

大学物理学习指导

限期还书卡

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	1
第一章 质点运动学	1
第二章 牛顿运动定律	14
第三章 动量	27
第四章 功和能	38
第五章 刚体的转动	55
第二篇 振动与波	71
第一章 振动学基础	71
第二章 波动学基础	87
第三篇 分子物理学和热力学	107
第一章 气体分子运动论	107
第二章 热力学的物理基础	122
第四篇 电磁学	141
第一章 静电场	141
第二章 静电场中的导体和电介质	159
第三章 电流的磁场	173
第四章 磁场对电流的作用	191
第五章 电磁感应	207
第六章 电磁场理论的基本概念	228
第五篇 波动光学	239
第一章 光的干涉	239
第二章 光的衍射	257

第三章 光的偏振.....	272
第六篇 近代物理	285
第一章 狭义相对论基础.....	285
第二章 光的量子性.....	296
第三章 原子的量子理论.....	308
自我检测题答案	320

1	第一章
11	第二章
21	第三章
31	第四章
41	第五章
51	第六章
61	第七章
71	第八章
81	第九章
91	第十章
101	第十一章
111	第十二章
121	第十三章
131	第十四章
141	第十五章
151	第十六章
161	第十七章
171	第十八章
181	第十九章
191	第二十章
201	第二十一章
211	第二十二章
221	第二十三章
231	第二十四章
241	第二十五章
251	第二十六章
261	第二十七章
271	第二十八章
281	第二十九章
291	第三十章
301	第三十一章
311	第三十二章
321	第三十三章
331	第三十四章
341	第三十五章
351	第三十六章
361	第三十七章
371	第三十八章
381	第三十九章
391	第四十章
401	第四十一章
411	第四十二章
421	第四十三章
431	第四十四章
441	第四十五章
451	第四十六章
461	第四十七章
471	第四十八章
481	第四十九章
491	第五十章
501	第五十一章
511	第五十二章
521	第五十三章
531	第五十四章
541	第五十五章
551	第五十六章
561	第五十七章
571	第五十八章
581	第五十九章
591	第六十章
601	第六十一章
611	第六十二章
621	第六十三章
631	第六十四章
641	第六十五章
651	第六十六章
661	第六十七章
671	第六十八章
681	第六十九章
691	第七十章
701	第七十一章
711	第七十二章
721	第七十三章
731	第七十四章
741	第七十五章
751	第七十六章
761	第七十七章
771	第七十八章
781	第七十九章
791	第八十章
801	第八十一章
811	第八十二章
821	第八十三章
831	第八十四章
841	第八十五章
851	第八十六章
861	第八十七章
871	第八十八章
881	第八十九章
891	第九十章
901	第九十一章
911	第九十二章
921	第九十三章
931	第九十四章
941	第九十五章
951	第九十六章
961	第九十七章
971	第九十八章
981	第九十九章
991	第一百章

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，在学习过程中，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

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

有时把径矢的大小和方向分开表达，即

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

运动方程：质点的位置和时间的函数关系式，即

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

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

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 $t \rightarrow t + \Delta t$ 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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \mathbf{i} + \frac{dy}{dt} \mathbf{j} + \frac{dz}{dt} \mathbf{k} \\ &= v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-5)$$

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

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

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

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

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

由式 (1-5) 和式 (1-7) 可得到加速度的分量式

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k} \\ &= a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} \end{aligned} \quad (1-8)$$

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

$$\mathbf{a}_{AB} = \mathbf{a}_{AE} - \mathbf{a}_{BE} \quad (1-9a)$$

或 $\mathbf{a}_{AB} = \mathbf{a}_{AE} + \mathbf{a}_{EB} \quad (1-9b)$

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

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

在直线运动中，匀变速直线运动比较重要，常用公式如下

$$v = v_0 + at \quad (1-10)$$

$$x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad (1-11)$$

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

$$v^2 = v_0^2 + 2a(x - x_0) \quad (1-13)$$

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

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

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

总加速度

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

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 Δv 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

$$\begin{aligned}\mathbf{r}(t) &= x(t)\mathbf{i} + y(t)\mathbf{j} \\ &= 2b\cos\omega t\mathbf{i} + b\sin\omega t\mathbf{j}\end{aligned}$$

(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 。

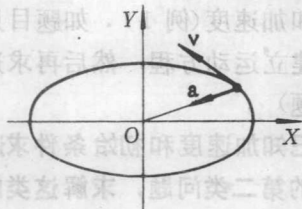


图1-1

由速度和加速度的定义，易知

$$\begin{aligned}\mathbf{v} &= \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{dx(t)}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy(t)}{dt}\mathbf{j} \\ &= -2b\omega\sin\omega t\mathbf{i} + b\omega\cos\omega t\mathbf{j}\end{aligned}$$

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

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

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

$$\begin{aligned}
 \cos \alpha &= \frac{\mathbf{v} \cdot (-\mathbf{r})}{vr} \\
 &= \frac{(-2b\omega \sin \omega t \mathbf{i} + b\omega \cos \omega t \mathbf{j}) \cdot (-2b \cos \omega t \mathbf{i} - b \sin \omega t \mathbf{j})}{b\omega \sqrt{1 + 3\sin^2 \omega t} \cdot b\omega \sqrt{1 + 3\cos^2 \omega t}} \\
 &= \frac{3\sin 2\omega t}{\sqrt{16 + 9\sin^2 2\omega t}} \\
 \alpha &= \arccos \frac{3\sin 2\omega t}{\sqrt{16 + 9\sin^2 2\omega t}}
 \end{aligned}$$

(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 $\mathbf{a} \parallel (-\mathbf{r})$ ，所以上述条件化为

$$\sin 2\omega t = 0$$

$$\text{由上式解得 } t = k \frac{T}{4}$$

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 $x = \frac{1}{k} \ln(kv_0 t + 1)$;

(3) 汽艇在行驶距离 x 后的速度为 $v = v_0 e^{-kx}$.

证 (1) 根据加速度的定义和初始条件, 有

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

即

$$\frac{dv}{v^2} = -k dt$$

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

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

(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

$$x = \frac{1}{k} \ln(1 + kv_0 t) \quad (2)$$

(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

$$v = v_0 e^{-kx}$$

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

$$v = v_0 e^{-kx}$$

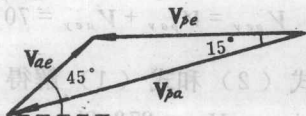
例 3 飞机在某高度的水平面上飞行，机身的方向是向西偏南 15° ，飞机在飞行时遇上西南风，风速大小为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ，结果飞机向正西方向运动，求飞机相对于地面及相对于风的速度。

解一 由几何法求解

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

$V_{\text{风地}}$ (即 V_{ae}) 由西南指向东北，大小为 $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

$V_{\text{机地}}$ (即 V_{pe}) 指向正西



按速度合成定理

$$V_{pe} = V_{pa} + V_{ae}$$

图 1-2

据此作速度矢量图 (图 1—2), 由正弦定理得

$$\frac{V_{pe}}{\sin 30^\circ} = \frac{V_{ae}}{\sin 15^\circ}$$

故 $V_{pe} = \frac{\sin 30^\circ}{\sin 15^\circ} V_{ae} = 193.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

同理 $V_{pa} = \frac{\sin 135^\circ}{\sin 15^\circ} V_{ae} = 273.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$

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

$$\begin{aligned} V_{aex} &= 100 \cos 45^\circ \\ &= 70.71 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{aey} &= 100 \sin 45^\circ \\ &= 70.71 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

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

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

按速度合成定理

$$V_{pex} = V_{pax} + V_{aex} = 70.71 - V_{pa} \cos 15^\circ \quad (1)$$

$$V_{pey} = V_{pay} + V_{aey} = 70.71 - V_{pa} \sin 15^\circ = 0 \quad (2)$$

由式 (2) 和式 (1) 解得

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

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

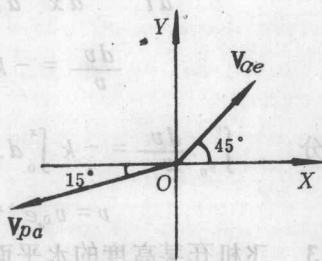


图 1—3