高等学校“十二五”规划教材|基础课

大学物理学

（上册）

◎主　编　朱长军　翟学军
◎副主编　周光茜　马保科
◎参　编　常红芳　尹纪欣　王晶　王晓娟

西安电子科技大学出版社
http://www.xduph.com

内容简介

本书涵盖了教育部非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会制订的《理工科类大学物理课程教学基本要求》中所有的核心内容，并在此基础上选取了相关的扩展内容. 本书体系完整、结构合理、深广度适当，同时加强经典与前沿、传统与现代、继承与创新的联系，突出了相关高新科学技术在实际中的应用.

本书分为上、下两册，上册包括力学和电磁学，下册包括热力学基础和气体动理论、振动和波、波动光学、狭义相对论、量子物理等.

本书可作为应用型高等院校理工科非物理类专业的教材，也可供文理科相关专业选用.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 上册/朱长军，翟学军主编.

—西安：西安电子科技大学出版社，2012.2

高等学校“十二五”规划教材. 基础课

ISBN 978-7-5606-2706-9

Ⅰ. ① 大… Ⅱ. ① 朱… ② 翟… Ⅲ. ① 物理学—高等学校—教材 Ⅳ. ① O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 255235 号

策　　划　戚文艳

责任编辑　戚文艳　杨　璠

出版发行　西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电　　话　(029)88242885　88201467　　邮　　编　710071

网　　址　www.xduph.com　　电子邮箱　xdupfxb001@163.com

经　　销　新华书店

印刷单位　陕西天意印务有限责任公司

版　　次　2012 年 2 月第 1 版　2012 年 2 月第 1 次印刷

开　　本　787 毫米×1092 毫米　1/16　印　张 18

字　　数　421 千字

印　　数　1～3000 册

定　　价　31.00 元

ISBN 978-7-5606-2706-9/O·0117

XDUP 2998001-1

前　　言

大学物理课程是高等院校非物理专业理工科学生的一门重要基础课，它所涵盖的物理学基本概念、基本原理和基本方法不但是学生学习后续专业课程的基础，而且是培养学生综合素质、提高学生科技创新能力的必要知识.

目前我国的大学已处在席卷全球的通识教育浪潮之中，随着我国高等教育形势的发展，许多亟待解决的新问题已经摆在物理教学工作者面前，其中之一就是编写适合于当代理工科学生的大学物理教材. 尽管国内外已出版了许多优秀的大学物理教材，但是，这些教材并不适合于我国所有高等院校的理工科学生. 因此，编写适合于应用型本科院校培养目标的大学物理教材便成为一项迫切而艰巨的任务. 在萃取国内外优秀大学物理教材精华的基础上，编者融合了多年来的教学经验和体会，针对应用型本科院校人才培养要求和学生的实际情况，编写了这本《大学物理学》教材. 本书涵盖了教育部物理基础课程教学指导分委员会制订的《理工科类大学物理课程教学基本要求》的内容，具有如下特点：

1. 在体系完整和结构合理的基础上，强调了高等数学知识、矢量知识在物理学中的应用；同时，编写了与课程内容紧密配套的习题，为学生系统地巩固和掌握教材内容提供了有力的支撑.

2. 在阐述基本概念、基本原理的同时，注重经典与前沿、传统与现代、继承与创新的联系，突出了相关的高新科学技术在实际中的应用.

3. 在内容的编写上注重教材的易教好学，力求提高教材内容的可读性与趣味性，使课程内容易于理解、易于掌握.

本教材适用于 112 学时.

参加《大学物理学》编写工作的有常红芳、尹纪欣、王晶、王晓娟、周光茜、朱长军、翟学军、马保科. 全书由朱长军、翟学军统稿并担任主编.

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，欢迎读者和同行专家批评指正.

编　者

2011 年 10 月

目　　录

矢量及其运算

1. 标量和矢量

1) 标量

有些物理量，只具有数值大小(包括有关的单位)，而不具有方向性．这些量之间的运算遵循一般的代数法则．这样的物理量称为**标量**.

2) 矢量

有些物理量，既要有数值大小(包括有关的单位)，又要有方向才能完全确定．这些量之间的运算并不遵循一般的代数法则，而遵循特殊的运算法则．这样的物理量称为**矢量**.

2. 矢量运算

1) 矢量加法

矢量加法是矢量的几何和，两个矢量的几何和服从平行四边形规则，如图 1 所示．表示为

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B} \tag{1}$$

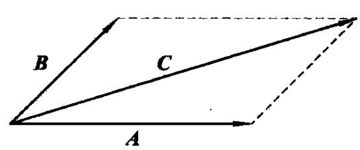

图 1　矢量加法的平行四边形规则

矢量加法也可以用矢量三角形表示，如图 2 所示，矢量 $\boldsymbol{A}$ 的头和矢量 $\boldsymbol{B}$ 的尾相接，得矢量 $\boldsymbol{C}$.

同理，矢量 $\boldsymbol{B}$ 的头和矢量 $\boldsymbol{A}$ 的尾相接，也得矢量 $\boldsymbol{C}$. 可见，矢量加法和矢量排列次序无关，即服从交换律

$$\boldsymbol{C}=\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A} \tag{2}$$

矢量加法也服从结合律

$$\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D}=(\boldsymbol{A}+\boldsymbol{B})+(\boldsymbol{C}+\boldsymbol{D}) \tag{3}$$

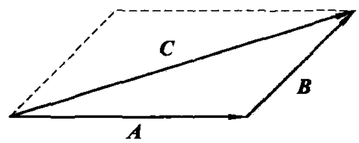

图 2 矢量加法的三角形规则

矢量加法是几个矢量的合成问题，反之，一个矢量也可以分解为几个矢量.

具体计算中，利用坐标系往往能够简化计算. 例如，在直角坐标系中，矢量 $\boldsymbol{A}$ 可以分解为 $\boldsymbol{A}_x$，$\boldsymbol{A}_y$ 和 $\boldsymbol{A}_z$. 这样，矢量 $\boldsymbol{A}$ 就可以表示为

$$\boldsymbol{A} = \boldsymbol{A}_x + \boldsymbol{A}_y + \boldsymbol{A}_z \tag{4}$$

在直角坐标系中，三个轴方向上的单位矢量分别为 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{k}$. 矢量 $\boldsymbol{A}_x$，$\boldsymbol{A}_y$ 和 $\boldsymbol{A}_z$ 的模分别为矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 x，y 和 z 轴方向上的投影，用 A_x，A_y 和 A_z 表示，则

$$\boldsymbol{A} = A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k}$$

可见，$\boldsymbol{A}$ 的模为

$$A = |\boldsymbol{A}| = (A_x{}^2 + A_y{}^2 + A_z{}^2)^{1/2} \tag{5}$$

这样，两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，在直角坐标系中的矢量和为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} &= A_x\boldsymbol{i} + A_y\boldsymbol{j} + A_z\boldsymbol{k} + B_x\boldsymbol{i} + B_y\boldsymbol{j} + B_z\boldsymbol{k} \\ &= (A_x + B_x)\boldsymbol{i} + (A_y + B_y)\boldsymbol{j} + (A_z + B_z)\boldsymbol{k}\end{aligned} \tag{6}$$

在矢量的分解中，应注意到分解的不唯一性. 例如，同一个矢量在不同的坐标系中，分解的情况是不同的.

2）矢量减法

矢量减法可以视为矢量加法的特例，即

$$\boldsymbol{A} - \boldsymbol{B} = \boldsymbol{A} + (-\boldsymbol{B}) \tag{7}$$

通常称 $-\boldsymbol{B}$ 为矢量 $\boldsymbol{B}$ 的**逆矢量**，它的模等于矢量 $\boldsymbol{B}$ 的模，但方向与矢量 $\boldsymbol{B}$ 相反，如图 3 所示.

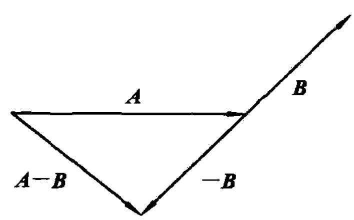

图 3 矢量减法

由矢量加减法运算规则可知，如果三个矢量 $\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{B}$ 和 $\boldsymbol{C}$ 头尾相连组成封闭三角形，其矢量和为零，如图 4 所示，表示为

$$\boldsymbol{A} + \boldsymbol{B} + \boldsymbol{C} = 0 \tag{8}$$

同理可推断，**若多个矢量头尾相连组成封闭的多边形，其矢量和必为零.**

3）标量和矢量的乘积

一个标量 m 和矢量 $\boldsymbol{A}$ 相乘，得矢量 $\boldsymbol{B}$，即

$$\boldsymbol{B} = m\boldsymbol{A} \tag{9}$$

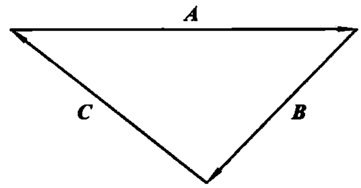

图 4　和矢量为零的几何表示

显然，$\boldsymbol{B}$ 的大小等于 $\boldsymbol{A}$ 的大小的 m 倍，二者方向相同或相反．若 $m>0$，则 $\boldsymbol{B}$ 与 $\boldsymbol{A}$ 同方向；若 $m<0$，则 $\boldsymbol{B}$ 与 $\boldsymbol{A}$ 反方向．

4）两矢量的标量积

两矢量的标量积亦称点积，定义为：**一个矢量在另一个矢量方向上的投影与另一矢量模的乘积，结果是一个标量**．可表示为

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=|\boldsymbol{A}||\boldsymbol{B}|\cos\theta \tag{10}$$

式中 θ 为两矢量的夹角．

点积的基本性质服从交换律，即

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=\boldsymbol{B}\cdot\boldsymbol{A} \tag{11}$$

以及分配律，即

$$\boldsymbol{A}\cdot(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{C} \tag{12}$$

在直角坐标系中，三个轴方向上的单位矢量 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{k}$ 相互正交，根据标量积定义得

$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1$$

$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}=0$$

两矢量的标量积可表示为

$$\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\cdot(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})=A_xB_x+A_yB_y+A_zB_z \tag{13}$$

这表明两矢量的标量积等于其对应的分量的乘积之和．

5）两矢量的矢量积

两矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 的**矢量积**亦称**叉积**，其结果仍是一个矢量，用矢量 $\boldsymbol{C}$ 表示，**矢量 $\boldsymbol{C}$ 的大小为 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 组成的平行四边形的面积，方向垂直于矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 构成的平面，并且 $\boldsymbol{A}$、$\boldsymbol{B}$ 和 $\boldsymbol{C}$ 三者符合右手螺旋法则**，其数学表达式为

$$|\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}|=|\boldsymbol{A}||\boldsymbol{B}|\sin\theta \tag{14}$$

式中 θ 为两矢量的夹角，$0\leqslant\theta\leqslant\pi$．

根据矢量积定义和右手螺旋法则可以看出

$$\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}=-\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{A} \tag{15}$$

表明矢量积不服从交换律，但服从分配律，即

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}+\boldsymbol{C})=\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}+\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{C} \tag{16}$$

显而易见，矢量积不服从结合律，即

$$\boldsymbol{A}\times(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})\neq(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})\times\boldsymbol{C} \tag{17}$$

直角坐标系中，由矢量积定义可得到单位矢量之间的关系

$$\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{k}=0$$

$$\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}$$

$$\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{k}=\boldsymbol{i}$$

$$\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}$$

矢量积在直角坐标系中可表示为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}&=(A_x\boldsymbol{i}+A_y\boldsymbol{j}+A_z\boldsymbol{k})\times(B_x\boldsymbol{i}+B_y\boldsymbol{j}+B_z\boldsymbol{k})\\&=(A_yB_z-A_zB_y)\boldsymbol{i}+(A_zB_x-A_xB_z)\boldsymbol{j}+(A_xB_y-A_yB_x)\boldsymbol{k}\end{aligned}\tag{18}$$

第1章　质点运动学

世界是物质的，一切物质都在永恒不息地运动着，这便是运动的绝对性．日月经天，江河行地，风雨雷电……自然界中万象纷呈，索本求源，皆归因于物质运动的不同形态与规律．法国科学家笛卡尔曾说过："给我物质和运动，我就能创造宇宙．"

物质和运动是不可分割的两个概念，物质是运动的载体，运动是物质的存在形式．物理学是研究物质运动中最普遍、最基本运动形式的一门学科，这些运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子运动等．机械运动是物质运动中最简单、最常见的运动形式，一个物体相对于另一个物体的位置变化叫做机械运动．机械运动包括平动、振动和转动．在物体平动中，可用物体上任一点的运动来代表整个物体的运动．为了研究物体的机械运动，我们不仅需要确定描述物体运动的方法，还需要对复杂的物体运动进行科学合理的抽象，提出物理模型，以便突出主要矛盾，化繁为简，以利于解决问题．研究平动物体的位置随时间变化的学科称为质点运动学．

本章主要研究质点的机械运动而不追究运动发生的原因．应用矢量和微积分的概念，着重分析描述运动的三个物理量——位矢、速度和加速度的意义以及它们的相互关系．

1.1　质点　参考系　坐标系　时空

1.1.1　质点　质点系

1. 质点

任何物体都有一定的大小和形状，即使是很小的分子、原子以及其他微观粒子也不例外．一般来说，物体的大小和形状的变化对物体的运动会产生一定程度的影响．但是，如果在我们所研究的问题中，物体的大小和形状不起作用，或者所起的作用并不显著而可以忽略不计时，我们就可以近似地把该物体看做是一个具有质量而没有大小和形状的理想物体，称为**质点**．所以说，质点是一个理想模型．

把物体当作质点是有条件的、相对的，而不是无条件的、绝对的，因而对具体情况要做具体分析．例如研究地球绕太阳公转时，由于地球到太阳的平均距离约为地球半径的10^4倍，故地球上各点相对于太阳的运动可以看做是相同的．这时，就可以忽略地球的大小和形状，把地球当作一个质点．但是在研究地球的自转时，如果仍然把地球看做一个质点，

就无法解决实际问题.

2. 质点系

当物体不能被看做质点时，可把整个物体看成是由许多质点所组成的“质点系”，我们将包含两个或两个以上的质点的力学系统称为**质点系**. 质点系内各质点不仅可受到外界物体对质点系的作用力——外力的作用，而且还受到质点系内各质点之间的相互作用力——内力的作用. 外力或内力的区分取决于质点系的选取. 如以太阳系为质点系，则太阳和各行星之间的万有引力是内力；而太阳系内的行星和不属太阳系的天体之间的引力就是外力. 对于由地球和月球组成的地—月系统来说，太阳对地球、月球的引力是外力；地球和月球之间的引力则是内力. 受外力作用和在运动状态变化时都不变形的物体(连续质点系)称为刚体. 刚体、弹性体、流体都可看做质点系. 弄清质点系内各质点的运动，就可以弄清楚整个物体的运动. 所以，研究质点的运动是研究物体运动的基础.

1.1.2 参考系 坐标系

1. 参考系

自然界中的一切物质都在不停地运动，运动是物质的固有属性，是存在于人们的意识之外的，这就是运动本身的绝对性. 运动虽然具有绝对性，但对一个物体运动的描述却具有相对性. 同一个物体相对于不同的观察者来说，具有不同的运动状况. 例如，当一列火车通过某站台时，伫立在站台上的人看来，火车在前行；而静坐在车厢里的乘客看来，火车相对于他并没有运动，而站台却在向后离去. 因此在描述一个物体的位置及位置的变化时，总要选取其他物体作为参考，然后考察所论物体相对于该参考物体是如何运动的，选取的参考物不同，对物体运动情况的描述也就不同. 这就是运动描述的相对性.

为描述物体的运动而选作参考标准的物体或物体系叫做**参照物**. 与参照物固连的三维空间称为参考空间. 另外，位置变动总是伴随着时间的变动，所谓考察物体的运动，也就是考察物体的位置变动与时间的关系. 因而，考察运动时还必须有计时的装置，即钟. 参考空间和与之固连的钟的组合称为**参考系**. 但习惯上，常把参照物称为参考系，不必特别指出与之相连的参考空间和钟. 同一物体的运动情况相对于不同的参考系是不同的. 例如，在地面附近自由下落的物体，以地球为参考系，它作直线运动；以匀速行驶的火车为参考系，它作曲线运动. 一般来说，研究某一物体的运动，选取什么物体或物体群作参考系，在运动学中是任意的(在动力学中则不然)，可视问题的性质和方便而定. 参考系选定后，为了定量表示物体相对参考系的位置，还必须在参考系上建立适当的坐标系. 下面我们来介绍坐标系.

2. 坐标系

为从数量上定量确定物体相对于参考系的位置，须在参考系上固连某种坐标系，这样，物体在某时刻的位置即可用一组坐标表示. 可见坐标系不仅在性质上具有参考系的作用，而且还具有数学抽象作用. 最常用的坐标系有直角坐标系、极坐标系和自然坐标系.

1) 直角坐标系

在参考物 K 上任选一点 O 为坐标原点，并选定 x，y，z 三个轴，则质点的位置就由 x，y，z 三个坐标所确定(见图 1.1.1(a)). 沿 x 轴、y 轴和 z 轴的单位矢量分别为 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{k}$.

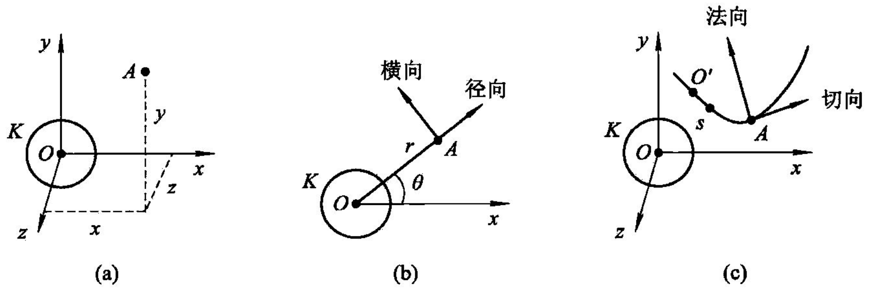

图 1.1.1 坐标系

(a) 直角坐标系；(b) 极坐标系；(c) 自然坐标系

2) 极坐标系

直角坐标系是最常用的坐标系. 但对有些运动，如质点在有心力作用下的运动等，用直角坐标系就不那么方便，而用平面极坐标系(简称极坐标)会有许多优点. 所谓**极坐标**就是在平面上任取一点 O 作为极点，从极点 O 出发的一条射线称为极轴，方向始于极点. 这就构成了极坐标系. 在极坐标系里，用 r，θ 两个坐标来表示质点的位置. r 是质点到极点的距离，称为极径，而 θ 则是质点与极点连线同极轴的夹角，称为极角. 在极坐标系里，沿径向和横向的单位矢量分别为 $\boldsymbol{e}_r$ 和 $\boldsymbol{e}_\theta$，它们分别表示 r 增加的方向和 θ 增加的方向，且 $\boldsymbol{e}_r$ 和 $\boldsymbol{e}_\theta$ 两者相互垂直，但要注意 $\boldsymbol{e}_r$ 和 $\boldsymbol{e}_\theta$ 并不是常矢量，它们因质点所在位置不同而不同(见图 1.1.1(b)).

3) 自然坐标系

另一种常用坐标系称为自然坐标系，常用于物体运动轨迹已知的情况. 沿质点轨迹建立一弯曲的“坐标轴”，选择轨迹上任意一点 O' 为“原点”，并用由原点 O' 至质点所在位置的弧长 s 作为质点的位置坐标，坐标增加的方向是人为规定的，弧长 s 叫做自然坐标. 在该处以切向单位矢量 $\boldsymbol{e}_t$ 和法向单位矢量 $\boldsymbol{e}_n$ 建立的二维坐标系称为自然坐标系. 如火车 A 沿轨道 C 行驶，在轨道上取一定点 O'(如某车站)作为计时起点，于是 A 在轨道上的位置就可由 $O'A$ 之间的轨道曲线长度 s 来确定，s 称为自然坐标(见图 1.1.1(c)).

除了以上介绍的几种坐标系外，常用的坐标系还有球坐标系、柱坐标系等等. 物体的运动状态完全由参考系决定，与坐标系的选取无关. 坐标系不同，只是描述运动的变量不同而已，对应的物体的运动状态并无不同.

1.1.3 时空

物质的运动发生在空间和时间之中，要在参考系中定量地描述物质的运动就需要测量空间的间隔和时间的间隔. 因此研究物质的运动，必然要涉及空间和时间两个概念. 空间和时间也是物理学研究的对象. 人们对时间和空间的认识是从对周围物质世界和物质运动的知觉开始的，空间反映了物质的广延性，是与物体的体积和物体位置的变化联系在一起的. 时间所反映的是物理事件发生的顺延性和持续性. 牛顿认为，空间和时间是独立于物质和物质运动的客观存在. 随着科学的进步，人们经历了从牛顿的绝对时空观到爱因斯坦的相对论时空观的转变，从时空的有限与无限的哲学思辨到可以用科学的手段来探索时空的阶段.

目前人们使用的时间单位是1967年10月第十三届国际计量大会上关于秒的定义："**1秒(s)是铯-133原子基态的两个超精细能级在零磁场中跃迁所对应的辐射的9 192 631 770个周期的持续时间**"．这样的时间标准称为**原子时**．这一计时标准使时间计量的精度达到$10^{-12}\sim10^{-13}$．这种时间计量的误差主要来自铯原子的热运动．目前正在发展一种利用激光铯原子冷却的方法将使时间计量的精度进一步提高．物理学中涉及的最长时间是10^{38} s，它是质子寿命的下限．宇宙的年龄约为150亿年．牛顿力学所涉及的时间尺度大约是10^{-3} s～10^{15} s，即从声振动的周期到太阳绕银河系中心转动的周期．在粒子物理中的时间尺度都很小，有一种"长寿"的基本粒子称为μ子，它的寿命也只有10^{-6} s．最短寿命的是一些共振粒子，如Z^0，$W^{\pm}$，它们的寿命只有约10^{-24} s．目前物理学中涉及的最小时间是5.4×10^{-44} s，称为普朗克时间，也就是说，如果比它更小，时间的概念可能就不再适用了．

目前，长度单位是1983年10月第17届国际计量大会上关于米的定义："1米(m)是光在真空中(1/299 792 458 s)时间间隔内所经路径的长度"．米的新定义的特点是把真空中的光速作为一个物理常量规定下来，并令它等于299 792 458 m/s，从而将长度标准和时间标准统一了起来，并使长度计量的精度提高到与时间计量相同的精度．人们可量度的空间范围可从宇宙范围的尺度10^{27} m到微观粒子的尺度10^{-28} m，从宇宙的年龄10^{18} s到微观粒子的最短寿命10^{-24} s．根据已知的物理理论，极端的空间和时间间隔为普朗克长度(约10^{-35} m)和普朗克时间(约10^{-43} s)．也就是说，小于普朗克时空间隔时，空间和时间的概念就不再适用了．

运动学的任务就是确定运动质点的空间位置与时间的关系．

1.2 描述质点运动的物理量

我们可以设想一幅场景：一个不明飞行物突然进入了雷达监控区域．为了全面掌握它的运动状况，我们必须获知它在每一时刻的空间位置、运动快慢和方向，以及运动快慢的变化程度．以下我们引入描述质点运动的物理量．

1.2.1 位置矢量与运动方程

1. 位置矢量

上面已经指出，描述物体的运动必须选定参考系．在参考系选定以后，为定量地描述质点的位置和位置随时间的变化，须在参考系上选择一个坐标系．坐标系有前面所述的直角坐标系、极坐标系和自然坐标系等．

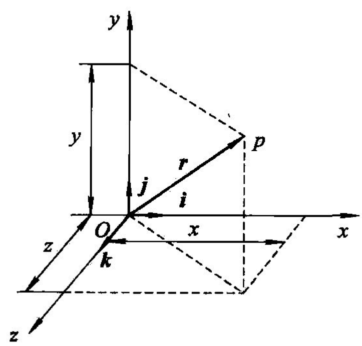

图1.2.1 位置矢量

在如图1.2.1所示的空间直角坐标系中，质点P的位置，既可用一组坐标(x, y, z)表示，以确定该点距原点O的远近和方位；也可用一个矢量$\boldsymbol{r}$表示，它表示了P点相对于原点O的远近和方位．矢量$\boldsymbol{r}$为由坐标原点O到质点所在位置P所引的有向线段，叫做P点的**位置矢量**(简称**位矢**或**径矢**)．

从图 1.2.1 中可以看出，位矢 $\boldsymbol{r}$ 在 Ox 轴、Oy 轴和 Oz 轴上的投影(即质点的坐标)分别为 x，y 和 z. 所以，质点 P 在 $Oxyz$ 的直角坐标系中的位置，既可用位矢 $\boldsymbol{r}$ 来表示，也可用坐标 x，y 和 z 来表示. 如取 $\boldsymbol{i}$，$\boldsymbol{j}$ 和 $\boldsymbol{k}$ 分别为沿 Ox 轴、Oy 轴和 Oz 轴的单位矢量，那么位矢 $\boldsymbol{r}$ 亦可写成

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k} \tag{1.2.1}$$

其大小为

$$r = |\boldsymbol{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \tag{1.2.2}$$

位矢 $\boldsymbol{r}$ 的方向余弦由下式确定：

$$\cos\alpha = \frac{x}{r}, \quad \cos\beta = \frac{y}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z}{r} \tag{1.2.3}$$

式中 α、β、γ 分别是 $\boldsymbol{r}$ 与 Ox 轴、Oy 轴和 Oz 轴之间的夹角.

2. 运动方程

质点在运动时，其位矢 $\boldsymbol{r}$ 的大小和方向均随时间发生变化，对于任一时刻 t，都有一个完全确定的 $\boldsymbol{r}$ 与之对应，也就是说，$\boldsymbol{r}$ 是时间 t 的单值连续函数，即

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) \tag{1.2.4}$$

此式就是质点运动方程的一般形式.

在直角坐标系中，其矢量式可表示为

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k} \tag{1.2.5}$$

其坐标分量式可表示为

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t) \tag{1.2.6}$$

运动质点在空间所经过的路径叫做轨道. 描述轨道的方程叫轨道方程. 轨道方程描述的是质点位置之间的函数关系. 将式(1.2.6)消去时间参数 t，就可以得到运动质点的轨道方程

$$f(x, y, z) = 0 \tag{1.2.7}$$

运动方程也可以用其他坐标表示. 如选用极坐标时，则有

$$r = r(t), \quad \theta = \theta(t) \tag{1.2.8}$$

选用自然坐标系时，则有

$$s = s(t) \tag{1.2.9}$$

应当指出，运动学的重要任务之一就是找出各种具体运动所遵循的运动方程.

1.2.2 位移与路程

1. 位移

要了解质点的运动，不仅要知道它的位置，还要知道它的位置变化情况. 设质点沿图 1.2.2 所示的曲线运动，在时刻 t，质点在 A 点处，在时刻 $t+\Delta t$，质点到达 B 点处. A、B 两点的位置分别用位矢 $\boldsymbol{r}_A$ 和 $\boldsymbol{r}_B$ 来表示. 在时间 Δt 内，质点的位置变化可用从 A 点指向 B 点的矢量 $\Delta\boldsymbol{r}$ 来表示，$\Delta\boldsymbol{r}$ 称为质点由位置 A 到位置 B 的位移矢量，简称**位移**. 位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 除了表明 B 点与 A 点之间的距离外，还表明了 B 点相对于 A 点的方位.

从图 1.2.2 可以看出

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_B - \boldsymbol{r}_A \tag{1.2.10}$$