

普通物理学 知识结构分析

ANALYSIS OF KNOWLEDGE
STRUCTURE IN GENERAL PHYSICS

陈家煦 / 主编



华东理工大学出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

普通物理学 知识结构分析

陈家煦 主编



華東理工大學出版社
EAST CHINA UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

· 上海 ·

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学知识结构分析/陈家熙主编. —上海:
华东理工大学出版社, 2018. 5

ISBN 978-7-5628-5391-6

I. ①普… II. ①陈… III. ①普通物理学-高等
学校-教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 046951 号

策划编辑 / 周 颖

责任编辑 / 周 颖

出版发行 / 华东理工大学出版社有限公司

地址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电话: 021-64250306

网址: www.ecustpress.cn

邮箱: zongbianban@ecustpress.cn

印 刷 / 江苏凤凰数码印务有限公司

开 本 / 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 / 12.25

字 数 / 327 千字

版 次 / 2018 年 5 月第 1 版

印 次 / 2018 年 5 月第 1 次

定 价 / 48.00 元

版权所有 侵权必究

前言

《普通物理学》是所有理工类高等院校学生的必修课,而且与《高等数学》等一样是屈指可数的最重要的基础课之一。

多年以来,在有关《普通物理学》的书籍方面,主要存在两种类型:一种是教材,另一种是习题集或习题解。

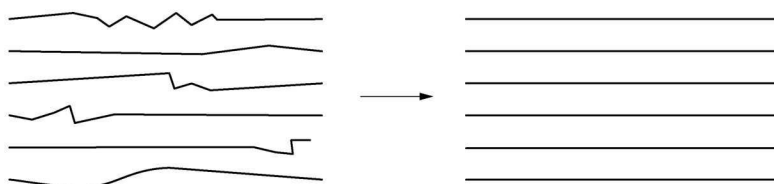
教材用于传授知识,习题集或习题解用于巩固所学知识。

由于《普通物理学》的内容十分庞杂,而且与初中、高中所学的物理知识级差悬殊,使学习《普通物理学》的学生明显感受到对整体把握的困难。

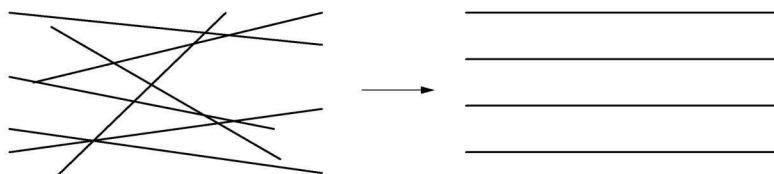
为此,本书作者经过多年的研讨,提炼出第三种类型:用 55 张结构图,把《普通物理学》的全部内容融合成一体。

第一种思维模式包含以下几类。

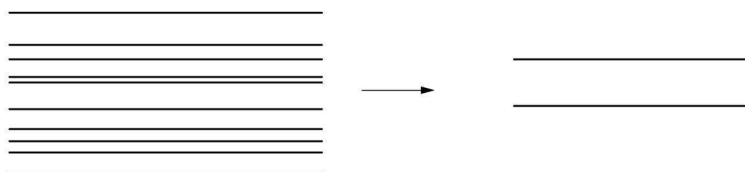
1. 规范化



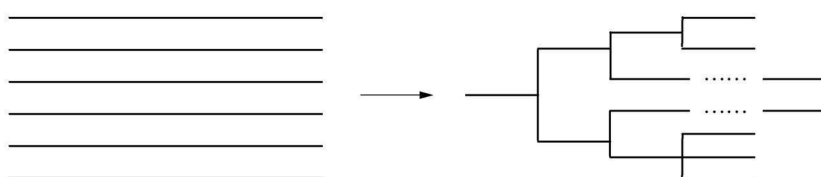
2. 条理化



3. 简约化



4. 系统化



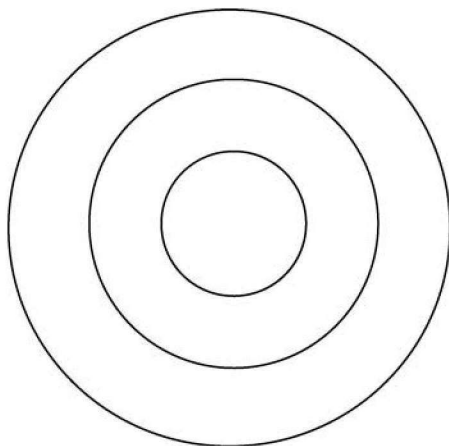
第二种思维模式包含以下几类。

1. 树枝形



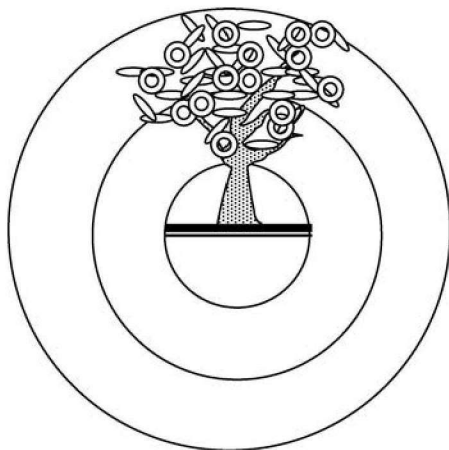
所谓树枝形,就如有一棵大树,我们先抓住主干,然后延伸到若干分枝,再蔓生出更多的小枝,进而生发出无数的叶片。这种方法表达了知识的逐步深入。特别提醒:树枝形思维模式形成的是一个多维空间,其中尚有无数未解之谜。

2. 同心圆形



所谓同心圆形,就是有若干从小到大的同心圆,每一个同心圆自成一个完整的循环,各同心圆之间依次逐步扩大。这种模式,完整地表达了知识中某一特定部分内容的不断深化。

3. 复合形



所谓复合形,就是把上述两种方法结合起来。

第二种模式涵盖了第一种模式。在形成《普通物理学》的知识体系中,两种模式贯穿了相当长的一段历史时期。

《普通物理学》的主要内容是全球科学界公认的客观规律,是无数前辈科学家和当代科学工作者共同努力的成果,而且是在相当长的历史时期都无法改变的客观规律,无数的公式、图形和文字通过大量的书籍不断地被传播。所以,作为当今学者,首要的责任在于传授这些成果,其次是在此基础上使传播方式更加科学、高效。

本书特别适合高等院校理工类的学生作阶段性的小结和进行全书学完后的总复习使用。当我们回顾前面知识的时候,可以看到与后面知识的联系;当我们继续深入学习新的知识的时候,又可以与前面学过的知识产生呼应。

通过 55 张结构图,我们可以看出全部《普通物理学》所涉及的知识范围、所学各个知识部分之间的联系和详略多寡,特别是可以明确今后继续钻研的方向。

结构图所呈现的清晰度足以弥补大量文字叙述所产生的模糊性。毫无疑问,这种优势将对讲授《普通物理学》的老师和希望深造的学生带来帮助。

本书除了适用于理工类高等院校的学生以外,对有关的教师 and 科技人员也有很好的参考价值。

愚者万虑,必有千失。书中如有不足之处,请读者批评、指正。

陈家煦
2017 年 6 月

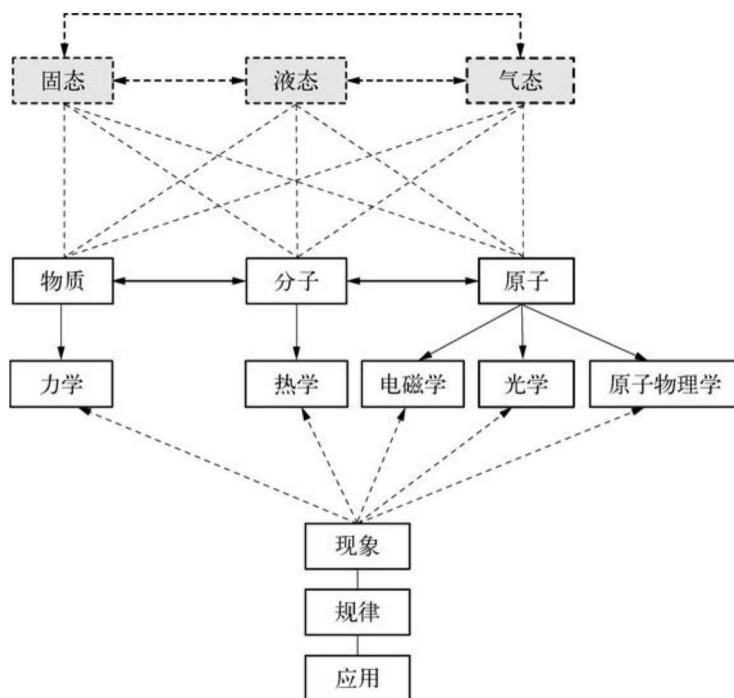
目 录

第 1 章 总体结构分析	1
1.1 总结构图	1
1.2 知识要点	1
第 2 章 力学	3
2.1 概述	3
2.2 质点力学	4
2.3 刚体力学	16
2.4 流体力学	21
2.5 振动	27
2.6 波	31
2.7 声	36
第 3 章 热学	39
3.1 概述	39
3.2 平衡态	40
3.3 分子运动论	43
3.4 统计分布律	45
3.5 输运过程	47
3.6 热力学第一定律	49
3.7 热力学第二定律	54
3.8 固体	56
3.9 液体	57
3.10 相变	61
第 4 章 电磁学	66
4.1 概述	66
4.2 静电场	66
4.3 导体在静电场中	71
4.4 电介质在静电场中	74
4.5 直流电	77
4.6 真空中磁场	80
4.7 磁介质中磁场	86
4.8 电磁感应	89
4.9 交流电	94
4.10 电磁场和电磁波	99
第 5 章 光学	103
5.1 概述	103
5.2 几何光学	104
5.3 光学仪器	111

5.4	光的干涉	118
5.5	光的衍射	123
5.6	光的偏振	128
5.7	光在真空中和介质中	132
5.8	量子光学	134
5.9	现代光学	138
第 6 章	原子物理学	143
6.1	概述	143
6.2	原子结构	144
6.3	原子光谱和能级	145
6.4	量子力学初步	152
6.5	碱金属原子	156
6.6	多电子原子	160
6.7	磁场中原子	163
6.8	原子壳层结构	166
6.9	X 射线	169
6.10	原子核	173
6.11	基本粒子	179
6.12	分子结构	183

第1章 总体结构分析

1.1 总结构图



1.2 知识要点

1. 自然界的一切客观存在都是由物质组成。
2. 对于人类来说,这个客观存在主要是人的眼睛所能够看到的物体。
3. 什么是物质? 它是组成物体的基本元素。例如: 一辆汽车,组成它的有铁、铜、铝等,这些基本元素被称为物质。汽车不是物质,而是物体,它由多种物质组成。
4. 一切物质的宏观形态是物体,这在现实生活中大量、客观地存在着。物质的微观形态是无数的分子,分子由原子组成,原子又由更微小的原子核、电子和其他基本粒子组成,不借助特殊的设备,这些微观形态是我们的眼睛不能看到的。
5. 在一般情况下,物质可呈现三种状态: 固态、液态和气态。
6. 在一定条件下,这三种状态可以相互转化。例如: 物质金,在常温下呈固态,在熔点 $1\,064^{\circ}\text{C}$ 呈液态,在沸点 $2\,500^{\circ}\text{C}$ 呈气态。
7. 力学的主要研究对象是物体。它主要研究固态物体,其次是液态物体和气态物体。
8. 热学的主要研究对象是分子。它主要研究气态分子,其次是固态分子和液态分子。
9. 电磁学的主要研究对象是原子中电子的宏观运动。

10. 光学的主要研究对象是原子中电子的微观运动。

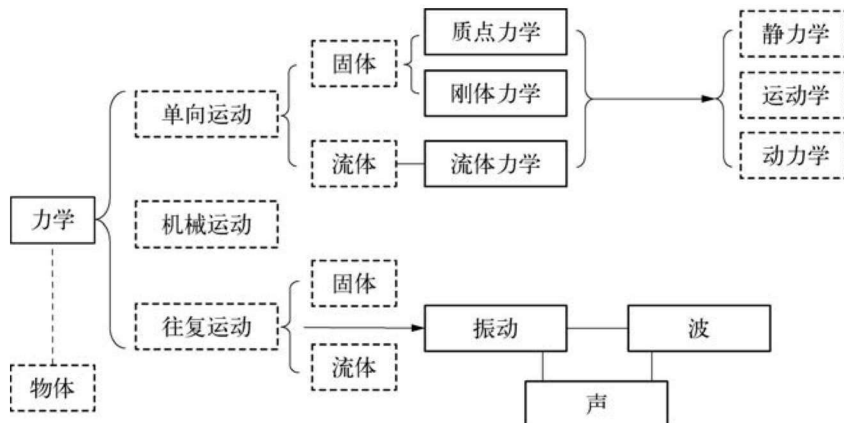
11. 原子物理学的主要研究对象是原子中的原子核结构。

12. 不管是力学、热学,还是光学、电磁学和原子物理学,它们首先研究客观存在的一切现象,这是人类认识世界的最原始行为。然后研究它们的运动规律,只有人类充分地掌握了这一点,这些规律才能为人类所利用。最后研究它们的实际应用,这是人类研究科学的最终目的。

第2章 力 学

2.1 概 述

1. 结构图



注：结构图中的虚线框表示：① 相关；② 或不是重点；③ 或次要的。下同，不再赘述。

2. 知识要点

(1) 力学的研究对象是物体机械运动的客观规律。

(2) 机械运动简称运动，是物体空间位置的变动(包括物体内部各部分之间相对位置的变动)。这种变动是物质世界千变万化的运动中最常见的一种，也是最简单的一种。

(3) 机械运动有多种具体形式，我们现在研究的仅是其中的两种。

① 单向运动：例如直线运动、曲线运动、平动和绕固定轴转动。

② 往复运动：例如振动。

(4) 自然界中的绝大多数物质是以固态、液态和气态这三种聚集态存在的。所以，做机械运动的物体，无论是单向运动还是往复运动，出现的可能是固体，也可能是液体或气体。我们把液体和气体统称为流体。

(5) 在研究固体的单向运动时，如果物体的形状和大小与我们研究的问题无关，或关系很小，我们就可以把它们忽略不计，把这个物体看作一个质点，显然这是一种理想模型，便于我们掌握物体的基本运动规律，这就形成了质点力学；反之，就形成了刚体力学。

流体力学研究流体的运动规律。

(6) 研究物体机械运动中单向运动的规律，分为运动学、动力学和静力学。

① 运动学：研究物体在运动过程中的位置和时间之间的关系，不研究物体运动状态变化的原因。

② 动力学：研究物体的运动状态与物体之间相互作用的内在关系，说明物体运动状态发生变化的原因。

③ 静力学：可以看成是动力学的一个特例，即物体在相互作用下的平衡，其大量的内容

有待理论力学等学科进行研究。

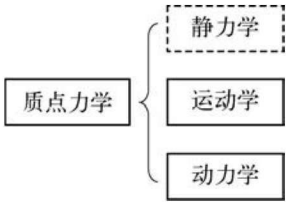
(7) 振动是固体或流体的往复运动。

(8) 波是振动在固体或流体等弹性介质中的传播过程,没有振动就没有波。

(9) 声研究的是能够引起我们听觉的在一定振动频率范围内的振动,以及它的传播过程。所以,对声的研究可以看成是研究振动和波的一类具有实际意义的例子。

2.2 质点力学

2.2.1 结构图



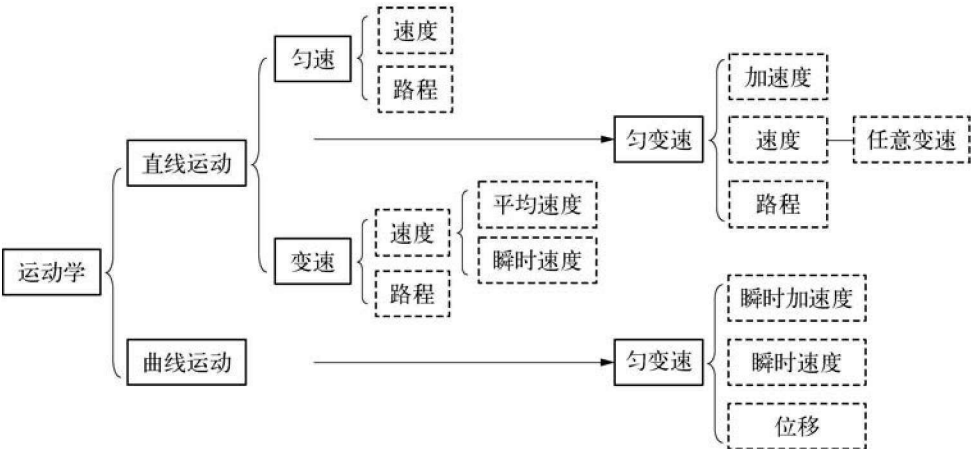
2.2.2 静力学

牛顿运动定律告诉我们:当物体没有受到外力的作用时,将处于静止状态或匀速直线运动状态。实际上,这样的运动状态是不存在的,它仅仅是一种理想状态。但是,这种理想状态对我们的理论研究具有奠基性的意义。

在实际生活中,任何物体都受到外力的作用,当这些外力的合力等于零时,即 $\Sigma F = 0$,物体也处于静止状态或匀速直线运动状态。这样的运动状态可以看作运动物体的一个特例,这就是静力学的内容,具体内容留待理论力学等学科深入研究。

2.2.3 运动学

1. 结构图



2. 知识要点

(1) 运动学

运动学研究物体在运动过程中的位置与时间之间的变化关系,不研究发生这种变化的

原因。

运动学的全部内容,可以概述为以下两类。

直线运动:	匀速	变速	匀变速	任意变速
曲线运动:			匀变速	

在研究物体运动时,首先要引入物体运动的依据,即参照系,一般选用固定在地面上的房屋和树木。然后,又引入用来定量描述物体运动的坐标系,一般选用几何学中的直角坐标系 (x, y, z) ,如图 2-1 所示。

在研究物体运动时,如果物体的形状和大小与我们研究的问题无关,或关系很小,我们就可以把它们忽略不计,把这个物体看作一个质点,如图 2-2 所示。显然,这是一种理想模型,便于我们研究物体的基本运动规律,这就形成了质点力学。

根据质点运动的轨迹,可以分为直线运动和曲线运动。直线运动是最普通的运动。当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,曲线运动中的质点运动可以看成是无数直线运动的合成,也就是说,直线运动与曲线运动的本质是相同的。

(2) 直线运动

直线运动分为理想状态下的匀速直线运动和一般情况下的变速直线运动。综合两者,又引入匀变速直线运动,再进一步引入更符合实际情况的任意变速直线运动。

① 匀速直线运动

速度:

$$v = \frac{s - s_0}{t - t_0}$$

路程:

$$s = vt \quad (\text{当 } t_0 = 0 \text{ 时, } s_0 = 0)$$

② 变速直线运动

平均速度:

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

瞬时速度:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

路程:

$$s = \int_{t_0}^t v dt$$

③ 匀变速直线运动

加速度:

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

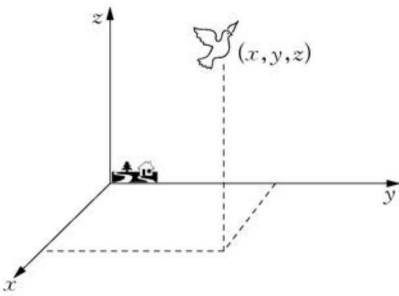


图 2-1 几何直角坐标系



图 2-2 将物体看作质点

速度：
$$v = v_0 + at$$

路程：
$$s = \frac{1}{2}(v_0 + v)t$$

④ 任意变速直线运动

平均加速度：
$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
 (粗略反映速度的变化率)

瞬时加速度：
$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$
 (精确反映各时刻速度的变化率)

时间 t 是标量,路程 s 也是标量,即:有大小,而方向仅有相同或相反。
因此,它们的计算只有简单的加法和减法。

例如: 时间 $t = t_1 + t_2$, 或 $t = t_1 - t_2$

路程 $s = s_1 + s_2$, 或 $s = s_1 - s_2$

速度 v 是矢量,加速度 a 也是矢量,即:既有大小,又有不同的方向。

加速度可以反映一个质点同时参与两种直线运动的速度变化。

例如:有一艘被西南风(a)吹刮而向东(b)直线航行的货船,另有一艘被东南风(d)吹刮而向东(e)直线航行的客船。那么,这里的计算就不能简单地运用加法和减法,我们需要运用几何学中的四边形法则或三角形法则进行矢量的加法和减法(如图 2-3、图 2-4 所示),可以同时得到两船航行速度的大小和方向。

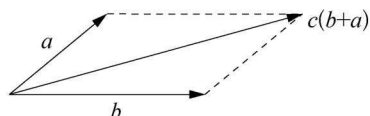


图 2-3 矢量的加法

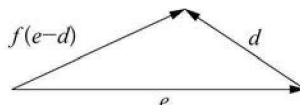


图 2-4 矢量的减法

既然两个速度或加速度可以通过合成获得一个速度或加速度,同样可以通过分解获得一个速度或加速度的两个分量,如图 2-5 和图 2-6 所示,这是不难理解的。

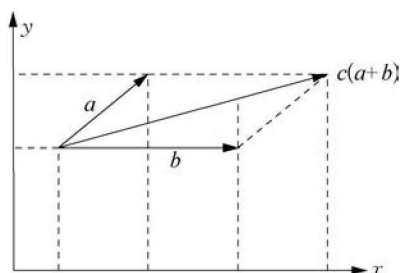


图 2-5 矢量加法分解

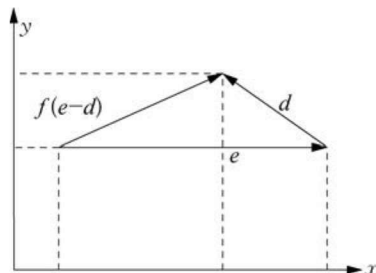


图 2-6 矢量减法分解

此外,我们还可以通过数学中的解析法获得速度或加速度的合成,计算示例如图 2-7 所示。

$$A_x = A \cdot \cos \theta$$

$$A_y = A \cdot \sin \theta$$

$$A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2} \quad \tan \theta = A_y / A_x$$

(3) 曲线运动

由于物体的运动方向始终在改变,因此物体的实际运动轨迹(AB)和实际位移(Δs)是不同的。

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时,曲线运动可以看成是由无穷多且无限短的直线运动组成的。

① 瞬时速度:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

瞬时速度的数值:

$$|v| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta s|}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}$$

瞬时速度的方向:质点所在曲线处(B)的切线方向为运动方向。

② 瞬时加速度:

$$\begin{aligned} a &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_B - v_A}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \end{aligned}$$

瞬时加速度的数值:

$$\begin{aligned} |a| &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|v_B - v_A|}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta v|}{\Delta t} \end{aligned}$$

瞬时加速度的方向:

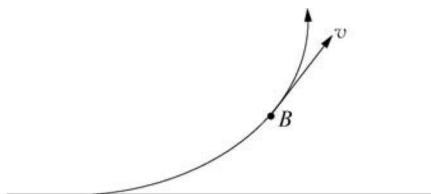


图 2-9 曲线运动中的瞬时速度方向

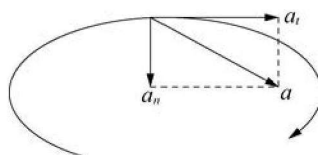


图 2-10 曲线运动中瞬时加速度方向

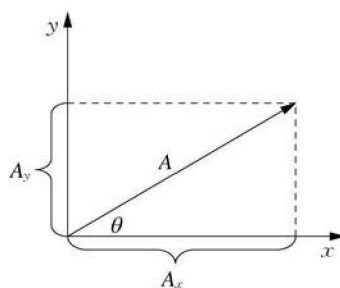


图 2-7 合成示例

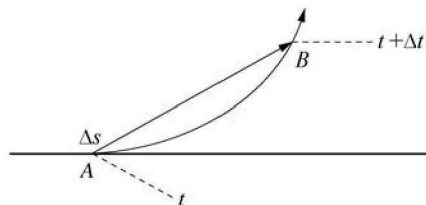


图 2-8 物体的曲线运动

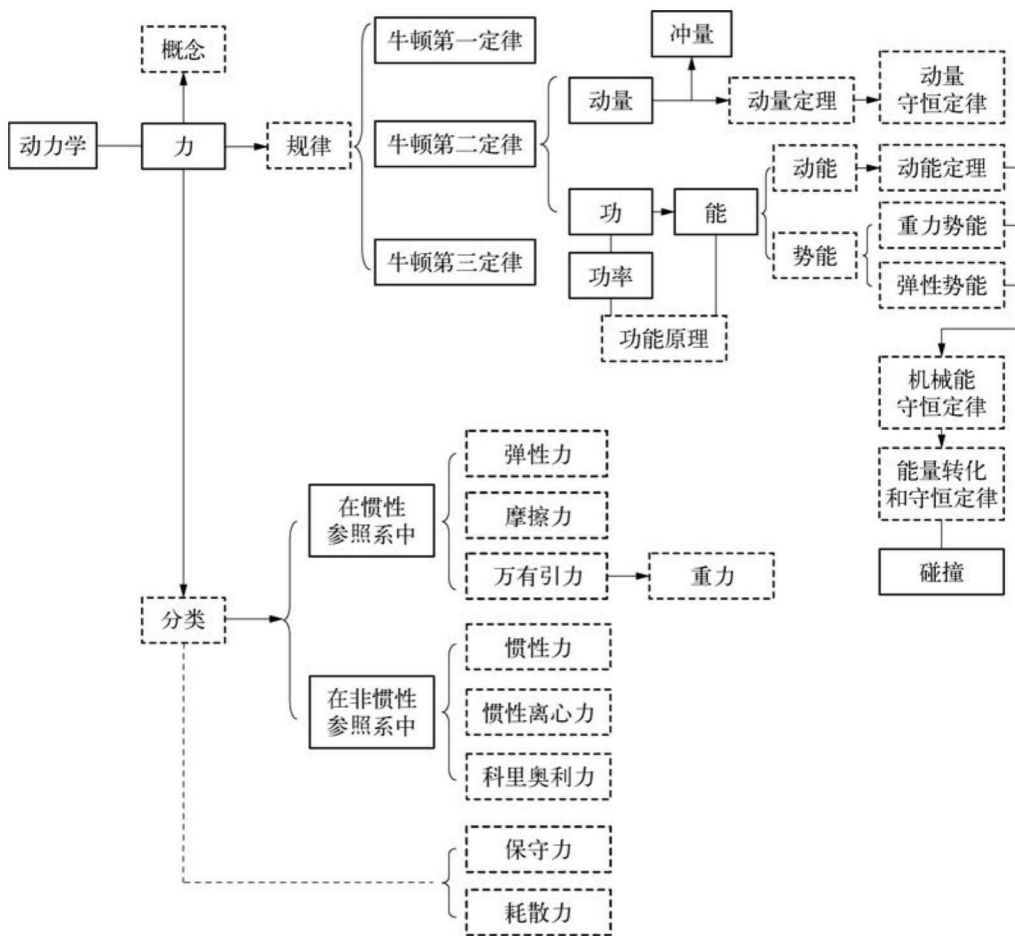
一般情况下,任一时刻的加速度方向与速度的方向不在一条直线上。加速度 a 可以分解为切向加速度 a_t 和法向加速度 a_n 。切向加速度 a_t 反映加速度的数值变化,法向加速度 a_n 反映加速度的方向变化。

③ 其他曲率圆、曲率中心、曲率半径和曲率。

曲线运动的知识点还包括抛物运动是曲线运动中比较常见的一种重要形式,具有一定的实际意义。

2.2.4 动力学

1. 结构图



2. 知识要点

(1) 动力学

动力学是研究物体的运动状态与物体之间相互作用的内在联系的科学。

动力学是质点力学的主要部分。简单来说,动力学与运动学的最大区别是,运动学只研究运动,而动力学要研究力和运动。

(2) 力

力是物体之间的相互作用。力不是物体运动的原因,而是改变物体运动状态的原因,也是改变物体形状的原因。

(3) 牛顿三大定律

动力学中力的基本规律是牛顿三大定律。

① 牛顿第一定律

任何物体在没有受到外力作用的时候,都保持静止状态或匀速直线运动状态。物体的

这种性质叫惯性,所以牛顿第一运动定律又叫惯性定律。实际上,牛顿第一定律描述的是一种理想状态,不受外力作用的物体是不存在的,应该理解为任何物体所受的合外力为零时,将保持静止状态或匀速直线运动状态。

其基本方程为:

$$\Sigma F = 0$$

② 牛顿第二定律

物体在受到外力作用时,所获得的加速度的大小与合外力的大小成正比,与物体的质量成反比,加速度的方向与合外力的方向相同。其基本方程为:

$$\Sigma F = ma$$

牛顿第二运动定律是动力学的重点,确定了力、质量和加速度之间的关系。

当物体做直线运动时,由于加速度是一个矢量,如果用直角坐标系来表示 $\Sigma F = ma$, 将其分解为:

$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$\Sigma F_y = ma_y$$

$$\Sigma F_z = ma_z$$

当物体做曲线运动时, $\Sigma F = ma$ 将分解为:

$$\Sigma F_t = ma_t$$

$$\Sigma F_n = ma_n$$

式中, ΣF_t 为切向力,决定曲线运动物体速率(加速度数值)变化得快慢; ΣF_n 为法向力或向心力,决定物体运动方向变化得快慢。

③ 牛顿第三定律

物体相互之间的作用力和反作用力大小相等、方向相反,如图 2-11 所示。其基本方程为:

$$F = -F'$$

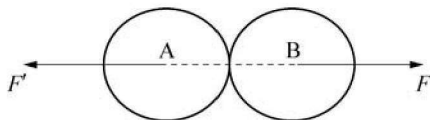


图 2-11 作用力与反作用力

图 2-11 中,物体 A 以力 F 作用在物体 B 上时,物体 B 也必定同时以力 F' 作用在物体 A 上。 F 和 F' 在一条直线上,大小相等,方向相反。

特别提示: F 和 F' 永远同时存在;永远大小相等;永远同时作用在两个不同的物体上,不会抵消。

(4) 力的分类

我们常见的力有三种:弹性力、摩擦力和万有引力。

① 弹性力:产生在直接接触的物体之间,是一种普遍存在的力。

例如,如图 2-12 所示,一根绳子系住重物 A,绳子被拉长后发生形变,会产生一个竖直向上的弹性力 f 作用在重物上。

② 摩擦力:产生在直接接触的物体之间,也是一种普遍存在的力。

例如,如图 2-13 所示,一只箱子 A 放在地面 B 上,当箱子在外力 F 作用下与地面发生相对运动或有相对运动的趋势时,两者之间都会产生摩擦力 f ,这个力的方向永远沿着接触面的切线方向,而且阻碍相对运动发生。

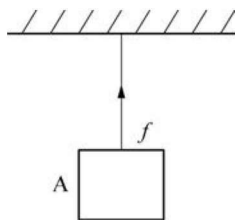


图 2-12 弹性力示意图