

高等学校教学用书

上册

大学物理

DAXUE WULI

孙朝义 主编

中国矿业大学出版社



内 容 简 介

大学物理

(上册)

孙朝义 主编

(上册) 物理学大

孙朝义 主编

(上册) 物理学大

孙朝义 主编

中国矿业大学出版社

51.01.1.10.10

11.0

内 容 简 介

本书是根据高等工业学校“大学物理课程教学基本要求”，本着循序渐进、突出重点、便于教和学的原则编写而成的。

全书共分上、中、下三册。上册包括力学、机械振动和机械波、分子物理学和热力学；中册包括电磁学；下册包括光学和近代物理基础。

本书为煤炭系统高等工科院校教学用书，也可作为其它院校一些专业的参考书。

责任编辑：何其华

技术编辑：关湘雯

大 学 物 理 (上册)

孙朝义 主编

中国矿业大学出版社出版

江苏省新华书店经销

中国矿业大学印刷厂印刷

开本850×1168毫米 1/32

印张11.375 字数330千字

1990年12月第一版

1990年12月第一次印刷

印数 1——14000册

ISBN 7-81021-423-8

O·17

定价：4.40元

序

本课程是高等工科院校的一门重要基础课，其目的在于使学生较系统地掌握物质运动的基本规律，培养学生运用基本规律对一般问题进行理论分析和计算的能力。

在本书的编写中，我们本着努力体现“大学物理课程教学基本要求”的原则，做到既要便于教师教，又要便于学生学；力求概念明确、文字通顺、说理清楚；注意控制篇幅，并适当增加应用知识；做到习题与原理的紧密配合，并有适当的阶梯。

限于水平和时间仓促，本书定有不少缺点和错误，衷心希望读者提出宝贵意见和建议。

参加本分册编写工作的有孙朝义、范修道、王六和、权正锦、蔡永清、张宝福、李鑫晟、王琦，全书由孙朝义主编。

全书插图由刘德兰同志描绘，在此表示感谢。

编 者

1990年8月

目 录

绪论	(1)
----	-------

第一篇 力学

第一章 质点运动学	(8)
-----------	-------

§ 1-1 参照系 坐标系 质点	(8)
------------------	-------

§ 1-2 位置矢量 位移	(10)
---------------	--------

§ 1-3 速度 加速度	(14)
--------------	--------

§ 1-4 相对速度和相对加速度*	(21)
-------------------	--------

§ 1-5 直线运动	(24)
------------	--------

§ 1-6 平面运动	(32)
------------	--------

思考题	(43)
-----	--------

习 题	(44)
-----	--------

第二章 质点动力学的基本定律	(49)
----------------	--------

§ 2-1 牛顿运动定律	(49)
--------------	--------

§ 2-2 力学中常见的几种力	(52)
-----------------	--------

§ 2-3 国际单位制与量纲	(57)
----------------	--------

§ 2-4 牛顿运动定律应用	(60)
----------------	--------

§ 2-5 牛顿运动定律与非惯性参照系*	(68)
----------------------	--------

思考题	(69)
-----	--------

习 题	(70)
-----	--------

第三章 功和能	(75)
---------	--------

§ 3-1 功的概念	(75)
------------	--------

§ 3-2 动能 动能定理 (79)

§ 3-3 保守力的功 势能 功能原理 (83)

§ 3-4 机械能守恒定律 能量转换与守恒定律 ... (92)

思考题..... (98)

习 题..... (99)

(第四章 动量)..... (103)

§ 4-1 动量 冲量 动量定理 (103)

§ 4-2 质点组的动量定理 动量守恒定律 (109)

§ 4-3 碰 撞..... (114)

(8) 思考题..... (117)

(8) 习 题..... (117)

(第五章 刚体的转动)..... (121)

(11) § 5-1 刚体及其运动类型 (121)

(13) § 5-2 刚体的定轴转动 (122)

(13) § 5-3 力矩 转动惯量 转动定律 (126)

(33) § 5-4 力矩的功 转动动能 动能定理 (137)

(31) § 5-5 动量矩和冲量矩 动量矩守恒定律 (142)

(11) § 5-6 刚体的进动 (147)

(31) 思考题..... (150)

(31) 习 题..... (151)

(33) (151)

(73) (151)

(33) (151)

第二篇 机械振动和机械波

第六章 机械振动..... (157)

(30) § 6-1 简谐振动及其特征 (158)

(07) § 6-2 描述简谐振动的物理量 (161)

(27) § 6-3 简谐振动的几何表示法 (169)

(27) § 6-4 简谐振动的能量 (171)

§ 6-5 阻尼振动 受迫振动 共振	(172)
§ 6-6 简谐振动的合成	(176)
思考题	(184)
习 题	(185)
第七章 机械波	(191)
§ 7-1 机械波的产生和传播	(191)
§ 7-2 波速 波长 波的周期与频率	(193)
§ 7-3 平面简谐波的波动方程	(196)
§ 7-4 波的能量 能流密度 波的吸收	(205)
§ 7-5 波的反射 折射 衍射	(212)
§ 7-6 惠更斯原理及其应用	(214)
§ 7-7 波的叠加 波的干涉	(216)
§ 7-8 驻 波	(219)
§ 7-9 声 波	(225)
§ 7-10 多普勒效应*	(227)
思考题	(230)
习 题	(231)

第三篇 分子物理学和热力学

第八章 气体分子运动论	(237)
§ 8-1 物质分子运动论的基本概念 理想气体状态方程	(238)
§ 8-2 理想气体的压强	(245)
§ 8-3 理想气体的温度	(250)
§ 8-4 能量按自由度均分原理 理想气体的内能	(253)
§ 8-5 气体分子速率分布定律与能量分布定律 ...	(262)

§ 8-6	气体分子的平均碰撞频率 平均自由程 ...	(272)
§ 8-7	气体内的迁移现象*	(276)
§ 8-8	真实气体 范德瓦耳斯方程*	(283)
思考题		(286)
习 题		(288)
第九章 热力学		(292)
§ 9-1	热量 功 内能	(292)
§ 9-2	热力学第一定律	(297)
§ 9-3	热力学第一定律对理想气体等值过程的应 用	(298)
§ 9-4	气体的摩尔热容	(308)
§ 9-5	理想气体的绝热过程	(312)
§ 9-6	循环过程 卡诺循环	(319)
§ 9-7	自发过程及其不可逆性	(329)
§ 9-8	热力学第二定律	(332)
§ 9-9	熵*	(338)
思考题		(346)
习 题		(347)
附录 常用物理常数		(353)

绪 论

物理学的研究对象和在工科院校讲授

《大学物理》这门课程的目的

物理学和其它自然科学一样，研究我们周围物质世界的客观性质。

客观世界是物质的，一切物质都在永恒不停地运动中，宇宙间的一切现象，都是物质的各种不同运动形式的表现。物质的各种不同运动形式都有其自己的特殊规律性，不同的学科以不同的运动形式为研究对象。物理学所研究的是物质运动的最基本最普遍的形式（机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等）和它们之间的相互转换。由于物理学所研究的运动形式，存在于一切高级的和更复杂的运动形式（例如化学的、生物的等等）之中，因此，物理学所研究的物质运动规律，具有普遍性。例如，宇宙中的任何物体，不论它的化学性质如何、有无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；一切变化和过程，不论它们是否具有化学的、生物的或其它的特殊性质，都遵从物理学中所确立的能量转化和守恒定律。但必须注意，各种运动形式各有其自己的特殊规律，不可能也不应该企图单纯地用物理规律来解释物质的一切运动形式。例如，生命现象就不能只用物理过程来说明。

由于物理学所研究的物质运动和它们的规律的普遍性，使物理学成为其它自然科学和工程科学的基础。在许多科学技术领域和生产部门中，都广泛地应用着物理学中的力学、热学、电磁学、光学和近代物理等各方面的基本理论和基本知识。因此，如

能较好地掌握物理学的基本理论、基本知识和基本技能，就能比较顺利地研究其他自然科学和技术科学，并了解现代科学技术的成就。

在工科院校讲授《大学物理》这门课程的目的是：一方面为基础理论课、基础技术课以及专业课打下必要的基础；另一方面把机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等有机的联系起来，使同学们初步建立起正确的科学宇宙观。此外，由于物理学与哲学的关系非常密切，所以学习物理学还有助于使学生建立辩证唯物主义世界观。通过物理实验，可以培养学生的实验技能。

物理学的研究方法、物理定律和理论

学习物理学，除了要学习物理学中所讲的各种规律外，还必须学习物理学的研究方法。研究方法说明各种规律怎样被发现，人类对于物质世界的认识怎样逐步深入。所以，要明白各种规律的正确意义和培养研究问题的能力，都必须学习研究方法。

物理学的研究方法是通过观察、实验、抽象、假说等，最后形成理论。观察和实验是科学研究的基本方法。观察是就现象发生在自然界的原来样子加以观测研究。除了研究天体运动等必须用观察方法以外，对于其它物理现象，观察常常是一种初步的研究方法。

为了进一步认识自然现象，还要进行实验。由于发生在自然界中的现象往往是错综复杂、相互联系又相互制约着的，所以必须用人为的方法，尽可能分离各种条件或因素，使现象在经过简化的条件下重复发生，并加以反复地研究，这就是实验。例如，对于一定量的气体，其容积、压强和温度三个量的变化关系是比较复杂的，如果用人工控制的方法，维持其中一个量不变，就可以比较容易地把另外两个量的变化关系找出来。

有了足够丰富的观察、实验的资料，经过分析、概括、判

断、推理等一系列脑力劳动，将它抽象到更一般的形式，再经过实践的反复考验，被证明可以足够正确地反映某些客观规律时，就引导到定律和理论的建立。多数物理定律，都是以最简单且精确的文字或公式，表示出物理现象之间客观存在着的联系或物理量之间实际存在着的量的关系。例如，万有引力定律就是说明宇宙中各物体间客观存在着的联系，即相互吸引力、质量和距离之间的量的关系（ $f = G_0 \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ）。物理理论是从一些已经建立起来的定律中，经过更为广泛的概括而得出的系统化的知识。

在定律和理论的建立过程中，假说常常起着很重要的作用，并且被广泛地应用着。假说是在一定的观察和实验的基础上，为了解释某些现象所作的本质的假定。进一步的实验论据便会清洗这些假说，即取消一些或改进一些。在一定范围内经过不断地考验而被证明为正确的假说，最后上升为定律，或是理论的一部分。例如，在一定的实验基础上提出来的物质结构的分子原子假说以及从它所推论出来的结果，因为能够解释物质气、液、固各态的许多现象，所以这假设最后就上升为物质分子运动论的一部分。

从观察、实验、抽象、假说到理论，物理学的研究并没有结束。理论还须回到实践中去，一方面通过实践来证实理论的正确性，因为一个正确的理论，它不仅能解释已知现象，而且还能够预言未知的现象，指导进一步的新的实践，推断出尚未发现的新的自然规律。例如，麦克斯韦的电磁场理论，不仅能够解释各种电、磁现象之间的关系，而且能够预言电磁波的存在及其传播速度；另一方面，如果从某一理论推出的结果和新的实验事实有矛盾，就必须对理论或对它所依据的某些基本假说加以修正，甚至放弃，而在新的实践基础上另外建立新理论，例如在光的直进、反射等实验事实的基础上，产生了光的微粒说，但这不能解释光

的干涉、衍射等现象，因而微粒说就被波动说所代替。到光电效应、原子光谱等新的事实不能用波动说来解释时，就又出现了光的量子说。

从物理学的研究方法我们可以知道，物理定律和理论不是人们硬加在自然现象身上的主观思想，而是自然现象本身所具有的客观规律在人们头脑中的反映。可是也应当指出，物理定律和理论都有一定的近似性和局限性，这是因为物理定律和理论是建立在观察和实验的基础上的，而观察和实验是在一定条件下和一定范围内进行的，观察和实验的结果，绝大多数是对于各种物理量的量度结果，量度的精确程度决定于技术水平、仪器的完善程度，例如波义耳—马略特定律和盖·吕萨克定律等，只有在压强不太大、温度不太低的情况下才符合事实。虽然物理定律和理论有着近似性和局限性，但这并不减低它们的客观价值，因为它们都能在一定的精确程度内说明自然现象的客观规律性，并且随着科学技术的日益发展，物理定律也日趋完善。

物理学与技术、生产的关系

物理学是为了生产的需要而产生的。因此，实践、技术和生活的需要，过去和现在都永远推动着物理学向前，迫使它去做新的发现，迫使它不断地改善着自身。古代埃及人和希腊人研究的力学，就是与那时的建筑技术和生产技术所提出的需要直接联系着的。

在19世纪初，由于蒸汽机的应用，如何最有效地将热转变为功便成为必须解决的问题。如果只从狭隘的技术观点来着眼这个问题是不能够解决的，只有在1842年卡诺一般地研究了热转变为功的问题以后，实际提高热机的效率才成为可能，同时卡诺的研究工作也为热力学奠定了基础。20世纪以来，由于相对论和量子力学的建立，人们对原子、原子核结构的认识日益深入。在这样的基础上，人们实现了原子核能和人工放射性同位素的应用；而

由于量子力学微观理论的成果，又直接促成了半导体、核磁共振、激光等新兴技术的发明，许多边缘学科发展起来了，新兴工业象雨后春笋，人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等新技术的时代。由此可见，实际的需要导致物理学的新发现，而物理学的新发现又是技术进步的基础，往往理论性极高的，并且乍一看来是极其抽象的物理学上的发现，随着时代的前进也终于得到各种各样的重要的技术上的应用。

技术在运用物理发现的时候，不仅给物理提出许多新的问题，同时也用更现代化的研究工具武装了物理学，这就使得物理学者们能不断扩大物理研究的范围，加速了物理学的发展。例如，以前物理学家只能应用放大率为几千倍的普通显微镜，而近来，技术利用物理学的发现，为物理学者们制造了放大率为几十万倍的电子显微镜。

物理学和技术、生产就是这样相互依赖、相互推动而不断发展的。

当前，我国要实现四个现代化，关键是科学技术的现代化。由上面所讲，物理学和技术的关系是非常密切的。因此，同学们一定要努力学好物理课，只有较好地掌握了物理学的基本理论、基本知识和基本技能，才能比较顺利地研究其他自然科学和技术科学、并了解现代科学技术的成就，因而才能更好地促进我们所从事的专业的现代化。

第一篇 力 学

在物质的多种多样的运动形式中，最简单而又最基本的运动是物体位置的变化，称为机械运动。力学就是研究机械运动的规律和应用的科学。力学分为运动学与动力学两部分：运动学——建立描述机械运动的基本概念，如位移、速度、加速度等，研究物体在空间的位置随时间的变化关系（但不涉及引起变化的原因）；动力学——研究物体运动状态变化的原因，研究物体机械运动所遵守的基本规律，如牛顿运动定律、动量定理、动量守恒定律、动能定理等。

本篇研究的内容属经典力学。由于伽利略、牛顿等人的工作成就，使它最早成为一门最完善的学科。在日常生活、工程技术、天文研究中得到了广泛的应用。在当代，宇宙航行、人造卫星也是靠严密地应用了经典力学规律才获得了巨大的成功。

经典力学有两方面的局限性：

第一，所研究物体的运动速度要远低于光速，否则，物体的运动将遵循相对论力学规律；

第二，所涉及的物体应是宏观物体（即由大量分子所组成的物体），对于微观粒子（如分子、原子等），它们的运动将遵循量子力学规律。

第一章 质点运动学

运动是在时间和空间中进行的。对物体运动的描述我们将从三维空间入手，引入位置矢量、位移，速度和加速度等物理量，而后把它们应用在直线运动和平面运动的讨论上。在直线运动中，我们将讨论变加速直线运动；在曲线运动中我们将提到一般的曲线运动，但着重讨论圆周运动。

§ 1-1 参照系 坐标系 质点

参照系和坐标系 在自然界中，一切物质都处于永恒不息的运动之中，运动是物质存在的形式、物质的固有属性，它包括宇宙中所发生的一切变化和过程，从简单的位置变动起直到思维止。物质的各种运动形式都有其特殊的规律，运动和物质是不可分割的。物质运动存在于人类意识之外，这便是所谓运动本身的绝对性。

从机械运动来看，宇宙间任何物体都处于永恒不息的运动之中。静止在地面上的物体似乎是不动的，但是，地球有公转和自转，地面上的物体自然也参与地球的运动。有人以为太阳是不动的，但从整个银河系来看，太阳却以 200km/s 的速度在运动着。甚至，我们的银河系，从另一银河系或星云看来，也是在运动。可见，绝对静止是不存在的，运动是绝对的，静止是相对的。要描写一个物体的运动，必须选择另一个也在运动的物体，或几个虽在运动但相互间相对静止的物体作为参照。然后，研究该物体相对于被选作参照的物体是如何运动的。被选作参照的物体称为

参照系。

在运动学中，参照系的选择可以是任意的，主要看问题的性质和研究的方便。例如，要研究物体在地面上的运动，最方便的是选择地球作为参照系。当星际火箭进入绕太阳运行的轨道时，要研究它对太阳的运动，就应把太阳选作参照系。在本篇中，如不做特别说明，一般均是取地球作为参照系。

显然，所选取的参照系不同，对同一物体的运动的描述就会不同。例如，在匀速前进的车厢中的自由落体，如果以车厢为参照系，是作直线运动；但如果以地球为参照系，却是抛物线运动。因此，同一物体的运动，对不同的参照系，可以作不同的描述。这一事实，称为运动的相对性。由于运动的相对性，我们在说明一种运动时，必须明确指出或清楚地理解，这一运动是相对于哪一个参照系来说的。

从参照系看来，物体的运动就是物体相对于参照系的位置的变化，因此，必须有一种说明物体相对于参照系的位置的方法。用数量来说明位置的方法，是在参照系上选择一个固定的坐标系。坐标系的选择也要看问题的性质和研究的方便。一般在参照系上选定一点作为坐标系的原点，取通过原点并附标度的线作为坐标轴。常用的一种坐标系包括一个原点和三条相互垂直的坐标轴（ X 轴、 Y 轴、 Z 轴），这种坐标系称为直角坐标系或正交坐标系。根据需要，也可选用其他的坐标系，如极坐标系、球面坐标系或圆柱面坐标系等来研究物体的运动。

质点 参照系和坐标系的选定，使我们有可能用数量来描写物体的位置和物体运动时位置的变化。但由于任何物体都有一定的大小和形状，当物体做机械运动时，物体上各点的位置变化不一定相同，所以要精确描写一般物体的运动，仍然不是一件容易的事情。为使问题简化，可以采用抽象的方法：如果物体的线度和形状在所研究的问题中不起作用，或所起的作用可以忽略不计