

大学物理学讲义

上册

李天增 高家碧 编

西南石油学院

一九八四年十二月

编写说明

本讲义是由原来我们参改工科普通物理教学大纲、根据我们在教学实践中的体会、并参阅一些中外教材所编印的讲义经试用后修改而成的。

本讲义力图体现下述新意：

在课程的理论上能有一个较为现代一些的体系和较高一些的起点；
在课程的思想能有一个较为清楚一些的线索，并把它前后联系起来；

在课程的能力培养上能有一个较为明确一些的要求，并把它贯彻在本讲义的始终。

总之，我们力图讲清楚普通物理学的基本理论，并以此为基础讲清楚这些理论所体现的思想和方法。

虽然，我们对这些想法是比较明确的，但要实现它，深感是非常困难的。我们清楚地注意到：以译文出现在我国的第一本《普通物理学》自问世至今，普通物理的教学和教材已经历了五十余年的变化和发展；就我们所看到的同属中外教材有约二十种；即就是从事普通物理教学的中年教师，也有二十余年的教学经验；一些知名人士编写的各种普通物理教材，很受欢迎地已用了许多年。在这种情况下，要编写出一种较为实用而又较有特点的讲义，的确是并不容易的。

好在，新的形势所提出的新要求，许多学者必有的治学之道，许多工程师做出显著成绩的成功经验，都使我们体会到：某些具体知识，很可能是易于忘记的，但通过它所领会到和掌握到的科学思想和科学方法，却是长久受益的。因此，必需把培养能力的要求，明确地贯穿在整个普通物理的教学之中；而掌握较活的知识，则是达到能力的集中表现——创造性的桥梁。在新形势的鼓舞下，在各方面的支持下，我们试编了这本普通物理讲义，以期在知识和能力的结合上做些尝试工作。

在此，向为本讲义的编写所参攷、所引用或受到启发的各书刊文献的作者表示谢意和敬意。

我们的水平很低，我们的体会很肤浅，加上时间极为仓促，本讲义的缺点和错误一定不少，我们殷切期望得到大家的批评指正。

编者

一九八四年二月七日

绪 论

第一节

物理学和普通物理学

1. 物理学是研究粒子和场的普遍性质和运动规律的科学。

自然界是由运动的物质组成的。物质有两种，一是粒子，一是场。它们的运动和变化构成了自然界里诸如物理的、化学的以至生物的各种运动现象。就目前人们对自然界的认识；从空间上讲，是从 10^{22} 米（星系的大小）到 10^{-15} 米（原子核的大小）；从时间上讲，是从 10^{18} 秒（一百亿年，目前射电天文望远镜所看到的最远星体上的电波传到地球上所需要的时间）到 10^{-23} 秒（强相互作用衰变的时间）；从质量上讲，是从 10^{49} 公斤（星系的质量）到 10^{-31} 公斤（电子的质量）。在这样一个巨大的自然界里，存在着非常多的非常复杂的关于粒子和场的运动现象。就人们有所认识的物质而言，已认证，有100多种不同的元素，有大约 10^3 种同位素，有大约 10^6 种以上的化合物，一个细胞中含有 10^{12} 到 10^{14} 个原子。人们对从重力场、地磁场一直到各种电磁场的研究，不仅极为迅速地发展了许多尖端科学技术，也改变了人们的生活面貌。但是，物理学所研究的是粒子和场的普遍性质，它是在一切运动现象中普遍存在、普遍具有的性质，因而，它们的运动规律就有普遍性和基本性，它不可能反映与粒子和场有

关的其它复杂的或高级的运动现象和规律。

2. 物理学是一门实验科学。它源于科学实验和生产实践，它能迅速地推动社会生产的发展。从蒸汽机的使用、电的发明和原子能的利用所引起的三大产业革命，到今天以电脑为代表的第四次产业革命，无不以物理学上的重大突破为先行，这些重大突破，使整个自然科学与人类生活发生了重大改变；而工程技术和生产实践中所出现的新问题，又给物理学提出了丰富的新的研究课题。物理学与自然科学和生产技术的关系是极为密切的：物理学提供了诸如机械能、电能、原子能等多种形式的新能源；物理学提供了诸如半导体材料、磁性材料、高强度材料等多种性能的新材料；物理学提供了诸如各种光谱分析、各种电镜分析以及高温、高压、高真空等多种要求的新技术和新的测试手段。物理学还与许多专业实际相结合，发展起日益增多的边缘学科，甚至发展起了分子生物学。工科院校的许多后继课程，也是以物理学的理论为基础的。

3. 十九世纪后半叶，在经典物理逐渐成为较完整的体系后，在大学教育中才出现了通论式的物理学课程。我国，在1932年将《General Physics》翻译作《普通物理学》，一直到今天。

《普通物理学》中的“普通”二字，绝不是说它的内容普普通通，而是说：

它主要以成熟的理论比较全面地说明物质最基本的运动形态及其运动规律的基本内容，而对每一种运动形态及其规律并不作更深入的叙述和探讨。这就是《普通物理学》在理论上的通论性。

它的每一部分内容，都是一个专门的分支学科，都有着极为丰富的内容和需要进一步探讨的问题；它的内容给与物理有关的许多后继课程乃至边缘学科打下了基础。这就是《普通物理学》在内容上的发展性。

它在物理学史、实验规律的分析、物理模型的抽象、理论的建立和发展以及数学演绎、名人事迹等多方面所表现出的科学思想和科学方法，在整个自然科学的发展过程中已经起了并将继续起着主导的作用。这就是《普通物理学》在能力上的普遍性。

因此，《普通物理学》是工科院校的一门重要基础课。掌握它的理论和方法，是完成工程师的基本训练的一个重要组成部分。正如爱尔兰物理学家丁铎尔 (Tyndall, 1820-1893) 在130年前所说过的：“物理学可养成锐敏之观察，精密之推理及抽象之概括等。不仅对智力方面之修养有特殊之价值，并与感情意志方面之涵养，亦有极大之裨益”。

第二节

普通物理学的主要线索

在本讲义中，将普通物理学的主要理论、方法和思想，概括为如下的一个线索：

一个过程——在研究问题的认识程序上，一般采取由静态到动

态，由不变到变化的过程。

两种方法——在研究问题的方法上，採用“力”的方法和能量方法这样两种方法。

三种重要的物理模型——在对实在的物理系统所抽象出来的物理模型中，下述三种是最重要的：一种是以系统在线度上作出简化为特点的物理模型，如质点，“无限大”的带电平板，“无限长”的载流导线等；一种是在系统的运动形式上作出简化为特点的物理模型，如简谐振动，简谐波，谐振子，振盪偶极子等；一种是对构成系统的诸粒子间的相互作用作出简化为特点的物理模型，如理想气体，弹性媒质等。

四种极限近似——在某一内容的理论关系上，有下列四种极限近似：牛顿力学是质点的运动速率 $v \rightarrow 0$ 时相对论力学的极限近似；理想气体是压强 $P \rightarrow 0$ 时实际气体的极限近似；几何光学是波长 $\lambda \rightarrow 0$ 时波动光学的极限近似；经典物理是普朗克常数 $h \rightarrow 0$ 时量子物理的极限近似。

五种主要规律——在物质及其运动的规律上，有下列五种主要规律，即物质及其运动的独立性、守恒性、有势性、统计性和二象性。

六项主要能力——在能力培养上，除了应培养自学能力，小结能力，看参考书的能力等这样一些与各门功课、各个教学环节有关的能力外，着重应注意训练能体现普通物理学内容特点的下述六项能力：

正确表述物理量的单位和量纲分析的能力；

图解与图解分析的能力；

对物质的主要运动形式及其规律进行物理分析的能力；

将实在的物理系统抽象为物理模型的能力；

对物理模型进行数学演绎的能力；

将基本原理用于物理量和物理规律的测量和对实验结果进行理论分析的能力。

以上所概括的，仅在于对我们的学习提出一个较为系统的线索，至于具体内容尚需我们在学习中体会、补充并加深理解。例如，物质及其运动的独立性，是以力的独立作用原理为基础而成为运动的迭加性和场的迭加性的根据，从运动的合成与分解、振动、波动等机械运动的迭加到电磁场的迭加和光的干涉等，都是物质及其运动的独立性这一规律的具体表现。

第三节

单位和量纲

1. 物理规律都是以物理量间的函数关系表示的。具有数值的和单位的量叫物理量。

国际单位制 (International System of Units, 缩写为 SI), 是1960年第十一届国际计量大会上提出并在1970年第十四届国际计量

大会上正式批准并建议各国使用的单位制。1970年以来，已有40多个国家决定采用。英国已经采用。苏联和美国分别宣布要在1978年和1983年完成单位制的转换。我国也已决定逐步采用。下面对SI作个介绍。

SI由基本单位、辅助单位、导出单位和一些规程组成。

基本单位有七个，即长度单位（名称为米，符号为 m ）、质量单位（千克或公斤， kg ）、时间单位（秒， s ）、电流强度单位（安培， A ）、热力学温度单位（开， K ）、物质单位（摩尔， mol ）和发光强度单位（坎， Cd ）。这七个基本单位都有明确的定义；它们是七个物理量；并有独立的量纲。

辅助单位有两个，即平面角单位（名称为弧度，符号为 rad ）和立体角单位（立体弧度， Sr ）。

导出单位非常多，在SI中仅特别命名并批准了十七个导出单位的单位符号，如电荷（单位名称为库仑，符号为 C ，从定义方程有 $A \cdot s$ ）、力（牛顿， N ， $kg \cdot m \cdot s^{-2}$ ）、能量（焦耳， J ， $N \cdot m$ ）、压强（帕， Pa ， $N \cdot m^{-2}$ ）、频率（赫兹， Hz ， s^{-1} ）、功率（瓦特， W ， $J \cdot s^{-1}$ ）等，以后将陆续介绍。其它的导出单位，没有自己单独使用的符号，它的符号由数学上的乘除符号和某些幂次号所组成，如SI的速度单位是米每秒（ $m \cdot s^{-1}$ ），磁场强度的单位是安培每米（ $A \cdot m^{-1}$ ）等。

在SI中有九条规程，现只介绍两条：

第一条，只有以人名命名的单位，第一个字母才能大写。

第二条，规定了一些词头符号及意义。例如：符号 M ，表示倍
绪-6

乘系数为 10^6 , 即 mega (兆); m , 为 10^3 , 即 milli (毫); μ , 为 10^6 , 即 micro (微); n , 为 10^9 , 即 nano (那诺) 等, 如 $1\text{ nm} = 10^9$ 米。并严禁使用双词头, 例如: 可使用 Gg , 而不能使用 Mkg ; 可使用 13.58 m , 而不能使用 $13\text{ m } 580.\text{ mm}$ 。

其它单位制中的单位可转换成 SI 的单位。

2. 既然导出量是从基本量导出的, 所以任何一个导出量都可用基本量的某种组合关系来表示。用基本物理量的简化组合关系表示物理量的式子, 叫做量纲。

在 SI 中, 基本物理量和基本单位有七个, 因此独立的量纲有七个。任何物理量包括力学的、电学等的物理量的量纲都可由这七个独立量纲中的有关量纲表示出来。

例如, 在力学中, 以 L 代表长度, M 代表质量, T 代表时间; 便有下列导出物理量与它们对应的量纲 (方括号中的式子):

速度 $\dots [LT^{-1}]$

力 $\dots [MLT^{-2}]$

力矩 $\dots [ML^2T^{-2}]$

功 $\dots [ML^2T^{-2}]$

例如, 在电学中, 以 A 表示电流强度, 便有

介电常数 $\dots [M^{-1}L^{-3}T^4A^2]$

电容 $\dots [M^{-1}L^{-2}T^4A^2]$

电导率 $\dots [MLT^{-2}A^{-2}]$

磁通量 $\dots [ML^3T^{-3}A^{-1}]$

物理量的量纲只能以基本量表示, 作为辅助量的弧度和立体弧度, 均不计入量纲。例如, 角速度的量纲为 $[T^{-1}]$, 角加速度的量纲为 $[T^{-2}]$ 。

另纲具有下述性质：若一导出单位与某一基本单位无关，就说这导出单位对于这一基本单位的另纲为零。因此，纯粹的数宇无另纲，例如指数就是无另纲的另。七个独立物理另之间的另纲均为零。引入另纲，有下列好处：

第一、非常明显地示出了导出另与基本另的关系。例如速度的另纲是 $[LT^{-1}]$ ，说明速度值与路程成正比，与时间成反比。

第二、因为另纲是诸基本单位组合的最简单结果（能约去的已经约去了），所以方便于进行不同单位的换算。

第三、因为一个正确等式两端的另纲必需相同，所以可较快地用另纲检验“等式”两端是否真的相等；只要是另纲相同，该“等式”原则上是正确的；剩下的事就是检查在数值上是不是相等。因此，在我们得出某一个物理另的表达式后，如该表达式的另纲不是该物理另的另纲，那么这个表达式就有大的错误，必需从根本上纠正。

第四、用另纲可以确定一物理另与其它物理另之间的一些关系。

例如：经验使我们知道，对自由落体，一定是该物体落下的高度 h 和重力加速度 g 越大，它下落的速度 v 越大，那么 v 与 h 和 g 有什么关系呢？设

$$v = K g^a h^b$$

式中， K 是数学系数， a 和 b 分别为 g 和 h 的方次。从另纲上讲， $[v] = [LT^{-1}]$ ，则 $[g^a h^b]$ 也应为 $[LT^{-1}]$ 。今 $[g] = [LT^{-2}]$ ， $[h] = [L]$ ，要使等式两端的另纲相同，必需是 $a = \frac{1}{2}$ ；但此时，也必有 $b = \frac{1}{2}$ 。由

此，在 $a=b=\frac{1}{2}$ 时有

$$V=K(yh)^{\frac{1}{2}}=K\sqrt{gh}$$

式中的数学系数，只能由实验或理论求出。事实上，我们已经知道， $K=\sqrt{2}$ ，即 $V=\sqrt{2gh}$ 。

以上就是量纲分析的要害。在以后的有关问题中我们还要再作介绍，它对科学研究工作是一个很有用的手段。

3. 数量级

数量级 (orders of magnitude) 是物理学上常用的一种语言，例如说，电子质量的数量级是 10^{-30} (公斤)。一个量的数量级，是在相差不到10倍的范围内可以精确表示该量的一个数值。按此定义，电子的质量可以是 1×10^{-30} (公斤)，也可以是 9×10^{-30} (公斤)，就数量级而言，它们都是正确的；而电子质量的精确值是 $(0.910954 \pm 0.000005) \times 10^{-30}$ (公斤)。

“数量级”常以10的幂次表示，并且有下述性质：

第一，它只表明了一个量在大小上的大致情况。

第二，只有在单位相同时，才能比较二量的数量级。

第三，同一数量级的二量，相差不到10倍。因此，相邻二数量级间就相差10倍。

例如，一些数量级如下：

已知的宇宙半径约为 10^{26} (米)，宇宙中的核子 (中子加质子) 总数约为 10^{80} 个。

人大约由 10^{16} 个细胞组成，一个细胞含有大约 10^{12} 到 10^{14} 个原子。

地球—太阳系统的结合能为 10^{33} (焦耳)。

质子在现代加速器中所得到的最大能量为 10^8 (焦耳)。

微波光子的能量为 10^{-23} (焦耳)。

与本课程有关的一些物理量的数量级，以后将陆续介绍。

“数量级”，也简称“量级”。

第 I 部分

粒子及其运动

导 言

物质有两种存在形式，一种是粒子，一种是场。

任何物体都可看成是具有一定质量、一定形状和一定内部构造的粒子。粒子又分宏观粒子与微观粒子两种。这一部分研究宏观粒子的运动规律。

这一部分的物理模型有质点、刚体、谐振子和理想气体。它们之间的关系是：质点是仅有质量而忽略其形状的粒子；刚体是由大量的、有相互作用力的、但其相对位置假定不变的粒子分子所聚集成成的固体；理想气体是由大量的、忽略其相互作用的、在作热运动的质点分子所聚合成的气体；而谐振子是作谐振动的质点。

有了这些物理模型，我们还需要把运动条件及运动形式加以简化。质点作谐振动，刚体作定轴转动，气体处于热平衡状态等，就是这种简化。

质点的运动，是一种单粒子运动，而气体分子的热运动，却是一种多粒子运动。虽然，从单个粒子讲，作热运动的每个气体分子的运动规律也应遵守质点的运动规律，但它绝不能反映多粒子的运动规律。这就提出了必需用新的方法——统计平均的方法——研究系统内多粒子的热运动规律的问题。

牛顿定律是确定质点运动规律的理论基础。牛顿定律所确定的

质点运动的瞬时规律，与在引入功和能等重要物理概念后所导出的各过程规律，构成了牛顿力学，或称经典力学。

在这一部分用到的“以不变代变”的物理思想和数学方法，是一个非常重要的能力。

此外，这一部分所阐明的下述结果，以后要经常用到并加以发展：

粒子及其运动规律的独立性、守恒性、有势性和统计性，在理论上具有特别重要的意义；

粒子及其运动规律的独立性、相对性、矢量和瞬时性，在方法上具有特别实用的意义；

粒子及其运动规律仅与始末状态有关的能量守恒、动量守恒和角动量守恒这三个守恒定律，无论对宏观粒子和微观粒子都是普遍适用的。

图解和图解分析的方法，在这一部分虽然开始用到，但用得却是非常多的。

当压强趋于零时，真实气体，就退到理想气体，这是普通物理学中的第一个极限近似。

大学物理学讲义目录

- 第 I 部分 粒子及其运动 第 II 部分 场及其运动
第 III 部分 波动 第 IV 部分 物质的统一运动

上 册

绪论

第 I 部分 粒子及其运动

导 言

第一章 质点运动的基本规律

第一节 模型与方法	(1.1)
第二节 质点运动状态的描述	(1.5)
第三节 例——运动方程的意义	(1.12)
第四节 质点运动定律	(1.15)
第五节 质点的相对运动	(1.21)
第六节 经典的时空性质	(1.25)
第一章习题	(1.29)

第二章 刚体的运动

第一节 刚体运动状态的描述	(2.1)
第二节 质心的运动	(2.7)

第三节	转动定律	.....	(2·14)
第四节	刚体的角动量	.....	(2·24)
第二章习题			(2·27)

第三章 守恒定律

第一节	动量守恒定律	.....	(3·1)
第二节	角动量守恒定律	.....	(3·8)
第三节	功和能	.....	(3·12)
第四节	能量守恒定律	.....	(3·14)
第三章习题			(3·33)

第四章 谐振动

第一节	谐振动的力学规律	.....	(4·1)
第二节	例——“弹性”与“惯性”的重要意义	.....	(4·5)
第三节	谐振动的能量变化规律	.....	(4·7)
第四节	谐振动的合成	.....	(4·10)
第四章习题			(4·16)

第五章 热运动

第一节	真实气体与理想气体	.....	(5·1)
第二节	理想气体平衡态的统计规律	.....	(5·10)