

# 大学物理学



下册

西南中南九所高等院校编

四川科学技术出版社

# 大学物理学

下 册

|        |        |           |
|--------|--------|-----------|
| 四川大学   | 西南交通大学 | 武汉大学      |
| 成都地质学院 | 贵州师范大学 | 解放军后勤工程学院 |
| 贵州工学院  | 四川工业学院 | 湖北汽车工业学院  |

四川科学技术出版社

一九八七年·成都

责任编辑：刘阳青

封面设计：曹辉禄

技术设计：周红军

ISBN 7—5364—0057—8/0.3

## 大学物理学

西南、中南九所高等院校 编

四川科学技术出版社出版

(成都盐道街三号)

四川省新华书店发行

四川新华印刷厂印刷

统一书号：13298·119

1987年8月第1版 开本 787×1092 1/32

1987年8月第1次印刷 字数 206 千

印数 1—14,700册 印张 9.5

定 价：2.00元

# 前 言

根据国家教委《关于制定高等学校工科基础课程1986—1990年教材建设规划的几点意见》的精神，参照理、工科及师范院校现行物理教学大纲的基本要求，由西南、中南地区九所理、工科及师范院校长期从事基础课教学的部份教师，集体编写了这本理、工科通用《大学物理学》教材。全书的基本内容按工科基本要求的140学时编写，同时考虑师范院校和理科非物理专业的教学需要，还编写了60学时的选讲内容（书中以“\*”号标出），这样，既满足了物理教学的基本要求，又为不同专业提供了较大的选择余地。全书的初稿于1986年7月在成都集体审查通过。

全书分为上、中、下三册，上册为力学与热学，共72学时；中册为电磁学和波动光学，共74学时；下册为近代物理，共54学时。

参加编写的人员有：

四川大学：杨友梅 黄邦俊 杨自觉 杨用炯

西南交通大学：黄泉保 李仁涛

武汉大学：张沪生 刘宏清 汤艳芬

成都地质学院：陈代授 林隆述

贵州师范大学：孙梅丽 龚彩萍 杨昌达

解放军后勤工程学院：范森春 史通源 李树河 蒲志文

贵州工学院：蒋述旦 陈建忠 翁琥倩 赵 丽

四川工业学院：左民 张绍成 李晓林

湖北汽车工业学院：陈楚翘 李 芬

全书由四川大学杨友梅、杨自觉、黄邦俊、杨用炯统编和定稿，最后由杨自觉通读一遍。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中疏漏不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

**编 者**

1986年12月于成都

# 目 录

## 第五篇 近代物理学

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| <b>第二十二章 狭义相对论</b>      | <b>3</b>  |
| § 22—1 伽利略变换和绝对时空观      | 4         |
| § 22—2 迈克耳孙—莫雷实验        | 8         |
| § 22—3 狭义相对论的两个基本假设     | 12        |
| § 22—4 同时性的相对性          | 14        |
| § 22—5 洛伦兹变换            | 17        |
| § 22—6 长度收缩和时间延缓        | 20        |
| § 22—7 相对论力学的重要结论       | 26        |
| 习题                      | 35        |
| <b>第二十三章 光的量子性</b>      | <b>37</b> |
| § 23—1 热辐射              | 37        |
| § 23—2 绝对黑体的辐射定律        | 39        |
| § 23—3 黑体辐射经典公式 普朗克量子假说 | 43        |
| § 23—4 光电效应             | 48        |
| § 23—5 康普顿效应            | 55        |
| § 23—6 光的波粒二象性          | 61        |
| 习题                      | 64        |
| <b>第二十四章 玻尔氢原子理论</b>    | <b>66</b> |

|              |                 |     |
|--------------|-----------------|-----|
| § 24—1       | 原子的有核模型         | 67  |
| § 24—2       | 氢原子光谱的实验规律      | 70  |
| § 24—3       | 玻尔理论            | 72  |
| § 24—4       | 夫兰克——赫芝实验       | 82  |
| § 24—5       | 玻尔理论的历史意义       | 85  |
|              | 习题              | 86  |
| <b>第二十五章</b> | <b>量子力学基础</b>   | 88  |
| § 25—1       | 物质波             | 89  |
| § 25—2       | 波函数的几率解释        | 95  |
| § 25—3       | 测不准关系           | 99  |
| § 25—4       | 薛定谔方程           | 105 |
| § 25—5       | 一维无限深势阱         | 109 |
| § 25—6       | 简谐振子            | 115 |
| § 25—7       | 势垒              | 120 |
|              | 习题              | 125 |
| <b>第二十六章</b> | <b>氢原子的量子理论</b> | 129 |
| § 26—1       | 氢原子的薛定谔方程       | 129 |
| § 26—2       | 分离变量法           | 131 |
| § 26—3       | 氢原子的能量和轨道角动量    | 136 |
| § 26—4       | 电子几率密度          | 144 |
| § 26—5       | 史特恩——盖拉赫实验      | 149 |
| § 26—6       | 电子自旋            | 154 |
|              | 习题              | 159 |
| <b>第二十七章</b> | <b>多电子原子</b>    | 162 |
| § 27—1       | 多电子原子的能量和电子壳层   | 162 |
| § 27—2       | 碱金属原子能级和光谱      | 167 |

|              |                     |     |
|--------------|---------------------|-----|
| § 27—3       | 粒子的全同性和泡里不相容原理      | 171 |
| § 27—4       | 元素的周期律              | 177 |
| § 27—5       | 内层电子跃迁 俄歇效应         | 186 |
|              | 习题                  | 190 |
| <b>第二十八章</b> | <b>激光</b>           | 192 |
| § 28—1       | 激光器概述               | 192 |
| § 28—2       | 受激辐射                | 195 |
| § 28—3       | 粒子数反转               | 196 |
| § 28—4       | 能级的寿命               | 199 |
| § 28—5       | 三能级系统和四能级系统         | 201 |
| § 28—6       | 光学谐振腔 阈值条件          | 205 |
| § 28—7       | 激光的频率特征 纵模和横模       | 209 |
| § 28—8       | 激光的特性及应用            | 212 |
|              | 习题                  | 215 |
| <b>第二十九章</b> | <b>固体的能带理论 超导电性</b> | 217 |
| § 29—1       | 经典电子论回顾             | 217 |
| § 29—2       | 电子的共有化              | 219 |
| § 29—3       | 固体的能带               | 221 |
| § 29—4       | 导体、绝缘体和半导体          | 223 |
| § 29—5       | 杂质半导体               | 228 |
| § 29—6       | p—n 结               | 231 |
| § 29—7       | 超导电性 约瑟夫孙效应         | 234 |
|              | 习题                  | 238 |
| <b>第三十章</b>  | <b>原子核</b>          | 240 |
| § 30—1       | 原子核的组成              | 241 |
| § 30—2       | 原子核的结合能 核力          | 244 |

|              |                        |     |
|--------------|------------------------|-----|
| § 30—3       | 核衰变                    | 248 |
| § 30—4       | 核反应 裂变和聚变              | 251 |
|              | 习题                     | 257 |
| <b>第三十一章</b> | <b>基本粒子</b>            | 258 |
| § 31—1       | 基本粒子的分类                | 258 |
| § 31—2       | 基本粒子的相互作用              | 261 |
| § 31—3       | 基本粒子的各种量子数             | 266 |
| § 31—4       | 守恒定律和对称性               | 272 |
| § 31—5       | 超多重态理论                 | 278 |
| § 31—6       | 基本粒子的结构                | 282 |
| § 31—7       | 规范理论                   | 284 |
|              | 习题                     | 286 |
|              | 下册习题参考答案               |     |
|              | 附录：普适物理常数、换算因子和有用的组合常数 |     |

## 第五篇 近代物理学

---

到十九世纪末，一方面经典物理学由于牛顿、麦克斯韦和卡诺等人分别总结了力学、电磁学和热力学的规律，好像很完善了；另一方面却与迅速积累起来的实验成果和科学发现有着尖锐的矛盾。例如，力学的相对性原理不能解释迈克尔孙—莫雷实验；热力学不能说明黑体辐射；电磁波理论不能解释光电效应等等。实际上，当时的物理学正处于一场大革命的前夜。

二十世纪初建立和发展起来的近代物理学突破了经典物理学的框架。它以相对论和量子理论为两大理论支柱，是关于高速（与光速相比）运动物体、物质微观结构和微观粒子运动规律等的物理理论。

近代物理的内容十分丰富，而且还在不断扩展出新的领域。本篇中，我们将先讨论近代物理学的两个理论支柱：相对论和量子理论；然后把这两种理论应用到原子、原子核、基本粒子和固体、激光等方面。在这些应用中，有些是属于理论性的，有些却属于实际的应用。

现代科学技术的突飞猛进，同近代物理的建立和发展密切相关。在近代物理的基础上发展起来的现代科学技术，一

方面是一种巨大的物质力量，正迅速改变着社会生产面貌和人类生活方式，对现代社会起着革命性的作用；另一方面作为一种巨大的精神力量，强烈地影响着人们的精神面貌和文化素养。现代科学技术已经成为现代社会发展的强大生产力，并深深地渗入了现代社会生活的每个角落。因而随着祖国四个现代化建设事业的深入发展，近代物理正在起着日益重要的作用。

## 第二十二章 狭义相对论

1905年爱因斯坦 (A. Einstein) 创建的狭义相对论 (简称相对论), 是关于空间、时间和物质运动的一种崭新的观念。它揭示出作为物质存在形式的空间和时间在本质上的统一性。

相对论建立在相对性原理和光速不变原理两个基本假设的基础上。在此基础上不仅推出了洛仑兹变换, 并且得到许多重要的结论。本章主要介绍三个内容: (1) 相对论的基本原理; (2) 相对论的时空观, 主要是同时的相对性、长度收缩和时间延缓; (3) 相对论动力学的重要结果。当物体的速度接近光在真空中的速度时, 必须采用相对论力学; 但在低速 (远小于光速  $c$ ) 范围内, 相对论得出与牛顿力学一致的结果。因此, 牛顿力学可看作是相对论力学在低速范围内的一个近似。

相对论不仅已为大量的实验所证实, 而且在天体物理、原子核物理和基本粒子等领域中得到广泛应用。它已成为现代科学技术不可缺少的理论基础, 是近代物理学的理论支柱之一。

## § 22—1 伽利略变换和绝对时空观

伽利略认为一切科学认识必须来自经验，他第一个系统地将实验方法引入科学中。正是通过观察和实验，他提出了著名的伽利略相对性原理：在一惯性系内所作的任何力学实验，都不能确定该惯性系相对于其它惯性系是否在运动；换句话说，从力学观点来看，一切惯性系都是等价的，没有那一个惯性系会比其它惯性系更优越。

我们知道，伽利略相对性原理的数学论断是：力学规律（牛顿定律）对所有惯性系都是相同的。为了进一步说明这一数学表述方式所包含的物理内容，我们考虑两个相对运动的惯性系间的坐标变换。

设两个惯性系  $S$  ( $oxyz$ ) 和  $S'$  ( $o'x'y'z'$ )，各对应坐标轴互相平行，相对运动速度  $u$  沿  $X$  轴方向，并以原点  $o$  和  $o'$  重合时刻为计时起点（图 22—1）。一质点  $P$  在  $S$  系的空间坐

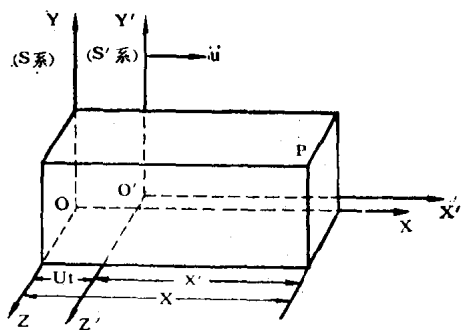


图 22—1 伽利略变换的推导

标为 $(x, y, z)$ ，时间为 $t$ ，而在 $S'$ 系中的空间坐标为 $(x', y', z')$ ，时间为 $t'$ 。我们要找出这二者的关系，就需要确定在两个坐标系里对于时间和空间的量度有无不同。这就涉及到人们对于时间、空间物理性质的认识，即时空观。

在经典力学中，关于时间和空间有两个与人们生活经验相符而被接受的基本观点：（1）时间间隔是绝对的。两个事件相隔的时间间隔无论在哪个惯性系中测量都是相同的，与观察者的运动无关；也就是说，在所有惯性系中，时间的流逝是相同的。正如牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中所述：“绝对的纯粹的数学的时间，就其本性来说，均匀地流逝而与任何外在的事物无关。”这样，在一个惯性系中同时发生的两事件，对另一惯性系也一定是同时发生的，即同时性的概念是绝对的。（2）空间间隔（长度）是绝对的，即一物体的长度无论在那个惯性系中测量都是相同的，与观察者的运动无关。牛顿在《自然哲学的数学原理》中写道：“绝对空间就其本性来说，与任何外在的事物无关，始终保持着相同和不动”。关于时间、空间的这种认识，称为绝对时空观。显然，绝对时空观把时间、空间作为同物质一样的独立存在、而与物质运动无关的物理事件载体或框架，并以时间和空间彼此独立的一个惯性系作用于一切物质客体。

根据绝对时空观，质点 $P$ 在 $S'$ 系出现的时刻 $t'$ ，应该和在 $S$ 系中出现的时刻 $t$ 相等，即

$$t' = t$$

所以，质点 $P$ 在 $S'$ 系中的空间坐标 $(x', y', z')$ 和时间 $t'$ ，与 $S$ 系中的空间坐标 $(x, y, z)$ 和时间 $t$ 之间有

如下关系：

$$\begin{cases} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases} \quad \text{或} \quad \begin{cases} x = x' + ut' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \quad (22-1)$$

式 (22—1) 称为伽利略变换式，简称伽利略变换。

伽利略变换明确地给出  $t = t'$ ，也即  $\Delta t = \Delta t'$ 。这就十分清楚地表明时间间隔的绝对性和同时性概念的绝对性。

为测量空间两点 1 和 2 间的距离（或一物体的长度），我们必须在  $t$  时刻同时确定这两点的空间坐标。设它们分别为  $(x_1, y_1, z_1)$  和  $(x_2, y_2, z_2)$  以及  $(x_1', y_1', z_1')$  和  $(x_2', y_2', z_2')$ ，它们的伽利略变换如下：

$$\begin{cases} x_1' = x_1 - ut \\ y_1' = y_1 \\ z_1' = z_1 \end{cases} \quad \text{和} \quad \begin{cases} x_2' = x_2 - ut \\ y_2' = y_2 \\ z_2' = z_2 \end{cases}$$

相减得

$$\begin{cases} x_2' - x_1' = x_2 - x_1 \\ y_2' - y_1' = y_2 - y_1 \\ z_2' - z_1' = z_2 - z_1 \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} \Delta x' = \Delta x \\ \Delta y' = \Delta y \\ \Delta z' = \Delta z \end{cases}$$

此结果充分说明，空间间隔的绝对性，即空间两点间的距离（或一物体的长度）无论在哪个惯性系中测量都是相同的。

将伽利略变换式 (22—1) 对时间  $t$ （或  $t'$ ）求一次

导数，得：

$$\begin{cases} \frac{dx'}{dt'} = \frac{dx}{dt} - u \\ \frac{dy'}{dt'} = \frac{dy}{dt} \\ \frac{dz'}{dt'} = \frac{dz}{dt} \end{cases} \quad \text{即} \quad \begin{cases} v_{x'}' = v_x - u \\ v_{y'}' = v_y \\ v_{z'}' = v_z \end{cases}$$

写成矢量式，则

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} \quad (22-2)$$

其中  $\vec{v}$  为质点 P 相对于 S 系的速度， $\vec{v}'$  为质点相对于 S' 系的速度， $\vec{u}$  为 S' 系相对于 S 系的速度。式 (22-2) 就是经典力学的速度合成定理。

将 (22-2) 式对时间 t (或 t') 再求一次导数，注意

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = 0, \text{ 使得:}$$

$$\frac{d\vec{v}'}{dt'} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{即} \quad \vec{a}' = \vec{a} \quad (22-3)$$

(22-3) 式表明，在不同的惯性系中，质点的加速度总是相同的。考虑到对于不同的惯性系，同一物体的质量相同以及物体间的相互作用力相同。因此，只要对某一惯性系牛顿运动定律  $\vec{F} = m\vec{a}$  成立，那么对其它任何惯性系，牛顿运动定律  $\vec{F} = m\vec{a}$  也必定成立。这就是说，力学定律在所有惯性系中都相同。即牛顿运动定律在伽利略变换下保持不变。

导出伽利略变换的核心思想是绝对时空观。这种既不依赖于物质的运动，又彼此独立的绝对空间和绝对时间实际上

都是不存在的，是把低速范围内总结出来的结论加以绝对化的产物。空间和时间都不是脱离物质运动的绝对不变的独立存在，它们都只不过是物质运动的形式，都依赖于物质的运动状态，并且相互之间也不是无关的。

## § 22—2 迈克耳孙——莫雷实验

### 一、以太

十九世纪中，对电磁现象的研究取得了迅速的进展。1862—1864年间，麦克斯韦建立了由四个微分方程构成的方程组，为经典电磁理论奠定了牢固的科学基础，并据此证明：电磁过程的实质，是电场和磁场在相互转化过程中以波的形式在空间传播；光也是电磁波。从而实现了电、磁、光的统一，完成了物理理论的一次大综合。由麦克斯韦方程组解出电磁波（亦即光）在真空中的传播速度为 $c$ （ $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ），而且与光源的运动无关。

经典力学认为，所有波的传播都依赖于媒质，而波速取决于媒质的性质。于是认为光的传播也需要媒质——以太；光速由以太的性质决定；只有对静止的以太，光的传播速度才是各向同性的，才会是 $c$ 。任何以速度 $u$ 相对于以太运动的观察者将会感受到“以太风”，且测量到的光速不再是 $c$ ，光的传播速度也不再是各向同性的。在力学上一切惯性系都是等价的，然而从电磁学（或光学）的研究中，却“发现”了一个优越的惯性系，即相对于以太静止的参考系——绝对参考系。