

高等学校教学用书·理论物理基础系列教程



相 对 论

〔日〕中野董夫 著
赵大明 阚甸嘉 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

第九册

相 对 论

〔日〕中野董夫 著

赵大明 阚甸嘉 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
第九册

相 对 论

〔日〕 中野董夫 著
赵大明 阙甸嘉 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
北 京 昌 平 展 望 印 刷 厂 印 刷

开本, 350×1168 1/32 印张: 6.875 字数: 162千

1989年5月第1版 1989年5月第1次印刷

印数: 1-2 200

ISBN7-303-00435-1/O·96

定价: 1.70 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，还需要有大学二年级学历能够阅读的、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，共十册。所有这些科目不全是（日本）大学一、二年级全能学完的，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，同学们通过自己亲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，可以看作一个典型例子。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。

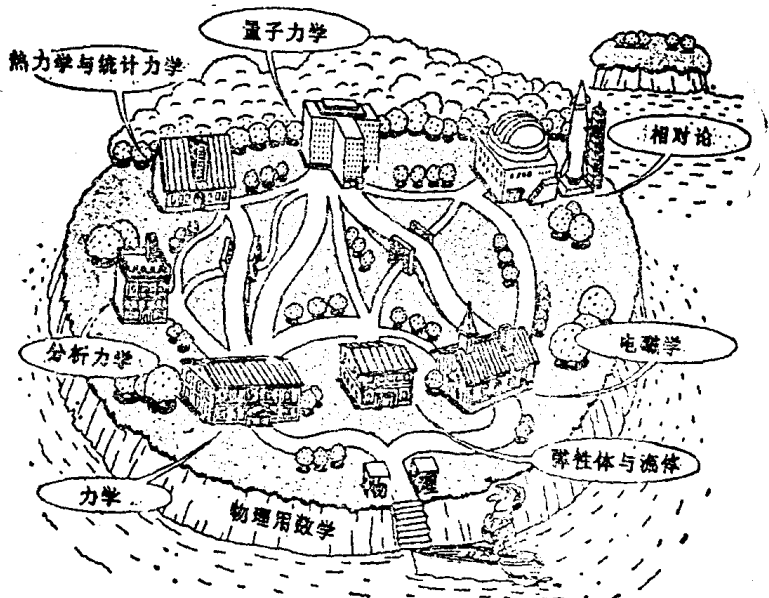
在日常生活中，我们经常无意识地使用象时间、空间、力、压强、热量、温度、光等这样的物理学基本概念，物理学对这些日常使用的概念又重新给予了严格的定义，并与基本规律联系起来，物理学这样繁杂也是同学们厌烦的原因之一。但是，如果想根据基本事实和规则探索事物的本质，即使是日常感知的事物，也有必要详细弄清其实验的根据，重新明确与基本规律的关系，何况还涉及到超过我们日常体验的领域。例如：处理原子内部问题时，甚至有必要提出似乎与常识和直观相矛盾的新概念。因为物理学根据实验和观测不断扩大我们的经验世界，所以与其这样，倒不如改变常识和直观更有必要。

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。

从图的前面向里延伸的宽路，表示传统的路线，窄路则表示作为关联的学科，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，编者阅读了全书的原稿，也对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；讲解简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、王锡绂、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

相对论是和量子力学一起在进入20世纪时诞生的物理学，因此这里把20世纪以前构成物理学基础的力学和电磁学作为我们研究的出发点。但是，编写这本《理论物理基础系列教程》的目的是为了使在大学一、二年级的学生掌握物理学的基本内容，起到指引他们学习的作用。所以，书中的讲述尽可能地做到使读者即使不用参考其它书籍也能够理解这些内容。

由于相对论的发现，必然带来对空间和时间概念理解的变革。但这种新的空间和时间概念是怎样想出来的呢？在本书中，我们想首先对这个问题作一概括地叙述。即使在讲牛顿力学时，也是讲那些蕴育着建立相对论的一些基本事实。然后我们要讲是怎样把光的性质弄清楚的，并围绕它们的历史作一简单地叙述，可以说光的经典理论是用麦克斯韦的电磁场理论来完成的。

相对论来源于麦克斯韦的电磁场理论，但为了理解这一点需要稍微高一点的物理学和数学知识，所以我们把电磁学放在后面第八章专讲。根据麦克斯韦的电磁场理论，真空中的光速是个常数。为了对于运动学和动力学进行相对论的讨论，我们可以先假定真空中的光速是一定的。这样一来，直到第七章的相对论力学，只用比较初等的物理学和数学知识就能进行阅读，本书就是按这样想法写的。

狭义相对论是从“狭义相对性”和“光速不变”这两个简单的原理出发推导出各种各样惊人的结论来献给读者。希望读者从中欣赏到这个理论的优美。第八章反映1873年建成的麦克斯韦方程组是满足爱因斯坦的相对论的。为了阅读这一章的内容，要求读者具备电磁学的基础知识，但我认为只要能够理解麦克斯韦方

程组的数学性质也就足够了。

由于篇幅所限，对广义相对论，我们没能够详细地叙述。在第九章仅仅讲述了广义相对论的梗概。但是对于理工科系的初学者来说，还是把我们认为必要的基本概念写得够用了，如果读者能把本书消化理解了的话，我想就可以算是掌握了相对论的基础。

在撰写本书的过程中，作者最下功夫的是如何写得让初学相对论的读者能容易懂。而在这一点上得到了本教程的编者之一户田盛和先生的全面协助，在此由衷地表示感谢。如果书中还存在一些难于理解之处，那是由于作者学疏才浅，因此请多加原谅。还要对全书原稿进行审阅，并提出许多宝贵意见的大阪市立大学理学部的河合俊治、内藤清一两位博士表示感谢。由于作者写作进度迟缓拖了很长时间，在此对协助周旋的岩波书店编辑部的各位；特别是片山宏海先生给予多方面的照顾，致以深切的谢意。

中野董夫

1984年7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

第一章 空间和时间	(1)
§ 1-1 古代天文学	(1)
§ 1-2 物理的空间	(6)
§ 1-3 数学的空间	(8)
§ 1-4 时间概念	(12)
习题	(14)
第二章 牛顿力学	(16)
§ 2-1 运动定律	(16)
§ 2-2 惯性系	(18)
§ 2-3 运动方程的对称性	(22)
§ 2-4 牛顿力学的相对性	(25)
习题	(28)
第三章 电磁波和以太	(29)
§ 3-1 光是什么	(29)
§ 3-2 光的传播	(32)
§ 3-3 迈克尔逊-莫雷实验	(36)
§ 3-4 洛伦兹-斐兹杰惹的收缩假说	(42)
习题	(43)
第四章 狭义相对性原理	(45)
§ 4-1 狭义相对性原理	(45)
§ 4-2 在不同地点的时钟的同步	(48)
§ 4-3 时间和长度的相对性	(51)
第五章 洛伦兹变换	(58)
§ 5-1 洛伦兹变换	(58)
§ 5-2 世界距离	(64)
§ 5-3 运动钟的延缓	(70)

§ 5-4	运动物体的收缩	(73)
§ 5-5	速度的变换	(78)
§ 5-6	多普勒效应	(82)
§ 5-7	双生子佯谬	(88)
习题		(91)
第六章	洛伦兹变换的四维形式	(92)
§ 6-1	二维时空	(92)
§ 6-2	时空矢量	(99)
§ 6-3	洛伦兹变换	(106)
§ 6-4	四维矢量	(111)
§ 6-5	张量	(114)
习题		(117)
第七章	相对论力学	(119)
§ 7-1	相对论运动方程	(119)
§ 7-2	物体的动量和能量	(125)
§ 7-3	粒子的衰变	(130)
§ 7-4	原子核的结合能	(134)
§ 7-5	粒子的碰撞	(137)
习题		(139)
第八章	电磁学	(141)
§ 8-1	麦克斯韦方程	(141)
§ 8-2	真空中的电磁波	(143)
§ 8-3	电磁场的势	(147)
§ 8-4	麦克斯韦方程的四维形式	(151)
§ 8-5	电磁场的一维洛伦兹变换	(157)
§ 8-6	电磁场中带电粒子的运动	(161)
习题		(166)
第九章	广义相对论概要	(168)
§ 9-1	等效原理和广义相对性原理	(168)
§ 9-2	广义相对论中的线元	(172)

§ 9-3 原时和坐标时	(177)
§ 9-1 引力场中物体的运动方程	(180)
§ 9-5 重力场方程	(183)
§ 9-6 球对称的静止重力场	(188)
§ 9-7 广义相对论的验证	(192)
习题	(197)
习题略解	(198)

第一章 空间和时间

什么是空间，什么是时间，这些问题从日常经验不知为什么好象谁都明白，但如果再追问下去就会发现，仅仅用常识来回答这些问题是很困难的。从古代文明揭幕到现在为止，人们对空间时间概念的看法是怎样变化过来的呢，对此我们准备在本章中作一概述。

§ 1-1 古代天文学

生活在现代的我们，从儿童时代开始就接受到各种各样的信息。借助于这些信息毫无阻力地在某种程度上接受着科学的成果。主张地球大约用一年的时间绕太阳旋转一周的地动说，现在看来已经是常识了。我们还知道，如果乘宇宙飞船飞到大气层之外，那里几乎完全是真空的。日常生活中的准确的时刻是从电视机或收音机的报时得知的。我们还能够根据日历知道每年的各个季节的推移变化。可是，对于没有象现代这样信息传递的古代人们来说他们对空间和时间是怎样认识的呢？

古代文明是发生在世界上的几个地方，现在我们从和现代科学有联系的美索不达米亚人们的宇宙观来看一看。一般认为在底格里斯河和幼发拉底河流域的巴比伦尼亚平原上，大约在纪元前3000年就产生了文明。他们的宇宙图象是大海包围着圆盘状的大地，在它的上面好象是一个扣过来的碗状的旋转着的天空。

夜空中大部分星星的相互位置是固定的，每天晚上都是同样的排列着。美索不达米亚的人们按照那些星星排列的形象给以各

种动物的名称。那些名称从希腊时代到现在边变化边流传,成为现在的星座名称的起源。围绕形成这些星座的恒星之间运动的有七个天体。他们认为这些天体是代表神的意志,担负着重要的神分给它们的任务。所说的七个天体,就是太阳、月亮、水星、金星、火星、木星和土星。为了探知这七个天体的活动的意义而产生了占星术,并重用了占星术师。从这样一些对天体的观测,增加了人们对于天体变化的知识。特别是知道了太阳所通过的在恒星之间的黄道附近叫作黄道带(Zodiac)的区域,对十二个星座得到了很好的了解。

为了了解白天的时刻,太阳在天空上的位置是很重要的,而为了了解夜间的时刻,星座的位置是很有用的。如果知道了太阳是在黄道带的十二个星座的哪个位置上,那就知道了一年之中季节的变迁。因为用星座来确定太阳的位置是不准确的,所以又

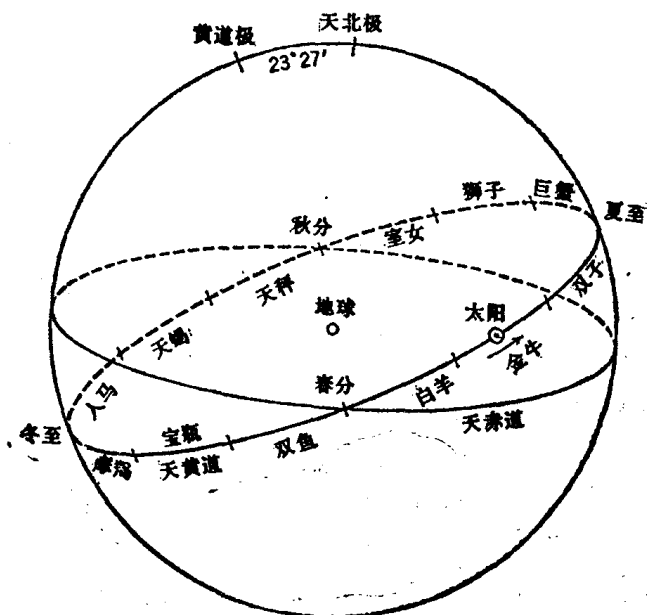


图 1-1

是巴比伦人把黄道按 30° 为一份，分成十二等分定为十二宫，太阳通过黄道和天赤道的交点时是春分和秋分。春分点是十二宫的出发点。在长年累月之中，好象他们也了解到，春分点在天空里也有所移动。

明确地指出春分点移动的是公元前 2 世纪的希腊天文学家喜帕恰斯(Hipparchos)。喜帕恰斯说明了春分点每年在黄道上向西移动 $45''$ 或 $46''$ 。这个数值和现在我们所确认的值 $50''29$ 是接近的。

春分点在喜帕恰斯时代是在白羊座，经过2000年以上到了今天，春分点向西大约移动 30° 移到双鱼座。现在的黄道带是在天球黄道的两侧，是每侧约有 8° 的幅宽所画出的带，也叫黄道十二宫。从春分点开始出发向东沿着黄道每 30° 划出一个等份，由黄道上星座的名称命名为白羊、金牛、双子、巨蟹、狮子、室女、天秤、天蝎、人马、摩羯、宝瓶、双鱼等十二个名称。

春分点在天空上移动的原因，今天我们已经知道，它是地球的岁差运动，也就是因为地球自转的进运动所引起的现象(图1-2)。这个运动是和陀螺的进运动相似的运动。为此天的北极将绕黄道的极以大约25800年为一周期旋转。

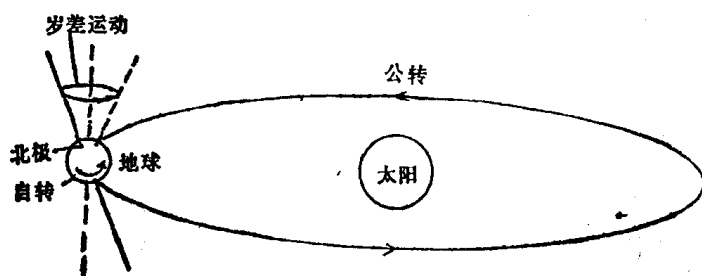


图 1-2 地球的岁差运动

在希腊，不仅限于天文学，他们对各种各样的自然现象都进行了考察。于是产生了与近代科学有深刻联系的希腊的自然哲