

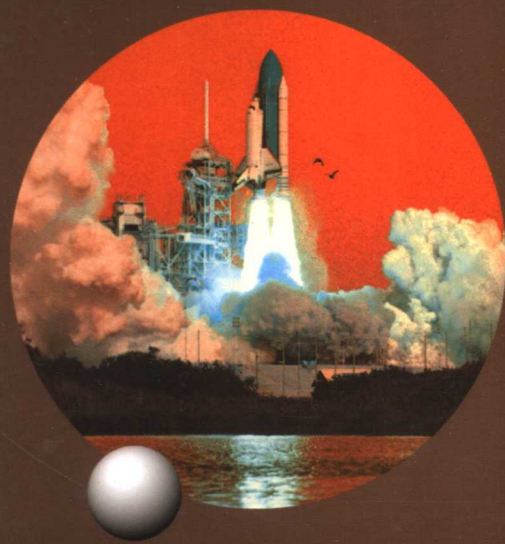
山东省精品课程《大学物理》辅助教材

大学物理

DAXUE
WULI
JINGJIANG
JINGLIAN

王世范 主编

精讲精练




山东大学出版社

山东省精品课程《大学物理》辅助教材

大学物理精讲精练

主 编 王世范

副主编 (按姓氏笔划为序)

干耀国 王学水 王守海 孙绪宝

杨积光 周明东 周 强 周 薇

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理精讲精练/王世范主编. —济南:山东大学出版社,
2007. 2
ISBN 978-7-5607-3332 -6

- I. 大...
- II. 王...
- III. 物理学—高等学校—教学参考资料
- IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 017299 号

山东大学出版社出版发行
(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)
山东省新华书店经销
莱芜市圣龙印务有限责任公司印刷
787×1092 毫米 1/16 12.75 印张 295 千字
2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷
印数:1—7000 册
定价:22.80 元

版权所有,盗印必究

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社营销部负责调换

编委会名单:(按姓氏笔画为序)

干耀国	王学水	王世范	王守海	王岩庆	王雪琴
王璟璟	王翠玲	孙绪宝	孙学军	付建良	申庆徽
刘 静	刘维慧	刘启鑫	李培森	李德华	李 鹏
李照鑫	张玉梅	张艳亮	张鲁殷	宋宏伟	杨积光
周明东	周 强	周 薇	金荧荧	武加伦	赵兴华
贾 敏	徐世林	梁 敏			

前 言

大学物理学是理工科各专业的一门重要基础课,同时也是全国硕士研究生入学考试的专业科目之一。与高中物理相比,大学物理的理论更加抽象,逻辑推理更加严谨。对于学生而言,往往对大学物理的概念和理论感到抽象难懂,解决问题缺少思路和方法。我们编著本书的目的就是帮助学生尽快明确学习要求,理清知识脉络,尽快完成学习方法和思维方式的转变,掌握解题的思路和方法,提高综合应用所学知识、分析问题和解决问题的能力,为后继课程的学习和将来的考研打下坚实的基础。

本书共分上、下两篇含二十五章,次序安排与清华大学出版社《大学基础物理学》相一致,每章由四大知识版块组成:

1. 教学目的和要求 按大学物理教学大纲的要求,明确本章的重点、难点及应掌握的程度。

2. 内容精讲 从本章提出的主要问题、解决问题的主要思路和方法、主要知识点及应用三个方面系统阐述了本章要点,便于学生理清知识脉络、方便检索。

3. 例题精选 选题力求涵盖各类题型,着重分析解决问题的思路和方法,部分例题给出多种解题方法,并加以分析,以开拓思路,使同学更好地巩固物理基本概念,掌握解决问题的方法和技巧。

4. 练习题与模拟试题 每章均有各种类型练习题,并在书后附有解答,方便学生参考。每篇有两套模拟测试题,并附有解答,方便同学自测。

本书是王世范教授主持的山东省高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划项目《工科大学物理多媒体教学研究》配套教材,经过多年的使用,修改整理而成。参加本书编著的主要成员,长期工作在大学物理教学第一线,有丰富的教学经验,力求将每位教师多年的教学经验与体会渗透到各章的内容之中,使学生在学习目标更明确、思考更深刻、总结更全面清晰。

本书由王世范教授负责最后统稿并定稿。全书的文字部分由孙绪宝、周明东、王学水统稿。第 1~5 章由干耀国、宋宏伟、梁敏编写;第 6 章由申庆徽编写;第 7~10 章由周薇编写;第 11~13 章由周强编写;第 14~18 章由周明东、贾敏编写;第 19 章由张玉梅编写;第 20 章由赵兴华编写;第 21~23 章由孙绪宝编写;第 24~25 章由王岩庆编写。全书的例题、练习题、模拟试题及解答由王守海、杨积光、张艳亮、徐世林、王翠玲、刘静等选编。



参加本书编写的还有刘维慧、李鹏、刘启鑫、王璟璟等。

由于编者水平有限,谬误之处在所难免,恳请广大读者不吝指正。

编者

2006年11月于青岛

目 录

上 篇

绪 论	(1)
第一章 质点运动学	(5)
第二章 牛顿运动定律	(10)
第三章 动量与角动量	(16)
第四章 功和能	(21)
第五章 刚体的定轴转动	(28)
第六章 狭义相对论基础	(35)
第七章 温 度	(41)
第八章 气体动理论	(43)
第九章 热力学第一定律	(49)
第十章 热力学第二定律	(57)
第十一章 静止电荷的电场	(60)
第十二章 电 势	(66)
第十三章 有导体和电介质存在时的静电场	(72)
模拟试卷(A卷)	(79)
模拟试卷(B卷)	(83)
练习题答案	(88)
模拟试卷标准答案(A卷)	(93)
模拟试卷标准答案(B卷)	(96)

下 篇

第十四章 电流和磁力	(100)
第十五章 磁场的源	(103)
第十六章 有磁介质存在时的磁场	(110)
第十七章 电磁感应	(113)
第十八章 麦克斯韦方程组和电磁波	(126)
第十九章 振 动	(129)



第二十章 波 动.....	(139)
第二十一章 光的干涉.....	(150)
第二十二章 光的衍射.....	(154)
第二十三章 光的偏振.....	(158)
第二十四章 量子物理的基本概念.....	(161)
第二十五章 原子中的电子.....	(170)
模拟试卷(A卷)	(179)
模拟试卷(B卷)	(183)
练习题答案.....	(187)
模拟试卷标准答案(A卷)	(192)
模拟试卷标准答案(B卷)	(194)
主要参考文献.....	(197)

绪 论

一、什么是物理学

自然界由物质组成,物质世界中包含着无限多样的物质形态。物质处于永恒的、不停的运动之中,运动是物质的基本属性,广袤无垠的宇宙就是浩瀚的、永远运动的物质总体,时间与空间则是物质的存在形式。物质间存在相互作用。

1. 研究内容

物理学研究宇宙间物质存在的各种主要的基本形式,它们的具体性质、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。

物理学的各分支学科是按物质的不同存在形式和不同运动形式划分的,如力学、热学、电磁学、光学、原子物理、量子力学等等,每一个分支学科都与一两种运动形式相对应。人类对自然界的认识来源于实践,而实践的广度和深度有着历史的局限性,随着实践的扩展和深入,物理学的内容也不断扩展、深入。新的分支学科陆续形成,已有的分支学科日趋成熟,应用也日益广泛。

客观世界是一个内部存在着普遍联系的统一体,物理学各分支学科相互渗透,物理学家力图寻找物质的最基本规律,从而去统一地理解一切物理现象。建立统一理论是现代物理研究的重要方向之一,有时我们似乎已很接近目标,但随着新现象的不断出现,这一目标又变得更遥远。显然,人类对自然界的探索和研究是永无止境的。

2. 研究范围

物理学所研究的范围极其宽广。研究对象的尺度从半径为 10^{-15} m 微小的质子,直到目前可探测到的、远在 10^{26} m 以外的类星体。涉及的时间从 10^{-25} s 的最不稳定粒子的短寿命,到 10^{39} s 的质子的长寿命。

物理学所研究的粒子和原子,构成了蛋白质、基因、器官、生物体、一切人造的和天然的物质、陆地、海洋、大气等等。因此,物理学构成了化学、生物学、材料科学和地球物理学等学科的基础。物理学的基本概念、基本理论和科技成果广泛地应用在所有自然科学领域之中。所以,物理学是一切自然科学的基础。

3. 研究成果

物理学的研究成果,广泛而直接地影响着社会生产和人类生活的各个方面,是科学技术和社会发展的强大动力。18世纪60年代开始的第一次技术革命,主要的标志是蒸汽机



的发明及广泛的应用,这是牛顿力学和热力学发展的结果。19世纪70年代开始的第二次技术革命,主要的标志是电力的广泛应用和无线电通信的实现,它是电磁学发展的结果。20世纪40年代兴起并一直延续到今天的第三次技术革命,出现了一系列的高新技术,并在此基础上诞生了大量的新产品和新装置,使人类的物质生产和精神生活产生了难以想象的巨大变化,这是近代物理学发展的结果。

二、物理学发展史

物理学的发展史可以简单地划分成两个时期,包含四个主要理论。

1. 经典物理学时期——19世纪末以前

经典力学——研究人体尺度物体的运动($v \ll c$)及其相互作用。

电磁学——研究带电物体的运动及其相互作用,描述磁现象。

2. 近代物理学时期——19世纪末至今

狭义相对论——澄清时间和空间的概念。

量子力学——研究各种物体的运动及其相互作用。

三、为什么要学习大学物理

1. 意义

物理学研究特别简单的系统,例如质点、刚体、弹簧振子、理想气体、单个原子等。揭示这些简单系统的基本性质和规律所采用的科学方法,比其他自然科学中所用的方法要简明清晰得多。因此,物理学被认为是“科学方法”的典范。

物理学的基本理论渗透在自然科学的一切领域之中。以物理学最基本的概念、理论为内容的大学物理课程,它所包含的经典理论、近代理论以及它们的实际应用,处理问题、解决问题、寻找规律、建立基本理论的科学方法,这些都是一个高级工程技术人员所必须了解和掌握的。任何一门课程都不能像大学物理那样全面、系统、完整地培养学生各方面的能力。大学物理的基本概念以及基本原理固然重要,但更重要的却是它的科学思维方式,解决、处理、研究问题的方法。

物理学是一门实验学科,它的定律是观察和实验的概括,理论的正确与否最终要靠实验来检验。物理学的研究方法遵循实践—认识—再实践—再认识的认识论的法则。建立物理理论的一般过程为:实验—理论(建立理想模型,提出假设,找出规律)—实验—理论,整个过程始终贯穿着辩证唯物主义世界观和方法论。

2. 特色

在同学们学习的各门课程中,大学物理课肩负着特殊而又重要的任务。数学、英语和计算机等课程,在很多地方具有“工具”性质,而物理学则在很多地方具有“方法”性质。某种“方法”通常需将各种知识及理论相互贯通、融为一体,它已不是单独由那一门课程所能学到的东西了。学生在学习物理理论以及求解物理习题时,常常要根据实际情况、挖掘所有信息(已知条件),在头脑中进行分析、筛选、综合加工,直至获得正确的结论。很多学生反映物理难学,实际上难就难在这一点上。由于种种原因,一些学校急功近利,青睐题海战术,没给学生留出足够的思考分析时间,使他们对所学的知识,知其然而不知其所以然,囫圇吞枣、死记硬背。此种教学方式,使学生养成了依赖记忆简单地套用公式解题的习惯,甚至连蒙带猜、生搬硬套,有时结论大悖常理也毫无知觉。久而久之,头脑难以快速灵活运



转,面对那些需要多个理论和公式、已知条件不明显、过程比较复杂的物理题,也就脑中空空、一筹莫展了。

3. 目的

低年级学生开设大学物理课,不仅是为了打好学习其他专业知识的基础,也是希望学生能掌握更科学的学习方法和研究方法,以及培养他们独立获取知识、解决实际问题的能力。这是一门任何其他课程无法比拟和替代的课程,具有培养学生逻辑推理、归纳总结、综合分析等能力的重要作用。它的效果有时也不像其他课程那样直接而明显(如英语、计算机),在很多方面具有潜在的作用,而“潜力大”则正是我们培养理工科大学生具有“后劲”的基础。通过大学物理课的学习,还可以使学生养成严肃认真、一丝不苟、勤于思考、吃苦耐劳的优良品质。总之,学好大学物理课不仅对学生在校期间的学习十分重要,而且对他们毕业后的工作和进一步学习新知识、新理论、新技术,以及进行科研创新等等,都将有极大的影响。

四、如何学好大学物理

1. 掌握正确的学习方法

明确“教材为中心,多方突破,循序渐进,融会贯通”的普遍学习方法。通常,学习一种新理论或新知识,总是先选定一本具有代表性的、较好的书,而后采取种种手段(阅读、参考其他相关资料、多方求教、做实验等)将其弄懂、吃透。大学物理课程的教学就是按照这一过程展开的。为了掌握教材中的理论和知识,采取如下步骤:

- (1) 课前预习 培养自学能力,对有疑问的内容作针对性的听课和记录(看第一遍书)。
- (2) 听课 弄懂有疑问的部分,发现自学理解错误的内容,又出现问题(记笔记)。
- (3) 看书 进一步弄懂课堂讲授的内容,对照笔记解决出现的问题(看第二遍书)。
- (4) 做作业 发现新问题,培养解决处理问题的能力,养成踏踏实实、一丝不苟、仔细认真的良好习惯。
- (5) 辅导答疑、同学之间进行讨论 解决问题、发现问题,加深对教材的理解。
- (6) 批改作业 发现错误,纠正错误。
- (7) 总复习 逐字逐句通读全书,理解、掌握所学内容并将之串为一体(看第三遍书)。
- (8) 考试 检验学习情况,再次发现问题并解决之。

2. 抓住基本问题

深刻理解基本概念,牢固掌握基本规律,熟练应用基本理论。

- (1) 对相应的物理现象作仔细地观察和研究,加深概念的理解和掌握。
- (2) 注意物理规律的两种表述——文字描述和数学公式表示。

对于文字描述,要逐字逐句的仔细推敲,深刻理解其揭示的物理规律。

对数学公式表示,结合物理模型搞清其来龙去脉及物理意义,注意适用条件和单位。

- (3) 通过做题,深入理解并熟练应用所学基本理论。

3. 注意与中学物理的区别

标量—矢量;恒量为主—变量为主;定性分析—定量计算。



4. 打好数学基础

要想学好大学物理,必须有良好的数学知识作为基础。尤其要注意以下几个方面:

- (1) 坐标系的建立和使用;
- (2) 导数和积分的来历及意义;
- (3) 标量积;
- (4) 矢量积。

5. 基本要求

- (1) 课前预习,上课注意听讲,记笔记。
- (2) 由基本定律导出的定理和重要规律,课下都要认真推证(如质点和质点系的动能定理、动量定理、动量守恒、机械能守恒、理想气体压强公式等)。
- (3) 按时完成作业,不抄袭。作业书写工整、论述清晰、有理有据,要分析结果的合理性。认真研究批改后的作业,做错的地方立即纠正或重做。
- (4) 有问题问老师或同学,及时弄懂,不要拖延。
- (5) 书上的例题要仔细阅读、思考、动笔做,每章后面的练习题要仔细分析论证。

第一章 质点运动学

【教学目的和要求】

1. 掌握位置矢量、位移、速度、加速度、角速度和角加速度等描述质点运动和运动变化的物理量(即描述质点的状态及状态的变化)。
2. 能借助于直角坐标系计算质点在平面内运动时的速度、加速度,能计算质点作圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度。
3. 理解伽利略坐标、速度变换。

【重点和难点】

1. 深刻理解描述质点运动的四个基本物理量——位置矢量、位移、速度和加速度。
2. 掌握由运动方程求质点在任一时刻的位置、速度、加速度和由初始条件建立运动方程的方法。
3. 熟练掌握和运用匀变速直线运动及变速曲线运动的规律和运动叠加原理。
4. 矢量及其分析与计算。
5. 自然坐标系切向加速度、法向加速度的计算。

【内容精讲】

1. 参考系

描写物体运动选定的参照体或彼此不作相对运动的物体系,称为参考系。

2. 质点位置矢量、位移和速度

质点是具有一定质量而几何尺寸可以忽略不计的物体。这是经典力学的一个从实体中抽象出来的力学简化模型。当一个物体的尺寸大小同该问题中所讨论的有关尺寸相比可以忽略不计,因而并不引起显著的误差时,就可把这个物体简化为一个质点。同一物体在一个力学问题中可以当作质点,而在另一个力学问题中却不一定。

(1) 位置矢量 质点 P 在空间的位置,如图 1-1 所示,可用由坐标原点 O 指向质点 P 的一个矢量 $\mathbf{r} = \overrightarrow{OP}$ 来表示。 \mathbf{r} 称为位置矢量,简称位矢,位矢的大小和方向与参照系选择有关。当质点在空间运动时,位矢 \mathbf{r} 与时间 t 的函数,可表示为 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t) =$

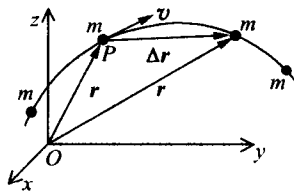


图 1-1

$x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$,称为质点的运动方程。质点在 Δt 时间内的位置变化 $\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}' - \mathbf{r}$,称



为位移。

(2) 瞬时速度,简称速度,是个矢量,用以定量地描述质点运动快慢和运动方向。

定义:质点的位置矢量随时间的变化率。单位:米/秒(m/s)。

运动质点在 t 瞬时的速度为:

$$\boldsymbol{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{r}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \quad (1-1)$$

令 v_x, v_y, v_z 和 x, y, z 分别表示质点在时刻 t 的速度 \boldsymbol{v} 和位矢 \boldsymbol{r} 在各坐标轴上的投影,则

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt} \quad (1-2)$$

即速度矢量 \boldsymbol{v} 在各坐标轴上的投影等于质点的相应坐标对时间的一阶导数。于是

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} = \left| \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt}$$

式中, v 是速度的模,称为速率,描述某瞬时质点运动快慢的程度,它总是一个正量; s 表示质点的运动路程。

3. 加速度

瞬时加速度,简称加速度,是个矢量,用以定量地描述质点速度在大小和方向上随时间变化的快慢。

定义:质点的速度矢量随时间的变化率。单位:米/秒²(m/s²)。

质点在 t 瞬时的加速度为:

$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \boldsymbol{a}_m = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} \quad (1-3)$$

设质点在 t 瞬时的直角坐标为 x, y, z , 速度 \boldsymbol{v} 和加速度 \boldsymbol{a} 在各直角坐标轴上的投影分别为 v_x, v_y, v_z 和 a_x, a_y, a_z , 则由定义有

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2}, \quad a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \quad (1-4)$$

即加速度 \boldsymbol{a} 在各坐标轴上的投影等于速度 \boldsymbol{v} 的相应投影对时间的一阶导数,也等于质点的相应坐标对时间的二阶导数。加速度 \boldsymbol{a} 的大小为 $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ 。

4. 圆周运动

角位移是角坐标 θ 随时间的改变量。设质点在 t 和 t' 时刻的角坐标分别为 θ 和 θ' , 则 $\Delta\theta = \theta' - \theta$ 表示质点在时间间隔 $\Delta t = t' - t$ 内的角位移。有限大的角位移不是矢量(不满足矢量的交换律),但无限小角位移是矢量(右手螺旋法则大拇指方向)。

(1) 角速度

在时间 Δt 内质点的角位移 $\Delta\theta$ 对 Δt 之比 $\omega_m = \Delta\theta/\Delta t$ 称为质点在时间 Δt 内的平均角速度,它描述质点角坐标在 Δt 时间内的平均变化情况。于是,极限 $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \omega_m = \frac{d\theta}{dt}$, 描述了质点的角坐标在瞬时 t 的真实变化情况,称为质点作圆周运动时的瞬时角速度。

角速度的量纲为 T^{-1} , 在 SI 单位制中它的单位为 rad/s。角速度可用一个轴矢量来代表,称为角速度矢量 $\boldsymbol{\omega}$ 。这个矢量的大小为 $|\boldsymbol{\omega}| = |d\theta/dt|$, $\boldsymbol{\omega}$ 的方向按右手螺旋定则确定。对于平面圆周运动,类似于

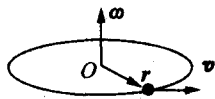


图 1-2

一维直线运动, $\boldsymbol{\omega}$ 的方向可用正负号表示,如图 1-2 所示。

角速度的方向与质点线速度 \boldsymbol{v} 的方向意义不同,它并不表示有质



点沿该方向移动,而是说运动发生在与该方向垂直的平面内,转动方向用右手螺旋定则决定。

质点 P 作圆周运动时,线速度 v 的大小为

$$v = ds/dt = R |\omega| \quad (1-5)$$

式中: s 是质点 P 在圆周上的运动弧长, R 是圆周的半径。对任意半径 r 的圆周运动,按矢量积的定义, v 可表示为 $v = \omega \times r$, 如图所示。

(2) 角加速度: 描述质点角速度的大小和方向随时间变化的快慢。

设在时刻 t 和 t' 质点的角速度分别是 ω 和 ω' , 则角速度在时间间隔 $\Delta t = t' - t$ 内的改变量为 $\Delta\omega = \omega' - \omega$ 。比值 $\alpha_m = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ 称为质点在时间 Δt 内的平均角加速度, 极限 $\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \alpha_m = \frac{d\omega}{dt}$ 描述了 t 瞬时质点角速度 ω 的真实变化情况, α 称为质点的瞬时角加速度矢量。

当质点作平面圆周运动时,用 k 表示转动轴 Oz 的正方向的单位矢量,它是一个常量,于是质点的角速度矢量 ω 和角加速度矢量 α 分别为: $\omega = \omega k = \frac{d\theta}{dt} k$, $\alpha = \dot{\omega} k = \frac{d\omega}{dt} k$ 。此时角加速度可以写成 $\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ 。当 $\omega > 0, \alpha > 0$ 时, ω 和 α 都沿 Oz 轴的正方向,这时质点作加速转动; 当 $\omega > 0, \alpha < 0$ 时, ω 沿 Oz 轴的正方向,而 α 沿 Oz 轴的负方向,这时质点作减速运动。角加速度的量纲是 T^{-2} , 它的 SI 单位是 rad/s^2 。

对于匀变速率圆周运动可得三个与匀变速直线运动形式相似的公式:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t; \quad \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2; \quad \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0). \quad (1-6)$$

(3) 切向加速度和法向加速度

加速度 a 既描述质点速度大小变化的快慢又包含速度方向变化的快慢。在直角坐标系中可以表示为三个分矢量之和: $a = a_x i + a_y j + a_z k$ 。一般来说,每个分矢量与速度大小和方向这两个变化率都有关,如图 1-3 所示。

在自然坐标系中,加速度分解为切向分量 a_t 和法向分量 a_n , 即 $a = a_n + a_t$ 。此时,每个分量仅仅单独表示一种变化率,物理含意更加清晰明了。

法向加速度 a_n : 描述质点速度方向随时间变化的快慢

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} \quad (1-7)$$

切向加速度 a_t : 描述质点速度大小随时间变化的快慢

$$a_t = \frac{dv}{dt} n = \frac{d^2 s}{dt^2} n \quad (1-8)$$

切向加速度 a_t 与角加速度 α 之间有如下关系: $a_t = \frac{dv}{dt} = r \frac{d\omega}{dt} = r\alpha, a_n = \alpha \times r$ 。

① $a_n \equiv 0, a_t \neq 0$ 时,质点作直线运动。

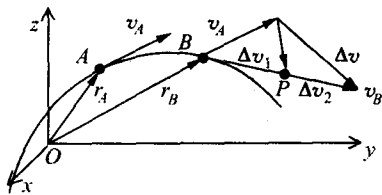


图 1-3



- ② $a_t \equiv 0, a_n \neq 0$ 时, 质点作匀速率曲线运动。
 ③ $a_t \neq 0, a_n \neq 0$ 时, 质点作一般曲线运动。
 ④ 质点运动轨迹的曲率半径 $\rho = R = C$ 时, 质点作圆周运动。

5. 相对运动

适当地选择参照系, 可以简化质点的机械运动模式、降低难度, 使问题的研究更为简便。因此, 经常需要将质点的状态从 S 系变换到另一个 S' 系。

设有相对于观察者静止的 S 系 (Oxy 坐标系) 和以恒速 u 运动的 S' 系 ($O'x'y'$ 坐标系)。选取恒速 u (称为牵连速度) 的方向为两坐标系的 x, x' 轴, 规定 $t=0$ 时两系的原点及对应轴重合。质点 P 在 S 系中的位置矢量为 r 、速度为 v (称为绝对速度); 该质点 P 在 S' 系中的位置矢量为 r' 、速度为 v' (称为相对速度)。质点 P 的状态在两系间的关系如下:

$$x = x' + ut, y = y' \text{ (伽利略坐标变换式); } v = v' + u \text{ (伽利略速度变换式)}.$$

上式可写成

$$v_{ab} = v_{ac} + v_{cb} \text{ (} a, b \text{ 间插入两个 } c \text{)} \quad (1-9)$$

即: a 相对于 b 的速度, 等于 a 相对于 c 的速度加 c 相对于 b 的速度。

【例题精选】

例 1-1 下列说法正确的是

- A. 加速度恒定不变时, 物体运动方向也不变
 B. 平均速率等于平均速度的大小
 C. 不管加速度如何, 平均速率表达式总可以写成 (v_1, v_2 分别为初、末速率)

$$\bar{v} = (v_1 + v_2)/2$$

D. 运动物体速率不变时, 速度可以变化

例 1-2 一质点在平面上运动, 已知质点位置矢量的表示式为 $r = at^2i + bt^2j$ (其中 a, b 为常量), 则该质点所作的运动是

- A. 匀速直线运动 B. 变速直线运动
 C. 抛物线运动 D. 一般曲线运动

例 1-3 一质点沿半径为 0.10m 的圆周运动, 其角位移 θ 可用下式表示 $\theta = 2 + 4t^3$ (SI)。

- (1) 当 $t = 2\text{s}$ 时, 切向加速度 $a_t =$ _____;
 (2) 当 a_t 的大小恰为总加速度 a 大小的一半时, $\theta =$ _____。

例 1-4 当一列火车以 10m/s 的速率向东行驶时, 若相对于地面竖直下落的雨滴在列车的窗子上形成的雨迹偏离竖直方向 30° , 则雨滴相对于地面的速率是 _____; 相对于列车的速率是 _____。

例 1-5 一质点沿 x 轴运动, 其加速度为 $a = 4t$ (SI), 已知 $t = 0$ 时, 质点位于 $x_0 = 10\text{m}$ 处, 初速度 $v_0 = 0$ 。试求其位置和时间的关系式。

【解】

$$a = dv/dt = 4t, dv = 4tdt$$

$$\int_0^v dv = \int_0^t 4tdt$$



$$v = 2t^2$$

$$v = dx/dt = 2t^2$$

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t 2t^2 dt$$

$$x = 2t^3/3 + 10 \text{ (SI)}$$

例 1-6 在水平飞行的飞机上向前发射一颗炮弹,发射后飞机的速度为 v_0 ,炮弹相对于飞机的速度为 v 。略去空气阻力,则(1)以地球为参考系,炮弹的轨迹方程为_____;

(2)以飞机为参考系,炮弹的轨迹方程为_____。

(设两种参考系中坐标原点均在发射处, x 轴沿速度方向向前, y 轴竖直向下)

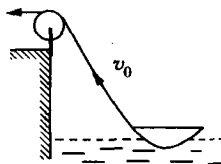
【练习题】

1-1 一质点在平面上作一般曲线运动,其瞬时速度为 \boldsymbol{v} ,瞬时速率为 v ,某一时间内的平均速度为 $\bar{\boldsymbol{v}}$,平均速率为 \bar{v} ,它们之间的关系必定有:

- A. $|\boldsymbol{v}| = v, |\bar{\boldsymbol{v}}| = \bar{v}$ B. $\boldsymbol{v} \neq v, |\bar{\boldsymbol{v}}| = \bar{v}$
 C. $|\boldsymbol{v}| \neq v, |\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$ D. $|\boldsymbol{v}| = v, |\bar{\boldsymbol{v}}| \neq \bar{v}$

1-2 如题图所示,湖中有一小船,有人用绳绕过岸上一定高度处的定滑轮拉湖中的船向岸边运动。设该人以匀速率 v_0 收绳,绳不伸长、湖水静止,则小船的运动是

- A. 匀加速运动 B. 匀减速运动
 C. 变加速运动 D. 变减速运动
 E. 匀速直线运动



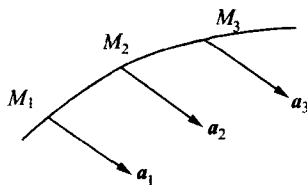
习题 1-2 图

1-3 设质点的运动学方程为 $\boldsymbol{r} = R\cos\omega t\boldsymbol{i} + R\sin\omega t\boldsymbol{j}$ (式中 R, ω 皆为常量) 则质点的 $\boldsymbol{v} =$ _____, $d\boldsymbol{v}/dt =$ _____。

1-4 在一个转动的齿轮上,一个齿尖 P 沿半径为 R 的圆周运动,其路程 s 随时间的变化规律为 $s = v_0 t + \frac{1}{2}bt^2$, 其中 v_0 和 b 都是正的常量。则 t 时刻齿尖 P 的速度大小为多少? 加速度大小为多少?

1-5 如题图所示,质点作曲线运动,质点的加速度 \boldsymbol{a} 是恒矢量($\boldsymbol{a}_1 = \boldsymbol{a}_2 = \boldsymbol{a}_3 = \boldsymbol{a}$)。试问质点是否能作匀变速率运动? 简述理由。

1-6 小船从岸边 A 点出发渡河,如果它保持与河岸垂直向前划,则经过时间 t_1 到达对岸下游 C 点;如果小船以同样速率划行,但垂直河岸横渡到正对岸 B 点,则需与 A, B 两点联成的直线成 α 角逆流划行,经过时间 t_2 到达 B 点。若 B, C 两点间距为 s , 则



习题 1-5 图

- (1) 此河宽度 l 为多少?
 (2) α 为多少?