

普通物理专题研究

佟盛勋 黄淑清 张国栋 编著
杨学礼 刘雪成 甄长荫

北京师范学院出版社

1990年

普通物理专题研究

佟盛勋 黄淑清 张国栋
杨学礼 刘雪成 甄长荫 编著

*

北京师范学院出版社出版

(北京阜成门外花园村)

全国新华书店经销

国防工业出版社印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 18.125 字数: 462 千

1990年6月北京第1版 1990年6月北京第1次印刷

印数: 0,001-1,500 册

ISBN 7-81014-117-1/G·115

定价: 11.00元

序

写出这样一部供作普通物理教学法研究生使用的“专题研究”教材，面临的第一个问题就是到底应当选择怎样一些“专题”。选题诚须煞费苦心，既要在已有的浩瀚教材中去搜罗，更要在不断发展的前沿课题中去寻觅。通过对这些关键问题的研讨，可以进一步理解物理学的基础知识和基本研究方法，从而加强对普通物理各个部门的认识，使原已取得的知识深化，以便于在教材和教法两方面都能大有裨益。

对于普通物理教学的研究，除了要照顾到学科的发展前沿，还须设法使原有的基本知识达于现代化；然而，这并不仅是要求给出按现代认识总结出的完美逻辑结论，而须是对各门学科的今日面貌与其在发展过程中的演进都能兼顾。只有回溯历史发展情况，认识发展思维的过程，方可看清物理学发展的先驱者在开拓前进的关键时刻，如何从曲折迂回的道路中找到出路，从千头万绪的迷雾中取得突破。认清这些，提高了逻辑思维，就有可能培养出既能发现问题，又能解决问题的人才。

本书的作者们以其丰富的教学经验与深厚的专业素养，首先在选题方面作了十分恰当的处理，所选尽属关键问题。在讨论中，旁征博引，作了极为精辟的分析，能使学员提高认识，更可贵的是勇于果断而肯定地拿出自己的观点和意见，即令是在常有争议的方面也并不犹豫。这样，不但可以推动教学工作顺利前进，而且能使学员们在这种精神的鼓舞下，于其未来的工作中脚踏实地，敢于充分发挥自己所长，论点鲜明，不作模棱两可的陈述，避免似是而非的谬误。

在全书中，每篇都能自成体系，各工有其独到之处，严谨通

达，给读者提供了新的捷径，为一些疑难问题寻根求源，从而既对“普物”的基础部份与关键环节取得更通透深入的理解，也同时启迪了读者的物理思维，有助于培养出色的人才。使我个人深感荣幸的是能有机会先睹金稿，并从中获得不少教益；因此，谨以仰慕的心情，敬向读者推荐，敢愿教学双方皆珍视之。

杨 朝 潢

1987年5月，于北京

前 言

《普通物理专题研究》是我们在普通物理教法研究生授课讲稿的基础上，经加工、修改而编写的教材。主要目的是使学生在掌握大学本科普通物理内容的基础上，从将来担任高等院校普通物理教学的高度，对教学内容、方法等方面进行研究，并着眼于能力的培养。本书除可做研究生和助教进修班教材之用外，还可供高等院校担任普通物理教学的教师参考，亦可做本科学生选修课教材之用。

本书内容大体包含：本科普通物理教材中未能深入讨论而理论物理又不涉及的一些内容的进一步阐述和探讨；有关普通物理教学中重点、难点内容的讨论和研究；知识面的扩展和内容的更新；教材、教法分析以及教师心得体会的介绍等若干方面。每篇文章内容自成体系，可以相对独立。

本书共有五部分组成，其中力学由佟盛勋编写，热学由黄淑清编写，光学由张国栋编写，最后由黄淑清统稿。电磁学由杨学礼和刘雪成编写（其中“关于电容的一般理论”和“关于能流密度矢量的讨论”由山西师大张维坝编写），近代物理学由甄长荫编写（其中“原子物理的实验研究方法”由北京大学许祖华编写），最后由刘雪成统稿。全书由甄长荫负责。作者署名与文章顺序相对应。

杨朝洪教授在百忙中审阅了全书，提出了许多宝贵的意见，为本书撰写了序言，我们谨致诚挚的谢意；北京师范学院科研处以及曲孝先先生等对本书的出版给予了热情地关怀和大力地支持，我们深表谢意；对北京师院出版社的支持以及有关同志的关注作者在此也一并致谢。

作者学识浅陋，担任研究生课程更缺乏经验，编写时间又很仓促，书中缺点错误难免，恳请读者赐予批评匡正。

编著者

1987年6月

目 录

力 学 部 分

一、关于牛顿运动定律的表述	1
二、与功的定义有关的几个问题	18
三、力学中的守恒定律	27
四、物理定律的对称性与守恒定律	44
五、滚动摩擦的现代概念	57
六、有关内力做功的一些问题	76

热 学 部 分

一、关于热学课教材组织的意见	92
二、关于温度和温标的几个问题	99
三、气体实验定律和理想气体的定义	106
四、关于用公式 $A = \int_{V_2}^{V_1} p dV$ 计算功的条件讨论	123
五、热力学过程的图线判别法	130
六、温度公式的导出	141
七、浅谈热力学第一定律的微观解释	148
八、范德瓦尔斯方程和气体内部压强	158
九、关于范德瓦尔斯气体的各种过程的讨论	170
十、水的反常膨胀	185

光 学 部 分

一、几何光学三题	189
二、菲涅尔公式引出的若干问题	196
三、相干性的描述	212
四、干涉、干涉条纹和条纹的变化	226

五、薄膜干涉条纹的定域	233
六、法卜里-珀罗干涉仪的分辨本领	238
七、标量衍射理论简介	241
八、考纽蜷线的计算	254
九、平面光栅衍射辐照度分布的数学讨论	259
十、衍射光栅与阵列天线	267
十一、干涉和衍射的区别与联系	269
十二、光学透镜的傅氏变换原理	274

电磁学和相对论部分

一、电磁学教学专题研究总论	290
二、关于电容的一般理论	298
三、静电场中的导体	306
四、载有稳恒电流导体的电荷分布问题	316
五、关于 E 、 D 、 B 、 H	325
六、电磁感应中的佯谬	337
七、关于能流密度矢量的讨论	345
八、关于洛仑兹力的讨论	35 ²
九、狭义相对论中几个问题的讨论(I)	364
十、狭义相对论中几个问题的讨论(II)	376
十一、长度佯谬与时钟佯谬	390
十二、磁流体力学	403

近代物理学部分

一、概论	419
二、光电效应与康普顿效应	427
三、关于玻尔理论(原子模型)的讨论	438
四、波粒二象性	450
五、测不准关系	465
六、原子基态的确定	478
七、多电子原子的能级(状态)跃迁	490
八、原子物理学的实验研究方法	503

九、核物理中的能量	520
十、核力(I)	531
十一、核力(II)	542
十二、粒子物理中的对称性和守恒定律	552
十三、K 介子衰变与 P 和 CP 不守恒	562

力学部分

一、关于牛顿运动定律的表述

约在距今三百年以前，即 1684 年 8 月，当时主持英国皇家学会工作的哈雷 (E. Halley) 曾访问牛顿。正是在哈雷的大力推动及支持下，牛顿才写成了他的名著《自然哲学的数学原理》，其中包括有作为经典力学基础的牛顿运动定律。牛顿运动定律是经典物理学也可以说是现代自然科学的基础，因此，牛顿的功绩是应当充分肯定的。正因为牛顿的威望，在《自然哲学的数学原理》发表后的二百多年中，没有人对牛顿定律的表述提出过什么意见，直到十九世纪后半世纪，才开始遇到挑战，其中最主要的是马赫 (E. Mach)。近年以来，物理学界也不断对牛顿定律在表述上存在的哲学上和逻辑上的矛盾进行讨论，提出了各种意见。本文着重分析在牛顿运动定律的教学中存在的主要矛盾，并提出自己的一些看法。本文的讨论只限于经典力学的范围，较少涉及相对论与量子力学，对一些哲学问题（如绝对时空观等）也不作深入的探讨。

(一)引言——历史的回顾

1. 牛顿对运动定律的表述

牛顿在《自然哲学的数学原理》^[1]一书中，把动力学的基本规律归纳为三条定律^[2]：

定律 1 每个物体继续保持其静止或沿一直线作等速运动的状态，除非有力加于其上迫使它改变这种状态。

定律 2 运动的改变和所加的动力成正比，并且发生在所加

的力的那个直线方向上。

定律 3 每一个作用总是有一个相等的反作用和它相对抗；或者说，两物体彼此之间的相互作用永远相等，并且各自指向其对方。

与定律有关的，还有几条定义：

定义 1 物质的量是用它的密度和体积一起来量度的。

定义 2 运动的量是用它的速度和质量一起来量度的。

定义 3 所谓 *vis insita*，或物质固有的力，是每个物体按其一定的量而存在于其中的一种抵抗能力，在这种力的作用下物体保持其原来的静止状态或者在一直线上等速运动的状态。

定义 4 外加力是一种为了改变一个物体的静止或等速直线运动状态而加于其上的作用力。

此外，还有一些关于时间、空间、位置和运动的注释，在这里，牛顿指出，它所研究的运动是在“绝对时间”与“绝对空间”中进行的“绝对运动”。

2. 马赫对牛顿定律表述的评论

在十九世纪后半半个世纪，开始有人对牛顿定律表述中存在的一些问题提出意见，其中主要的有基尔霍夫 (A. Kirchhoff)；马赫；赫芝 (H. Hertz)；彭加勒 (H. Poincaré) 等人。马赫在他的《发展中的力学》^[8]一书中对牛顿定律进行了较全面的考查与分析整理，指出了牛顿的贡献以及牛顿力学体系上存在的问题，对力学的发展作了较全面的评述。马赫自己声言写这本书的目的就是要“阐明力学的基本思想和揭示其真实意义，并清除其中某些形而上学的含糊之点”。

马赫对于牛顿在建立力学基本定律方面的功绩给以正确的评价。他指出牛顿的贡献表现在两个方面。首先，由于牛顿发现了万有引力定律而使力学的研究范围由地球扩展到天体；其次，他完成了牛顿力学的体系，而以后力学的发展都是建立在这个体系之上的。马赫认为，牛顿在伽里略、惠更斯的基础上，对力学的发展有四个方面的贡献：

(1) 对力的概念的推广。由弹性力、重力推广到万有引力和磁力等,并指出它们有共同的特性——可以使物体产生加速度。

(2) 引入并建立起质量的概念。马赫指出,尽管牛顿对质量所下的定义是一种“循环”,但“牛顿曾明确感到,每一物体应具有一个定量的、与它的重量不同的,确定运动的属性,并且我们称之为质量”。

(3) 明确地建立起一般的力的平行四边形法则。

(4) 总结出作用反作用定律。

与此同时,马赫对牛顿力学体系提出了批评。首先,他对牛顿的绝对时间、绝对空间和绝对运动等概念进行了批判,认为这种脱离物质而存在的“绝对时间”与“绝对空间”根本没有什么实际价值和科学意义,而只是一些无谓的形而上学的概念。马赫在这方面的批判基本上是正确的,而且对于爱因斯坦后来发展广义相对论,起过重要的作用。应当指出,马赫在进行上述批判的同时,又走向另一个极端,他片面地把时间的相对性与运动的相对性也绝对化了,这就陷入了相对主义。

对于运动定律的表述,马赫坚持认为只有引用可以观察和量度的物理量才有意义。他不赞成牛顿对“质量”所下的定义,认为这导致一种“循环”。他指出牛顿对质量和力两个概念的表述中完全没有给出量度标准,因而是有缺陷的。他还认为牛顿的表述有冗长、重复和繁琐等缺点,如认为第三定律与质量概念有联系等等。因此马赫提出了他认为比较简单、系统性更好的表述方案,其内容如下:

(1) 经验定律 对立的两个物体在某种由实验物理给定的条件下彼此确定着沿两个物体连线方向而指向相反的加速度(惯性定律在这里已包括在内)。

(2) 定义 任意两个物体的质量比是它们相互确定的这两个物体的加速度比值的负倒数。

(3) 经验定律 在相互引起加速度的情况下,两物体的质量比和它们的物理状态特性(不管物体是电的、磁的等等)无

关，不论是用间接方法或用直接方法得出，也仍然一样。

(4) 经验定律 几个物体 A 、 B 、 C 、……在一个物体 K 上所确定的加速度相互无关（力的平行四边形定理直接由此推出）。

(5) 定义 运动力是一个物体的质量值和在该物体上所确定的加速度的乘积。

马赫的表述把定律和定义明确区分开，而且避免了牛顿关于力和质量的模糊概念，使它们都能得到量度，这是其可取之处。但是也还存在一些问题，这里可举出以下几点。

(1) 马赫未说明它的体系是仅在惯性参考系内成立，这至少是一种疏忽。这种对参考系的依赖性正好是对马赫所声称的运动相对主义的批判。

(2) 马赫在经验定律 (1) 中隐含了作用反作用原理，但仅适用于加速度不为零的情况，因而不适用于静力学。

(3) 给一个物理量本身下定义和给一个物理量的量度下定义在哲学上是有区别的。因此马赫所坚持的仅有可观察的量才是物理量的实证主义观点有其片面性，而且在一些实际问题上是不通的。在物理学，特别是近代物理学中，就存在着大量的不可观察的物理量。对某些微量量，可观察的只有其平均值。

当然，马赫的思想和方法对物理学的发展有着深远的影响。它关于运动定律的表述方式的基本观点，已为后来的很多物理学家所接受。实际上，当前广泛使用的很多教科书上关于牛顿定律的论述，都在一定程度上吸取了马赫的观点。此外，马赫关于牛顿物理学基础方面的见解以及物理概念要以实验为基础的思想，对于爱因斯坦的早期思想曾有一定的影响。

3. 马赫以后的发展

在马赫以后，不断有人对牛顿运动定律的表述进行讨论，提出自己的修正意见。1957年埃森布德 (L. Eisenbud) 在《关于经验的运动定律》⁽⁴⁾一文中对牛顿运动定律提出了一种新的表述方法。稍后，奥斯顿 (N. Austern) 1961年在《牛顿力学的表述》⁽⁵⁾一文中也提出了类似的观点。维恩斯脱克 (R. Weinstock)

在同一年也对这一问题发表了文章^[6]。这些观点在瑞斯尼克、哈里德著的《物理学》^[7]一书中有所反映。这是继马赫以后对牛顿定律的表述又一次进行重大修正。

埃森布德与奥斯頓等人的主要观点是将运动定律与决定力的定律联合起来考虑，从加速度函数或力的函数的简单性阐明了惯性系的含义，从环境与质点间的关系阐明了力的含义，用新的方式表述了牛顿运动定律。现将他们的主要观点简介如下：

经验告诉我们，物体的运动主要受环境（特别是其中的一些主要因素）和物体本身性质的支配，只要环境（中的主要因素）不变，物体的运动情况就能再现，而物体运动则可用任一参照系（参照物和钟）描写。因而有：

定律A 我们可以找到一些参照系，相对于这些参照系，只要足够小心地重现环境和物体的可观察性质，则任一运动将能够以任意规定的精确度重复出现。

其特例是：“总可以找到一些参照系，孤立物体在其中作匀速直线运动”。即“惯性参照系是存在的”，这与牛顿第一定律相接近，但较之更普遍。

经验又告诉我们，影响物体运动的环境在短时间内的突然改变，并不引起物体位置与速度的突然改变，因而有：

定律B 质点的加速度可以唯一地与（a）环境的可观察性质，（b）质点的可观察性质及（c）质点（相对于参照系）的位置、速度和时间相联系。

用 E 表示环境， p 表示质点性质， r 、 v 、 t 分别表示质点的位置、速度、时间，则定律B即可写成

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = A(E, p, r, v, t) \quad (1)$$

其中 A 称为加速度函数。

虽然在任一参照系中都可找到 A ，但我们发现有可能找到一些参照系，在其中加速度函数具有最简单的形式。在这样的参照系中，质点的加速度函数与质点相对于参照系的位置、速度和

时间的特定值无关，而可表示为质点、环境及质点与环境关系的固有性质的函数。这样的参照系叫牛顿参照系，或惯性系。即对惯性系，有

$$\frac{d^2\mathbf{r}}{dt^2} = \mathbf{A}(E, \mathbf{p}) \quad (2)$$

在此基础上，根据相对于惯性参照系而言，两个质点在同一环境下加速度函数之比与环境无关的事实，定义两个质点质量之比为加速度函数大小的反比，再定义质点质量与加速度函数的乘积为力函数。这样就得出牛顿第二定律。

埃森布德对第三定律的考察是建立在任何物体在一定条件下都可以看成质点这一实验事实基础之上的。换言之，总可以找到一个代表点，它的运动与把整个物体（或体系）的质量集中在该点上时一样。在此基础上研究了“外加力函数”与体系总动量之间的关系，并进一步分析了“外加力矩函数”与体系角动量之间的关系，从而得出了第三个定律。

定律C 在任一体系中，总可以给各质点规定一定的质量，而使得（a）外加力函数等于体系总动量的变化率，（b）外加力矩函数等于体系总角动量变化率。

可以看出，定律C实际上是以体系的动量和角动量守恒定律代替了牛顿第三定律。虽然动量和角动量守恒比牛顿第三定律更普遍，但在经典力学范围以内，它们所包含的内容却不一定比第三定律更全面，例如在研究静力学问题时，第三定律更有实际意义。

六十年代以来，西方一些哲学家和物理学家认识到马赫在哲学上的错误，提出与马赫用操作方法来定义物理量的观点完全不同的观点。在1966年本治（M. Bunge）在《牛顿力学的马赫批判》一文^[8]中，就对马赫的观点提出了尖锐的批评。他们认为马赫企图用运动学的测量来代替动力学是行不通的。认为马赫的操作定义法混淆了逻辑定义和数量规定的界限。他们认为不通过假设，就不可能从观察得出任何推论，而没有推论也就没有理论。

他们认为任何测量都要以一些物理定律作为依据，而这些物理定律中常会包含一些不可测量的概念；科学理论的特点之一，就是包含有一些不可测量的理论上的概念。他们提出作为定义别的物理量的一些基本概念是不能定义的，因此，主张从一些不作定义但却是有意义的一些原始概念（例如物体、形状、质量、力等）出发，制定出一些原始概念所满足的公理，以此来重建经典力学。

（二）牛顿运动定律在表述上存在的矛盾

牛顿运动定律，可以说是经典力学乃至整个物理学的重要基础。但是，对于牛顿定律的表述，长期以来存在着争论。自马赫在上世纪末对牛顿定律提出修正以来，至今已经过了一个世纪，我们在前面对此已作了介绍。由于牛顿定律所代表的经典力学是一个复杂的，并在许多方面是精微的事物。因此，这定律的准确内容，在牛顿提出他的表述之后近三个世纪，仍然是一个在辩论中的问题^[9]。近年来，国内的物理教师也对此发表了很多意见，但由于问题涉及的面很广，既有逻辑问题，又有哲学问题，还与物理学的最新发展有关，所以是一个比较复杂的问题，很难统一认识。下面着重介绍一些在教学中存在的主要矛盾。

1. 牛顿第一定律

由牛顿对第一定律的表述中可以看出，这条定律是给出一个物体在不受外力时的运动特点。但牛顿在提出这一定律时，并未提供这一定律的实验基础，也未对力给出一个独立于运动定律的定义。这样就无法判断一个物体是否不受力，也就不可能用实验来检验第一定律，因此第一定律至多是“物体不受力”的定义。

此外，还有参照系的问题。第一定律只有在一定的参照系中才有意义，我们称之为惯性参照系。但是，惯性参照系又如何确定呢？答复是牛顿第一定律在其中成立的参照系。这样一来，必然会导致逻辑上的循环。当然，这个矛盾牛顿也意识到了，所以

他声言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”。但是今天，我们已否定了绝对时空的概念，因此这个矛盾更加突出了。有人认为牛顿第一定律不过是惯性系的定义。

这样，既然没有在第一定律之外独立地给出力的定义和惯性参照系的定义，牛顿定律就失去任何实际意义。第一定律是说一个物体不受外力，它相对于惯性系就没有加速度；但是又只能根据一个物体相对于惯性系没有加速度，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没有加速度，才能断定所用的参照系是惯性系。这样，就完全陷入逻辑循环，结果是什么也说不清楚。爱丁顿 (A. S. Eddington) 曾经说过，第一定律可以表述为：“任何物体保持它的静止或者匀速直线运动状态，除非它不再这样”。^[10]

关于牛顿第一定律，还有一个同牛顿第二定律的关系问题，即牛顿第一定律的独立性问题。有人认为，牛顿第一定律无非是第二定律在 $F = 0$ 时的特例，因此不是一个独立的定律。这也是一个值得探讨的问题。

2. 牛顿第二定律

关于牛顿第二定律，很明显，在第一定律中出现的逻辑循环在第二定律中同样存在。当物体的质量不变时，牛顿第二定律可写成 $F = ma$ 的形式，这里 a 应是相对于惯性系的加速度。

第二定律中的新因素是力与质量的定义及量度。如何定义“力”，牛顿对此没有明确答案。由于历史的原因，在牛顿以前，静力学已有一定的发展，人们对诸如杠杆原理，重心及浮力等已有较深入的认识，牛顿可能正是由静力学中认识“力”的，因此没有对力的量度给出定义。有些力学教材中，就是由直观引入“力”的概念，再通过物体的重量确定力的量度和单位。这种方法又叫力的静力学量度法，实际上是以二力平衡条件为基础，借助于弹簧的伸长作为尺度，同时假定同一个弹簧作同样的变形时所受的力必定相同。这样地引入力的概念，除使初学者易于接受