

高等学校教学参考书

《力学基础》 学习指导

涂安慎 杜焯英 编

高等教育出版社

内 容 提 要

《力学基础》一书是高等师范院校物理系试用教材，并经全国高等教育自学考试委员会北京市委员会指定为当前物理专业力学课程自学考试用书。本书是由原作者编写的学习指导书，可与《力学基础》一书配套使用，作者结合原书的基本内容和章节顺序，考虑了自学考试大纲的要求，根据自身的教学经验，对重点、难点、例题、思考题及学习方法等作了提示和补充讨论。本书可作为准备参加高等教育自学考试者的自学指导书，加上书中的小字部分也可供各类高等院校物理系本专科师生作为教学辅助读物。

高等学校教学参考书

《力学基础》学习指导

漆安慎 杜婍英 编

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河印刷厂印装

开本 850×1168 1/32 印张6.125 字数152,000

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷

印数 00,001—9,050

书号 13010 01133 定价1.40元

序

漆安慎、杜婵英编的《力学基础》一书是高等师范院校物理系试用教材，也可作为其它院校师生及中学教师的参考书。该书反映了作者以及北京师范大学物理系进行长期教学所积累的经验，概念清楚，条理清晰；在内容安排上也照顾了低年级学生的特点，由浅入深，层次分明。思考题和习题的类型比较齐全，数量也较充实。书后还附有历史资料和提高性的内容，可供教师和学生选用。该书自出版以来受到读者欢迎。

为了适应全国高等教育自学考试蓬勃开展的形势，1984年教育部全国高等教育自学考试指导委员会决定成立物理专业委员会。在1984年8月召开的物理专业委员会第一次全体会议上通过了物理专业考试计划。鉴于目前尚无条件编写考试计划中各门课程自学考试用书，物理专业委员会决定暂时采用一些已在全国发行的全日制高等院校教学参考书作为自学考试用书。《力学基础》被列为自学考试计划力学课程用书之一。北京市高等教育自学考试委员会也指定《力学基础》为1985年物理专业力学课程自学考试用书。

高等院校教材的内容常高于自学考试课程教学大纲所规定的基本要求。自学考生在没有教师直接指导时常常难于区分课程的基本内容和提高性的内容。同时，在编写教材时已考虑到教师在课堂进行教学这个因素，即使在基本内容上也没有展开充分的讨论。因此，需要有一本指导学习的用书，以便考生在自学过程中把主要精力放在最基本的内容上。

“《力学基础》学习指导”一书是原作者基于上述考虑而编写的与《力学基础》相配合的学习指导用书。书中对一些基本内容作了

更深入和详尽的阐述，并从学习方法上作了更多的指导。感谢作者为自学力学课程的考生提供一本学习指导用书。由于我们缺乏开展自学考试的经验，自学考生的情况又是很不相同的，此书是参照全日制学生在学习力学课程时容易产生的问题而编写的，是否适合自学者的情况，还有待于各方面读者提出宝贵意见和建议，以便作者将来从反馈的信息中作一些更有益的工作。

“《力学基础》学习指导”一书侧重于分析力学课程的基本内容和对学习方法进行指导，此书也可供全日制物理系及有关专业师生、中学教师、各类成人教育师生参考。

受作者之托，写了以上不像序言的序。

蔡伯濂

一九八五年四月于 北京大学

前 言

本书主要是为以拙编《力学基础》作为基本参考书、准备参加物理专业普通物理力学自学考试者而写的,符合高等教育自学考试物理专业试用力学课程考试大纲(草案)的要求(参见本书附录)。原书内容稍多,试图为以它作为基本教材的教师在教学中有一定的选材余地,也是为了给有余力的学生提供一些阅读材料。本书则力求符合高等教育自学考试的基本要求,在叙述方面力求重点突出。

本书主要指出《力学基础》中的难点和重点,对疑难和容易混淆的问题,通过叙述和“讨论题”进行解释。书中补充若干例题,希望有助于提高自学者的解题能力。考虑到读者的学习能力将随学习的进程而逐步提高,故本书前面部分较详细,后面较概括。

本书反映了我们的一些教学经验,如能同时对在校学习同学及讲授力学课程的教师也有一定参考价值,我们将感到十分高兴,并恳切希望读者在使用中多多批评指正,以求不断改进。

本书经全国高等教育自学考试指导委员会物理专业委员会委员北京师范大学喀兴林教授和北京大学蔡伯濂副教授认真审阅,提出了许多宝贵意见。中央电视大学吴铭磊老师审阅了部分书稿,给予了热情支持和帮助。作者表示衷心的感谢。

作者深切感谢我系李平副教授和《大学物理》杂志编辑朱济娥同志的大力支持以及我系焦梦周、管靖、左宏邵和蔡维等老师的有益讨论和协助。

作 者

1985年5月

• 1 •

目 录

序.....	1
前言.....	1
概述.....	1
第一章 质点运动学.....	9
第二章 牛顿运动定律.....	35
第三章 动量定理和动量守恒定律.....	64
第四章 功和能与碰撞问题.....	79
第五章 角动量.....	105
第六章 刚体力学.....	115
第七章 固体的弹性.....	138
第八章 振动.....	143
第九章 波动和声.....	153
第十章 流体力学.....	166
附录.....	177
1. 高等教育自学考试物理专业试用力学课程考试大纲(草案)	
2. 主要参考书目	

概 述

人们在开始学习一门新课程的时候,总是希望事先对这门学科的研究对象及基本轮廓,有一个大体的了解,还希望在学习方法方面得到某些启示,“概述”就是适应这一需要而写的,可能涉及某些尚不熟悉的概念和规律,读者可先领会其大意,在自学过程中,重新翻阅“概述”,或许对你还会有更多的帮助。

(一) 关于普通物理力学的简单介绍

普通物理学是物理专业重要的基础课程。其目的在于使学生在实验事实的基础上对物质运动建立全面的、系统的概念和比较清晰的物理图象。“普通物理学”是指“经典力学”或“古典力学”,是普通物理的一个组成部分,它研究在物体运动速率远小于真空中光速($3 \times 10^8 \text{m/s}$)和量子效应不显著条件下物体位置变动——即机械运动——的规律性。

大体说来,普通物理力学包括三部分:第一部分是质点和质点组力学,它包含作为经典力学基础的牛顿运动定律和由此派生出来的用动量、动能与角动量概念表述的定理以及有关的守恒定律;第二部分是刚体力学,它利用质点组的力学原理研究刚体的运动规律;第三部分则包括涉及物体形变的弹性体力学的基本概念、振动和波动现象以及流体力学。目前的许多力学教材中,在经典力学后面,讲述一些相对论的知识,甚至某些教材将经典力学和相对论力学结合起来。例如,在《力学基础》一书中,就有“相对论简介”一章。但在我国许多学校中,仍安排在其它后继课程中学习“相对论”,自学考试也采取这种办法。

力学是发展最早的学科之一。如果从希腊伟大学者亚里士多

德算起,已有两千三百多年的历史。不过,力学之真正成为科学,应当说是十五到十八世纪的事。这期间,达·芬奇、哥白尼、史蒂芬、开普勒、惠更斯等,特别是伽利略,都作出了重要的贡献。牛顿在当时所取得的成就的基础上,明确总结出牛顿三定律及万有引力定律,建立了经典力学的基础。在本世纪初,由于相对论和量子力学的创立,使人们重新认识经典力学,看到了它根本的局限性,即经典力学仅适用于低速运动和量子效应不明显的情况。或者说,经典力学是相对论力学和量子力学在物体速率远小于真空中光速和量子效应不明显情况下的极限。然而,经典力学并没有因此而丧失它的价值,它在其适用的范围内仍具有极大的生命力。

自学物理专业从力学开始是非常自然的。就整个物理学大厦说来,经典力学是基石。力学中提出的力、动量、动能以至于角动量等许多概念早已越出力学的范畴并在物理学其它领域得到应用和发展。力学发展中形成的研究方法,从观测、实验到分析、综合,从模型和假设的提出到理论体系的建立以至在实践中受到检验并不断发展,在历史上对许多其它学科的建立,曾经起过重要作用,并且仍然是今天科学研究的基本方法。力学体系的严谨也是颇为典型的。力学的学习还是训练严密的科学思维和分析问题解决能力的很好途径。正像“伯克利物理学教程”力学部分“致学生”中所说*：“大学物理课的头一年一向是最困难的。在第一年里,学生要接受的新思想、新概念和新方法要比在高年级或研究院课程中还要多得多。一个学生如果清楚地理解了力学中所阐述的基本物理内容,即使他还不能在复杂情况下运用自如,他也已经克服了学习物理学的大部分的真正困难了”。

牛顿和德国数学家莱布尼兹都被认为是微积分的创始人。牛顿正是结合力学的研究建立微积分概念的。因此,在力学课中引用

* 《伯克利物理学教程》第一卷·Xvi. 科学出版社,1979年版

微积分这一数学工具是很自然的事。自学“力学基础”需事先学一点微积分知识，基本要求见本书最后“数学知识”第一部分，主要是理解极限、导数、微分、不定积分和定积分的概念，并能运用公式求解简单的微积分问题。此外，矢量、矢量代数和矢量导数的概念也是研究力学不可缺少的数学工具，这方面的要求见“数学知识”第二部分。关于矢量部分的学习方法见《力学基础》“编者序言”第2页。有了矢量和微积分，就能够更准确地描述物理概念和规律，加深我们的理解，并把对于恒力、恒加速运动等常量的研究扩大为对于变力、变加速运动等变量的研究。

(二) 关于“学习指导”

在校学习有教师系统讲解，又有帮助复习巩固概念和作习题的习作课，遇到疑难问题能及时找老师或同学讨论，习题有教师批改。自学就没有这些好条件。“学习指导”就主要为自学读者补足上述条件而写的。这本“学习指导”将指出学习《力学基础》一书的基本要求、重点、难点，对容易发生误解和难于理解的内容作较为详尽的阐述，以及指导读者正确解题等。即使对于在校学生，它也起着提纲挈领重点指导的作用，特别是在学习方法上，要注意领会那些反复强调之处，以改变自己从中学带来的某些学习习惯。

有的同志可能以为“学习指导”这类辅导材料比较简单明瞭，涉及主要的概念和规律，又有重点难点的讨论，以阅读辅导材料为主对应付考试更“实惠”。我们的意见是，第一，辅导材料并非物理原理的系统阐述；第二，在某种意义上，不妨把阅读教材或主要参考书比作爬山，将辅导材料比作拐杖，以阅读辅导材料为主，一方面不利于系统学习物理学的理论知识，另一方面，若过多依靠拐杖，将会有碍于自学能力的培养。

从这本学习指导书中可以看到，除对原来例题、思考题、习题以外的小字和带“*”号内容不作要求外，对某些大字部分也未要求。这是否意味降低自学水平？实际上，即使在全日制大学力学

课中,也不必按所选教材讲完全部内容,完全可以根据具体情况由教师删掉或增补某些内容,或采用另一种讲法。即使对讲课的内容,也会有详有略。解放三十多年来,我国教师水平有很大提高,已有条件逐步废弃按一本教材从头讲到尾机械讲述的方法。《力学基础》一书希望给广大教师提供比较大的选材余地,所以内容比较多些。考虑到对这门课程的基本要求以及高中将减少微积分讲授的情况,像本书中质点在三维空间的运动、平面力系的化简等等均未作为自学要求;固体的弹性部分等,亦作适当删减,习题则大体选择了总量的3/5。

顺便指出,准备参加自学考试者还应特别注意有关部门颁发的自学考试大纲草案提出的要求(见书末附录)。

(三)对读者的要求和学习方法上的几点意见

首先要求读者认真钻研基本概念和基本规律,基本概念、物理量和物体运动所服从的基本规律其实是不可分的。藉助于概念和物理量才能描述物体运动的规律,而通过这些规律才能够对有关物理量有更深入的理解。

每当我们学到一个新的物理概念和物理量时,首先要确切掌握它的定义。物理学是一门定量的科学,一个物理量的定义应当包含它的定量描述在内。举例说来,质点动量的定义为 $\mathbf{K} = m\mathbf{v}$,质点动能的定义为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 等等,这里 m 和 v 各表示质点质量和速度。围绕定义就需要搞清楚这个量是标量还是矢量,是否和参照系有关系等等。另一方面需要看到,物理学中有一些不同概念对初学者是容易混淆的,例如功和冲量、动量和动能、动量和角动量等等,这就需要结合实例认真找到它们的区别。最后,对于概念和物理量的理解不能仅仅停留在掌握定义上。实际上,概念和物理量的真正意义蕴含在藉助于它们表述的规律之中。例如,仅仅知道动量的定义是 $\mathbf{K} = m\mathbf{v}$,并不能说明为什么要引入动量这一

概念,或不能阐释动量说明什么问题。只有结合质点动量定理、质点组动量定理、质点组动量守恒定律,才能逐步对动量有较深入的理解。

在学习基本规律时,首先要对其中涉及的概念、物理量以及定律或定理的物理内容有确切的了解。要注意哪些规律是直接建立在观察和实验基础上的,哪些可以从其它基本定律推导出来。对于后一种情况,对推导过程的前提,引入了哪些假设和条件,思路和步骤如何,都应当特别注意掌握。超越真理一步就可能导致谬误,因此,必须密切注意各定律定理的成立条件和适用范围。

不仅要认真钻研各个概念和规律,还需分清哪些是基本的,哪些是派生的,要掌握它们的关系即来龙去脉。这样,我们学到的知识才不致成为概念的堆砌,而是有机的整体。特别是,只有这样,才能认识到尽管机械运动的形式是多种多样的,然而主宰它们的反映位置变动的基本规律却是非常简单的,并恰好蕴含在大家最为熟悉的方程 $\Sigma \mathbf{F}_i = m\mathbf{a}$ 之中。不仅力学是这样,电磁学、热学和统计物理学…中的基本规律也同样是简单的。因此,掌握力学的理论体系对于统一地认识整个物理学的框架和全面的图象是有益的。

另外还要求自学者认真作习题。将已知的概念和理论用于实际并不断研究新问题,是物理学的重要任务,但作到这一点并不是容易的事。作习题是读者巩固知识提高能力的重要环节。作习题仅满足于解出正确得数是不够的。我们希望读者作到以下几点:

1. 首先把问题所涉及的现象搞清楚,哪些“已知”,哪些“未知”,哪些“待求”,哪些因素必须考虑,哪些因素可不计(例如是否不计摩擦等),用“已知”“求”或“问”表达出来。

2. 在“求解”这部分,首先需要注意根据问题的性质,恰当选用定律或定理求解。

3. 根据所选用定律和定理的要求,选定参照系,选择物体或

物体系作为研究对象,根据需要进行受力、做功或运动状况等方面的分析,进而明确为什么可以运用所选的定理、定律。把上述分析用草图表示出来。

4. 列出解题所需要的全部方程。要求写出各方程所依据的定义、定律和定理或其它考虑,指明方程中各符号的物理意义。如果遇到矢量方程并准备用投影方法求解,尚须选择坐标系,写出投影方程。注意检查方程数目是否等于未知数个数。

5. 求解方程。首先解出文字符号表示式,再代入已知数据,求数值结果计算时要注意单位。必要时应对文字结果进行讨论,说明已知量对计算结果的影响或解的适用范围等。

作习题时要全面、准确和简洁地把上述分析和计算表达出来。对解题过程要认真核对避免错误。

读者切不可把上述要求视作脱离物理内容以外强加的形式。通过学习将逐步看到,上述环节必须认真对待,它们是有根据地严格地应用定律定理分析解决问题所必需的,认真照这些环节去做有利于培养严谨的科学作风,有益于提高逻辑思维能力以及科学表达能力。

(四) 关于学习方法的意见

首先,根据个人情况制定学习计划是必要的,特别是对自学者而言,自学计划是自学成功的首要保证,计划包括对自己的要求、时间安排、采取哪些措施等。制订计划便于督促自己,使学习按步就班地进行。现在把师范院校物理系本科在校学生学习这门课程的课时分配介绍于下,供制定自学计划时参考。本课程讲授(包括习作课)课时为 90 学时,每学时 50 分钟。各章讲授时数如表 * · 1 所示。每听一学时课后,需用 2 至 3 学时复习和解习题。

制订自学计划时,不妨把自学考试大纲和教材的章节目录大体浏览一遍,初步了解所学内容的范围和篇幅。

这本学习指导书把《力学基础》各章分成若干单元,每单元围

表 * .1

章	次	课	时
微积分和矢量			10
	一		11
	二		10
	三		5
	四		10
	五		6
	六		13
	七		3
	八		8
	九		6
	十		8
合 计:			90

绕一个中心,可按单元循序自学。每开始学习一个单元的时候,不妨把该单元先通读一遍,这一遍不要求全面看懂,但力求抓住中心,初步了解讲了哪几个问题,重点是什么,可能在哪些地方遇到困难。进一步精读时,则对于有关实验基础,基本概念、定律和定理,公式推导以及应用,均应认真对待。遇到较为困难的内容,可以暂时放一放,所讲内容总是前后连贯的,读到后面有可能搞懂前面的问题。读书不仅需要用眼看、用脑想,动手也很重要。碰到不懂的公式,自己推一推,也许就懂了;有些看来似乎已经理解的内容,动手写一写、算一算,或许又能发现新问题。

有一句老话:“不动笔墨不读书”。在理解的基础上写读书笔记是个好办法,可以按照自己的理解写下去,这样能使学习更深入一步,有利于把知识系统化为自己的东西。还有,写读书笔记不必作大段文章,最好分条分款,错落有致,概念、定理、推导、应用,一目了然,也便于复习。

自学者能觅得二、三好友彼此切磋讨论,将是非常有益的事,

这颇有利于开拓思路,取得个人闭门苦读达不到的效果。如果能征得对本课程熟悉的人的指导当然更好,这不仅能解答一些疑难问题,还能帮助我们少走弯路,避免钻牛角尖。

有选择地多阅读一些其它参考书籍也是必要的,以便从不同参考书中吸取养分,并提高自己的分析鉴别能力。可采用系统阅读一本主要参考书的办法,而不必对其它每本参考书都从头读起。要带着自己的问题,挑选参考书中有关章节,有目的地阅读,善于从中吸取自己需要的营养,学会对不同书中的论证进行比较,哪些方面相同,哪些方面不同,经过分析,形成自己的理解和认识。在《力学基础》及本书后面都附有建议参阅书目。

除去教科书外,要养成浏览书、报、杂志关心物理学发展前沿动态的习惯。人们对物理学中基本概念和规律的认识是在不断深化和发展的。这些深化和发展不一定属于力学的范畴,但其中一部分可能和力学有直接或间接的关系。关心这些问题的好处是:第一,开拓我们的眼界,避免把学到的概念和原理看成僵死的东西,而能够意识到它们是在发展的;第二,物理学是一个整体,它包括力学、热学、电磁学、原子物理学等若干部分,我们不仅要认真学好各部分,还要注意它们之间的联系,而前沿动态往往和各部分间横的联系有关。物理学发展的前沿往往不能及时反映在教科书里面,从而书、报、杂志就成为很好的参考材料。在这方面不必要也不可能要求懂得很清楚,只需要大体上了解。我们在读书方面要有两套本领:一方面对基本概念和基本规律能深入钻研,理解得比较透彻;另一方面又能广为涉猎,不断扩大自己的知识面和随时准备接受新观念。

最后作一点说明。为了更好地与《力学基础》原书相配合,凡本书中提到的章、节、页数、图、表、公式、例题、思考题及习题中未加*的编号都是针对《力学基础》说的。凡本书中补充内容的页数、图、表、公式、例题和思考题等的编号前方均冠以*号。

第一章 质点运动学

质点运动学研究如何描述质点位置随时间的变动,以及各运动学量之间的关系,不涉及运动和质点受力的关系。与中学相比,本章有如下特点:

1. 由于引入矢量和微积分等数学工具,能对位置矢量、位移、速度和加速度等基本概念以及它们的关系给出更为严格的定义和描述。

2. 由于微积分的引入,使我们能把在中学对匀速运动、匀变速运动的研究扩大为对一般变速运动的研究。

3. 在中学,先讨论匀速运动,而后匀变速运动,再讨论曲线运动,即从特殊到一般。在这里,我们首先给出质点运动学的一般概念,然后用来研究直线运动曲线运动等具体问题,即从一般到特殊。

基于以上特点,使得关于质点运动学的学习从深度和广度方面都有相当程度的提高。希望自学者意识到以上几点并用于指导本章自学。

可将本章分为如下五个单元进行学习。

1.1 参照系、时空坐标系和质点模型 (§ 1.1, § 1.2)

(一) 参照系:学习时注意以下几方面:

1. 为什么引入参照系:这是基于机械运动既是绝对的又是相对的这一客观性质。绝对性指一切物体都在运动。一物体相对于不同标准有不同运动状况即运动的相对性;由于运动的相对性,不首先选择参照系,就无法研究运动。

2. 什么物体可选作参照系:一个不变形的或几个不变形且无

相对运动的物体。

3. 参照系应当是具体的客观物体,例如地球、运动的车厢等。有些初学者喜欢“以地心为参照系”,这一提法不妥当。地心是几何点,只能谈其它物体相对于它的距离,一个几何点无所谓上下左右,故无法讨论其它物体相对于它的方位。

4. 要看到在运动学中可根据研究问题方便与否任意选择参照系;但在动力学中并非如此。待学到动力学时才能把后面一点搞清楚。

(二) 时空坐标系

1. 为什么引入时空坐标系:要看到这是基于机械运动的另一条性质,即运动总是在一定的空间空间中进行的。为定量描述运动,就需要建立时空坐标系。

2. 坐标系应包括原点、坐标轴指向和刻度。时间坐标轴指向时间前进的“方向”,原点即计时起点。空间坐标系的类型较多,视不同需要而选取。

3. 掌握长度和时间单位,以便于计算。

(三) 质点的理想模型

1. 多样性和复杂性也是机械运动的一条客观性质:物体可作各种不同形式的运动,物体运动时其各个部分的运动状况也可能不同。为从简单到复杂,要从描述最简单的质点运动开始。

2. 着重体会“质点”是理想模型,是科学的抽象。仔细阅读§ 1.2 第一、二自然段。至于理想模型在物理学中的重要作用,需要在今后学习中不断加深理解。

1.2 质点运动学的基本概念(§ 1.3, § 1.4)

本单元中心内容是就质点一般运动建立位置矢量、运动学方程、位移、路程、瞬时速度和瞬时加速度的概念。

(一) 质点运动学方程·位移和路程

1. 运动学方程

掌握质点的运动学方程是位置矢量 r 作为时间变量 t 的函数

$$r=r(t)。(1.3.2)$$

应注意以下几方面：

(1) 为什么引入运动学方程：中学较多接触具体的运动，如匀速直线运动，圆周运动，抛物运动或其它运动。物理学总力图用统一的模式概括同类现象，以研究其共同特征。运动最根本的共同特征是质点位置随时间推移而变化，即一定的位置矢量与一定时刻相对应。(1.3.2) 恰好反映了这一对应关系。

(2) 结合具体运动并从“动”的观点理解运动学方程：

概念是从许多具体实际的运动抽象出来的，最初学习概念时与具体现象结合有助于加深理解。图 * .1.1 表示直线运动、圆周运动、抛物运动和其它运动中 r 与 t 的对应关系，注意 $t_0 < t_1 \cdots < t_n$ ，便能在头脑中形成一幅质点运动的图象。

(3) 要特别注意运动学方程是时间的矢量函数，既要注意方向又要看到大小。可以用质点位置坐标作为时间的函数表示。对

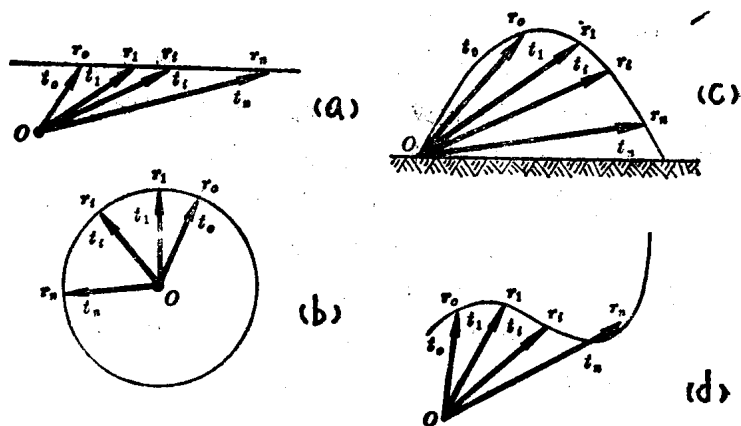


图 * .1.1