

大学物理

学习纲要

云南科技出版社

大学物理

学习纲要

钱立铎 主编
刘 坤

云南科技出版社

责任编辑：高 亢

封面设计：俸贵德

大学物理学习纲要

钱立铎 刘坤 主编

云南科技出版社出版发行（昆明市书林街100号）

云南新华印刷厂印装 云南省新华书店经订

开本：787×1092 1/32 印张：7.625 字数：165,000

1987年3月第一版

1987年3月第一次印刷

印数：1—6,700

统一书号：13466·6

定价：1.55 元

前 言

物理学是高等院校的一门重要基础课，它的内容十分丰富。历年来，学生要在较短的时间内掌握物理学的基本概念、基本规律和基本方法（即物理学的“三基”内容），往往感到困难。为此，我们根据多年的教学实践，结合工科物理教材内容和原部颁教学大纲的要求，编写了这本《大学物理学习纲要》，旨在指导和帮助学生。使学生花较少的时间配合物理教材学习，而达到系统掌握物理学的基本内容，提高分析问题和解决问题的能力。

本书在每章中都明确提出本章的基本概念、基本原理、定律和基本方法。就“基本方法”而论，各部份内容中用以解决实际问题的方法又有所不同。譬如，力学中的“隔离物体分析受力”的方法；分子物理学中的统计方法；热力学第一定律应用于理想气体等值过程中众多公式的推求方法；静电学中计算场强的三种基本方法和计算电势的两种基本方法；电磁感应中求动生电动势和感生电动势的方法；振动与波中确定周相（特别是初相）的两种基本方法；波动光学中求找两相干光的光程差的方法，等等。这些方法，在书中都作了一一介绍。本书曾多次在昆明工学院及院外有关大专班使用过，对于学生课前预习和课后复习，起到了良好的“向导”作用。

本书在编写过程中，曾得到昆明工学院有关领导的关心和支持，本院物理教研室的广大教师在使用过程中对本书提出了宝贵的意见，在初稿的编审中，任恩扬、王安安等老师曾做了一些有益的工作，特借此向他们表示衷心的感谢。

编 者

1985年10月于昆明工学院

目 录

前 言

第一章 质点运动学	(1)
一、参照系、质点	(1)
二、位移、速度和加速度	(2)
三、描述直线运动与曲线运动的物理量的比较	(6)
四、圆周运动的角量描述	(7)
五、运动迭加原理(运动独立性原理)	(8)
六、相对运动	(8)
七、解题示例	(9)
第二章 质点动力学	(17)
一、基本概念	(17)
二、牛顿第二定律	(19)
三、隔离物体法	(20)
四、动量原理	(23)
五、动量守恒定律	(25)
六、力的功	(27)
七、动能定理	(28)
八、重力的功、势能	(29)
九、功能原理	(31)
十、机械能守恒定律、综合题	(31)
十一、解题示例	(35)
练习题	(41)

第三章 刚体的转动	(44)
一、刚体的平动、转动和定轴转动	(44)
二、基本概念	(44)
三、基本规律	(47)
四、利用转动定律解题的方法步骤	(48)
五、解题示例	(49)
第四章 气体分子运动论	(57)
一、基本概念	(57)
二、基本规律	(60)
三、基本方法	(64)
四、解题示例	(65)
第五章 热力学基础	(70)
一、基本概念	(70)
二、基本规律	(72)
三、解题示例	(76)
第六章 真空中的静电场	(82)
一、基本概念	(82)
二、基本规律	(84)
三、基本方法	(86)
四、解题示例	(89)
第七章 静电场中的导体和电介质	(96)
一、基本原理	(96)
二、解题示例	(101)
第八章 电流与电场	(110)
一、电流和电流密度	(110)
二、电阻定律、电流的功和功率	(111)
三、电动势	(112)

四、欧姆定律	(113)
五、基尔霍夫定律	(114)
六、解题示例	(115)
第九章 真空中的磁场	(120)
一、磁感强度 B	(120)
二、电流的磁场	(120)
三、磁场对运动电荷 (或电流) 的作用	(124)
四、解题示例	(126)
第十章 磁介质中的磁场	(132)
一、磁介质及其中的磁场、磁导率	(132)
二、磁场强度 H	(133)
三、磁介质 (均匀无限大) 的 H 满足的定律	(133)
四、铁磁质	(134)
五、在均匀磁介质中利用安培环路定律解题	(134)
六、解题示例	(135)
第十一章 电磁感应	(138)
一、楞次定律	(138)
二、法拉第定律	(138)
三、自感与互感	(140)
四、磁场的能量	(141)
五、应用法拉第定律求 ϵ_s 的方法	(141)
六、解题示例	(142)
第十二章 电磁场	(148)
一、位移电流	(148)
二、电磁场理论的基本概念	(148)
三、麦克斯韦方程组 (积分形式)	(149)
四、解题示例	(151)

第十三章 机械振动	(154)
一、简谐振动的特征方程	(154)
二、简谐振动的 A 、 T 、 ν 及 ω 的意义及关系	(154)
三、周相及初相的意义	(155)
四、旋转矢量与简谐振动的对应关系	(156)
五、简谐振动的能量	(156)
六、简谐振动的合成	(157)
七、阻尼振动、受迫振动、共振	(158)
八、简谐振动问题的一般求解法	(159)
九、解题示例	(160)
第十四章 机械波	(168)
一、机械波、横波、纵波	(168)
二、波的几何描述	(168)
三、描述波动的几个物理量	(169)
四、平面简谐波的波动方程及其意义	(170)
五、波的能量(平面简谐波)	(171)
六、惠更斯原理、波的干涉和衍射	(172)
七、解波动问题的基本方法	(174)
八、解题示例	(174)
第十五章 电磁振荡与电磁波	(180)
一、电磁振荡	(180)
二、电磁波及其性质	(181)
三、电磁波的波动方程	(181)
四、电磁波的能量	(183)
五、解题示例	(184)
第十六章 波动光学	(185)
一、基本概念	(186)

二、光的干涉	(188)
三、光的衍射	(191)
四、光的偏振	(192)
五、波动光学解题方法	(194)
六、解题示例	(194)
第十七章 狭义相对论基础	(199)
一、伽利略变换式、牛顿的绝对时空观	(199)
二、爱因斯坦假设、洛伦兹变换式	(200)
三、狭义相对论的时空观	(203)
四、狭义相对论动力学基本关系	(205)
五、相对论时、空性质及运动问题解题方法	(206)
六、解题示例	(206)
第十八章 波和粒子	(212)
一、黑体辐射、普朗克量子假设	(212)
二、光电效应的实验规律	(213)
三、光子、爱因斯坦方程	(214)
四、康普顿效应——光具有粒子性的又一例证	(215)
五、德布罗意波 (物质波)	(215)
六、测不准关系	(216)
七、解题示例	(217)
第十九章 原子的量子理论	(220)
一、原子的核型结构	(220)
二、氢原子光谱的规律性	(220)
三、玻尔的氢原子理论	(221)
四、多电子原子与元素周期表	(223)
五、量子力学基础	(224)
六、解题示例	(227)

第二十章 原子核和基本粒子	(230)
一、原子核	(230)
二、基本粒子	(231)

第一章 质点运动学

在这部分学习中必须深刻理解、牢固掌握描述质点运动的位移、速度和加速度等物理量的意义，及其基本特征（相对性、矢量性、瞬时性），并明确在直线运动与曲线运动中各量的意义及其表示式。

一、参照系、质点

1. 参照系和坐标系：

一切物质都处于永恒不停的运动之中，这是物质运动的绝对性；而运动的描述又只能是相对的，这是运动描述的相对性。

要描述一个物体的机械运动，总得选择一些被视为不动的物体作为参照，这些被选为参照的物体称为“参照系”。

为定量地确定物体相对于参照系的位置，需要在参照系上选定一点作为原点，取通过原点并标有尺寸的方向线作为轴，这样就构成了附着在参照系上的“坐标系”。因此，坐标系实际就是参照系的数学抽象和定量表述。

常用的坐标系是直角坐标系，有时也选用极坐标系、球坐标系和柱坐标系等。

2. 质点和刚体：

“质点”是指具有一定质量，但形状大小可以忽略不计的物体。

质点是从实际中抽象出来的理想的力学模型。一个物体是

否能看成质点要看问题的性质而定。

“刚体”是指在任何外力作用下都不发生形变的物体。刚体也是一个理想的模型，实际上是不存在的。如果在研究的问题中它的形变可以忽略，则可近似地把它看成刚体。

3. 时间和时刻：

物体的运动总是在空间和时间中进行的，则在空间坐标系中考察质点运动时，与质点所在某一位置（如坐标 x ）相对应的是某一时刻（ t ）；与质点所走某一段路程相对应的是某一段时间（如 $\Delta t \longleftrightarrow \Delta s$ ）。可见，时间是两个时刻间的间隔，而时刻就是时间的一瞬间。

二、位移、速度和加速度

1. 位置：

在参照系上选一坐标系， t 时刻质点所在位置 A ，即可用由坐标原点指向质点的有向线段 r ——“位置矢量”来描述。

2. 位移：

描述物体运动的位置矢量变化的物理量。

设质点作曲线运动。在时刻 t ，质点在 A 点处，在时刻 $t + \Delta t$ ，质点到 B 点处。 A 、 B 两点相应位置矢量（矢径）分别为 r_A 和 r_B 。

则质点在 Δt 时间内位置的变化，可用从起点 A 到终点 B 的有向线段 $\overrightarrow{AB}$ 表示， $\overrightarrow{AB}$ 即称为质点从 A 点到 B

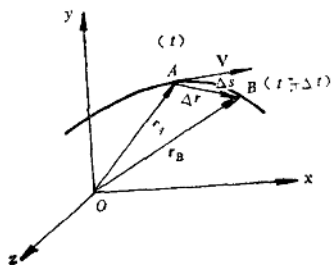


图 1

点的“位移”。

由图 1 知，位移：

$$\overrightarrow{AB} = \Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A。$$

注意：位移（ $\Delta \mathbf{r}$ ）与路程（ Δs ）不同，位移表示质点的位置改变，并非质点所经历的路程；其次，位移是矢量，而路程是标量。在一般情况下， $|\Delta \mathbf{r}| \neq \Delta s。$

3. 速度：

描述物体运动快慢和方向或描写位移（位置变化）快慢的物理量。

（1）平均速度和平均速率：设质点在 Δt 时间内的位移为 $\Delta \mathbf{r}$ ，则二者的比值即称为质点在 Δt 时间内的平均速度（矢量），即

$$\overline{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}$$

其方向与 $\Delta \mathbf{r}$ 的方向相同（就是割线 $\overrightarrow{AB}$ 的方向）。

我们把路程 Δs 与时间 Δt 的比值称为质点在 Δt 时间内的平均速率，即：

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

注意： $\because \Delta s \neq |\Delta \mathbf{r}|$ ， $\therefore$ 一般： $\overline{v} \neq |\overline{\mathbf{v}}|$

即平均速度的大小一般不等于平均速率。

（2）瞬时速度和瞬时速率：当时间间隔 $\Delta t \rightarrow 0$ 时，平均速度的极限即称为质点在 t 时刻的瞬时速度（矢量），表为：

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

其方向就是沿着轨道质点所在点A的切线方向如图1所示。

我们把瞬时速度的大小称为瞬时速率，表为：

$$v = \left| \mathbf{v} \right| = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right|,$$

注意： $\because$ 当 $\Delta t \rightarrow 0$ 时， $ds = |d\mathbf{r}|$ ，

$$\therefore v = \left| \frac{d\mathbf{r}}{dt} \right| = \frac{ds}{dt} \quad \text{即瞬时速度的大小恒等于瞬时}$$

速率。

速度矢量在直角坐标上的解析表达式为：

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k}$$

位置和速度都是描写物体运动状态的物理量。

4. 加速度：

描述物体速度变化快慢的物理量。

(1) 平均加速度(矢量)：在一般曲线运动中，设质点在 $t \rightarrow t + \Delta t$ 时间内的速度增量(矢量)为：

$$\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_B - \mathbf{v}_A \quad |\Delta \mathbf{v}| = |\mathbf{v}_B| - |\mathbf{v}_A|$$

则把 $\Delta \mathbf{v}$ 与 Δt 的比值，称为质点在 Δt 时间内的平均加速度，表为：

$$\overline{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}$$

其方向即为速度增量 Δv 的方向。

(2) 瞬时加速度(矢量): 当时间 $\Delta t \rightarrow 0$ 时, 平均加速度的极限即称为质点在 t 时刻的瞬时加速度, 表为:

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{d^2 \mathbf{r}}{dt^2}$$

其方向就是速度增量 Δv 的极限方向(一般, 此极限方向不同于 v 的方向)。

常用的 $\mathbf{a}$ 的解析式:

加速度的直角坐标解析表达式:

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} = \frac{d^2 x}{dt^2} \mathbf{i} + \frac{d^2 y}{dt^2} \mathbf{j} + \frac{d^2 z}{dt^2} \mathbf{k}$$

加速度的自然坐标表达式:

$$\mathbf{a} = a_n \mathbf{n} + a_t \mathbf{t} = \frac{v^2}{\rho} \mathbf{n} + \frac{dv}{dt} \mathbf{t} = \frac{v^2}{\rho} \mathbf{n} + \frac{d^2 s}{dt^2} \mathbf{t}$$

$\mathbf{n}$, $\mathbf{t}$ 分别表示法向单位矢和切向单位矢。

其中: 法向加速度的大小: $a_n = \frac{v^2}{\rho}$ (ρ 称曲率半径);

$$\text{切向加速度的大小: } a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$$

注意: a_n 只改变速度的方向, 而不改变速度的大小;

a_t 只改变速度的大小, 而不改变速度的方向。

当轨道为已知时, 自然坐标解析法是比较有用的, 特别是对圆周运动。

5. 速率加快和减慢的判定:

若 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{v}$ 同向 (同号) 或夹成锐角, 则速率是加快的;
 若 $\mathbf{a}$ 与 $\mathbf{v}$ 反向 (反号) 或夹成钝角, 则速率是减慢的;
 若 $\mathbf{a} \perp \mathbf{v}$ (夹成直角), 则速率保持不变。

三、描述直线运动与曲线运动的物理量的比较

位置	位移及路程	速度及速率	加速度
直线运动	$x \quad \Delta x \text{ 及 } \Delta s$	$\begin{cases} \overline{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \text{ 及 } \overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \\ v = \frac{dx}{dt} \text{ 及 } v = \frac{ds}{dt} \end{cases}$	$\begin{cases} \overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \end{cases}$
曲线运动	$r \quad \Delta r \text{ 及 } \Delta s$	$\begin{cases} \overline{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} \text{ 及 } \overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \\ v = \frac{dr}{dt} \text{ 及 } v = \frac{ds}{dt} \end{cases}$	$\begin{cases} \overline{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \\ a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2} \end{cases}$

在直线运动中, 由于 $(\Delta x, v, a)$ 的大小和正负就表示了 $(\overrightarrow{AB}, v, a)$ 的大小和方向, 所以, 用代数量 $(\Delta x, v, a)$ 完全可以代替矢量 $(\overrightarrow{AB}, v, a)$ 。这样位移 Δx 、速度 v 、加速度 a 并不失去其矢量意义。

特例:

(1) 匀变速直线运动基本公式:

$$v = v_0 + at; \quad x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2, \quad v^2 = v_0^2 + 2ax$$

严格说位移应为: $x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$, 但若把起始 ($t =$

0) 时刻质点所在位置取为坐标原点 ($x_0 = 0$), 则 t 时间内的

位移值也就是 t 时刻质点所在的位置坐标。

(2) 匀速圆周运动基本公式:

$$v = \frac{ds}{dt} = R\omega \quad (\omega \text{ 为角速度})$$

$$a = a_n = \frac{v^2}{R} = R\omega^2 \quad (a_t = 0)$$

四、圆周运动的角量描述

1. 角位移 角速度 角加速度:

角位移: $\Delta\theta = \theta_B - \theta_A$ (θ 称角位置, 是质点所在点的圆半径与 x 轴的夹角)

$$\text{角速度: } \omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{d\theta}{dt}$$

$$\text{角加速度: } \alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

特例:

匀变速转动公式:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t$$

$$\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0)$$

2. 线量和角量的关系:

位移 (大小): $|d\mathbf{r}| = ds = R d\theta$

速度 (大小): $v = R\omega$