

高等学校教学用书·理论物理基础系列教程

10

物理用数学

〔日〕 和達三樹 著
刘 嘉 达 译
喀 兴 林 校

北京师范大学出版社

高等学校教学用书

理论物理基础系列教程

第十册

物理用数学

〔日〕 和達三樹 著

刘春达 译

喀兴林 校

北京师范大学出版社

高等学校教学用书
理论物理基础系列教程
第十册

物理用数学

〔日〕和達三樹 著

刘春达 译

喀兴林 校

*

北京师范大学出版社出版
新华书店总店科技发行所发行
中国科学院印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.75 字数: 231 千

1989 年 5 月第 1 版 1989 年 5 月第 1 次印刷

印数: 1—2 200

ISBN 7-303-00436-X/O·97

定价: 2.30 元

原 序

物理学是理工科学生必不可少的基础课之一。因为理工科任何专业的基础必然与物理学有密切关系。理工科学生要想在学习专业课之后再自学物理学,很难获得令人满意的结果。就是说,必须在大学一、二年级扎扎实实地掌握物理学的基础知识。

这样,最重要的就是同学们要有积极的学习热情。同时,需要有一本向学生们传授物理学知识、指导学生学习方法的入门书。这套《理论物理基础系列教程》正是为了起到以上作用而编辑的,这套书的编辑方针与以往教科书有很大差别。

力学和电磁学是所有与物理学有关的重要学科的基础。因此,大部分学校要在低年级学完此课程。但象流体力学则可以作为选修课开设,也可以由同学们自学。另外,还需要有大学二年学历能够阅读的、内容充实的量子力学和相对论等教材。

编者基于这种观点,选择了物理学的基础课,编写了《理论物理基础系列教程》,这套丛书共10册,包括《力学》、《分析力学》、《电磁学》(上、下)、《量子力学》(上、下)、《热力学与统计力学》、《弹性体与流体》、《相对论》及《物理用数学》等八个科目。所有这些科目不都是(日本)大学一、二年级的课程,但各科目可以各自独立学习,力争做到大学一年或二年级的学生能够读懂。

在物理学教材中,往往有很多公式和现象,在期末考试之前,学生们常常要死记硬背,这不但掌握不了物理现象的本质,反而产生厌恶情绪。我们对这套教程的读者所应考虑的最重要问题,不是死记公式和现象,而是学会掌握事物本质的能力。

物理学相信一切事物都源于少数基本事实,而它们又遵循少

数基本定律，物理学求得这些定律。这些明确的基本事实和定律一定有助于同学们理解，在彻底理解的基础上，同学们通过自己自身的努力去摸索事物的本质，这就是所谓的“物理学的思考方法”。

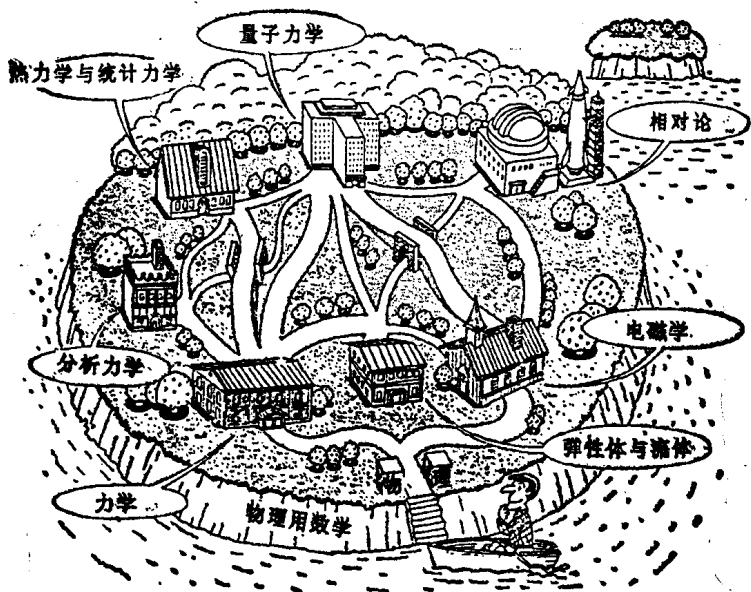
不仅限于物理学，科学的每个领域，都要探求事物的本质，但由于物理学发展的比较早，基础部分成熟，可以看做一个典型例子。因此，掌握“物理学的思考方法”的能力，不仅对于将来钻研物理学的同学们，而且对于钻研其它领域的同学都应该说是大有好处的。

在日常生活中，我们经常无意识地使用象时间、空间、力、压强、热量、温度、光等这样的物理学基本概念，物理学对这些日常使用的概念又重新给予了严格的定义，并与基本规律联系起来，物理学这样繁杂也是同学们厌烦的原因之一。但是，如果想根据基本事实和规律探索事物的本质，即使是日常感知的事物，也有必要详细弄清其实验的根据，重新明确与基本规律的关系，何况还涉及到超过我们日常体验的领域。例如：处理原子内部问题时，甚至有必要提出似乎与常识和直观相矛盾的新概念。因为物理学根据实验和观测不断扩大我们的经验世界，所以与其这样，倒不如改变常识和直观更有必要。

正如这样，用“物理学的思考方法”考虑事物，决不是很容易的事情。但是，如果采用正确的方法，是有可能掌握的。本教程的撰稿者们力求做到精选内容，所选的素材力争讲述通俗易懂，便于掌握。希望读者们和作者一起探求事物的本质。这样一来，自然而然地就能够学会“物理学的思考方法”。各卷篇幅都不大，不需要其它参考书就能读懂，但决不是简单的物理学摘要。希望读者认真阅读。

如上所述，因为各科目基本上可以独立阅读，所以根据需要，从哪个科目开始阅读都可以。但是，作为基本联系，可用图解的形式来表示各科的相互关系。

• 2 •



从图的前面向里延伸的宽路,表示传统的路线,窄路则表示做为相关联的学科,可以共同阅读。例如,《弹性体与流体》是集中了现代风格的弹性力学和流体力学的,但与《电磁学》中的场的概念相关联。而作为场的经典理论,又可以与《相对论》加以对比,这一卷的波动部分,对于《量子力学》的理解也有帮助。另外,每卷都广泛涉及到数学,为不脱离物理学本身,同时阅读《物理用数学》是大有益处的。在整理这套《理论物理基础系列教程》之际,编者阅读了全卷的原稿,也请执笔者提出了各种要求,再三改稿。另外,不断采用了执笔者们的相互意见和岩波书店编辑部所提出的见解。今后在听取读者意见的同时,将进一步加以修正。

编者 户田盛和

中嶋贞雄

1982年8月

译 者 序

这套《理论物理基础系列教程》是根据日本岩波书店 1982—1984 年出版的《物理入门コース》(物理学入门教程)翻译而成。原教程的主编者是户田盛和与中嶋貞雄。本书在日本颇受欢迎,在全套书出齐之前,先出的几本已经重印了三四次。中译本根据我国习惯,定名为《理论物理基础系列教程》。

这套《系列教程》共十本,计有《力学》、《分析力学》、《电磁学》(上下)、《量子力学》(上下)、《热力学与统计力学》、《弹性体与流体》、《相对论》和《物理用数学》。各册篇幅不大,自成体系,而十本合起来又构成一个完整的整体。本书的起点相当低,有我国工科一年物理课基础的读者即可学习。但其达到的深度并不低,大体上只略低于我国综合性大学的理论物理各课的大纲要求,而在广度上则广于后者,并含有较多新鲜内容。

本书富有日本教材所独有的风格和特点:选材精炼;讲解精练而明快又不失科学性;系统经过精心安排,组织周密,突出重点,深入浅出。在引导读者逐步掌握正确概念方面有其独到之处,书中不乏精辟的论述和精采简捷的推导与证明,在不知不觉之中把读者带到较难较深的境界。本书是我国高等学校理论物理各课较好的教学参考书,师范院校和成人教育院校可以直接采用作为课本。本书也是中学教师进修、工程技术人员知识更新和知识青年自学的理想读物。

本书的翻译工作由喀兴林、王锡绶、梁绍荣和任萍四人组成工作小组负责,他们担任组织译校、联系出版、保证译文质量和其它各项事务工作。本书的译校人员以北京师范大学和东北师范大学

的人员为主，他们大多数都具有高级职称及多年的日文经历。翻译工作以忠于原作为原则。

由于我们学识有限，加之译校人员众多，译文中容或有不当之处或彼此不甚统一之处，敬请各界读者指正，以便再版时修改。

喀兴林

1988年6月

前 言

物理学是由为数不多的几个基本定律构成的。这些基本定律是由对各种各样的现象进行统一的描述的要求而得来的。因此,做为描述的手段就要借助于数学。另一方面,根据这些基本定律,不仅可以解释众多的现象,同时还可能推测新的现象,在这时也必须使用数学。例如在力学中,牛顿的运动方程就是基本定律。运动方程是用微分方程的形式写出的。对这个微分方程求解,能够说明的现象之多是很惊人的。

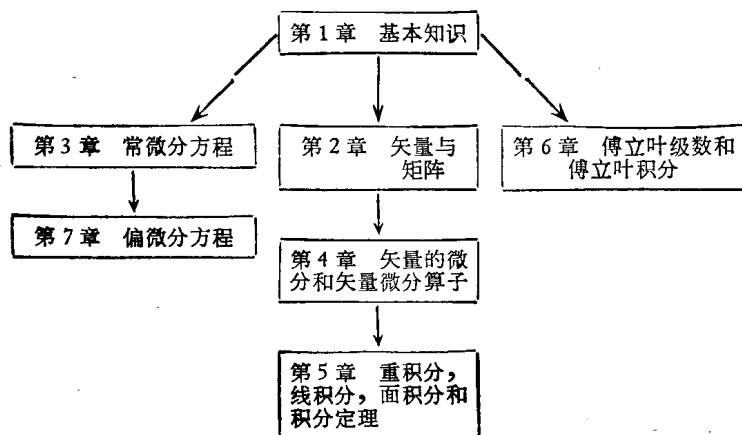
了解了这样的结构之后,可以说所谓物理学是一种十分简明的学问。这样说对目前正在学习物理学的学生们大概没有什么帮助。在现实当中,往往是还未学过物理学中需要使用的数学,或者是虽然学了一些但还未能会用,在这种状态下,大学的物理教学就已先开始了。从讲课方面来看,在有限的讲授时间中,把需用的数学学完,从而对物理课的内容有彻底的了解是很困难的。从学生这方面来看,对于本来很难学的物理课再与很不习惯的数学一同学习,一定会感到很困难。即使在学习物理的过程中同时学习数学专著,也不可能立即起作用。这一点也是作者的亲身体会。对于上述的这些问题即使能解决一点也好,这便是本书《物理用数学》的编写目的。

下面让我们对内容做些简要介绍。在大学物理课程中,如果以数学出现的顺序来排列的话可归纳为:基本知识、矢量与矩阵、矢量微分和矢量微分算子、重积分、线积分、面积分和积分定理、傅立叶级数和傅立叶积分、偏微分方程等七章。叙述力求简明扼要,避免罗列定义、定理和证明,注意使概念形象化,证明定理是很重

要的,但是强调正确理解定理的内容也是同等重要的。

除此以外,书中还包括有许多不好意思向老师和同学请教的内容。名词的定义和用语的读法虽然是很细小的事,如果一直不明白的话,积存下来就会成为跟不上进度的原因。列出了为了加深理解的例题和练习题,在卷尾虽然有练习题的详细答案,我们还是希望读者自己来解答。开始学习本书,不必全部都理解,大学教育对同学们的要求不是理解的快,而是理解的深。

按照本书编写的目的,尽可能使各章可以单独学习。如果要按数学的体系来归纳的话,则有:



读者诸君在学习时,不必拘泥于上面的系统框图。与物理学习并行而读的方法有时理解的效率也很好。因此,可以做为《理论物理基础系列教程》的课外辅助材料来使用。与《理论物理基础系列教程》相对应,本书的内容可以归纳为以下几点:

力 学	矢量、矩阵、张量、常微分方程、矢量积分、线积分、重积分。
电 磁 学	矢量积分、矢量微分算子、线积分、面积分、积分定理、偏微分方程。
热学、统计力学	偏微分、常微分方程(完全型)、线积分。
弹性体和流体	张量、傅立叶级数、傅立叶积分、偏微分方程。

限于篇幅,略去了“分析力学”,“量子力学”和“相对论”等所用的数学。此外,为了解题的方便,在卷尾汇集了一些数学公式。

本书的写法是把物理的各个部分共同的概念,用数学贯串起来。寺泽宽一所著的《数学概论》一书用“我不是数学家”做为第一句话,我也一样,我不是数学专家。本书不如说是采用了非数学家的立场,避免了数学的繁琐,如同让别人事先知道哪里有“陷井”一样,使一个人运用数学的乐趣与尽可能多的人共享。所以,如果出现了读了本书而增强了信心,向更高深的数学专书前进的读者的话,是会使著者喜出望外的。仔细想一想,物理与数学的关系是很微妙的。不论是目的还是方法,两者都不相同,是两个完全独立的学科,如同牛顿力学与微积分学的发明那样,在其交叉点之处,却不停地有新的发展。因此,看看最近的物理学的进展,就可以感到,它与数学的关系是多么紧密。

写书是一件伴随着很大痛苦的工作。特别是为了不使自己的研究工作进度受影响,除了利用休息时间之外别无它法。这时,在我心中只希望能做到以下两点:第一,回想自己做学生时的情景,写这样的书,有了它以后应该对学生有点用处;第二,想到辛辛苦苦听课时的神情,有了这本书,使他们不再感到课堂上的时间太紧张。对于这两点,著者是全力以赴的。

和達三樹

1982年12月

理论物理基础系列教程
(共10册)

- 1 力学
- 2 分析力学
- 3 电磁学(上)
- 4 电磁学(下)
- 5 量子力学(上)
- 6 量子力学(下)
- 7 热力学与统计力学
- 8 弹性体与流体
- 9 相对论
- 10 物理用数学

目 录

第 1 章 基本知识.....	1
§ 1-1 三角函数	1
§ 1-2 指数函数和对数函数	5
§ 1-3 复数	7
§ 1-4 偏微分	12
第 2 章 矢量与矩阵.....	19
§ 2-1 矢量	19
§ 2-2 标量积与矢量积	24
§ 2-3 矩阵	28
§ 2-4 行列式	32
§ 2-5 用行列式解一次联立方程	39
§ 2-6 矩阵的本征值与矩阵的对角化	43
§ 2-7 坐标变换和矢量	50
§ 2-8 张量	56
§ 2-9 张量的物理举例	60
第 3 章 常微分方程.....	65
§ 3-1 常微分方程	65
§ 3-2 一阶微分方程	67
§ 3-3 完全型	71
§ 3-4 二阶微分方程	77
§ 3-5 二阶线性微分方程	80
§ 3-6 常系数二阶线性微分方程	84
§ 3-7 振动	88
§ 3-8 合成振动	93
第 4 章 矢量的微分和矢量微分算符.....	100

§ 4-1	矢量的微分	100
§ 4-2	二维(平面)极坐标	105
§ 4-3	运动坐标系	108
§ 4-4	矢量场和矢量算符	113
§ 4-5	公式及其应用	124
第 5 章	重积分、线积分、面积分与积分定理	131
§ 5-1	重积分	131
§ 5-2	线积分与面积分	140
§ 5-3	平面上的格林定理	154
§ 5-4	高斯定理	160
§ 5-5	斯托克斯定理	167
第 6 章	傅立叶级数与傅立叶积分	177
§ 6-1	傅立叶级数	177
§ 6-2	傅立叶正弦级数与傅立叶余弦级数	185
§ 6-3	傅立叶积分	195
§ 6-4	强迫振动	203
§ 6-5	狄拉克的函数	205
第 7 章	偏微分	211
§ 7-1	偏微分方程	211
§ 7-2	一维波动方程	215
§ 7-3	一维热传导方程	224
§ 7-4	无限区间上的波动	229
§ 7-5	无限长棒上的热传导	232
§ 7-6	二维波动方程	237
§ 7-7	拉普拉斯方程与泊松方程	242
附录		249
数学公式		249
1. 符号		249
2. 二项式定理		249
3. 三角函数		249

4. 微分.....	250
5. 积分.....	250
6. 泰勒展开.....	251
7. 直角坐标系 x, y, z	252
8. 二维(平面)极坐标 ρ, ϕ	253
9. 圆柱坐标 ρ, ϕ, z	254
10. 极坐标 r, θ, ϕ	255
11. 积分定理.....	257
习题略解.....	257
基本物理常数.....	295

第一章 基本知识

首先对三角函数、指数函数、对数函数的基本性质进行综合叙述。这些函数差不多在物理学的所有部分里都要经常使用，因此希望能够充分掌握。其次简单介绍一下复数和偏微分，这两个概念在大学物理中一开始就要出现。

§ 1-1 三角函数

利用图 1-1，可将三角函数定义如下。

$$\sin \theta = \frac{PQ}{OP}, \quad \cos \theta = \frac{OQ}{OP},$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{PQ}{OQ} = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}.$$

其次，它的倒数也是经常要用到的。

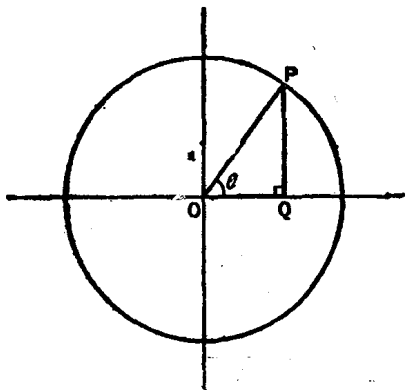


图 1-1 三角函数

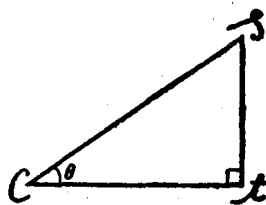


图 1-2 三角函数的记忆方法举例

$$\operatorname{ctg} \theta = \frac{1}{\operatorname{tg} \theta}, \quad \sec \theta = \frac{1}{\cos \theta}, \quad \operatorname{cosec} \theta = \frac{1}{\sin \theta}$$

在记忆时,可如图 1-2 所示,在直角三角形的顶点写上 $c, s,$

现将其基本性质归纳如下.

$$a) \sin 0 = 0, \cos 0 = 1, \quad \sin \frac{\pi}{2} = 1, \quad \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

$$(b) \sin x = \cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right), \quad \cos x = \sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right)$$

$$(c) \sin^2 x + \cos^2 x = 1, \quad 1 + \operatorname{tg}^2 x = \sec^2 x$$

(d) 奇偶性

$$\sin(-x) = -\sin x, \quad \cos(-x) = \cos x,$$

$$\operatorname{tg}(-x) = -\operatorname{tg} x$$

(e) 加法定理

$$1) \sin(x \pm y) = \sin x \cos y \pm \cos x \sin y$$

$$\cos(x \pm y) = \cos x \cos y \mp \sin x \sin y$$

$$\operatorname{tg}(x \pm y) = \frac{\operatorname{tg} x \pm \operatorname{tg} y}{1 \mp \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$$

2) 和化积公式

$$\sin A + \sin B = 2 \sin \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

$$\sin A - \sin B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2}$$

$$\cos A + \cos B = 2 \cos \frac{A+B}{2} \cos \frac{A-B}{2}$$

$$\cos A - \cos B = -2 \sin \frac{A+B}{2} \sin \frac{A-B}{2}$$

3) 积化和公式