

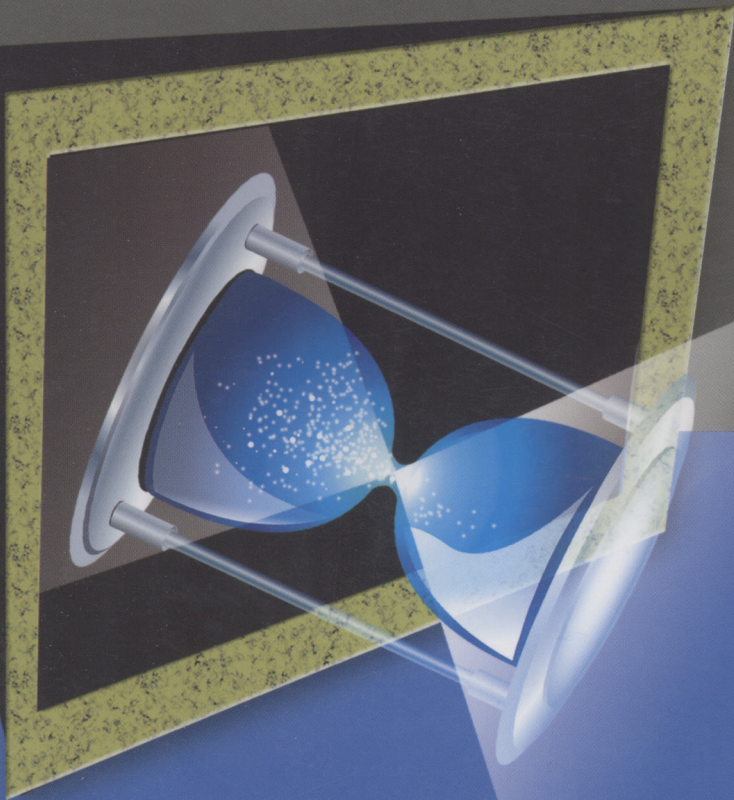


普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理学

(上册)

主 编 滕保华 廖 旭
副主编 许春青 柳福提



科学出版社

www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理学

(上册)

主 编 滕保华 廖 旭

副主编 许春青 柳福提

本书是为普通高等院校非物理类专业编写的教材。本书以物理学的基本概念、基本规律、基本方法为主线，注重物理思想的渗透和物理能力的培养。本书可作为高等院校非物理类专业大学物理课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

本书以物理学的基本概念、基本规律、基本方法为主线，注重物理思想的渗透和物理能力的培养。本书可作为高等院校非物理类专业大学物理课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

本书以物理学的基本概念、基本规律、基本方法为主线，注重物理思想的渗透和物理能力的培养。本书可作为高等院校非物理类专业大学物理课程的教学用书，也可供从事物理工作的工程技术人员参考。

本书配合两个学期统计物理初步，下册包括大学物理课程，也适用于参加本书编写工作。

16~20章)，许春青(第16~20章)，柳福提参加了部分编写工作。

在本书编写和出版过程中，清华大学物理系、物理电子学院和大学物理课程组给予了大力支持，清华大学出版社也给予大力支持，编者在此一并表示衷心感谢。

本书在编写过程中，清华大学物理系、物理电子学院和大学物理课程组给予了大力支持，清华大学出版社也给予大力支持，编者在此一并表示衷心感谢。

本书在编写过程中，清华大学物理系、物理电子学院和大学物理课程组给予了大力支持，清华大学出版社也给予大力支持，编者在此一并表示衷心感谢。

科学出版社

北京

编者

2009年12月

04-43
71ab

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,廖旭主编. —北京:科学出版社,2010
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 978-7-03-026655-2

I. ①大… II. ①滕…②廖… 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(2010)第 019394 号

责任编辑:窦京涛 / 责任校对:钟 洋
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年2月第一版 开本:B5(720×1000)

2010年2月第一次印刷 印张:22

印数:1—9 000 字数:444 000

定价:29.00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。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),廖旭(第4、5、12章),雷雨(第6、16~20章),许春青(第7~9章),孙云卿(第10、11章),黄兵花(第13~15章),任学藻和柳福提参加了部分编写工作。

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

2009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
1.1.1 绝对运动与相对静止相统一	3
1.1.2 参考系和坐标系	3
1.1.3 对称性	6
1.2 运动叠加原理 理想模型化方法	6
1.2.1 运动叠加原理	7
1.2.2 理想模型化方法	7
1.2.3 质点与刚体	8
1.3 描述一般曲线运动的线参量与角参量	9
1.3.1 时间参量	9
1.3.2 描述一般曲线运动的线参量	12
1.3.3 描述刚体转动的角参量	19
1.3.4 对一般曲线运动描述的应用举例	21
1.4 相对运动.....	22
1.4.1 相对运动问题与对称性原理	22
1.4.2 伽利略变换	23
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
2.1.1 牛顿三大定律	39
2.1.2 几种常见的力	41
2.1.3 牛顿定律的应用	44
2.1.4 惯性参考系和非惯性参考系	47
2.2 力对物体的时间积累效应——动量守恒定理.....	55
2.2.1 单质点的动量定理	55

2.2.2	质点系的动量定理	57
2.2.3	动量定理的应用	58
2.2.4	质心、质心定理、质心坐标系	65
2.2.5	火箭飞行问题	69
2.3	力对物体的空间效应——能量守恒定理	72
2.3.1	质点的功与能	72
2.3.2	质点系的功能原理	81
	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
3.1.1	绕固定转轴的刚体转动定理	95
3.1.2	刚体转动惯量的计算	97
3.1.3	刚体转动定理的应用	100
3.2	力矩的时间累积效应——刚体的角动量定理	102
3.2.1	冲量矩	102
3.2.2	角动量与角动量定理	103
3.2.3	刚体的角动量守恒定律	104
3.2.4	角动量定理、角动量守恒定律的应用	105
3.3	力矩的空间累积效应——刚体的机械能守恒定律	111
3.3.1	力矩的功	111
3.3.2	刚体的功能原理	112
3.3.3	刚体功能原理的应用	113
	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
4.1.1	简谐振动的运动学方程	126
4.1.2	简谐振动的速度与加速度	129
4.1.3	简谐振动的旋转矢量表示法	130
4.2	简谐振动的动力学	131
4.2.1	弹簧振子的简谐振动	131
4.2.2	单摆与复摆的简谐振动	132
4.3	简谐振动的能量	136
4.3.1	简谐振动的能量	136

4.3.2	从振动能量建立动力学方程	137
4.4	阻尼振动 受迫振动 共振	139
4.4.1	阻尼振动	139
4.4.2	受迫振动	141
4.4.3	共振	142
4.5	简谐振动的合成	144
4.5.1	同方向、同频率的简谐振动的合成	144
4.5.2	同方向、不同频率的简谐振动的合成	146
4.5.3	相互垂直的简谐振动的合成	148
4.5.4	振动的频谱分析	150
	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
5.1.1	机械波的形成及条件	160
5.1.2	行波及其几何描述	161
5.2	平面简谐波的运动方程	163
5.2.1	平面简谐波的运动方程——波方程(波函数)	163
5.2.2	弹性介质中的波速	170
5.3	波动的动力学方程	172
5.3.1	波动方程的建立	172
5.3.2	波速在动力学方程中的表现形式	177
5.4	波的能量	178
5.4.1	简谐波的能量	178
5.4.2	波的强度	181
5.5	声波、超声波和次声波	183
5.5.1	声波	183
5.5.2	超声波与次声波的应用	186
5.6	波的叠加	187
5.6.1	惠更斯原理、波的反射与折射	187
5.6.2	波的干涉	189
5.6.3	驻波	193
5.7	多普勒效应	199
	阅读材料 孤波	202
	思考题	204
	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
6.1.1 经典力学的基本原理	209
6.1.2 经典电磁理论的基本原理	212
6.1.3 经典力学与经典电磁学的冲突——关于光速的困难	212
6.1.4 相对论的创立	213
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
6.4.1 运动时钟变慢(时钟延缓效应)	219
6.4.2 运动直尺收缩	220
6.4.3 同时的相对性	221
6.5 相对论的速度合成	224
6.6 相对论动力学基础	226
6.6.1 相对论中的质量和动量	226
6.6.2 相对论的动力学方程	227
6.6.3 相对论中的能量	228
6.6.4 相对论的能量——动量关系	229
6.7 广义相对论简介	229
6.7.1 惯性参考系问题	230
6.7.2 引力问题	230
6.7.3 广义相对性原理	231
6.7.4 爱因斯坦引力场方程	231
6.7.5 广义相对论中质点的运动规律	232
6.7.6 广义相对论效应及实验验证	233
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
7.1.1 热力学系统	243
7.1.2 平衡态	243
7.1.3 状态参量	244
7.2 理想气体的微观模型、压强和温度的统计意义	244
7.2.1 理想气体	244

7.2.2	理想气体的压强公式	246
7.2.3	温度的统计意义	247
7.3	能量按自由度均分定理	250
7.3.1	分子运动的自由度	251
7.3.2	能量按自由度均分定理	251
7.3.3	理想气体的内能	253
7.4	麦克斯韦气体分子速率分布	254
7.4.1	分子速率分布函数	255
7.4.2	麦克斯韦速率分布	255
7.4.3	分子速率分布的实验测量	257
7.5	玻尔兹曼分布定律	259
7.5.1	玻尔兹曼分布律	259
7.5.2	重力场中粒子按高度的分布	260
*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
8.1.1	热力学第一定律	274
8.1.2	热容量	277
8.1.3	热力学第一定律应用于理想气体	281
8.2	循环过程和卡诺循环	288
8.2.1	循环过程	288
8.2.2	卡诺循环	290
8.3	热力学第二定律与不可逆过程	294
8.3.1	开尔文表述	294
8.3.2	克劳修斯表述	295
8.3.3	两种表述的等价性	295
8.3.4	可逆过程和不可逆过程	296
8.3.5	卡诺定理	298
*8.3.6	能量的退化与能源	299
8.4	熵和熵增加原理	300
8.4.1	态函数——熵	300
8.4.2	熵增加原理	302
*8.4.3	负温度系统下的热力学定律	304

8.5	热力学第二定律的统计意义	306
8.5.1	相空间、宏观态与微观态	306
8.5.2	等概率假说和热力学概率	307
8.5.3	玻尔兹曼公式	307
8.5.4	热力学第二定律的适用范围	308
* 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
9.1.1	分子固有体积修正	318
9.1.2	分子吸引力修正	319
9.1.3	范德瓦耳斯方程	319
9.1.4	实际气体的内能	320
9.2	气体内的输运过程	321
9.2.1	气体分子的平均自由程	322
9.2.2	热传导现象	323
9.2.3	内摩擦现象	324
9.2.4	扩散现象	324
9.3	固体和液体的热性质	325
9.3.1	固体热容量	326
9.3.2	固体的膨胀	327
9.3.3	热传导和扩散	328
9.3.4	液体分子的热运动	328
9.4	物态和相变	329
9.4.1	气液固三相图	330
9.4.2	其他的相变	330
9.4.3	相变的基本特征和分类	331
	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,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

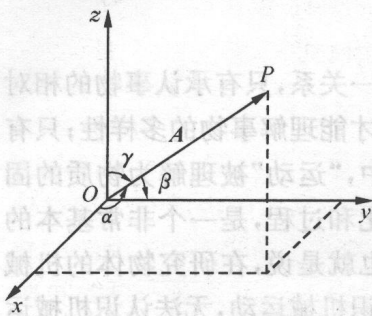


图 1.1.1 直角坐标系

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.

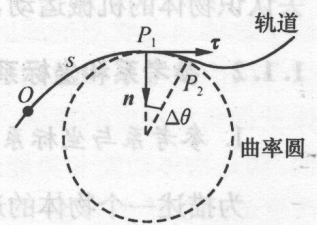


图 1.1.2 自然坐标系

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)

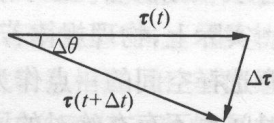


图 1.1.3 切向单位矢量的变化

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

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)

$$\frac{d\mathbf{A}}{dt} = \frac{d(Ar_0)}{dt} = \frac{dA}{dt} \mathbf{r}_0 + \frac{A d\theta}{dt} \boldsymbol{\tau} \quad (1.1.10)$$

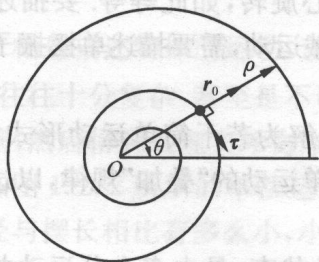


图 1.1.4 极坐标系

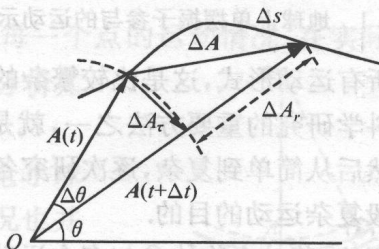


图 1.1.5 矢量变化率

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.

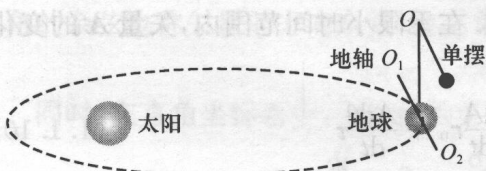


图 1.2.1 地球上单摆振子参与的运动示意图

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

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

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

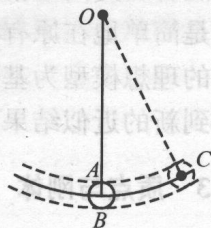


图 1.2.2 单摆运动的描述