

高等师范专科学校试用教材

近代物理学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社

高等师范专科学校试用教材

近代物理学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社

编写说明

本书系江苏省教委高教局组织编写的师专普通物理教材。本书共分九章：相对论、氢原子、量子力学基础、电子自旋和碱金属原子、多电子原子、原子核的性质和结构、原子核的放射性衰变、核反应、基本粒子。各章均配有内容提要、思考题和练习题，某些近代物理中的常用数据作为附录列在书末。本书还列入了一些带•号的选学内容，对于课时较少的学校可略去不讲。

本书可作为二、三年制师专和教育学院物理专业的教材，也可以作为中学物理教师的教学参考书。

参加本书编写的有仲嘉霖（第一、二、六、七章）、王振陆（第三、五、九章）王中兴（第四、八章）。全书由仲嘉霖负责统稿，本书主审人为沈洪清副教授。

责任编辑 吕世骥

高等师范专科学校试用教材

近代物理学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 涟水印刷厂印刷

开本787×1092毫米1/32 印张16.7 字数375千字

1987年9月第1版 1987年9月第1次印刷

印数1—5000册

ISBN7-81023-033-6/O.32

统一书号：13409.010 定价2.45元

前 言

我省自1978年以来，为适应普及九年制义务教育的需要，已先后恢复和新建了七所高等师范专科学校。但由于各种原因，各师专长期使用师范院校本科或综合性大学教材。随着教学改革的深入，越来越感到教材对办出师专自己的特色，构筑初中教师合理的智能结构，提高教学质量关系极大，因此迫切需要建设师专自己的教材体系。为此，江苏省高教局于1985年委托镇江师专原校长江静同志负责组织编写师专物理专业主干课系列教材作为试点。

这套《普通物理学》教材共分五册，即力学、热学、电磁学、光学和近代物理学，可作为师专、教育学院物理专业和培训初中物理教师的教材，也可作为师专函授、自学考试教材。

在编写这套教材过程中，坚持以辩证唯物论和三个面向为指导，以1982年“全国专师物理专业教学大纲审定会”通过的师专物理专业教学大纲为依据，结合师专和初中物理教学实践进行修订后的新大纲编写的。教材编写努力遵循“少而精”、“理论联系实际”、“循序渐进”、“因材施教”的原则，因而具有以下特点：

一、教材既力求使内容具有科学性、系统性，又注意师范性和启发性，扬弃陈旧内容，适当反映具有基础知识性质的现代化科学技术成就，同时还注意吸收这几年师专和中学物理教学改革的经验，因而使内容结构体系更能适应培养目标 and 业务规格的要求。

二、教材着重阐述基本物理现象、基本物理概念、基本物理规律, 注意避免“理论化”的倾向。教材叙述力求深入浅出, 简明扼要, 通俗易懂, 便于教和学。

三、教材注意开发学生智力和培养学生能力, 重视联系生产, 生活和中学教学实际, 注意从实际提出问题、分析问题和解决问题。每章之后有内容提要 and 一定数量的思考题及练习题, 有利于学生自学和思考。本书还注意适当介绍物理学史和物理学家生平以及物理规律的发现和发展过程, 以启发和培养学生思维能力和科学方法。

四、教材比较注意演示实验, 并有较多的插图, 比较生动直观, 形式也较新颖。

编写领导组以江静同志为组长, 成员有孔祥羽, 钱如竹, 周荣秋, 许国柱, 郭胜康, 仲嘉霖, 王中兴, 参加教材编写的有南通师专、淮阴师专、盐城师专、镇江师专、苏州师专和徐州师专物理系科部分教师。他们在江苏省高教局领导下, 在各师专, 特别是镇江师专的大力支持下, 同心协力, 克服困难, 在一年半时间内完成了编审任务, 为师专教材建设作出了贡献。

教材主审组由苏州大学许国梁教授任组长, 镇江师专刘昌年副教授和苏州大学李振亚教授任副组长, 负责全书审定工作。有南京师范大学李增林副教授、沈洪清副教授, 苏州大学李佩赞副教授, 扬州师院毛明副教授, 他们在分别负责各册审定工作时还对教材体系, 内容取舍和深广度以及编写方法、特色等提出了许多具体的宝贵意见。在此表示衷心感谢。

这套教材由于时间短促和编者水平的限制, 不妥甚至错误之处在所难免, 敬请读者提出宝贵意见, 以便再版时修正。

江苏省教育委员会高等学校教学处

1987年2月

序

近十年来，全国共编审出版了质量较高的高等学校各科教材四千八百余种，可是，为高等师范专科这个类型和层次的学校编写出版的教材却很少，这是目前我国高校教材建设工作中的一个不足之处。在我国颁布九年制义务教育法以后，担当培养初中教师任务的二百多所师范专科学校的教材建设就显得更加迫切和重要了。

为了贯彻实行我国九年制义务教育法和培养初中教师，编写和出版适合师专这一类型和层次的教材已刻不容缓。江苏省教育委员会高教局有鉴于此，组织编写一套供二、三年制师专物理科教学用的《普通物理学》教材作为试点。我感到这是十分必要和非常及时的。

《普通物理学》是师专物理科的主要专业基础课程。它是物理专科学业务培养的关键，它规定了物理专科生的业务素质。它不仅是学生毕业后从事初中物理教学的重要内容，而且也是进一步自学物理学的基础。因此，师专物理科的《普通物理学》教材和教学质量必须有效地得到保证。

在编写师专《普通物理学》教材过程中，我们始终要求各编者要注意克服当前普遍存在的“攀高”思想和普通物理教学“理论化”的严重倾向，同时还要着力于师专这一层次普通物理的特色，希望这套教材力求做到“准、宽、浅、新”。

“准”是指必须保证教材内容的科学性、系统性。概念的阐明、原理的论证、公式的推导、数据的引用、实验的介绍、现象的叙述等，都要做到严谨可靠。根据普通物理：《力学》、《热学》、《电磁学》、《光学》和《近代物理

学》的内在联系，结合学生的认识结构、知识结构，使各门、各部分之间紧密配合，由浅入深，保持前后贯通的科学体系与教学体系相结合的系统性。“准”还指教材内容要对准师专培养目标的师范性和实用性，不要片面地向高层次教材看齐。

“宽”是教材在保证“三基”内容的基础上，注意反映物理规律的发现和发展过程，前辈物理学家的学术思想、实验和研究方法，从而拓宽学生的知识面，开阔学生的视野，并锻炼学生联系实际和实验动手能力。“宽”并不是离开培养目标的主旨，任意堆砌，而要做到“宽”而不杂。

“浅”是教材内容要从学生、学校和培养目标的实际出发，防止理论化，要考虑其可接受性，有利于培养学生自学能力，物理就是要‘即物说理’，重视联系物理实验、生产和生活实际，联系中学物理教材和教学的实际。加强物理图象和物理模型的教学，“浅”是深入浅出，要做到浅而不低。

“新”是教材内容、体系和风格都要有一定的新意，并要适当反映具有基础性质的现代物理科学新成就和一定的物理学前沿情况，加强教材内容的启发性。教材要做到这一点是不容易的，这套书在这方面做了一点尝试。

这套教材通过各编者和审订者对每册内容反复讨论和多次修改，向“准”、“宽”、“浅”、“新”方面做了一点努力，体现了师专教材的特色，符合师专的教学要求，可以作为师专普通物理试用教材，但由于时间仓促和水平的限制，书中不免还有疏漏欠妥或错误之处，至希广大读者提出宝贵意见，俾以再版时修改。

许国梁 于苏州大学
1987年2月

引 言

从十八世纪起，物理学迅速地发展，并逐步地形成了物理学的经典理论体系。运用经典理论，人们成功地解释了许多物理现象也解决了许多生产问题。在十九世纪八十年代，经典物理学几乎没有遇到什么重大的难题。这样，当时不少物理学家都认为物理学理论的发展已经完善，认为经典物理是物理学的“最终理论”。

到了十九世纪末和二十世纪初，正当人们为物理学的伟大成就而欢欣鼓舞之时，在物理学的许多领域中出现了一系列理论与实验的尖锐矛盾。在物理学晴朗天空的远处首先出现了两朵令人不安的乌云。这第一朵乌云是指寻找“以太”的迈克尔逊—莫雷实验。它否定了绝对静止的惯性系的存在。另一朵乌云就是指黑体辐射实验。1900年普朗克为了解释黑体辐射的实验事实，提出了能量子的概念，这是与经典理论根本对立的。几乎同时，人们对光的认识也有了进一步的发展。光电效应的实验使爱因斯坦提出了光量子的假设，后来康普顿效应又证实了光的微粒性。另外，光的波动性早已被衍射、干涉等现象所证实，因此光应该具有波动和微粒的双重性质。光的波-粒二象性揭示了微观世界的本质（关于光的波粒二象性已在本套教材的光学分册中详细叙述过了）。所以，正是这两朵小小的乌云很快地发展成物理学中的一场革命风暴，开创了物理学的新纪元。由此导致了两个面目全新的物理理论，即狭义相对论和量子理论的诞生，成为近

代物理学的两大支柱。正因为这样，在本教材中，我们安排了这方面的内容。

近代物理学的内容现在已经发展得极其丰富多采。因而，任何一本教科书都不可能把全部内容包括无遗。本教材除了相对论和量子力学的基本内容外，还选择了原子物理、原子核物理和基本粒子。作为近代物理学的开端——光的量子性已在光学中讲过了，在这里不再重复。

目 录

引 言

第一章 相 对 论

§ 1-1	狭义相对论产生的历史条件和实验基础	1
§ 1-2	狭义相对论的基本假设和洛仑兹变换	15
§ 1-3	相对论时空观	22
§ 1-4	相对论力学	40
*§ 1-5	物理定律的协变性	52
*§ 1-6	广义相对论简介	63

第二章 氢 原 子

§ 2-1	原子的核式模型	77
§ 2-2	氢光谱的实验规律	94
§ 2-3	玻尔的氢原子理论	100
§ 2-4	氢原子的椭圆轨道理论	114
§ 2-5	原子的轨道磁矩和空间量子化	122
§ 2-6	单电子原子状态的描述	132

第三章 量子力学基础

§ 3-1	物质的波一粒二象性	143
§ 3-2	波函数及其统计解释	149
§ 3-3	测不准关系	154
§ 3-4	薛定谔方程	158
§ 3-5	一维无限深势阱	163

§ 3-6	势垒贯穿	165
§ 3-7	线性谐振子	174
§ 3-8	氢原子的量子理论	184

第四章 电子自旋 碱金属原子

§ 4-1	碱金属原子光谱的实验规律	211
§ 4-2	碱金属原子光谱的理论解释	218
§ 4-3	电子的自旋	231
§ 4-4	碱金属原子光谱双线结构的解释	237
§ 4-5	氢原子光谱的精细结构	244

第五章 多电子原子

§ 5-1	角动量耦合	251
§ 5-2	氢原子的光谱和能级	258
§ 5-3	塞曼效应	262
§ 5-4	激光的产生	277
§ 5-5	泡利原理 原子的电子壳层结构	281
§ 5-6	原子基态的电子分布	286
§ 5-7	原子基态的确定	295
§ 5-8	X射线	302

第六章 原子核的性质和结构

§ 6-1	原子核的基本性质	320
§ 6-2	核力的基本性质	337
§ 6-3	原子核结构模型	350

第七章 原子核的放射性衰变

§ 7-1	放射性衰变的规律	360
§ 7-2	级联衰变和天然放射系	365

§ 7-3	α 、 β 、 γ 衰变	374
§ 7-4	穆斯堡尔效应	387
§ 7-5	放射性同位素的应用和防护	391

第八章 核 反 应

§ 8-1	加速器	400
§ 8-2	核反应	407
§ 8-3	反应能	414
§ 8-4	重核的裂变	424
§ 8-5	轻核的聚变	433
§ 8-6	原子能的利用	441

第九章 基 本 粒 子

§ 9-1	基本粒子发现的概况	464
§ 9-2	基本粒子的相互作用和粒子的分类	470
§ 9-3	守恒定律	476
§ 9-4	共振态	489
§ 9-5	强子的分类 夸克模型	493

第一章 相对论

自从1905年爱因斯坦(A. Einstein)创立狭义相对论以来,至今已经将近一个世纪了。它已从使人望而生畏的“天书”变成了实实在在的,经无数实验检验的正确理论。它和量子力学一起构成了近代物理学的二大支柱,为人类提供了一幅更为全面、更为深刻的物质世界的“图景”。可以毫不夸张地说,相对论和量子力学的建立是物理学史上的一次深刻的革命。

本章将着重介绍狭义相对论的实验基础,相对论所指出的新的时空观及其它的一些主要结果和应用。最后我们将简要地介绍一下广义相对论的概念。

§ 1-1 狭义相对论产生的历史 条件和实验基础

尽管爱因斯坦相对论的原理和结论十分抽象,与日常生活的经验格格不入,但是它毕竟不是凭空产生的,而是在一定历史条件下的产物。有它自己坚实的实验基础。为此,我们先来分析一下相对论产生前,经典力学中的相对性原理。因为它是相对论的思想根源之一。然后介绍在经典电磁理论中电磁波的传播与经典相对性原理的深刻矛盾,以及迈克尔逊-莫雷(A. A. Michelson-E. W. Morley)实验的零结果,用以说明爱因斯坦相对论产生的历史条件和实验基础。

一、力学相对性原理

在经典力学中我们已经知道，为了描述物体的机械运动，需要选择适当的参考系。实验表明，牛顿运动定律不是在任意的参考系中都能成立的，而仅在惯性系才成立。所谓惯性系是指惯性定律(牛顿第一定律)在其中成立的参考系。一个参考系是不是惯性系应该由实验来确定。

我们设想有一个配备各种力学仪器的物理实验室，设置在一辆作匀速直线运动的火车内。如果拉上窗帘而车厢又毫无震动，则在其中进行的一切力学实验将与静止实验室中进行的丝毫没有区别，我们不可能根据自己的感觉或根据实验室内所提供的一切力学实验，来判断出车厢究竟是静止还是在作匀速直线运动。早在1632年伽利略(G. Galileo)对在匀速运动船上进行的实验有一段极为生动的描述：“在这里(只要船的运动是等速的)，你在一切现象中观察不出丝毫的改变，你也不能够根据任何现象来判断船究竟是在运动还是静止。当你在地板上跳跃的时候，你所通过的距离和你一条静止的船上跳跃时所通过的距离完全相同……从挂在天花板下的装着水的酒杯里滴下的水滴，将竖直地落在地板上，没有任何一滴水偏向船尾方向滴落，虽然当水滴尚在空中时船在向前走……”这表明：一切彼此作匀速直线运动的惯性系对于描写运动的力学规律来说是完全等价的，并不存在一个比其它惯性系更为优越的惯性系。这一原理被称为力学相对性原理或经典相对性原理。有时也称伽利略相对性原理。

根据力学相对性原理，既然所有惯性系都是等效的，那么我们可把其中任一个惯性系假定为静止的，而别的惯性系则相对于它可能为运动，也可能静止。如果我们说某惯性系是运动的，那么必须首先指明它相对于哪个假定为静止的

惯性系而言，不存在一个真正的，绝对的静止惯性系。由此可知，力学相对性原理表明：不可能从任何力学实验来找到一个绝对静止的惯性系。

应该注意，力学相对性原理只讲不能通过力学实验来找到绝对静止的惯性系。人们自然会问，是不是能从电磁学的（光学的）实验来找到它呢？正是这个问题的分析导致了狭义相对论的产生。我们在稍后一些时候将详细讨论。在这里我们先来研究一下力学相对性原理的数学表述。

二、伽利略变换和经典时空观

我们已经知道，描写一个物体的运动可以采用不同的坐标系。我们可以在匀速运动的船上描写从天花板上落下的水滴，也能在岸上描述下落水滴的运动。在同一时刻把同一物体的坐标从一个坐标系变换到另一坐标系，这种变换称为坐标变换。伽利略变换就是从一惯性系变换到另一惯性系的坐标变换。

设 K 和 K' 为两个惯性系， K' 相对于 K 以速度 $\vec{v}$ 作匀速直线运动。为简单起见，我们假定相对速度 $\vec{v}$ 沿着 K 系的 OX 轴， OY 轴和 OZ 轴则与 K' 系的 $O'Y'$ 轴和 $O'Z'$ 轴分别平行（图1-1-1）。若开始运动时原点 O 和 O' 点重合，则由图容易看出 P 点在 K 系和 K' 系的空间坐标有如下关系

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \end{cases}$$

在建立上述方程时，实际上我们默认了一个在经典力学中认为是不言而喻的事实，即在所有的实验室内时间的流逝是完全相同的，也就是不论在 K 系还是在 K' 系内测量时间的值是

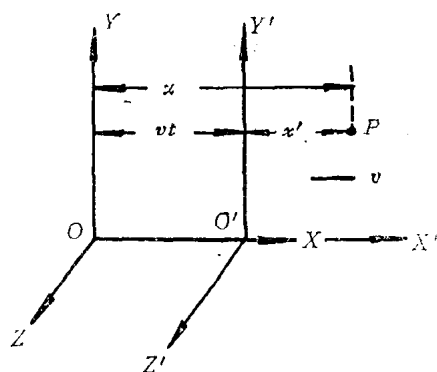


图 1-1-1

完全相同的，即

$$t' = t$$

所以，同一事件的空间坐标和时间坐标由K系变换到K'的联系方程完整地表示为

$$\begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad (1-1-1)$$

写成矢量形式为

$$\begin{cases} \vec{r}' = \vec{r} - \vec{v}t \\ t' = t \end{cases} \quad (1-1-2)$$

这就是所谓的伽利略变换方程

将伽利略变换式(1-1-1)中的空间坐标对时间求异，我们得到

$$\begin{aligned}u'_x &= u_x - v \\u'_y &= u_y \\u'_z &= u_z\end{aligned}\quad (1-1-3)$$

写成矢量形式即为

$$\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v} \quad (1-1-4)$$

这里 $u'_x = \frac{dx'}{dt'}$, $u_x = \frac{dx}{dt}$ 等是物体相对于 K' 系和相对于 K 系的沿 X 轴的速度分量。式(1-1-3)或式(1-1-4)称为经典物理学中的速度相加定理。

将式(1-1-3)或式(1-1-4)对时间求导,并考虑到 K 系和 K' 系的相对速度 $\vec{v}$ 是不随时间变化的常量,于是

$$\begin{cases} \frac{du'_x}{dt'} = \frac{du_x}{dt} \\ \frac{dv'_y}{dt} = \frac{du_y}{dt} \\ \frac{du'_z}{dt} = \frac{du_z}{dt} \end{cases} \quad (1-1-5)$$

或矢量式

$$\frac{d\vec{u}'}{dt'} = \frac{d\vec{u}}{dt} \quad (1-1-6)$$

从式(1-1-5)或式(1-1-6)可看到:物体的加速度不随坐标系而改变。我们把这种在所有惯性系中都相同的量称为绝对量或不变量。加速度就是在伽利略变换下的不变量。

伽利略变换式(1-1-1)在牛顿力学中是一个极其重要的关系式。这不仅是因为由式(1-1-1)可以推出速度、加速度等量的变换公式,更主要的是因为伽利略变换集中地反映了牛顿力学的时空观。