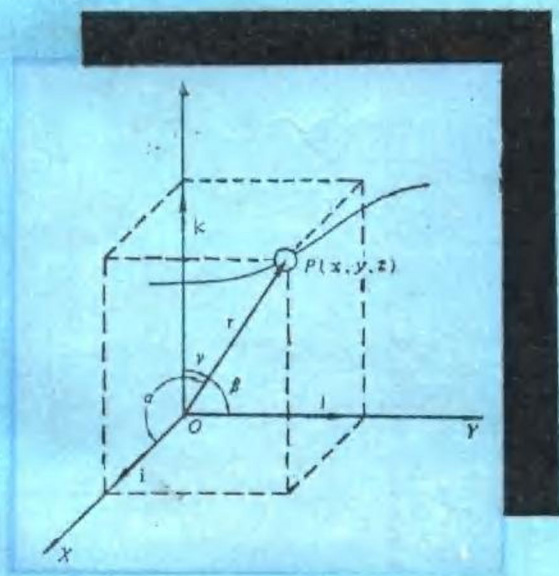


物理学

主编 杜金波 陈庆仁 张 平



警官教育出版社

物 理 学

编 著

杜金波 陈庆仁 张 平

警官教育出版社

(京) 新登字 167 号

书 名: 物 理 学

著 者: 杜金波 陈庆仁 张 平

责任编辑: 张学敏

封面设计: 王 哲

责任校对: 金 戈

出版发行: 警官教育出版社

(北京西城木樨地北里 2 号 100038)

印 刷: 河北省昌黎印刷厂印刷

经 销: 新华书店总店北京发行所

版 次: 1995 年 6 月第 1 版

印 次: 1995 年 6 月第 1 次印刷

印 张: 19.125

开 本: 787×1092 1/32

字 数: 410 千

印 数: 3500 册

ISBN 7—81027—641—7/G·201

定 价: 23.50 元

前 言

本书是为交通管理专业成人教育而编写的一本大专水平的教材。内容选取，以专业的需要为主；讲授重点，以物理学基本概念和原理为主。减少数理论证，适当降低对计算能力的要求，以适应目前学员的基础水平和接受能力。本书力求说理清楚，深入浅出，便于学员自学阅读。

该书由中国人民警官大学基础部物理教研室杜金波、陈庆仁、张平共同编写。杜金波任主编。其中第一、三、五章由陈庆仁执笔；第二、六章由张平执笔；第四、七、八章由杜金波执笔。全书由杜金波统稿并审定。

由于水平有限，经验不足，不妥之处在所难免。敬请读者提出宝贵意见和批评。

杜金波 1993 年元月
于警官大学

目 录

前言

第一章 质点运动学	(1)
1—1 参考系和质点.....	(1)
1—2 描写质点运动的基本物理量.....	(5)
1—3 几种典型的质点直线运动.....	(23)
1—4 常见的几种平面曲线运动.....	(40)
第二章 质点动力学的基本规律	(65)
2—1 力.....	(65)
2—2 牛顿运动定律.....	(82)
2—3 功和能.....	(111)
2—4 动量.....	(162)
第三章 刚体的定轴转动	(213)
3—1 描写刚体定轴转动的几个物理量.....	(214)
3—2 转动定律.....	(219)
3—3 转动动能定理.....	(230)
3—4 角动量定理及角动量守恒定律.....	(237)
3—5 质心和质心运动定理.....	(242)
3—6 刚体的平面运动.....	(247)
第四章 热学基础	(255)
4—1 温度和温度的测量.....	(255)
4—2 理想气体状态方程.....	(262)

• 1 •

4-3	气体分子运动论简介.....	(271)
4-4	热力学第一定律.....	(284)
4-5	热力学第二定律.....	(299)
4-6	热机简介.....	(307)
第五章	静电场	(322)
5-1	电荷和电场.....	(322)
5-2	库仑定律.....	(326)
5-3	电场强度矢量.....	(331)
5-4	电力线和电通量.....	(343)
5-5	静电场力的功, 电势.....	(347)
5-6	等势面, 电场强度和电势的关系.....	(356)
5-7	静电场中的导体.....	(360)
5-8	电容器.....	(367)
5-9	静电场的能量.....	(378)
第六章	电流和磁场	(387)
6-1	电流的基本规律.....	(387)
6-2	电源、电动势.....	(401)
6-3	磁场及其性质.....	(414)
6-4	磁场力的作用.....	(442)
6-5	电磁感应.....	(454)
第七章	振动与波	(489)
7-1	简谐振动.....	(489)
7-2	阻尼振动与受迫振动.....	(499)
7-3	机械波.....	(506)
7-4	多普勒效应.....	(519)
第八章	物理光学基础	(526)

8-1	光的电磁本性.....	(526)
8-2	光的干涉.....	(530)
8-3	光的衍射.....	(541)
8-4	光的偏振.....	(547)
8-5	光的发射.....	(557)
8-6	光度学简介.....	(567)
8-7	光的吸收与散射.....	(579)
习题答案		(591)

第一章 质点运动学

1—1 参考系和质点

一、物体运动的绝对性

自然界的物体都在作永恒不停地运动，大到地球、太阳等天体，小到分子、原子等基本粒子都在无时无刻地运动。所以物体的运动是普遍的，静止不动的物体是没有的。如放在桌子上的书，虽相对桌子静止，但它又随地球绕太阳一起运动。所以运动是物体的固有属性，物体和运动是不能分开的，也可以说运动是物体存在的形式，这就是物体运动的绝对性。

二、参考系和物体运动的相对性

由于物体运动是绝对的，因此要描述物体的运动，必须选另一个物体或几个彼此之间相对静止的物体群作为参考，这个被选作参考的物体或物体群，叫参考系。我们平日所说的物体运动，都是相对于某个参考系而言的。例如，观察行驶的火车位置变化，是通过以地面某一物为标准（如电线杆）把它看成不动来判别。所以，任何物体的静止都是相对的，有条件的。究竟选择哪个物体为参考系，原则上是任意的，主要取决于问题的性质，需要和研究的方便。例如，在地面上讨论物体的运动，通常选地球为参考系方便。今后若不作特别说明，都选地球或地面上静止的物体为参考系。

很明显，所选取的参考系不同，对物体运动的情况描述是不同的。如在一平衡行驶的轮船中，静止的乘客相对于轮船是不动的，而相对于河岸某一物体，乘客的位置就不断变化了。可见相对于不同参考系物体运动有不同的描述结果，这叫做物体运动描述的相对性。因此，研究物体的运动时必须明确是对哪个参考系而言的。

运动的相对性在汽车驾驶训练中得到了有效的应用。下面我们介绍一种关于“汽车驾驶训练模拟系统”的简单原理。

我们知道汽车在公路上的运动，是汽车相对于路面及道路上各种路标、行人等，还有公路旁的各种物体作为参考物的移动。从运动的相对性来看，汽车相对于路面等物的运动和以汽车为参考系，路面、行人、房屋等相对于汽车的运动应是等效的。所以根据运动相对性，可以设计一个汽车驾驶训练系统：在室内让汽车相对于地面静止，将驾驶员操作汽车方向盘等的动作变成公路、行人、房屋等物的运动，即汽车不动，公路、行人等运动。只要模拟的这幅画上有公路，路标、房屋、行人等图象，人坐在汽车里的周围环境和平日汽车在公路上行驶环境一样，那么这套在室内建立的装置，就能达到汽车驾驶训练的效果。

如图 1—1，将汽车支撑在弹簧上，在前面竖立一个屏幕，汽车顶部安放一个放影机。事先将公路、和汽车驾驶时常遇到的各种情况摄制成影片，将驾驶员的操作方向盘等各种动作与放影机停、转、快慢等变化一一对应起来。这样，当放影机开动后，屏幕上的图象相对于静止汽车移动。驾驶员在静止于地面的汽车中的感觉却和平日驾驶汽车在公路上运动一样，从而也达到了汽车驾驶训练的目的。在汽车前面安装

检测器，还可以检查违章次数。若将它传感的信息送计算机处理后，便可自动地评价驾驶人员的训练成绩。用这种方法进行驾驶训练，可以大大缩短培训时间。因此不少国家都采用了类似这样的模拟系统培训汽车驾驶员，我们学校也建立了“汽车驾驶训练模拟实验室”

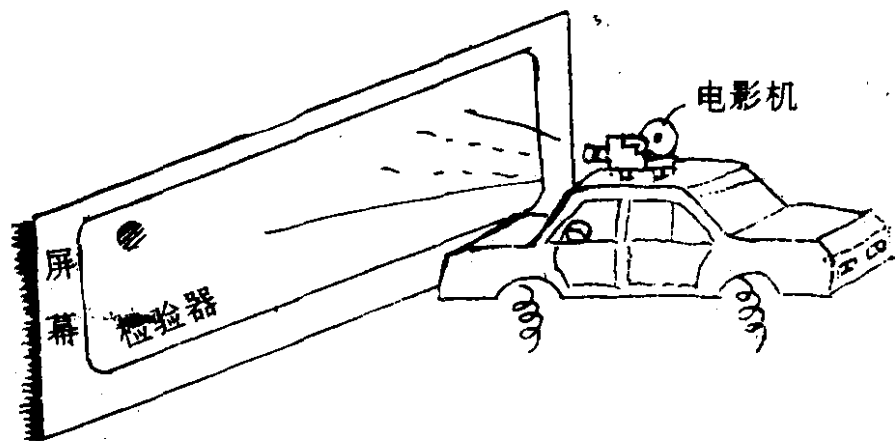


图 1-1 汽车驾驶模拟系统原理简图

三、坐标系

为了把物体在各个时刻相对于参考系的位置定量地表示出来，必须在参考系上建立坐标系：在参考系上建立适当的坐标——规定坐标轴的方向和选定坐标原点。坐标系有直角坐标，极坐标，球坐标和柱坐标系等。

坐标系的选择，也要看问题的性质和研究的方便来决定。最常用的是采用直角坐标系，如图 1-2 所示。选一固定点 O 为坐标原点，通过 O 点作三条相互垂直的直线作为坐标轴——分别为 x 、 y 、 z 轴。于是物体的位置 P 点就为 x 、 y 、 z 三个坐标值来确定。如果我们研究的物体限制在一个平面内进行甚至限制在一条直线上运动，那么三个坐标轴就可以简化

为两个坐标轴以至于一个坐标轴就可以确定物体在空间的位置了。

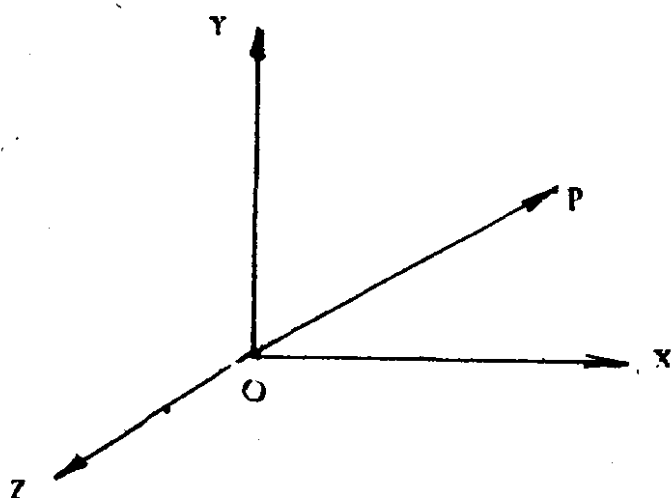


图 1-2 坐标系

四、质点

实际物体总有一定的形状和大小，物体上各点运动情况一般也可能不同，这样的物体作机械运动是较复杂的。然而，面对复杂的情况，我们可以分清主次，逐个解析。例如，物体作平动运动时，其上各点的运动情况是完全相同的，不防用任意一个点来代替整体运动，因而把物体看作是一个既没有大小和形状，却具有该物体全部质量的“点”，称为“质点”来处理。还有一种情况，如地球绕太阳公转，由于轨道半径较地球本身半径大一万倍以上，地球上各点绕太阳的运动就可以看成基本一样，所以，研究地球绕太阳公转时，地球的形状和大小实际上就不必考虑，也可以把它看成“质点”。但必须注意：自然界真正的“质点”是不存在的。质点的概念只是从具体的物体抽象出来的理想化模型。把复杂的、

具体的物体用简单模型来代替，这样就简化了它的条件，突出了主要矛盾，便于找出其中的规律。这是一种科学的研究方法。但我们也不能在所有的问题中都把物体看成“质点”。例如，当我们研究地球自转时，地球上各点运动情况就不相同，必须考虑地球的形状和大小了，不能再视地球为质点。总之，把物体视为质点是有条件的，而不能随心所欲！

物理学上的理想模型有许多，除质点外，还有“刚体”、“弹簧振子”、“点电荷”等。本篇若不作特别声明，就把物体抽象成“质点”或“刚体”来处理。

1—2 描写质点运动的基本物理量

描写一个质点的运动，关键在于知道质点在任意时刻的位置和在一段时间内位置的变动的快慢和方向等。位置、位移、速度和加速度就是分别从不同角度描写质点运动的基本物理量。

一、位置矢量 $\mathbf{r}$ (简称位矢 $\mathbf{r}$)

1. 位矢 $\mathbf{r}$ (坐标)

要描写一个质点的运动，首先要确定质点（如 P 点）在空间的位置。例如，图 1—3 中 P 点可以用 x 、 y 、 z 坐标来表示；也可以用矢量 $\mathbf{r}$ 表示。 $\mathbf{r}$ 称为位矢。 $\mathbf{r}$ 的大小代表了质点 P 到坐标原点的距离，其方向表示了质点 P 在坐标系中的方位。既然 P 点的位置可以用 x 、 y 、 z 坐标描述，也可以用位矢 $\mathbf{r}$ 描述，而两者之间必有确定的变换关系： $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$ ，其中 $\mathbf{i}$ 、 $\mathbf{j}$ 、 $\mathbf{k}$ 是 x 、 y 、 z 轴的单位矢量，即它们的大小为 1，方向分别为 x 、 y 、 z 轴的正方向。

$\mathbf{r}$ 的大小 $|\mathbf{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$

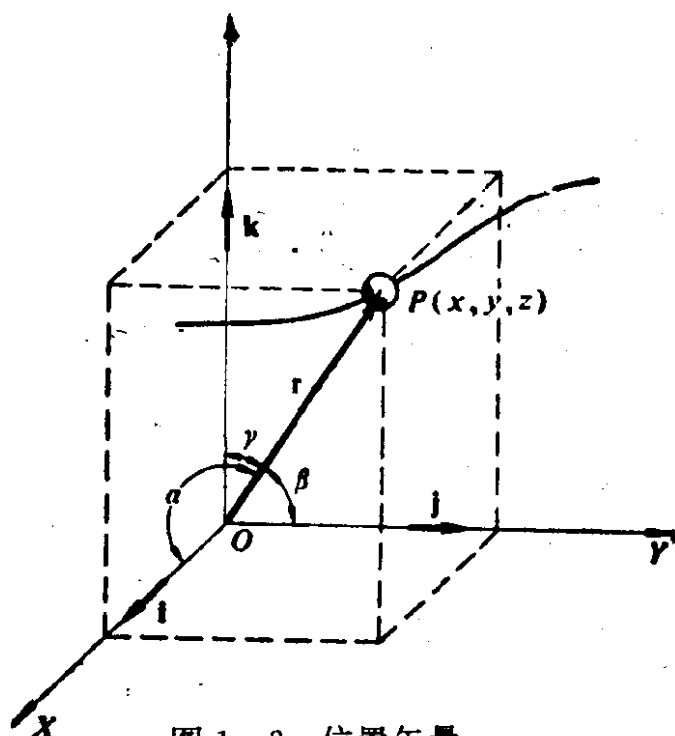


图 1-3 位置矢量

$\mathbf{r}$ 的方向可以用三个方向余弦表示

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \cos\beta = \frac{y}{r}, \cos\gamma = \frac{z}{r}$$

α, β, γ 为位矢 $\mathbf{r}$ 和三个坐标轴的夹角。其中还有 $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ 的数学关系，因此三个方向余弦中只有两个是独立的。

2. 质点的运动方程

所谓质点的运动，实际上就是位矢 $\mathbf{r}$ 随时间变化，即 $\mathbf{r}$ 应为时刻 t 的函数。即

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

这个函数式叫质点的运动方程。由于 $\mathbf{r}$ 在直角坐标系中可用

x 、 y 、 z 三个分量表示，所以 $x=x(t)$ ， $y=y(t)$ ， $z=z(t)$ 为运动方程在坐标系中的分量式。

当质点在一个平面内运动时，（称为二维运动），运动方程中只要两个分量式就行了。例如， $\mathbf{r}(t) = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j}$ 。如果质点在一条直线上运动（称为一维运动），那么运动方程只需一个坐标函数式表示。例如： $\mathbf{r}=x(t)\mathbf{i}$ 。或写作 $x=x(t)$

知道了运动方程的具体形式，就能确定任一时刻质点的位置，从而就知道了质点运动的特点和规律。

3. 质点的轨迹方程

质点运动时在空间所经历的实际路径称为轨迹。如果从 $\mathbf{r}$ 的分量式中消去时刻 t ，就能得到质点的轨迹方程。例如，一个质点的运动方程为：

$\mathbf{r}(t) = R\cos\omega t\mathbf{i} + R\sin\omega t\mathbf{j}$ (R 、 ω 为常数)。其中分量式

$$x = R\cos\omega t$$

$$y = R\sin\omega t$$

（通常叫轨迹的参数方程），从中消去 t 便得轨迹方程：

$$x^2 + y^2 = R^2$$

这就是圆心在坐标原点，半径为 R (xoy 平面内) 的圆。

运动方程和轨迹方程密切相关，但又有区别。运动方程表示的是空间和时间的关系，轨迹方程表示的是空间坐标之间的关系。

根据轨迹的形状，通常把质点运动分为两大类：如果质点的轨迹是直线的，就称为直线运动；如果质点的轨迹是曲线的，就称为曲线运动。

例 1-1 设质点的运动方程为

$$\begin{cases} x=2t \\ y=3t \\ z=0 \end{cases}$$

式中时间 t 的单位为秒 (英文代号 s), 坐标值的单位用米 (英文代号为 m)

(1) 当 $t=1s$, $t=3s$ 时质点移动到何处?

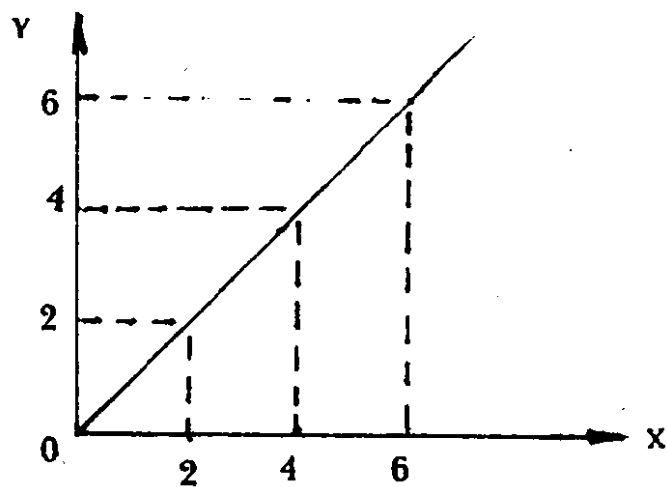
(2) 质点沿什么轨道运动?

解: (1) $z=0$, 所以质点在 xoy 平面内运动。只要求出 x 、 y 的值, 或求出位矢 $\mathbf{r}$ 就能完全确定质点的位置。

$$\begin{cases} t=1s & \text{时} \\ x_1=2m \\ y_1=3m \end{cases} \quad \begin{cases} t=3s & \text{时} \\ x_3=6m \\ y_3=9m \end{cases}$$

或 $\mathbf{r}_1=2\mathbf{i}+3\mathbf{j}$

$\mathbf{r}_3=6\mathbf{i}+9\mathbf{j}$



题 1-1 图

(2) 从参数方程中消去 t , 得 x 和 y 满足的方程 $\frac{x}{y}=\frac{2}{3}$ 这

是一条过坐标原点的直线方程。如题 1-1 图所示

二、位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$

运动着的质点，其位置在轨道上连续变化，如图 1-4，曲线 $\widehat{AB}$ 是质点轨道上的一部分，在时刻 t ，质点在 A 处；在时刻 $t + \Delta t$ ，质点已运动到了 B 点，A、B 两点的位置矢量分别为 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 表示。在 Δt 时间内质点的位置变化可以从 A 点到 B 点引一条有向线段 $\Delta \mathbf{r}$ 表示。 $\Delta \mathbf{r}$ 既表示了位置移动了多长一段距离，又表示了位置移动的方位。 $\Delta \mathbf{r}$ 称为位移矢量。它规定为：从质点初位置 A 指向末位置 B 的矢量。

关于位移的概念必须明确：

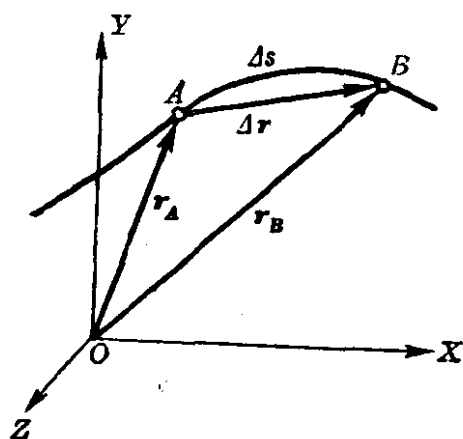


图 1-4 位移矢量

- (1) 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 是矢量，运算时遵从矢量运算法则。
- (2) 从位移的定义，并根据矢量的三角形法，则 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = \mathbf{r}_{\text{末}} - \mathbf{r}_{\text{初}}$ ，在实际运算时不能将二者顺序颠倒。

(3) 质点作直线运动时, 例如沿 x 轴方向运动, 位移矢量可以用标量 Δx 表示, Δx 的正负号与坐标轴的正负方向一致。 $\Delta x = x_{\text{末}} - x_{\text{初}}$

(4) 位移 $\Delta \mathbf{r}$ 和矢量 $\mathbf{r}$ 是有区别的, 若 A、B 两点位矢 $\mathbf{r}_A$ 和 $\mathbf{r}_B$ 写成坐标轴上的分量式, 则

$$\mathbf{r}_A = x_A \hat{\mathbf{i}} + y_A \hat{\mathbf{j}}$$

$$\mathbf{r}_B = x_B \hat{\mathbf{i}} + y_B \hat{\mathbf{j}}$$

于是位移矢量 $\Delta \mathbf{r}$ 亦可写成

$$\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A = (x_B - x_A) \hat{\mathbf{i}} + (y_B - y_A) \hat{\mathbf{j}}$$

$$= \Delta x \hat{\mathbf{i}} + \Delta y \hat{\mathbf{j}}$$

位移的大小: $|\Delta \mathbf{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$

位移的方向, 可由它与 x 轴间的夹角 α 确定, 即:

$$\text{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

(5) 位移和路程是两个不同概念。位移它只表示位置变化的实际效果, 并非质点所经历的路径。如图 1-4 中, $\widehat{AB}$, 为质点运动实际轨迹, 它的长度 $\widehat{AB}$ 为路程, 而位移则为 $\Delta \mathbf{r}$, 显然 $\widehat{AB} \neq \Delta \mathbf{r}$; 还有, 当质点沿一闭合路径回到原来的起始位置时, 其位移为零, 而路程则不为零。即使在直线运动中, 例如图 1-5 中, a、b 所示, 质点从 A 经 C 到 B 点, 位移是 A 指向 B 的有向线段 $\mathbf{AB}$, 而路程为 $AC + BC$, 只有当质点作直线运动且不作反方向运动时位移大小才会和路程相等。(图 1-5 中 C 所示)。