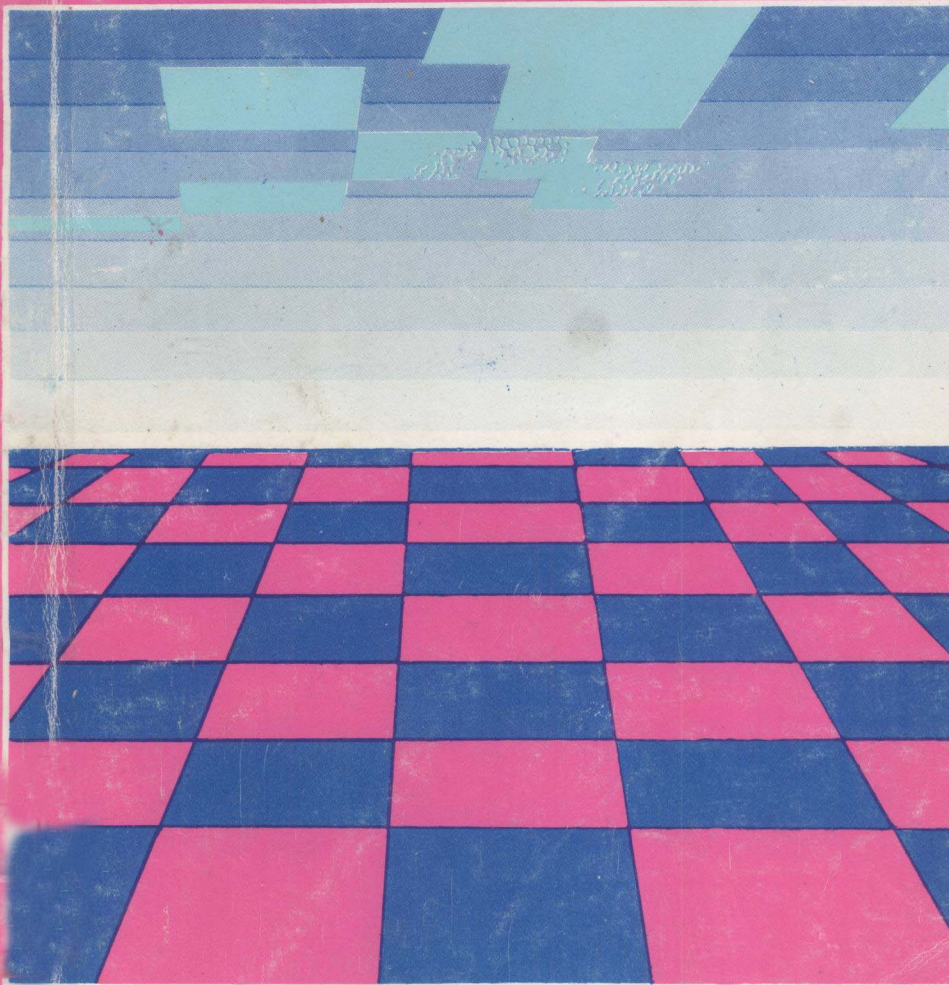


普通物理学专题研究

(上)

秦继民 萧化 编著



广西师范大学出版社

普通物理学专题研究

(上)

秦继民 萧 化 编著

广西师范大学出版社

(桂)新登字 04 号

普通物理学专题研究

(上)

秦继民 萧化编著

责任编辑：唐丹宁

封面设计：吕毅林

广西师范大学出版社出版发行

邮政编码：541001

(广西桂林市中华路 36 号)

湖南省地质测绘印刷厂印刷

*

开本：850×1168 1/32 印张：7.75 字数：195 千字

1993 年 7 月第 1 版

1993 年 7 月第 1 次印刷

印数：0001—1200 册

ISBN 7-5633-1624-8/G · 1297

定价：5.00 元

内 容 提 要

本书系作者根据其在广西师范大学物理系讲授“普通物理学专题研究”讲座所用讲义基础上修订而成。

本书挑选一般力学、热学教材中未能充分展开的一些专题进行较为深入的分析；对初学者普遍存在的疑难问题加以讨论；并对力学、热学规律与各方面物理现象的横向联系以及力学、热学中的近代物理概念也注意加以介绍。

本书可作为大学“力学”和“热学”课的教学参考书，还可供广大中学物理教师 and 理工科大学生阅读和参考。

序

普通物理学是大学物理专业的一门主要基础课，也是工科、农科、医科及其它相关专业的的基础课。正确理解、掌握物理概念与规律是物理教学的关键，然而，这又是教师与学生深感困惑的问题之一。

本书作者通过长期的基础物理教学实践，积累了丰富的教学经验，对普通物理课中学生普遍存在的疑难问题及教师们经常关心与讨论的重点与难点问题进行了潜心研究，并在总结多年教学经验基础上编写了一册讲义，还多次为大学本、专科学生和研究生开出了专题讲座。本书是根据作者在多次讲座所编讲义基础上编写而成的。

秦继民、萧化两位老师所编著的《普通物理学专题研究》(上)一书与读者见面了。该书的问世，不仅为教师与学生提供了一本殷实的教学参考资料，还为大学物理书库增添了一点重量。

本书共收入普通物理学中有关力学与热学方面问题二十讲，它们在加深学生对主要物理概念的理解，深化对物理概念与物理规律的领会与应用，加强普通物理学各分支的横向联系，以及用现代物理观点指导普通物理教学方面，做了有益的尝试。这不仅对拓宽学生视野，激发学习兴趣，指导与改善学习方法有积极意义，还为教师的教学提供裨益深实的参考。

我们深信本书的出版发行，将为进一步提高大学普通物理课的教学质量尽一份力量。

张振球

1993年3月

目 录

力学篇

第一讲 牛顿运动定律	(1)
一、牛顿第一运动定律表述中的逻辑循环	(1)
二、力和质量的定义	(4)
三、牛顿第三定律的局限性	(11)
第二讲 功和能	(14)
一、关于功的定义	(14)
二、功与参照系的关系	(20)
三、势 能	(25)
四、关于机械能守恒的讨论	(28)
第三讲 质心 质心的基本原理	(39)
一、质心 质点组的总动量	(39)
二、质心运动定理	(42)
三、质心坐标系	(44)
四、质心系的应用	(49)
第四讲 碰 撞	(53)
一、碰撞的分类 碰撞中的能量	(54)
二、质心坐标系中的碰撞问题	(57)

第五讲 摩 擦	(72)
一、静摩擦力方向的判定.....	(72)
二、静摩擦力的大小.....	(76)
三、摩擦角和自锁.....	(79)
四、运动物体保持做纯滚动的一般条件.....	(82)
第六讲 角动量和角速度	(88)
一、角速度的矢量性.....	(88)
二、角动量的方向跟角速度的方向是否一致.....	(90)
三、平面运动刚体的角动量.....	(94)
第七讲 对瞬时轴的转动定律	(100)
一、转动定律适用于瞬时轴的条件.....	(100)
二、瞬心的轨迹和瞬心加速度的方向.....	(101)
三、处理刚体平面运动两种方法的比较.....	(103)
第八讲 弹簧振子	(107)
一、放置方式对弹簧振子振动的影响.....	(107)
二、双质点弹簧振子.....	(109)
三、多弹簧的振动系统.....	(111)
四、弹簧质量对实际弹簧振子系统的影响.....	(113)
五、有摩擦力作用的弹簧振子.....	(120)
第九讲 波速的意义	(124)
一、相速和群速.....	(124)
二、超光速问题.....	(127)

第十讲 多普勒效应	(131)
一、由时空变换关系推导多普勒公式.....	(131)
二、光的多普勒效应.....	(135)
三、横向多普勒效应.....	(140)

第十一讲 量纲分析法	(143)
一、量纲式 量纲 量纲法则.....	(143)
二、量纲分析的应用.....	(144)

热学篇

第十二讲 温 度	(149)
一、热力学中温度概念的建立.....	(149)
二、温度的微观解释.....	(151)
三、负温度简介.....	(155)

第十三讲 压 强	(161)
一、关于理想气体压强公式推导的两个问题.....	(161)
二、气体压强的微观意义.....	(167)

第十四讲 麦克斯韦速度分布和速率分布	(173)
一、麦克斯韦速度分布的推导.....	(173)
二、麦克斯韦速度分布的适用范围.....	(176)
三、麦克斯韦速度分布和速率分布的应用.....	(179)

第十五讲 分子物理中的二项式分布	(190)
一、气体分子在固定容器中的分布.....	(191)
二、伽尔顿板实验中的粒子分布.....	(193)
三、布朗运动的位移.....	(195)

第十六讲 光子气体	(199)
一、平衡热辐射光子气体.....	(199)
二、平衡辐射光压.....	(200)
三、斯忒藩-玻尔兹曼定律	(203)
四、太阳表面温度的估计.....	(204)
第十七讲 气体输运过程的微观解释	(206)
一、在一定时间内通过给定面的分子的平均自由程是 $2\bar{\lambda}$ 吗	(206)
二、担任输运的分子数是 $\frac{1}{6}n\bar{v}dSdt$ 还是 $\frac{1}{4}n\bar{v}dSdt$...	(210)
三、气体分子运动的平均相对速率.....	(213)
第十八讲 热力学第一定律对范得瓦尔斯气体的应用	(215)
一、范得瓦尔斯气体的内能公式.....	(216)
二、范得瓦尔斯气体的多方过程方程.....	(217)
三、范得瓦尔斯气体的热容量.....	(218)
附录 关于公式 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V - p$ 的证明	(220)
第十九讲 吸放热转换点的特征及确定方法	(223)
第二十讲 逆循环	(231)

力 学 篇

第一讲 牛顿运动定律

牛顿运动定律是力学的基本定律，它所涉及的概念：惯性运动、惯性参照系、力、质量等是力学中最基本的概念。只要是稍有教学经历的人，都会感到阐明这些概念的含义是相当困难的事。不时有些学生会提出一些相当尖锐的问题，而这些学生恰是那些敢于独立思考的好学生。近几年来，物理学界也不断对牛顿定律在表述上存在的哲学上的和逻辑上的矛盾进行讨论，提出了各种意见。本讲着重分析牛顿运动定律在教学中存在的主要矛盾，以供教学参考。

一、牛顿第一运动定律表述中的逻辑循环

牛顿在《自然哲学的数学原理》一书里，对第一运动定律是这样陈述的：

“每个物体继续保持其静止或沿一直线做匀速运动的状态，除非有力加于其上迫使它改变这种状态。”

对这陈述，很自然会提出一个问题，即什么是力？牛顿在列出力学的三个运动定律之后，接着也列出了几条定义，其中第4条定义为：“外加力是一种为了改变一个物体的静止或匀速直线运动状态而加于其上的作用力”。很显然，这个定义只不过是第一运动定律内容的重复，并不是独立于运动定律之外的力的定义。为了避免提前使用“力”这个未加精确定义的概念，现行一些教材把牛顿第一定律表述为：

“自由粒子以恒速度运动。”

第二个问题是：定律所述的运动以什么为参照系。对此，牛顿声称他所研究的运动是在“绝对空间”和“绝对时间”中进行的“绝对运动”。他写道：“绝对的、真正的和数学时间自身地流逝着，而且由于其本性而均匀地与任何其他外界事物无关地流逝着。”“绝对的空间，就其本性而言，是与外界任何事物无关而永远相同的和不动的。”然而，自爱因斯坦创立狭义相对论以来，人们已经彻底否定了“绝对时空”的概念，脱离物质存在的、所谓“绝对时间”、“绝对空间”及“绝对运动”只不过是一些形而上学的概念。现在我们知道，定律所述的运动是对惯性参照系而言的。那么，什么是惯性参照系呢？现行某些教材是这样定义的：“牛顿第一定律能成立的参照系叫做惯性参照系或惯性系。”显然这个定义也依赖于第一运动定律。

综上所述，第一定律是说一个物体不受外力，它相对于惯性系就做匀速直线运动；但是又只能根据一个物体相对于惯性系做匀速直线运动，才能肯定这个物体不受力；同时又只能根据一个物体不受力时做匀速直线运动，才能断定所用的参照系是惯性系。这样，就完全陷入了逻辑循环。

然而，我们应当认识到，牛顿第一运动定律的“逻辑循环”性

质，并不影响它的科学性。实际上，惯性系是近似地存在着的，如太阳参照系（坐标原点在太阳中心，坐标轴指向恒星的坐标系）、地面，以及相对地面静止或做匀速直线运动的物体。正是在这些近似程度相当好的参照系上的无数次科学实验活动，证实了牛顿力学的相对正确性，从而间接地验证了牛顿力学出发点的第一定律的正确性。

其实，物理学的所有定律都是在一定精确程度上而不可能是绝对精密地接受检验的。既然近似地存在着第一定律所描写的情况，这种近似性就不应当成为检验定律正确与否的障碍。第一定律之所以不能直接受实验检验的原因，不在于找不到“绝对不受外力”的运动，而在于它本身含有“逻辑循环”的性质。

为何牛顿第一定律存在有逻辑循环呢？我们知道，一门学科的出发点，即它的第一条（或第一批）命题，当然不能够通过从它（或它们）所导出的其他命题去证明（否则，它就不再是第一条命题了）。因而，这第一条命题，如果不能借用其他科学内容的话，就往往含有逻辑循环的性质。因为，这样的一条命题只要不是空洞的抽象同一，它就必定要同时举出两个或两个以上未曾事先定义的概念（否则，就只能是毫无意义的 $A=A$ 型的抽象同一）。换句话说，这第一条命题所包含的两个或更多的概念，都是在逻辑上无法严格定义的。因此，这条命题的正确性就不可能由这门学科的一般方法得到证明，而是要通过它的大量推论是否同实践经验相符而得到检验的。

作为力学的第一条命题——牛顿第一定律，它就必定会含有“逻辑循环”这一弱陷；它是不可能通过物理学的其他定义或定律，也不可能通过直接的物理实验得到证明的。牛顿第一定律具有公理性质（人们常把学科里最早的一条或一批命题称为公理），只能依靠以它为出发点所推导出的大量结论与无数实验事实的符合而得到检验。

人们常常希望当一个理论从草创而达到成熟时，总想把其中的断言（或推论）作出逻辑的排列，以组成一个完美的体系。更具体地说，从甲概念定义出乙概念，又从乙概念定义出丙概念；从甲定理推出乙定理，从乙定理又推出丙定理，这样地排列下去，使人们知道该理论中的各概念各定理之间的逻辑关系。但这样的安排方式，其前提是必须把一切概念都下定义，一切定理都加以证明。从逻辑学的观点来看，要把一切概念都加以定义是不可能的，开始时必有几个概念是无法定义的，它们应取作原始概念，从它们出发以定义其他的一切概念；同时，要对一切定理都作证明也是不可能的，开始时也必有几条定理是不可能证明的，它们便应取作公理。这样，其它在学科中的一切成立的性质便都可以证明为定理了。这种列出了原始概念和公理，从而对一切概念都给予定义，对一切定理都给予证明的方式叫做公理法。所以，我们不妨这样认为，牛顿第一定律是公理，而使用公理法可得出力学的其他定理和规律。

二、力和质量的定义

在牛顿第二定律建立之前，我们只掌握了对空间和时间的度量手段，以及由此可以直接得出的对速度和加速度等的量度办法，而对力和质量这两个物理量，还没有任何具有普遍意义的定量定义。

〔如何定量地定义力和质量？常见的一种处理是先由一些具体方法给出力和质量的定量定义，然后把牛顿第二定律当作是纯粹由实验观察就可以直接确立的、联系着几个已知物理量的经验定律。例如，通过弹簧的形变定义力的大小，通过天平的平衡来定义质量的大小等，这是常用的一些具体定义方法。这类定义办法我们常称之为力或质量的静力学定义法。这种定义法确是一种实

际可行的、对初学者来说是比较直观而易被接受的方法。可事实上却是不科学的，不能使人们对力和质量的本质有深刻的认识，它不是一种基本的和有普遍意义的量度。

这是因为，这种定义法总是要依赖着某种具体的物质特性，例如弹性或者引力等等。就说物体的弹性吧，本质上是由于其内部粒子的运动状态受到外界扰动而产生的宏观效应，所以弹性仍可归结为外力作用下物质运动状态的改变，在这里实质上还是动力学问题。其次，弹性只是某些形态的物质在一定范围的物理条件下才具有的性质；固体的弹性区是有限的，而固体自身的存在也是有条件的，所以，这种量度不具有普遍意义。还有，除了弹性以外，物体受力时还可以产生压电效应以及光学、热学等性质的变化，同样可以通过量度这些变化来确定力的大小。所有这些方法都是与具体物质特性有关的有局限性的量度方法，不是与力的本质特征直接联系起来的量度。我们还可以设想，在失重的空间里怎么能用天平去衡量质量？对各个天体又怎么能用弹簧去测量它们之间的作用力？由此可见，静力学定义法的使用范围是有明显局限的。物理学既然是研究物质运动的普遍规律的，它的基本概念就决不应受到具体物质特性的限制，而必须是具有普遍意义的。所以，使用静力学的方法是得不到关于力和质量的普遍定义，只有在建立动力学定律的同时，所制定的力和质量的定义才具有普遍意义，即用物体相互作用所引起的运动状态的变化，来量度力和质量的方法，才能真正反映出力和质量的本质。

现在我们用动力学的方法来讨论在建立牛顿第二定律的同时，是怎样定义力和质量的，以及牛顿第二定律到底是定义还是定律的问题。

力和质量的动力学定义，实际上是规定一种操作，即规定测量数据的规则和方法，故称之为操作定义。

为了定量地研究任何一个有关力的问题，用动力学方法来量

度力，我们首先必须清楚地由牛顿第一定律认识到：既然力的作用是使物体获得加速度，就很自然地以它作用于一定物体所引起的加速度作为力的大小的量度。具体地说，力的量度可以由它对一标准物体，在一惯性系内所产生的加速度来确定。先选定某一物体作为标准物体，以有待比较的两个力分别单独施予标准物体，然后实地量度标准物体所获得的加速度 a_1 和 a_2 。这两个力的大小 F_1 与 F_2 之比就定义为 a_1 与 a_2 之比，即

$$F_1 : F_2 = a_1 : a_2. \quad (\text{对标准物体而言})$$

或者，也可以这样定义：选取一个标准物体，作用在其上的力的方向跟物体获得的加速度方向一致，而力的大小与这个加速度的大小成正比，即

$$F \propto a. \quad (\text{对标准物体而言}) \quad (1-1)$$

我们之所以能这样对力作定义，是因为式 (1-1) 只是对一个标准物体而言。因此，式 (1-1) 可以认为是力的量度的定义式。但式 (1-1) 并不代表牛顿第二定律，因为它仅只对一个标准物体而言。

在实地进行力的量度时，可用弹簧施力于标准物体，然后按 a 的大小用弹簧的伸长量标记出相应的力的大小，如此这样加工后的弹簧，就为弹簧秤。利用弹簧秤就能很方便地知道待测力的大小。这里的测量只要求弹簧的形变与它施予物体的力大小相对应。至于式 (1-1) 是否对任何物体都成立，只能由实验作出判断。

实验表明，在惯性系内对任何宏观物体 (1-1) 式均成立，即

$$F \propto a. \quad (\text{对任何物体而言}) \quad (1-2)$$

这就是牛顿第二定律所表现的宏观规律。

在此值得特别提醒注意：(1-2) 式有别于 (1-1) 式。(1-1) 式只涉及既定的某个标准物体；借助于这个标准物体，可以按 (1-1) 式定义力的大小；(1-1) 式仅仅是个定义式，谈不上用实验加以检验的问题。而 (1-2) 式则是对所有物体均成立；任取一个物

体，以各个已知大小的力分别施予该物体，则该物体所获得的加速度遵守式 (1-2)。(1-2) 式是通过实验验证的自然定律。因此，如果认为牛顿第二定律只不过是力的定义，这是把确定力的量度和单位的方法和力与物体机械运动状态的相互联系与相互制约的客观规律混为一谈，对此应加以区分清楚。

牛顿第二定律中，还涉及到另一个重要的物理量——质量。质量概念是牛顿提出并正式引进物理学的。牛顿在 1687 年出版的名著《自然哲学的数学原理》里，把质量看作“物质的量”。对于它的量度，牛顿在该书中的第一条定义指明：“物质的量是用它的密度和体积一起来量度的。”但是，牛顿又将物质的量也叫做“物体”或“质量”，而且多次说过物质的量同物体所受的引力成正比，也说过物质的量同物体的惯性成正比。在《自然哲学的数学原理》第三篇中，他又说：“密度相同的物体”，“是指那些其惯性与体积之比是相等的物体。”这里出现了明显的逻辑循环。总之，牛顿所提出的质量概念是一个含混的很不精确的概念。

在牛顿之后的年代里，马赫曾用怀疑和批判的眼光审查牛顿力学的基础，他不赞成牛顿对质量所下的定义。他在 1867 年提出了关于质量的定义：两个物体的质量比是相互作用的两方加速度比值的负倒数。他还指出：如果我们取参考物体 A 的质量作单位，那么另一物体在和 A 相互作用下给予 A 的加速度为其自身所得加速度的 m 倍的，我们就称它的质量为 m 。1876 年，麦克斯韦又提出了一种变通的定义方法：以一个确定的力先后对两个物体施加作用，这两个物体所获得的加速度的比值倒数，就是它们的质量之比，即

$$m \propto \frac{1}{a}. \quad (\text{在确定力作用下}) \quad (1-3)$$

按照这种定义，只要规定一个标准物体，设其质量 m_0 为质量单位，再通过测量任一物体与标准物体在一个确定的力作用下的加速度