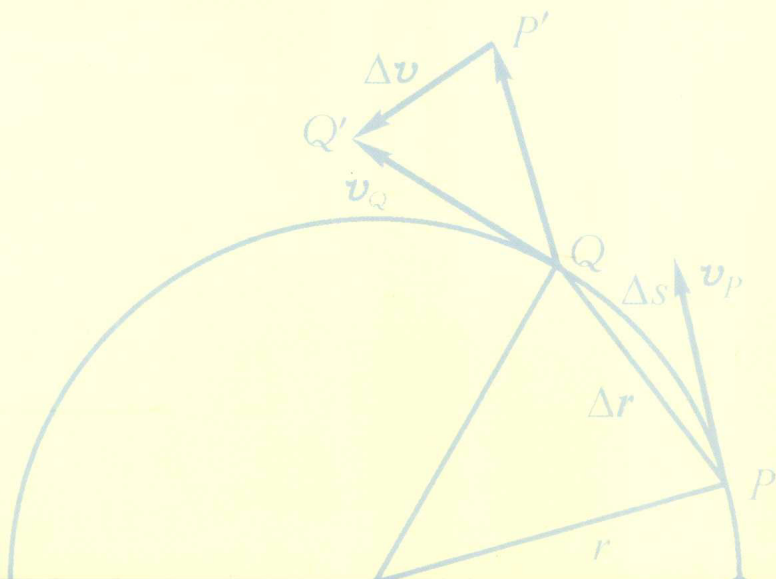




普通高等教育“十一五”国家级规划教材



# 大学物理教程 (上册)

夏兆阳 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 大学物理教程

Daxue Wuli Jiaocheng

(上册)

夏兆阳 主编



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容简介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是全国教育科学“十五”国家规划课题“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的子课题“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究成果,是针对应用型人才培养中基础课程教学的特点与要求编写的。

本书突出对学生的科学素质教育,突出时代性、应用性和普适性。在保留我国物理教材传统体系的基础上,加入20世纪新发展的物理学知识。本书语言表述简洁、准确,重点放在物理概念、基本规律、科学图像、认知过程、基本解析能力上。书中对习题的选择突出实践应用性,强调锻炼学生的科学思维。对于数学运算复杂及偏难的题目尽量不用或少用。本书有配套的带有习题解答的教师用书。

本书分上、下两册,上册包括力学、热学、振动、波动和波动光学,下册包括电磁场和近代物理。本书可作为高等学校工科各专业大学物理基础课程的教材,也可供理科非物理类专业的学生和社会读者阅读使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程(上册)/夏兆阳主编. —北京:高等教育出版社,2010.5

ISBN 978-7-04-029194-0

I. ①大… II. ①夏… 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054892号

策划编辑 高建      责任编辑 张海雁      封面设计 张楠  
责任绘图 宗小梅      版式设计 王艳红      责任校对 金辉  
责任印制 毛斯璐

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 国防工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16  
印 张 16.75  
字 数 310 000

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010年5月第1版  
印 次 2010年5月第1次印刷  
定 价 23.10元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 29194-00

# 序

在科学发展的历史长河中,物理学以擎柱作用和奠基地位屹立于自然学科之林。如果从牛顿时代算起,已有 300 多年的历史了。物理学并不因为其形成与发展的历史久而显得陈旧,相反地,自 20 世纪以来,物理学的进展推动着其他学科的发展,并诱发出诸多交叉、分支学科和新的技术领域,显现出物理学仍然具有推动人类社会进步和科学技术发展的巨大生命力。

教育的实践和人才培养的规律都已证明,正是因为物理学有如此重要的作用,所以在构建高等教育理工科类专业的课程体系中,物理学所具有的基础课程地位,只能加强,不可动摇,不可替代。在教育发达的国家,高等教育的人文类和管理类等专业的课程“菜单”中,列入物理课程已不为鲜事。这就更加证明了培养新世纪所需要的人才,物理课程的教育有着特别重要的作用。

物理课程的学习,不仅使受教育者获得必要的物理知识,而且还能从学习物理的过程中养成唯物辩证的思维方式、科学严谨的行为方法和勇于创新的探索精神。这些正是 21 世纪的专业人才应该具有的基本素质。

今天,当人类社会跨入到以信息科学技术为主要标志的时代,一方面,人们已经理性地感受到,由于物理学的发展促进了计算机技术、信息技术的诞生与飞速发展,从而加速了信息化社会到来;另一方面,还必须认识到,由于物理学的自身发展和信息化社会对专业人才的新要求,我们必须对物理学的课程内容、课程体系和教学方法等方面进行改革与创新,以主动适应新世纪对高等教育人才培养的要求。全国高等教学研究中心在规划国家“十五”重点项目时,把“面向应用型人才培养的大学本科物理课程设计与教材建设的研究与实践”列入“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目中,是极为有意义的一件事。

由夏兆阳主编并偕同全国十余所大学教师合编的《大学物理教程》是该课题的一项重要研究成果。该书中不仅渗透了这些参编教师多年的教学经验,而且还在一定程度上反映出他们在物理教学改革方面的一些很好的创新思路。整套教材体现了一定的时代性、应用性和普适性等特点。全书除了保留大学本科学生所必需的物理基本理论外,还适当地引入了 20 世纪特别是近二三十年来新发展起来的一些物理学理论,如对称性、混沌过程、信息熵和耗散结构理论等。向学生介绍一些现代物理前沿知识,有利于学生开阔眼界,启迪思维。此外,对

于物理知识在高新技术中的某些应用,如量子应用技术、纳米技术、激光技术等,结合教学需要作了一些介绍,留有学习具体技术应用的“接口”。这不仅使物理课程的教学更加接近于实际,而且有利于培养学生分析问题、解决问题的能力,理论联系实际的能力。该套教材内容在深度和广度上,符合教育部规定的有关大学物理课程教学的基本要求,例题和习题的选配得当,难易程度适中,对于一般院校的教学是适宜的。一般院校在数量上是我国高等学校的主体,因此,该教材具有较大的普适性。

作为高等教育教学改革和教材建设的一项成果,该书中难免有瑕疵之处,但是编者在这套《大学物理教程》教材所作的认真努力,改革探索,对于我国高等教育教材创新具有一定的启示作用。

杜祥琬

二〇〇三年九月

# 前 言

《大学物理教程》是国家“十五”重点项目“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”的研究成果。经数年全国多所院校使用,适合当前高等工科院校实际的教学要求。本教材经申报评审被列入“十一五”国家级规划教材,经过两年数位教学一线教师认真修改现已完稿,考虑到本书的具体情况仍作为第一版出版。考虑到杜祥琬院士的序仍能反映本书特点,所以也作为本书的序。

《大学物理教程》的改编按照新颁布的教育部《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2008年版),遵从基本物理学理论的系统性,保持教学体系的完整性,面向新世纪、面向未来。

《大学物理教程》的编写,旨在面向新时期应用型人才培养,面向一般普通高等学校非物理类专业使用的物理教材。针对应用型大学,我们提出物理教学内容的特点是:浅、宽、新、用。

**浅:**就是物理学各部分内容都适当降低知识的难度和深度要求,知识细节不过多强调,基本练习题要求掌握。

**宽:**就是物理学内容的知识面要适当放宽,不局限线性物理内容,不局限理想化条件下的经典物理学。知识面扩大到现实世界中所展现的线性和非线性物理学的概念与思维。

**新:**就是在不打乱大学物理课程基本教学体系的基础上,遵循物理学的发展更新知识,增加20世纪新发展的物理学知识。主要为:对称与守恒、混沌、熵与信息、熵与社会经济、耗散结构理论、广义相对论等。

**用:**就是突出物理学思想在一切知识、哲学、世界观等方面的应用,应用物理学思想去指导学习、工作和整个人生。通过大学物理学教育,建立学生的基本科学观念、思维方式和提高学生分析问题、解决问题的能力。

《大学物理教程》内容的信息量,是以目前多数高等学校的物理课程教学学时数为76~120为参考配置的。考虑到不同院校的各类专业物理课程教学学时数差异较大,所以该书的部分内容采取了模块组合式,以便于不同院校可根据专业的具体情况,进行重组或取舍。

《大学物理教程》由夏兆阳主编。本书的编写,得到全国高等教学研究中心、高等教育出版社的大力支持,中国工程院副院长、中国物理学会副理事长杜祥琬院士提出了许多有益的建议。沈乃敏老师作了长时间认真的审阅修订。南

昌大学何明标教授在修改过程中给出了细致的意见。在此我们一并表示衷心的感谢。

本书第1章由赵敏改编；第2章由张东修订；第3章由母小云参与修订；第4章由倪苏敏修订；第5章由姜黎霞修订；第7章、第8章由王雪梅修订；第6章、第10章、第14章由夏兆阳修订；第9章由姚淑娜修订；第11章由高兴茹修订；第12章由钱卉仙修订；第13章由母小云修订；第15章由陆军修订。新添思考题多数由母小云老师编写。由于编者水平有限，书中难免有不足和疏漏之处，恳请批评指正。

编 者

2009年6月

# 目 录

绪论 .....	1
----------	---

## 第一篇 力 学

<b>第 1 章 质点力学</b> .....	6
§ 1.1 参考系 质点 .....	6
§ 1.2 描述质点运动的基本物理量 .....	7
§ 1.3 圆周运动 .....	13
§ 1.4 相对运动 .....	17
§ 1.5 牛顿运动定律及其应用 .....	19
§ 1.6 惯性系 力学相对性原理 .....	26
§ 1.7 动量与冲量 质点的动量定理 .....	28
§ 1.8 质点系的动量定理 动量守恒定律 .....	29
§ 1.9 碰撞 .....	33
§ 1.10 功 功率 .....	36
§ 1.11 保守力与非保守力 势能 .....	38
§ 1.12 动能定理 功能原理 机械能守恒定律 .....	43
思考题一 .....	46
习题一 .....	47
<b>第 2 章 刚体的定轴转动</b> .....	50
§ 2.1 刚体的运动 .....	50
§ 2.2 转动定理 .....	51
§ 2.3 力矩的功 转动的动能定理 .....	57
§ 2.4 角动量 角动量守恒定律 .....	60
§ 2.5 进动 .....	63
思考题二 .....	64
习题二 .....	64
<b>第 3 章 力学新进展</b> .....	67
§ 3.1 对称性原理 .....	67
§ 3.2 对称与守恒 .....	71
§ 3.3 对称性的破缺 .....	73



§ 3.4	混沌现象 .....	75
§ 3.5	混沌现象举例 .....	78
§ 3.6	由倍周期分岔通往混沌的道路 .....	83
§ 3.7	混沌现象的特性、本质及应用 .....	88
	思考题三 .....	94
	习题三 .....	94
 <b>第二篇 热 学</b>  		
<b>第 4 章</b>	<b>气体动理论</b> .....	96
§ 4.1	气体动理论的基本观点和基本概念 .....	96
§ 4.2	理想气体压强与温度的微观解释 .....	100
§ 4.3	能量均分定理 理想气体的内能 .....	104
§ 4.4	微观量的概率分布 .....	108
§ 4.5	气体分子平均碰撞次数和平均自由程 .....	113
	思考题四 .....	116
	习题四 .....	116
<b>第 5 章</b>	<b>热力学基础</b> .....	118
§ 5.1	热力学第一定律 .....	118
§ 5.2	理想气体的等值过程 .....	121
§ 5.3	绝热过程 .....	126
§ 5.4	循环过程 卡诺循环 .....	130
§ 5.5	热力学第二定律 .....	136
	思考题五 .....	140
	习题五 .....	140
<b>第 6 章</b>	<b>热学新进展 熵</b> .....	143
§ 6.1	熵概念的产生 .....	143
§ 6.2	熵增加原理 .....	146
§ 6.3	能“质”的衰退 .....	148
§ 6.4	熵与信息 .....	150
§ 6.5	耗散结构理论 .....	158
	思考题六 .....	164
	习题六 .....	164

## 第三篇 振动 波动 波动光学

<b>第 7 章 振动</b> .....	166
§ 7.1 简谐振动 .....	166
§ 7.2 简谐振动中的振幅、周期、频率和相位 .....	168
§ 7.3 旋转矢量 .....	173
§ 7.4 简谐振动的能量 .....	177
§ 7.5 简谐振动的合成 .....	178
§ 7.6 阻尼振动 受迫振动 共振 .....	182
思考题七 .....	185
习题七 .....	185
<b>第 8 章 波动</b> .....	188
§ 8.1 波的基本概念 .....	188
§ 8.2 平面简谐波的波动方程 .....	191
§ 8.3 波的能量 能流密度 .....	196
§ 8.4 惠更斯原理 波的衍射 .....	198
§ 8.5 波的叠加原理 波的干涉 .....	199
§ 8.6 驻波 .....	202
§ 8.7 声波 超声波 次声波 .....	204
§ 8.8 多普勒效应 .....	205
思考题八 .....	208
习题八 .....	209
<b>第 9 章 波动光学</b> .....	213
§ 9.1 相干光源 .....	213
§ 9.2 分波阵面法获得相干光 .....	215
§ 9.3 光程和光程差 .....	219
§ 9.4 分振幅法获得相干光 .....	220
§ 9.5 光的衍射 .....	228
§ 9.6 衍射光栅 .....	236
§ 9.7 X 射线的衍射 布拉格方程 .....	239
§ 9.8 光的偏振 .....	240
思考题九 .....	246
习题九 .....	246
<b>习题答案</b> .....	251

# 绪 论

物理学是一门基础科学,是研究组成整个世界的物质运动的基本规律的科学。物理学的发展过程,就是人类对整个客观物质世界的认识过程,所以物理学是科学的世界观和方法论建立的基础。物理学的研究对象遍及整个世界,不同的运动形式具有不同的运动规律,当然就产生了不同的研究方法。物理学按发展到今天的历史过程,可分为经典物理学和现代物理学。经典物理学,一般包括20世纪前就已发展得相当成熟的力学、热学、电磁学、光学,现代物理学,一般是指20世纪以来新近发展起来的相对论和量子论,以及力学、热学的新进展,如对称与守恒、混沌、熵与信息、耗散结构理论等现代物理学部分。物理学研究的是宇宙物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律。物理学的基本概念和基本规律是自然科学中很多领域的基础,并且是工程技术发展的根源。

## 一、物理学在科学中的地位

物理学是自然科学和部分社会科学的基础学科。物理学的进展,刺激了数学的发展,带动了天文学、化学和生物学的发展。物理学对世界认识的每一进展还极大地影响了社会科学的发展,改变着整个人类的哲学思想和行为方式。

物理学发现的定性规律,最美妙的是用数学表达式定量地简洁表述出来,数学成为物理学不可缺少的工具。物理学的发展和需要,给数学研究开辟了广阔的天地。历史上许多著名的科学家,如牛顿、欧拉、高斯等,对于物理学和数学都作出了重大贡献。很多大数学家,如庞加莱、克莱因、希尔伯特等,也都精通理论物理学。

物理学与天文学关系密不可分,从天文观测可得到物体运动和引力的规律。物理学的发展给天文学的研究提供了重要的手段,如分辨率不断提高的天文望远镜等。随着物理学的发展,采集天文信息的波段,已从可见光扩展到无线电波、X射线。此外,现代物理学已提供了各种宇宙探测手段。广义相对论的证据都来自于天文观测,反过来,在相对论的指导下解决了大量天文学问题,并改变和发展了天文学的最根本的理论,直至建立了现代宇宙学的标准模型——大爆炸理论。

化学是研究物质变化中的原子、分子这层次的学科。它的原子论和分子论为物理学中的气体动理论奠定了基础；而物理学中的量子理论、原子的电子壳层结构又从本质上说明了各种元素性质周期性变化的规律。量子力学的诞生导致量子化学的产生，物理学的发展推动了化学的发展。

物理学为生物学的研究也提供了大量的实验手段，如电子显微镜、X射线衍射、核磁共振、扫描隧穿显微镜等。物理学熵及信息的研究成果，推动了生命科学的发展。正是20世纪40年代的物理学家薛定谔开创了量子生物学，提出了遗传密码存储于非周期晶体的观点，并经生物学家长期努力确定了DNA（脱氧核糖核酸）的晶体结构，揭示了遗传密码的本质，并在近期完成了人体信息图谱的工作。这是20世纪生物科学最大的突破。

## 二、物理学与技术的关系

物理学是一门科学。科学是宇宙客观存在的规律性的东西，它不以人们的认识而转移、变化。人类只能去认识它、揭示它、接近它，而不可能妄图去创建它、改造它。科学一旦被人类所发现和认识，与在被发现和认识之前一样，是人类共有的财富，而不是部分人的财富或专利。

技术是科学指导下产生的改造世界的手段。这种手段是技术工作者和工程人员依照科学的基本原理、自己头脑中的设想以及前人的经验，创造出的方法手段。由此可见，技术中包含着人类的劳动和创造，是人类的成果。一个新的科学发现在很短的时间内，就可能会带动一系列的技术成果。这些是属于发明者、革新者个人的成就，其专利及所产生的财富部分属于发明者（工程技术人员）本人。科学和技术是完全两个不同领域的问题。

生产实践的需要使人们创建了部分技术，18、19世纪蒸汽机等热机技术产生后，人们提高到理论上就建立了热力学；热力学作为物理科学进一步促进了热机技术的发展。现代的技术发展，来源于或依赖于物理学理论。如法拉第发现的电磁感应和麦克斯韦确立的电磁场理论，产生了电机、电报、电视、雷达等，创建了现代电力工程与无线电技术。物理学是技术革命的根源。反过来高技术发展对物理学提出了新的要求和课题，同时也提供了研究的条件和手段。物理学的基础研究在现代高技术，如核能技术、超导技术、信息技术、激光技术、电子技术中起到了突出的作用。一个新物理学规律的发现和成熟，在现代转化为技术的速度越来越快，范围越来越宽。这充分体现了科学对技术的指导作用。

## 三、物理学是科学的世界观和方法论的基础

物理学思想就是人类面对物质世界的最根本的看法，他左右着人类的综合世界观。每一个新的物理概念和物理规律的确立都是人类认识上的一次飞跃都

是对陈旧传统观念束缚的突破。正确的科学世界观的确立,对于科学或物理学的发展都具有重要的意义。同样,一项物理学上重大的科学发现往往也直接改变着人们的世界观。

物理学的新进展,改变着人们对世界的看法,对习俗、宗教、社会学、人文学也产生了重大的冲击。物理学对宇宙的起源和演化的理论,改变着人们的宇宙观和世界观。物理学的信息熵的发展直接影响着社会科学、信息学的发展。物理学对时间、空间的进一步认识,自然会改变人们最基本的认识论,在哲学领域产生最深刻的影响。

物理学是一门实验科学,物理学的发现和发展过程充满了科学的认识论。很多物理学的假说来源于原有理论无法解释的实验,而进一步的实验又是对假说的验证和检验,同时理论对实验又有重要的指导作用,最终假说成为人们对客观世界、科学规律的正确认识,并成为正确的物理学理论。

物理学理论的形成,是科学思想与科学方法论相结合的结果。学习物理学理论的同时,更应该学习科学的方法论。了解一个物理学定律的发现和完善的过程,往往比物理学的结论更为重要,因为正是这样的过程中充满了发现、揭示、归纳、总结的方法。这对于一个大学生素质的提高往往是更有价值的东西。

物理学的方法论有很多的方面,而且针对不同的物理过程,也有所不同。其中包括逻辑分析方法、应用独立性原理的分解与合成的方法、由物理学最基本的原理推导出具体物理学科的规律的方法、物理学模型、理想化模型、物理学类比、物理规律由假说到定律的形成方法等科学方法。在此不再一一叙述,物理学的方法论的内容,将融汇到物理学的具体内容之中。



# 第一篇

## 力 学

自然界中的一切物质都处于永恒的运动之中,物质的运动形式多种多样,其中最简单最基本的运动是机械运动。机械运动是指物体间或物体各部分之间相对位置的变动。力学是研究物体机械运动的规律及其应用的学科。

力学对现代工程技术具有重大的实用价值。设计房屋、桥梁,制造飞机、轮船,发射人造地球卫星、宇宙飞船,都要以力学原理为基础。此外,在较高级、复杂的运动形式中也含有机械运动。所以学习力学的基本原理对于研究物理学的其他内容以及自然科学的其他学科也具有重要的意义。

本篇分为质点力学、刚体的定轴转动和力学新进展三章内容。质点力学研究质点位置随时间变化、引起这种变化的原因以及它们之间所满足的规律。刚体的运动可认为是平动和绕某一轴的转动的合成运动,作为基础在此只讨论刚体的定轴转动问题。力学新进展作为扩展内容,介绍对称性和混沌学的基本知识,这对开阔学生视野、培养科学思维和提高科学素质具有积极的意义。

# 第1章 质点力学

质点力学研究的是质点的运动规律,其主要内容有四部分:

(1) 质点运动学,研究物体位置随时间的变化规律;主要讨论描述质点运动的基本物理量,即位置矢量、位移、速度、加速度等,并在此基础之上,研究一般直线运动和曲线运动的规律。

(2) 牛顿定律,研究物体间的相互作用以及这种相互作用所引起的物体运动状态变化的规律;概括阐述牛顿运动定律的内容及对质点运动的简单应用。

(3) 动量与冲量,讨论动量、冲量等概念以及动量定理和动量守恒定律。

(4) 功与能,讨论功、动能和势能、保守力和非保守力等概念,以及动能定理、功能原理、机械能守恒定律和能量守恒定律。

在本章学习中,注重运用理想化模型,应用隔离体分析等方法突出事物的主要矛盾,运用矢量运算法则和微积分思想严格准确地处理力和功能问题。

## § 1.1 参考系 质点

### 一、参考系

自然界中的所有物体都在不停地运动着,绝对静止不动的物体是不存在的。要描述一个物体的运动情况,总要选取另一个物体或一组相互静止的物体作为参考,被选作参考的物体称为**参考系**。同一物体相对于不同的参考系,其运动状态是不同的。例如在匀速行驶的火车中,静坐的乘客相对于车厢的速度为零,而对于路边某一固定物体,乘客和火车一起做匀速运动,这就是运动描述的相对性。因此,在描述某一物体的运动状态时,必须指明是对哪个参考系而言。

参考系的选取是任意的,一般要根据问题的性质和研究的方便来选取。例如研究物体在地面上的运动时,选取地面作为参考系最方便。而研究地球绕太阳的运动时,则要选取太阳作为参考系。

为了定量地描述物体的位置及其变化,需要在参考系上确定一个坐标系,最常用的是直角坐标系。此外,根据需要还可选用其他坐标系,例如球坐标系或柱坐标系等。



## 二、质点

任何物体都有大小和形状。一般来说,物体运动时其各部分的位置变化是不同的。因此要精确描述物体各部分的运动状态,不是一件容易的事。当物体上各部分运动差异相对总体运动很小时,其各部分运动状态可认为相同,这时可以忽略物体的大小、形状和结构,把物体看成一个具有一定质量的点,这样抽象化后的理想物体模型,称为**质点**。在物理学中经常用到的一种研究方法叫做**物理抽象法**。根据问题的性质,在某些情况下,往往忽略物体的次要性质,保留物体的主要性质,将其看成一个抽象化的理想模型。物理学中的理想模型有很多,除了质点外,还有刚体、理想气体等。

质点运动是研究物体运动的基础。在不能把物体当做质点时,可把整个物体视为由许多质点组成,弄清这些质点的运动,就可以了解整个物体的运动。

## § 1.2 描述质点运动的基本物理量

### 一、位置矢量

在图 1.2.1 所示的直角坐标系中, $t$  时刻某质点经过  $P$  点时的位置可用自坐标系原点  $O$  指向  $P$  点的有向线段  $r$  表示,矢量  $r$  称为**位置矢量**,简称**位矢**。从图 1.2.1 可以看出,位置矢量在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴上的投影(即  $P$  点的坐标)为  $x$ 、 $y$ 、 $z$ 。因此位置矢量  $r$  可表示为

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \quad (1.2.1)$$

式中  $\boldsymbol{i}$ 、 $\boldsymbol{j}$ 、 $\boldsymbol{k}$  分别为  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴正方向的**单位矢量**。位置矢量的大小为

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

位置矢量的方向用  $r$  的方向余弦确定:

$$\cos \alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos \beta = \frac{y}{r}, \quad \cos \gamma = \frac{z}{r}$$

式中,  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别是  $r$  与  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴之间的夹角。

质点运动时,位置矢量  $r$  将随时间而变化,即

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \quad (1.2.2a)$$

位置矢量  $r$  随时间  $t$  变化的函数关系式(1.2.2a)称为**质点的运动方程**。

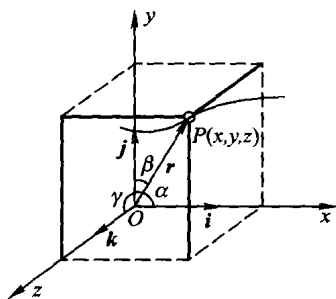


图 1.2.1 位置矢量