

高等师范专科学校试用教材

力学

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

力 学

江苏省师专物理教材编写组编

南京工学院出版社

501.2 43600·0011 (1979.10)

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之一。本书共分十一章：质点运动学、牛顿运动定律、功和能、动量定理和动量守恒定律、万有引力、非惯性系和惯性力、刚体力学、固体的弹性形变、振动、波动、流体力学。各章均配有内容提要、思考题和习题。

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。

参加本书编写的有周荣秋（绪论、第一、二、五、六章）、窦敖川（第四、八、九、十章）、胡国安（第三、七、十一章）。

周荣秋、杭庆平担任全书统稿。

本书主审人：李增林副教授

责任编辑：徐步政

高等师范专科学校试用教材

力 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

国营新民洲印刷厂印刷 江苏省新华书店发行

开本787×1092毫米 1/32 印张18.75字数405千

1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷

印数 1—5000册

ISBN 7-81023-009(3)/O·9

统一书号：13409·006 定价：3.10元

目 录

绪 论

- § 0-1 自然界..... (1)
- § 0-2 物理学研究的对象和方法..... (5)
- § 0-3 测量和标准..... (9)

第一章 质点运动学

- § 1-1 质点 参照系和坐标系..... (16)
- § 1-2 质点的运动方程 位置矢量 位移..... (22)
- § 1-3 速度和加速度..... (26)
- § 1-4 直线运动..... (37)
- § 1-5 斜抛运动..... (50)
- § 1-6 圆周运动..... (59)
- 本章提要..... (70)
- 思考题..... (71)
- 习题..... (73)

第二章 牛顿运动定律

- § 2-1 牛顿第一定律 惯性参照系..... (81)
- § 2-2 牛顿第二定律..... (87)
- § 2-3 力学单位制与量纲..... (94)
- § 2-4 牛顿第三定律..... (95)
- § 2-5 重力 弹性力 摩擦力..... (100)
- § 2-6 牛顿运动定律的应用..... (108)
- § 2-7 动力学方程的数值解..... (117)

§ 2-8 伽利略相对性原理.....	(122)
§ 2-9 牛顿力学的适用范围.....	(129)
* § 2-10 高速运动下推广的牛顿第二定律.....	(131)
本章提要.....	(135)
思考题.....	(135)
习题.....	(137)

第三章 功和能

§ 3-1 功和功率.....	(145)
§ 3-2 动能 动能定理.....	(158)
§ 3-3 势能.....	(160)
§ 3-4 功能原理.....	(164)
§ 3-5 机械能守恒定律.....	(166)
本章提要.....	(173)
思考题.....	(174)
习题.....	(177)

第四章 动量定理和动量守恒定律

§ 4-1 动量 冲量 质点动量定理.....	(185)
§ 4-2 质点组动量定理 动量守恒定律.....	(196)
§ 4-3 碰撞.....	(206)
§ 4-4 火箭推进原理.....	(221)
本章提要.....	(227)
思考题.....	(229)
习题.....	(231)

第五章 万有引力

§ 5-1 行星运动.....	(238)
-----------------	-------

§ 5-2 万有引力定律	(244)
§ 5-3 惯性质量与引力质量	(249)
§ 5-4 影响重力加速度的因素	(252)
§ 5-5 引力势能和引力场	(257)
§ 5-6 三种宇宙速度	(262)
本章提要	(270)
思考题	(271)
习题	(271)

第六章 非惯性系和惯性力

§ 6-1 变速平动参照系中的惯性力	(274)
§ 6-2 转动参照系中的惯性力	(280)
§ 6-3 超重和失重 等效原理	(285)
§ 6-4 作为非惯性系的地球上的力学现象	(293)
本章提要	(300)
思考题	(300)
习题	(301)

第七章 刚体力学

§ 7-1 作用在刚体上的力及其简化	(305)
§ 7-2 刚体运动的描述	(312)
§ 7-3 质心和质心运动定理	(321)
§ 7-4 刚体定轴转动的动能 转动惯量	(325)
§ 7-5 角动量 刚体定轴转动定律	(334)
§ 7-6 刚体定轴转动的动能定理	(343)
§ 7-7 刚体平面运动及实例	(346)
* § 7-8 陀螺的运动	(350)
本章提要	(353)

思考题.....(353)

习题.....(355)

第八章 固体的弹性形变

§ 8-1 应变和应力.....(364)

§ 8-2 虎克定律 弹性模量.....(374)

§ 8-3 弹性形变势能.....(383)

§ 8-4 梁的弯曲.....(386)

§ 8-5 杆的扭转.....(390)

本章提要.....(394)

思考题.....(396)

习题.....(398)

第九章 振动

§ 9-1 简谐振动.....(402)

§ 9-2 简谐振动的能量 势能曲线.....(418)

§ 9-3 简谐振动的合成.....(427)

§ 9-4 阻尼振动和受迫振动.....(440)

本章提要.....(453)

思考题.....(455)

习题.....(457)

第十章 波动

§ 10-1 波的基本概念.....(463)

§ 10-2 平面简谐波的数学表示式.....(472)

§ 10-3 波动方程 波速.....(482)

§ 10-4 波的能量.....(488)

§ 10-5 波的叠加 驻波.....(496)

§ 10-6 声源.....	(509)
§ 10-7 声波和声速.....	(513)
§ 10-8 多普勒效应.....	(521)
本章提要.....	(526)
思考题.....	(527)
习题.....	(529)

第十一章 流体力学

§ 11-1 流体.....	(537)
§ 11-2 流体静力学.....	(539)
§ 11-3 理想流体的流动.....	(549)
§ 11-4 伯努利方程及其应用.....	(555)
§ 11-5 动量定理在流体中的应用.....	(564)
§ 11-6 粘滞流体的流动.....	(566)
§ 11-7 物体在流体中运动时所受到的阻力 机翼的升力.....	(576)
本章提要.....	(580)
思考题.....	(581)
习题.....	(584)

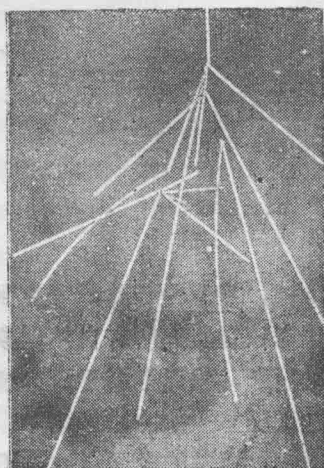
绪 论

§ 0-1 自 然 界

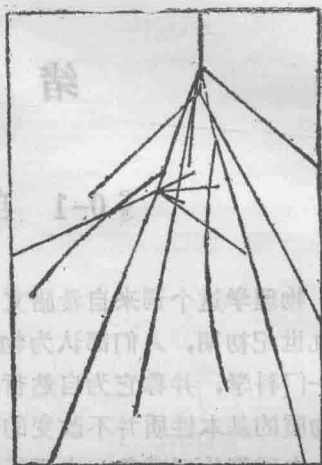
物理学这个词来自希腊文 $\varphi\upsilon\sigma\iota\kappa\acute{\iota}$, 意思是自然。一直到十九世纪初期, 人们都认为物理学应该是研究所有自然现象的一门科学, 并称它为自然哲学。后来, 物理学限于研究参与物质的基本性质并不改变的运动过程——如力、热、声、光、电磁等物理现象。由于二十世纪物理学的发展, 这个不大确切的定义已逐渐被摒弃, 而回到较宽广的概念。可以说, 物理学的目的是研究物质的组成及其相互作用, 并根据这些相互作用来说明宏观物质的性质以及有关自然现象。

近代物理学表明, 物质是由少数种类的基本粒子组成的。这些基本粒子当中, 电子、质子和中子特别重要, 因为它们普遍存在于常见物质之中。其他基本粒子, 寿命短暂, 只有用颇为复杂的观测方法, 才能表明它们的存在, 在探索物质微观结构和宇宙起源的线索方面, 基本粒子的研究是非常重要的。图0-1-1是1959年王淦昌等发现 $\tilde{\Sigma}^-$ 的有关基本粒子径迹的照片。

电子、质子和中子组成原子, 在一个范围很小的原子核内, 可集结若干个质子和中子。图0-1-2表示一些简单原子中, 电子在核周围的分布。现今已经辨认出107种不同种类



(a)



(b)

图 0-1-1

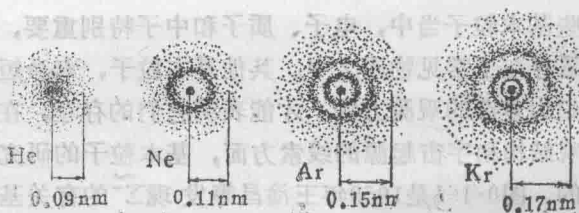


图 0-1-2

元素的原子，而且存在着大约2000种不同的同位素。原子又

组成 10^6 种以上不同的化合物分子，在化学实验室中还在不断合成越来越多的新分子。通常，分子聚集起来形成宏观物体，即我们常见的固体、液体和气体。另一种物态是等离子体，它是由正、负离子的气态混合物组成，非致密的宇宙空间中大部分物质处于等离子体的状态。

特别重要的一类物质是具有生命的物质，称为细胞质。细胞质中的分子呈现出高度组织起来的结构，表现出和无生命物质明显不同的性质和功能。人是所有生物当中最发达的，是由大约 10^{28} 个原子组成，其中大多数是碳、氢、氧和氮原子。

人的最直接的经验领域包含由最小的沙粒到最大的人造物体这一范围。其中的物体大到能独立地用肉眼或触觉来了解，但又不是大到使我们无法直接感知它们。通常涉及人的大小尺寸的 10^3 倍或 10^{-3} 倍就接近于极限了，在这极限内，我们与自然界的接触可以认为是完全的和直接的。超出这个范围，我们就主要是依靠间接的证据、想象力和类比了。

我们生活的地球是太阳系行星之一。太阳系包含绕其公转的九个主要行星和行星的卫星及千千万万个小行星，图0-1-3表示行星和太阳的相对大小。太阳占有太阳系的大部分质量，但太阳系又是一个大的星球集合的一小部分；这个大的星球集合形成银河系，银河系由大约 10^{11} 个星球组成，银河系呈铁饼状，并绕中心轴旋转，其直径约为 10^{21} 米，即约 10^5 光年，其最大厚度约为 10^{20} 米。图0-1-4表示太阳系在银河系中的位置。已经观察到和银河系类似的许多星系，最近的一个星系是仙女座大星云，离地球约 2.4×10^{22} 米，即 2.5×10^6 光年。图0-1-5是猎户座旋涡星系的照片。

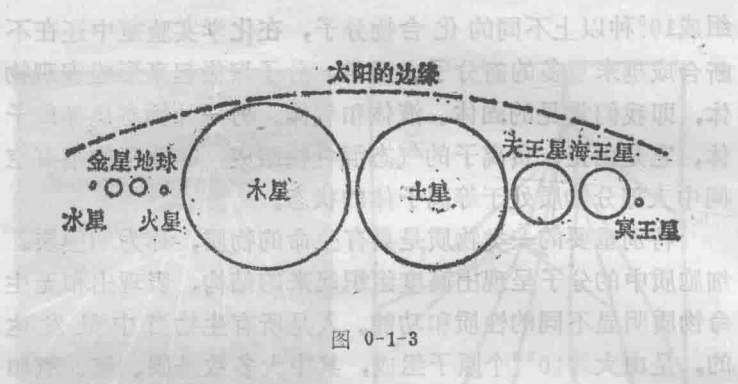


图 0-1-3

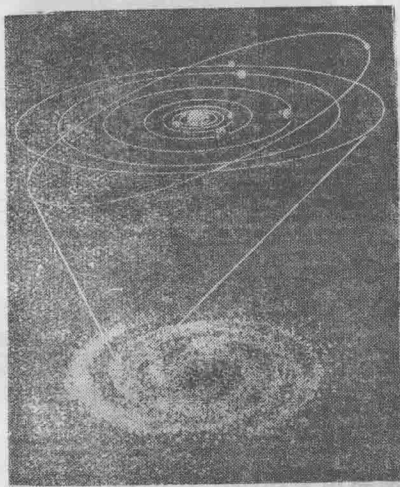


图 0-1-4



图 0-1-5

现代天文探测表明，宇宙中的其他星系一般显出是离我们而去，速率与其距离成正比。据此推算，在 10^{10} 光年的距离处，其后退速率将会达到光速。在这一速率下，由于“星系红移”（是由于辐射源的运动而引起的波长和频率的变

化)，传输到地球上来的能量将降到零，这对可知的宇宙的广延设置了一个天然极限。因此有一种观点认为：在现今可知范围内，宇宙似乎可以用一个半径约为 10^{10} 光年（ 10^{26} 米）的球来表示，在这个区域里大约有 10^{10} 个星系。

自然界是纷繁复杂、不断运动变化的。宏观物体的许多复杂的现象，伴随着微观粒子的运动，例如，气体分子运动而产生压力，电子在金属内定向运动而产生电流，电子在原子内运动状态的变化引起光的吸收和辐射，重核的裂变能放出巨大的核能等等。各个星体或星系不仅在作宏观的运动，而且在不断演化逐渐衰老，新的星体或星系又不断产生。

§ 0-2 物理学研究的对象和方法

自然界一切物质都在永恒不停地运动着。运动是物质的存在形式和固有属性。各种不同的物质运动形式既服从普遍规律，也有自己的独特规律。物理学所研究的是物质运动最基本最普遍的形态，包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和基本粒子的运动等等。

物理学所研究的运动形态，普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形态（例如化学的、生物的运动形态等等）之中。因此物理学所研究的物质运动规律，具有极大的普遍性。例如，宇宙间任何物体，不论其化学性质如何，或有无生命，都遵从物理学中的万有引力定律；一切变化和过程，无论它们是否具有化学的、生物的或其他的特殊性质，都遵从物理学中所确立的能量转化和守恒定律。

物理学的定律、理论，是通过观察、实验、抽象、假说

等研究环节而建立起来的。

观察和实验是科学研究的基本方法。观察是对自然界中所发生的某种现象，在不改变原有自然条件的情况下，按照它原来的样子加以观察，例如对天体和大气中的现象，一般是采用观察的方法进行研究的。图0-2-1是恒星的表观圆周运动照片；图0-2-2是气象卫星拍摄的地球照片。



图 0-2-1



图 0-2-2

实验是在人工创造的条件下，使现象不失去本来面貌情况下的重演，便于反复观察和测量。在实验中，常把复杂的条件加以简化，突出主要因素，排除或减小次要因素的作用。例如，在利用单摆测定重力加速度的实验中，决定单摆振动周期的主要因素是摆长和重力加速度。摆线的质量和可伸长

性,摆锤的大小和质量,以及摆动的幅度等,对振动周期虽然也有影响,但在一定条件下都是次要的因素,可以不予考虑。

在伽利略之前,人们习惯于用观察加思辨的方法来研究自然界的物理现象。例如,亚里士多德(Aristotle)认为力是维持物体继续运动的原因。伽利略(Galileo Galilei)则提出任何对自然界的论述必须用观察和实验来检验。他就是通过实验得到“力是运动状态变化的原因”这一正确的结论。



图 0-2-3 伽利略(1564—1642)

抽象方法是在观察和实验的基础上,根据问题的内容和性质,抓住主要因素,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立一个与实际情况近似的理想模型来进行研究。例如地球事实上并不是一个真正的球体,而是略偏的椭球体,它的表面凹凸不平;地球绕太阳运行的轨道,也不是严格的椭圆形。在一定条件下,物理学家选用球形作为真实地球的模型,选用椭圆作为地球真实轨道的模型,这是通过把所研究的问题

的主要因素分离出来的方法，以简化分析工作。但是每种模型都有局限性，研究问题时必须设法辨别出现象的哪些方面结合了模型，哪些方面离开了模型。

为了寻找事物运动、变化的规律，有时会提出一些假想的论点和理论，称为假说。经过观察和实验反复的考验，证明为正确的假说，最后上升为定律和理论。例如，在一定的实验基础上提出来的分子运动论，因为能够解释物质气态、液态、固态的许多现象，最后就发展成为大家所公认的理论。

物理定律一般是实验事实的总结，说明某些现象之间的相互联系，或说明某些物理量之间的关系，常用文字或数学公式的形式来表述。由于实验条件、实验仪器精确度等的限制，任何物理定律有其近似性和局限性，但是在一定范围内是能够反映客观规律性的。

物理学的理论体系往往建立在少数几条比较简单的基本原理的基础上，并且在一定程度上能够预言未知现象的存在，进一步指导新的实践。例如麦克斯韦电磁场理论，不仅能解释各种电磁现象之间的关系，而且预言了电磁波的存在及其传播速度，并终于为实验所证实。

从观察、实验、抽象、假说到形成理论，物理学的研究并没有结束。理论还必须继续接受实践的检验。如果在实践中所发现的事实与理论有矛盾，这理论就必须修改，有时甚至将它放弃。例如，牛顿在十七世纪总结当时力学实验事实建立起来的牛顿力学体系，到了二十世纪初，在许多新的实验事实面前，物理学家发现对近光速运动的物体和微观粒子的运动不能适用，从而认识到牛顿力学的局限性，提出了新观点，并逐步创立了相对论力学和量子力学。

§ 0-3 测量和标准

一、测量

要对物理现象进行观察和实验，这就需利用各种仪器去测量有关的物理量。

测量任一物理量，都必须有一个标准。例如，要知道一段钢丝有多长，可用直尺去量，而直尺上的刻度是按照规定的标准长度刻好的；要知道一颗铅粒的质量，可用天平去称，而所使用的砝码及天平上的刻度，也是按照规定的标准质量校准好的。可见每一个物理量都须有一个规定的量度标准。这一规定的量度标准，就称为该物理量的标准单位。所谓测量，就是把一个待测定的量同它的标准单位进行直接的或间接的比较，看它是标准单位的多少倍。例如，钢丝长1.20米，意指该钢丝的长度是长度的标准单位——1米的1.2倍；铅粒的质量为0.015千克，即指该铅粒的质量是质量标准——1千克的0.015倍。所以，每一物理量的大小都是由数字与单位相乘的形式来表述的。如果只说钢丝长1.20或铅粒质量为0.015是没有意义的。

任何测量的准确度都是有限的，没有一种测量能够达到“绝对准确”的地步。因此，任何由测量而得的数值都具有这样一个重要特点：无论什么时候，我们由测量所得到的值，其实都不是物理量的某一真实值，而是一个近似值，它包含于真实值附近的某一范围之内。这种范围能随测量技术的改进而缩小，但只能缩小到一定的程度为止。例如，当利用光学仪器来测量长度时，所得结果的准确度不能超越光