麻海珍

大学物理概念与习题详解

山西人民出版社

大学物理概念与习题详析

山 西 人 民 出 版 社

大学物理概念与习题详析

麻海珍　编

*

山西人民出版社出版　（太原并州北路十一号）

山西省新华书店发行　山西新华印刷厂印刷

*

开本：787×1092　1/32　印张：15　字数：320千字

1989年7月第1版　1989年7月太原第1次印刷

印数：1—4000册

*

ISBN 7—203—01211—5

G·532　定价：4.90元

前　言

大学物理是高等工科院校各专业学生的一门重要的必修基础课。通过学习要求学生对物理课中的基本理论、基本知识能够正确地理解，并具有初步的应用能力。但学习物理学的学生却往往是记住了物理定律和公式而没有完全理解其实质。本书就是试图使初学者尽快理解物理理论、掌握物理规律、学会解题基本方法而编写的一本大学物理参考读物。它既不是教材，也不能代替教材。但它一方面是教材的一个补充，另一方面也是对教材的一个改写。因为它突出了教材中最基本的部分，补充了教材中需要进一步说明和探究的部分，条理化了教材中需要掌握和记忆的部分，并对解物理问题的方法进行了分析和总结。

本书包括《大学物理课程教学基本要求》的主要内容，各章均由两大部分组成：一、基本概念与基本规律及其说明。重点在于对物理概念和物理定律的细致说明和深入探讨。如振动势能和弹性势能的区别与联系、感生和动生电动势在分法上的相对性、电场能和电势能的区别与联系、衍射对干涉的影响等容易使学生引起困惑而又不能从教科书中得到进一步了解的问题，本书都进行了比较详细的分析和说明。二、解题方法分析。重点在于用物理概念和规律分析问题，帮助初学者掌握解物理习题的基本方法，并结合题目对一些如由

斜碰求恢复系数、电势零点的选取及各种极限情况的讨论等不易掌握的物理问题作了具体讨论；同时也注意了引导初学者有意识地将所学高等数学用于解决具体物理问题之中。但由于编者水平有限，力不从心，错误和不妥之处在所难免，诚恳希望读者给予批评和指正。

本书在编写过程中得到赫贵忱先生、吴浩然先生的指导，他们审阅了初稿，并提出宝贵意见，在此表示诚挚的感谢！

目　　录

第一章　质点运动学

一、基本概念和基本规律及其说明

1．质点和刚体

（1）质点　当物体的形状、大小与所研究的问题无关，或者其形状、大小对运动的影响很小，可忽略不计时，我们将不考虑物体的形状和大小，而把它看成为一个点，并认为整个物体的质量和某些物理属性（如能量、动量等）都集中在这个点上，这样抽象化了的模型就称作质点。即所谓质点，是指只有质量而忽视物体大小和形状的几何点。

（2）刚体　所谓刚体是指在运动过程中大小和形状保持不变的物体，刚体内部各质元之间的距离在运动中也不发生变化。

说明

① 质点和刚体都是抽象化了的理想模型，所以是一个相对的概念，一个物体是否可以看作质点或看作刚体，总是要由所研究问题的具体条件而定的。

② 刚体的运动可分为平动和转动。刚体上任意一条直线在运动过程中各时刻始终保持平行，这种运动称为刚体的平动。刚体做平动时，其上各点的运动情况完全相同，可以

用任一点来代表，研究刚体平动时，其运动规律与刚体形状、大小无关，所以刚体的平动是一个将物体视为质点的例子。

③ 研究质点运动有着更普遍的意义。在一个力学问题中，如果一物体的线度与它的运动范围相比不算小，且它的转动变形不能忽略时，可以把物体看成是一大群质点的组合，研究质点运动的方法可以作为研究物体运动的出发点。

④ 刚体是力学中的一个科学抽象概念。实际上，任何物体受到另外物体作用时，它的体积和形状总要或多或少地改变，正是由于产生了形变，才会出现弹性力。但是，如果在我们所研究的问题中，物体的微小形变对运动过程影响很小，就可以把物体看作刚体，从而使问题简化。

2. 参照系和坐标系

（1）**参照系**　运动学是描述物体的空间位置随时间的变化关系的。为此，首先必须确定物体的空间位置。而要确定一个物体的空间位置，就必须找另外物体作为参考，这个被选来作为参考的物体，就称为参照系（或参考系）。

（2）**坐标系**　要把物体在各个时刻相对于参照系的位置定量地表示出来，就必须在参照系上选取适当的坐标系。常用的坐标系有直角坐标系、球坐标系、柱坐标系，平面运动还可用平面极坐标系。这些坐标系都是正交坐标系。

3. 质点的位置和位移

（1）位置矢量是描述质点在空间位置的物理量。在选定的直角坐标系$OXYZ$中，由坐标原点向所研究的质点P所在位置1引的有向线段$\mathbf{r}_1$称为位置矢量（图1-1）。当经过Δt时间质点运动到位置2时，其位置矢量为$\mathbf{r}_2$。在所选的直角坐标系中可写为分量式

$$\mathbf{r}_1 = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_2 = x_2\mathbf{i} + y_2\mathbf{j} + z_2\mathbf{k}$$

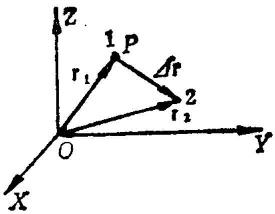

图 1-1

（2）位移矢量是描述质点位置变动的大小和方向的物理量。质点由图 1-1 中的位置 1 变到位置 2 时，其位移是由初始位置引向终了位置的矢径，记以

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \tag{1-1}$$

说明

① 关于位置矢量，应注意它的矢量性、瞬时性和相对性。

矢量性：$\mathbf{r}$ 是矢量，不仅有大小，而且有方向。如 $\mathbf{r}$ 的模相等而方向不同时，表示质点处于不同的位置，且位置矢量合成时服从平行四边形法则。

瞬时性：质点在运动过程中，不同时刻的位置矢量是不相同的，所以一个确定的位置矢量给出质点在某给定时刻的位置。

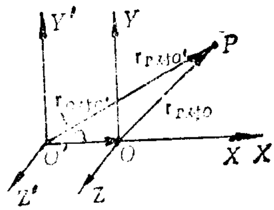

图 1-2

相对性：质点在空间中一点的位置用不同坐标系描述时是不相同的。如图1-2中的质点 P 相对于 O 系的位置矢量是 $\mathbf{r}_{P对O}$，相对于 O' 系的位置矢量是 $\mathbf{r}_{P对O'}$，但它们之间有一定联系

$$\mathbf{r}_{P对O'} = \mathbf{r}_{P对O} + \mathbf{r}_{O对O'} \tag{1-2}$$

若已知质点在O系的位置矢量及O系坐标原点在O'系中的位置矢量，可由式（1-2）求质点在O'系中的位置矢量。

② 关于位移矢量，应注意它的矢量性和相对性。因为位移描述质点在Δt时间间隔内位置的变化，所以与具体时间间隔有关。

矢量性：位移不仅有大小，而且有方向，其方向是由质点的初始位置指向终了位置。

相对性：位移也是相对的，与参照系选择有关。设质点在运动，且在Δt内的位移在O系中为$\Delta \mathbf{r}_{P对O}$，在O'系中为$\Delta \mathbf{r}_{P对O'}$，又设两坐标系之间也有相对运动，在Δt内O对O'系的位移为$\Delta \mathbf{r}_{O对O'}$，这样，当变换参照系时，在不同参照系中位移之间的关系为

$$\Delta \mathbf{r}_{P对O'} = \Delta \mathbf{r}_{P对O} + \Delta \mathbf{r}_{O对O'} \tag{1-3}$$

式（1-3）称为位移合成定理。

位移合成定理可由两坐标系中位置矢量的关系式(1-2)和位移的定义式（1-1）直接得到。即

$$\Delta \mathbf{r}_{P对O'} = \mathbf{r}_{P对O'2} - \mathbf{r}_{P对O'1}$$

$$= (\mathbf{r}_{P对O2} + \mathbf{r}_{O对O'2}) - (\mathbf{r}_{P对O1} + \mathbf{r}_{O对O'1})$$

$$= (\mathbf{r}_{P对O2} - \mathbf{r}_{P对O1}) + (\mathbf{r}_{O对O'2} - \mathbf{r}_{O对O'1})$$

$$= \Delta \mathbf{r}_{P对O} + \Delta \mathbf{r}_{O对O'}$$

另外也可以根据坐标系间相对运动时位置矢量、位移矢量间

的几何关系得到（图1-3）。设t时刻O系的坐标原点O相对于O'系的位置矢量为$\mathbf{r}_{O对O'1}$，质点P在O系的位置矢量为$\mathbf{r}_1$，在O'系为$\mathbf{r}_1'$；经Δt后，由于O系相对于O'系运动，所以O点的位置变为$\mathbf{r}_{O对O'2}$，位移为$\Delta\mathbf{r}_{O对O'}$，而此时质点P在O系中位置为$\mathbf{r}_2$，Δt内位

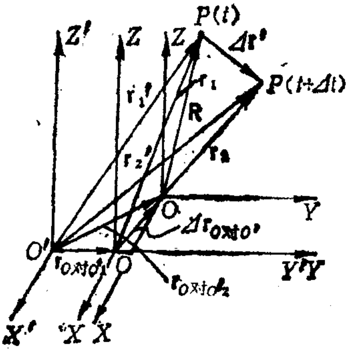

图 1-3

移为$\Delta\mathbf{r}=\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1$，而在$O'$系中质点$P$的位置为$\mathbf{r}_2'$，位移为$\Delta\mathbf{r}'=\mathbf{r}_2'-\mathbf{r}_1'$。根据图1-3所示的矢量三角形关系有

$$\Delta\mathbf{r}'=\mathbf{r}_2-\mathbf{R}=\mathbf{r}_2-(\mathbf{r}_1-\Delta\mathbf{r}_{O对O'})$$

$$=(\mathbf{r}_2-\mathbf{r}_1)+\Delta\mathbf{r}_{O对O'}=\Delta\mathbf{r}+\Delta\mathbf{r}_{O对O'}$$

$$\Delta\mathbf{r}_{P对O'}=\Delta\mathbf{r}_{P对O}+\Delta\mathbf{r}_{O对O'}$$

③ 位移和路径不同，因为位移反映了质点位置矢量的变化，即反映了两个不同时刻质点位置的差别，是初、末状态位置矢量的矢量差，它是一个矢量，并不反映这段时间间隔内质点所走过的实际路程。如质点由A移到B可沿直线1或曲线2、3（图1-4），路线不同，质点

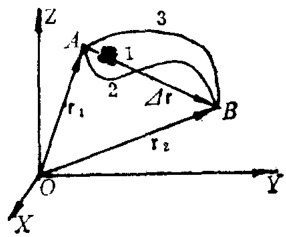

图 1-4

所走路径就不同，但由于它们初、末态相同，所以不论走哪条路线，位移却是相同的。又如质点绕半径为R的圆走一周时，其位移$\Delta \mathbf{r}=0$，而路径却是$2\pi R$。

仅当取极限时，位移矢量的模才等于路径曲线的线元ds，即

$$|d\mathbf{r}|=ds$$

4．运动方程和轨迹方程

（1）运动方程　由于质点在运动，所以质点的位置时时在变化，位置矢量一般应为时间t的函数，即

$$\mathbf{r}(t)=x(t)\mathbf{i}+y(t)\mathbf{j}+z(t)\mathbf{k} \tag{1-4}$$

称式（1-4）为运动方程，它反映了质点运动的规律。由运动方程可给出质点不同时刻的位置矢量，即当运动方程中的时刻确定后，运动方程就变为该时刻的位置矢量。

运动方程也可写为三个标量函数式：

$$x=x(t)$$

$$y=y(t)$$

$$z=z(t)$$

（2）轨迹方程　质点运动时在空间所经历的路径为运动轨迹，所以运动轨迹是一条空间曲线，它可以由空间曲线方程表示，称为轨迹方程。运动方程消去时间t就得到轨迹方程。

5．质点运动的速度

速度是描述质点运动状态的物理量，它具体地描述了质点位置变动的快慢和方向。

（1）平均速度　设质点在时刻t附近Δt时间间隔内的位移为$\Delta \mathbf{r}$，则质点在Δt时间内的平均速度定义为

$$\overline{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} \tag{1-5}$$

（2）瞬时速度　对上式取极限，就得到t时刻质点的瞬时速度

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} \tag{1-6}$$

瞬时速度的大小称为瞬时速率

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

平均速率是在Δt时间内质点运动的真实路径Δs和时间Δt之比，即

$$\overline{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1-7}$$

所以平均速度的大小也不等于平均速率，如质点绕圆运动一周，其平均速度$\overline{\mathbf{v}} = \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = 0$，平均速率$\overline{v} = \frac{2\pi R}{\Delta t}$。

仅当取极限时，因为$|d\mathbf{r}| = ds$，所以才有

$$|\mathbf{v}| = \frac{|d\mathbf{r}|}{dt} = \frac{ds}{dt} = v$$

即瞬时速度的模等于质点在该时刻的瞬时速率。

说明

① 平均速度是对质点运动的粗略描述。谈到质点的平均速度必须指明是对于哪一段时间或哪一段位移的；平均速率是质点在一段时间内所走路径与该段时间之比，是一个标

量。

② 瞬时速度准确地描述了质点某一时刻的运动状态。关于瞬时速度，应注意它的矢量性、瞬时性和相对性。

矢量性：速度是矢量，有大小和方向。速度的合成和分解应遵守平行四边形法则。速度的方向是质点运动的方向，即路径曲线在该点的切线方向。

瞬时性：变速运动中速度时时在变化，所以速度描述的是质点某时刻运动的快慢和方向。

相对性：在不同的参照系，对质点在同一时刻速度大小和方向的描述是不相同的。根据位移矢量的相对性关系式（1-2）和速度的定义式（1-6）很容易得到速度合成法则

$$\mathbf{v}_{P对O'}=\mathbf{v}_{P对O}+\mathbf{v}_{O对O'} \tag{1-8}$$

③ 在直角坐标中，由于位移矢量

$$d\mathbf{r}=dx\mathbf{i}+dy\mathbf{j}+dz\mathbf{k}$$

所以速度可表为

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

速度在三个坐标轴上的分量

$$v_x=\frac{dx}{dt}\quad v_y=\frac{dy}{dt}\quad v_z=\frac{dz}{dt} \tag{1-9}$$

所以当质点的运动方程已知时，可由式（1-9）求速度的分量，近而求得速度。

特殊地，若 $\mathbf{r}(t)=x(t)\mathbf{i}$，质点在$X$轴上作直线运动，此时速度为

$$\mathbf{v}=\frac{dx}{dt}\mathbf{i}=v_x\mathbf{i}$$

$v_x>0$，质点向正X方向运动；$v_x<0$，质点向负X方向运动。速度的单位在国际制中是米/秒。

6．质点运动的加速度

加速度是描述质点速度变化快慢的物理量。

（1）平均加速度等于质点在一段时间Δt内速度的增量$\Delta\mathbf{v}$与这段时间的比值，即

$$\overline{\mathbf{a}}=\frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t} \tag{1-10}$$

平均加速度与平均速度一样，只能粗略地描述一段时间内速度变化的快慢，它不能给出各个时刻质点速度的变化情况。

（2）瞬时加速度　我们把对平均加速度所取的极限值定义为时刻t质点的瞬时加速度

$$\mathbf{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\mathbf{v}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{v}}{dt} \tag{1-11}$$

它精确地反映了各个时刻质点速度的变化情况。

说明

① 关于瞬时加速度，应注意它的矢量性，瞬时性和相对性。

矢量性：加速度是矢量，有大小和方向。加速度的大小反映了质点速度变化的快慢，其方向是速度增量$\Delta\mathbf{v}$的极限方向。应该注意到，$\Delta\mathbf{v}$的方向和它的极限方向一般不同于速度$\mathbf{v}$的方向，因而加速度的方向一般与该时刻的速度方向不一致。由动力学知，加速度方向是该时刻质点所受合外力的方向。

瞬时性：加速度是描述质点各个不同时刻速度变化的大小和方向的，一般地，不同时刻加速度不同，即 $\mathbf{a}=\mathbf{a}(t)$。所谓匀加速运动是指各个时刻加速度的大小和方向均相同的运动。

相对性：在不同参照系中，对质点同一时刻的加速度大小和方向的描述也是不相同的。根据速度合成定理和加速度的定义有

$$\mathbf{a}_{P对O'}=\mathbf{a}_{P对O}+\mathbf{a}_{O对O'} \tag{1-12}$$

其中 $\mathbf{a}_{O对O'}$ 是O系相对于O'系的加速度。由式（1-12）可求质点相对于O'系的加速度，如果质点相对于O系的加速度及O系相对于O'系的加速度已知的话。

若两参照系之间是做匀速直线运动，则

$$\mathbf{a}_{P对O'}=\mathbf{a}_{P对O}$$

在普通物理中我们一般只选用惯性系，而各惯性系之间是做匀速直线运动的，所以不同惯性系中质点的加速度相同。

② 在直角坐标系中，加速度可写作如下分量式

$$\mathbf{a}=a_x\mathbf{i}+a_y\mathbf{j}+a_z\mathbf{k} \tag{1-13}$$

其中 $a_x=\dfrac{dv_x}{dt}=\dfrac{d^2x}{dt^2}$，$a_y=\dfrac{dv_y}{dt}=\dfrac{d^2y}{dt^2}$，$a_z=\dfrac{dv_z}{dt}=\dfrac{d^2z}{dt^2}$。显然，若已知运动方程就可以求得质点运动的加速度$\mathbf{a}(t)$。

③ 若已知加速度和初始条件，可求速度和运动方程。