



大学物理概论

霍炳海 贾洛武 曹文斗



天津大学出版社

大学物理概论

霍炳海 贾洛武 曹文斗

天津大学出版社

内容提要

本书是根据当前教学改革的需要编写的教材. 内容包括力学、热学、电磁学、振动与波、相对论、量子物理基础及亚原子物理. 适合 70 学时~90 学时使用.

本书供高等工科院校物理学时较少的专业使用, 也可供各类高等院校有关专业选用.

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理概论/霍炳海, 贾洛武, 曹文斗编. - 天津:
天津大学出版社, 2000.2

ISBN 7-5618-1275-2

I. 大… II. ①霍…②贾…③曹… III. 物理学-
高等学校-教材 IV.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 13611 号

出 版 天津大学出版社
出版人 杨风和
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内 (邮编: 300072)
电 话 发行部: 022-27403647 邮购部: 022-27402742
印 刷 天津市宝坻县第二印刷厂
发 行 新华书店天津发行所
开 本 850mm × 1168mm 1/32
印 张 11.875
字 数 312 千
版 次 2000 年 2 月第 1 版
印 次 2000 年 2 月第 1 次
印 数 1-3 000
定 价 15.50 元

前 言

根据教学改革新形势的需要,我们编写了这本适合短学时教学的物理教材,以飨读者.

本书的特点是:

一、以大学物理课程的性质和任务为编写本教材的指导思想,考虑到物理学是整个自然科学与社会科学的基础学科,在保证教材具有科学性、系统性和完整性的鲜明特征下,本书着重于最基本的物理概念和规律的系统阐述,从而使学生形成完整的、统一的物理世界图像.

二、注意到当前大学物理教材内容与结构的发展趋势,对部分内容进行了梳理,突出物理学的基本思想,力求结构体系有所创新.例如,在电磁学部分,重点阐述了电场与磁场最基本的特点和规律,对有些技术性应用方面的知识点仅做了概述,以减轻学生学习时的“负重感”.

三、行文简洁,大刀阔斧地压缩篇幅.采用的具体方法,一是尽量减少与中学物理课程、物理实验课程及其他相关课程不必要的重复;二是以简明的叙述,适当的数学形式阐述了物理学的一部分主要内容;三是割舍了部分对物理体系影响不大的内容;四是对非主干内容,大多采用了半定性、半定量的处理方法,简化或删除了过多过繁的数学推导和过深的理论探讨.

四、用近代思想和观点组织教材,尽可能反映本门课程的新进展与近代理论基础.例如,本书对非线性振动、非线性光学、多光子过程、虚能级等结合传统内容做了深入浅出的讲述.

在教材编写过程中,我们重点参考了我校杨仲耆教授等编写的《大学物理学》和李金铎教授等编写的《工科大学物理基本教材》及国内外部分著作,从中受益匪浅;天津大学理学院应用物理学系

系主任、教授、博士生导师林家逖先生仔细审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵意见;天津大学教务处和天津大学出版社为本书的出版提供了可靠的帮助;全国高等学校教学研究会对本书的出版也给予了大力支持,在此一并表示感谢.

本书作为教材改革的一种尝试,加之编者水平所限,时间仓促,书中缺点与错误在所难免,尚祈读者惠予指正.

编者 1999.12

目 录

第 1 篇 经典力学基础

第 1 章 质点力学	(1)
1.1 参照系 运动方程	(1)
1.2 速度	(3)
1.3 加速度	(5)
1.4 牛顿运动定律	(10)
1.5 功和能	(19)
1.6 机械能守恒定律和能量守恒定律	(24)
1.7 动量定理和动量守恒定律	(27)
* 1.8 火箭飞行原理	(31)
1.9 角动量守恒定律	(32)
* 1.10 守恒定律与时空对称性	(36)
习题	(38)
第 2 章 刚体定轴转动	(43)
2.1 刚体定轴转动运动学	(43)
2.2 转动定律	(45)
2.3 刚体对定轴的角动量守恒定律	(52)
2.4 定轴转动过程中的功和能	(54)
习题	(58)

第 2 篇 热学基础

第 3 章 气体分子动理论	(61)
3.1 麦克斯韦速率分布律	(62)
3.2 理想气体的压强公式和温度公式	(65)

3.3	能量按自由度均分原理·····	(70)
3.4	气体分子的平均碰撞频率和平均自由程·····	(73)
	习题·····	(75)
第4章	热力学基础·····	(77)
4.1	热力学第一定律·····	(77)
4.2	热力学第一定律对理想气体的应用·····	(80)
4.3	循环过程·····	(84)
4.4	热力学第二定律·····	(89)
	习题·····	(95)

第3篇 电磁场

第5章	静电场·····	(97)
5.1	电荷与静电场·····	(97)
5.2	静电场的高斯定律·····	(105)
5.3	静电场的环路定律 电势·····	(111)
5.4	物质中的电场·····	(117)
5.5	电容 电场的能量·····	(122)
	习题·····	(127)
第6章	稳恒磁场·····	(131)
6.1	磁场 毕奥-沙伐尔定律·····	(131)
6.2	真空中的安培环路定律·····	(136)
6.3	磁场对载流导线的作用力·····	(142)
6.4	物质中的磁场·····	(150)
	习题·····	(157)
第7章	变化的磁场和电场·····	(161)
7.1	电动势·····	(161)
7.2	法拉第电磁感应定律 涡旋电场·····	(162)
*7.3	电子感应加速器·····	(171)
7.4	磁场能量·····	(173)

7.5 位移电流	(177)
7.6 麦克斯韦方程组	(181)
习题	(183)

第 4 篇 振动与波动

第 8 章 机械振动	(187)
8.1 简谐振动	(188)
8.2 谐振动的表示法	(195)
8.3 简谐振动的合成	(198)
8.4 阻尼振动 受迫振动 共振	(204)
* 8.5 线性振动与非线性振动	(207)
习题	(209)
第 9 章 波动	(214)
9.1 波的基本概念	(214)
9.2 平面简谐波方程	(217)
9.3 谐波的能量 能流 能流密度	(224)
9.4 惠更斯原理 波的衍射	(227)
9.5 波的干涉	(228)
9.6 平面电磁波	(236)
9.7 多普勒效应	(240)
习题	(243)
第 10 章 波动光学	(247)
10.1 单色光 光程	(247)
10.2 光的干涉	(249)
10.3 光的衍射	(256)
10.4 光的偏振	(268)
* 10.5 线性光学与非线性光学	(272)
习题	(273)

第 5 篇 相对论基础

第 11 章 狭义相对论基础	(278)
11.1 牛顿力学的时空观	(278)
11.2 狭义相对论的两个基本假设 洛伦兹变换	(281)
11.3 相对论中的同时性、时间和长度	(287)
11.4 相对论动力学	(292)
习题	(299)

第 6 篇 量子物理基础

第 12 章 量子光学概论	(301)
12.1 普朗克的能量子假设	(302)
12.2 光量子	(306)
12.3 光的波粒二象性	(312)
习题	(314)
第 13 章 量子力学基础	(316)
13.1 玻尔理论	(316)
13.2 实物粒子的波粒二象性	(323)
13.3 测不准关系	(325)
13.4 波函数 薛定谔方程	(329)
13.5 氢原子的量子理论	(336)
13.6 原子的壳层结构	(340)
13.7 分子结构简介	(342)
13.8 激光	(344)
习题	(348)

第 7 篇 亚原子物理简介

第 14 章 原子核与基本粒子	(350)
14.1 原子核的结构	(350)
14.2 原子核的结合能	(352)
14.3 核衰变	(353)

14.4	核反应.....	(355)
14.5	基本粒子简介.....	(356)
14.6	夸克(层子)模型	(358)
附录	常用物理基本常数表.....	(360)
习题	参考答案.....	(361)

第 1 篇 经典力学基础

物质的运动形式是多种多样的,其中最简单、最常见的也是人们最早认识的运动是物体之间或者同一物体各部分之间相对位置的变化.这种运动形式叫做机械运动.经典力学是研究宏观物体在低速情况下的机械运动规律及其应用的科学,它是物理学科的重要组成部分.

经典力学是整个物理学大厦中最早建立起来的基础.17 世纪形成了以牛顿运动定律为基础的经典力学.它的理论体系在 19 世纪上半叶完成.随着经典力学的发展,创立了物理学研究的基本方法,形成了对整个物理学都有价值的若干物理概念.虽然作为现代物理学基础的相对论和量子力学超越了经典力学的理论体系,但是经典力学仍然是学习自然学科与技术学科重要的理论基础.

本篇主要研究经典力学的基本概念和基本规律.

第 1 章 质点力学

质点力学包括质点运动学和质点动力学.质点运动学研究物体的位置随时间变化的规律,而不涉及引起变化的原因.质点动力学研究物体间的相互作用对物体运动的影响.

1.1 参照系 运动方程

1.1.1 质点

任何实际的物体都有一定大小和形状.然而在有些情况下,它

的大小和形状与所研究的问题无关或者关系很小,因而可以忽略其大小和形状,把物体视为具有一定质量的几何点,称为质点.可见,质点是人们为了研究问题方便、突出问题的主要性质设想的一个物理模型.

本章所涉及到的物体,如果不加特别说明,均当做质点看待.

1.1.2 参照系

宇宙间的万物都处在永恒不停的运动中,绝对静止的物体是不存在的.地球上的房屋、树木等看似静止,但它们随着地球一起绕太阳公转,同时和地球一起绕地球轴转动.而太阳又相对银河系中心以很大的速度(约 3×10^5 m/s)运动着…….这些事实说明,运动是绝对的.

然而,物体运动的描述具有相对性.在一列行驶的火车中的乘客,相对车厢是静止的,而相对地面,他却是运动的.再比如,在地面看来垂直下落的雨滴,在行驶着火车车厢里的乘客看来是沿倾斜方向下落的.显然,描述物体是否运动以及做怎样的运动,必须选择另外一些物体作为参考.这些被选作参考的物体或物体群称为**参照物**或**参照系**.

参照系的选择,主要看问题的性质和研究的方便.今后,若不作特殊说明,都选择地面或相对地面静止的物体作参照系.“太阳从东方冉冉升起”,以及“斗转星移”“日月经天,江河行地”,这些宇宙奇观,都是物体相对地面运动时产生的现象.

1.1.3 坐标系 运动方程

设一质点相对某参照系做曲线运动,为了定量地描述质点在各个时刻相对参照系的位置,通常在参照物上固定一个坐标系.最常用的是直角坐标系,如图 1-1-1 所示.质点在运动中,某一时刻处于 P 点,它相对于参照系的位置用 P 点在三个坐标轴上的投影 x, y, z 表示,它们是时间 t 的单值函数,表示为

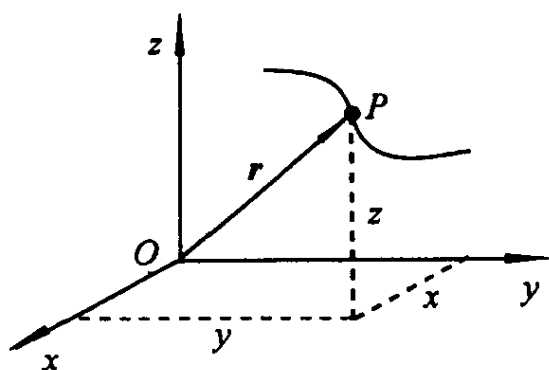


图 1-1-1 质点位置的表示

$$\begin{cases} x = x(t), \\ y = y(t), \\ z = z(t). \end{cases} \quad (1-1-1)$$

这一组方程描述了质点的位置随时间变化的规律,称为运动方程的分量式.

还可以用矢量的方法描述质点的位置.由坐标原点 O 向质点所在的瞬时位置 P 引一矢量 $\mathbf{r}(t)$,称为**位置矢量**,简称**位矢**或**矢径**. $\mathbf{r}(t)$ 与三个坐标轴之间的夹角则代表着质点的方位.位置矢量随时间变化,记为

$$\mathbf{r} = \mathbf{r}(t), \quad (1-1-2)$$

该式称为运动方程的矢量式.

不难看出,运动方程的分量式是位矢 $\mathbf{r}$ 在三个坐标轴上的投影.即

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}, \quad (1-1-3)$$

式中 $\mathbf{i}, \mathbf{j}, \mathbf{k}$ 分别为沿 x, y, z 轴正方向上的单位矢量.

1.2 速 度

为了描述物体运动的快慢程度及运动方向,引入速度概念.

1.2.1 位移

如图 1-2-1 所示,质点沿一条曲线运动. $\mathbf{r}(t)$ 与 $\mathbf{r}(t + \Delta t)$ 分

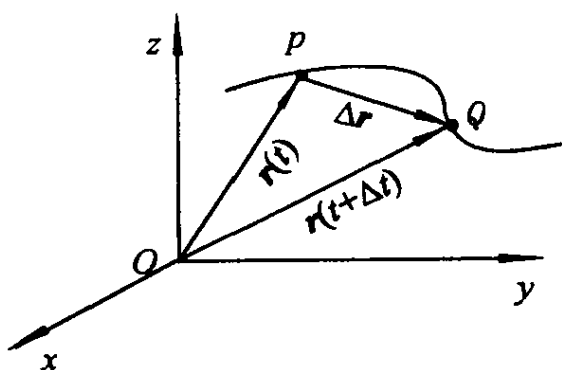


图 1-2-1 位移

别是它在 t 时刻与 $t + \Delta t$ 时刻的位矢. 从 P 点向 Q 点所引的有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 叫做质点在 Δt 时间内的位移. $\Delta \mathbf{r}$ 是两个时刻的位矢之差, 即

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}(t + \Delta t) - \mathbf{r}(t).$$

位移反映了质点位置的改变.

由 P 到 Q 质点经历过的曲线

长度 Δs , 叫做 Δt 时间内质点通过的路程. 位移和路程是两个截然不同的概念.

1.2.2 速度

位移 $\Delta \mathbf{r}$ 与时间 Δt 的比值, 叫做质点在 Δt 时间内的平均速度. 平均速度

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}. \quad (1-2-1)$$

用平均速度只能粗略地描述质点在 Δt 时间内的运动状况. 研究质点运动时, 常常需要知道质点在某一位置或某一时刻的运动状态. 不难想象, 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均速度 $\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$ 的极限值可以用来描述质点在 t 时刻的运动. 这一极限值称为瞬时速度 $\mathbf{v}$, 简称速度.

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}. \quad (1-2-2)$$

可见, 把位矢 $\mathbf{r}$ 对时间 t 求一阶导数, 就得到瞬时速度的表达式.

速度是矢量, 具有大小和方向. 速度大小 v 称作速率.

$$v = |\mathbf{v}| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{|d\mathbf{r}|}{dt}, \quad (1-2-3)$$

式中 $|d\mathbf{r}|$ 为位移元的大小, 它正是质点在 dt 时间内经过的微小路程 ds , 所以

$$v = ds/dt. \quad (1-2-4)$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, $\Delta \mathbf{r} \rightarrow d\mathbf{r}$, $d\mathbf{r}$ 沿质点运动轨道的切线. 由式(1-2-3)知, $\mathbf{v}$ 与 $d\mathbf{r}$ 的方向相同. 所以, 质点速度 $\mathbf{v}$ 的方向沿轨道切线, 指向质点运动的方向.

在直角坐标系中

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k},$$

瞬时速度

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}, \quad (1-2-5)$$

则沿三个坐标轴的速率分量

$$\left. \begin{aligned} v_x &= dx/dt, \\ v_y &= dy/dt, \\ v_z &= dz/dt. \end{aligned} \right\} \quad (1-2-6)$$

速度的大小

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}. \quad (1-2-7)$$

在经典物理中, 质点的运动状态用位置和速度描写. 不同时刻, 质点具有不同位置或速度, 说明质点具有不同的运动状态. 在宏观世界范围内, 运动的质点在任一时刻, 具有惟一的、确定的运动状态. 正因为如此, 宏观物体都是按着一定的轨道运动. 描述空间轨道的方程叫轨道方程, 它与运动方程一起从不同角度描述了质点运动的规律.

1.3 加速度

质点在运动中, 不仅位置变化, 而且速度 $\mathbf{v}$ 也随时间变化. 为了描述速度的变化, 引入运动学另一个重要物理量——加速度.

如图 1-3-1 所示, t 时刻质点在 P 点, 速度是 $\mathbf{v}(t)$; $t + \Delta t$ 时刻质点在 Q 点, 速度是 $\mathbf{v}(t + \Delta t)$. 在 Δt 时间内速度的增量是

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}(t + \Delta t) - \mathbf{v}(t).$$

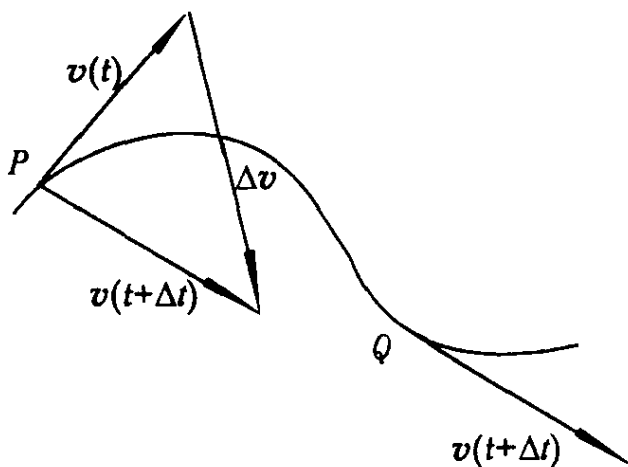


图 1-3-1 速度增量

$\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$ 称为 Δt 时间内质点的平均加速度. 用 $\bar{\mathbf{a}}$ 表示,

$$\bar{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}.$$

当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度的极限定义为 t 时刻的瞬时加速度, 简称加速度.

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

加速度等于速度对时间的一阶导数, 或等于位矢对时间的二阶导数. 在直角坐标系中

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k}. \quad (1-3-2)$$

加速度的三个分量是

$$\begin{aligned} a_x &= \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2 x}{dt^2}, \\ a_y &= \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2 y}{dt^2}, \\ a_z &= \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2 z}{dt^2}. \end{aligned} \quad (1-3-3)$$

加速度的大小

$$a = |\mathbf{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}. \quad (1-3-4)$$

由式(1-3-1)知, 加速度 $\mathbf{a}$ 的方向沿 $d\mathbf{v}$ 的方向. 在曲线运动中, $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{v}$ 不共线, 否则, 质点一定作直线运动.

圆周运动是一种典型的曲线运动. 质点作匀速圆周运动时, 加速度的大小

$$a = v^2/R, \quad (1-3-5)$$

式中 R 是圆形轨道半径;其方向沿轨道半径指向圆心. 这是大家熟知的结果. 它反映了速度方向的变化程度. 当质点作变速率圆周运动时, 由于速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向和大小都变化, 因此, 加速度 $\boldsymbol{a}$ 不再指向圆心, 而是与速度 $\boldsymbol{v}$ 有一夹角 θ , 如图 1-3-2 所示. 沿轨道半径指向圆心的加速度分量 $\boldsymbol{a}_n$ 称为

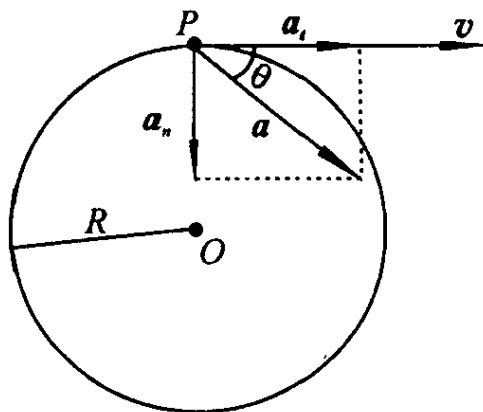


图 1-3-2 变速圆周运动的加速度

法向加速度, 它与匀速率圆周运动中的加速度具有相同的物理含义, 反映速度方向随时间变化的程度. $\boldsymbol{a}_n$ 的大小

$$\boldsymbol{a}_n = v^2/R, \quad (1-3-6)$$

这里 v 是瞬时速率. 沿轨道切线方向上的加速度分量 $\boldsymbol{a}_t$ 称为切向加速度. 自然, 它反映速度的大小即速率随时间变化的程度. 切向加速度 $\boldsymbol{a}_t$ 是速率的时间变化率, 即

$$\boldsymbol{a}_t = dv/dt. \quad (1-3-7)$$

$\boldsymbol{a}_t > 0$, 表示 $\boldsymbol{a}_t$ 与速度 $\boldsymbol{v}$ 方向相同, 速率变大; $\boldsymbol{a}_t < 0$, 表示 $\boldsymbol{a}_t$ 与速度 $\boldsymbol{v}$ 的方向相反, 速率变小.

可以证明, 对于一般曲线运动, 式(1-3-6)、(1-3-7)仍然适用, 只是半径 R 应该由曲线的曲率半径 ρ 来代替.

上一节讲到如何利用运动方程求速度; 本节又谈到如何利用速度求加速度. 反过来, 如果已知 $t=0$ 时质点的速度 $\boldsymbol{v}_0$ 和加速度与时间的函数关系 $\boldsymbol{a}(t)$, 可以求出质点在任一时刻的速度

$$\begin{aligned} v_x &= v_{0x} + \int_0^t a_x dt, \\ v_y &= v_{0y} + \int_0^t a_y dt, \end{aligned}$$