大学物理学习指导

大学物理学习指导

赵龙吟　徐广文

河南教育出版社

本书根据工科大学物理教学基本要求编写，可与目前通用的工科大学物理教材配套使用．全书共六篇二十一章，每章都包括教学基本要求、基本概念和规律、解题方法和要点、解题示例、自我检测题五个部分．本书不仅可以帮助读者正确理解基本概念和基本规律，提高分析问题和解答问题的能力，而且对授课教师也有参考价值．

本书可作工科院校和师范院校、综合大学非物理专业的教学参考书．

大学物理学习指导

赵龙吟　　徐广文

责任编辑　谢　凯

河南教育出版社出版发行

信息工程学院印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 10.5印张　242千字

1990年8月第1版　　1990年8月第1次印刷

印数 1－5000册

ISBN－5347－0909－1/G·756

定价　3.40　元

前言

大学物理是一门概念多、理论性强的基础课．为了帮助初学者更好地掌握教材的基本内容，提高运用基本概念和基本定律解答问题的能力，我们编写了《大学物理学习指导》一书．

本书按目前通用的工科物理教材的篇章顺序编排，每章都包括以下五部分内容．

一、教学基本要求　按照工科物理教学指导委员会制定的《大学物理教学基本要求》，指出了学习该章后必须掌握、理解和了解的内容．读者在听课和阅读教材之前，最好能参阅“教学基本要求”，以便做到心中有数，有的放矢．学完一章之后，读者再根据“教学基本要求”来检查一下，自己是否已掌握了本章的主要内容．

二、基本概念和规律　这是按照各章的体系对教学基本内容的概括和总结，同时对若干难懂的重要的概念和规律又作了较深入的探讨，并指出在理解和掌握它们时必须注意的问题．读者可在认真钻研教材的基础上，参阅相关的部分．特别是在系统复习中，读者应当学会把众多内容和问题进行总结和归纳，然后再阅读“基本概念和规律”的内容，这将有助于读者把所学的知识条理化和系统化．

三、解题方法和要点　这部分内容概括了各章理论所涉及到的主要计算问题，以及解答这些问题时所应遵循的一般方法、主要步骤和注意事项．建议读者在弄懂教材中的例题，或作了一部分习题之后再看“解题方法和要点”，这样才能切实领会

这些方法和要点，然后自觉应用这些方法去解答难度较高的题目.

四、解题示例　每章都有三至五个精选的典型例题，其解答注重解题思路，探讨解题规律，对计算结果多有讨论或引申，并尽可能给出第二种解法. 对于完成作业比较困难的读者，可以适当多看些例题之后再去完成作业. 学习比较主动的读者，最好自己去解答这些例题，然后再同指导书上的题解作比较.

五、自我检测题　检测题包括选择题、填空题和计算题几类题型，题目覆盖面广、深度适中. 建议读者在系统复习之后，用 2—3 小时的时间独立完成自我检测题.

我们希望本指导书对读者学习《大学物理》会有所帮助，并相信读者在学习过程中能摸索出一套适合自己情况的学习方法.

全书共六篇二十一章，第一、二、三、五、六篇由赵龙吟编写，第四篇由徐广文编写，最后由赵龙吟统稿定稿. 在本书编写中，马涛提出了许多宝贵的意见. 在全书定稿过程中，张小平、王建星、马涛、孟静等协助编者作了大量的工作. 赵勇、鲁选民、杨松绘制了本书的全部插图. 在此一并表示深切的谢意.

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，我们诚恳地期望读者批评指正.

编者

目　录

第一篇　力学的物理基础

第一章　质点运动学

一　教学基本要求

1．掌握位置矢量、位移、速度和加速度等描述质点运动和运动变化的物理量．

2．能借助直角坐标系熟练地计算质点在平面内运动的速度和加速度，能熟练地计算质点做圆周运动时的角速度、角加速度、切向加速度和法向加速度．

二　基本概念和规律

在大学物理学中，全部运动学都建立在矢量概念的基础上，用矢量导数来严格定义速度和加速度，并应用矢量代数来研究质点的运动规律．在大学物理学中，开始涉及变加速度问题，既要研究变量，就必须使用微积分．由此可见，这部分内容与中学物理并非简单的重复，在学习中，不但要加深对基本概念的理解，而且要学习应用高等数学知识处理问题的方法．

1．质点、参考系

质点是一个理想模型．引入质点的概念，就抓住了“质量”和“点”这些主要因素，而忽略了“大小”和“形状”等次要因素．显然，有了质点的概念，就使问题大大简化了，建立理

想化模型是自然科学研究的重要方法之一．在以后各章中，还将遇到刚体、理想气体、点电荷、绝对黑体等理想模型，我们都要注意每一模型提出的依据、条件和它所解决的问题．

要描写物体的运动，必须选定参照系．参照系不同，运动的描述也不同．为了定量描述物体的运动，还必须在参照系上选取一个与其固连的坐标系．适当选择参照系和坐标系可以简化运动的描述．

2．位置矢量、位移

位置矢量（径矢）：反映质点某一时刻在空间的位置，它是矢量，又是瞬时量．在直角坐标系中，径矢可以表示为

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k} \qquad (1-1\,a)$$

有时把径矢的大小和方向分开表达，即

$$\left.\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \cos\alpha &= \frac{x}{r},\ \cos\beta = \frac{y}{r},\ \cos\gamma = \frac{z}{r} \end{aligned}\right\} \qquad (1-1\,b)$$

运动方程：质点的位置和时间的函数关系式，即

$$\mathbf{r} = x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} + z(t)\mathbf{k} \qquad (1-2\,a)$$

或

$$x = x(t),\ y = y(t),\ z = z(t) \qquad (1-2\,b)$$

运动方程在运动学中占有重要地位，因为已知运动方程便可以求得轨道方程、速度和加速度等，也就是说已知运动方程则质点的运动就全知道了．

位移：描写质点在 $t - t + \Delta t$时间内位置变动的大小和方向，即由起点$A(t)$指向终点$B(t+\Delta t)$的有向线段，其表达式为

$$\Delta\mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A \qquad (1-3)$$

学习时要注意位移和路程的区别．

3．速度

速度是描写质点位置变动的快慢和方向的物理量，其定义为

$$\mathbf{v}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{r}}{dt} \qquad (1-4)$$

由式（1—2a）和式（1—4）可以求出速度矢量在直角坐标系中的分量式

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

$$=v_x\mathbf{i}+v_y\mathbf{j}+v_z\mathbf{k} \qquad (1-5)$$

根据直线运动中速度的定义，便可看出速度的瞬时性；由曲线运动中速度的定义，进一步说明了速度的矢量性（速度不但有大小，而且有方向）；通过相对运动的研究，还揭示了运动的相对性（同一物体相对于不同的参照系其速度不同）．例如，质点 A 和 B 相对地球（参照系 E）的速度分别为 $\mathbf{V}_{AE}$ 和 $\mathbf{V}_{BE}$，则 A 相对 B 的速度（即以 B 为参照系时 A 的速度）为

$$\mathbf{V}_{AB}=\mathbf{V}_{AE}-\mathbf{V}_{BE} \qquad (1-6\,a)$$

或

$$\mathbf{V}_{AB}=\mathbf{V}_{AE}+\mathbf{V}_{EB} \qquad (1-6\,b)$$

式（1—6 b）表明，A 相对 B 的速度等于 A 相对 E 的速度加上 E 相对 B 的速度．在计算相对速度时，这个关系很重要，常称为速度合成定理．

4．加速度

加速度是描写质点运动速度变化快慢的物理量．其定义为

$$\mathbf{a}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t}=\frac{d\mathbf{v}}{dt} \qquad (1-7)$$

由式（1—5）和式（1—7）可得到加速度的分量式

$$\mathbf{a}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\mathbf{i}+\frac{dv_y}{dt}\mathbf{j}+\frac{dv_z}{dt}\mathbf{k}$$

$$=a_x\mathbf{i}+a_y\mathbf{j}+a_z\mathbf{k} \qquad (1-8)$$

加速度也具有瞬时性、矢量性和相对性，如质点 A 和质点

B对参照系E的加速度分别为$\mathbf{a}_{AE}$、$\mathbf{a}_{BE}$，则A相对B的加速度为

$$\mathbf{a}_{AB}=\mathbf{a}_{AE}-\mathbf{a}_{BE} \tag{1—9 a}$$

或

$$\mathbf{a}_{AB}=\mathbf{a}_{AE}+\mathbf{a}_{EB} \tag{1—9 b}$$

5. 直线运动

质点沿直线运动时，其运动方程为

$$x=x(t)$$

速度和加速度为

$$v=\frac{dx}{dt} \qquad a=\frac{dv}{dt}=\frac{d^2x}{dt^2}$$

在直线运动中，匀变速直线运动比较重要，常用公式如下

$$v=v_0+at \tag{1—10}$$

$$x-x_0=v_0t+\frac{1}{2}at^2 \tag{1—11}$$

$$x-x_0=\frac{1}{2}(v+v_0)t \tag{1—12}$$

$$v^2=v_0^2+2a(x-x_0) \tag{1—13}$$

上面四个方程是匀变速直线运动的完整方程组，但其中只有两个方程是独立的．因此，对某一运动质点，只能建立两个方程，求解两个未知数．在方程组中，式（1—11）和式（1—13）是二次方程，这说明在匀减速运动中，同一位置（x）对应两个时刻（t_1、t_2）和两个速度（v_1、v_2）．所以，它们不但可以描写匀加速运动的全过程，而且可以描写匀减速运动的全过程．

6. 平面曲线运动

（1）抛射体运动（略）

（2）圆周运动

在研究圆周运动时，常应用自然坐标，这时加速度的二分量为

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R \qquad (1-14)$$

$$a_t = \frac{dv}{dt} = R\beta \qquad (1-15)$$

总加速度

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t \qquad (1-16)$$

研究曲线运动时，要特别注意，一般来说$\Delta v \neq |\Delta \mathbf{v}|$.这是因为$|\Delta \mathbf{v}| = |\mathbf{v}_b - \mathbf{v}_a|$表示矢量差的模，它反映速度增量的大小．而$\Delta v = |\mathbf{v}_b| - |\mathbf{v}_a|$表示矢量模的差,所以$\Delta v$是速率的增量．

三　解题方法和要点

1．已知运动方程求速度、加速度和轨道，这是运动学的第一类问题，求解这类问题应用微分法．如题目已给出运动方程，这时可直接应用式（1—5）和式（1—8），由微分法求出速度和加速度(例 1)．如题目只规定了质点的运动状态，则应当先建立运动方程，然后再求速度和加速度（参见自我检测题第10题）．

2．已知加速度和初始条件求速度、运动方程和轨道，这是运动学的第二类问题，求解这类问题应用积分法．通过一次积分求出速度，再积分一次便得到运动方程（例 2）．

3．相对速度的计算

（1）几何法：首先搞清楚题目所涉及的各个速度是哪个物体相对于哪个参照系（或哪个物体）的速度，然后依据速度合成定理认真画出矢量图，最后由矢量图判断和计算待求速度的大小和方向．采用几何法，一般无须建立坐标系．

（2）分析法：和几何法一样，首先弄清题中所言速度是谁对谁的速度，然后建立适当的坐标系，由已知速度矢量画出

草图，利用草图计算各投影量．最后依据速度合成定理求合成速度（例 3）．

四　解题示例

例 1　已知质点的运动方程为 $x=2b\cos\omega t$，$y=b\sin\omega t$，其中 b 和 ω 是常数．

（1）写出质点的 $\mathbf{r}(t)$ 表达式；

（2）求质点运动的轨道、速度和加速度，并图示之；

（3）求 $\mathbf{v}$ 和（$-\mathbf{r}$）的夹角；

（4）在一个周期内，哪些时刻速度与加速度互相垂直？

解　（1）质点的 $\mathbf{r}(t)$ 表达式为

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

$$=2b\cos\omega t\,\mathbf{i}+b\sin\omega t\,\mathbf{j}$$

（2）由质点的运动方程消去时间 t，得轨道方程

$$\frac{x^2}{4b^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$$

可见，质点的轨道为一椭圆，其长半轴为 $2b$，短半轴为 b．

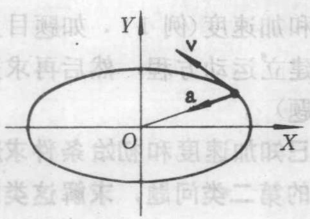


图 1—1

由速度和加速度的定义，易知

$$\mathbf{v}=\frac{d\mathbf{r}}{dt}=\frac{dx(t)}{dt}\mathbf{i}+\frac{dy(t)}{dt}\mathbf{j}$$

$$=-2b\omega\sin\omega t\,\mathbf{i}+b\omega\cos\omega t\,\mathbf{j}$$

$$\mathbf{a}=\frac{d\mathbf{v}}{dt}=\frac{dv_x}{dt}\mathbf{i}+\frac{dv_y}{dt}\mathbf{j}$$

$$=-2b\omega^2\cos\omega t\mathbf{i}-b\omega^2\sin\omega t\mathbf{j}$$

$$=-\omega^2(2b\cos\omega t\mathbf{i}+b\sin\omega t\mathbf{j})=-\omega^2\mathbf{r}$$

据轨道方程，可画出质点的运动轨道，如图 1—1 所示．速度 $\mathbf{v}$ 的方向沿轨道切线，由上面的计算结果知，加速度 $\mathbf{a}$ 平行于径矢 $\mathbf{r}$，指向椭圆的中心 O 点．

（3）据矢量数量积的公式，有

$$\mathbf{v}\cdot(-\mathbf{r})=vr\cos\alpha$$

式中 α 即为 $\mathbf{v}$ 与 $(-\mathbf{r})$ 的夹角，由上式得

$$\cos\alpha=\frac{\mathbf{v}\cdot(-\mathbf{r})}{vr}$$

$$=\frac{(-2b\omega\sin\omega t\mathbf{i}+b\omega\cos\omega t\mathbf{j})(-2b\cos\omega t\mathbf{i}-b\sin\omega t\mathbf{j})}{b\omega\sqrt{1+3\sin^2\omega t}\cdot b\sqrt{1+3\cos^2\omega t}}$$

$$=\frac{3\sin2\omega t}{\sqrt{16+9\sin^2 2\omega t}}$$

$$\alpha=\arccos\frac{3\sin2\omega t}{\sqrt{16+9\sin^2 2\omega t}}$$

（4）由矢量代数知，$\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{a}$ 垂直的条件为

$$\mathbf{v}\cdot\mathbf{a}=0$$

在本题中，因 $\mathbf{a}\,/\!/\,(-\mathbf{r})$，所以上述条件化为

$$\sin2\omega t=0$$

由上式解得 $\quad t=k\dfrac{T}{4}$

令 $k=0$、1、2、3得一个周期内 $\mathbf{v}$ 和 $\mathbf{a}$ 垂直的时刻为 $t=0$、$T/4$、$T/2$、$3T/4$．

例 2 一个正在行驶的汽艇在关闭发动机后，具有一个与速度相反的加速度，其大小与速度平方成正比，即 $a=-kv^2$，式中 k 为常数，证明

（1）在发动机关闭后，汽艇在时刻 t 的速度可表示为

$\frac{1}{v}=\frac{1}{v_0}+kt$；

（2）在时间 t 内，汽艇行驶的距离为 $x=\frac{1}{k}\ln(kv_0t+1)$；

（3）汽艇在行驶距离 x 后的速度为 $v=v_0e^{-kx}$.

证　（1）根据加速度的定义和初始条件，有

$$a=\frac{dv}{dt}=-kv^2$$

即
$$\frac{dv}{v^2}=-kdt$$

两边积分
$$\int_{v_0}^{v}\frac{dv}{v^2}=-k\int_0^t dt$$

得汽艇的速度 v 和时间 t 的关系为

$$\frac{1}{v}=\frac{1}{v_0}+kt \qquad (1)$$

（2）由速度的定义和上面计算的结果，有

$$v=\frac{dx}{dt}=\frac{1}{\frac{1}{v_0}+kt}$$

$$\int_0^x dx=\int_0^t\frac{dt}{\frac{1}{v_0}+kt}.$$

积分后，便得到汽艇行驶距离 x 和时间 t 的关系为

$$x=\frac{1}{k}\ln(1+kv_0t) \qquad (2)$$

（3）由式（1）和式（2）可得

$$v=\frac{1}{\frac{1}{v_0}+kt},\quad kt=\frac{e^{kx}-1}{v_0}$$

将后式代入前式，便得到

$$v=v_0e^{-kx}$$

如果本题只需求证速度 v 和距离 x 的关系，也可按下述方法来证明，因

$$\frac{dv}{dt}=\frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt}=-kv^2$$

即
$$\frac{dv}{v}=-k\,dx$$

两边积分
$$\int_{v_0}^{v}\frac{dv}{v}=-k\int_0^x dx$$

得
$$v=v_0e^{-kx}$$

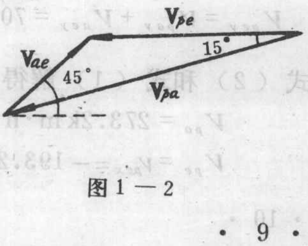
例 3　飞机在某高度的水平面上飞行，机身的方向是向西偏南15°，飞机在飞行时遇上西南风，风速大小为100km·h⁻¹，结果飞机向正西方向运动，求飞机相对于地面及相对于风的速度．

解一　由几何法求解

由题意知：$\mathbf{V}_{机风}$(即 $\mathbf{V}_{pa}$) 与东西方向夹角15°

$\mathbf{V}_{风地}$(即 $\mathbf{V}_{ae}$) 由西南指向东北，大小为100km·h⁻¹

$\mathbf{V}_{机地}$(即 $\mathbf{V}_{pe}$) 指向正西



按速度合成定理

$$\mathbf{V}_{pe}=\mathbf{V}_{pa}+\mathbf{V}_{ae}$$

图 1 — 2

据此作速度矢量图（图 1—2），由正弦定理得

$$\frac{V_{pe}}{\sin30^\circ}=\frac{V_{ae}}{\sin15^\circ}$$

故 $\quad V_{pe}=\dfrac{\sin30^\circ}{\sin15^\circ}V_{ae}=193.2\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

同理 $\quad V_{pa}=\dfrac{\sin135^\circ}{\sin15^\circ}V_{ae}=273.2\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$

解二 由分析法求解

选坐标系如图 1—3，X 轴沿正东方向，Y 轴沿正北方向，按题设作草图，求各速度的投影量

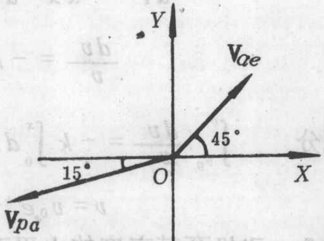


图 1—3

$$V_{aex}=100\cos45^\circ=70.71\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$V_{aey}=100\sin45^\circ=70.71\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$V_{pax}=V_{pa}\cos(180^\circ+15^\circ)=-V_{pa}\cos15^\circ$$

$$V_{pay}=V_{pa}\sin(180^\circ+15^\circ)=-V_{pa}\sin15^\circ$$

按速度合成定理

$$V_{pex}=V_{pax}+V_{aex}=70.71-V_{pa}\cos15^\circ \qquad (1)$$

$$V_{pey}=V_{pay}+V_{aey}=70.71-V_{pa}\sin15^\circ=0 \qquad (2)$$

由式（2）和式（1）解得

$$V_{pa}=273.2\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$$

$$V_{pe}=V_{pex}=-193.2\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$$