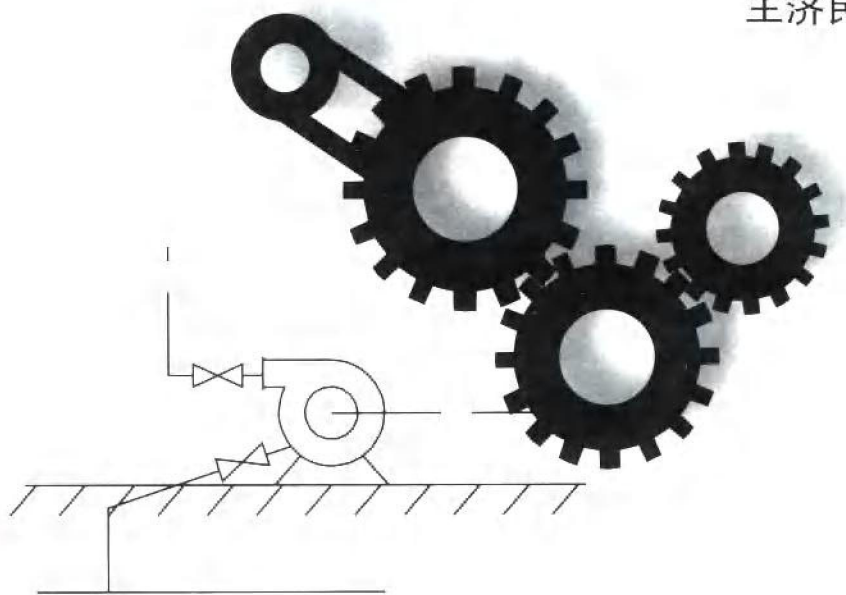


工科物理学习指导

王济民 编著



西北工业大学出版社

工科物理学学习指导

王济民 编著

西北工业大学出版社

(陕)新登字 009 号

【内容摘要】 本书共分六篇十八章,每章包括基本要求、内容提要、阅读指导、解题指导、自测题等五部分内容。
本书可作为高等工科院校学生学习大学物理的指导性读物,也可作为有关教师的教学参考书。

工科物理学习指导

王济民 编著

责任编辑 傅高明

责任校对 钱伟峰

西北工业大学出版社出版发行

(邮编:710072 西安市友谊西路 127 号 电话:8491147)

全国各地新华书店经销

西安向阳印刷厂印装

ISBN 7-5612-1212-7/O·161

*

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16 印张:12 字数:282 千字

2000 年 1 月第 1 版

2000 年 3 月第 2 次印刷

印数:5 001—10 000 册

定价:15.00 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

《大学物理》是高等工科院校重要的理论基础课之一。多年来的教学实践表明,学生在学习大学物理过程中,存在着一定困难。好的导向性读物,则可以使学生少走弯路,在同样的条件下,获得最大的收益。这也正是编写本书的目的。

作为开篇的第一章,我们对于贯穿物理学整体内容的若干基本问题首先加以阐述,以期对整个物理学的学习起到一定的指导作用。其余各章均包括基本要求、内容提要、阅读指导、解题指导、自测题等五个方面的内容。

内容提要不是教材内容的简单缩写,而是突出了物理学知识体系的归纳概括,使之系统化、条理化,帮助学生清脉络,辨主从,掌握步入物理学殿堂的途径,也为学生课后复习提供了一部系统完整的资料。

阅读指导没有作一般性内容的罗列,而是针对学生学习中易常犯的错误和容易混淆的理论、概念以及运用条件进行了深入分析,并为正确理解与运用物理定律作了大量细致而有说服力的阐述对比,着重指出了应该注意的问题。

解题指导不限于就题论题,而是着眼于学生基本科学素质的训练,强调思维模式的转变,强化建立坐标系的意识,培养合理运用符号的能力,并突出解题应有的物理思路,剖析常见错误的根源。

自测题是反映各章基本要求的测试题目,用以检验读者掌握知识的水平是否达到了基本要求。

本书是在编者多年教学实践的基础上编写的,反映了编者在教学中的一些经验和体会。由于水平所限,书中疏漏和错误之处,恳请读者不吝指正。

在本书的编写过程中,得到了西北工业大学应用物理系领导和同事们的支持和帮助,在此谨致以衷心的感谢。

编 者

1999 年 7 月

目 录

第一章 概述.....	1
一、掌握物理学体系的基本架构	1
二、强化建立坐标系意识	2
三、培养合理运用符号的能力	2
四、注重思维模式的转变	4

第一篇 力 学

第二章 质点运动学.....	5
一、基本要求	5
二、内容提要	5
三、阅读指导	6
四、解题指导.....	10
五、自测题.....	15
第三章 质点动力学	17
一、基本要求.....	17
二、内容提要.....	17
三、阅读指导.....	19
四、解题指导.....	26
五、自测题.....	36
第四章 刚体力学	37
一、基本要求.....	37
二、内容提要.....	37
三、阅读指导.....	38
四、解题指导.....	39
五、自测题.....	42

第二篇 电 磁 学

第五章 静电场	45
一、基本要求	45
二、内容提要	45
三、阅读指导	46
四、解题指导	49
五、自测题	52
第六章 静电场中的导体和电介质	53
一、基本要求	53
二、内容提要	53
三、阅读指导	54
四、解题指导	56
五、自测题	59
第七章 稳恒磁场	61
一、基本要求	61
二、内容提要	61
三、阅读指导	63
四、解题指导	65
五、自测题	68
第八章 电磁感应	70
一、基本要求	70
二、内容提要	70
三、阅读指导	71
四、解题指导	76
五、自测题	80
第九章 麦克斯韦电磁场理论	81
一、基本要求	81
二、内容提要	81
三、阅读指导	82
四、解题指导	84
五、自测题	84

第三篇 热 学

第十章 气体动理论	87
一、基本要求	87
二、内容提要	87
三、阅读指导	88
四、解题指导	92
五、自测题	94
第十一章 热力学的物理基础	95
一、基本要求	95
二、内容提要	95
三、阅读指导	96
四、解题指导	101
五、自测题	102

第四篇 振动和波动

第十二章 振动	103
一、基本要求	103
二、内容提要	103
三、阅读指导	104
四、解题指导	107
五、自测题	109
第十三章 波动	111
一、基本要求	111
二、内容提要	111
三、阅读指导	113
四、解题指导	116
五、自测题	118

第五篇 波动光学

第十四章 光的干涉	121
一、基本要求	121
二、内容提要	121
三、阅读指导	122
四、解题指导	127
五、自测题	129
第十五章 光的衍射	131
一、基本要求	131
二、内容提要	131
三、阅读指导	133
四、解题指导	138
五、自测题	139
第十六章 光的偏振	141
一、基本要求	141
二、内容提要	141
三、阅读指导	141
四、解题指导	146
五、自测题	147

第六篇 近代物理

第十七章 狭义相对论基础	149
一、基本要求	149
二、内容提要	149
三、阅读指导	151
四、解题指导	156
五、自测题	159
第十八章 量子力学基础	161
一、基本要求	161
二、内容提要	161
三、阅读指导	165

四、解题指导	167
五、自测题	169
附录.....	170
附录 A 常用物理常数表	170
附录 B 常见函数的幂级数展开式	171
附录 C 国际单位制词头	172
附录 D 汉英词汇索引	172

第一章 概述

物理学是研究物质结构及物质运动基本规律的学科。自然科学的各个领域几乎都与物理学有着密不可分的“血缘”关系,进入科学技术的任何一个领域,都必须首先敲开物理学的大门,物理学是通向科学殿堂的阶梯。对理工科大学生来说,物理学是一门很重要的理论基础课。多年来的教学实践表明,在学习大学物理的过程中,学生不同程度地存在着许多困难。造成困难的原因是多方面的。就课程本身而论,物理学内容广泛,涵盖“力”、“热”、“光”、“电”等领域;时空跨度大,从“经典”讲到“近代”,从“宏观”讲到“微观”和“宇观”;方法变化大,从中学的常量问题到应用矢量代数及微积分处理的复杂的变量问题。这无疑都会给学生带来不少困难。好的导向性读物,可以使学生少走弯路,通过便捷途径获得事半功倍的收益,这也正是我们编写此书的目的。

涉及到物理学各部分内容的具体问题,我们将分章论述。对于贯穿物理学整体内容的几个基本问题,我们单列出来,作为先导,放在卷首加以阐述,以期对整个物理课程的学习起到一定的指导作用。

一、掌握物理学体系的基本架构

物理学中有许多原理、定律、定则、定理等,当问及它们之间的区别时,不少同学的回答是“都差不多”。这个“差不多”的回答,反映出同学们对自然科学体系的基本架构缺乏清晰的认识。一个学生如果在学科体系上骨架含混,脉络不清,那么他所学的知识必然是许多零散现象的罗列和定律杂乱的堆砌。无层次,少联系,甚至可能主从不分,盲目地陷入一些细枝末节的纠缠之中。很显然,掌握物理学知识体系的基本架构,是打开物理学大门的钥匙。

我们知道,整个物理学就是由物理概念、物理量、物理规律等组成的有机体系。为了定量地研究物质运动的规律,首先就得定义一系列必要的物理量。物理量的定义式形成了物理学的第一类公式。而反映相关物理量之间相互联系的结论就是所谓的物理规律。物理规律的数学方程形成了物理学的第二类公式。物理规律包含物理原理、物理定律、物理定理等内容。其中原理是指在自然科学的某一领域中,具有普遍意义的、最基本的、可以作为其他规律的基础的规律。它实际上是在大量实践的基础上,人们所提出来的合理假设,其正确性要通过由它所导出的其他结论与实验事实是否一致来检验。自然科学的各个学科都是从基本原理出发,推演出各种具体的定理、命题、结论等,形成了各自的学科体系。例如爱因斯坦的狭义相对论就是建立在“光速不变原理”和“相对性原理”的基础上的。由此出发导出了物体在高速运动情况下的运动规律及动力学结论。定律则是通过大量实验事实归纳概括而成的客观规律。例如牛顿定律、热力学定律、库仑定律都是这样的规律。从基本定律出发,也可以推演出有关的物理定理、物理结论等。例如从牛顿定律出发,导出了动量定理、动能定理等;从库仑定律出发,导出了高斯定理等。很显然,定理是指由原理或定律出发,经过一定的推演而得到的理论结论。一般来说,定理较为抽象,但其物理内涵却更为深刻。

综上所述,我们可做如下比喻,物理概念、物理量好比建筑工程中的砖块,物理定理好比由

砖块所组成的建筑部件(如外墙,内墙等),而物理原理、物理定律则扮演了建筑基石的角色。正是由这些基石、部件、砖块等构筑成了整个物理学的大厦。在学习过程中,掌握了物理学知识体系的基本架构,也就掌握了登堂入室的途径,就能使你作到层次分明,脉络清晰,主从有序,步步深入地去探索浩瀚的物质世界。

二、强化建立坐标系的意识

坐标系是参照系的数学抽象。要对物体的运动进行定量的研究,首先就得选用适当的坐标系。实际中常用的坐标系有笛卡尔直角坐标系、极坐标系、自然坐标系和球面坐标系等。至于选用什么坐标系,坐标原点选在哪里,坐标轴的方位如何,其差别只是描述物体运动所用的参数不同而已。例如,确定物体的空间位置,直角坐标系用参数 (x, y, z) ,极坐标系用矢径和极角 (r, θ) ,自然坐标系用从选定的 o 点算起的沿轨道的曲线距离 (s) ,球面坐标系用 (r, θ, φ) 。选用不同的参数来描述运动,对物体运动的性质以及研究问题的结果,不会有任何影响。但是,坐标系选择得当,可以使运动的描述变得简便,处理问题的过程大为简化。例如竖直弹簧振子,把坐标原点取在平衡位置,其振动方程为 $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ 。否则,其振动方程将不具有上述标准形式,而变成一个较为复杂的方程。

处理问题时,究竟选用什么坐标系,惟一的原则就是以方便分析为前提。在大学物理中,最常用的是笛卡尔直角坐标系。在平面问题中,也常用极坐标系,这些大家都比较熟悉。当质点运动的轨道已知时,一般采用自然坐标系。例如,火车的轨道,矿山运输中常用的空中索道,游乐场中过山车的离心轨道和滑道等都是已知轨道。处理已知轨道问题,如分析火车转弯时对于铁轨的侧向压力,应用自然坐标系就很方便。当所处理的问题具有球对称性时,应用球坐标系较为简便。例如量子力学中的氢原子问题,原子系统的势能函数 $U(r) = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ 只与距离 r 有关,而与方向无关,具有球对称性。因此,在求解氢原子的定态薛定谔方程时,采用球面坐标系要比直角坐标系简便得多。

当选定坐标系以后,矢量就可以用它的坐标分量来表示。矢量的坐标分量依然为矢量,但它的方向却可以用正负号来表示。已知矢量的坐标分量,其指向与所选坐标轴的正向相同时为正,反之为负。未知矢量的未知分量可以暂不考虑其正负,只用一个代数符号(字母)代表它即可,计算结果,它的量值连同方向(±号)自然分明。当用一个未知矢量表示另一个未知矢量时,也需考虑正负号,其正负取决于二者的指向相同还是相反。显然用坐标分量来表示矢量,就可以以坐标分量的代数运算来代替矢量运算,这样就会使具体结果的计算简便得多。应该指出的是,坐标分量的正负号规则应与物理规律的原始方程配套使用。如在列方程(非求解方程)时,所写出的不是原始方程的形式,而随意地将一些项移到了方程的另一边,却仍然套用上述正负号规则,这就会引起正负号的混乱,最终导致错误的结果。这也是学生中常见的错误之一,望能引起注意。

三、培养合理运用符号的能力

物理量要用适当的符号来表示,物理规律要靠符号所构成的数学方程来表述。处理实际问题,也得设定必要的物理符号,还要进行一系列的符号运算。合理地科学地运用符号的能力,是一个理工科大学生最基本的科学素质之一。在符号的运用上,学生中最常见的错误是选用符号

随心所欲,符号寓意不够妥切,符号设置比较混乱,甚至有的学生解题时不设符号,不作符号运算,喜欢直接进行数字运算。为了纠正这类错误,提高学生书面表达能力,培养良好的科学素质,我们就物理符号的选择途径以及标识方法作如下简单介绍。

所谓合理地运用符号,就是要求所用符号寓意确切、标识简洁、易于分辨、兼顾习惯。一般来说,物理量多采用英语或希腊语中的单个字母来表示。在具体选择上,常用物理量的词头作为它的符号。例如:速度 v (velocity)、加速度 a (acceleration)、力 F (force)、功 W (work)、能量 E (energy)、振幅 A (amplitude)、频率 f (frequency) 等(有关英汉词汇索引详见附录 D)。

在实际应用中,常常会碰到许多物理量具有同一词头的情况,在不至于引起混淆的前提下,可以用同一字母表示不同的物理量。例如:功率 P (power) 和压强 P (pressur); 能量 E (energy) 和电场强度 E (electric field intensity) 等。在可能引起混淆的情况下,就必须设法加以区分。常用的方法之一就是采用小写、大写或手写体字母进行区分。例如速度 v 和体积 V , 加速度 a 和振幅 A , 电子电量 e 、电场强度 E 和电动势 ϵ (手写体) 等; 另外一种行之有效的方法就是在基本符号的适当部位加上适当的辅助标识符号。常用的标识符号有“角标”和“顶标”两大类。

1. 角标

(1) 用字母作为角标:

例如:滑动摩擦力 f_k , 静摩擦力 f_s , 动能 E_k , 势能 E_p , 机械能 E_m , 电偶极子的电矩 P_e , 载流线圈的磁矩 P_m 等。角标所用字母一般是根据标识符号所要表达的词义确定的。现就国际通用的角标举例如下:

m ——力学的、机械的 (mechanical); 磁的 (magnetic); 摩尔的 (mole 克分子(量))

e ——电的 (electric)。电子的 (electronic)

v ——视觉的、光的 (visual)

a ——原子的 (atomic); 绝对的 (absolute)

r ——相对的 (relative)

k ——动力学的、动的 (kinetic)

P ——势的、潜在的 (potential)

n ——标准的、正常的、垂直的、法向的 (normal)

t ——正切的、切向的 (tangential)

eff ——有效的 (effective)

$\max$ ——最大的 (maximum)

$\min$ ——最小的 (minimum)

(2) 用数字作为角标:

例如: x_0, v_0, φ_0 等。用“0”表示“初始的”, “基本的”。又如 $(P_1, V_1, T_1), (P_2, V_2, T_2)$ 表示理想气体的两个不同的状态。

2. 顶标

标识符号置于物理量符号的上方。常见的有短横和波纹号等。例如平均速度 $\bar{v}$, 平均冲力 $\bar{f}$, 波数 $\bar{\nu}$ 等。

综上所述,我们介绍了物理量符号的选择以及它们的标识方法。知道了物理符号的由来,就可以加深对它的理解,有助于对易混概念的区分。同时,也使学生明确了自行选择符号的途

径和方法,在解题时就可以合理地设定符号,从而有效地防止符号混乱所导致的错误。

四、注重思维模式的转变

在大学物理的学习过程中,不少同学觉得听课基本能听懂,而课后完成作业却比较困难。面对物理习题常常感觉无从下手。究其原因,应该说是多方面的。但在诸多原因中,单一的算术思维模式却是妨碍问题解决的关键。

在中学阶段,课程内容限定在常量问题的范围内。例如匀速运动、匀变速运动、恒力作用下的动力学问题等。就问题的性质而言,多是一环套一环的一维链式问题。求解方法基本上是逐环解开的算术处理方法,即就是由已知条件推算出一个中间结果,再由此结果依次向下推演,直到求得最后结果。然而大学物理所涉及的问题都是复杂的变量问题。就问题的性质而言,它是多维的网式问题。带着业已习惯的常量思维定势去思索变量问题,当然找不到求解途径。用算术思维模式去处理网式问题,总想先求出一个中间结果来,再依次推演下去。然而网式问题的一个环节却同时受到多个方面的钳制,要想一步先拿出其中的一环来,这是办不到的。处理多维的网式问题,要果断地放弃算术思维模式,采用代数思维模式,根据已知条件及有关物理规律建立必要的方程组去求解。这就是说,大学物理要求同学们跳出常量思维定势的圈子,建立变量思维的方法。完成由算术思维模式(逐环解开的方式)向代数思维模式(用方程组求解的方式)的转变,并注意形象思维与抽象思维的互补作用。充分运用好图表、图线、示意图等有用工具,这对求解问题往往能起到很好的辅助作用。

第一篇 力 学

第二章 质点运动学

一、基本要求

(1) 掌握描述质点运动的基本物理量——位置矢量、位移、速度和加速度的定义及其物理意义。明确其矢量性、瞬时性、相对性及独立性。

(2) 明确运动方程的物理意义,熟练掌握用求导法由已知的运动方程求速度、加速度;反之,用积分法在初始条件已知的情况下由速度或加速度求运动方程。

(3) 理解叠加原理的意义,会用叠加原理分析问题。

二、内容提要

本章研究物体运动状态随时间变化的关系,而不涉及运动状态变化的原因。

1. 描述运动的基本物理量

(1) 位置矢径: $\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$

(2) 位移与路程:
$$\begin{cases} \text{位移 } \Delta\mathbf{r} = \Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k} \\ \text{路程 } S = \int_0^t v(t)dt \end{cases}$$

(3) 速度与速率:

	速 度 (反映质点空间位置变化的快慢和方向)	速 率 (反映质点沿实际轨道移动的快慢)
平	定义:单位时间内的位移 $\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\mathbf{i} + \frac{\Delta y}{\Delta t}\mathbf{j} + \frac{\Delta z}{\Delta t}\mathbf{k}$	定义:单位时间内的路程 $\bar{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$
均	$\begin{cases} \bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ \bar{v}_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} \\ \bar{v}_z = \frac{\Delta z}{\Delta t} \end{cases}$	
量		

续 表

	速 度 (反映质点空间位置变化的快慢和方向)	速 率 (反映质点沿实际轨道移动的快慢)
瞬 时 量	定义:平均速度的极限 $\boldsymbol{v} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \frac{dx}{dt}\boldsymbol{i} + \frac{dy}{dt}\boldsymbol{j} + \frac{dz}{dt}\boldsymbol{k}$ $\begin{cases} v_x = \frac{dx}{dt} \\ v_y = \frac{dy}{dt} \\ v_z = \frac{dz}{dt} \end{cases}$	定义:平均速率的极限 $v = \frac{dS}{dt}$

(4) 加速度:

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2}$$

直角坐标系:

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

$$\begin{cases} a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} \\ a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} \\ a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{d^2z}{dt^2} \end{cases}$$

自然坐标系:

$$\boldsymbol{a} = a_t\boldsymbol{\tau}_0 + a_n\boldsymbol{n}_0$$

$$\begin{cases} a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} \\ a_n = \frac{v^2}{R} \end{cases}$$

2. 运算描述的几种方法

(1) 解析法 —— 运动方程 $\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$ 。

(2) 表格法 —— (位置 ~ 时刻) 表等, 如列车时刻表。

(3) 图示法 —— (位置 ~ 时刻) 曲线; (速度 ~ 时刻) 曲线。

3. 运动学的基本问题

(1) 已知运动方程, 求 $\boldsymbol{v}, \boldsymbol{a}$ (方法: 求导)。

由运动方程可求出质点的位置、速度、加速度、轨道。掌握了运动方程, 也就掌握了质点运动的全貌, 故探讨运动方程是整个力学的中心课题之一。

(2) 已知 $\boldsymbol{v}$ 或 $\boldsymbol{a}$, 并附以初始条件 ($t = 0$ 时, $x = x_0, v = v_0$), 求运动方程 (方法: 积分)。

4. 处理曲线运动的基本方法

曲线运动 → 分解成直线运动进行研究。

三、阅读指导

本章研究质点运动状态随时间变化的关系。首先定义描述质点运动的几个物理量。质点的运动状态用矢径和速度 ($\boldsymbol{r}, \boldsymbol{v}$) 来描述, 运动状态的变化用加速度 ($\boldsymbol{a}$) 来描述。质点的运动状态是随时间变化的, 弄清运动质点何时在何处, 是运动学所要解决的一个重要课题。为此就需要建立运动质点的空间位置与时间的函数关系 —— 运动方程, 并说明运动方程的物理意义, 掌

握了运动方程,从而也就可以了解运动的全貌。在研究质点运动的过程中,人们发现运动具有叠加性——运动叠加原理。任何曲线运动都可以分解成几个直线运动来研究(直线运动是研究曲线运动的基础),这就给我们指出了研究曲线运动的一般方法。本章的重点是对于描述运动的几个基本物理量的深入理解以及掌握如何由运动方程分析运动。对此我们再作如下的阐述。

1. 物理学中的理想模型

物理现象往往是由许多因素所共同决定的。这些因素有主要因素,次要因素。如果将影响问题的所有因素一并考虑,那么,即使是最简单的问题,也将难以解决。例如,一木块静止于地面上,现用一绳子去拉它(见图 2-1),问木块将如何运动?这个问题的答案要受许多因素的影响,是将木块看成没有大小的质点,还是看成不变形的刚体,或者是弹性体,绳子的质量算不算在内,绳子的形变要不要考虑,空气阻力忽略不忽略等。显然,若不忽略次要因素,建立起一个特定的模型来,就连这样的简单问题也难以解决,复杂问题就更不用说了。

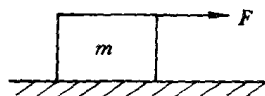


图 2-1

解决复杂问题,需要摒弃那些微不足道的因素,暂时抛开次要因素,集中精力就主要因素进行研究,经过抽象概括,建立起一个理想化的物理模型。所谓理想化模型,实际上就是为了便于对实际问题进行研究,而将事物取其主干,去其叶蔓而建立的客体。运用理想模型处理实际问题,这是一个重要的科学研究方法,其优点在于:

(1) 可以将复杂问题归结为一些简单问题进行研究,从而大大简化处理过程,可使抽象问题形象化、具体化,突出主要矛盾。便于发挥逻辑思维的作用,其结果又不会发生大的偏差。

(2) 对理想模型研究的结果,加以适当修正,即可用于实际事物。

物理学中常见的理想模型主要有:质点、刚体、弹性体、理想气体、弹簧振子、点电荷、无限长直导线、无限大平板、薄透镜、点光源、绝对黑体、原子的核式模型等。

理想模型的建立,要以观察和实验作为基础,需要有对物理现象和过程的正确理解,需要有正确的分析方法和判断能力,还需要有抽象思维能力和想象能力。

同一事物,选取何种理想模型,要看研究问题的性质来决定,不能一概而论。例如,在研究地球的公转时,由于地球直径远小于地球到太阳的距离,则可忽略地球的大小,而把地球当作质点看待。当研究地球的自转时,就不能忽略地球的大小和形状,亦即不能把地球当作质点来看待。又如原子虽小,在研究原子的内部结构时,也不能把原子当质点看待。

2. 速度的矢量性和瞬时性

速度具有矢量性、瞬时性、相对性、独立性。本章重点要求掌握矢量性和瞬时性。速度的矢量性不难理解。因为速度是用来描述质点的空间位置变化情况的物理量。位置变化既包含快慢问题,又包含方向问题。少了方向,对于运动状态的描述就不够完备。例如飞机在航行中,风向与航向的修正密切相关,如果只知风速、不知风向,飞机将无法到达目的地。显然,速度必须定义成矢量,才能对质点的运动状态作出完备的描述。速度的方向说明了质点位置变动的方向,速度的大小说明了质点位置变动的快慢。在运动中速度的方向沿轨道的切线方向,指向前进一侧。其实,这一事实是隐含于速度的定义之中的(参看速度的定义)。既然速度具有矢量性,那么速度的变化就有三种可能 ① 方向变化,大小不变,② 大小变化,方向不变,③ 大小与方向同时变化。谈到速度变化时,特别要注意速度的矢量性。一些同学经常错误地认为 $|\Delta \mathbf{V}|$ 与 ΔV 总是

相同的。我们知道, ΔV 表示两个速率之差即 $\Delta V = |V_2| - |V_1|$, 而 $|\Delta V|$ 表示两个速度之差(矢量差)的模, 即 $|\Delta V| = |V_2 - V_1|$ 。这两者虽然都是标量, 但一般说来它们是不相等的, 例如一质点在 Δt 时间内沿曲线从 a 运动到 b , 速度由 V_1 变到 V_2 , 如图 2-2 所示, 显然, $|\Delta V|$ 与 ΔV 是不相等的, 出现上述错误的主要原因是对于速度的矢量性掌握不够, 这一点要引起同学们的注意。

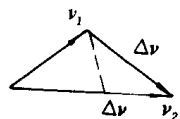
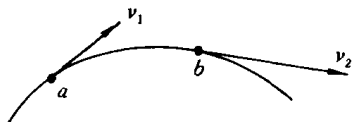


图 2-2

另外, 速度具有瞬时性。瞬时速度是借助于极限概念而引入的。人们首先定义了平均速度。平均速度反映出在所考察区间内质点运动的平均状况。实际上质点在该区间内的运动有快、有慢、甚至不动。可见, 平均速度没有反映出运动的细节, 它只是对于运动的一种粗糙的描述, 由于平均速度与所考虑的平均区间有关, 故为了对运动加以详细的描述, 人们让时间区间无限缩短(以某一时刻为中心)。显然, 在某时刻附近, 无限短的时间间隔内的平均速度就反映出该时刻运动的真实情况, 并将平均速度的这个极限定义为瞬时速度。

对于速度瞬时性理解的困难, 往往在于同学们认为: “既然速度是单位时间内的位移, 某一时刻的速度为 V , 就是说, 质点每秒位移 $|V|m$, 然而时刻是时间流逝过程中的一点, 它是没有时间长短的, 既然没有时间, 怎样会有 $|V|m$ 位移呢?” 这个问题的产生反映出同学们对速度瞬时性理解不深。某一时刻的速度为 V , 并不是说一秒内它真的走了 $|V|m$, 而是说质点在这一时刻具有这么大的速度, 如果允许它以此作匀速运动, 那么它每秒就可走 $|V|m$ 。

对于加速度, 同样要注意其矢量性和瞬时性。

3. 速度与速率的区别

速度与速率有严格的区别, 这一点并不总是得到人们的重视, 而是习惯于将速度与速率混用。在物理学中, 速度与速率有着概念上的区别, 速度定义为 $V = \frac{dr}{dt}$, 即单位时间内的位移, 它反映质点空间位置变化的快慢和方向, 是个矢量。速率定义为 $V = \frac{dS}{dt}$, 即单位时间内的路程, 它反映质点沿轨道移动的快慢, 是个标量。一般来说, 位移的大小并不等于相应的曲线路程, 故平均速度的大小与平均速率通常并不相等。例如质点绕圆转一周, 平均速度为零, 但平均速率却不为零。对于微小位移来说, 其太小 $|dr|$ 与相应的曲线路程 dS 趋于相等, 即 $|dr| = dS$, 所以瞬时速度的大小总是等于瞬时速率, 但从概念上讲, 速度与速率的关系并非矢量与它的模的关系。弄清速度与速率的区别, 对以后的研究将是重要的。这在速度和速率变化上的区别更为显著。然而, 在日常生活中, 人们更关心物体沿曲线轨道移动的快慢, 习惯于用速率表计读车速, 将速度与速率混用, 统称速度, 但这毕竟是不严格的说法。

4. 如何由运动方程分析运动

质点的空间位置随时间变化的函数关系叫做运动方程, 在直角坐标系中, 运动方程的矢量式为

$$r(t) = x(t)i + y(t)j + z(t)k$$

$$\text{其分量式为} \begin{cases} x = x(t) \\ y = y(t) \\ z = z(t) \end{cases}$$