

(上) 山西教育出版社

主

編

王

杰

王紀龍

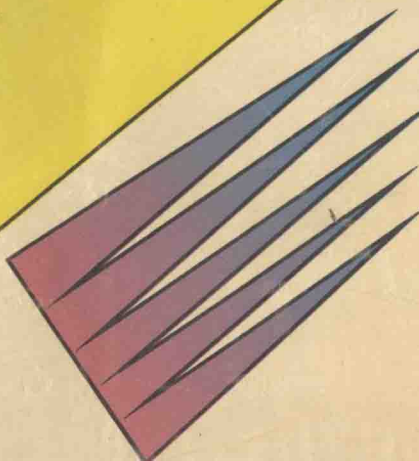
吳浩然

王玉成

副主編

大學 物理學

原理·應用·測試



大学物理学

(上)

山西教育出版社

王瑞娟 编

方济梁 周健萍

孟竹芳 周希坚

杨翼智 王钢柱

副主编 吴浩然 王玉成

主编 王杰 王纪龙

原理·应用·测试

[晋]新登字 3 号

责任编辑:李少林

封面设计:谢 成

大学物理学

原理·应用·测试

〈上册〉

王 杰 王纪龙等

*

山西教育出版社出版(太原并州北路 11 号)

山西省新华书店发行 山西新华印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/32 印张:15.75 字数:335 千字

1993 年 9 月第 1 版 1993 年 9 月山西第 1 次印刷

印数:1—5390 册

*

ISBN 7—5440—0347—7

G·348 定价:11.50 元

编者的话

《大学物理》课程不论在学习知识方面还是在培养能力方面，都是一门重要的基础课程。在大学物理教学中，提高学生的学习和学习效率、加强能力培养是亟待解决的课题。

为此，我们曾在我校学生使用的讲义《大学物理学习指导》的基础上，于1989年编写出版了《大学物理学习指导》一书，用以帮助学生更好地掌握和理解物理学的重要概念和重要规律，特别是培养学生独立思考和熟练解答物理问题的能力，提高学习质量和效率。在几年的使用过程中受到历届学生及教师们普遍好评。为了继续发挥这一教材的作用和满足读者的要求，在听取和采纳了各方面的意见，经修改、充实后，新编写了《大学物理学》一书，分上、下册出版。

本书由王杰、王纪龙主编，吴浩然，王玉成副主编。参加编写人员：杨翼智（1—3章）、王钢柱（4—7章），孟竹芳（8—9章）王杰、王瑞娟（12—14章）吴浩然（15—16章）、方济樑（17—19章）、王纪龙（10—11，20—22章及附录 I、II）。本书承蒙北京师范大学喀兴林教授主审并作序，在此特致谢意。

由于水平有限、时间仓促、书中缺点和不妥之处在所难免，请使用本书的老师、同学及广大读者批评指正。

序

大学物理学是工科所有专业都要学习的课程，它和高等数学一起构成工科教育中两门最重要的基础课。

物理学是关于我们周围物质世界中最基本的几种运动形式（力、热、光、电等）的科学。而我们学习工科的目的正是了解自然，驾驭自然，利用自然规律不断创造各种造福人类的设施和机件。工科学生学习物理学的重要性是显而易见的。

那末，学习《大学物理学》的具体目的又是什么呢？首先是学习物理知识，包括各个物理概念的意义，各种物理现象的定量描述，以及各种物理现象变化发展的规律。这些都是前人研究的成果，是工科各专业的基础知识，又是学习一些后继课程所必需的。因此，学习物理知识是非常重要的。

然而，学好物理知识并不是我们学习物理课的唯一目的，甚至还不是最重要的目的。学习《大学物理学》还有一个目的，从某种意义上说也许是更重要的目的，那就是训练我们的能力。能力包括观察能力、理解能力、推理能力、计算能力和分析问题解决问题的能力。作为一个未来的工程师，应当在大学学习期间作好必要的准备。到了工作岗位，如果某一方面知识不足，还可以查书、问人，而若某一方面能力不行，临时是难于补救的。

知识是靠理解、记忆学来的，而能力单靠“学”是学不

来的，能力是“练”出来的，过硬的能力是靠“苦练”练出来的。我们知道，歌唱家，舞蹈家、技术能手和体育健将，都有一番苦练的经历。工程师也不例外。工程师当中有能力很强的，也有能力比较差的，我希望各位都能成为能力很强的工程师。

能力训练不能凭空进行，需要一个“载体”，即需要在学习某一课程或完成某一工作中来进行能力训练。物理学的学习是能力训练的最好的载体。物理学联系着物质世界，练习的范围比数学广，物理学处理的是基本的规律，同工科课程相比，又最适宜于作为能力训练的入门课程。工程中有的专业对物理知识的需要较少，对于这样的专业的学生来说，学过《大学物理学》之后，虽然具体的物理知识用到的机会不多，但是如果在学习过程中认真训练自己的能力，所获得的能力的提高在以后的学习和工作中都是非常可贵的。

所有的学习环节都是训练能力的机会。在学习知识的过程中可以有意识地训练自己的理解能力和推理能力，而做习题则是全面的能力训练过程，又是是否真正掌握了知识的考验。无论国内外，在物理课（以及数学课）中都十分注意配备适当的习题，原因就在这里。

我认为我国当前中学的物理教育不十分正常。以致使学生，包括刚刚进入大学校门的学生产生这样一种不正确的观念，认为“学物理的目的就是会做题”，“学会做题的目的就是为了应付考试”。这种教育方法教出了不少学生，他们既不去认真理解物理知识，又没有正确地训练自己的能力，他们靠“题海战术”，死记大量题目的解法，把题目分成不同的题型，记住不同题型的解题规律。这当然也算是一

种“训练”，但这是不得法的训练，错误的训练，事倍而功半。他们对熟题做得滚瓜烂熟，而对没有见过的题目束手无策。我们来到大学，千万不要再用这种方法学习了。

物理和数学不同。在数学中，无论是代数、几何、三角或微积分中，都有极难的题目，老师也要绞尽脑汁才能做出。物理中根本没有这种情况。物理题无非是对某一两个规律的具体应用，而物理课中学过的规律，条理既很分明，为数也甚有限，只要理解其实质，加上分析、推理的工夫，都是不难解决的。可以说，物理中是没有难题的。

本书是几位老师根据多年的教学经验写成的。作为主要教材之外的一本参考书，它的目的就是帮助初学物理的同学们在学习《大学物理学》课程的过程中，更好地掌握知识和训练能力。掌握知识和训练能力这两个学习目标，特别是后者，主要是靠大家的自觉努力来实现，然而，有经验的引导是十分重要的。学习的成功没有捷径可走，但是却有不少弯路。有经验的指导会使你避开弯路，更有效地使用自己的时间和精力，取得更大的学习收获。

作者的意图贯穿于全书。原理部分，重点突出，叙述简明而扼要得体，所选例题思想性强，既有助于对概念、原理的确切理解，又突出物理思想、物理思维和能力的培养。本书更鲜明的特点在于，作者并不是重述原理，罗列例题，而是着眼于对初学者进行“指导”。对原理和内容加强了总结、前呼后应和对比，使学生不是孤立地理解或记住一些定律或公式，而是在掌握具体内容的基础上，更系统地从事体角度来认识和掌握它；对例题则着重了物理思维能力的培养，物理概念和物理规律的应用和分析，并对解题的思路和

技巧作了详细的剖析和归纳。这样本书就能承担起带领学生顺利地遨游大学物理知识宝库而大有所获的任务。

希望同学们在本书的指导和帮助下，培养自己对学习物理的兴趣。建立学好物理的信心，在不断深入掌握物理知识的过程中，有意识地训练自己的能力。并把在《大学物理学》的学习中开始的对自己的能力训练推展到整个大学的各课学习中去。予祝大家都能成为知识丰富、能力高超的工程师！

喀兴林

1992年4月于北京

目 录

第一章	质点运动学.....	(1)
第二章	牛顿运动定律.....	(43)
第三章	功和能.....	(91)
第四章	动量.....	(121)
第五章	刚体的转动.....	(159)
第六章	气体分子运动论.....	(214)
第七章	热力学基础.....	(271)
第八章	静电场.....	(336)
第九章	静电场中的导体和电介质.....	(406)
第十章	稳恒电流.....	(479)

第一章 质点运动学

运动学研究的主要内容是通过引入位置矢量、位移矢量以及速度和加速度矢量等概念对物体的机械运动进行描述，指出物体的运动状态如何随时间变化，而不涉及引起变化的原因。这些内容都是力学部分的重要知识，也是学习其他物理学知识的基础。如位置、速度等描述物体运动状态的物理量，与动力学中的动能、势能有密切的关系；位移与功有关。又如速度、加速度的概念，沟通了运动学与动力学的关系。因此，学好运动学可为以后物理学各章的学习打下良好的基础。

本章内容比高中物理有很大程度的提高。大学物理中对概念的引入及理论方面的探讨要求更深刻，更全面；在解题的方法上，更富有逻辑性、科学性；在所用的数学工具中，由于考虑了各物理量的不均匀变化及矢量关系，所以高等数学、矢量运算是主要的运算工具。这些都不同于高中物理。因此必须引起足够的重视。此外还需学习物理学中处理问题的方法。例如：

(1) 物理模型。首先我们遇到学习物理的第一个理想化模型——质点。它是实际物体在一定条件下的抽象，把复杂的、具体的物体用简单的模型来代替。这样可使问题简化，突出主要矛盾，便于找出其中的规律。

质点就是物体大小和形状与所研究的问题无关时，或其

形状大小对运动影响很小可以忽略不计就可把物体看成有质量而无大小的质点。

应用物理模型研究问题的方法，是物理学的重要研究方法之一。

(2) 在理解速度、加速度瞬时性概念时，采用了这样的方法：对变速直线运动取小段，先解决“变”与“不变”的矛盾，然后再用取极限的方法，解决“近似”与“精确”的矛盾。对曲线运动也是取小段，先解决“曲”与“直”的矛盾，然后再应用直线运动的方法引入速度、加速度瞬时性概念。

(3) 把复杂运动看成是几个简单运动的合成。特别是在处理平面曲线运动时。如把斜抛运动，匀速率圆周运动等，看作是二个互相垂直的直线运动的合成。

一、基本要求

1. 通过速度、加速度的瞬时性、矢量性和相对性，确切掌握瞬时速度和瞬时加速度的概念。

2. 掌握匀变速直线运动和匀速率圆周运动的规律。

3. 掌握运动迭加原理，学会把一个复杂运动分解成几个互相垂直的直线运动和把几个运动迭加合成合运动的方法。

4. 会由已知运动方程用求导的方法求瞬时速度和瞬时加速度；反之，用积分法由已知质点的速度或加速度求质点的运动方程，并能分析与平动有关的相对运动问题。

二、重要概念与规律

(一) 描写质点运动的基本物理量

1. 位置矢量 (矢径)。它是描写质点任意时刻在空间某位置的物理量。如图1—1所示, 质点在空间的位置可用位置矢量 (矢径) $\mathbf{r}$ 表示。

$$\mathbf{r} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$$

当质点运动时, 质点的位置 $\mathbf{r}$ 随时间 t 变化, 由函数式 $\mathbf{r} = \mathbf{r}(t)$ 表示。或写成分量式:

$$x = x(t) \quad y = y(t) \quad z = z(t)$$

这些方程叫做运动方程。

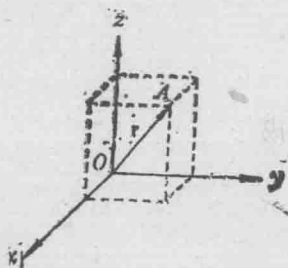


图 1—1

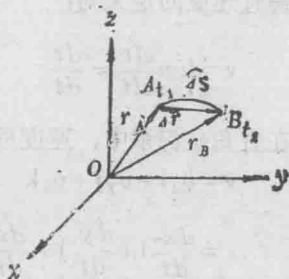


图 1—2

当物体作直线运动时, 只用一维坐标 $x = x(t)$ 就可以描写清楚了。

2. 位移。它是描写在 $\Delta t = t_2 - t_1$ 时间间隔内质点位置变化的大小和方向的物理量。在 $t_1 \rightarrow t_2$ 时间内, 质点从 A 点运动到 B 点, 则位移 $\Delta \mathbf{r} = \mathbf{r}_B - \mathbf{r}_A$, 如图1—2所示。

$$\mathbf{r}_A = x_1\mathbf{i} + y_1\mathbf{j} + z_1\mathbf{k}$$

$$\mathbf{r}_B = x_2 \mathbf{i} + y_2 \mathbf{j} + z_2 \mathbf{k}$$

$$\text{位移 } \Delta \mathbf{r} = (x_2 - x_1) \mathbf{i} + (y_2 - y_1) \mathbf{j} + (z_2 - z_1) \mathbf{k}$$

要注意路程和位移的区别。路程是标量，是质点所经历的实际路径，也就是其轨迹的长度，而位移是矢量，是质点初末两位置矢量之差。表示质点位置的改变，一般不是质点所经历的实际路径。如图 1—2 中，位移是矢量 $\Delta \mathbf{r}$ ，而路程是弧长 Δs 。即使在直线运动中，当质点沿直线而有往复运动时，其位移和路程也不相同，只有质点作直线直进运动时，位移的绝对值才与路程相等，这仅是一个特例。

3. 速度。它是描写质点位置变化的快慢和运动方向的物理量。

瞬时速度的定义为：

$$\mathbf{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{r}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

在直角坐标系中，速度可写成

$$\mathbf{v} = v_x \mathbf{i} + v_y \mathbf{j} + v_z \mathbf{k}$$

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

在直线运动中，速度的大小 $v = \frac{dx}{dt}$ ，速度的方向由 v 的

正、负来表示，当 $v > 0$ 时，速度方向沿 x 正方向，当 $v < 0$ 时，速度方向沿 x 负方向。

在曲线运动中， $\mathbf{v}$ 的方向沿质点在曲线上各点的切线方向，并指向质点前进的一方。

速度的重要性质是：

(1) 瞬时性。一般情况下，质点运动过程中各时刻的速度是不相同的，瞬时速度——常简称为速度——就是描述各个瞬时质点运动的快慢和方向的物理量，所以在一般情况下，必须指明是在那一时刻或那一位置的速度。

(2) 矢量性。速度是矢量，除了要说明其大小外，必须同时指明其方向，仅在直线运动的特殊情况下，相对于一定的坐标系，速度的方向可用正、负号表示。

(3) 相对性。物体的运动是绝对的，但对运动的描述却是相对的，对同一物体运动的描述，相对不同的参照系，速度数值的大小和方向是不同的。因此，在描述一物体的运动时，必须首先确定坐标系。

(4) 迭加性。速度是矢量，遵守矢量合成法则，也就是说，一个质点的速度，可看成是几个分速度的合成，如平抛物体的速度，是由水平运动和竖直下落运动的速度迭加而成的。

4. 加速度。它是描述质点速度矢量随时间的变化率，其中既包含速度大小随时间的变化率，又包含方向随时间的变化率。

瞬时加速度的定义为：

$$\mathbf{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{d\mathbf{v}}{dt}$$

在直角坐标系中，加速度可写成：

$$\mathbf{a} = a_x \mathbf{i} + a_y \mathbf{j} + a_z \mathbf{k} = \frac{dv_x}{dt} \mathbf{i} + \frac{dv_y}{dt} \mathbf{j} + \frac{dv_z}{dt} \mathbf{k}$$

在直线运动中，加速度的大小 $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$ ，加速

度的方向可用 a 的正、负来表示。当 $a > 0$ 时，表示加速度方向沿正 x 方向，当 $a < 0$ 时，表示加速度方向沿负 x 方向。

在曲线运动中， $\mathbf{a}$ 的方向是 $\Delta t \rightarrow 0$ 时 $\Delta \mathbf{v}$ 的极限方向，一般情况下质点的速度大小和方向时刻在变化，所以 $\mathbf{a}$ 的方向与 $\mathbf{v}$ 的方向不在一条直线上，这就是说 $\mathbf{a}$ 的方向一般不沿曲线的切线方向。当采用由切向和法向构成的自然坐标系时，质点在曲线上任一点 A 的加速度 $\mathbf{a}$ 可分解为该点的切向加速度 $\mathbf{a}_t$ 和法向加速度 $\mathbf{a}_n$ 。

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_n + \mathbf{a}_t = a_n \mathbf{n} + a_t \boldsymbol{\tau}$$

其中 $a_n = \frac{v^2}{r}$ ， r 是曲线上 A

点的曲率半径； $a_t = \frac{dv}{dt}$ 如图1-3

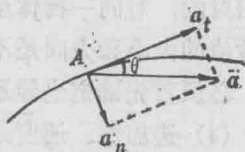


图 1-3.

所示。

$\mathbf{a}_n$ 的方向在曲线 A 点的法线上，并指向曲线凹的一侧； $\mathbf{a}_t$ 的方向沿曲线 A 点的切向。

总加速度的大小 $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$

总加速度的方向用 $\mathbf{a}$ 与切向的夹角 θ 表示 $\theta = \arctg \frac{a_n}{a_t}$

在学习中，对于矢径、速度、加速度的基本概念都应该通过它们的瞬时性、矢量性、相对性、迭加性的分析更全面、更深刻地加以理解。

(二) 几种典型运动的运动特点和规律

本章要求掌握的几种典型运动的特点和规律归纳在表1-1中。

表1—1

运动类型	特 点	规 律	说明
匀速直线运动	$\frac{d^2x}{dt^2} = 0,$ $(a_t = 0, a_n = 0)$ $\frac{dx}{dt} = \text{常量}$	运动方程: $x = x_0 + vt$	
匀变速直线运动	$\frac{d^2x}{dt^2} \neq 0$ $(a_t \neq 0, a_n = 0)$ $\frac{d^2x}{dt^2} = \text{恒量}$ $\frac{dv}{dt} \text{ 不恒定}$	运动方程 由: $\begin{cases} x_2 - x_1 = \int_{t_1}^{t_2} v dt \\ \int_{v_0}^v dv = \int_0^t a dt \end{cases}$ 得: $\begin{cases} x - x_0 = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \\ v - v_0 = at \\ v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0) \end{cases}$	三个所得公式其中两个为独立方程
匀速率圆周运动	$a \neq 0 (a_t = 0, a_n \neq 0)$ $a \neq \text{恒矢量}$ $a = a_n = \text{常量}$ $V \text{ 不恒定, } v = \text{常量}$	$\begin{cases} x = R \cos \omega t \\ y = R \sin \omega t \end{cases}$ $a = a_n = \frac{v^2}{R}$ 轨迹方程 $x^2 + y^2 = R^2$	其中R是圆周半径, ω 为转动角速度. 大小不变, 轨迹是圆.

(续表)

运动类型	特 点	规 律	说明
变速圆周运动	$a \neq 0 (a_t \neq 0, a_n \neq 0)$ $a \neq$ 恒矢量 $a \neq$ 常量 V 不恒定, $v \neq$ 常量	$\begin{cases} x = R \cos \omega t \\ y = R \sin \omega t \end{cases}$ $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$ $a_n = \frac{v^2}{R} \quad a_t = \frac{dv}{dt}$ 轨迹方程 $x^2 + y^2 = R^2$	R 为圆周半径, ω 的大小在变, 轨迹是圆。
抛体运动	$a \neq 0$ $(a_t \neq 0, a_n \neq 0)$ $a = g =$ 常矢量 $a_t \neq$ 常量, $a_n \neq$ 常量 $a =$ 常量 V 不恒定, $v \neq$ 常量	$x = x_0 + v_0 \cos \theta t$ $y = y_0 + v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g t^2$ $a = g = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$ 当 $x_0 = y_0 = 0$ 时轨迹方程 $y = x \tan \theta - \frac{g x^2}{2 v_0^2 \cos^2 \theta}$	x 方向是匀速直线运动, y 方向是竖直上(下)抛运动。

(三) 运动迭加原理

任何一个复杂的运动可视为两个互相垂直的直线运动的合成。如斜抛运动, 可视为水平方向的匀速直线运动和竖直上抛运动的合成。匀速圆周运动, 可视为 $x = R \cos \omega t$, $y = R \sin \omega t$ 两垂直谐振动的合成。

在处理斜抛或平抛运动时, 用直角坐标方便, 在处理圆周运动时用自然坐标较为方便。