 本节编写思路

本节内容以二力平衡条件为基础,根据力的合成方法得到共点力平衡的条件。通过“自主活动”验证共点力平衡的条件。通过“示例”了解解决共点力平衡问题的一般方法与步骤。

设置“大家谈”是为了引导学生思考通过计算所得结果的意义,培养对结论进行总结、反思的习惯。“拓展视野”的内容将开拓学生眼界,理解对实际问题的科学认识是逐步深入的。

学习中经历的科学推理、实验验证等过程有助于培养良好的学习和思维习惯,形成正确的科学观。

## 正文解读

[1] 平衡木运动是生活中众多平衡问题实例之一,为研究共点力的平衡提供了真实情境。结合本节共点力平

[1]



图 3-41 平衡木运动员的高难度支撑动作

### 第四节 共点力的平衡

平衡木运动正像它的名字那样,需要运动员具备卓越的平衡能力。她们往往要在一根离地 1.2 m、宽度仅为 10 cm 的横木上做出一连串的动态翻腾动作后突然静态支撑。支撑动作必须保持 2 s 以上才被认为完成了动作。

如果一个物体在力的作用下保持静止或匀速直线运动状态,我们就说这个物体处于平衡状态。图 3-41 中做静态支撑的运动员就处于平衡状态。

生活中,平衡随处可见。房间中摆放的各种物品、大型建筑物、沿平直轨道匀速行驶的列车……都可以认为它们处于平衡状态。

#### 物体在共点力作用下保持平衡的条件是什么?

在初中时,我们已经研究过物体在两个力作用下的平衡条件:两个力大小相等、方向相反,作用在同一直线上。这两个力的合力为零,即  $F_{合}=0$ 。

[2] 如图 3-42 所示,用轻质网兜将球静止倚挂在光滑墙壁上。将球与网兜看作一个物体,它会受到重力  $G$ 、垂直墙壁向左的弹力  $F_n$  和沿绳子方向斜向上的拉力  $F_t$  的作用,并在这三个共点力的作用下处于平衡状态。

衡条件及“示例”的讨论,可更好地理解共点力平衡的条件。

本节以此引出共点力平衡的问题。

[2] 以球和网兜为研究对象,通过联系初中所学二力平衡条件,求其所受三力的合力,得出三力平衡条件为  $F_{合}=0$ ,以促进科学推理能力的发展。

[1] 这个“自主活动”是一个验证性实验。实验前需要校准弹簧测力计的零刻度。实验中小组成员要相互合作，使小环在三个水平拉力作用下保持静止；尽可能准确地记录三个拉力的大小和相互间夹角的数据；在白纸上按统一标度，用直尺、三角板和量角器等工具，画出三个力的图示，并用作图法求出其中任意两个力 $F_1$ 、 $F_2$ 的合力 $F_{12}$ ；然后比较该合力 $F_{12}$ 与第三个力 $F_3$ 的大小是否相等，并用量角器测量 $F_{12}$ 与 $F_3$ 的方向是否成 $180^\circ$ ，进而验证三力平衡条件 $F_{\text{合}}=0$ 是否成立。

通过实验，增强证据的意识、团队合作的观念、严谨认真的作风，促进科学推理和科学论证能力的发展。

如图3-43所示，先从作用在该物体上的三个力中选取其中的两个力 $F_N$ 和 $F_T$ ，求出这两个力的合力 $F$ ，以 $F$ 来替代 $F_N$ 和 $F_T$ 的作用效果；这时重力 $G$ 与 $F$ 构成二力平衡。因此， $G$ 与 $F_N$ 和 $F_T$ 的合力为零。

在三个共点力平衡的情况下，其中两个力的合力必然与第三个力的大小相等，沿着第三个力相反的方向。这个结果表明，三力平衡同样满足合力为零（即 $F_{\text{合}}=0$ ）的条件。

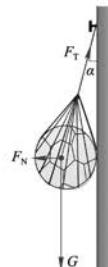


图3-42 用网兜将球倚挂在墙上

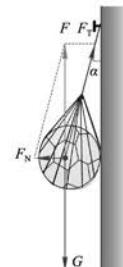


图3-43 球和网兜受到的力 $F_N$ 、 $F_T$ 的合力为 $F$

[1]

### 自主活动

如图3-44所示，用三个平行于桌面的弹簧测力计拉一个小环 $O$ ，使环静止。记录三个力的大小和方向，过 $O$ 点画出力的图示。验证这三个力的合力是否为零。



图3-44 用三个弹簧测力计验证三个共点力平衡的条件

大量实验表明，物体在共点力作用下处于平衡状态的条件是合力为零。

**示例1** 如图3-45所示，重为5 N的木块由弹簧测力计沿着光滑斜面向上拉动。如果木块做匀速直线运动，弹簧测力计的示数为1.4 N，求斜面对木块的弹力。

**分析：**木块受到重力 $G$ 、弹簧测力计的拉力 $F$ 和斜面的弹力 $F_N$ 的作用，三个力的作用线交于一点，即木块的重心；这三个力可视为作用在木块重心上的共点力。已知木块做匀速直线运动，处于平衡状态。由共点力平衡的条件可知 $G$ 、 $F$ 和 $F_N$ 的合力为0，即 $G$ 、 $F$ 的合力 $F_{\text{合}}$ 与 $F_N$ 大小相等、方向相反。

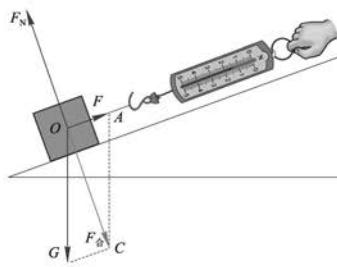


图3-45 木块在斜面上的受力分析

解：以木块为研究对象，其受力情况如图3-45所示；作出以G和F为邻边的平行四边形，标明合力 $F_{合}$ ；由木块的受力分析图可知， $\angle COA$ 是直角；根据共点力平衡的条件得

$$F_N = F_{合}$$

由  $F_{合} = \sqrt{G^2 - F^2} = \sqrt{(5\text{ N})^2 - (1.4\text{ N})^2} = 4.8\text{ N}$   
得  $F_N = 4.8\text{ N}$

斜面对木块的弹力大小是4.8 N，方向垂直斜面向上。

### 大家谈

若斜面的倾角增大，依旧拉木块沿斜面向上匀速运动，平行于斜面的弹簧测力计的示数将会如何变化？

处于平衡状态的物体受到同一平面内多个力的共同作用时，还可以通过建立直角坐标系，将每一个不在坐标轴方向上的力分解为沿x轴、y轴方向的两个分力。根据物体平衡合力为零的条件，沿x、y方向上的合力，即分力的代数和都应为零，可得

$$F_{合x} = 0$$

$$F_{合y} = 0$$

这样的方法称为正交分解法。

- [1] **示例2** 如图3-46所示，用一根质量可以忽略的细绳悬挂一个空心金属球。无风时细绳竖直下垂；当受到电扇吹出的水平风时，细绳将偏离竖直方向一定角度。风越大，偏离的角度也越大。通过测量细绳偏离竖直方向的角度即可测定水平风力的大小。推导风对球的水平作用力F的大小与球的重力G、偏角θ的关系。

分析：有风时，球受到三个力的作用：竖直向下的重力G、沿细绳向上的拉力 $F_T$ 和水平向左的风力F。当风力保持一定时，球处于平衡状态，偏角θ保持恒定。可以运用物体平衡条件 $F_{合}=0$ 建立表达式，获得F与θ的关系。

解：以球为研究对象，其受力情况如图3-47所示；以水平方向为x轴、竖直方向为y轴建立直角坐标系；沿坐标轴分解拉力 $F_T$ ，则有

$$F_{Tx} = F_T \sin \theta$$

$$F_{Ty} = F_T \cos \theta$$

根据共点力平衡条件得

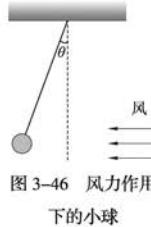


图3-46 风力作用下的小球

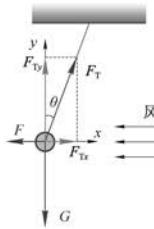


图3-47 风力作用下小球的受力分析

研究对象所受任意两个力合成与第三个力大小相等、方向相反的合力的平行四边形。解三角形，即可求得未知力的大小和方向。

(2) 如果研究对象受到三个及以上平面力系的作用而平衡，可按照使尽可能多的力在坐标轴上的原则，建立平面直角坐标系xOy，运用正交分解法把不在坐标轴上的力分解到坐标轴上；再分别列出x轴、y轴上合力为零的方程( $F_x=0$ 、 $F_y=0$ )，求解未知力的大小和方向。

通过归纳上述思路和方法，提高运用共点力平衡条件和相关方法、分析推理解决实际问题的技能。

[1] 从示例1、示例2的分析求解中，可以归纳求解物体平衡问题的一般思路和方法：

1. 明确分析对象，将其从周围环境中“隔离”出来；

2. 分析研究对象的受力情况，画出其受力示意图。受力分析的方法是：

(1) 先分析重力、已知力及引起研究对象运动状态改变的趋势；

(2) 再分析研究对象与周围接触物之间是否产生挤压、拉伸等形变，从而确定是否受到弹力作用及其方向；

(3) 最后分析接触面是否粗糙，以及研究对象在与周围物体有挤压的接触面上是否有相对滑动或相对滑动趋势，从而判断是否存在摩擦力及其方向。

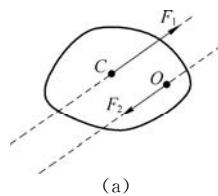
3. 根据合力为零的平衡条件列式求解：

(1) 如果研究对象只受三个力作用而平衡，可运用合成法，画出

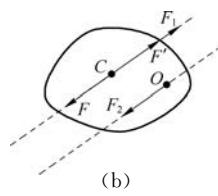
[1] 通过“大家谈”，运用示例 2 中风力的表达式，设计可以直接通过角度读出水平风力大小的简易装置，可以感悟间接测量的方法，体会科学与技术的关系。

[2] “拓展视野”栏目介绍了非共点力作用下的平衡问题。力沿作用线移动时其作用效果不变，但力不能平移。因此对于非共点力作用的问题，通常做如下处理。

设物体受到两个作用线相互平行的力的作用。其中一个力  $F_1$  的作用线通过物体质心 C，如图 12(a)所示。



(a)



(b)

图 12

为将作用于 O 点的力  $F_2$  平移到 C 点，可在 C 点同时加上两个大小均为  $F_2$  的力  $F$ 、 $F'$ ，其中  $F$  的方向与  $F_2$  相同， $F'$  的方向与  $F_2$  相反[图 12(b)]。由于在 C 点加上的两个力大小相等、方向相反、合力为零，因此并不改变原来物体的受力情况，但此时可以把  $F_1$  和  $F$  合成为一个力  $F_{合} = F_1 - F$ ，而  $F'$  和  $F_2$  构成了一对力偶。这样处理后，作用在物体上的外力作用效果可以等效为作用在质心上的一个合力和一对力偶，其中合力的作用效果是使物体质心做满足牛顿运动定律的平动，力偶的作用是提供一个力矩，使物体绕质心转动。

可见在非共点力作用情况下，可以认为合力作用于物体质心，决定了物体整体运动的规律，同时还存在一个力矩，使物体绕质心发生转动。

## 问题与思考解读

- 参考解答：岩壁对运动员的合力大小等于运动员所受的重力，方向竖直向上

$$\text{在 } x \text{ 方向: } F_T \sin \theta - F = 0$$

$$\text{在 } y \text{ 方向: } F_T \cos \theta - G = 0$$

由上述两式消去  $F_T$  得风对小球水平作用力  $F$  与重力  $G$ 、偏角  $\theta$  的关系为

$$F = G \tan \theta$$

[1]

### 大家谈

根据示例 2 的结果，如何制作一个可以直接读出水平风力大小的简易装置？

[2]

### 拓展视野

本节讨论的是物体在共点力作用下的平衡问题。图 3-48 为安装在教室里的日光灯，它同时受到了三个竖直方向的力，这三个力的作用线并不交于一点，这样的力称为非共点力。非共点力作用下物体的平衡不仅要考虑合力为零，还要考虑初中学过的杠杆平衡效应。

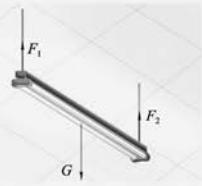


图 3-48 教室里的日光灯

### 问题与思考

- 假如章导图中的运动员处于静止状态。岩壁对运动员的合力大小是多少？方向如何？
- 一个重 4 N 的易拉罐在两根细绳的悬挂下处于静止状态。分析说明以下三种情况是否可能实现：(1) 两根细绳上的拉力大小分别为 3 N 和 6 N；(2) 两根细绳上的拉力大小分别为 1 N 和 2 N；(3) 两根细绳上的拉力大小分别为 2 N 和 7 N。
- 如图 3-49 所示，七只狗拉雪橇在雪地上匀速前行。一只头狗 Q 在中间引领方

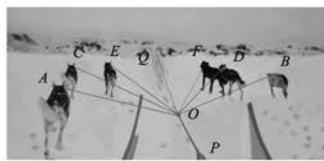


图 3-49

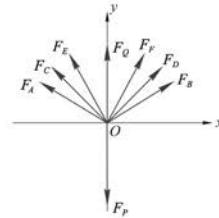


图 3-50

向，其余六只狗对称地分布在头狗两侧。可将图中的情形简化为如图 3-50 所示的示意图，连接雪橇的绳子  $OP$  沿  $y$  轴负方向，六只狗的分布关于  $y$  轴对称，绳子  $OB$ 、 $OD$ 、 $OF$  与  $x$  轴的夹角分别为  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 。已知与狗相连的每根绳上的拉力均为  $F$ ，与雪橇相连的绳子  $OP$  上的拉力是否等于  $7F$ ？说明理由。

4. 如图 3-51 所示，人站在岸上通过定滑轮用绳牵引小船匀速靠岸。小船受到哪些力的作用？如果小船所受阻力的大小不变，在靠岸的过程中其他力的大小如何变化？

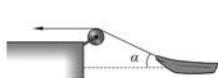


图 3-51



图 3-52

5. 如图 3-52 所示，一块长木板的一端搁在桌面上，另一端垫高，形成一个斜面。把粉笔盒放在斜面上，不断调节斜面的倾角，使粉笔盒沿斜面匀速下滑。试针对这一情境设计一个测量粉笔盒与木板间动摩擦因数的实验方案。

**命题意图：**简单运用共点力平衡的条件。

**主要素养与水平：**模型建构（Ⅰ）；科学推理（Ⅰ）。

**2. 参考解答：**第一种情况可能，第二、第三种情况不可能 提示：可以通过作图或矢量的运算来分析

**命题意图：**分析三个平衡力之间的关系特点。

**主要素养与水平：**模型建构（Ⅱ）；科学推理（Ⅰ）。

**3. 参考解答：**通过作图和运算两种方式来确定  $OP$  绳上拉力的大小， $OP$  绳上的拉力小于  $7F$

**命题意图：**运用共点力的平衡条件，通过抽象建模和分析推理解决实际问题。

**主要素养与水平：**科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

**4. 参考解答：**受到重力、浮力、拉力和阻力 重力、阻力的大小

均不变，拉力变大，浮力变小

**命题意图：**运用正交分解解决多力平衡的问题。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（Ⅰ）；科学推理（Ⅱ）。

**5. 参考解答：**需要测量斜面的倾角  $\theta$ 。由共点力平衡的条件得，粉笔盒和木板间的动摩擦因数为  $\tan \theta$

**命题意图：**用共点力平衡的条件解决一个真实的问题。

**主要素养与水平：**科学论证（Ⅰ）；证据（Ⅱ）；科学态度（Ⅰ）。

## 小结

**· 基本概念和基本规律**

**力：**物体与物体之间的相互作用。

**重力：**物体在地面附近由于地球的吸引而受到的力。重力的大小  $G = mg$ ，方向竖直向下，作用点在物体的重心。

**弹力：**发生弹性形变的物体由于要恢复原状而对引起形变的物体施加的作用力。

**胡克定律：**在弹性限度内，弹簧发生弹性形变时弹力的大小  $F$  跟弹簧形变量  $x$  成正比，即  $F = kx$ 。

**滑动摩擦力：**两个相互接触的物体发生相对运动时在接触面上产生阻碍相对运动的力。其大小跟压力成正比， $F_f = \mu F_N$ ， $\mu$  是动摩擦因数，与接触面的材料、粗糙程度等因素有关。

**静摩擦力：**两个相互接触的物体具有相对运动趋势时在接触面上产生阻碍相对运动趋势的力。

**合力和分力：**当物体受到几个力同时作用时，可以用一个力来替代这几个力，产生与原来几个力作用相同的效果。这个力就称为合力，原来的几个力是这个合力的分力。求几个力的合力的方法称为力的合成。把一个力用几个力同时作用来替代的方法称为力的分解。力的合成和分解都遵循平行四边形定则。

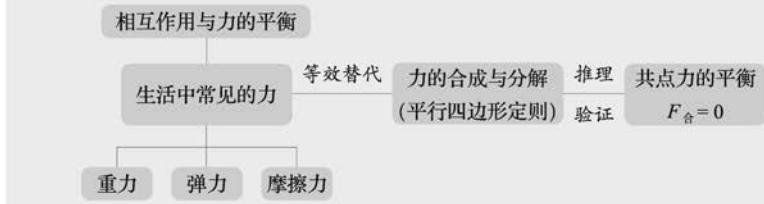
**· 基本方法**

通过探究实验，感受实验与推理相结合的物理学研究方法。

在探究力的合成规律实验中，认识等效替代方法。

在探究共点力平衡条件的过程中，运用演绎、推理的方法。

**· 知识结构图**



## 复习与巩固解读

76 第三章 相互作用与力的平衡

### 复习与巩固

1. 体操运动员可以双臂悬挂在单杠上，也可单臂悬挂，说明两种悬挂方式中的等效替代关系。双臂悬挂时，运动员受到的拉力可简化为图 3-53 中的共点力  $F_1$ 、 $F_2$ ，大小均为 500 N。试用力的图示画出这两个力的合力。



图 3-53

2. 用大拇指和食指捏着一个装有半瓶水的开口向上的瓶子，保持静止。此时瓶子受到了哪些力的作用？不断地向瓶子里加水，直至瓶子充满水，整个过程中瓶子没有下滑。在此过程中，瓶子受到的各个力的大小是如何变化的？
3. 如图 3-54 所示，用绳在  $O$  点悬挂一个重 100 N 的物体，绳  $OB$  能够承受的最大拉力为 200 N。若在绳上  $P$  点系上相同的绳  $PC$  后，缓慢地沿水平方向拉绳  $PC$ ，使  $OP$  逐渐偏离竖直方向。说明在此过程中  $OP$ 、 $PB$  和  $PC$  段绳受到的拉力大小如何变化。哪一段绳可能先断裂？断裂时  $OP$  与竖直方向的夹角多大？
4. 如图 3-55 所示，一位质量为 55 kg 的登山运动员借助安全绳稍事休息。他的左脚接触岩石，水平向左将自身推离岩面，此时安全绳与竖直方向的夹角为  $20^\circ$ 。有人估算出绳子上的拉力约为 600 N，试写出分析推理的过程。



图 3-54



图 3-55

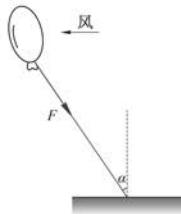


图 3-56

5. 如图 3-56 所示，气球被细绳拴在地面上。无风时，细绳处于竖直状态；当风从右方水平吹来时，细绳偏离竖直方向。风越大，细绳与竖直方向的夹角越大。某同学根据这一现象尝试测量水平风力的大小，他用力传感器测出细绳上的拉力  $F$ ，用量角器量出绳与竖直方向的夹角  $\alpha$ 。他如何从测得的数据得到风力  $F_{\text{风}}$  的大小？写出推理的过程。
6. 如图 3-57 (a) 所示为便利的运输工具——双轮小车。送水员用双轮小车运送 19 L 的桶装矿泉水，图 3-57 (b) 为小车装水后的截面示意图，在拉运过程中，

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅱ)；科学推理(Ⅱ)；科学态度(Ⅰ)。

- 3. 参考解答：**  $PB$  段拉力大小不变， $OP$  段拉力变大， $PC$  段拉力变大。夹角为  $60^\circ$  时， $OP$  段断裂。  
提示：以  $P$  点为对象，用共点力的平衡分析三个力之间关系的动态变化过程。

**命题意图：**从静态的问题推广到多个力准静态变化的过程，了解表示力的几何图形中变与不变的意义。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

- 4. 参考解答：**以运动员为研究对象，他受到重力、绳子的拉力和岩石的作用力。将岩石对人脚部的作用力近似视为水平向左。运动员的受力分析如图 13 所示，根据共点力平衡的条件，绳子拉力与岩石作用力的合力竖直向上，大小等于运动员所受的重力。故绳子拉力大小  $F_T = \frac{G}{\cos 20^\circ} = \frac{55 \times 9.8}{0.94} \text{ N} \approx 573.4 \text{ N}$ 。

**1. 参考解答：**单臂悬挂时受到单杠的作用力与双臂悬挂时受到的作用力的合力相等。按规范的力的图示画出  $F_1$ 、 $F_2$ ，作平行四边形，获得对角线。量得对角线长度，再按比例得到合力的大小，合力大小为 500 N，图略。

**命题意图：**培养规范作图的习惯，体会空间对称性。

**主要素养与水平：**模型建构(Ⅰ)；科学推理(Ⅰ)。

**2. 参考解答：**通常我们将水和瓶子作为一个整体进行分析。瓶子和水受到重力、两根手指的压力、接触处的静摩擦力。随着瓶内水量逐渐增加，瓶子与水所受的重力增加，静摩擦力也增加，手对瓶子的压力可能变化也可能不变。

**命题意图：**对生活中的实例做受力分析。

因此,估算值 600 N 接近真实情况

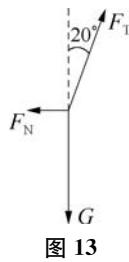


图 13

**命题意图:** 根据共点力平衡条件对实际问题做出估算。

**主要素养与水平:** 模型建构(Ⅱ); 科学推理(Ⅱ)。

**5. 参考解答:** 把有风时测得的绳子拉力分解为水平和竖直两个分力, 根据水平方向二力平衡得到风力的大小为  $F_{\text{风}} = F \sin \alpha$

**命题意图:** 利用正交分解处理物体平衡问题。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅱ); 解释(Ⅱ)。

**6. 参考解答:** (1) 不计摩擦力的影响, 桶受到重力和两个弹力(支持力)的作用。若不计水桶的质量,  $g$  取

$10 \text{ m/s}^2$ ,  $OP$  对桶的支持力为 152 N,  $OQ$  对桶的支持力为 114 N (2) 因为  $OP$  始终与  $OQ$  垂直, 可以利用圆的性质。若  $OP$  与水平面的夹角变大,  $OP$  对桶的支持力变小,  $OQ$  对桶的支持力变大

**命题意图:** 引导学生将立体图转化为平面图, 利于问题的分析。

**主要素养与水平:** 模型建构(Ⅱ); 科学推理(Ⅱ)。

**7. 参考解答:** 将桶和绳子视为对象, 保持静止时, 人对桶的作用力竖直向上, 与桶所受的重力平衡。因此, 无论选择哪一根绳子, 人对桶和绳的整体作用力均相同。以人与绳的接触点为对象, 该点受三个力。保持静止时, 绳子越短, 夹角越大, 绳上的张力越大

**命题意图:** 在同一个情境中, 选择不同的对象进行分析。

**主要素养与水平:** 科学推理(Ⅱ); 科学论证(Ⅰ); 质疑创新(Ⅰ)。

图示角度保持不变, 不计桶与小车之间摩擦力的影响。

- (1) 试分析送水员拉动小车使矿泉水桶和小车一起水平向右匀速运动时, 矿泉水桶的受力情况, 并分别求出小车  $OP$ 、 $OQ$  侧面对桶的支持力大小。
- (2) 若送水员改变小车的角度, 侧面  $OP$  与水平方向的夹角变大, 侧面  $OP$ 、 $OQ$  对桶的支持力会如何变化?

7. 如图 3-58 所示, 分别用  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三根长度不同的轻绳提起装有等量清水的水桶后保持静止。某同学认为无论选用哪根轻绳, 保持静止时人对绳的作用力均相等, 绳上的弹力大小也相等。这一说法是否合理, 简述理由。

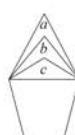


图 3-58

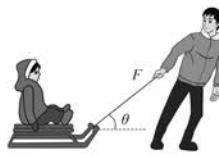


图 3-59

8. 如图 3-59 所示, 质量为 30 kg 的小孩坐在 10 kg 的雪橇上, 一成年人用与水平方向成  $37^\circ$  角、大小为 100 N 的拉力拉雪橇, 使雪橇沿水平地面做匀速运动。 $(g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ = 0.6$ ,  $\cos 37^\circ = 0.8$ )

- (1) 雪橇对地面的压力。
- (2) 雪橇与水平地面间的动摩擦因数。

9. 用如图 3-60 (a) 所示的实验装置研究弹簧的弹力与形变量之间的关系。轻弹簧上端固定一个力传感器, 然后固定在铁架台上。当用手向下拉伸弹簧时, 可从力传感器得到弹簧的弹力。用刻度尺测量弹簧原长和伸长后的长度, 从而确定伸长量。测量数据如表 3-2 所示。

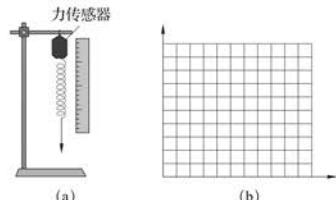


图 3-60

表 3-2

伸长量 $x/\times 10^{-2} \text{ m}$	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00
弹力 $F/\text{N}$	1.50	2.93	4.55	5.98	7.50

以弹簧的伸长量  $x$  为横坐标, 弹力  $F$  为纵坐标, 在图 3-60 (b) 中的坐标纸上画出反映弹力与伸长量关系的图线, 并根据图线得出该弹簧的劲度系数。实验过程应遵循哪些注意事项?

10. 某组同学在水平放置的方木板上做“探究两个互成角度的力的合成规律”实验。

(1) 该组同学用坐标纸记下了橡皮筋的结点位置  $O$  以及两个弹簧测力计拉力的大小和方向, 如图 3-61 所示, 图中每一小格边长均代表 0.5 N。试在图中作出  $F_1$  与  $F_2$  的合力。

(2) 改正下列实验操作中的错误。

- A. 先在白纸上描一个点  $O$ , 再用两个弹簧测力计将结点拉到该位置。用手按住结点, 记录力的大小和方向。
- B. 为了读数方便, 将弹簧测力计压在木板上。
- C. 为了避免摩擦力的影响, 斜向上拉弹簧测力计。
- D. 用两个弹簧测力计拉细绳时, 橡皮筋结点没有与事先标记的  $O$  点重合, 仅需调整一个弹簧测力计拉力的大小与方向。

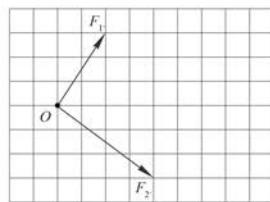


图 3-61

11. 拱桥是古代能工巧匠的杰作, 我国古代的赵州桥就是其中的典型代表。拱桥是由许多楔形砖块砌成的。为简化研究, 如图 3-62 所示, 将拱桥视为由 6 块相同的砖砌成的结构。如果不计砖块间摩擦力, 该拱桥模型能否保持平衡?

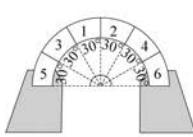


图 3-62

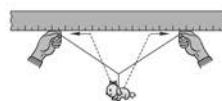


图 3-63

12. 某同学设计了一个测量一根细线(或头发)能承受多大的力的实验方案。如图 3-63 所示, 在一根长度已知的细线的中央悬挂着质量已知的重物, 然后沿着刻度尺将双手慢慢分开, 观察分开到什么距离时线断, 这样就可计算细线能承受的最大拉力。试简述该同学的实验原理, 并尝试做一做, 提出改进的建议。

13. 事物往往具有两面性, 摩擦现象也概莫能外。试写一篇 200 字左右的短文, 从我们熟悉的生活现象中选取不同事例, 谈谈摩擦力的作用和利弊。

示, 在图中直线上读取相距较远两点的数据, 由  $k = \frac{\Delta F}{\Delta x}$  得到该弹簧的劲度系数约为 74 N/m(71~77 N/m 均可)。在实验过程中应注意: (1) 弹簧的拉伸长度不能超过其弹性限度; (2) 拉力应保持竖直方向向下, 如用钩码代替手拉等; (3) 需待力传感器示数稳定后再读数。

**命题意图:** 重温测量弹簧的劲度系数实验。

**主要素养与水平:** 证据(Ⅱ); 解释(Ⅱ)。

10. 参考解答: (1) 如图 16 所示。由方格纸的格数能够确定力

**8. 参考解答:** 以小孩和雪橇为对象, 其受力情况如图 14 所示。由于其做匀速直线运动, 合力为零, 沿水平方向和竖直方向正交分解, 在两坐标轴方向上各分力的合力均为零。

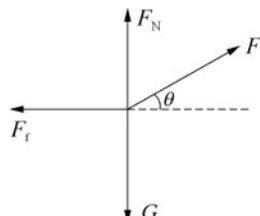


图 14

(1) 竖直方向:

$$F \sin \theta + F_N = mg, \text{ 解得 } F_N = mg - F \sin \theta = 340 \text{ N}。 \text{ 由牛顿第三定律得雪橇对地面压力: } F'_N = F_N = 340 \text{ N}$$

(2) 水平方向:  $F \cos \theta - F_f = 0, F_f = \mu F_N$ 。解得:  $\mu \approx 0.24$

**命题意图:** 应用正交分解的方法。

**主要素养与水平:**

模型建构(Ⅱ); 科学推理(Ⅱ)。

**9. 参考解答:**  $F - x$  关系图像如图 15 所

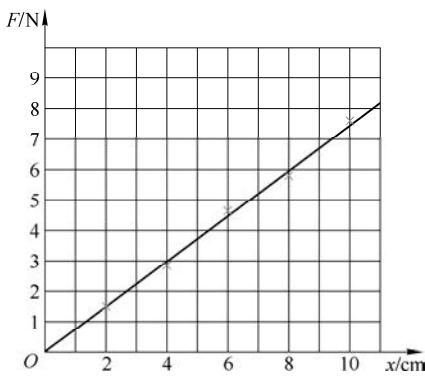


图 15

的大小为 3 N (2) A. 结点应处于自由状态。B. 弹簧测力计的形变方向要与细绳方向沿同一直线。C. 两个力构成的平面应与木板平面平行。D. 调整一个弹簧测力计拉力的大小与方向必然会影响另一个弹簧测力计拉力的大小与方向

**命题意图:** 来自学生的实际操作,通过完善操作步骤来反思实验过程。

**主要素养与水平:** 质疑创新(I);证据(II);科学态度(I)。

**11. 参考解答:** 将 1、2 两块砖合起来看作一个整体进行研究,如果不计其他砖块之间的摩擦,其受力情况如图 17(a)所示;由于其静止,合力为零。设每一块砖重  $G$ ,可得  $F_{N42}=F_{N31}=2G$ ,再以砖 3 为研究对象,如果不计摩擦,其受力情况如图 17(b)所示,运用正交分解法,对第 3 块砖进行受力分析。因  $F_{N13}$  与  $F_{N31}$  互为反作用力,所以  $F_{N13}=F_{N31}=2G$ ,  
 $F_{N53}=F_{N13}\cos 30^\circ+G\cos 30^\circ=\frac{3\sqrt{3}G}{2}$ ,  $F_{N13}$  及  $G$  在  $x$  轴上的合力  $F_x$  为:  $F_x=F_{N13}\sin 30^\circ-G\sin 30^\circ=\frac{G}{2}$ ,

因  $F_x \neq 0$ ,故第 3 块砖不能保持平衡,而是沿其所受合力方向滑出。从总体上看,拱桥的结构不能保持平衡,第 3、4 块砖会沿与第 5、6 块砖的接触面斜向上滑出,而第 1、2 块砖又会因第 3、4 块砖的滑出而下陷,致使结构塌毁,石块之间必须有摩擦力作用。查表可知,石块间的摩擦因数大于 0.5,根据计算,完全满足石拱桥设计要求。在此基础上,也可在石块之间加混凝土

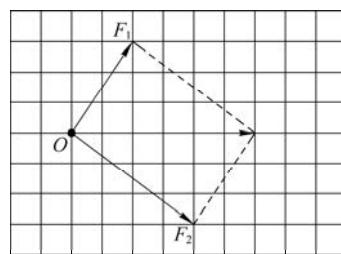


图 16

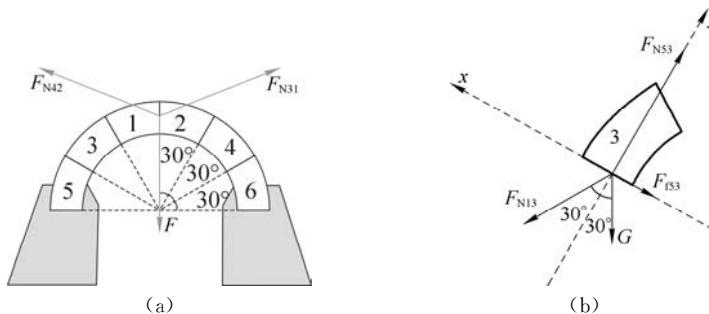


图 17

**命题意图:** 根据共点力平衡条件,通过建模分析解决实际问题。

**主要素养与水平:** 科学推理(II);科学论证(III);社会责任(I)。

**12. 参考解答:** 实验中缓慢移动细绳两端至断裂时测量细绳两端距离  $2s$ ,

受力分析如图 18 所示。由几何关系  $\frac{F_T}{G} = \frac{\frac{L}{2}}{\sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - s^2}}$ , 得  $F_T = \frac{GL}{2\sqrt{L^2 - 4s^2}}$

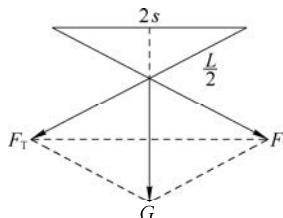


图 18

$\frac{GL}{2\sqrt{L^2 - 4s^2}}$ 。实验中可能会出现的问题:手拉细线时细线与手指间可能会发生滑动

**命题意图:** 用共点力平衡的条件来解决一个真实的问题,通过体验对原有的方案进行反思。

**主要素养与水平:** 质疑创新(I);证据(II);科学态度(I)。

**13. 参考解答:** 从摩擦力的利、弊两个角度阐述。可以选取诸如行走、搬运、传动等常见现象讨论,分析其中摩擦力的方向和作用。提示:也可以设想如果摩擦力消失,日常生活中习以为常的现象会发生怎样的变化

**命题意图:** 根据摩擦力的概念和规律,列举生活实例并分析解释摩擦力在其中发挥的作用。

**主要素养与水平:** 运动与相互作用(I);科学论证(I);科学本质(I)。

## 第三部分 本章练习部分解读

### 第一节 生活中常见的力

#### (一) 参考解答

1. 相互作用 作用点
2. 地球 竖直向下 时刻变化
3. 桶的把手 车轮
4.  $200 \text{ N/m}$  提示：根据胡克定律
5. 生活中多处利用了弹簧，能举出合适的例子并予以说明即可。如圆珠笔中用到弹簧，写字时下压按钮，弹簧压缩，写字结束下压按钮，在弹簧的弹力作用下，笔尖缩回到笔中
6. 鞋底、把手、轮胎表面有花纹都是为了增加摩擦，如果没有摩擦，人无法行走，手握不住东西，车辆无法制动
7. 图中小球与竖直平面和水平地面的接触点分别为  $A$ 、 $B$ 。小球和水平面在  $B$  点都有形变，在  $A$  点没有发生形变，所以在  $B$  点小球对水平地面有压力，水平地面对小球有支持力，在  $A$  点不存在弹力
8.  $0.2 \text{--} 12 \text{ N}$  提示：因物体与地面间的压力不变，摩擦力也不变
9. 如图 19 所示

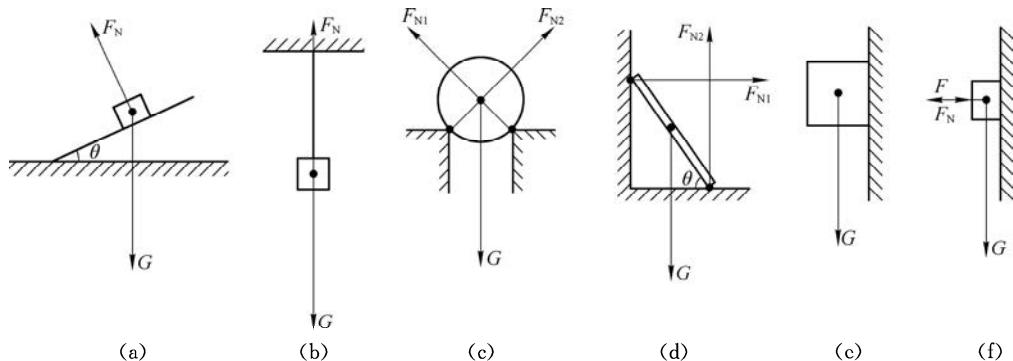


图 19

10. (1) 静止 (2) 匀速直线 由步骤(1)可知，悬挂的木块静止时，竖直方向所受的二力平衡，重力  $G$  与弹簧测力计拉力  $F_1$  大小相等。当木块在水平桌面上做匀速直线运动时，桌面对木块的弹力  $F_N$  大小等于木块所受重力的大小，等于  $F_1$  的大小。由步骤(2)可知，木块在水平桌面上做匀速直线运动，水平拉力  $F_2$  的大小等于滑动摩擦力  $F_f$  的大小。滑动摩擦力  $F_f = \mu F_N$ ，即  $F_2 = \mu F_1$ ，因此  $\mu = \frac{F_2}{F_1}$

#### (二) 习题主要素养与水平分析

##### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	证据	科学本质	科学态度
1			I			
2		I	I			

(续表)

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	证据	科学本质	科学态度
3			I			
4			II			
5	I				I	
6			I		I	
7	I		I			
8			II			
9			II			
10			II	I		I

## 第二节 力的合成

### (一) 参考解答

1.  $F_1$ 、 $F_2$  的作用线相交 合 分
2. 5~15 N 提示：两力的夹角为  $0^\circ$  时合力最大，夹角为  $180^\circ$  时合力最小
3. 12 0 提示：三个力方向相同时，合力最大；若 3 N、4 N、5 N 可以构成三角形，则三个力的合力为 0
4. 不能 以大小相等相互垂直的力  $F$  为邻边所做的平行四边形为正方形，对角线长为  $\sqrt{2}F$ ，即这两个力只可用一个大小为  $\sqrt{2}F$  的力来替代
5. 0 50 提示：因原本的三个力合力为零，将  $F_3$  转过  $60^\circ$  后三个力的合力，可等效为求一个与原  $F_3$  方向相反、大小相等的力  $F'_3$  和一个与原  $F_3$  大小相等、夹角为  $60^\circ$  的力  $F''_3$  ( $F'_3$  与  $F''_3$  的夹角为  $120^\circ$ ) 的合力

6. 见下表

操作	判断	更 正
将橡皮筋的一端固定，另一端套上两个绳套	对	符合实验操作要求
将两个弹簧测力计分别钩住绳套，互成角度地将橡皮筋拉长至某一位置	对	符合实验操作要求
记下橡皮筋的原长和伸长的长度	不必要	因橡皮筋一端已固定，只需记录另一端的位置就能反映橡皮筋的形变情况，无需记录长度
记下绳套结点的位置，在读取弹簧测力计的示数时，手应按住结点不动	错	用手按住结点会影响弹簧测力计的读数
记下拉力(即绳套)的方向	对	绳套的方向即为拉力的方向
用一个弹簧测力计代替两个弹簧测力计将绳套的结点拉到同一位置，读取弹簧测力计的示数，记下拉力的方向	对	结点拉到同一位置，说明两次拉橡皮筋的作用效果相同
利用平行四边形定则画两个弹簧测力计拉力的合力，通过修改使画出的合力尽可能与一个弹簧测力计的拉力相符	错	应以两个弹簧测力计的拉力为邻边画平行四边形，将其对角线与一个弹簧测力计的拉力进行比较，以此探究共点力合成的规律，而不是修改实验中记录的数据
改变拉力间的夹角再做几次实验	对	符合实验操作要求

7. 见下表

说 法	分析或举例
$F_1$ 增加 10 N, $F_2$ 减少 10 N, $F$ 的大小可能不变	若 $F_1$ 和 $F_2$ 方向相同, 则该说法成立
$F_1$ 、 $F_2$ 同时增加 10 N, $F$ 一定增加 20 N	若 $F_1$ 和 $F_2$ 方向相反, 则该说法不成立
$F_1$ 、 $F_2$ 同时增大一倍, $F$ 一定增大一倍	根据平行四边形定则作图, 无论 $F_1$ 和 $F_2$ 的夹角如何, 该说法一定成立

8. 80 与  $F_2$  相同 提示:  $F_1$  与  $F_3$  的合力和  $F_2$  大小相等、方向相同

9. 只要人人出力均会形成合力, 但合力不一定大。因为力的合成遵循平行四边形定则, 不是简单的数值相加。假使每个人出的力大小不变, 如果各个力间的夹角改变, 合力也会改变。例如, 三个力大小相等, 任意两个力的夹角互成  $120^\circ$  时, 它们的合力为 0。当然, 如果大家向同一方向出力, 合力就大了

## (二) 习题主要素养与水平分析

### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	科学推理	科学论证	质疑创新	证 据	科学态度
1	I	I				
2		II				
3		II				
4		II	I			
5		II				
6		II	II		I	
7		II	II			
8	I	II				
9			I	I		I

## 第三节 力的分解

### (一) 参考解答

1. 位移、速度和力 平行四边形

2. 水平 竖直

3. 见下表

说 法	判断	说 明 理 由
一个力只能分解为两个分力	错	只要合力和所有分力的作用效果相同, 一个力可被分解为任意多个力
分力的大小可能大于被分解的力	对	合力大小不仅和两个分力大小有关, 还取决于两个分力之间的夹角。考虑一个特例: 两个分力大小相等, 当两个分力之间夹角小于 $120^\circ$ 时, 合力大于分力, 反之则小于分力
可以按力的作用效果来确定分力的方向	对	这是力分解的常用方法之一
一个力分解为两个共点力的结果是唯一的	错	一个力分解为两个共点力有无数种可能
一个力分解为两个大小相等的力, 两个分力与合力的夹角一定相等	对	两个大小相等的分力构成的平行四边形为菱形, 合力位于对角线上, 与两个分力间的夹角相等

4. 根据上述信息可以确定  $F_2$  的方向和  $F_1$  的大小和方向, 结果如图 20 所示,  $F_1$  可能沿两个不同的方向, 在每个方向上其大小均有两种可能。所以,  $F_2$  有①②③④四个不同的方向

5. (1)  $\frac{F}{\cos \theta}$     (2) 水平力  $F$  可等效为两个垂直于斜劈上、下表面的分力, 如果  $\theta$  接近  $90^\circ$ , 两个分力的大小远大于  $F$ , 可将塔身顶起少许。在实际情况中, 斜劈将受到重力、水平推力、塔垂直于其上、下表面的压力和塔平行于其上、下表面的摩擦力

6. 垂直于斜面向上的分力大小为  $0.6F$ , 作用效果为减小物体与斜面间的挤压; 沿斜面向上的分力大小为  $0.8F$ , 作用效果为阻止物体沿斜面向下的运动

7. 人对钢丝的压力有使钢丝伸长的效果, 两个分力沿着钢丝伸长的方向, 如图 21 所示, 大小为  $1410.9\text{ N}$

## (二) 习题主要素养与水平分析

### 习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	质疑创新	科学本质
1			I			
2	I		I			
3			II	II		
4			II	I	I	
5			II			I
6	II		II			
7		II	II			

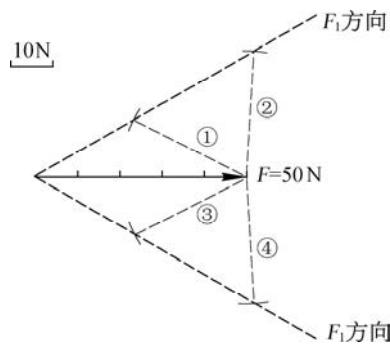


图 20



图 21

## 第四节 共点力的平衡

### (一) 参考解答

1. 静止 匀速直线运动

2. 相等 相反

3. 椅子作用于人的合力的大小与重力大小相等

4. (1)  $G \cos \alpha$      $G \sin \alpha$     (2)  $\frac{G}{\cos \alpha}$      $G \tan \alpha$

5. 由于木板始终处于静止状态, 因此前后两次合力  $F_1$  都是 0, 保持不变。绳子各剪去一段后长度变短, 悬挂木板时与竖直方向夹角变大,  $F_2$  变大

6. 如果推力  $F$ 、斜面支持力、重力三个力的合力为零, 物体可能受到重力、斜面支持力和推力三个力作用, 静止在斜面上; 如果推力  $F$  偏大或偏小, 物体还受到斜面对它的摩擦力

7. 受到的支持力逐渐减小  $\alpha$  刚开始增大的阶段, 物块受到静摩擦力的作用, 静摩擦力  $F_f = mg \sin \alpha$ , 其大小随  $\alpha$  的增加而增大; 当  $\alpha$  达到某一值后, 物块开始下滑, 此后物块受到滑动摩擦力的作用, 滑动摩擦力  $F_f = \mu mg \cos \alpha$ , 其大小逐渐减小

**8.  $F$  增大  $F_N$  减小** 提示：在运动过程中， $G$  大小和方向始终不变， $F_N$  与  $F$  始终互相垂直，可借助作图来分析

**9. 除了三个拉力，车子还受到摩擦力的影响，这四个力的合力的水平分力为零，所以车子不动，为了拉动车子，天鹅和梭子鱼通过改变用力方向，都可以减小与  $F_C$  的夹角，梭子鱼还可以同时减小与水平面的夹角**

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	科学本质
1	I		I		
2			I		
3	I		II		
4	I		II		
5		I	II		
6			III	I	
7	I		II		
8	I		II		
9	I		II		I

## 第四部分 本章实验与活动部分解读

### 1. 自主活动 观察桌面的微小形变

(1) 由实验观察到的现象可以得到什么结论？

**参考解答：**形变由相互作用引起，物体间相互作用越大形变量也越大

**命题意图：**对现象进行分析和推理，获得结论。

(2) 通过分析，解释实验装置中激光束要两次经过反射镜  $B$  反射的原因。

**参考解答：**激光束两次通过反射镜  $B$  增加反射距离，增大光束的转动角度，使光斑的移动距离变大。在有限的距离范围内，能够观察到很小的形变

**命题意图：**能使用直接的证据表达自己的观点。

### 2. 学生实验 探究弹簧弹力与形变量的关系

交流各组得到的  $F-x$  图像，讨论图像有何不同并分析其原因。

**参考解答：**一般而言，实验获得的直线倾斜角度不同，其原因可能是不同组所用的坐标标度不同或所用的弹簧劲度系数不同。有些直线可能不经过原点  $O$ ，其原因可能是把弹簧下端的位置记作弹簧的形变量等

**命题意图：**能使用实验图像进行分析，用实验中获得的证据表达自己的观点。

### 3. 自主活动 测量静摩擦力的大小

(1) 在逐渐增大的外力作用下，木块所受的静摩擦力有什么规律？

**参考解答：**木块所受的静摩擦力随拉力的增大而增大

**命题意图：**观察实验图像,进行分析描述。

(2) 木块运动后摩擦力有什么特点?

**参考解答：**木块运动后摩擦力近似保持不变

**命题意图：**根据实验图像,进行分析描述。

(3) 木块质量不同对摩擦力有何影响?

**参考解答：**木块的质量越大,所受的静摩擦力越大

**命题意图：**根据实验图像,进行分析归纳。

#### 4. 学生实验 探究两个互成角度的力的合成规律

(1) 在实验中:

① 为使橡皮筋在两次拉伸时形变情况相同,应如何操作?

② 如何保证带有绳套的细绳与木板表面保持平行?

**参考解答：**① 两次均缓慢拉伸橡皮筋使结点到达同一位置 ② 使弹簧测力计位于木板之外,从而保证在木板内的细绳能平行于木板表面

**命题意图：**理解实验方案中的关键操作。

(2) 有同学为了方便记录细绳的方向,用手按住结点“O”,这样操作是否可行,为什么?

**参考解答：**这样的操作可能存在问题。如果按住结点“O”后,不改变两根细绳的拉力,则不会对实验结果产生影响。但实际操作时很难做到

**命题意图：**质疑反思不当操作,正确使用基本器材获取实验数据。

#### 5. 自主活动 钩码对笔尖拉力的作用效果

本活动通过体验来感受钩码通过细绳对 O 点拉力的作用效果。如何改进实验,通过形变来表现该力的作用效果?

**参考解答：**可用橡皮筋代替细绳,在铅笔接触手的一端粘贴一小段海绵,重复实验,可见橡皮筋被拉伸,海绵被压缩,通过两者的形变看出该力的作用效果

**命题意图：**尝试改进实验方式,将力的作用效果从主观的感受转变为直观的现象。

#### 6. 自主活动 验证三个共点力平衡的条件

(1) 如何根据实验数据通过作图的方法验证三个共点力的合力为零?

**参考解答：**画三个力的图示,用作图的方法获得其中任意两个力的合力,与第三个力进行比较

**命题意图：**通过推理,用平行四边形定则进行验证。

(2) 如何根据实验数据通过计算验证三个共点力的合力为零?

**参考解答：**取一直角坐标系  $xOy$ ,原点在三个力的交点,把力都分解到两坐标轴上,分别比较  $x$ 、 $y$  轴上的各分力

**命题意图：**用正交分解的方法处理实验数据,验证结论。

# 第四章 牛顿运动定律

## 第一部分 整 章 分 析

### 学习目标

1. 用牛顿运动定律解释简单的现象、解决简单实际问题，形成运用牛顿定律分析问题的思路，初步形成运动与相互作用的观念。
2. 能将特定情境下的运动物体和运动过程进行抽象，体会抽象的思维方法，能用简单的证据表达自己的观点；在探究物体间相互作用与运动状态变化关系的实验中运用控制变量法。
3. 在探究物体间相互作用与运动状态变化关系的实验中，经历记录、分析和处理实验数据，能根据证据得出结论并作出解释，能相互交流、表达探究的过程和结果。
4. 在探究实验、分析解决问题的过程中，认识物理学是对自然现象的描述与解释，具有学习物理的兴趣，培养实事求是、严谨认真的态度，逐步形成与人合作的意识。

### 编写意图

课程标准中对本章内容的要求为：

1. 2. 3 通过实验，探究物体运动的加速度与物体受力、物体质量的关系。理解牛顿运动定律，能用牛顿运动定律解释生产、生活中的有关现象，解决有关问题。通过实验，认识超重和失重现象。

1. 2. 4 知道国际单位制中的力学单位。了解单位制在物理学中的重要意义。

本章内容是牛顿力学的核心，在初中对力和运动的关系已经有了一定认知的基础上，通过回顾亚里士多德和伽利略对于力和运动的主要观点和研究，进一步体会理想实验的作用。

通过探究加速度与物体质量、物体受力的关系实验体会控制变量的思想，了解实验数据的图像表示及其意义，知道误差的存在，能分析数据得出结论，通过交流表达结果。

在原有认知的基础上，理解牛顿运动定律。知道证据的作用。知道国际单位制中的力学单位。能对物体的受力和运动情况进行描述，从而进一步完善分析和解决实际问题的思路，能运用牛顿运动定律解释简单的现象、解决简单的问题。结合实验和体验，了解超重和失重现象。

本章是形成“运动与相互作用观”的关键，也是进一步学习物理学其他内容的基础。

完成本章内容的学习，共需要 8 课时。其中，第一节 1 课时，第二节 3 课时，第三节 1 课时，第四节 1 课时，第五节 2 课时。

## 第二部分 本章教材解读

重达数吨的重型战斗机要从仅仅数百米的航母甲板上起飞，需要足够大的加速度。物体运动状态的改变需要力，运动状态改变的快慢用加速度的大小描述。加速度的大小与什么因素有关？

根据生活经验，用同一个力作用于不同物体，或用不同的力作用于同一个物体，运动状态改变的快慢都将不同。为此，可以通过实验，应用控制变量的方法进行探究，从而得到加速度与物体受力、加速度与物体质量之间的定量规律。



图示是舰载机从辽宁号航空母舰上起飞的瞬间。辽宁号是中国第一艘服役的、可以搭载固定翼飞机的航空母舰。受航母甲板长度的限制，提高舰载机的加速性能是研制工作的重要任务之一。舰载机的加速性能与哪些因素有关？

## 第四章 牛顿运动定律

- 在本章中我们将：
  1. 理解牛顿运动定律。
  2. 通过实验探究加速度与物体质量、物体受力的关系。
  3. 用牛顿运动定律解决简单的实际问题。
- 本章的学习将会用到加速度的概念、匀变速直线运动的规律和有关力的知识。
- 本章学习的牛顿运动定律是经典力学的核心，也是学习物理学其他内容的基础。本章的学习有助于根据运动和相互作用的观念，运用科学思维解决实际问题。

[1]



图 4-1 滑板运动的连拍照片

## 第一节 牛顿第一定律

我们在生活中常见到这样的现象：要使小车运动起来必须用力推或拉；停止用力后，小车就会慢慢停下来。通过观察这些现象，我们会直觉地认为物体的运动是推、拉等作用的结果。但观察图 4-1，人跳起来后，滑板依然由 A 位置向前运动到 D 位置。似乎在此过程中，滑板的运动并不需要力来维持。

古希腊哲学家亚里士多德在观察和直觉的基础上，根据经验和事实，思考了力与运动的关系。他认为：如无外部推力，地球上所有的物体都会停下来静止不动；运动的物体若要继续运动必须有力维持。亚里士多德的观点可归纳为：力是维持物体运动的原因。在此后近 2 000 年的时间里，亚里士多德的观点得到了普遍的认同。直到 17 世纪初，伽利略对亚里士多德的这一观点提出了质疑。

### ② 伽利略是如何质疑“力是维持物体运动的原因”这个观点的？

伽利略巧妙地设想了一个小球在两个斜面上运动的实验来推理。

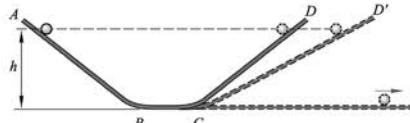


图 4-2 伽利略的斜面理想实验

立过程，有助于学生形成正确的科学观念，知道认识是不断发展的，并将最终揭示事物的本质。本节内容是学习牛顿第二定律的基础。

## 正文解读

[1] 滑板运动深受学生喜爱，通过运用技巧，可以享受运动的乐趣。节首图反映了人与滑板以相同速度离开地面的情境，可以观察到人与滑板在水平方向的运动情况相同，形象展现了物体存在惯性。

本节的引入文字与此呼应，点明了本节内容的重点是：运动并不需要力来维持。

## 本节编写思路

本节在初中相关内容学习的基础上，回顾亚里士多德和伽利略对于力和运动的主要观点和研究，了解科学的研究方法在人类认识自然规律时所起的重要作用，建立惯性的概念，理解牛顿第一定律。

通过两个问题的引领，感受伽利略斜面理想实验对认识运动、研究自然现象的意义与作用；认识牛顿第一定律不仅是对现象的总结与归纳，而且是对观念的提升；了解牛顿第一定律还隐含了惯性系的概念。

通过“助一臂”，学生初步了解理想实验在科学研究中的作用。

通过“大家谈”引导学生对惯性的思考与理解；在“自主活动”中观察和描述滑块的运动，了解在实验中使物体近似做匀速直线运动的方法。

经历惯性定律的建

[1] 为探究物体运动的原因，亚里士多德根据观察和思辨得出，维持物体的运动必须有力作用，直到17世纪伽利略通过实验总结、理论演绎和逻辑推理对此问题做出了科学的解释，所得到的结论实际已蕴含了惯性定律的基本思想。

[2] 牛顿第一定律形式简单，但内涵丰富。

(1) 定义了物体惯性的概念。任何物体都有保持运动状态不变并且反抗其他物体改变其运动状态的性质，物体这种固有的性质称为物体的惯性。因此，牛顿第一定律又称为惯性定律。

(2) 第一次引入力的概念，指出力是改变物体运动状态的原因，或者说是使物体产生加速度的原因。

(3) 隐含着惯性参考系与非惯性参考系的概念。关于这一点牛顿第一定律并未明说，但在给出惯性的定义时，涉及物体静止或匀速直线运动的状态，而这就存在相对什么参考系运动的问题。物体运动遵从牛顿第一定律的参考系称为惯性参考系；反之，物体运动不遵从牛顿第一定律的参考系称为非惯性参考系。一个参考系到底是惯性参考系还是非惯性参考系，要由实验来确定。比如，当汽车急刹车时，车上的乘客都会有向前冲的感觉。如果选择汽车为参考系，乘客的运动明显违反牛顿第一定律，所以相对于地面急刹车的汽车参考系是非惯性系。

如图4-2所示，将小球从斜面AB上的某处由静止释放，小球滚下后将沿右侧斜面CD向上运动。如果没有摩擦损耗，小球将上升到原来的高度；如果减小右侧斜面的倾角，变为图中的CD'，小球仍能达到原来的高度，但需要通过更长的路程。以此推理，右侧斜面的倾角越小，小球通过的路程越长。当斜面最终成为水平面时，尽管小球在水平方向上并没有受到力的作用，小球为了达到原来的高度，仍要沿水平面以恒定的速度一直运动下去。这就是著名的斜面理想实验。

伽利略由此提出了与亚里士多德相反的结论：物体的运动不需要任何力来维持，力不是维持物体运动的原因。

### 大家谈

为什么把伽利略的斜面实验称为理想实验？

### ② 不受任何力作用的物体如何运动？

与伽利略同时代的法国数学家、物理学家笛卡尔(R. Descartes, 1596—1650)完善了伽利略的观点。他指出，物体将一直保持它的速度，除非有别的物体制止它或减小它的速度。

[2] 牛顿(图4-3)在伽利略等人研究的基础上，于1687年发表了他的名著《自然哲学的数学原理》(图4-4)，书中提出了物体运动的三个基本规律，后人把它们称为牛顿运动定律。其中，牛顿第一定律(Newton's first law)的表述为：

一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，除非有作用力迫使它改变这种状态。

牛顿第一定律揭示了力和运动的关系，表明力不是维持物体运动的原因，而是改变物体运动状态的原因；如果物体不受力的作用，其速度的大小和方向都将保持不变。

牛顿第一定律描述的是一种理想化的状态，即物体不受任何力作用的状态。但由于不可能把一个物体孤立起来，完全不受力作用的物体实际上是不存在的。我们通常看到的匀速直线运动状态和静止状态都是物体受到平衡力作用的结果。

### 助一臂

[1]

理想实验是以可靠的事实为根据，突出主要因素、忽略次要因素，通过抽象思维，把实验合理外推到实验条件无法达到的范围，从而得出结论，深刻揭示自然规律的方法。理想实验是在想象中进行的实验，是科学研究的重要方法。理想实验充分发挥了理性思维和逻辑推理的力量。



图4-3 牛顿  
(I. Newton, 1643—1727)



图4-4 牛顿著作《自然哲学的数学原理》

### [1] 自主活动

图 4-5 为气垫导轨的示意图。导轨表面均匀分布着大量小孔，用气泵给气垫导轨充气。空气自小孔向上喷出，在导轨和滑块之间形成气垫使滑块悬浮不与导轨接触，滑块沿导轨运动时的阻力就会很小。把滑块放在水平气垫导轨上，轻推一下滑块，观察滑块如何运动，它的运动有什么特点，并尝试用牛顿第一定律予以解释。

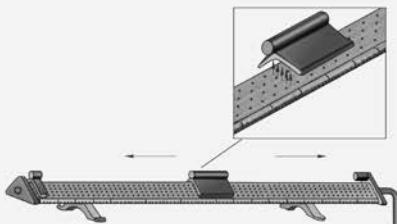


图 4-5 气垫导轨和滑块

牛顿第一定律表明，物体的运动并不需要力来维持，物体自身具有保持匀速直线运动状态或静止状态的性质。这种性质称为惯性（inertia）。因此，牛顿第一定律又被称为惯性定律（law of inertia）。

### [2]

#### 大家谈

大至天体，小至原子、电子，一切物体都有惯性。汽车突然启动时，乘客的身体会后仰；汽车紧急刹车后虽然受到阻力作用，仍要滑行一段距离才能停下。生活中的很多场景都与惯性有关。类似的事例，你还能举出一些吗？

#### 问题与思考

1. 通过牛顿第一定律的学习，几位同学在讨论惯性的概念时分别表达了下列说法。

你是否认同这些说法，简述你的理由。

- (1) 运动的物体有惯性，静止的物体没有惯性。
- (2) 物体受力时，它的惯性会发生改变。
- (3) 惯性与物体运动的快慢无关。

2. 参考解答：顺序为(2)(3)(1)(4)，其中(2)为事实，(3)(1)和(4)为推论

**命题意图：**认识实验和推理在物理研究中的作用。

**主要素养与水平：**科学论证(I)；证据(I)。

3. 参考解答：小鸟匀速沿直线飞行，根据牛顿第一定律，小鸟应不受力的作用或所受力的合力为零。因此，小鸟所受除重力外的其他力的合力一定竖直向上，大小与其所受重力相等

**命题意图：**承接上一章，用牛顿第一定律和共点力平衡的条件解释现象。

**主要素养与水平：**科学论证(I)；质疑创新(I)。

[1] 这是一个观察型“自主活动”，其目的是：(1) 初步了解气垫导轨的原理和作用；(2) 观察和描述物体不受外力作用时的运动状态。

通过本活动与下面的“大家谈”，以实际感受了解惯性的概念，理解惯性定律。

[2] 此处设置“大家谈”，通过寻找生活中惯性现象的实例，进一步理解惯性的概念和牛顿第一定律。

### 问题与思考解读

**1. 参考解答：**仅说法(3)正确。惯性是物体的属性，与物体的运动状态，受力状态均无关

**命题意图：**承接初中阶段对惯性的理解，对惯性概念进行辨析。

**主要素养与水平：**科学推理(I)；科学论证(I)。

#### 4. 参考解答：高

铁列车原先匀速行驶，杯中的水也随其做匀速直线运动。当列车突然减速时，运动状态发生变化，水由于惯性而相对杯子（列车）向前运动

**命题意图：**通过生活中的现象感受惯性。

**主要素养与水平：**科学推理（Ⅰ）；科学论证（Ⅰ）。

**5. 参考解答：**下落前，小球随船一起匀速运动。下落过程中，竖直方向：小球受到重力的作用，自由下落，运动状态发生变化；水平方向：小球不受力的作用，由于惯性，继续保持原来匀速运动的状态，与船的速度相同，随船一起前行。所以，刚好从桅杆顶部掉落到桅杆底部

**命题意图：**用惯性解释真实的现象。

**主要素养与水平：**科学推理（Ⅱ）；科学本质（Ⅰ）。

#### 6. 参考解答：理

想实验是利用理想模型进行逻辑推理的思维活动，而真实实验是一种实践活动，这是两者的主要区别。理想实验作为一种抽象思维方法，对科学的发展起到了重要和积极的作用，如伽利略的斜面理想实验，不仅纠正了亚里士多德“力是物体运动原因”的观点，更为惯性定律的建立奠定了基础。著名的理想实验还有“牛顿大炮”和爱因斯坦的“追光”实验等。建议以表格的形式呈现资料查找的成果。

**命题意图：**在资料查找、文献阅读和互相分享的过程中，提升学生对科学本质的理解。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（Ⅰ）；交流（Ⅰ）；科学本质（Ⅰ）。

2. 如图 4-6 所示，伽利略设想了一个理想实验（图中两斜面底部均用一小段光滑圆弧连接），得出力不是维持物体运动的原因：

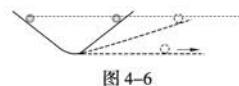


图 4-6

- (1) 减小右边斜面的倾角，小球在这个斜面上仍然要达到原来的高度。
- (2) 两个斜面对接，让静止的小球沿左边斜面滚下，小球将滚上右边另一个斜面。
- (3) 如果没有摩擦，小球将上升到原来释放时的高度。
- (4) 继续减小右边斜面的倾角，最后使它成为水平面，小球就应沿水平面一直运动下去。

将上述理想实验的设想步骤按照正确的顺序排列。在上述步骤中，哪些属于可靠的事实？哪些是理想化的推论？

3. 小鸟沿直线斜向上匀速飞行，它的飞行方向与竖直方向夹角为  $45^\circ$ 。有同学认为，小鸟一定受到一个沿其飞行方向的作用力。你的看法如何？试简述理由。
4. “复兴号”动车在某段水平轨道上匀速行驶，高铁车厢窗台上放着一只盛满水的纸杯。若突然发现纸杯中的水向前洒出，试判断此时高铁的运动状态，并简要阐述判断依据。
5. 在伽利略的时代人们就发现，从正在匀速行驶的帆船桅杆顶部落下的小球会落于桅杆底部。试根据这一现象简述小球的运动情况，并说明惯性的表现。
6. 什么是理想实验？理想实验和真实实验有何区别？理想实验虽然不是真实实验，但对物理学的发展同样起到不小的推动作用。查阅资料，了解物理学发展史上除了伽利略理想实验外，还有哪些著名的理想实验，谈谈这些理想实验是如何推动物理学发展的。

## 资料链接

### 惯性系

伽利略通过对从帆船桅杆顶部落下石块的运动分析形成了惯性定律的雏形，并以地球为静止的惯性参考系，这是因为在比较粗略的力学实验和测量中，地球是一个近似程度很好的惯性参考系。通常把惯性参考系定义为：能使牛顿第一定律成立的参考系称为惯性参考系，相对于惯性参考系匀速直线运动的参考系也是惯性参考系。仔细推敲会发现牛顿第一定律说的是物体在不受外力情况下将保持原有静止或匀速直线运动的状态，这里就出现一个问题：这种运动状态是相对哪个参考系的？如果是相对惯性系的，那么什么又是惯性系呢？

牛顿在第一定律的表述中并没有明确指出“静止状态”或“匀速直线运动状态”是对什么参考系而言的，但牛顿的思想中隐含着绝对时空的观念，认为时间和空间是绝对的，存在着绝对静止的参考系，物体的“静止”或“匀速直线运动”都是相对绝对静止参考系的。实际上一切运动都是相对的，不存在绝对静止的物体。爱因斯坦继承了这一思想，建立了相对论时空观，否定了牛顿的绝对时空观。

伽利略和牛顿都是首先选取了惯性参考系以后才讨论包括惯性定律在内的各种力学问题的。所谓惯性参考系应理解为抽象出来的科学概念。从实际操作的角度而言，既然绝对静止的参考系并不存在，在处理实际力学问题时可以选取近似的惯性系如地球、太阳、银河系中心等；因为在这些近似的惯性系中做力学实验时牛顿定律近似成立，只是近似程度不同，可以根据问题的需要和所能接受的近似程度选取。实践表明，对于一般工程技术中的动力学问题，与地球相固结的坐标系是一个很好的近似惯性系。但在研究大气或海洋的大范围运动或航天器的空间运行时，必须考虑地球自转的影响，这时地心坐标系就是一个更精确的惯性系。如果研究空间探测器的星际飞行，还需考虑地球的绕日公转，应使用日心坐标系作为惯性系。

相对惯性系做匀速直线运动的任何参考系都是惯性系，在这些参考系中，力学规律的表达形式都相同，即在任一惯性系中通过力学实验无法测定惯性系本身的速度。在《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话》中，伽利略列举了大量事实说明在做匀速直线运动的船上和在地面上的力学规律的表达形式完全相同，所有惯性参考系都是等价的。这就是力学相对性原理（也称为伽利略相对性原理）。

伽利略相对性原理是物理学基本原理之一，是牛顿时空观的基础，其正确性被大量的物理事实所证明。爱因斯坦在论文《论动体的电动力学》中将力学的相对性原理推广到物理学的其他领域，提出了狭义相对论相对性原理：在任何惯性系中，物理定律具有相同的表达形式。该原理与光速不变原理是狭义相对论的两条基本原理。

## 本节编写思路

本节分为渐进的三个层次：

1. 通过生活中的实例引发对物体受力、物体质量与物体加速度间相互关系的思考。

2. 通过学生实验探究并得到物体加速度与物体受力、物体质量间的关系。

3. 了解应用规律解决实际问题的初步规范。

在实验探究中体验控制变量和化曲为直方法在科学探究中的作用。

通过“大家谈”知道解决问题可以有多种途径，不同的方案各有其特点，学会对不同方案做出评价。

通过“示例”及其后的“大家谈”了解分析力与运动问题的基本规范和方法。

本节通过动手操作、数据分析、方案交流等环节经历科学探究的过程，有助于科学探究能力的养成、科学思维的提升和科学态度的形成。

## 正文解读

[1] “嫦娥四号”探测器是首个在月球背面软着陆的航天器，其主要任务是探测月球地质、资源等信息。2019年1月3日10时26分，“嫦娥四号”在反推发动机作用下登月成功，反映了我国科技发展的新水平。

在本节的“问题与思考”中设置了与此呼应的问题，可以通过查找资料了解登月过程，建立简化模型并讨论。

经历对实际问题的定性分析过程，有助于模型建构、科学推理和基于证据做出解释等能力的形成。

[1]



图 4-7 “嫦娥四号”探测器实现人类首次月球背面软着陆

## 第二节 牛顿第二定律

如图 4-8 所示，足球赛场上，运动员开球时踢球的力使球由静止开始运动，球的速度变大；守门员对球的力改变了球的运动快慢和运动方向。可见，物体的加速度与物体受到的力有关。



图 4-8 足球运动

只要轻轻挥拍就能明显改变乒乓球运动的快慢和方向；同样大小的力作用在铅球上，效果就不显著了。这一事例说明，物体的加速度还与其质量有关。

由上述定性的分析可知，物体的加速度与物体受力和物体质量都有关。

## 如何用实验探究加速度与物体受力、物体质量间的关系?

### [1] 学生实验

#### 探究加速度与物体受力、物体质量的关系

##### 提出问题

根据前面的定性分析我们知道，物体受力和物体质量都对加速度有影响，它们之间的定量关系如何？

##### 实验原理与方案

根据牛顿第一定律，如果物体所受的力不为零，物体将无法保持静止或匀速直线运动状态，其运动状态将发生变化，即物体有了加速度。所以，力是使物体产生加速度的原因。由于物体具有质量，需要研究加速度与物体受力和物体质量之间的定量关系。

本实验涉及  $a$ 、 $F$ 、 $m$  三个物理量，为了进一步确定它们之间的定量关系，可采用控制变量法。先保持物体质量不变，研究物体受力对加速度的影响；再保持物体受力不变，研究物体质量对加速度的影响；最后将两次研究的结论综合起来，得出物体受力和物体质量均变化时的加速度。

##### 实验装置与方法

实验装置如图 4-9 所示。

在桌面上放置平直导轨，导轨一端固定有定滑轮，导轨上放置小车；细绳与导轨平行，一端连接小车，另一端跨过定滑轮悬挂重物。

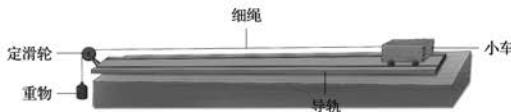


图 4-9 实验装置图

本实验的对象为小车。研究小车质量和小车受力对小车加速度的影响。用天平测量小车与重物的质量；在小车中添加砝码以改变小车的质量。分体式位移传感器、频闪照片等均可用于测量小车的加速度。在实验时，采用适当的方法尽可能消除摩擦力对小车运动的影响。可以证明，当重物的质量远小于小车的质量时，小车所受拉力  $F$  的大小近似等于重物所受重力的大小。更换不同重物来改变小车所受的拉力大小。

实验时，如何确定小车做匀加速直线运动？如何测量小车的加速度？若小车做的不是匀加速直线运动，应如何调整实验装置？

##### 实验操作与数据收集

释放小车，小车将在细绳拉力的作用下沿导轨做加速运动。保持小车的质量  $m$  不变，更换不同质量的重物，分别测量小车所受的拉力  $F$  和相应的加速度  $a$ ，并将数据记录在表 4-1 中。

满足实验条件，又能在实验时增加改变重物质量的次数，以获得较多的实验数据，有利于数据分析。

实验时需注意连接小车的细线与轨道保持平行。

### [1] 实验说明：

1. 实验的基本思路是用控制变量的方法探究物理量间的关系。

2. 所采用的实验方法会带来原理上的误差。在重物重力的作用下，重物和小车一起运动，根据牛顿第二定律，

$$a = \frac{mg}{M + m}$$

式中  $m$  为重物的质量， $M$  为小车的质量，只有当  $m \ll M$  时重物的重力大小才近似等于小车所受的拉力。这就要求在实验中对悬挂的重物做出限制。

3. 要求在实验报告中自行撰写“实验方法”“数据处理与结果分析”中的部分内容。

4. 本节“问题与思考”第 5 题给出了另一种实验方案。

由于实验方法的限制，要求拉动小车的重物质量远小于小车质量，而目前实验室所用钩码并不适用。实际操作时可以用多个回形针代替钩码，这样既可以

[1] 通过实验测得的数据作图是处理数据的一种有效方法,不仅可以减小偶然误差,还能直观反映相关物理量之间的关系与规律。

在画  $a - F$  图像时,可能会出现所得图像不过原点或图像在  $F$  较大时呈现出向下弯曲的趋势。这是由于实验中未能消除轨道摩擦的影响,或提供外力的重物质量不满足远小于小车质量的前提条件。

[2] 在利用图像处理实验数据时经常会遇到所研究的物理量之间不是线性关系的情况,此时往往需要将其转换为线性关系,使得到的图像为直线。这样做的原因是当图像为直线时,可以利用图像获得直线的斜率和截距,并根据其意义得到所需要的结果。这种化曲为直的处理方法在以后的实验中还会多次用到,如用单摆测量重力加速度实验。

保持重物不变,即小车所受拉力  $F$  不变,在小车内加入砝码,记录小车的质量  $m$ ,测量小车的加速度  $a$ ,并将实验数据记录在表 4-2 中。

表 4-1 实验数据记录表(一)

$m = \underline{\hspace{2cm}}$  kg

实验序号	拉力 $F/N$	加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		

表 4-2 实验数据记录表(二)

$F = \underline{\hspace{2cm}}$  N

实验序号	质量 $m/kg$	加速度 $a/(m \cdot s^{-2})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		

### [1] 数据分析

根据表 4-1 和表 4-2 中的数据在图 4-10 中画出  $a-F$  和  $a-m$  图像。

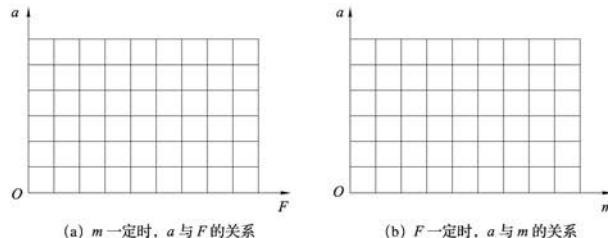
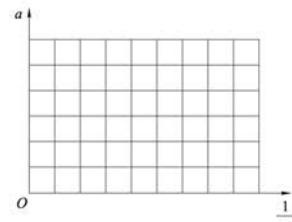


图 4-10

如果画出的图像在一条过原点的直线上,说明这两个物理量成正比。

[2] 如果画出的图像是一条曲线,就较难确定这两个物理量间的定量关系。通常可从最简单的情况入手,猜想它们有可能是反比关系,即一个物理量与另一个物理量的倒数成正比。通过转换坐标可将反比例函数的曲线转化为正比例函数的直线。若转换后的图像为过原点的直线,表明猜想是正确的。

从画出的图 4-10 (b) 可以看出  $a$  与  $m$  并不是正比关系,尝试在图 4-11 中画出  $a - \frac{1}{m}$  图像。

图 4-11  $F$  一定时,  $a - \frac{1}{m}$  图像

## 实验结论

当小车质量  $m$  一定时, \_\_\_\_\_。

当小车受力  $F$  一定时, \_\_\_\_\_。

## 交流与讨论

交流各组的实验数据、图像和结论。如果出现图像不经过原点的情况, 讨论分析可能的原因和改进实验的方法。

[1]

## 大家谈

你还能设计出不同的方案来探究加速度与物体受力、物体质量的关系吗?

## ② 加速度与物体受力、物体质量有什么关系?

通过大量实验可知:

在质量不变的情况下, 物体的加速度与所受的力成正比, 如图 4-12 所示。即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2} \text{ 或 } a \propto F$$

加速度的方向与力的方向相同。

在物体受力一定的情况下, 物体的加速度与质量成反比, 如图 4-13 所示。即

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \text{ 或 } a \propto \frac{1}{m}$$

[2] 综上所述, 物体加速度的大小与物体受到的作用力成正比, 与物体的质量成反比, 加速度的方向与作用力的方向相同。这就是牛顿第二定律 (Newton's second law)。用数学比例关系式可表示为

$$a \propto \frac{F}{m} \text{ 或 } F \propto ma$$

也可用等式表示为

$$F = kma$$

式中的  $k$  为比例系数。

只要  $k$  是常数, 关系式就能正确表示  $F$  与  $m$ 、 $a$  之间的比例关系。如果我们规定能使质量为 1 个单位的物体获得 1

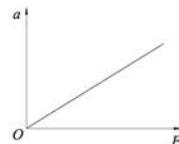
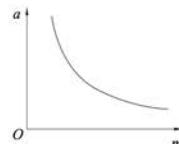
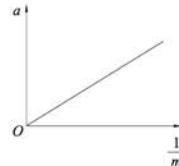


图 4-12 物体质量一定时, 其加速度  $a$  与力  $F$  的关系



(a) 力  $F$  一定时, 物体加速度  $a$  与质量  $m$  的关系



(b) 力  $F$  一定时, 物体加速度  $a$  与质量倒数  $\frac{1}{m}$  的关系

图 4-13 物体受力一定时, 其加速度  $a$  与质量  $m$  的关系

时的问题。

关于牛顿第二定律, 还需注意两个问题:

(1) 牛顿第二定律的瞬时性。牛顿第二定律定量描述了物体加速度与所受外力之间的瞬时关系。加速度与外力同时存在、同时改变、同时消失。一旦作用在物体上的外力被撤去, 物体的加速度立即消失, 这正是第一定律所要求的, 也是物体惯性的表现。

(2) 牛顿第二定律的矢量性。力和物体的加速度都是矢量,  $F = ma$  是矢量方程, 通常需分别写出在具体坐标系中的分量形式。

[1] 此处设置“大家谈”, 启发学生从多个角度设计实验方案, 思考其他方案的可行性, 并对其进行评价。

[2] 牛顿第二定律只有在惯性参考系中成立, 所研究的是宏观物体运动的规律。严格说来, 牛顿第二定律只适用于质点。如果将牛顿第二定律应用于由多个质点构成的质点系, 则需隔离各个质点再分别用牛顿第二定律处理。

对于运动过程中系统物质含量发生变化的问题, 如火箭发射过程中由于不断向外喷射气体, 导致火箭箭体质量随时间减少的情形, 则需应用牛顿第二定律更

一般的形式  $F = \frac{dp}{dt}$  处理, 式中  $p = mv$  是物体运动时的动量。用  $F = \frac{dp}{dt}$  表示的牛顿第二定

律也可以处理当物体速率接近于真空中光速  $c$

[1] 应用牛顿运动定律分析问题的基本步骤：

(1) 明确研究对象并抽象为理想模型。一个具体的力学问题，通常存在着物体间的相互作用，因此一般会涉及多个物体。而牛顿第二定律的适用对象是单个质点，因此在处理问题时首先需要明确研究对象，并将其单独抽取出并简化为质点，这就是所谓的隔离物体。

(2) 对隔离对象做受力分析。从牛顿运动定律的内容与表述可知，牛顿运动定律研究问题的出发点是物体的受力，这是应用牛顿运动定律解决问题的基础与前提。要研究物体的机械运动规律，就必须从受力分析开始，如果受力分析出现问题，则随后所做的一切分析与计算都不可能得到正确的结果。

(3) 分析对象的运动情况。在对研究对象进行正确的受力分析基础上，还需要根据实际情况对物体可能的运动情况做出分析判断，由此可以确定如何建立坐标、确定原点等问题。

(4) 根据受力和运动情况的分析列出研究对象所满足的牛顿运动定律方程，文字运算后代入数据求解，对所得结果进行分析并得出最终结论。对计算结果的分析是解决问题的一个重要环节，需关注计算结果在物理问题上的合理性。

[2] 此处设置“大家谈”，在示例 1 的基础上提出估算火箭在上升过程中其他时刻加速度的问题供同学们思考讨论，意在引导学生根据牛顿第二定律的瞬时性，明确要估算火箭在上升过程某一时刻的加速度需要考虑该时刻火箭的质量、推力大小等因素。

个单位的加速度的力为 1 个单位，那么上述等式中的常数就等于 1，这样牛顿第二定律的表达式就简化为

$$F = ma$$

在国际单位制中质量的单位为 kg，加速度的单位为  $m/s^2$ ，力的单位就是  $kg \cdot m/s^2$ ，后人为了纪念牛顿，将“牛顿”命名为力的单位，用符号 N 表示，即  $1 N = 1 kg \cdot m/s^2$ 。按上述规定，使质量为 1 kg 物体产生  $1 m/s^2$  加速度的力为 1 N。

实际上，物体所受的力往往不止一个。我们可以将物体所受的多个力等效为一个力——合力。上式中 F 指的就是物体所受的合力。

[1] 示例 1 长征二号丁运载火箭质量  $m$  约为  $2.4 \times 10^5$  kg。已知火箭发动机点火后竖直向下喷出高温、高压的气体，气体对火箭产生的初始推力接近  $3.0 \times 10^6$  N，请估算火箭启动时的加速度。

分析：分析火箭启动时的受力情况。根据牛顿第二定律即可求得其加速度。

解：以火箭为研究对象，受力分析如图 4-14 所示，火箭启动时受到向上的推力  $F$  和向下的重力  $G$ 。在这两个力的合力  $F_{合}$  的作用下，产生的加速度为  $a$ 。以竖直向上为正方向，根据牛顿第二定律

$$\begin{aligned} F_{合} &= ma \\ F - G &= ma \\ \text{所以 } a &= \frac{F - G}{m} = \frac{F - mg}{m} \\ &= \frac{3.0 \times 10^6 N - 2.4 \times 10^5 kg \times 9.8 m/s^2}{2.4 \times 10^5 kg} \\ &= 2.7 m/s^2 \end{aligned}$$



图 4-14 长征二号丁运载火箭成功发射

## 大家谈

根据示例 1 中的数据，是否能够估算火箭在其他时刻的加速度？说明理由。

示例 2 某同学用如图 4-15 所示的装置来重现伽利略的斜面实验，他将一个质量为  $m$  的小球从斜面 AB 的某一高度处由静止释放，小球经  $t_1$  时间到达水平面，接着以速度  $v_0$  滚上右侧斜面 CD，经  $t_2$  时间到达最大高度。若斜面 AB 与水平面的夹角为  $\alpha$ ，斜面 CD 与

## 问题与思考解读

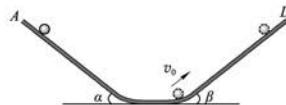


图 4-15 重现伽利略斜面实验的装置

水平面的夹角为  $\beta$ , 则小球在斜面  $CD$  上所受的合力为多大?

**分析:** 分析小球在斜面  $CD$  上的运动。由于斜面的粗糙程度未知, 仅根据斜面的倾角无法确定小球在斜面上所受的合力。所以要根据运动学规律得到小球的加速度的大小和方向; 再运用牛顿第二定律求得小球所受的合力。

**解:** 以小球为研究对象, 取  $v_0$  方向为正方向, 小球在斜面  $CD$  上做加速度为  $a$  的匀减速直线运动, 由运动学公式

得

$$v = v_0 + at$$

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

由于小球以  $v_0$  初速度沿斜面  $CD$  向上到达最高点时速度为 0, 所需时间为  $t_2$ , 所以

$$a = \frac{0 - v_0}{t_2} = -\frac{v_0}{t_2}$$

式中负号表示加速度  $a$  的方向与  $v_0$  的方向相反, 沿斜面  $CD$  向下。

由牛顿第二定律, 小球在斜面  $CD$  上所受合力

$$F_{合} = ma = -\frac{mv_0}{t_2}$$

合力为负, 表示其方向沿斜面  $CD$  向下。

### ② 为何说质量是惯性大小的量度?

惯性是物体保持匀速直线运动状态或静止状态的性质。根据牛顿第二定律  $a = \frac{F}{m}$ , 当力  $F$  一定时, 物体的质量  $m$  越大, 加速度  $a$  就越小, 运动状态越难改变, 表明物体的惯性越大; 反相, 如果物体的质量  $m$  越小, 加速度  $a$  就越大, 运动状态越容易改变, 表明物体的惯性越小。所以物体的质量是惯性大小的量度。

### 问题与思考

- 不同的物理表达式有着不同的含义, 试简述  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  和  $a = \frac{F}{m}$  这两个有关加速度  $a$  的表达式的物理含义。
- 在“探究加速度与物体受力、物体质量的关系”的实验中, 某同学提出了如下实验方案:

一步做出分析和判断

**命题意图:** 结合自身实验体验, 对不同的实验方案进行评价。

**主要素养与水平:** 质疑创新(I); 证据(II); 科学态度(I)。

- 参考解答:** (1) 由表中的数据可推测下落高度与时间的二次方成正比, 通过描点无法直接确定
- 以  $t^2$  为纵坐标,  $h$  为横坐标描点连线, 如果图像是直线, 可以确定

**命题意图:** 巩固数据处理方法。

**主要素养与水平:** 科学推理(II); 解释(III)。

### 1. 参考解答: $a =$

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$  是加速度的定义,

描述了单位时间内速度变化的快慢程度;  $a =$

$\frac{F}{m}$  是牛顿第二定律的

数学表达式, 说明物体的加速度与物体的质量和所受的外力有关, 由这两个因素共同决定

**命题意图:** 从加速度的定义和牛顿第二定律两个角度理解加速度。

**主要素养与水平:** 科学推理(II)。

### 2. 参考解答: 原

则上是可行的。但后期的数据分析处理比较复杂, 由于要研究的是加速度  $a$  与物体受力  $F$ 、物体质量  $m$  两个因素间的关系, 由分析可知  $a$  不是与  $F$ 、 $m$  的乘积有关就是与两者之比有

关。可以  $Fm$  或  $\frac{F}{m}$  为横坐标,  $a$  为纵坐标分别作图, 根据所得图像进

#### 4. 参考解答：测

量设备以恒定拉力拉动航天员，并同时测量设备提供的拉力  $F$  和航天员的加速度；再根据牛顿第二定律就能得出航天员的质量。

**命题意图：**描述测量方式，运用牛顿第二定律，解释测量原理。

**主要素养与水平：**运动与相互作用（I）；证据（I）；社会责任（I）。

**5. 参考解答：**各组实验图像不重合的原因是各组的实验研究对象不同（即质量不同）。研究加速度与质量的关系要保持  $F$  一定。可以在图中做一条与纵轴平行的直线，该直线与各条图像的交点对应的外力  $F$  一定，以各组研究对象的质量、交点对应的加速度值为数据点，画出  $a - m$  图像，进而猜测  $a$  与  $m$  可能成

反比，作  $a - \frac{1}{m}$  图像得

到并验证两者的关系。

**命题意图：**提供一种实验方案，感悟控制变量的思想。

**主要素养与水平：**科学推理（II）；解释（III）。

**6. 参考解答：**“嫦娥四号”采用垂直动力软着陆方式在月面降落，在竖直方向大致经历了减速、悬停、缓慢减速下降直至着陆的过程。在减速阶段推力大于重力，减速下降直至悬停，此时推力等于重力；随后减小并调整推力，缓慢下降直至登月。  
**提示：**指导学生查找相关资料，根据所得信息做出合理简化，画出竖直方向的  $v - t$  图像和受力分析图，两者结合展开分析。

**命题意图：**对一个比较复杂的过程做定性分析。

**主要素养与水平：**模型建构（I）；科学推理（II）；社会责任（I）。

同时改变小车的质量  $m$  及受到的作用力  $F$ ，每次实验均测量小车的质量  $m$ 、受到的作用力  $F$ ，以及运动的加速度  $a$  的大小。根据多组实验数据，能归纳出加速度、力和质量三者之间的关系。

试分析上述方案是否可行？

3. 某课外实验小组由铜球自由下落的实验获得了表 4-3 中数据和图 4-16 中的数据点。

- (1) 能否根据表 4-3 中的数据归纳出铜球下落所需时间  $t$  与释放高度  $h$  之间的关系？通过描点连线能验证这一关系吗？  
(2) 根据本节实验中用到的数据处理方法，应该选择什么坐标来作图验证？

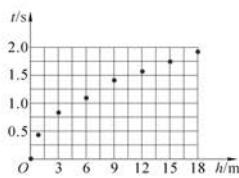


图 4-16

表 4-3

下落高度 $h/m$	下落时间 $t/s$
0	0
1	0.45
3	0.78
6	1.11
9	1.36
12	1.56
15	1.75
18	1.92

4. 查找 2013 年中国首次太空授课资料，说说在空间实验室中航天员是通过怎样的装置、根据什么原理测量自己“体重”的。

5. 在“探究质量一定时加速度  $a$  与力  $F$  关系”时，各组同学均得到一条几乎通过原点的直线。现将各组的  $a - F$  图像画在同一个坐标系内（图 4-17）。各组的实验图像并不重合，原因何在？从该图中是否可以推断出加速度  $a$  与质量  $m$  的关系？

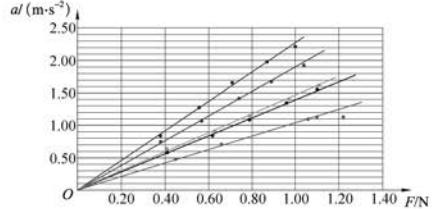


图 4-17

6. 图 4-7 所示的“嫦娥四号”探测器在软着陆过程中需要启动反冲装置，反冲装置向下喷气，使探测器获得向上的推力。试分析启动反冲装置后探测器的受力情况和运动情况。

## 资料链接

### 惯性质量与引力质量

质量是衡量物体惯性大小的物理量。实验表明,同一个力作用在不同物体上,物体加速度大小与物体的质量成反比。具体而言,相同的力  $F$  作用在两个不同的物体 1 和 2 上,两个物体的加速度分别为  $a_1$  和  $a_2$ ,如果  $a_1 > a_2$ ,说明物体 1 的惯性较小,易改变运动状态;而物体 2 的惯性较大,不易改变运动状态。因此可以用质量来衡量物体惯性的大小,这样定义的物体质量称为惯性质量。

根据万有引力定律也可以对质量做出定义,两个不同质点受到距离相等的另一质点的万有引力大小不同,由此可以定义引力质量,是质点间引力相互作用能力大小的量度。在经典力学范畴可以证明惯性质量与引力质量相等。设地球表面附近一个质点的引力质量为  $m_g$ ,惯性质量为  $m_i$ ,则该质点受到地球的引力  $F = \frac{GM_E m_g}{R^2} = m_g g$ ,当其自由下落时,根据牛顿第二定律有  $F = m_i g$ ,可见  $\frac{m_i}{m_g} = 1$ 。通过实验可以确认引力质量与惯性质量相等(实验精度为  $10^{-12}$ ),因此通常对两者不再加以区分,统称为质量。爱因斯坦在引力质量与惯性质量相等的基础上提出了广义相对论的一个基本假设——等效原理。

## 本节编写思路

本节从实例引出统一单位制的现实意义，介绍质量、长度、时间三个熟悉的物理量在SI中的单位，进而了解SI规定的基本量与导出量，从单位制的视角理解物理量之间的关系。

通过“大家谈”学会用单位制判断物理规律正确与否，为质疑提供可靠的推理依据。

通过“示例”明确在同一单位制下，把物理量的运算转化为数学运算的规范，为计算中表达式的简化提供基础。

通过本节能体会单位对于描述不同属性物理量的意义，感悟基本量与导出量的关系，学会物理单位的规范表述，认识到科学的发展需要合作，培养严谨的科学态度与责任。

## 正文解读

[1] 原子钟利用原子在不同能级间的跃迁频率作为计时标准，原子的热运动会对原子钟的计时精度产生影响。冷原子钟利用激光冷却和俘获技术使原子处于绝对零度附近( $\mu\text{K}$ 量级)，从而将计时精度提高了1~2个数量级。“天宫二号”搭载了首台在轨运行并开展科学实验的空间冷原子钟，在基础研究和技术应用上都具有重要意义。

原子钟技术的发展将推动计时标准和授时精度的提高。

[1]

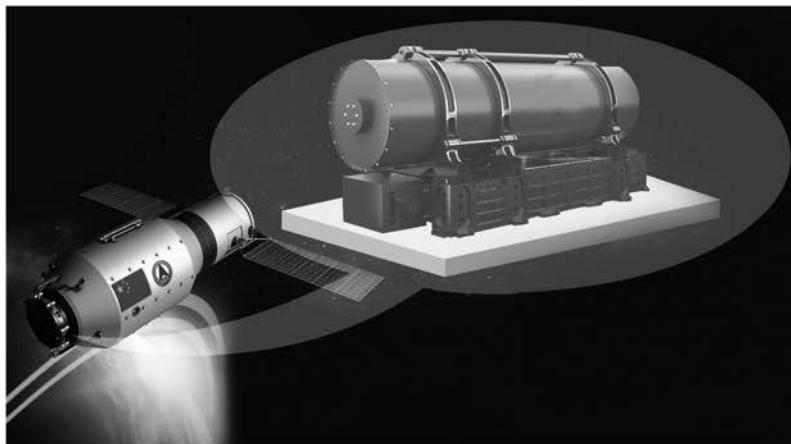


图4-18 “天宫二号”上的空间冷原子钟

### 第三节 力学单位制

物理学是一门以实验为基础的学科。在实验的过程中常要测量某个或几个物理量，测量结果既要表示出数值，也要有相应的计量单位。同一个物理量可以有不同的单位。以前，各个国家都有自己规定的物理量单位，相互换算起来既繁琐又容易出错，不利于各国间科学技术信息的交流。美国航天局曾发射过一枚探测火星气象的卫星，该卫星并没有进入预定轨道，而是进入火星大气层，并最终坠毁。经调查，事故原因是设计方与制造方使用的数据单位不一致。航天公司设计时的数据使用了英制单位；而工程师们没有换算直接输入了计算机，导致卫星的航向出现偏差。1960年第11届国际计量大会制定了一种国际通用的、包括一切计量领域的单位制——国际单位制（international system of units），简称SI。国际单位制很快就被世界上大多数国家采用，有力促进了各国间的贸易往来和科学技术交流。

#### 何谓国际单位制？

国际单位制由基本单位和导出单位组成。在力学中，把长度、质量、时间作为基本量。它们的单位米（m）、千克（kg）和秒（s）就是基本单位。用基本物理量的单位根据物理量之间的关系所推导出的其他物理量的单位叫导出单位。根据位移的单位m和时间的单位s，

利用  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$  导出速度的单位为 m/s；利用  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  导出加速度的单位为 m/s<sup>2</sup>。

[1] 在国际单位制中共有 7 个基本单位。除了上述 3 个力学基本量和相应的基本单位外，在热学、电磁学、光学等领域中，还有 4 个基本量和基本单位，如表 4-4 所示。由这 7 个基本单位能导出其他各个物理量的单位。

表 4-4 国际单位制的基本单位 \*

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	<i>l</i>	米	m
质量	<i>m</i>	千克	kg
时间	<i>t</i>	秒	s
电流	<i>I</i>	安[培]	A
热力学温度	<i>T</i>	开[尔文]	K
物质的量	<i>n</i>	摩[尔]	mol
发光强度	<i>I</i>	坎[德拉]	cd

随着科学技术的发展，测量的精度和范围不断发展。如图 4-18 所示为我国自行研制的世界上最先投入使用的空间冷原子钟。用它计时，2 000 万年才误差 1 s，它将目前人类在太空的时间计量精度提高了 1~2 个数量级，使我国天基冷原子传感器的研究走在了世界的最前沿。手机芯片上近乎 1 cm<sup>2</sup> 的面积内集成着数十亿个晶体管，加工精度需以纳米计。

为了简单明了地表示数值特别大或者特别小的物理量，我们往往在常用的单位前加上特殊的前缀，例如，纳米 (nm) 就是在单位米 (m) 前加了前缀“纳”，表示 10<sup>-9</sup>。各种常用前缀和其对应的数量级列于书末附录中。

### 大家谈

有同学在研究变速直线运动时得到了这样的关系式： $x = vt + \frac{1}{2} at^2$ ，请根据单位制的知识判断该关系式是否合理。

示例 质量  $m$  为  $7.5 \times 10^4$  kg 的民航飞机，从静止起沿平直跑道匀加速至 80 m/s 离地。当飞机的加速度  $a$  小于 4 m/s<sup>2</sup>，乘客不会感到不适，估算飞机在此加速阶段所受的最大合力和最短时间。

\* 单位名称用简称表达时，方括号中的字可省略。

[1] 历史上，测量单位是基于实物或物质的特性来定义的，但这些实物会随时间推移或环境改变而变化。科学家们发现自然界的一些基本自然常数不会发生变化，因此一直都在致力于建立一个不依赖于物理实物的完整测量体系。

2018 年第 26 届国际计量大会通过了关于“修订国际单位制(SI)”的决议。根据决议，千克(kg)用普朗克常数  $h$  定义，安培(A)用电子电荷  $e$  定义，开尔文(K)用玻尔兹曼常数  $k$  定义，摩尔(mol)用阿伏加德罗常数  $N_A$  定义。

这样的修订使所有的基本单位都建立在自然界的基本物理常数上，由这些自然常数组成普遍、通用的测量基础，形成一个更加可靠、一致、全范围(大至很大，小至很小)的测量体系。

[1] “拓展视野”介绍了“千克”定义的发展。自1889年以来，千克是由放在法国巴黎国际度量衡局的一个铂铱合金(90%的铂,10%的铱)圆柱体所定义,它的高和直径均约39 mm。该合金于1879年制成,并于10年后成为国际千克原器。国际千克原器被放置在巴黎市郊的地下室内,人们一直认为这一合金的质量不会改变。实际上,到了1992年,国际千克原器的质量就发生了变化。经与其他“千克”原器相比,国际千克原器变化了约50 μg。新定义的千克对应“普朗克常数为 $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$ 时的质量单位”,其原理是将移动质量为1 kg物体所需的机械力换算成可用普朗克常数表达的电磁力,再通过质能公式算出质量。

## 问题与思考解读

### 1. 参考解答: 因

为 $W=Fs$ , 所以 $1\text{ J}=1\text{ N} \times 1\text{ m}=1\text{ kg} \times 1\text{ m/s}^2 \times 1\text{ m}=1\text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$

**命题意图:** 不仅知道物理量的单位,也要关注单位与物理规律之间的关系。

**主要素养与水平:** 科学推理(I)。

分析: 由题意可知飞机起飞阶段的最大加速度为 $4\text{ m/s}^2$ , 根据牛顿第二定律可求得合力 $F$ 的大小; 已知飞机做匀加速运动的加速度 $a$ 和末速度 $v_t$ 的数值, 根据匀加速直线运动速度和时间的关系, 即可得到加速所用的时间 $t$ 。

解: 以飞机为研究对象, 根据已知条件及牛顿第二定律, 飞机起飞阶段所受的最大合力

$$F=ma=7.5 \times 10^4\text{ kg} \times 4\text{ m/s}^2=3 \times 10^5\text{ N}$$

设飞机在此加速阶段的末速度为 $v$ , 以最大加速度 $a$ 加速耗时最短, 设最短时间为 $t$ , 由运动学公式

$$v=v_0+at$$

得飞机起飞阶段所需的最短时间

$$t=\frac{v-v_0}{a}=\frac{80\text{ m/s}-0\text{ m/s}}{4\text{ m/s}^2}=20\text{ s}$$

不难发现, 当已知量的单位全部采用国际单位制单位时, 计算结果的单位也必然是用国际单位制单位表示。因此, 在统一已知量的单位后, 就不必在计算时逐一写出每个物理量的单位, 只要写出与所计算的物理量对应的国际单位制单位即可。由此, 示例中的计算过程可简化为

$$F=ma=7.5 \times 10^4 \times 4\text{ N}=3 \times 10^5\text{ N}$$

$$t=\frac{v-v_0}{a}=\frac{80-0}{4}\text{ s}=20\text{ s}$$

[1]

### 拓展视野

一百多年来, 千克都是由一个铂铱合金圆柱体——国际千克原器定义的。在这一百多年间, 六个相同材料制成、处于同等保存条件下的国际千克原器复制品与国际千克原器在质量一致性上发生了约 $50\text{ }\mu\text{g}$ 的变化。2018年11月16日, 国际计量大会作出决定, 用物理学的基本常量——普朗克常量重新定义了千克。自此, 所有的国际单位制单位都由描述客观世界的物理常量来定义, 这些定义都可以通过技术得以复现, 保证了国际单位制单位的稳定性。

### 问题与思考

- 我们知道, 如果一个物体在力 $F$ 的作用下沿着力的方向移动了一段距离 $s$ , 这个力即对物体做功 $W=Fs$ , 其中功的单位是焦耳(J)。试用基本单位米(m)、千克(kg)、秒(s)之间的关系来表示焦耳(J)。

2. 某同学在分析直线运动的问题时得到了  $v = \frac{F}{m} t^2$  的表达式。在代入数据前，该同学想用单位制的方法检查其正确性，试作出这一检查，判断该式是否合理。
3. 手指甲的生长速率有多大？约多少只蚂蚁首尾相接才能围绕地球赤道一周？试简述估算方法，并用科学记数法来表示估算结果。
4. 汽车行驶时，如果空气阻力很大，会增加汽车燃油消耗量或严重影响汽车的动力性能。经研究，人们发现空气阻力的大小  $F_{\text{阻}}$  与空气密度  $\rho$ 、物体迎风面积  $S$ 、物体与空气的相对运动速度  $v$  均有关，关系式为  $F_{\text{阻}} = k\rho S v^x$ ，其中  $k$  是一个无单位的常数。请根据国际单位制推断速度  $v$  的指数  $x$  的数值。
5. 查阅资料，了解“米”的定义的发展历史。为什么要多次变更“米”及其他基本单位的定义？

制的应用。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**5. 参考解答：**通过单位制的发展历史可见，科技发展和社会进步推动了单位制精度不断提高，各国的单位制趋于统一。新定义用“常数”代替“实物”，保证了单位制的长期稳定、客观通用、准确和可复现。

**命题意图：**回溯历史，了解单位制的发展和意义，了解物理学与计量技术之间的关系，感受单位制的换算和统一在物理学研究和工程技术中的重要性。

**主要素养与水平：**科学本质(Ⅰ)；社会责任(Ⅰ)。

**2. 参考解答：**将  $F$  的单位表示为  $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ，等式右边各物理量的单位合并后为  $\text{m}$ ，与等式左边的单位不一致。因此该表达式不正确。

**命题意图：**了解单位制的应用。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)。

**3. 参考解答：**提示：这是一个开放性的问题，应说明根据什么样的证据获得合理的数据、采用怎样的方法估算。

**命题意图：**知道如何进行估算，能清晰表述自己的方案。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ)；证据(Ⅲ)。

**4. 参考解答：**由  $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \text{m}^2 \cdot \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^x = \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^{x-1}}{\text{s}^x}$  为力的单位  $\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}$ ，得  $x=2$ 。

**命题意图：**考查单位

## 资料链接

### 量 纲

物理量的单位是量度物理量数值大小的标准,可以利用物理量的单位检验物理关系的正确与否,这一方法的基础是量纲分析。

一个物理量的量纲只描述它的性质不包含它的数量,如长度量纲 L,质量量纲 M,时间量纲 T。无任何联系且相互独立的量纲称为基本量纲,如 L、M、T;由基本量纲可得到导出量纲,如速度量纲为  $LT^{-1}$ ,密度量纲为  $ML^{-3}$ ,力量纲  $MLT^{-2}$  等,力学中涉及的任一物理量,其量纲总可以表示为  $M^{\alpha}L^{\beta}T^{\gamma}$ 。

由多个物理量构成的描述物理规律的关系式应满足量纲一致性原则,即凡正确反映客观规律的物理方程,其各项的量纲是一致的。可应用这一原则检验物理公式的一致性和完整性,确定公式中物理量的指数。量纲不同的物理量之间只能进行乘、除运算,不能进行加、减运算。

## 本节编写思路

[1]



图 4-19 气垫船

### 第四节 牛顿第三定律

拔河比赛中两队同时向相反方向拉绳子，两队拉力大小有什么关系？让我们通过实验来检验。

如图 4-20 所示，将两队队员简化为两个人：甲和乙。为了能够测出双方相互作用力的大小，让甲、乙两人各执一个弹簧测力计，来一场特殊的“双人拔河赛”。

无论谁赢得比赛，双方手中的弹簧测力计都有示数，且示数相同。

两个弹簧测力计都有示数，说明甲、乙两人间的拉力是成对出现的。当你用力拍桌子时，手会感觉痛，觉得桌子也在用力拍你。可见手和桌子间的作用力是成对出现的。手拉弹簧，手会感受到弹簧的拉力；手压弹簧，手会感受到弹簧的压力。说明手和弹簧间的作用力也是成对出现的。运动员用桨向后划水，同时水对桨有向前的推力作用，使船得以前行（图 4-21）。直升机的螺旋桨向下推空气，空气向上推螺旋桨，使直升机得以在空中悬停（图 4-22）。

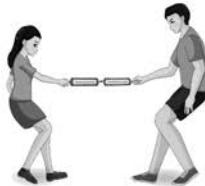


图 4-20 两位学生通过弹簧测力计互拉



图 4-21 运动员用桨向后划水使船前行

1. 通过具体事例感受物体间存在相互作用，体会物体间相互作用的普遍性，引发对物体间相互作用的具体关系的思考。

2. 利用演示实验了解物体间相互作用的特点，通过归纳了解其基本规律。

3. 在应用规律解释实际问题的过程中理解牛顿第三定律，知道作用力和反作用力的作用对象不同，作用效果也不尽相同。

本节给出情境各异的多个事例引导讨论交流，促进对物体间相互作用的理解，通过归纳得出规律。经历思考、分析、观察、交流和总结的探究过程将有助于形成基于证据进行推理的意识和能力，理解规律所反映的科学本质。

## 正文解读

[1] 气垫船依靠高

速气流在船体与支撑面（水面或地面）间形成气垫，能在内河急流、险滩和沼泽地行驶，具有广泛的应用。了解气垫船的推进方式，能加深对本节内容的理解，拓展相关视野，理解相互作用的广泛性。

“大家谈”栏目的内容与此对应。

大量的观察和实验表明，两个物体之间的作用总是相互的，力总是成对出现的。一个物体对另一个物体施加了力，另一个物体一定同时施力于这个物体，两个力的方向总是相反的。物体间相互作用的一对力，我们称其中任意一个力为作用力，另一个力为反作用力。

### ② 作用力和反作用力之间存在什么关系？

我们来做一个实验。如图 4-23 所示，将 A、B 两个力传感器连接在一起，用手拉。通过计算机观察到两个力传感器所受拉力随时间的变化如图 4-24 所示，两个力的大小始终相等。

[1] 牛顿第三定律表明，作用力和反作用力总是以大小相等、方向相反的方式成对出现，它们同时出现，同时消失。由于作用力和反作用力分别作用于两个物体上，因此不能相互抵消。另外，作用力和反作用力属于同一种性质的力。

当我们把两个物体看作一个系统时，相互作用力是系统的内力。由于内力在系统内是成对出现的，系统的内力之和总是为零，所以它们不会对系统的整体运动(如系统质心的运动速度)产生影响。



图 4-22 悬停在空中的直升机螺旋桨向下推空气

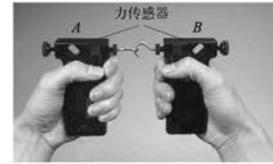


图 4-23 用力传感器研究作用力和反作用力的关系

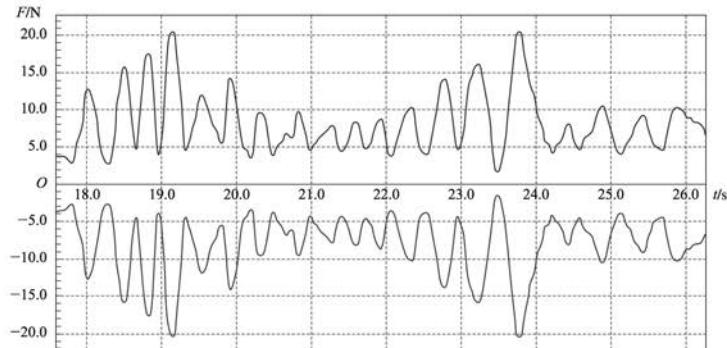


图 4-24 两个力传感器所受拉力随时间变化的关系

在前面的双人拔河赛中我们也看出甲、乙两人间的一对拉力(作用力和反作用力)的大小是相等的。

[1] 通过大量的实验和观察可以归纳得出：两物体间的一对作用力  $F$  和反作用力  $F'$  总是大小相等、方向相反、作用在同一条直线上。这就是 300 多年前，牛顿发现的牛顿第三定律 (Newton's third law)，即  $F = -F'$ 。

### 作用力和反作用力为何不能互相抵消?

[1] 作用力和反作用力分别作用在两个不同的物体上，因此，它们的作用效果是不能抵消的。二力平衡时，两个力也是大小相等、方向相反、沿同一条直线，但它们作用在同一个物体上，作用效果可以互相抵消。杯子放在水平桌面上，杯子受到的重力和桌面对杯子的支持力都作用在杯子上，作用效果可互相抵消。但是，杯子对桌面的压力和桌面对杯子的支持力，作用在不同的物体上，其效果是不能抵消的。火箭发射的过程中，大量气体从火箭后端高速喷出，火箭对气体有向下的作用，同时气体助推火箭向上加速，同样也是作用力和反作用力(图4-25)，作用效果不能互相抵消。



图4-25 长征二号F运载火箭将天宫一号目标飞行器发射升空

[2]

### 大家谈

如图4-19所示，气垫船在黑龙江上行驶。你知道船尾的大“风扇”起什么作用吗？分析一下它们是如何发挥作用的。

### 问题与思考

1. 汽车拉着拖车在水平道路上沿直线加速行驶，根据牛顿运动定律判断下列说法是否正确，并简述理由。

- (1) 汽车拉拖车的力大于拖车拉汽车的力。
- (2) 汽车拉拖车的力等于拖车拉汽车的力。
- (3) 汽车拉拖车的力大于拖车受到的阻力。
- (4) 汽车拉拖车的力等于拖车受到的阻力。

2. 如图4-26所示，用一个手指竖直向上将一木块顶在天花板上，试指出这里有哪几对作用力和反作用力。

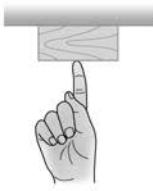


图4-26

大小

**命题意图：**学习分析受力方法，区分不同类型的力，初步应用牛顿运动定律。

**主要素养与水平：**科学推理(I)；科学论证(II)。

**2. 参考解答：**天花板与木块间、手与木块间、地球与木块间存在作用力和反作用力。

**命题意图：**通过受力分析理解作用力和反作用力。

**主要素养与水平：**科学推理(I)。

[1] 火箭受到气体推力向上运动，由于燃料不断喷出，箭体质量发生变化，无法用牛顿运动定律求解。应用动量定理可得到火箭所受推力为  $F = u \frac{\Delta m}{\Delta t}$ ，式中  $u$  为喷出气体相对火箭的速度， $\frac{\Delta m}{\Delta t}$  为箭体质量的变化率，即单位时间喷出的气体质量。

[2] 此处设置“大家谈”，应用牛顿第三定律解释气垫船上风扇的作用。这里会涉及肉眼看不见的空气，教师可以用小船配风扇的简易装置来模拟，提供真实的体验和感受。

### 问题与思考解读

#### 1. 参考解答：

(3) 正确。汽车拉拖车的力与拖车拉汽车的力是一对作用力与反作用力，大小相等、方向相反。拖车加速前进，汽车对拖车的拉力大小大于地面对拖车的阻力。

**3. 参考解答：**支持力的反作用力方向向下，作用于树枝

**命题意图：**学习画受力分析图。

**主要素养与水平：**科学推理(I)。

**4. 参考解答：**鸡蛋与石头间的相互作用力大小相等，鸡蛋碎了而石头没有碎是由于两个物体的材质不同

**命题意图：**解释简单的现象，打破思维定式。

**主要素养与水平：**科学推理(I); 科学本质(I)。

**5. 参考解答：**球同时受到左侧球员向右的作用和右侧球员向左的作用；球也对两位球员施以反作用力。由于球最终落到了右侧，说明左侧球员的施力大于右侧球员的施力

**命题意图：**简单综合应用牛顿第二、第三定律。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(I); 科学推理(I)。

3. 如图 4-27 所示，一只小鸟落在树枝上，试在图中画出小鸟所受支持力的反作用力。

- 4.《荀子·议兵》中讲到：“以卵投石”。拿鸡蛋去碰石头，比喻不自量力，自取灭亡。鸡蛋碰石头，石头没有损坏，鸡蛋却碎了，原因是什么？

5. 排球赛场上的运动员正在进行激烈对抗。左侧球员跳起吊球，右侧球员拦网，两侧球员同时与球接触，球落到了右侧球员界内。试分析两侧球员和球之间存在哪些作用力，比较这些力的大小，并说明理由。



图 4-27

## 资料链接

### 关于牛顿第三定律

牛顿第三定律所指的力是由于物体相互接触产生的,或通过“超距作用”产生的。“超距作用”可以理解为力的传递不需要时间,或力的传递速度无限大。如果力以有限的速度传递,牛顿第三定律就不一定成立了。如图1所示,假设物体2静止不动,物体1在 $t_1$ 时刻位于P点,并以速度v向右运动,在 $t_2$ 时刻运动到Q点。由于力的传递速度是有限的,当物体1到达Q点时,它在P处对物体2的作用力刚传到物体2处,因此物体2受到的作用力 $F_{f21}$ 方向向下;此时( $t_2$ 时刻),物体1受到物体2的作用力 $F_{f12}$ 指向右上方,这是由于物体2一直处于静止状态,它产生的作用力已传递到空间各处。因此 $F_{f12} \neq -F_{f21}$ 。

相互作用的传递速度一般较大(如万有引力和电磁力都以光速传递)。在牛顿力学中,物体运动速度远低于光速,可忽略延迟效应,牛顿第三定律成立。而在电磁作用下,带电粒子运动速度可接近光速,延迟效应明显,此时带电粒子之间的相互作用力就不满足牛顿第三定律了。在这种情况下,必须把传递相互作用的场考虑在内,并以更普遍的动量守恒定律来代替牛顿第三定律。

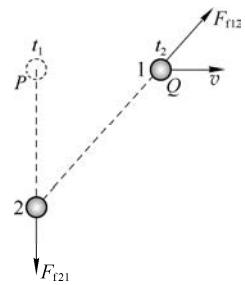


图 1

## 本节编写思路

本节以拔河比赛中力学问题为载体，感受应用牛顿运动定律分析问题的一般思路，认识受力分析是研究力学问题的基础，体会模型建构的方法。

通过“示例”学习应用牛顿定律解决力与运动问题的解题规范，知道牛顿运动定律所能解决的两类问题。

在“自主活动”中体会用分段处理的方法，理解整体与局部的关系。

本节的学习经历将促进对牛顿运动定律的理解，引导对所学内容的总结与综合，体会模型建构、演绎推理、综合分析的作用，养成严谨、规范地处理问题的习惯。

## 正文解读

[1] 赛车是学生喜爱的一项竞技运动，包含着科技水平和工业能力的竞争。车辆的运动与牵引力、阻力、加速性能和质量紧密相关，应用牛顿运动定律分析相关问题，有助于模型建构、综合分析能力的提高。

本节以此作为切入点，引出讨论主题——牛顿运动定律的应用。

[1]



图 4-28 赛车

## 第五节 牛顿运动定律的应用

宏观世界中，无论陆、海、空各种交通工具的运动还是火箭发射和宇宙航行，都遵循着牛顿运动定律。例如，为了使图 4-28 所示的赛车提速，不仅需要考虑动力和阻力等因素，还要为车体瘦身减重；航空母舰设计时不仅要考虑舰载机安全起飞，为了使舰载机在航空母舰上安全降落，还设计了拦阻索来缩短舰载机的着舰滑行距离。我们几乎时时处处都要用到牛顿运动定律去解决遇到的问题。下面将运用牛顿运动定律来分析几个事例，体会用牛顿运动定律解决问题的过程和方法。

### ② 哪些力决定了拔河比赛的输赢？

如图 4-29 所示，两队正在进行拔河比赛，最终左队获胜。

由于比赛的具体参与者很多，情况比较复杂，我们仅分析右队恰好被获胜的左队拉得向前滑行的情况。我们像上一节开始时一样，将情况简化为两位队员直接互拉，并将队员抽象为两个质点，分析其受力。

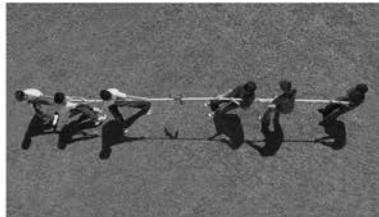


图 4-29 进行中的拔河比赛

[1] 根据牛顿第三定律, 左、右两队间的拉力是一对作用力和反作用力, 大小相等, 方向相反。如图 4-30 所示, 左队队员受到右队的拉力  $F_{T1}$ 。因此, 左队队员有相对于地面向右运动的趋势, 地面对左队队员有一个向左的摩擦力  $F_n$ 。同理, 可对右队队员作受力分析。

对于获胜的左队, 只要  $F_{T1}$  的大小不超过其与地面间的最大静摩擦力, 必有  $F_{T1} = F_n$ , 左队队员所受合力为零。根据牛顿第一定律, 队员保持静止状态。

对于失利的右队, 其与地面间的最大静摩擦力比左队的小, 小于右队所受的拉力, 即  $F_{T2} < F_n$ , 合力不为零, 方向向左。根据牛顿第二定律, 右队的加速度向左, 滑向左边, 从而输掉了比赛。

在本例中决定输赢的是左、右两队在水平方向所受的合力。左队之所以会赢是因为他们受到的合力为零, 右队之所以会输是因为向左的合力改变了他们的运动状态。

在上述实例中, 我们根据两队的受力情况, 运用牛顿运动定律讨论了决定拔河比赛输赢的原因。在其他情况下同样可以根据物体的运动状态变化, 依据牛顿运动定律分析其受力情况。

示例 质量为 60 kg 的滑雪运动员不借助雪杖, 从倾角为  $30^\circ$  的斜坡上自静止起沿斜坡向下加速滑行 (图 4-31), 滑行 200 m 通过标志杆时的速度大小为 40 m/s。估算滑雪运动员所受的阻力。 $(g \text{ 取 } 10 \text{ m/s}^2)$

分析: 把滑雪运动员抽象为质点, 把情境转化为示意图, 分析运动员的受力情况。根据运动员的运动情况, 分析加速度, 按需要建立坐标系, 运用牛顿运动定律和运动学规律求解。

解: 以运动员为研究对象, 画出运动员从雪坡上下滑的受力分析, 如图 4-32 所示。

[2] 已知运动员的质量  $m = 60 \text{ kg}$ , 则运动员受到的重力为

$$G = mg = 60 \times 10 \text{ N} = 600 \text{ N}$$

运动员的下滑过程可视为初速度为零的匀加速直线运动, 加速度  $a$  沿斜面向下。以沿斜坡向下为正方向,

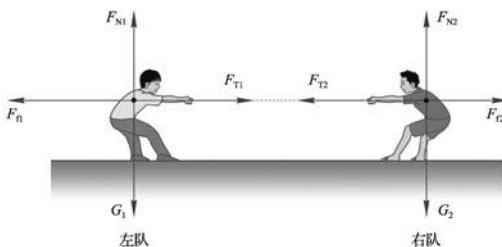


图 4-30 两队队员受力分析



图 4-31 运动员从雪坡上下滑

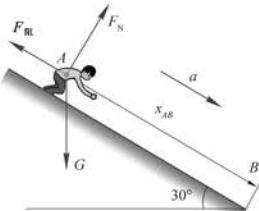


图 4-32 运动员的受力分析

大者占优。如果假设两人体重相等, 但相互作用不沿水平方向而上述其他假设不变, 通过简单分析可知身材高者占优。

[2] 在前面课程中, 曾经强调物理量有相应单位, 因此在代入数据进行计算时, 需同时写出数值和单位。但通过第三节单位制的讨论可知, 如果在代入数据前已经把所有物理量的单位以 SI 表示, 那么最后结果一定也是由 SI 表示的单位, 在这种情况下, 就不必逐一写出每个物理量的单位而只要写出最后结果的 SI 单位。以后的计算书写均按此规范即可。

[1] 由于分析两队拔河的情况较为复杂, 故将其简化为两人之间的拔河场景。即便如此, 仍需做出多方面的近似。首先是假设两人之间通过直接的相互作用, 把绳子视为其中一人手臂的延伸, 其原因是只有这样才能认为拔河双方间的相互作用是作用力和反作用力。如果两人通过拔河绳互拉, 则虽然在不可伸长轻绳的前提下两人受到绳子的拉力相等, 但两人之间的相互作用并不是一对作用力与反作用力。

选择最简单的模型, 将两人均视为质点, 相互作用是一对作用力与反作用力, 两人与地面之间的摩擦因数相等, 沿水平方向发生相互作用。在此前提下通过受力分析可知, 胜负并不取决于谁的力气大, 而是由两人所受的地面摩擦力决定, 由于摩擦因数相等, 故体重

则运动员的初速度  $v_A = 0 \text{ m/s}$ , 末速度  $v_B = 40 \text{ m/s}$ , 位移  $x_{AB} = 200 \text{ m}$ , 由运动学规律可得

$$\begin{aligned} v_B^2 - v_A^2 &= 2ax_{AB} \\ a &= \frac{v_B^2 - v_A^2}{2x_{AB}} = \frac{40^2 - 0}{2 \times 200} \text{ m/s}^2 = 4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

运动员的加速度  $a = 4 \text{ m/s}^2$ , 方向沿斜坡向下。

根据牛顿第二定律, 运动员所受的合力也沿斜坡向下, 垂直于斜坡方向上的合力为零。取  $x$  轴平行于斜坡向下, 取  $y$  轴垂直于斜坡向上, 建立坐标系。沿  $x$  与  $y$  方向分解重力, 如图 4-33 所示。

$$\begin{aligned} F_x &= G \sin \theta \\ F_y &= G \cos \theta \end{aligned}$$

沿  $x$  方向的合力使运动员沿斜坡向下加速运动, 根据牛顿第二定律得

$$\begin{aligned} F_x - F_{\text{阻}} &= ma \\ F_{\text{阻}} &= F_x - ma \\ &= G \sin \theta - ma \\ &= (600 \times 0.5 - 60 \times 4) \text{ N} \\ &= 60 \text{ N} \end{aligned}$$

滑雪运动员所受的平均阻力为  $60 \text{ N}$ , 方向沿斜坡向上。

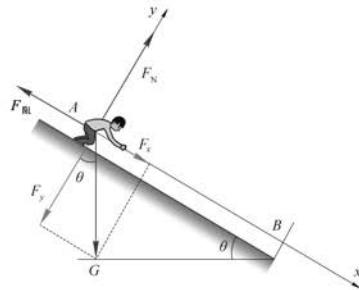


图 4-33 沿  $x$ 、 $y$  方向分解重力

在本示例中, 我们先根据运动员的运动情况求出他的加速度; 再运用牛顿运动定律确定运动员的受力情况。有时我们也会运用牛顿运动定律根据物体的受力来确定物体的运动情况。这两种类型的应用都是人们认识客观世界、进行科学探究的重要途径。

当我们坐过山车加速上升时, 会感到人被紧紧地压在座椅上不能动弹; 而当过山车加速向下俯冲时, 则又会有悬空感。如果你仔细体会, 乘电梯上、下楼的过程中也会有类似感受。这些感受都与“超重”和“失重”现象有关。

### 何谓超重与失重?

[1] 测量体重时, 人对秤的压力与人所受的重力大小相等。但是, 如果人在秤上突然下蹲或突然起立, 秤的示数就会发生改变。手持悬挂重物的细线并保持重物静止时, 线上的拉力大小等于重物所受的重力大小。若手突然加速上提, 细线可能会断裂, 说明线上的拉力

**[1]** 当物体在地球表面沿竖直方向做加速或减速运动时, 就会发生超重或失重现象。超重和失重现象的产生与物体的运动速度无关, 仅取决于物体的加速度, 且发生超重与失重现象时物体所受到的重力并不发生变化。超重与失重现象可总结如下:

运动情况	超重、失重情况	视重
匀速运动	无	$mg$
加速度竖直向上, 大小为 $a$	超重	$mg + ma$
加速度竖直向下, 大小为 $a$	失重	$mg - ma$
加速度竖直向下, 大小为 $g$	完全失重	0

在细线断裂前变大了。这些现象都与竖直方向的运动有关。让我们通过实验来研究。

在电梯顶板上固定一个力传感器，将重物挂在力传感器的挂钩上。当电梯静止时通过力传感器测得的示数即为重物对力传感器拉力的大小，与重物所受重力  $G$  的大小相等。电梯从底楼由静止起上升，最后停在顶楼。重物对传感器拉力大小在此过程中随时间的变化如图 4-34 所示。

- [1] 电梯上升过程中经历了先加速后匀速再减速的运动过程。在电梯加速上升的过程中，重物对力传感器的拉力大于重物所受的重力；在电梯减速上升的过程中，重物对力传感器的拉力小于重物所受的重力；在电梯匀速上升的过程中，重物对力传感器的拉力大小等于重物所受的重力。物体对悬绳的拉力或对支持物的压力大于物体所受重力的现象，称为超重（overweight）现象。物体对悬绳的拉力或对支持物的压力小于物体所受重力的现象，称为失重（weightlessness）现象。

## [2] 自主活动

根据图 4-34 所示的  $F-t$  图像大致画出电梯上升过程的  $v-t$  图像，并说明你的作图依据。

牛顿三大运动定律是牛顿力学的基础。在我们的生活、生产和科学实践中，无论是大楼、桥梁及太空站的结构，还是汽车、飞机、火箭、人造卫星及各种天体的运动，或是岩石、地壳、洋流、大气等的移动，都遵循牛顿力学规律。

牛顿系统总结了伽利略、开普勒（J. Kepler, 1571—1630）和笛卡尔等人的研究成果，以实验为指导，利用伽利略开创的观测与数学分析相结合的方法，才在前人工作的基础上提出了牛顿运动定律。所以，一个规律的发现不可能只经过几次简单的实验就得以实现。科学家们要搜集已有的实验事实，在此基础上归纳出某一规律。这一过程既需要谨慎的态度、求实的作风，也需要勇气和信念。

300 多年前建立的牛顿力学至今在人类的生活、生产和科学实践中依然发挥着重大作用。牛顿力学中所建立的许多基本概念、基本规律和基本方法都已经推广到物理学的其他领域和其他学科。牛顿力学可以说是人类历史上建立的第一个重要的科学理论。科学家们通过建立一套基本观念、基本概念，以及定律、公式等，对复杂的自然现象作出解释，充分体现了人类的智慧。

因此在航天员看来，受到引力和具有加速度两者是等价的。爱因斯坦从惯性质量与引力质量相等出发，在分析思考了引力和惯性的关系后提出了广义相对论的等效原理（弱等效原理）：不能在局部区域内分辨力是由加速度产生的还是由物体产生的，在局域范围内加速场与引力场等价。

[2] “自主活动”需要学生对电梯中的重物受力分析，运用牛顿第二定律，根据图 4-34 逐段分析重物的加速度，画出大致的  $v-t$  图像。这是用多段运动的  $v-t$  图像展示比较复杂的运动过程，也是牛顿运动定律的应用。

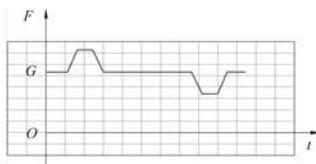


图 4-34 电梯从底楼上升到顶楼过程力传感器示数随时间的变化

[1] 如果一个人站在电梯中，当发生超重或失重现象时，电梯地板对他的作用力大小就等于视重大小。爱因斯坦提出了这样一个思想实验：如果在远离所有天体的宇宙深处，航天员处于一个密闭的太空舱中，太空舱以大小为  $g$  的加速度向上加速运动，此时航天员所受太空舱地板对他的作用力大小为  $mg$ 。由于航天员并不知道太空舱的运动情况，因此他可以认为这是因为太空舱在向上以大小为  $g$  的加速度做加速运动；也可以认为太空舱是静止在一个重力加速度为  $g$  的星球表面，他受到了星球引力的作用。这就出现一个问题，虽然在两种情况下航天员都会发现地板对他的作用力是  $mg$ ，但如果是前一种情况， $m$  是惯性质量，而如果是后一种情况， $m$  是引力质量。由于惯性质量与引力质量相等，

## 问题与思考解读

第五节 牛顿运动定律的应用 103

1. 参考解答：合力约为 30 N

命题意图：根据运动求合力。

主要素养与水平：  
模型建构（I）；科学推理（II）。

2. 参考解答： $a_1 = \frac{F-f}{m}$ ,  $a_2 = \frac{2F-f}{m}$   
因此,  $a_2 > 2a_1$

命题意图：对相似的情境进行比较。

主要素养与水平：  
科学推理（II）。

3. 参考解答：约为 90 N, 与棒球运动速度方向相反

命题意图：简单建模，从运动求力。

主要素养与水平：  
模型建构（I）；科学推理（II）。

4. 参考解答：跑动阶段和滑行阶段 依据是受力情况不同。  
或：跑动阶段、上滑阶段和下滑阶段；依据是受力情况、运动规律不

同（注：分段方式与分段依据要对应）

命题意图：运动的分段分析。

主要素养与水平：科学推理（II）；科学论证（II）。

5. 参考解答：以加速度  $g$  减速上升或加速下降

命题意图：通过实际事例理解超重和失重。

主要素养与水平：运动与相互作用（I）；科学推理（II）；社会责任（I）。

6. 参考解答：(1) 某人在地面上最多能举起 60 kg 的物体，此人的最大举力为  $F = mg = 60 \times 10 \text{ N} = 600 \text{ N}$ ，则加速下降的电梯中，根据牛顿第二定律，得  $mg - F = ma$ ，解得  $a = \frac{mg - F}{m} = \frac{800 - 600}{80} \text{ m/s}^2 = 2.5 \text{ m/s}^2$

### 问题与思考

1. 磁浮列车是连接上海浦东国际机场的重要交通工具之一，列车运行最高速度为 430 km/h。若列车从车站开出后可视作匀加速直线运动，经过 4 min 就可达最高速度。求一位质量为 60 kg 的乘客在列车加速过程中受到的合力有多大？

2. 质量为  $m$  的木块放置于粗糙的水平桌面上。若用大小为  $F$  的力水平拉木块，其加速度为  $a_1$ ；当拉力方向不变，大小变为  $2F$  时，木块的加速度为  $a_2$ 。试写出  $a_1$  与  $a_2$  的关系，并比较两者的大

3. 如图 4-35 所示，一个质量为 0.15 kg 的棒球被球员接住的过程中，速度会在大约 0.05 s 内从 30 m/s 骤减到 0，作用在这个棒球上的力约为多大？方向如何？



图 4-35

4. 滑板运动员在斜坡上练习。他从倾角为  $\theta$  的斜坡低端携带滑板以加速度  $a$  由静止开始沿直线向上“奔跑”；经时间  $t$  后，突然双脚站立在滑板上，继续上滑；最后沿原路退滑到出发点。这是他完成的一次练习。这样一次练习过程可以分为哪几个阶段？说说你分段的依据。

5. 图 4-36 所示为在飞行中的大型客机内进行失重训练的中国航天员。他们正处于接近完全失重的状态。说一说此时客机的运动状态。



图 4-36

6. 某人在地面上最多能举起 60 kg 的物体，而在一个加速下降的电梯里最多能举起 80 kg 的物体。（ $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ ）

(1) 求电梯的加速度。

(2) 若电梯以此加速度上升，此人在电梯里最多能举起物体的质量是多少？

$2.5 \text{ m/s}^2$  方向竖直向下 (2) 若电梯以此加速度减速上升, 则根据牛顿第二定律, 此人仍然能举起  $80 \text{ kg}$  的物体; 若电梯以同样大小的加速度加速上升, 根据牛顿第二定律, 得  $F - m'g = m'a$ , 解得  $m' = \frac{F}{g+a} = \frac{600}{10+2.5} \text{ kg} = 48 \text{ kg}$

**命题意图:** 从实际问题中提取研究对象和运动过程。

**主要素养与水平:** 模型建构(I); 科学推理(II)。

[1] 这是一个制作活动,要求设计并制作一个可以用于实际测量的加速度计。在设计方案时应关注加速度的定义和产生原因,在此基础上确定测量原理,思考实现方法,选择合适的材料完成制作。在制作完成后应考虑如何定标,分析误差原因、寻求改进方案并加以改进。

总结报告需对设计、制作和改进的整个过程做出说明,并给出使用说明书。

[2] 这是一个探究活动。要求根据所学知识,以及掌握的各种测量方法,通过观察现象,设计方案,记录数据,总结规律,探究超重和失重现象的条件。探究的过程和结果以研究报告的形式呈现,并在各个小组间相互交流和评价。

通过本活动应了解探究过程的一般步骤,知道如何利用合适的方法、器材和测量手段获取数据,学会分析和解读数据并得出结论。本活动需要分工协作完成。

## 学期 活动

[1]

### 1. 设计并制作一个能动态显示加速度大小的加速度计。

交通工具的加速度过大引起乘客的不适,甚至会造成安全事故。如何测量加速度?以地铁加速出站、减速进站或竖直升降电梯的升降为场景,根据牛顿第二定律设计一个置于地铁或电梯内能测量加速度的装置——加速度计。以小组为单位制作实物,撰写配套的操作说明书。

活动要求:

- (1) 说明测量地铁或电梯加速度的原理。
- (2) 根据所选场景的需要,设计制作加速度计的方案。说明使用的主要器材和配件,画出加速度计的结构示意图。
- (3) 制作加速度计。
- (4) 分别用制作的加速度计测量地铁或电梯升降的加速度。
- (5) 根据实际测量的过程和数据,对制作的加速度计进行评价,提出改进措施。
- (6) 撰写操作说明书,进行实物展示和交流。
- (7) 在制作与测量过程中注意安全。

[2]

### 2. 研究发生超重和失重现象的条件。

我们已经讨论了电梯上升时发生的超重和失重现象。乘坐电梯下降时,乘客也会有类似的体验。设计一个探究方案,在竖直升降电梯中研究这一现象,归纳发生超重和失重现象的条件,完成研究报告。

活动要求:

- (1) 描述超重和失重现象。
- (2) 制定研究方案。
- (3) 进行实验,处理数据。
- (4) 归纳总结得出结论。
- (5) 撰写研究报告。
- (6) 交流研究方案和结论,互相评价。
- (7) 在电梯升降过程中注意安全。

## 小结

### · 基本概念和基本规律

**牛顿第一定律：**一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，除非有作用力迫使它改变这种状态。

**惯性：**物体具有的保持匀速直线运动状态或静止状态的性质。质量是惯性大小的量度。

**牛顿第二定律：**物体加速度的大小与物体受到的作用力成正比，与物体的质量成反比，加速度的方向与作用力的方向相同， $F = ma$ 。

**作用力和反作用力：**力总是成对出现的。可称其中任意一个力为作用力，另一个力为反作用力。

**牛顿第三定律：**两物体间的一对作用力  $F$  和反作用力  $F'$  总是大小相等、方向相反、作用在同一条直线上， $F = -F'$ 。

### · 基本方法

通过惯性概念建立的历史过程，认识理想实验方法。

经历探究加速度与物体受力、物体质量的关系的活动，感受控制变量方法在实验中的作用，认识数据获取、分析和处理的基本方法。

### · 知识结构图



## 复习与巩固解读

106 第四章 牛顿运动定律

### 1. 参考解答:

- (a) 向右减速或向左加速 (b) 向右加速或向左减速 (c) 匀速行驶或静止

**命题意图:** 观察现象, 由现象分析运动情况。

### 主要素养与水平:

运动与相互作用(I); 科学推理(I)。

### 2. 参考解答:

- (a) 风扇对空气有向右的作用力, 空气的反作用力作用在风扇上, 方向向左, 导致船向左运动 (b) 帆受到风向右的作用, 故船向右运动

**命题意图:** 根据不同情况区分研究对象, 应用牛顿第三定律。

### 主要素养与水平:

运动与相互作用(I); 科学推理(II)。

### 3. 参考解答:

没有矛盾 牛顿第二定律公式  $F=ma$  中的  $F$  指的是物体所受的合力, 而不是其中的某一个

力。我们用水平力推一个放在水平地面上很重的木箱时, 木箱受到的力有四个, 竖直方向上有两个, 竖直向下的重力  $G$ , 竖直向上的支持力  $F_N$ , 水平方向也有两个, 水平推力  $F$ , 地面给木箱的静摩擦力  $F_f$ , 这些力的合力为零

**命题意图:** 理解牛顿第二定律, 理解静摩擦力。

### 主要素养与水平:

运动与相互作用(I); 科学推理(II)。

### 4. 参考解答:

这位同学的判断正确 直升机 A 机头略向下, 螺旋桨对空气的作用力向下向后, 空气对螺旋桨的反作用力向上向前, 飞机加速。直升机 B 的机头略向上, 融旋桨对空气的作用力向下向前, 空气对螺旋桨的反作用力向上, 向后, 飞机减速。若考虑空气阻力的影响, 直升机 A 也可能向右匀速或减速飞行

**命题意图:** 从实际情境中提取信息, 分析物体受力。

## 复习与巩固

1. 一个盛有水的玻璃碗置于火车车厢内的水平桌面上。垂直于火车行驶方向从碗的侧面观察, 水面形状分别如图 4-37(a)、(b)、(c) 所示时, 火车正在做什么运动?

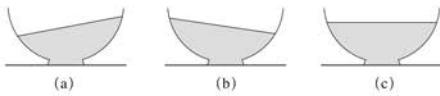


图 4-37

2. 在如图 4-38 所示的两种情况中, 电扇接通电源后, 船分别会向哪边运动?



图 4-38

3. 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, 我们用水平力推一个放在水平地面上很重的木箱, 却没有推动。这跟牛顿第二定律有没有矛盾? 试解释这个现象。

4. 如图 4-39 所示的两架直升机在某一高度向右飞行。某同学根据图中信息判断直升机 A 在加速前进, 直升机 B 在减速前进。他的判断是否正确? 说明理由。

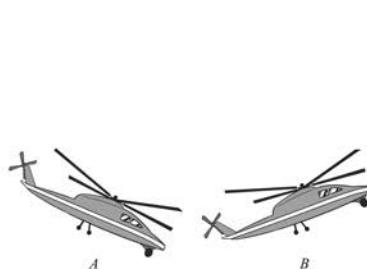


图 4-39

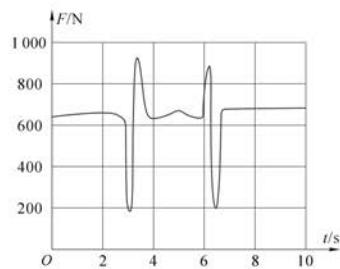


图 4-40

5. 一同学站在体重计上直立、下蹲或起立, 记录的压力  $F$  随时间  $t$  变化的图线如图 4-40 所示。根据图线, 该同学在第 2 s 至第 8 s 的时间内可能在体重计上做什么运动?

**主要素养与水平：**

科学推理(Ⅱ);科学论证(Ⅱ)。

**5. 参考解答：**

由图像可知,这位同学的体重约为600 N,压力大于600 N,该同学处于超重状态,加速度向上;压力小于600 N,该同学处于失重状态,加速度向下。因此,在2~8 s,这位同学由立正状态,先下蹲;静止一会儿,在6 s时起立,后立正。

**命题意图：**从图像获取信息做出解释。

**主要素养与水平：**

科学推理(Ⅱ);科学论证(Ⅱ)。

**6. 参考解答：**

(1) 火箭发射前处于静止状态,在发射过程中,速度逐渐增大,这是由于受到的推力大于重力和空气阻力,合力向上,所以向上做加速运动。青蛙的跳跃过程可分为两个阶段,起跳阶段与火箭发射类似,地面的支持力大于重力,速度

6. 如图4-41所示为火箭发射过程与青蛙跳跃过程中的某一瞬间。

(1) 火箭和青蛙的运动状态是如何变化的?变化的原因是什么?

(2) 火箭启动时的推力远远大于青蛙蹬地产生的推力,但火箭的质量也远远大于青蛙的质量,

所以火箭启动时的加速度不一定大于青蛙跃起时的加速度,这一分析是否合理?

7. 一艘轮船质量约为5000 t。该船从航速20节匀减速到停止共需30 min。请估算减速运动中轮船所受的阻力。(1节=1.852 km/h)

8. 质量为 $1.0 \times 10^3$  kg的汽车在倾角为 $37^\circ$ 的斜坡上由静止开始匀加速爬升,汽车受到的牵引力为 $1.5 \times 10^4$  N,坡面阻力恒为 $4.0 \times 10^3$  N。 $(g \text{ 取 } 10 \text{ m/s}^2)$

(1) 该车在爬升的第6 s末的速度可以达到多少?

(2) 如果该车在爬坡过程中还受到空气阻力的影响,且空气阻力与车速的二次方成正比,那么是否还能够用牛顿第二定律求得第6 s末的速度?说明理由。

9. 一无人机沿着与地面成 $30^\circ$ 的方向斜向上匀加速起飞,刚起飞的第1 s内飞行了4.9 m。已知无人机的质量为3 kg。试分析空气对无人机的作用力。

10. 在某科技活动中,一位同学设计了一个加速度测量仪。如图4-42(a)所示,将一端连有摆球的细线悬于小车内O点。当小车运动时,小球与小车保持相对静止后,测量出悬绳与竖直方向的夹角 $\theta$ ,便可通过该角度计算得到小车此时的加速度值。

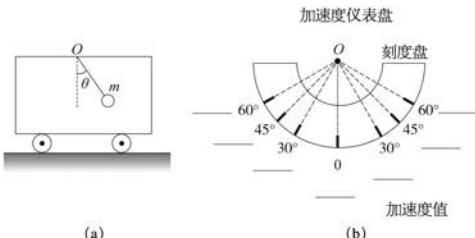


图4-42

增大;斜向上跃起后,受到向下的重力作用,速度减小,方向也发生变化 (2) 这一分析有一定的道理。因为两者启动时,受到了推力和自身重力的作用,假设两者受到的推力均竖直向上,则根据牛顿第二定律:

$$\text{推力 } F - mg = ma, \text{ 得 } a = \frac{F}{m} - g, \text{ 所以当 } F \text{ 和 } m \text{ 都很大时,并不能确定加速度一定就大}$$

**命题意图：**分析实际的运动过程,加深对牛顿第二定律的理解。

**主要素养与水平：**科学推理(Ⅱ);质疑创新(Ⅰ)。

7. 参考解答:  $2.86 \times 10^4$  N,与船运动方向相反

**命题意图：**运用牛顿运动定律解决实际问题,了解不同领域的常用单位及换算方法。

**主要素养与水平：**运动与相互作用(Ⅰ);科学推理(Ⅱ)。

## 8. 参考解答:

(1) 对汽车进行受力分析,根据牛顿第二定律:  
 $F - mg \sin \theta - f = ma$ ,  
得  $a = 5 \text{ m/s}^2$ 。根据匀加速直线运动规律:

$$v = at = 30 \text{ m/s}$$

(2) 牛顿运动定律是描述物体机械运动的基本规律,只要知道物体所受合力,就能通过求解牛顿第二定律的方程得到其运动情况。本问题中阻力不是恒力,受限于数学知识,不能求得6 s末的速度。若阻力与速度成正比且知道比例系数,可用平均阻力代替变力,也可用牛顿第二定律求解

**命题意图:**理解牛顿运动定律是处理机械运动问题的基本规律,明确在高中知识背景下所能处理的问题范围。

**主要素养与水平:**科学推理(Ⅱ);科学论证(Ⅰ)。

**9. 参考解答:**无人机起飞做初速度为零的匀加速直线运动,由

$$x = \frac{1}{2}at^2, \text{ 可得 } a = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 4.9}{1^2} \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ m/s}^2, \text{ 与重力加速度大小相等。}$$

无人机受到竖直向下的重力  $G$ 、空气对其作用力  $F$ ,根据平行四边形定则,受力分析如图2所示。根据牛顿第二定律,合外力方向与加速度方向一致,沿运动方向,与水平方向的夹角为30°。合外力大小  $F = ma = mg = G$ 。由平行四边形法则可求得  $F = \sqrt{3}G = \sqrt{3} \times 3 \times 9.8 \text{ N} \approx 50.9 \text{ N}$ , 方向:斜向上与地面成60°

**命题意图:**牛顿运动定律、匀变速直线运动规律和力的合成与分解法则的综合应用。

**主要素养与水平:**运动与相互作用(Ⅰ);科学推理(Ⅱ)。

(1) 请填写图4-42(b)中刻度盘上的角度对应的加速度值。

(2) 运用该测量仪测量加速度,会有些哪些局限性。

11. 研究“蹦极”运动时,安装在人身上的传感器可测量人在不同时刻下落的高度及速度。设人及所携设备的总质量为60 kg,弹性绳原长为10 m。如图4-43(a)所示,人从蹦极台由静止下落,根据传感器测到的数据,得到图

4-43(b)所示的速度-位移图像( $v-x$ 图像)。

- (1) 根据图4-43(b)提供的信息说明人在离开蹦台到弹性绳拉直过程中的运动能否看作是自由落体运动。  
(2) 试根据人下落过程中不同阶段的受力情况,分析人在整个下落过程中运动状态的变化。  
(3) 说明人在下落过程中哪一位置速度最大,在这个位置上的受力有什么特点?

12. 迷你实验:“气球火箭”比赛。

实验目的:用牛顿运动定律解释“气球火箭”的运动情况。

实验器材:气球、吸管、细绳、胶带、刻度尺等。

实验步骤:

- (1) 细绳穿过吸管后将两端固定,作为导轨。  
(2) 吹起气球后封口,防止漏气。将气球用胶带固定于吸管上,如图4-44所示。  
(3) 放开气球口,气球将沿着导轨运动。  
(4) 拍摄“气球火箭”从启动到停止的视频。  
(5) 用不同的气球重复步骤(2)~(4)。

比一比:哪个气球跑得最近?

算一算:哪个气球的平均速度最大?

分析视频,描述“气球火箭”从启动到停止的运动情况。用牛顿运动定律解释“气球火箭”为何如此运动。

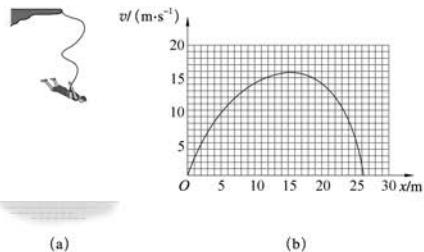


图4-43



图4-44

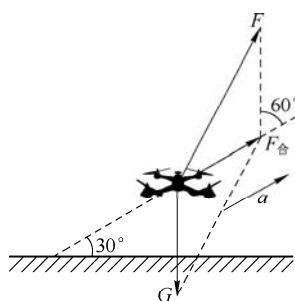


图2

**10. 参考解答:** (1) 物体受重力和绳子拉力作用,合力  $F = mg \tan \theta$ ; 根据牛顿第二定律  $mg \tan \theta = ma$ , 得  $a = g \tan \theta$ 。以不同的  $\theta$  值代入即得如图 3 所示结果 (2) 局限性: 只能测量小车同方向水平直线运动时的加速度,对于车辆转弯、上下坡等运动难以适用;当小车运动不稳定时摆线也无法稳定(言之有理即可)

**命题意图:** 根据物体运动状态,运用牛顿运动定律,计算和标记物体加速度。体会运用规律设计测量装置的过程,为学期活动做铺垫。

**主要素养与水平:** 质疑创新(I); 证据(II); 解释(II)。

**11. 参考解答:** (1) 由速度-位移图像可见,当绳子拉直瞬间,速度为 14 m/s。如果运动员在下落 10 m 的过程中做自由落体运动,则应满足自由落体运动规律,即在下落 10 m 处的速度  $v = \sqrt{2gh}$ , 以  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $h = 10 \text{ m}$  代入,得  $v = 14 \text{ m/s}$ , 与实际测得的数据一致。可见运动员所受空气阻力可以忽略,其运动可抽象为自由落体运动 (2) 下降过程可分为三个阶段。第一阶段运动员做自由落体运动。当弹性绳拉直后,开始第二阶段的运动。在此过程中运动员受到向上的拉力作用,拉力随绳的伸长而增大。只要绳的拉力小于运动员所受重力,合力向下,运动员仍做加速运动(加速度减小的加速运动);当拉力增大到等于重力时,运动员所受合力为零,速度达到最大,即图中的 15 m 处;此时第二阶段结束。第三阶段运动员继续向下运动,此时拉力大于重力,合力向上,运动员做减速运动(加速度增大的减速运动),直至速度为零达到最低点,此时运动员距下落点距离约 26.1 m (3) 由图像可知,当下落到 15 m 处速度最大。根据第(2)小题的分析,此时拉力等于重力,运动员所受合力为零

**命题意图:** 将实际问题转化为抽象图像;从图像获取证据做出解释;分析较为复杂的运动过程。

**主要素养与水平:** 模型建构(III); 科学推理(III); 解释(III)。

**12. 参考解答:** 提示: 分小组按步骤做一做,开展一场比赛。用视频记录气球运动的过程,供分析比较

**命题意图:** 将所学知识指导实际活动,分析运动过程。

**主要素养与水平:** 证据(II); 交流(I)。

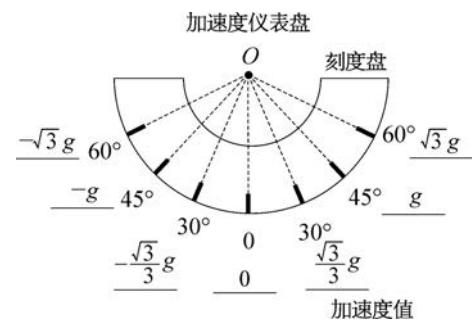


图 3

## 第三部分 本章练习部分解读

### 第一节 牛顿第一定律

#### (一) 参考解答

1. 速度
2. 不发生变化 不发生变化
3. 维持 改变
4. A
5. 见下表

说 法	判 断	错 误 之 处
由于钢材有惯性,在汽车制动时,继续向前运动,压扁驾驶室	正确	
由于汽车紧急制动,使车的惯性减小,而钢材仍有较大的惯性,继续向前运动	错误	惯性是物体的固有属性,惯性的大小取决于物体的质量,而与物体的运动速度无关

6. 由于人具有惯性,跳起后在水平方向不受其他力的作用,保持与船相同的运动,所以落地点与起跳点重合

7. 物体不会突然停下,将保持水平拉力变为零时的速度做匀速直线运动

8. 小球由于惯性,保持原来的静止状态,列车带着人向前加速,就向着小球运动起来,于是就发现小球向人滚来

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	科学推理	科学论证	科学本质
1		I		
2		I		
3		I		I
4		I		
5		II	II	
6	II			I
7	I	II		
8	II	I		

## 第二节 牛顿第二定律

### (一) 参考解答

1. 物体受到了力的作用

2. 物体受力 加速运动中准确地读出弹簧测力计的示数比较困难

3. 合力 质量 合力

4. (1) 由图(c)可知,在相同时间内 5 辆小车的位移之比为 1 : 2 : 3 : 4 : 5。由于小车在拉力作用下做匀加速直线运动,位移  $x = \frac{1}{2}at^2$ ,各小车的加速度之比也为 1 : 2 : 3 : 4 : 5 (2) 小车的加速度之比可

用(1)中的方法,根据相同时间的位移之比确定,小车所受拉力可通过钩码数量确定,利用控制变量法进行实验。保持小车质量相同,5 辆小车悬挂不同数量的钩码,通过测量获得小车的加速度之比,根据所得数据作  $a - F$  图像,如果为直线,则表明小车的加速度与其所受拉力成正比;保持 5 辆小车悬挂的钩码数

量相同,每辆小车上放置数量不同的配重片,通过测量获得小车的加速度之比,根据所得数据作  $a - \frac{1}{m}$  图

像,如果为直线,则表明小车的加速度与小车的质量成反比

5. 3 kg 9 N

6. 20 N 30 N

7.  $\frac{F - \mu mg}{m}$

8. 1 m/s<sup>2</sup>,方向向东 5 m/s<sup>2</sup>,方向为东偏南 37° 图略

9. 15 m/s

10. 滑块的运动为初速度为零的匀加速直线运动,位移  $x = \frac{1}{2}at^2$ 。根据实验数据绘制  $x - t^2$  图像,由图像的斜率  $k$  得到  $a = 2k$ 。对滑块进行受力分析,沿斜面向下和垂直于斜面向下分解重力,根据牛顿第二定律,得  $mg \sin \alpha - \mu mg \cdot \cos \alpha = ma$ ,则  $\mu = \tan \alpha - \frac{2k}{g \cos \alpha}$

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	证据
1			I	
2			I	
3			I	
4			II	II
5			II	
6			II	
7			II	
8	II		II	
9		II	II	
10		II		II

## 第三节 力学单位制

### (一) 参考解答

1. 长度 质量 时间 米(m) 千克(kg) 秒(s)
2. 基本 导出 基本 导出
3.  $\frac{1\text{ N}}{1\text{ kg}} = \frac{1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2}{1\text{ kg}} = \frac{1\text{ m}}{1\text{ s}^2}$
4. 汉代的 1 尺约为 23 cm, 刘备的身高约为 173 cm, 张飞的身高约为 185 cm, 关羽的身高约为 208 cm
5. 不同的地区采用不同的单位制,不方便交流(言之有理即可)

### (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	科学推理	证据	解释	社会责任
1	I	I			
2	I	I			
3	I	II		I	
4	I	I	I		
5	I				I

## 第四节 牛顿第三定律

### (一) 参考解答

1. 杆对吊扇的拉力 吊扇对地球的引力
2. (1) 这两个力大小相等,方向相反 重力  $G$  与支持力  $F_N$  作用在木块上 性质不同 称为一对平衡力 (2) 这两个力大小相等,方向相反 支持力  $F_N$  作用在木块上,压力  $F_N$  作用在水平面上 性质相同,均为弹力 称为一对作用力与反作用力
3. 这两个情境都是合理的 外国大力士手向上拉大地,大地对大力士也有向下的反作用力,使大力士深陷地中;中国大力士自举,即用手向上抬自己的下肢,下肢对手也有向下的反作用力。根据牛顿第三定律,这两个力大小相等,方向相反,沿同一直线分别作用在下肢和手上。但是这两个力都作用在大力士这个整体上,对大力士的整体而言,这两个力的合力为零,所以大力士整体不会被提起
4. 水平方向上共有 3 对作用力与反作用力: 手拉绳子的拉力与绳子对手的拉力,绳子对木块的拉力与木块对绳子的拉力,木块对粗糙水平面的静摩擦力与粗糙水平面对木块的静摩擦力
5. 这两个力的大小相等、方向相反 轮胎受到的是绳子对轮胎拉力,学生受到的是绳子对他的拉力,施力物体都是绳子,不是作用力和反作用力

### (二) 习题主要素养与水平分析

#### 习题的主要素养与水平

题号	科学推理	科学论证	解释
1	I		
2	I		
3	I	I	
4	I		I
5		I	

## 第五节 牛顿运动定律的应用

### (一) 参考解答

1. 物体所受合力 合力 合力
2. 4 向西 提示: 撤去一个向东的力等效为在原有基础上增加一个同样大小的向西的力
3. 大于 重力
4. 向下的加速 向下的减速 失重 超重 提示: 向下加速运动时,加速度向下,向下减速运动时,加速度向上
5. 如图 4 所示,圆  $O$  位于竖直平面内,  $A$  点为圆周上的最高点。伽利略的观点是,无论斜面  $AB$  与直径  $AD$  的夹角  $\theta$  多大,物体沿斜面  $AB$  下滑的时间均相同。当物体沿与竖直方向成  $\theta$  角的斜面  $AB$  滑下时,合力  $mg \cos \theta = ma$ , 物体的加速度为  $a = g \cos \theta$ , 斜面  $AB$  长  $x = d \cos \theta$  (式中  $d$  为圆的直径), 所以物体沿斜面滑下的时间  $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{\frac{2d \cos \theta}{g \cos \theta}} = \sqrt{\frac{2d}{g}}$ , 与角度  $\theta$  无关。这说明伽利略的观点是正确的,前提条件是不计斜面与物体间

5. 如图 4 所示,圆  $O$  位于竖直平面内,  $A$  点为圆周上的最高点。伽利略的观点是,无论斜面  $AB$  与直径  $AD$  的夹角  $\theta$  多大,物体沿斜面  $AB$  下滑的时间均相同。当物体沿与竖直方向成  $\theta$  角的斜面  $AB$  滑下时,合力  $mg \cos \theta = ma$ , 物体的加速度为  $a = g \cos \theta$ , 斜面  $AB$  长  $x = d \cos \theta$  (式中  $d$  为圆的直径), 所以物体沿斜面滑下的时间  $t = \sqrt{\frac{2x}{a}} = \sqrt{\frac{2d \cos \theta}{g \cos \theta}} = \sqrt{\frac{2d}{g}}$ , 与角度  $\theta$  无关。这说明伽利略的观点是正确的,前提条件是不计斜面与物体间

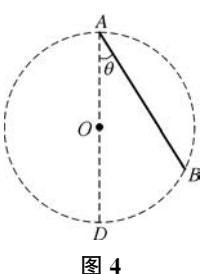


图 4

的摩擦

6. 因两个物体的形状相同,它们所受的空气阻力  $F$  相等。设下落过程中阻力大小不变,则下落物体的加速度  $a = g - \frac{F}{m}$ ,  $m$  越大  $a$  越大,质量越大的物体下落得越快

7. 根据牛顿第二定律,在推力一定的条件下,质量越小获得的加速度越大。将助推器燃料耗尽后脱离,有助于火箭获得更大的加速度。根据牛顿第三定律,脱离时火箭对助推器有一个向后的的作用力,助推器会对火箭有向前的反作用力,有利于火箭加速

8. 由于相邻两个位置对应的时间间隔相等,相邻两个位置间的距离对应的是钢球在相等时间内的位移。由图可见,钢球在相等时间内的位移减小,说明钢球的速度在减小,所以合力向上。且钢球相邻相等时间的位移之差也在减小,说明钢球的加速度在减小。钢球受向上的阻力和向下的重力,合力减小,所以阻力也在减小。所以,阻力随速度减小

9.  $\sqrt{v_0^2 - 2\mu\left(1 + \frac{m}{M}\right)gL} - \mu g \quad \sqrt{\frac{2h}{g} \left[ v_0^2 - 2\mu\left(1 + \frac{m}{M}\right)gL \right]} - \mu h$  推理过程:若  $t > t'$ , 小球落地前滑块已停止运动,则由  $0 = v^2 - 2a's'$ , 得  $v_0^2 - 2\mu\left(1 + \frac{m}{M}\right)gL = 2\mu gs'$ , 由此解得  $s' = \frac{v_0^2}{2\mu g} - \left(1 + \frac{m}{M}\right)L$

10. (1) 匀速直线运动 1.937 (2) 先做加速度减小的加速运动,再做匀速直线运动 纸杯受到重力和空气阻力的作用,阻力随速度增大而增大,合力减小,加速度减小。所以做加速度减小的加速运动,当重力等于阻力时,加速度为零,做匀速直线运动。纸杯越多,其重力越大,阻力与重力相等时的速度也越大,与图像吻合

## (二) 习题主要素养与水平分析

习题的主要素养与水平

题号	运动与相互作用	模型建构	科学推理	科学论证	解释	社会责任
1	I		I			
2	I		II			
3	I		I			
4		I	I			
5		II	II			
6		II	II			
7				II		I
8			III	III	III	
9			III	III		
10			III		III	

## 第四部分 本章实验与活动部分解读

### 1. 自主活动 观察滑块在气垫导轨上的运动

(1) 气垫导轨上表面是两个对称的斜面,分析其对滑块的作用力方向。

**参考解答：**气流与导轨表面垂直，气流对滑块的作用力与两侧对称的斜面垂直，合力向上

**命题意图：**用已有的物理知识进行推理。

(2) 轻推滑块后，滑块在气垫导轨上做何运动？解释其原因。

**参考解答：**滑块在气垫上来回运动，在较长时间内速度大小几乎不变。滑块在气垫导轨上运动时，在竖直方向上滑块受重力和高速气流对其竖直向上的升力，二力平衡；水平方向，仅有滑块与气流的相互摩擦，当滑块的水平速度不太大时，摩擦的影响可忽略不计，因而水平方向不受力的作用，滑块保持匀速直线运动

**命题意图：**根据现象，进行分析与推理。

## 2. 学生实验 探究加速度与物体受力、物体质量的关系

细绳一端系小车，另一端跨过滑轮悬挂重物，实验中认为小车受到的拉力大小等于绳端系着的重物受到的重力大小，试进行简单的推理说明这是一种近似。

**参考解答：**重物做匀速运动时，拉力等于重物的重力。实验中，重物加速下降，拉力一定不等于重物的重力

**命题意图：**用已有的物理知识做出解释。

## 附录二 物理学科核心素养的水平划分

水平	物理观念
水平 1	能从物理学的视角观察自然现象,具有将物理学与实际相联系的意识
水平 2	形成初步的物理观念,能从物理学的视角解释一些自然现象,能应用物理知识解决一些实际问题
水平 3	具有物理观念,能从物理学的视角描述和解释自然现象,能应用物理知识解决实际问题
水平 4	具有清晰的物理观念,能从物理学的视角正确描述和解释自然现象,能综合应用物理知识解决实际问题,能指导工作和生活实践
水平 5	具有清晰、系统的物理观念,能从物理学的视角正确描述和解释自然现象,能灵活应用所学的物理知识解决实际问题,能有效指导工作和生活实践
	科学思维
水平 1	能说出一些简单的物理模型;能对常见的物理现象进行简单分析;能区别观点和证据;知道质疑和创新的重要性
水平 2	能在熟悉的问题情境中应用常见的物理模型;能对比较简单的物理现象进行分析和推理,获得结论;能使用简单和直接的证据表达自己的观点;具有质疑和创新的意识
水平 3	能在熟悉的问题情境中根据需要选用恰当的模型解决简单的物理问题;能对常见的物理现象进行分析和推理,获得结论并作出解释;能恰当使用证据表达自己的观点;能对已有观点提出质疑,从不同角度思考物理问题
水平 4	能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型;能对综合性物理问题进行分析和推理,获得结论并作出解释;能恰当使用证据证明物理结论;能对已有结论提出有依据的质疑,采用不同方式分析解决物理问题
水平 5	能将较复杂实际问题中的对象和过程转换成物理模型;能在新的情境中对综合性物理问题进行分析和推理,获得正确结论并作出解释;能考虑证据的可靠性,合理使用证据;能从多个视角审视检验结论,解决物理问题具有一定的新颖性
	科学探究
水平 1	具有问题意识;能在他人指导下使用简单的器材收集数据;能对数据进行初步整理;具有与他人交流成果、讨论问题的意识
水平 2	能观察物理现象,提出物理问题;能根据已有的科学探究方案,使用基本的器材获得数据;能对数据进行整理,得到初步的结论;能撰写简单的报告,陈述科学探究过程和结果
水平 3	能分析物理现象,提出可探究的物理问题,作出初步的假设;能在他人帮助下制订科学探究方案,使用基本的器材获得数据;能分析数据,发现特点,形成结论,尝试用已有的物理知识进行解释;能撰写实验报告,用学过的物理术语、图表等交流科学探究过程和结果
水平 4	能分析相关事实或结论,提出并准确表述可探究的物理问题,作出有依据的假设;能制订科学探究方案,选用合适的器材获得数据;能分析数据,发现其中规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行解释;能撰写完整的实验报告,对科学探究过程与结果进行交流和反思

(续表)

水 平	科 学 探 究
水平 5	能面对真实情境,从不同角度提出并准确表述可探究的物理问题,作出科学假设;能制订有一定新意的科学探究方案,灵活选用合适的器材获得数据;能用多种方法分析数据,发现规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行科学解释;能撰写完整规范的科学探究报告,交流、反思科学探究过程与结果
	科学态度与责任
水平 1	认识到物理学是对自然现象的描述与解释;对自然界有好奇心,知道学习物理需要实事求是,有与他人合作的意愿;知道科学·技术·社会·环境存在相互联系
水平 2	认识到物理学是基于人类有意识的探究而形成的对自然现象的描述与解释,并需要接受实践的检验;有学习物理的兴趣,具有实事求是的态度,能与他人合作;认识到物理研究与应用会涉及道德与规范问题,了解科学·技术·社会·环境的关系
水平 3	认识到物理研究是建立在观察和实验基础上的一项创造性工作;有较强的学习和研究物理的兴趣,能做到实事求是,在合作中能尊重他人;认识到物理研究与应用应考虑道德与规范的要求,认识到人类在保护环境和促进可持续发展方面的责任
水平 4	认识到物理研究是一种对自然现象进行抽象的创造性的工作;有学习和研究物理的内在动机,坚持实事求是,在合作中既能坚持观点又能修正错误;能依据普遍接受的道德与规范认识和评价物理研究与应用,具有保护环境、节约资源、促进可持续发展的责任感
水平 5	认识到物理学是人类认识自然的方式之一,是不断发展的,具有相对持久性和普适性,但同时也存在局限性;有较强的学习和研究物理的内在动机,能自觉抵制违反实事求是的行为,在合作中既能主动参与又能发挥团队作用;在进行物理研究和应用物理成果时,能自觉遵守普遍接受的道德与规范,养成保护环境、节约资源、促进可持续发展的良好习惯

摘自《普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订)》

## 说 明

本书根据教育部颁布的《普通高中物理课程标准(2017年版 2020年修订)》和高中物理教科书编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予使用。

编写过程中,上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会专家工作委员会、上海市教育委员会教学研究室、上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市物理教育教学研究基地(上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地)及基地所在单位复旦大学给予了大力支持。马世红、王祖源、陆昉、陈树德、蒋平、冀敏在本书编写的各个阶段审阅了书稿。在此一并表示感谢!

欢迎广大师生来电来函指出书中的差错和不足,提出宝贵意见。出版社电话:021-64848025。

**声明** 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。



经上海市中小学教材审查委员会审查  
准予使用 准用号 II - GJ - 2021003



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5346-7

9 787547 853467 >

定价：30.00 元