普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理简明教程（上册）

主编　王安蓉　贺叶露　何成林　刘利利
主审　陈立万　聂祥飞　赖于树

華中科技大学出版社
http://www.hustp.com

普通高等教育“十三五”规划教材
普通高等院校物理精品教材

大学物理简明教程(上册)

主　编　王安蓉　贺叶露　何成林
　　　　刘利利
副主编　孙　跃　刘定兴　邹　星
　　　　许　刚　魏　勇　舒纯军
主　审　陈立万　聂祥飞　赖于树

华中科技大学出版社
中国·武汉

内容简介

本书以物理学的基本概念、定律和方法为核心，在保证物理学知识体系完整的同时，重点突出以物理学的思想和方法来分析问题、解决问题的综合能力的培养和训练，同时结合地方普通高等院校的特点，增补了一些物理学在相关交叉学科的发展和应用实例，理论联系实践，既激发学生的学习兴趣，又丰富知识面，可不断提高学生的综合素质。

全书共分为8章，分别介绍了质点运动学、质点动力学、刚体的转动、机械振动、机械波、光的干涉、光的衍射、光的偏振等内容。每章配有习题，全书最后给出了部分参考答案。

本书为适应不同地区理工类各本科专业、高职、成人教育"大学物理"课程教学和自学而编写，可作为本科生、高职类学生及成人教育类学生的"大学物理"课程教学的教材和自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理简明教程．上册/王安蓉等主编．—武汉：华中科技大学出版社，2017.9
ISBN 978-7-5680-3273-5

Ⅰ.①大… Ⅱ.①王… Ⅲ.①物理学-高等学校-教材 Ⅳ.①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第188379号

大学物理简明教程(上册)
Daxue Wuli Jianming Jiaocheng (Shangce)

王安蓉 贺叶露 何成林 刘利利 主编

策划编辑：范 莹
责任编辑：熊 慧
封面设计：潘 群
责任校对：张会军
责任监印：周治超
出版发行：华中科技大学出版社(中国·武汉) 电话：(027)81321913
武汉市东湖新技术开发区华工科技园 邮编：430223
录 排：武汉市洪山区佳年华文印部
印 刷：武汉华工鑫宏印务有限公司
开 本：710mm×1000mm 1/16
印 张：12.25
字 数：248千字
版 次：2017年9月第1版第1次印刷
定 价：29.80元

华中出版

本书若有印装质量问题，请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线：400-6679-118 竭诚为您服务

前　言

进入21世纪，我国的高等教育已从精英教育逐步走向大众教育。为适应新形势下科学技术的发展对人才培养的新要求，高等教育越来越强化基础教育课程，注重学生综合素质的培养。另外，随着科学技术的发展，学科之间的交叉与融合尤为突出，物理学正进一步向电子、机械、土木、生物、化学、材料科学、医学等学科领域渗透与发展。因此，具有良好的物理基础是学好其他自然科学与工程技术科学的基本保障。物理学所阐述的基本原理、基本知识、基本思想、基本规律和基本方法，不仅是学生学习后续专业课的基础，也是全面提高学生科学素质、科学思维和科学研究能力的重要内容。"大学物理"课程是理工类各专业的必修公共基础课，在培养学生辩证唯物主义世界观、科学时空观等方面起着重要的作用。

本书在保持"大学物理"课程体系的完整性、科学性、系统性和逻辑性等特点的前提下，适当调整了部分内容的顺序和结构，对内容难度大的部分进行删改，在注重陈述物理学的基本知识、概念、规律的同时，适当减少综合性、运算繁复的例题，选用一些切合实际的应用题，增加了一些物理学与其他学科的交叉发展和应用实例。

《大学物理简明教程》分为上、下两册。上册包括力学和波动光学；下册包括热学、电场和磁场、近代物理。其中力学由贺叶露老师编写，波动光学由何成林老师编写，习题由孙跃、刘利利编写，刘定兴、邹星、许刚、魏勇、舒纯军参与了编写讨论与修改，最后由王安蓉老师负责全书的修改和定稿工作。陈立万、聂祥飞和赖于树教授仔细审阅了此书，华中科技大学出版社有关工作人员在本书的编辑出版过程中付出了大量的辛勤劳动，在此一并表示感谢。

不同院校不同专业的物理教学计划学时数可能存在差异，在使用本书时可根据其具体情况对内容进行重组或取舍，书中带"*"号的内容可根据实际教学课时量处理，选择讲授或让学生自己阅读。

由于编者学识和教学经验有限，书中难免存在不当和疏漏之处，恳请各位读者批评指正。

编　者

2017年8月

目　　录

第1篇　力　　学

第2篇 波动光学

第1篇

力

学

力学是物理学中最古老和发展最完美的学科之一。它起源于公元前4世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法，以及我国《墨经》中关于杠杆原理的论述等。但其成为一门科学理论则始于17世纪伽利略论述惯性运动，继而牛顿提出了力学三大运动定律。

本篇主要讲述质点运动学、质点动力学、刚体的转动，以及机械振动和机械波。

第1章 质点运动学

1.1 质点、参考系和坐标系

机械运动是人们熟悉的一种运动。一个物体相对于另一个物体的位置，或者一个物体的某些部分相对于其他部分的位置，随着时间变化而变化的过程，称为机械运动。为了研究物体的机械运动，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，突出主要矛盾，化繁为简，以利于解决问题。

1.1.1 质点

任何物体都有一定的大小、形状、质量和内部结构，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，物体运动时，其内部各点的位置变化通常是各不相同的，而且物体的大小和形状也可能发生变化，但是，如果在所研究的问题中，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，就可以近似地把该物体看作是一个具有质量而大小和形状可以忽略的理想物体，该理想物体称为质点。例如，研究地球绕太阳公转时，由于地球的平均半径(约为 6.4×10^3 km)比地球与太阳间的距离(约为 1.50×10^8 km)小得多，因此地球上各点相对于太阳的运动就可看作是相同的。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，如果仍然把地球看作一个质点，则将无法解决实际问题。由此可知，一个物体是否可以抽象为一个质点，应根据问题的不同情况而定。根据具体问题，提出相应的物理模型，这种方法是很有实际意义的。从理论上说，研究质点的运动规律，也是研究物体运动的基础。因为可以把整个物体看作由无数个质点所组成，从这些质点运动的分析入手，就有可能了解整个物体的运动规律。除了有质点模型以外，在后续章节中还会遇到刚体、弹簧谐振子、理想弹性介质、理想气体、点电荷等物理模型。

1.1.2 参考系和坐标系

自然界中的一切物质都处于永恒运动之中，绝对静止的物体是不存在的，大到星系，小到原子、电子，无一不在运动。无论从机械运动来说，还是从其他运动来说，运动和物质都是不可分割的，物质的运动存在于人们的意识之外，这便是运动

本身的绝对性。例如,地球在自转的同时绕太阳公转,太阳相对于银河系中心以大约 250 km/s 的速率运动,而我们所处的银河系又相对于其他星系以大约 600 km/s 的速率运动着。

在这些错综复杂的运动中,物体与物体之间有着不同的运动关系。要描述一个物体的机械运动,可根据不同的运动关系,选择另一物体或者几个彼此之间相对静止的物体作为参考,研究这个物体相对于这些物体是如何运动的。被选作参考的物体称为参考系。例如,要研究物体在地面上的运动,可选择路面或者地面上静止的物体作为参考系,要研究宇宙飞船的运动,则常选太阳作为参考系。

同一物体的运动,所选取的参考系不同,对其运动的描述就会不同。例如,在作匀速直线运动的车厢中,有一个自由下落的物体,若以车厢为参考系,则物体作直线运动,若以地面为参考系,则物体作抛物线运动。在不同参考系中,对同一物体具有不同描述的事实,称为运动描述的相对性。

通过上面的讨论,我们知道,要明确地描述一个物体的运动,只有在选取某一确定的参考系后才有可能,而且由此作出的描述总是具有相对性的。为了从数量上确定物体相对于参考系的位置,需要在参考系上选用一个固定的坐标系,一般在参考系上选定一点作为坐标系的原点,取通过原点并标有长度的线作为坐标轴。常用的坐标系是直角坐标系,它的三条坐标轴(x 轴、y 轴和 z 轴)互相垂直。根据需要,也可以选用其他的坐标系,例如,极坐标系、球坐标系或柱坐标系等。

1.2 位置矢量、位移、速度、加速度

1.2.1 位置矢量

在坐标系中,质点的位置常用位置矢量(简称位矢)表示,位矢是从坐标原点指向质点位置的有向线段,用矢量 $\boldsymbol{r}$ 表示。质点位置所在坐标(x,y,z)即为 $\boldsymbol{r}$ 在坐标轴上的三个分量,如图 1.1 所示。

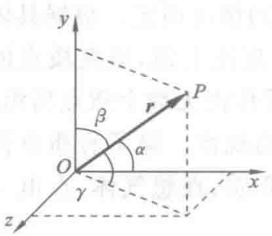


图 1.1 直角坐标系下的位矢

在直角坐标系中,位矢 $\boldsymbol{r}$ 可以表示成

$$\boldsymbol{r}=x\boldsymbol{i}+y\boldsymbol{j}+z\boldsymbol{k} \tag{1.1}$$

式中:$\boldsymbol{i},\boldsymbol{j},\boldsymbol{k}$ 分别表示沿 x,y,z 三轴正方向的单位矢量。

位矢 $\boldsymbol{r}$ 的大小为

$$|\boldsymbol{r}|=r=\sqrt{x^2+y^2+z^2} \tag{1.2}$$

位矢的方向余弦是

$$\cos\alpha=\frac{x}{r},\quad \cos\beta=\frac{y}{r},\quad \cos\gamma=\frac{z}{r} \tag{1.3}$$

若质点的位置随时间发生变化，即质点的坐标(x,y,z)和位矢$\boldsymbol{r}$都是时间t的函数，则这个函数可表示为

$$x=x(t),\quad y=y(t),\quad z=z(t) \tag{1.4a}$$

或

$$\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}(t)=x(t)\boldsymbol{i}+y(t)\boldsymbol{j}+z(t)\boldsymbol{k} \tag{1.4b}$$

它们称为质点的运动学方程。知道了运动学方程，就能确定任意时刻质点的位置，从而确定质点的运动。

已知运动学方程，消去时间t，即可求出质点轨迹方程，即质点在空间的运动路径。若轨迹为直线，则称该运动为直线运动；若轨迹为曲线，则称该运动为曲线运动。轨迹方程和运动方程最明显的区别就在于，轨迹方程不是时间t的显函数。

1.2.2 位移

设曲线AB是质点运动轨迹的一部分，在t时刻，质点在A处，在$t+\Delta t$时刻，质点运动到B处，A、B两点的位置分别用位矢$\boldsymbol{r}_1$、$\boldsymbol{r}_2$表示，在时间Δt内，质点的位置变化，即位矢增量，如图1.2所示。

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1 \tag{1.5}$$

称为质点的位移矢量，简称位移，在图上用由起始位置A指向终止位置B的有向线段$\overrightarrow{AB}$来表示。位移除了表明B点与A点两个质点的距离外，还表明B点相对于A点的方位。位移是矢量，它的运算遵守矢量加法的平行四边形法则（或三角形法则）。

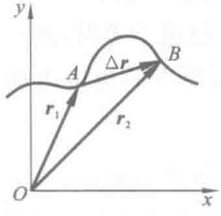
在直角坐标系中，位移的表达式为

$$\Delta\boldsymbol{r}=(x_B-x_A)\boldsymbol{i}+(y_B-y_A)\boldsymbol{j}+(z_B-z_A)\boldsymbol{k}=\Delta x\boldsymbol{i}+\Delta y\boldsymbol{j}+\Delta z\boldsymbol{k} \tag{1.6}$$

位移的大小为

$$|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{(x_B-x_A)^2+(y_B-y_A)^2+(z_B-z_A)^2} \tag{1.7}$$

必须注意，$|\Delta\boldsymbol{r}|\neq\Delta r$。$\Delta r$表示位矢大小的增量，即$\Delta r=|\boldsymbol{r}_2|-|\boldsymbol{r}_1|$，在通常情况下，两者不相等，如图1.3所示。



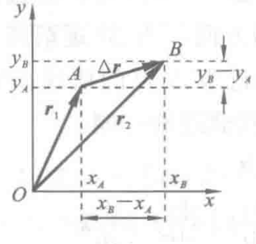


图1.2　位移图

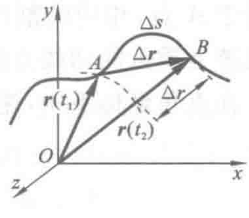


图1.3　位移的大小

另外需要注意的是，位移表示物体位置的改变，并非质点所经历的路程，如图1.3所示，位移是有向线段$\overrightarrow{AB}$，是一个矢量，它的量值$|\Delta\boldsymbol{r}|$为$\overrightarrow{AB}$的长度。路程是标量，

是曲线 AB 的长度,用 Δs 表示。A、B 两点间的路程不是唯一的,但位移却是唯一的。一般来说,$\Delta s\neq|\Delta\boldsymbol{r}|$,只有在 Δt 趋近于零时,才有 $|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}s$。应当指出,即使在 Δt 趋近于零时,$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}|=\mathrm{d}r$ 这个等式也不成立。

位移和路程的单位均是长度的单位,国际单位制(SI 制)中为 m。

1.2.3 速度

当质点在时间 Δt 内完成了位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 时,为了表示在这段时间内质点运动的快慢程度,将质点的位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 与相应的时间 Δt 的比值,称为质点在 Δt 内的平均速度。

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}\tag{1.8}$$

这就是说,平均速度的方向与位移的方向相同,平均速度的大小与在相应的时间 Δt 内每单位时间的位移大小相同。

在直角坐标系中,平均速度的表达式为

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\Delta x}{\Delta t}\boldsymbol{i}+\frac{\Delta y}{\Delta t}\boldsymbol{j}+\frac{\Delta z}{\Delta t}\boldsymbol{k}\tag{1.9}$$

显然,用平均速度描述物体的运动是比较粗糙的,因为在 Δt 时间内,质点各个时刻的运动情况不一定相同,质点的运动可以时快时慢,方向也可以不断地改变,平均速度不能反映质点运动的真实细节,是一种粗略描述。如果要精确地知道质点在某一时刻或某一位置的实际运动情况,应使 Δt 尽量减小,即 $\Delta t\to 0$,用平均速度的极限值——瞬时速度(简称速度)来描述。

质点在某时刻或者某位置的瞬时速度,等于该时刻附近 $\Delta t\to 0$ 时平均速度的极限值,数学表达式为

$$\boldsymbol{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\tag{1.10}$$

可见,速度等于位矢对时间的一阶导数。

速度是矢量,速度的方向就是当 $\Delta t\to 0$ 时,位移的极限方向。从图 1.3 可以看出,位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 的方向是沿着割线 AB 的方向。当 Δt 逐渐减小而趋近于零时,B 点逐渐趋近于 A 点,相应的割线 AB 逐渐趋近于 A 点的切线。所以,质点的速度方向是沿着轨迹上质点的切线方向,并指向质点前进的一侧。

在直角坐标系中,速度的表达式为

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}\tag{1.11}$$

$$\boldsymbol{v}=v_x\boldsymbol{i}+v_y\boldsymbol{j}+v_z\boldsymbol{k}\tag{1.12}$$

$$v_x=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t},\quad v_y=\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t},\quad v_z=\frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\tag{1.13}$$

而速度的大小为

$$v = |\boldsymbol{v}| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} \tag{1.14}$$

在描述质点运动时，也常采用“速率”这个物理量。例如，质点在 Δt 时间内行经的路程为 Δs，路程 Δs 与时间 Δt 的比值称为平均速率，数学表达式为

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \tag{1.15}$$

显然，平均速率是标量，等于质点在单位时间内所行经的路程，不考虑质点运动的方向。因此，不能把平均速率与平均速度等同起来。例如，在某一段时间内，质点环行了一个闭合路径，显然质点的位移等于零，所以平均速度也等于零，而平均速率却不等于零。

但在 $\Delta t \to 0$ 的极限条件下，位移 $\Delta \boldsymbol{r}$ 的量值 $|\Delta \boldsymbol{r}|$ 与路程 Δs 相等，即 $\Delta t \to 0$ 时，$|\mathrm{d}\boldsymbol{r}| = \mathrm{d}s$，所以瞬时速率

$$v = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}|\boldsymbol{r}|}{\mathrm{d}t} = |\boldsymbol{v}| \tag{1.16}$$

瞬时速度的大小即为瞬时速率。

速度和速率在量值上都是长度与时间的比值，国际单位制(SI)中为 m/s。

1.2.4　加速度

质点在轨迹上不同的位置，通常有着不同的速度。如图 1.4 所示，一个质点在时刻 t 位于 A 点时的速度为 $\boldsymbol{v}_A$，在时刻 $t+\Delta t$ 位于 B 点时的速度为 $\boldsymbol{v}_B$。在时间 Δt 内，质点速度的增量为

$$\Delta \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_B - \boldsymbol{v}_A \tag{1.17}$$

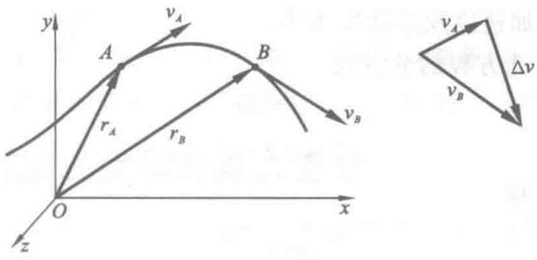


图 1.4　速度的增量

这里要注意，在直线运动中 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的方向和 $\boldsymbol{v}_A$ 的方向或者相同，或者相反，所以 $\Delta \boldsymbol{v}$ 实际上只反映质点速度在量值上有所变化；而在曲线运动中，$\Delta \boldsymbol{v}$ 的方向和 $\boldsymbol{v}_A$ 的方向并不一致，$\Delta \boldsymbol{v}$ 所描述的速度变化，包括速度方向的变化和速度量值的变化。

与平均速度的定义相类似，质点的平均加速度定义为

$$\bar{\boldsymbol{a}} = \frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t} \tag{1.18}$$

平均加速度只是描述在时间 Δt 内速度的平均变化率，为了精确地描述质点在任一时刻 t(或任一位置处)的速度的变化率，必须在平均加速度概念的基础上引入瞬时加速度的概念，瞬时加速度(简称加速度)定义为

$$\boldsymbol{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \boldsymbol{v}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t^2} \tag{1.19}$$

可见，加速度等于速度对时间的一阶导数，或等于位矢对时间的二阶导数。

加速度是矢量，加速度的方向就是当 $\Delta t\to 0$ 时，速度增量 $\Delta \boldsymbol{v}$ 的极限方向。应该注意：$\Delta \boldsymbol{v}$ 的方向和它的极限方向不一致。

在直角坐标系中，加速度的三个分量 a_x、a_y、a_z 分别是

$$a_x=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2},\quad a_y=\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2y}{\mathrm{d}t^2},\quad a_z=\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}^2z}{\mathrm{d}t^2} \tag{1.20}$$

$\boldsymbol{a}$ 的表达式为

$$\boldsymbol{a}=a_x\boldsymbol{i}+a_y\boldsymbol{i}+a_z\boldsymbol{k} \tag{1.21}$$

加速度的量值为

$$a=\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2} \tag{1.22}$$

例 1.1　已知质点的运动方程 $\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(2-t^2)\boldsymbol{j}$(国际单位制)，求：

(1) 质点的轨迹；

(2) $t=0$ s 及 $t=2$ s 时，质点的位置矢量；

(3) $t=0$ s 到 $t=2$ s 时间内的位移；

(4) $t=0$ s 到 $t=2$ s 内的平均速度；

(5) $t=2$ s 末的速度及速度大小；

(6) $t=2$ s 末的加速度及加速度大小。

解　(1) 先写运动方程的分量式

$$x=2t$$
$$y=2-t^2$$

消去 t 得轨迹方程

$$y=2-\frac{x^2}{4}$$

为一条抛物线。

(2) $t=0$ s 及 $t=2$ s 时，质点的位置矢量

$t=0$ s 时，　$\boldsymbol{r}=2\boldsymbol{j}$

$t=2$ s 时，　$\boldsymbol{r}=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}$

(3) $t=0$ s 到 $t=2$ s 时间内的位移

$$\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_{t=2\,\mathrm{s}}-\boldsymbol{r}_{t=0\,\mathrm{s}}=4\boldsymbol{i}-2\boldsymbol{j}-2\boldsymbol{j}=4\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j}$$

大小　$|\Delta\boldsymbol{r}|=\sqrt{4^2+(-4)^2}\ \mathrm{m}=5.66\ \mathrm{m}$