

研究生入学考试复习指导丛书

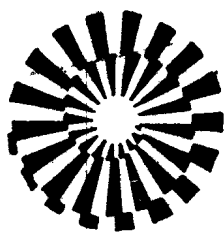
yanjiushengruxuekao

shifuxizhidaocongshu

普通物理



安徽科学技术出版



张玉民 郑兆勃
荣福瑞 郭光灿
朱栋培 编

研究生入学考试
复习指导丛书

普通物理

安徽科学技术出版社

责任编辑：张晓红

封面设计：李 服

〔研究生入学考试复习指导丛书〕

普 通 物 理

张玉民 郑兆勃 荣福瑞 郭光灿 朱栋培 编

*

安徽科学技术出版社出版发行

(合肥市跃进路1号)

新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

*

开本：880×1168 1/32 印张：15.25 字数：422,000

1986年10月第1版 1986年10月第1次印刷

印数：00,001—8,700

统一书号：13200·83 定价：3.80元

前 言

普通物理的教科书有六七本之多，对复习者来说，不仅复习一遍要花很长时间，而且还难以掌握要点，影响复习效果。针对这种情况，我们根据普通物理教学大纲的基本要求和多年的教学实践，参考了近几年国内外研究生考试试题，把普通物理的主要内容，特别是重要的概念、图象、基本规律以及解题技巧等整理编写成本书，以供读者复习时参考。同时本书也可以作为大学普通物理教学的参考书。

本书第一、二篇由郑兆勃同志编写，第三篇由荣福瑞同志编写，第四篇由郭光灿同志编写，第五篇由张玉民同志编写，第六篇由朱栋培同志编写。张玉民同志并审阅了全部书稿。

为了方便读者，在本书体系完整的基础上，各篇内容相对独立，所以读者也可以挑选单篇阅读。

本书的插图由王燕霞、赵兰英、王广有等同志绘制，在此谨向他们表示感谢。

由于时间仓促，书中错误在所难免，望读者不吝指正。

编 者

DAG 38/05

编 者 的 话

自1978年我国实行研究生招考制度以来，招生名额和报考人数逐年增加。可以预料，这种形势还将持续发展。校内外广大报考人员都希望在复习迎考中得到有的放矢的指导。有鉴于此，我们接受了安徽科学技术出版社的委托，组织编写了《研究生入学考试复习指导丛书》。

我校在帮助先后五届报考研究生的同学复习迎考中，做了一些工作，取得了一定的成绩。这套《丛书》是我校有关课程任课教师在总结历年经验的基础上，根据部颁教学大纲和招考研究生的要求编写的。《丛书》包括政治、英语、数学、物理、化学五种；内容紧密联系教材，着重介绍基本原理和概念；各分册均注意精选有代表性的例题，分析解题思路，以期提高读者的应试能力。《丛书》将对报考研究生的同学和指导复习的教师提供帮助，并可引导本科生加深对有关课程内容的理解。

《丛书》编写委员会由尹鸿钧、孙显元、严镇军、张玉民、张懋森、陈克衡、朱滨、张安民等同志组成。《丛书》各分册由编者署名。

**中国科学技术大学《研究生入学
考试复习指导丛书》编写委员会**

1975年8月于中国科学技术大学

目 录

第一篇 力学	1
第一章 质点运动学	1
§1.1 描述质点运动的物理量	1
§1.2 参考系	2
第二章 质点动力学	9
§2.1 牛顿三定律	9
§2.2 力	11
§2.3 伽里略相对性原理	16
§2.4 非惯性系中的惯性力	17
第三章 动量、角动量和机械能守恒	22
§3.1 动量、冲量和动量守恒	22
§3.2 力矩、角动量和角动量守恒	23
§3.3 功、动能、势能和机械能守恒	25
§3.4 守恒定律的应用	30
第四章 质点系力学	32
§4.1 质心和质心运动的动力学方程	32
§4.2 质点系的动量、角动量和机械能守恒	35
§4.3 双体运动、碰撞和变质量体系	39
第五章 刚体力学	43
§5.1 刚体的质心、重心和转动惯量	43
§5.2 刚体运动的分类	45
§5.3 刚体绕固定轴的转动	46
§5.4 刚体的平面平行运动	49

第六章 振动	53
§6.1 简谐振动	54
§6.2 阻尼振动	56
§6.3 受迫振动和共振	58
§6.4 简谐振动的合成	60
§6.5 振动的分解和简谐分析	63
第七章 波	63
§7.1 波的基本性质	64
§7.2 简谐波	65
§7.3 声波、超声波和次声波	70
§7.4 多普勒效应	71
第八章 流体力学	72
§8.1 流体静力学	72
§8.2 理想流体的稳恒流动	73
§8.3 粘滞流体的运动规律	75
第二篇 热学	78
第一章 温度	78
§1.1 基本概念	78
§1.2 温标	79
第二章 热力学第一定律	80
§2.1 热力学过程和能量迁移	80
§2.2 热力学第一定律	81
第三章 理想气体	82
§3.1 气体定律	82
§3.2 热容量、内能和焓	83
§3.3 几类准静态过程	85
§3.4 卡诺循环	88
第四章 热力学第二定律	89
§4.1 热力学第二定律的不同表述	89

§4.2 熵	91
第五章 分子运动论	92
§5.1 理想气体的微观模型	92
§5.2 范德瓦尔斯方程和昂尼斯方程	94
§5.3 气体分子的热运动速度	95
§5.4 输运现象	98
第三篇 电磁学	102
第一章 静电场	102
§1.1 静电的基本规律和电场	102
§1.2 高斯定理、环路定理和电位	107
§1.3 静电场中的导体和电容	115
§1.4 电介质中的静电场	121
§1.5 电场的能量	129
第二章 稳恒电流	132
§2.1 电流的稳恒条件和导电规律	132
§2.2 电源和电动势	137
§2.3 稳恒电场的边界条件	140
§2.4 直流电路	144
§2.5 电子发射和温差电现象	148
第三章 稳恒磁场	151
§3.1 安培定律和磁感应强度	151
§3.2 磁场的高斯定理和安培环路定理	157
§3.3 磁场对载流导线的作用	161
§3.4 带电粒子在磁场中的运动	163
§3.5 磁介质	166
§3.6 边界条件和磁路定理	172
第四章 电磁感应和暂态过程	173
§4.1 法拉第电磁感应定律	173
§4.2 动生电动势和感生电动势	174

§4.3	互感和自感	176
§4.4	磁场的能量	181
§4.5	暂态过程	182
第五章	交流电路	186
§5.1	交流电	186
§5.2	交流电路中的元件	189
§5.3	矢量图解法	190
§5.4	复数解法	192
§5.5	交流电的功率	196
§5.6	谐振电路和 Q 值	197
第六章	麦克斯韦电磁理论和电磁波	200
§6.1	麦克斯韦电磁理论	200
§6.2	电磁波	204
§6.3	电磁场的能流密度和动量	210

第四篇 光学 214

第一章	几何光学	214
§1.1	几何光学的基本定律	214
§1.2	共轴球面系统的共轴成象	217
§1.3	实际光学系统	231
§1.4	光度学	237
第二章	光波的基本性质	241
§2.1	光波的表示方法	242
§2.2	波的迭加	246
§2.3	单色波的概念	248
§2.4	相干迭加的条件	249
§2.5	相速和群速	254
第三章	干涉	255
§3.1	相干光产生的方法	255
§3.2	分波前法干涉	259

§3.3	薄膜(薄板)干涉	262
§3.4	迈克尔逊干涉仪	266
§3.5	多光束干涉和F-P干涉仪	268
§3.6	光场的相干性	272
第四章	衍射	278
§4.1	惠更斯-菲涅尔原理	278
§4.2	菲涅尔衍射	280
§4.3	夫琅和费衍射	285
§4.4	光学仪器的分辨本领	288
§4.5	光栅衍射	289
第五章	偏振	296
§5.1	光场的五种偏振状态	296
§5.2	马吕斯定理	300
§5.3	双折射	301
§5.4	各种偏振态的判别法	306
§5.5	电光效应和磁光效应	307
§5.6	偏光干涉	310
第六章	现代光学基础	312
§6.1	光的吸收、色散和散射	312
§6.2	热辐射	314
§6.3	光的波粒二象性	315
§6.4	爱因斯坦辐射理论	317
第五篇	原子物理	320
第一章	氢原子的玻尔理论和量子力学理论	320
§1.1	原子有核结构和原子光谱	320
§1.2	玻尔的氢原子理论	330
§1.3	量子力学基础和氢原子的量子理论	345
第二章	多电子原子	377
§2.1	碱金属原子和电子自旋	377

§2.2 多价电子原子和原子磁性·····	391
§2.3 原子的壳层构造和X光·····	412
第六篇 核物理和粒子物理·····	421
第一章 原子核物理·····	421
§1.1 原子核的基本性质·····	421
§1.2 核力·····	429
§1.3 核结构·····	432
§1.4 核转变·····	441
第二章 粒子物理·····	454
§2.1 粒子的基本性质·····	454
§2.2 强子的结构·····	463
§2.3 相互作用·····	470

第一篇 力 学

第一章 质点运动学

当物体的形状、大小对运动的影响可以忽略时，可用一个有质量而无大小的质点来代表。例如，做平动运动的物体，由于物体中每一点的运动规律完全相同，可用一个质点来代表；地球与太阳之间的距离远远大于地球的半径，在研究地球围绕太阳的转动时，地球的形状大小可以忽略，可看成为一个质点。当然在研究地球自身的运动时，就不能看成质点。

质点，是一种理想的模型。物理学研究中，模型化的方法可以使人们在研究复杂问题时，找出问题最主要、最基本的特性。我们研究了质点运动学和动力学规律，就等于研究了所有能用质点来近似描述的宏观物体的运动规律。

质点运动学研究质点的位置、速度及加速度随时间变化的规律，它不涉及使运动发生变化的原因。

§1.1 描述质点运动的物理量

位矢： $\mathbf{r}(t)$ ，表示 t 时刻质点在空间的位置。

位移： $\Delta\mathbf{r}(t, t_0)$ ，表示质点在 t_0 与 t 时刻位矢之差。

路程： $s(t, t_0)$ ，质点在 $\Delta t = t - t_0$ 时间间隔中运动轨迹的长度。

速度： $\mathbf{v}(t)$ ， t 时刻质点位矢的变化率。

加速度： $\mathbf{a}(t)$ ， t 时刻质点速度的变化率。

上述物理量的关系为

$$\Delta\mathbf{r}(t, t_0) = \mathbf{r}(t) - \mathbf{r}(t_0)$$

$$s(t, t_0) = \int_{t_0}^t ds \quad \mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt}$$

$$\mathbf{a}(t) = \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = \frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2}$$

这就告诉我们，位移是矢量，而路程是标量。位移代表在 t 时刻与 t_0 时刻位矢之差，它只与质点在两个不同时刻的位置有关，与这两个时刻之间质点运动的过程无关；而路程由两个时刻之间质点运动的具体路径所决定。

速度是矢量，不仅有大小还有方向。速度的方向永远与 $d\mathbf{r}$ 方向一致，所以速度方向总是沿着质点运动轨迹的切线方向，一般不与 $\mathbf{r}(t)$ 方向一致。

加速度也是矢量，表示了速度的变化率。因此加速度本身决不代表速度的大小。速度非常大的质点，加速度可以为 0；加速度很大时，速度也可能为 0。速度矢量无论是方向或大小的改变，都意味着存在加速度。作曲线运动的质点，由于运动速度方向总在变化，所以加速度一定不为 0。根据质点动力学的牛顿第二定律，加速度与质点受的力相联系，所以加速度可看成是运动学与动力学的桥梁。

$\mathbf{r}(t)$ 具有特殊的意义。由 $\mathbf{r}(t)$ 可求出质点的速度和加速度， $\mathbf{r}(t)$ 能给出运动轨迹，也可求出任意时间间隔内的运动路程。当质点质量已知时，还可求出质点受的力、质点的动能等。总之，由 $\mathbf{r}(t)$ 可求出一系列有关质点运动学和动力学的性质参量。

由动力学可知，质点所受的力决定了质点的运动加速度；在运动学中，往往是：已知加速度，由矢量的积分求速度和位矢。但是，要完全确定速度 $\mathbf{v}(t)$ 和 $\mathbf{r}(t)$ ，还需知道在 t_0 时刻的性质，即初始速度和初始位置，即 $\mathbf{v}(t_0)$ 和 $\mathbf{r}(t_0)$ 。加速度相同的质点，初始速度和初始位置不同，运动状况会有极大差别。

§1.2 参 考 系

物理量的测量值依赖于观察者进行测量的参考系。在一定的参

考系中，我们可以选取坐标系。位矢、速度和加速度这些矢量可以表示成坐标分量的形式。

1. 直角坐标系

选取笛卡儿直角坐标系。它的原点为 o ， x ， y ， z 三个轴的单位矢量分别为 i ， j ， k ，且质点的位置和三个坐标轴在空间的方位不随时间变化。这时位矢、位移、速度和加速度可分别写成

$$\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k}$$

$$\Delta\mathbf{r}(t) = \Delta x(t)\mathbf{i} + \Delta y(t)\mathbf{j} + \Delta z(t)\mathbf{k}$$

$$\mathbf{v}(t) = v_x(t)\mathbf{i} + v_y(t)\mathbf{j} + v_z(t)\mathbf{k}$$

$$\mathbf{a}(t) = a_x(t)\mathbf{i} + a_y(t)\mathbf{j} + a_z(t)\mathbf{k}$$

由速度和加速度的定义式，可得

$$\begin{aligned}\mathbf{v}(t) &= \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \frac{d}{dt}[x(t)\mathbf{i}] + \frac{d}{dt}[y(t)\mathbf{j}] \\ &\quad + \frac{d}{dt}[z(t)\mathbf{k}] = \dot{x}(t)\mathbf{i} + \dot{y}(t)\mathbf{j} + \dot{z}(t)\mathbf{k}\end{aligned}$$

其中用到了条件： i ， j ， k 是方位不随时间改变的常矢量，即

$$\frac{d\mathbf{i}}{dt} = 0 \quad \frac{d\mathbf{j}}{dt} = 0 \quad \frac{d\mathbf{k}}{dt} = 0$$

所以有 $v_x(t) = \dot{x}(t) \quad v_y(t) = \dot{y}(t) \quad v_z(t) = \dot{z}(t)$

同理

$$a_x(t) = \dot{v}_x(t) = \ddot{x}(t)$$

$$a_y(t) = \dot{v}_y(t) = \ddot{y}(t)$$

$$a_z(t) = \dot{v}_z(t) = \ddot{z}(t)$$

因此，在固定于空间的直角坐标系下，速度和加速度各分量之间的关系，可写为

$$v_i(t) = \frac{dr_i}{dt} \quad a_i(t) = \frac{dv_i}{dt} = \frac{d^2r_i}{dt^2}$$

其中 r_i ， v_i ， a_i 分别代表 $\mathbf{r}$ ， $\mathbf{v}$ ， $\mathbf{a}$ 在直角坐标系下的任一分量。

2. 平面极坐标系

在研究质点的平面运动，或质点运动在某一个平面上的投影

时，可以选用平面极坐标系。

与平面直角坐标系的关系如图1.1所示，质点的位矢 $\mathbf{r}(t)$ 可写成

$$\mathbf{r}(t) = r \cdot \mathbf{r}_n$$

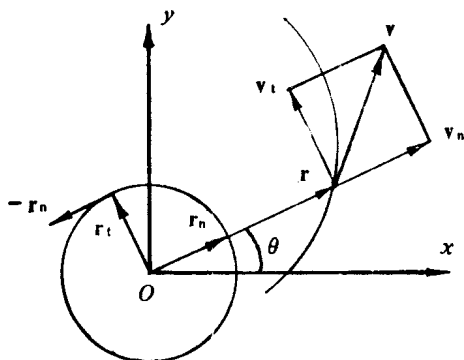


图1.1 平面极坐标

其中 $r = |\mathbf{r}(t)|$ 为位矢的长度， $\mathbf{r}_n$ 为位矢的单位矢量，单位矢量与 x 轴夹角为 θ ，这样质点的位矢可用 r, θ 来描述。这就是平面极坐标。

显然有关系式

$$x = r \cos \theta \quad y = r \sin \theta \quad \tan \theta = \frac{y}{x} \quad r^2 = x^2 + y^2$$

速度表达式为

$$\mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \frac{d}{dt} (r \mathbf{r}_n) = \frac{dr}{dt} \mathbf{r}_n + r \cdot \frac{d\mathbf{r}_n}{dt}$$

由图1.1显见， $\frac{d\mathbf{r}_n}{dt}$ 代表单位矢量 $\mathbf{r}_n$ 末端的速度

$$\frac{d\mathbf{r}_n}{dt} = \frac{d\theta}{dt} \cdot \mathbf{r}_t$$

其中 $\mathbf{r}_t$ 为单位矢量， $\mathbf{r}_t$ 与 $\mathbf{r}_n$ 垂直，且方向指向 θ 角增大的一侧。因此有

$$\mathbf{v}(t) = \dot{r} \mathbf{r}_n + r \dot{\theta} \mathbf{r}_t$$

写成 $\mathbf{r}_n, \mathbf{r}_t$ 方向分量形式，有

$$\mathbf{v}(t) = v_n \mathbf{r}_n + v_t \mathbf{r}_t \quad v_n = \dot{r} \quad v_t = r \dot{\theta} \quad v = \sqrt{(\dot{r})^2 + (r\dot{\theta})^2}$$

其中 $v_n = \dot{r}$ 表示位矢长度的变化率, 称为速度的径向分量; $v_t = r\dot{\theta}$ 表示质点绕坐标原点 O 转动引起的位矢方向的变化, 称为速度的横向分量。 r_n, r_t 的方向随质点运动而不断改变, 但总保持 $r_n \parallel r, r_t \perp r_n$ 。由于 v 总与质点运动轨迹的切线方向一致, 所以一般情况下, r_n, r_t 并不与轨迹的切线方向一致或垂直。

由加速度表示式

$$\mathbf{a}(t) = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

可求出

$$\mathbf{a} = a_n \mathbf{r}_n + a_t \mathbf{r}_t$$

其中 $a_n = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2$ 称为加速度的径向分量, 方向沿 r_n ; $a_t = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta}$ 称为加速度的横向分量, 方向沿 r_t 。以上推导中用到 $\frac{dr_t}{dt} = -\dot{\theta}r_n$ 。

加速度的大小为

$$a = \sqrt{(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2)^2 + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})^2}$$

包含在 a_n 中两项的物理意义为: $\ddot{r}$ 是引起沿位矢方向速度大小变化的加速度; $-r\dot{\theta}^2$ 是引起横向速度方向变化的加速度。

包含在 a_t 中两项的物理意义为: $r\ddot{\theta}$ 是引起转动角速度变化而使得横向速度变化的加速度; $2\dot{r}\dot{\theta}$ 这一项, 只有在 $\dot{\theta}$ 和 $\dot{r}$ 同时不为 0 时才存在 (这由两方面原因产生的: 一方面, 以角速度 $\dot{\theta}$ 绕 O 点转动的质点, 它的横向速度为 $r\dot{\theta}$, 当 r 变化时, 横向速度也发生变化, 这样质点沿径向以 $\dot{r}$ 速度运动, 该质点的横向速度 $r\dot{\theta}$ 不断改变; 另一方面, 一个沿径向以速度 $\dot{r}$ 运动的质点, 速度大小、方向均不变, 但如果同时存在转动, 该质点径向运动的速度方向将发生改变)。

由 a_n, v_n, a_t, v_t 表示式可见

$$a_n \asymp \frac{dv_n}{dt} \quad a_t \asymp \frac{dv_t}{dt}$$

这与固定在空间的直角坐标系下加速度分量与速度分量之间关系不同, 原因在于 r_n, r_t 在质点运动时, 是不断随时间而改变的。

3. 自然坐标系

自然坐标系是选取质点运动轨迹自身的参量来定义的坐标系。

设质点运动的轨迹如图1.2所示, P 为轨迹上的一点。首先过 P 点作切线。在切线上取一个方向作为自然坐标系的一个基矢, 设为 τ , 并使在 P 点质点的速度方向与 τ 一致, 即

$$\mathbf{v} = v\tau$$

其中 $v = \frac{ds}{dt}$, s 为弧长。

质点运动的轨迹是一条空间曲线。过 P 点, 曲线存在一个密切平面。密切平面可以用以下方法确定:

取弧长 Δs , 确定另一点 P_1 , 过 P_1 与曲线相切的矢量设为 τ_1 , 当 $\Delta s \rightarrow 0$ 时, τ_1 与 τ 所决定的平面将趋向于一个极限位置, 这就是过 P 点的密切平面。显然, 过曲线上不同点的密切平面在空间的方位不同。

我们取密切平面上过 P 点且垂直于 τ , 方向指向曲线凹的一方的单位矢量 $\mathbf{n}$, 做为自然坐标系的第二个基矢。第三个基矢也过 P 点, 方向由 $\mathbf{b} = \tau \times \mathbf{n}$ 决定。这样, 在空间曲线上任一点, 由 τ , $\mathbf{n}$, $\mathbf{b}$ 构成自然坐标系的三个基矢。

当质点在空间运动时, 自然坐标系的原点及三个基矢都随着质点运动不断改变位置和方向。

加速度的定义式为

$$\mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

因为

$$\mathbf{v} = \frac{ds}{dt} \tau$$

所以

$$\mathbf{a} = \frac{d^2s}{dt^2} \tau + \frac{ds}{dt} \frac{d\tau}{dt}$$

其中 $\frac{d\tau}{dt}$ 表示轨迹上任一点切线方向的变化率。

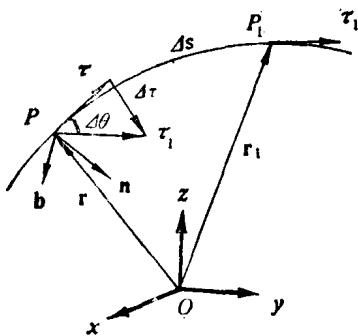


图1.2 自然坐标系