



普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学 (上册)

(第二版)

主 编 滕保华 吴明和
副主编 许春青



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学

(上册)

(第二版)

主 编 滕保华 吴明和

副主编 许春青

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是根据教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会新制订的《理工科非物理类专业大学物理课程教学基本要求》编写的,并在涵盖基本要求的所有核心内容的基础上,进行了一定广度和深度的拓展和提高,使之既保持了传统教材基础知识扎实的特点,又突出了内容现代化的时代特征.全书分上、下两册,本书为上册,包括力学和热力学与统计物理初步.

本书可作为高等学校理工科非物理类专业本科生教材,也可供相关专业学生选用,并可供社会读者阅读.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/滕保华,吴明和主编.—2版—北京:科学出版社,2017.1

普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-03-051325-0

I. ①大… II. ①滕…②吴… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 000293 号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:钟 洋
责任印制:白 洋 / 封面设计:迷底书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

保定市中西美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2017 年 1 月第 二 版 印张:22

2017 年 1 月第八次印刷 字数:443 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是为理工科大学生编写的大学物理学教材,内容涵盖了教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制订的基本要求,同时为满足不同层次的教学要求,保持教材内容的连续性和系统性,本书也编入了一些提高与扩展内容。

本书以物理的基本知识点为载体,展示大学物理课程的知识和方法结构。在力学部分,通过物理模型的抽象、基本参量的引入、特殊运动规律的研究,以及运动的合成、分解、变换等,使学生掌握运动学的基本内容与研究方法;通过相互作用的瞬时、时间积累、空间积累等效应,让学生掌握动力学的基本内容与研究方法。在热学部分,通过有目的地编排热力学与统计物理初步,重点展现统计物理的基本概念和基本规律。在电磁学部分,通过展现麦克斯韦理论的完整形式,使学生掌握梯度、散度、旋度等场的研究方法。在波动光学部分,通过相位差与光程差关系的介绍,让学生掌握波动光学关于干涉、衍射的规律,以及定量和半定量的研究方法,并在其附录中介绍了几何光学。在近代物理部分,侧重介绍近代物理中的基本概念,以及它们的发生和发展过程,加强近代基础性知识中覆盖面最广的理论性内容,同时适度加深数学要求,尽可能使学生形成比较完整和动态发展的近代物理知识和方法结构,并能解决一些典型的基本问题,为后续相关课程和专业的深入学习奠定基础。另外为拓展学生视野,培养学生的动态和发展的自然观和科学观,本书还在每章后面编排了与学科前沿相关的阅读材料以及著名科学家的人物小传。

本书配合两个学期的大学物理课程,分为上、下两册。上册包括力学和热力学与统计物理初步;下册包括电磁学、波动光学和近代物理。本书适用于理工科各专业的大学物理课程,也适用于其他非物理专业的基础物理课程。

参加本书编写工作的有:滕保华(第1~3章),吴明和(第4、5、12~15章),雷雨(第6、16~20章),许春青(第7~9章),孙云卿(第10、11章)。

在本书编写和出版过程中,电子科技大学教务处、物理电子学院和大学物理课程组以及兄弟院校的同事给予了积极支持和帮助,科学出版社也给予大力支持,编者在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限,加之编写时间仓促,书中不足之处在所难免,真诚希望老师和同学们提出宝贵意见。

编 者

2016年12月

目 录

前言

第一篇 力 学

第 1 章 运动学	3
1.1 参考系 坐标系 对称性	3
1.2 运动叠加原理 理想模型化方法	6
1.3 描述一般曲线运动的线参量与角参量	9
1.4 相对运动	22
阅读材料 物理学中的简单性与对称性概述	27
人物小传 牛顿(Isaac Newton, 1642~1727)	34
思考题	36
习题	36
第 2 章 质点动力学	38
2.1 力对质点的瞬时效应——牛顿三定律	38
2.2 力对物体的时间积累效应——动量守恒定理	55
2.3 力对物体的空间效应——能量守恒定理	72
阅读材料 超重与失重	89
思考题	93
习题	93
第 3 章 刚体力学	95
3.1 力矩的瞬时效应——刚体的转动定律	95
3.2 力矩的时间累积效应——刚体的角动量定理	102
3.3 力矩的空间累积效应——刚体的机械能守恒定律	111
阅读材料 宇航动力学问题	116
思考题	122
习题	124
第 4 章 振动学基础	126
4.1 简谐振动的运动学	126
4.2 简谐振动的动力学	131
4.3 简谐振动的能量	136

4.4	阻尼振动 受迫振动 共振	139
4.5	简谐振动的合成	144
	阅读材料 “混沌”现象	152
	思考题	155
	习题	157
第5章	波动学基础	160
5.1	机械波的产生和传播	160
5.2	平面简谐波的运动方程	163
5.3	波动的动力学方程	172
5.4	波的能量	178
5.5	声波、超声波和次声波	183
5.6	波的叠加	187
5.7	多普勒效应	198
	阅读材料 孤波	201
	思考题	203
	习题	206
第6章	狭义相对论	209
6.1	相对论产生的历史背景	209
6.2	狭义相对论基本假设	214
6.3	洛伦兹变换	215
6.4	相对论时空观	219
6.5	相对论的速度合成	224
6.6	相对论动力学基础	226
6.7	广义相对论简介	229
	人物小传 爱因斯坦(Albert Einstein, 1879~1955)	235
	思考题	237
	习题	238

第二篇 热力学与统计物理初步

第7章	统计物理初步	243
7.1	热力学系统与平衡态	243
7.2	理想气体的微观模型、压强和温度的统计意义	244
7.3	能量按自由度均分定理	250
7.4	麦克斯韦气体分子速率分布	254
7.5	玻尔兹曼分布定律	259

7.6 量子统计分布简介	261
阅读材料 大爆炸和宇宙膨胀	263
人物小传 玻尔兹曼(Boltzmann, 1844~1906)	267
思考题	270
习题	272
第8章 热力学	274
8.1 热力学第一定律与常见的热力学过程	274
8.2 循环过程和卡诺循环	288
8.3 热力学第二定律与不可逆过程	294
8.4 熵和熵增加原理	300
8.5 热力学第二定律的统计意义	306
8.6 关于热力学第二定律提出的几个问题	308
阅读材料 耗散结构简介	310
思考题	314
习题	316
第9章 气体和凝聚态	318
9.1 范德瓦耳斯方程	318
9.2 气体内的输运过程	321
9.3 固体和液体的热性质	325
9.4 物态和相变	329
阅读材料 20世纪的热学	332
思考题	340
习题	341

第一篇 力 学

本篇主要研究经典力学的基础内容,第1章将研究力学中的运动学部分,运动学研究目标就是描述质点的运动状态,而不去寻求物体具有这种运动状态的原因.第2章和第3章将研究力学中的动力学部分,动力学的研究目标就是寻求物体具有某种运动状态及这种运动状态发生改变的原因.第4章和第5章,将研究力学中的两种重要而特殊的运动形式:振动和波动.鉴于狭义相对论的时空观与牛顿力学联系紧密,已经成为当代物理的基本概念,故在第6章将介绍狭义相对论的基本概念和原理.

与运动学的研究方案类似,首先将物体的机械运动形式分为质点运动和刚体转动两种基本形式,并对每种基本运动形式进行动力学研究,而对更为一般的复杂运动的动力学问题则用基本运动的动力学合成的办法来实现.

本篇对每种基本运动形式的动力学问题的研究,都从三个不同的侧面或角度展开,即研究每种基本运动的瞬时效应、时间累积效应和空间累积效应.瞬时效应的基本思路是跟踪物体的运动过程,对运动过程中的任意瞬时进行动力学分析,建立动力学微分方程;时间累积效应的基本思路是考察改变物体运动状态的内因与外因对物体作用一段时间之后,对物体运动状态的改变状况,建立物体运动状态在不同时间状态间的变化规律;空间累积效应的基本思路是考察改变物体运动状态的内因与外因对物体作用一段空间距离之后,对物体运动状态的改变状况,建立物体运动状态在不同空间状态间的变化规律.原则上,从动力学研究的三个侧面或角度都可以得到物体运动的规律,但是在不同情况下,用不同效应解决实际问题的繁简程度是不一样的.瞬时效应以研究物体中间运动过程为基础来研究物体运动规律,因此中间过程的复杂程度决定了它解决实际问题的繁简程度;时间累积效应和空间累积效应避开对物体中间过程的跟踪研究,转而通过研究始、末两个状态间的变化状况来获得物体运动规律,因此两个状态的运动参量是否容易确定决定了累积效应解决实际问题的难易程度.更一般的情况是将三种效应结合起来实际问题,往往也是最为方便的.

从逻辑上讲,研究动力学问题的每一个侧面都需要解决三个基本问题:①保持或改变物体运动状态的原因是什么,包括保持、改变物体运动状态的内因和外因.②外因与内因改变了物体的什么运动状态.例如,力是物体获得加速度的原因,力矩是刚体获得角加速度的原因,冲量是物体动量改变的原因,冲量矩是刚体角动量改变的原因,功是物体动能和势能改变的原因……③如何建立改变物体运动状态的原因与被改变的运动状态参量之间的数量关系,即动力学规律,包括普遍情况下的动力学规律与特殊情况下的守恒定律等.

第1章 运 动 学

运动学只是描述物体的运动状态,而不研究物体为什么具有某种运动状态以及这种运动状态发生改变的原因.这意味着运动学需要解决以下几个基本问题:运动的描述;运动学的实际应用;不同观察者对同一物体的运动学描述.

运动学理论的建立过程就是上述三个基本问题的解决过程,从而构成了运动学的理论体系.本章围绕这三个基本问题的研究展开运动学的基本内容.

1.1 参考系 坐标系 对称性

1.1.1 绝对运动与相对静止相统一

辩证唯物主义认为,绝对运动与相对静止是辩证统一关系,只有承认事物的相对静止,才能认识事物的绝对运动;只有认识了相对静止,才能理解事物的多样性;只有承认相对静止,才能认识和利用不同事物.虽然在哲学中,“运动”被理解为物质的固有属性、物质存在的方式,包括了宇宙中发生的一切变化和过程,是一个非常基本的哲学范畴,但它也包含了物理学研究的机械运动形式.也就是说,在研究物体的机械运动时,必须承认机械运动的相对静止,否则,就无法认识机械运动,无法认识机械运动的多样性,更达不到利用机械运动规律为人类服务的目的.

古希腊哲学家赫拉克利特说过“人不能两次踏进同一条河流”,其含义是,一方面,河流的运动是绝对的、永恒的;另一方面,河流的运动也存在相对静止,即人在同一次踏进的河流,是同一条河流.只有承认人同一次踏进的河流是同一条河流,人们才可能去描述该时刻河流的运动状态,才可能通过研究两次河流运动状态之间的区别,去认识河流的运动.如果夸大运动的绝对性,否认相对静止的存在,如克拉底鲁所说“人不能同一次踏进同一条河流”,那么,物体的机械运动将变成瞬息万变、不可捉摸,人们就不可能去描述河流的运动状态.

可见,只有承认物体的机械运动存在相对静止这个基本的自然观念,人们才可能去认识物体的机械运动,而且是通过相对静止去认识物体的运动状态.

1.1.2 参考系和坐标系

1. 参考系与坐标系的基本概念

为描述一个物体的运动而被选作参考的另一物体或保持相对静止的物体系,称为**参考系**.被选作参考系的物体,必须能够用来描述物体的运动,包括物体的空间位

置和方位.通常,以实物形式存在的物体和场,都可以选作为参考系.依据研究问题的方便,参考系可以任意选择,选择不同的参考系,可以得到物体运动参量的不同数值,但不同参考系下得到的物体运动规律,必须是相同的,这称之为物理规律的对称性.按是否满足牛顿运动定律,参考系分为惯性参考系与非惯性参考系,满足牛顿三大定律的参考系,称为惯性参考系;反之,称为非惯性参考系.

固定于参考系之上的数学坐标系,称为**坐标系**.坐标系是参考系的数学抽象,引入坐标系的目的,是为了方便对物体运动的定量化描述.常见的坐标系有直角坐标系(即笛卡儿坐标系)、极坐标系、自然坐标系、球坐标系与柱坐标系等.依据研究问题的方便,对物体不同的运动,需要选择不同类型的坐标系.

2. 几种典型的坐标系

1) 直角坐标系

直角坐标系也称笛卡儿坐标系,它由三条共点且互相垂直的射线组成(图

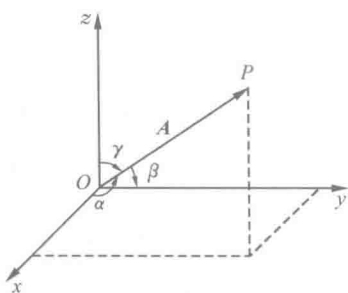


图 1.1.1 直角坐标系

1.1.1);三条射线的交点 O 称为坐标系的原点,每一条射线分别称为坐标系的 x 、 y 、 z 坐标轴;三个坐标轴的方向分别由三个单位常矢量 i 、 j 、 k 表示.如果物体局限于在一个平面内运动,通常用二维直角坐标系(只有两个独立坐标或独立参量)来定量描述其运动情况.

在直角坐标系中,任意矢量 A 可以表示为

$$A = A_x i + A_y j + A_z k \quad (1.1.1)$$

矢量的大小或模表示为

$$|A| = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1.1.2)$$

矢量的方向也可以由它与三个坐标轴之间的夹角 (α, β, γ) 来表示,因此,这三个夹角的余弦也称矢量的方向余弦.在直角坐标系中,方向余弦满足关系

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1 \quad (1.1.3)$$

同时,在直角坐标系中,坐标轴的单位矢量是常矢量,因此满足

$$\frac{di}{dt} = 0, \quad \frac{dj}{dt} = 0, \quad \frac{dk}{dt} = 0 \quad (1.1.4)$$

2) 自然坐标系

如图 1.1.2 所示,当质点运动轨迹为已知时,在运动轨迹上任取一点 O 为坐标原点,用质点距离原点的轨道长度 s 来确定质点任意时刻的位置,以轨迹切向和法向的单位矢量 (τ, n) 作为其独立的坐标方向,这样的坐标系,称为**自然坐标系**. s 称为**自然坐标**.以后将会看到,用自然坐标来描述一般曲线运动,是很方便的.

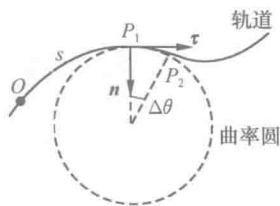


图 1.1.2 自然坐标系

自然坐标系将矢量分解到法向和切向进行研究,法向分量与轨道的曲率有关.设轨道上 P_1 和邻近点 P_2 切线之间的夹角为 $\Delta\theta$,两点间的路成为 Δs ,则 P_1 的曲率为

$$k = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta s} = \frac{d\theta}{ds} \quad (1.1.5)$$

P_1 的曲率半径为

$$\rho \equiv \frac{1}{k} = \frac{ds}{d\theta} \quad (1.1.6)$$

过轨道上一点 P_1 ,可以作很多与轨道相切的圆,如果圆的曲率半径与 P_1 的曲率半径相等,称这个圆为 P_1 的曲率圆.曲率和曲率半径反映了曲线的弯曲程度.

在自然坐标系中,任意矢量 \mathbf{A} 可以表示为

$$\mathbf{A} = A_n \mathbf{n} + A_\tau \boldsymbol{\tau} \quad (1.1.7)$$

随着物体的运动,单位矢量 \mathbf{n} 和 $\boldsymbol{\tau}$ 的方向不断地发生变化.法向单位矢量 \mathbf{n} 始终指向曲率圆的圆心,切向单位矢量 $\boldsymbol{\tau}$ 在无限小时间范围内的变化率可以表示为(图 1.1.3)

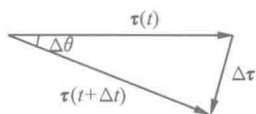


图 1.1.3 切向单位矢量的变化

$$\frac{d\boldsymbol{\tau}}{dt} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\Delta\boldsymbol{\tau}}{\Delta t} \mathbf{n} = \lim_{\Delta\theta \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \mathbf{n} = \frac{d\theta}{dt} \mathbf{n} \quad (1.1.8)$$

3) 极坐标系

在一固定直线上选取一点 O 作为坐标原点,以 O 点为端点作射线,称由射线、原点和固定直线构成的坐标系为极坐标系(图 1.1.4),通常称射线为极轴.在极坐标系中,用 (ρ, θ) 来确定一点的位置, ρ 表示点距原点的距离, θ 表示极轴与固定直线间的夹角.任意矢量通常分解为沿极轴(径向)和与极轴垂直(切向)的两个分矢量,这两个方向的单位矢量通常用 \mathbf{r}_0 、 $\boldsymbol{\tau}$ 表示,即

$$\mathbf{A} = A_r \mathbf{r}_0 + A_\tau \boldsymbol{\tau} \quad (1.1.9)$$

径向单位矢量始终在极轴上,方向由原点指向待描述点,切向单位矢量 $\boldsymbol{\tau}$ 始终与径向单位矢量垂直,方向与物体运动方向一致.在无限小时间范围内,矢量 \mathbf{A} 的变化率可表示为(图 1.1.5)

$$\frac{d\mathbf{A}}{dt} = \frac{d(A\mathbf{r}_0)}{dt} = \frac{dA}{dt} \mathbf{r}_0 + \frac{A d\theta}{dt} \boldsymbol{\tau} \quad (1.1.10)$$

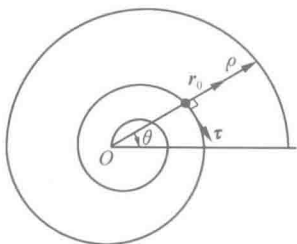


图 1.1.4 极坐标系

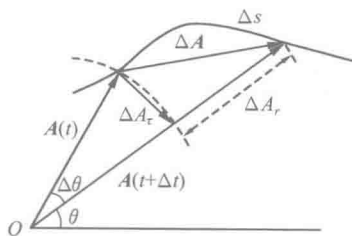


图 1.1.5 矢量变化率

1.1.3 对称性

物理学中存在两类不同性质的对称性,一类是某个系统或某件具体事物的对称性,常见的有结构对称、转动对称、镜像对称、时间对称、空间对称、点对称、轴对称等.另一类是物理规律的对称性.我们知道,物体运动的基本规律是不因时因地而异的,就是说,无论我们在什么时间、在哪一个地点进行物理实验,所得的基本物理规律有相同的形式,否则,这些物理规律就是不可重复的,就不是客观的普遍的科学规律了.这说明物体的运动规律对于时间的平移、空间的平移具有不变性.物理学认为,某规律在某种变换之后,若仍能保持不变,就称为具有对称性,而这种变换称为一种**对称变换**.例如,质点的运动方程在经过从一个坐标系平移为一个新坐标系的变换之后,仍保持原来的形式不变,我们就说质点的运动方程关于坐标系的平移变换具有对称性.

实际上,物理规律若具有空间平移变换对称性,表明空间没有绝对的原点,可以任意选择空间的一点作为坐标原点.同样,物理规律若具有时间平移变换对称性,表明时间也不存在绝对的原点.进一步,如果运动定律在某一变换下具有不变性,必相应地存在一条守恒定律.也就是说,物理定律的一种对称性,对应地存在一条守恒定律.例如,运动定律的空间平移对称性导致动量守恒定律,时间平移对称性导致能量守恒定律,空间旋转对称性(空间各向同性)导致角动量守恒定律.

对自然界中各种对称性的产生和破坏进行研究,是物理学的重要内容,而从对称性出发,去探寻物质运动的规律也成为构建物理理论的一种重要研究方法.关于对称性的进一步了解,可以参见本章的阅读材料.

1.2 运动叠加原理 理想模型化方法

考察一个实例,如图 1.2.1 所示,我们来描述地球上一个单摆振子的机械运动.



图 1.2.1 地球上单摆振子参与的运动示意图

首先,振子绕固定点 O 做简谐振动;其次,单摆随地球一起绕地轴 O_1O_2 自转;再次,地球绕太阳公转,且地轴与公转平面间的夹角还不断变化;最后,太阳系绕银河系中心旋转,如此等等.要描述单摆振子的机械运动,需要描述单摆振子所参

与的所有运动形式,这是比较繁杂的.

科学研究的重要方法之一,就是把复杂的运动分解为若干简单运动形式的“叠加”,然后从简单到复杂,逐次研究各种简单运动和简单运动的“叠加”规律,以达到认识一般复杂运动的目的.

因此,若一个物体参与多个运动,物体最终的运动状态,是由多个分运动共同决定的,这需要研究运动的合成;另外,从外表看,一个物体的运动似乎十分复杂,不容

易得到它的运动规律,或者很难找到决定物体复杂运动背后起主要作用的因素,但是,按傅里叶分析方法,人们总可以将这样的复杂运动分解为若干简单运动的叠加,进而在这些简单运动中,寻找到起主要作用的那个(或那些)因素,并得到对物体复杂运动的描述,这需要研究运动的分解.可见,运动的叠加是联系简单运动和现实复杂运动的桥梁,是运动学理论体系的重要组成部分.

1.2.1 运动叠加原理

实验研究表明,矢量合成满足平行四边形法则或多边形法则,正是因为矢量的这个运算法则,人们才能够将矢量在直角坐标系中表示成式(1.3.1).仔细考察矢量的合成法则,可以得到结论:第一,如果物体依次参与三个坐标分量上的分运动,则在完成各个分运动之后的坐标位置与三个分运动按矢量合成法则得到的位置矢量是相同的;第二,如果物体同时参与三个分量上的运动,则物体实际运动状态(如运动的轨迹等),在任何时刻都与三个分运动按矢量合成法则合成的运动状态相同;第三,如果物体只在某一个坐标方向上受到了改变其运动状态的原因,物体的总体运动状态会发生变化,但却对其余两个方向上的运动状态没有任何影响.概括这三个结论,就可以得到矢量的**叠加原理**或**独立性原理**:

(1) 物体参与几个矢量方向运动的最终状态,与这些矢量按平行四边形法则合成所得的合成矢量表示的运动状态相同;物体参与的任意矢量运动,都可以等效地认为是若干分矢量的合成.

(2) 物体在某一个矢量分量方向上的运动状态改变,与该矢量其他分量上的运动状态或运动状态的改变无关.

运动叠加原理是以运动参量是矢量为前提的,即只要一个物理参量是矢量,其合成与分解就一定满足运动的叠加原理.矢量的平行四边形运算法则是运动合成与分解的理论基础.标量不满足矢量运算法则,因此,讨论标量的合成与分解是无意义的,标量按代数加减法运算.

将运动叠加原理应用于具体的运动形式,就可以得到各种运动形式的运动叠加原理,比如振动的叠加原理与波动的叠加原理等.

1.2.2 理想模型化方法

严格地描述物体的运动,就应该给出物体中每一个点的运动情况.在实际问题中,这往往十分复杂,甚至是不可能实现的.下面分析几个实例,然后得到处理实际物体运动的一般方法.

如图 1.2.2 所示的单摆运动,容易看出,无论小球的直径与摆长相比有多么小,小球各点的运动情况也并不完全相同.事实上,当小球直径比摆长小得很多时,小球各点的运动差异可以忽略不计,此时,可以选择小球

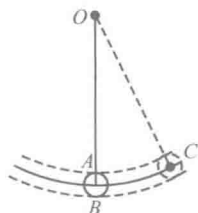


图 1.2.2 单摆运动的描述

的质心作代表点,近似认为质心的运动状态代表了小球中每一点的运动状况.这样,对小球运动状况的描述不仅可大大地得到简化,而且,所得的结果也不影响对小球运动状态描述的精度.我们把这种描述小球运动状态的近似模型,称为质点模型.

在高中物理中,我们把如图 1.2.2 所示的运动称为单摆,但必须注意此时有两个限制条件:其一,小球的摆角 θ 很小(通常规定为 $\theta < 5^\circ$),以保证小球所受到的回复力与角位移成正比,且方向相反;其二,小球在摆动过程中,不受空气或其他阻力作用,以保证小球在摆动过程中能量守恒,即单摆也是一个理想的近似模型.

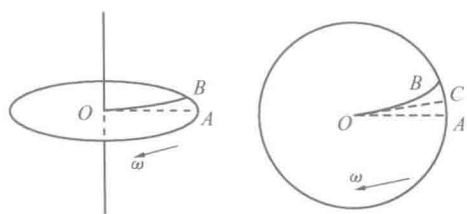


图 1.2.3 物体绕定轴的转动

再如绕定轴转动的物体,沿切线方向肯定会有形变(如图 1.2.3 中的 A 点,转动一定角度后,其位置并不在径向的 C 点,而是形变到 B 点),半径 OA 上各点的形变情况不尽相同.但是,如果这种形变很小,以至于它们可以被忽略,那么,物体绕定轴的转动就可以视为没有形变的“刚体”在绕定轴转动.

使对转动物体的运动状态描述得以大大简化,我们把这种理想化模型称为刚体模型.

在实际问题的研究中,忽略掉一些次要因素,把实际物理过程看做由少数主要因素决定的理想过程,这种由少数主要因素构成的数学计算模型,称为理想物理模型;这种研究方法,称为物理学中的模型化方法.

理想模型化不仅是物理学的基本方法,也是所有自然学科的基本研究方法,对任何实际问题的研究,首要的任务就是抽象理想模型,否则,定量研究就不可能.今天,人们不仅习惯了在自然科学中使用模型化方法,而且正尝试将模型化方法、量化方法引入传统的社会科学中,出现了一系列自然科学与社会科学的交叉学科,如教育统计学、模糊数学、物理经济学等.

任何理想模型,都是对实际问题的近似和抽象,依据研究问题的精度不同,可以提取不同近似程度的理想模型;反过来,一旦理想模型被确定,理论研究结果与实际物理过程的接近程度也被确定,因此,任何一个理想模型,都有一定的适用范围,这个范围,常常就是人们所说的理论的适用条件.在学习任何一个理论或阅读任何一篇文献的时候,都应该首先弄清楚这些理论所对应的理想模型.

随着研究问题精度的提高,原有的理想物理模型可能就不再适用,这时,人们往往不是简单地在原有模型的基础上继续添加以前被忽略的“次要因素”,而是以原有的理想模型为基础,适当地增加修正项,并以原有结果为基础,作适当的修正计算得到新的近似结果.这种思想对应的数学工具常常是不同阶的级数展开.

1.2.3 质点与刚体

当物体的线度(几何形状)对其运动状态的影响可以忽略不计时,用一个集中了

物体所有质量的数学点来代表物体的运动状态,称此点为**质点**;称这种抽象模型为**质点模型**.如果不考虑物体的形变与转动(即物体只做平动),质点模型严格地代表了物体的运动状态,因为此时物体各点的运动状态是完全相同的.如果物体存在形变或转动,但这些因素对物体总体状态的影响可以忽略不计,此时,质点模型只近似代表了物体各点的运动状态.对前一种情况,分析物体受力时,将简化的质点恢复成具有形状和大小的物体与直接采用质点模型进行分析,不会产生任何差别,对应于中学讨论的物体受共点力问题.对后一种情况,必须将物体受力平移到质心,将非共点力近似认为成共点力,即需要忽略或暂时不考虑物体所受的力矩或物体转动对其总运动状态的影响.

当物体的形变对其运动状态的影响可以忽略不计时,将物体看做一个不发生任何形变的数学几何体,称此几何体为**刚体**;称这种抽象模型为**刚体模型**.与质点模型相比,采用刚体模型处理实际问题时,记入了物体大小与几何形状对物体运动状态的影响,忽略的仅仅是物体的几何形变对其运动状态的影响.在分析受力时,必须准确分析物体受力的三要素,考虑力矩或转动状态对物体各点运动状态的贡献,对应于中学物体所受的非共点力情况.实际上,引入刚体模型的主要目的是研究物体的转动状态.

1.3 描述一般曲线运动的线参量与角参量

定量研究的基本方法是抽象出理想模型,在此基础上,引入描述物理状态或过程的特征参量,然后建立各特征参量之间的数学函数关系式,进而得到定量的理论体系.

抓住各类运动的基本特征,合理地引入描述这些运动特征的物理参量,是定量研究中很关键的步骤.所谓合理地引入物理参量,是指引入的参量能够方便地描述物体的运动;同时,所引入的物理参量都必须能确切地描述物体的运动,即通过这些物理参量的差别,能够表征出两个做任意相似运动物体运动状态的差异.

在机械运动的描述中,通常有时间参量,描述一般曲线运动的线参量、描述刚体转动的角参量、描述具有周期性运动的振动与波动参量,每一组参量,都能确切地描述物体所做的机械运动,只是不同类别的参量,在描述不同机械运动形式时的方便程度不一样而已.我们把几类运动学参量放在一起集中讲述,目的是请读者体会:对具有不同特征的机械运动,如何引入适当的物理参量,使得对这些机械运动的描述变得更加方便.

1.3.1 时间参量

1. 时间的描述

时间是描述物质持续性、顺序性的物理参量.所谓持续性是指任何一个物体的运

动都要经历一个或长或短的过程,所谓顺序性是指物质不同运动状态之间总存在一个先后顺序关系.时间的持续性与顺序性表明,时间具有一维性,即从过去、现在到将来方向发展,并且一去不复返.

现实生活中,人的主观感觉能够感受到时间的流逝,这种主观感觉的时间称为主观时间.

2. 时间的测量方法与计量标准

连续的主观时间是不可能测量的,任何的连续区域都不可能在其自身内部包含它的量度!只有借助测量工具——时钟,用它将先后发生的物理事件与定量的数字联系起来,才可能测量两个物理事件的时间间隔,即时间.可见,度量时间的前提条件是找到物质的某种运动属性,这种属性首先容易被定量标度,其次还必须能够和被测量的物理事件建立起一一对应关系,以定量标度被测量物理事件发生的先后次序.这样,同时性概念就被提出来了,因为我们说火车七点钟到达,就是说火车到达时,钟表刚好运动到被定量标度的数字七,这两个物理事件必须同时发生.时间的测量是以同时性概念为基础的!

如何判断两个物理事件是同时发生的呢?我们先给出两条基本假设和一个实验结论.

假设 1:在同一惯性参考系中,同一地点发生的两个物理事件,其同时性是可以被实验判断的.

假设 2:在同一惯性参考系中,测量到两确定空间点的距离是相同的.

迈克耳孙-莫雷实验结果:光在真空中的传播的速率均为 c ,与信号源的运动无关.

现在来讨论在同一坐标系中,不同空间点的时间校准问题(即空间各点的同时性校准问题).由假设 1,可以在该坐标系的空间各点定义一个时间,称为地方时间.由假设 2,总可以找到两确定空间点的中点,指示两空间点的实验员,发出光信号,如果在中点的观察者发现两列光信号同时到达,由迈克耳孙-莫雷实验结果,则称两确定点的地方时间已被校准.即原则上,同一惯性系的地方时间是可校准的.可见,同一惯性系,可以有统一的时间表示,称这种同一惯性系的统一时间表示为惯性系时间.这也同时意味着,在惯性系中,有理由用 (x, y, z, t) 来表示物理事件发生的空间位置与时间了.

有了惯性系时间,就可以在同一惯性系下对时间进行定义和测量了.随着科技的进步,人们找到了越来越稳定的物质运动属性来度量时间^①,历史上,曾规定了“天文秒”,即规定 1s 的长度等于 1900 年地球连续两次通过春分点时间的 $1/31556925.9477$.1967 年,第 13 届国际计量大会决定采用铯原子钟作为新的时间计量标准,定义 1s 的长度等于与铯 133 原子基态两个超精细能级之间跃迁相对应的辐射周期的 9192631770 倍.这个测量精度可以达到 $10^{-13} \sim 10^{-12}$ s.近年来,一些科学

^① 赵凯华,罗蔚茵,力学.北京:高等教育出版社,1995:8~11.