

理论物理概论

(上册)

萧景林 主编

内蒙古大学出版社

理论物理概论(上册)

主 编	萧景林	
副主编	李子军	胡文弢
	范体贵	刘亚民

内蒙古大学出版社

内 容 提 要

《理论物理概论》是作者在多年教学中使用的讲义基础上,结合目前高校教学改革和部分高校的教学需求经修改之后编写而成的。

本书内容比较丰富,她精炼、简洁、明了地阐述了理论物理课程的基本概念、基本理论、基本方法和基本思想的主要内容,并收集了适当的习题。全书共分为四编,包括:理论力学、电动力学、热力学与统计物理学和量子力学。该书分上、下两册出版。其中上册包括前两编,下册包括后两编,每一编都自成体系。

本书可供高等专科院校和函授学院物理专业的本、专科学生开设理论物理课程时使用,也可供大、中学物理教师及相近专业的师生参考。

书 名	理论物理概论(上、下册)
主 编	萧景林
责任编辑	侯富英
封面设计	李子军
出 版	内蒙古大学出版社 呼和浩特大学西路235号(010021)
发 行	内蒙古新华书店
印 刷	通辽奈曼报社印刷厂
开 本	850×1168/32
印 张	19
字 数	480千字
版 期	2000年12月第1版 2000年12月第1次印刷
标 准 书 号	ISBN 7—81074—164—0/O·22
全 书 定 价	28.50元

本书如有印装质量问题,请直接与出版社联系

前 言

《理论物理概论》是作者在为高等师范院校物理专业的本、专科及函授生讲授理论物理课程讲义的基础上,经多年实践、修改、补充及探索而形成的。她包括理论物理的理论力学、电动力学、热力学与统计物理学和量子力学。

随着科学知识、技术水平和人类现代文明的飞速发展,各阶层的人士认识世界的条件、增长知识的方式和获取信息的渠道日益增多。同样是中学生和大学生,现代学生的认识能力和知识水平,比一、二十年以前的学生要高出很多,这就迫使人们不得不进行教学改革。教学改革的主要内容之一就是急需编写适合于现代学生能力和水平的教材。

我国大学传统的教育是物理专业只有本科生才开设理论物理的“四大力学”课程,专科生只简要介绍理论力

学.现代的形势已迫切要求:物理专业的专科生也需要学习电动力学、热力学与统计物理学和量子力学,而且对理论力学的学习也不能只停留在粗浅的水平上.因此,急需编写一部适合于他们的教材,本书就是应这样一种需要而产生的.此外,成人函授教育目前已成为我国高等教育的一大支柱,由于到目前为止还没有看到较为成熟的适合于我国物理专业函授本科生教育的理论物理教材,所以在编写本书的同时,我们也考虑了函授生这一层次.

传统的“四大力学”教材已形成,出版了深度不同、风格各异的许多教材,但还有许多问题需要研究.这些教材只适用于物理专业全日制本科生的教学,对其它专业和层次的师生只能作参考.本书与之不同,她较精炼、简洁、明了地介绍了理论物理的基本概念、基本理论和基本方法.她虽然包括了理论物理的所有基本内容,但在讲授方面本书力求用较少的学时、介绍较多的知识、且又保证不失理论物理的体系完整和主要的基本内容.这是本书的主要特色之一,也是目前教学形势的要求.

本书的作者多年来都从事着教学实践和教学研究工作.有些从事教学实践工作已近四十年,有些从事教学研究工作已近二十年,他们有丰富的教学实践经验和教学研究成果,曾有多篇研究论文发表在中国物理学会主办的《大学物理》刊物上.通过多年的教学实践,所获得的教学经验是可贵的,有些是极其珍贵的;通过多年的教学研究,发现传统的教学内容和体系有些是不够完善的,有

些介绍知识内容的方法和观点不是最佳的,甚至有些教材的内容还存在着不妥或严重的错误.因此,作者又把多年的教学实践经验和教学研究成果溶于《理论物理概论》之中,使之与其以前的教材相比,易教、易学.这是本书的主要特色之二.

本书的作者都多年来从事着科学前沿的研究工作.有些已在《美国物理评论》等国内外著名刊物上发表学术论文一百七十余篇.在多年科学研究的过程中,亲自探索和总结了一条怎样发现问题、认识问题、分析问题和解决问题的途径.所以,在编写本书的过程中,也把这样的总结和体会渗透到了《理论物理概论》之中,努力使学生能够得到科学思维方法的培养和训练.这可视为本书的主要特色之三.

尽管我们作了许多努力和考虑,但由于水平所限,加之时间仓促,不妥和错误还是在所难免,恳请读者不吝赐教.本书若能给我国的物理教育及改革带来轻微益处,我们都将万分欣慰.

在本书的编写、出版和印刷中,曾得到了许多同仁的支持和帮助,作者在此一并表示感谢!

编者

2000年10月

目 录

第一编 理论力学

第一章 静力学	(3)
§ 1.1 静力学基础	(4)
§ 1.2 力系的简化	(8)
§ 1.3 力系的平衡	(24)
习题	(29)
第二章 运动学	(31)
§ 2.1 质点运动学	(32)
§ 2.2 刚体的平行移动与定轴转动	(46)
§ 2.3 点的合成运动	(53)
§ 2.4 刚体的平面平行运动	(62)
习题	(72)
第三章 动力学	(74)
§ 3.1 动力学基本定律	(74)
§ 3.2 动量定律	(86)
§ 3.3 动量矩定理	(90)
§ 3.4 动能定理	(98)
习题	(111)
第四章 分析力学基础	(114)

§ 4.1 约束与广义坐标	(114)
§ 4.2 虚功原理	(119)
§ 4.3 拉格朗日方程	(128)
习题	(143)

第二编 电动力学

第一章 电动力学中的单位制及张量运算	(147)
§ 1.1 单位制	(147)
§ 1.2 矢量分析及张量运算	(149)
§ 1.3 轴对称情况下拉普拉斯方程的通解	(157)
第二章 电磁现象的普遍规律	(160)
§ 2.1 真空中静电场的场方程	(160)
§ 2.2 电流和磁场	(164)
§ 2.3 介质中静电场和稳恒磁场方程组	(169)
§ 2.4 麦克斯韦方程组	(176)
§ 2.5 电磁场边值关系	(180)
§ 2.6 电磁场的能量和能流	(183)
习题	(185)
第三章 静电场和稳恒电流的磁场	(187)
§ 3.1 静电场的势及其微分方程	(187)
§ 3.2 唯一性定理	(191)
§ 3.3 电象法	(192)
§ 3.4 分离变量法	(195)
§ 3.5 稳恒磁场矢势及其微分方程	(203)

§ 3.6 磁标势法	(208)
习题	(213)
第四章 电磁波的传播	(215)
§ 4.1 平面电磁波在介质中的传播	(215)
§ 4.2 平面电磁波在介质分界面上的反射和折射	(219)
§ 4.3 平面电磁波在导体中的传播	(222)
§ 4.4 电磁波在波导管内的传播	(224)
习题	(231)
第五章 电磁波的辐射	(234)
§ 5.1 迅变电磁场的势及其微分方程 推迟势	(234)
§ 5.2 电偶极辐射	(240)
§ 5.3 电磁波的衍射	(244)
§ 5.4 电磁动量	(248)
习题	(253)
第六章 狭义相对论	(255)
§ 6.1 狭义相对论的实验基础	(255)
§ 6.2 狭义相对论的基本原理 洛仑兹变换	(262)
§ 6.3 相对论的时空理论	(265)
§ 6.4 因果律对讯号速度的限制 速度相加定理	(270)
§ 6.5 相对论理论的四维形式	(273)
§ 6.6 相对论力学	(282)
§ 6.7 电动力学的相对论不变性	(287)
习题	(292)
主要参考书目	(295)

第一编

理论力学

第一章 静力学

静力学研究物体在力系的作用下处于平衡的规律. 平衡是物体机械运动的一种特殊状态. 若物体相对于参照系静止或作匀速直线运动, 则称此物体处于平衡.

静力学中所采用的力学模型是刚体. 所谓刚体, 是指在力的作用下不变形的物体. 实际上, 任何物体受力后或多或少都会发生变形, 但是许多物体的变形十分微小, 对静力学所研究的问题来说, 略去变形不会对研究的问题的结果发生显著影响, 同时能大大减少问题的复杂程度. 因此, 这时把实际的物体抽象成刚体, 不仅是合理的, 而且是必要的.

在静力学中将着重研究以下两个基本问题.

1. 作用在刚体上的力系的等效代替和力系的简化

力系是指作用在刚体上的一组力或一群力. 为了求解问题的需要, 根据力的基本性质对力系中诸力加以分解或合成, 在保持力系对刚体作用效应不变的条件下, 用另一力系来代替原力系, 这称为力系的等效代替. 如用最简单的力系等效地代替较复杂的力系, 这就是力系的简化. 通过力系的简化可以知道力系对刚体作用的总效应.

2. 刚体在各种力系作用下的平衡条件及其应用

根据力系中诸力作用线在空间分布的不同,可以把力系分成不同的种类.在一般情况下,刚体在任意一种力系作用下不一定处于平衡状态.若作用于刚体上的力系不平衡,则刚体的运动或平衡状态就要发生变化,这是动力学中所要研究的问题.在特殊情形下,若力系满足某些特定条件,则刚体将处于平衡状态,这些特定的条件称为平衡条件.通过刚体的平衡条件,可研究刚体的平衡问题.

§ 1.1 静力学基础

1. 静力学的基本概念

(1) 力

力是物体相互间的机械作用,这种作用使物体的运动状态发生变化,或使物体的几何形状发生改变.使物体的运动状态发生变化的效应称为运动效应(外效应),使物体发生形变的效应称为变形效应(内效应).理论力学只研究力的运动效应.

力对物体的效应取决于力的大小、方向、作用点三个要素,只要其中一个要素发生改变,力的效应也必定改变.过力的作用点,沿力的方向作一条直线,叫做力的作用线.因为力具有大小和方向,而且力的相加服从平行四边形法则,所以力是矢量.力的作用效应与其作用点位置有关,因此,表示力的矢量必须和该力所确定的作用点联系起来才有意义.这样的矢量称为定位矢量;反之,作用点可任取的矢量称为自由矢量;而作用点可沿作用线前后移动的矢量则称为滑移矢量.由实践知,作用于刚体上的力,可沿其作用线移动到刚体内任意一点,而不改变该力对刚体的效应.例如用力拉车,或沿同一直线以同样大小的力推车,对车产生的运

动效应是相同的.力的这种效应称为力的可传性.因为作用于刚体上的力具有可传性,所以力对刚体来说是滑移矢量.但需要注意,利用力的可传性只是不改变力对物体的外效应,但要改变力对物体的内效应.

(2)刚体

所谓刚体,是指在外界的任何作用下形状和大小都始终保持不变的物体.或者说刚体是任意两点间的距离保持不变的质点组.事实上,任何物体受力作用时,多少会产生一些变形,但是许多物体受力后,变形非常小,对于平衡或运动问题的研究来说,可以忽略不计,因而可以看作刚体.所以,刚体只是实际物体抽象化了的模型.

(3)平衡

平衡是物体运动状态的一种特殊形式.在静力学中,平衡是指物体相对于地球处于静止或作匀速直线运动.物体在力的作用下处于平衡所需满足的条件称为平衡条件.

2. 静力学公理

静力学的理论是基于静力学公理所建立的,这些公理是人们在长期的生活和生产中经验的总结,并经过实践的反复检验,证明是正确的.本编以后的一切论述都是以如下所述公理为根据的.下面介绍静力学公理.

(1)公理一:二力平衡公理

作用在同一刚体上的两个力,使刚体处于平衡的充要条件是:两个力的大小相等方向相反,且作用在同一条直线上.必须指出,刚体二力平衡的充要条件对非刚体来说只是必要的,而不是充分的.对于非刚体,这个公理的适用性受到限制.例如,软绳受大小相等、方向相反的两个拉力时可以平衡,但如变为压力,则不能平衡.

(2)公理二:加减平衡力系公理

在作用于刚体上的任一力系中,加上或减去任何一个或几个平衡力系,不改变原力系对刚体的效应.这个公理只对刚体才成立.对于实际物体,加减某些平衡力系,就会影响物体的变形,甚至会引起对它的破坏.因此,必须经常注意理想模型与实际物体间的差别.

上述两个公理,以后要经常用到.从这两个公理还可导出下面两个重要推论.

推论 1(力在刚体上的可传性):作用于刚体上的力,它的作用点可以沿作用线在该刚体内前后任意移动,而不改变它对该刚体的作用.这个推论读者可以自行证明.

推论 2(三力平衡时的共点性):当刚体在三个力作用下平衡时,设其中两个力的作用线交于某点,则第三个力的作用线必定也通过这个点.分析刚体在三个力作用下的平衡问题时,如其中两个力已确定常用该定理来确定第三个力的大小和方向.

(3)公理三:力的平行四边形法则

作用于刚体上同一点的两力可合成为一个合力,合力的大小及方向由以这两力矢量为邻边构成的平行四边形的对角线矢量来表示,并作用在两力的公共作用点.即合力是原两力的矢量和.

设在点 A 作用着力 F_1 和 F_2 ,如图 1.1.1, R 代表它们的合力,则有 $R = F_1 + F_2$,式中“+”号表示按矢量相加,即按平行四边形法则相加.

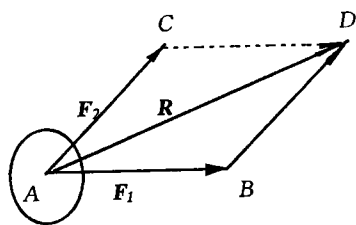


图 1.1.1 二力的合成法则

力的平行四边形法则的作图过程可以简化.为求合力 R ,只须画出平行四边形的一半 ABD .为此可在画出力 F_1 的矢量 $\vec{AB}$ 后,以点 B 作为第二个力 F_2 的起点,画出表示这个力的矢

量 $\overrightarrow{BD}$. 于是连结第一个力的起点 A 与第二个力的终点 D 的矢量就表示了合力 R . 三角形 ABD 称为力三角形. 这种用力三角形求合力的方法叫力三角形法则. 由力的三角形法则可推广为力的多边形法则.

平行四边形法则还可推广应用于不共面的三个共点力的情形. 如图 1.1.2 中有不共面的三个力 F_1 、 F_2 、 F_3 作用于 A 点, 欲求其合力. 为此, 应用平行四边形法则可先求出 F_1 和 F_2 的合力 F , 再求出 F 与 F_3 的合力 R .

力 R 就是 F_1 、 F_2 、 F_3 的合力, 其作用线通过点 A . 由图可见, 合力 R 可用以三个力为棱构成的平行六面体的对角线矢量来表示. 这种求合力的方法称为力的平行六面体法则.

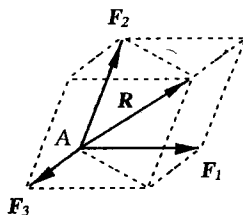


图 1.1.2 空间三力的合成法则

(4)公理四:作用与反作用定律

两物体间相互作用的力(作用力与反作用力)同时存在, 沿同一直线作用, 而且大小相等、方向相反. 这个公理表明力总是成对出现的. 但应注意, 作用力与反作用力是分别作用在不同的两个物体上的. 在分析每个物体的受力时, 只应考虑它所受的作用力, 而不应考虑它作用于其它物体的反作用力; 同时也不能把作用力与反作用力看成一对平衡力.

3. 力的平移定理

设一力 F_A 作用在刚体的 A 点, 现在要把它等效地平移到刚体的任一指定点 B . 为此, 可在 B 点加上大小相等、方向相反且与 F_A 平行的一对平衡力 F_B 和 F_B' , 并使 $F_A = F_B = F_B'$. 根据加减小

平衡力系公理, 力 F_A 与三个力 F_A 、 F_B 和 F_B' 的合力等效. 显然, F_B' 和 F_A 组成一个力偶, 称为附加力偶, 其力偶臂为 h . 这样一来, 作用于 A 点的力 F_A , 可由作用于 B 点的力 F_B 和一个附加力偶来代替, 如图 1.1.3 所示. 也就是说, 作用在 A 点的力 F_A 可以平移到刚体内任一指定点 B , 但必须同时要附加一个力偶. 该附加力偶的力偶矩的大小为

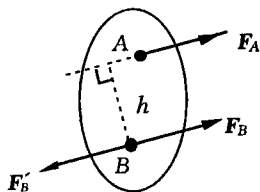


图 1.1.3 力的平移

$$M = F_A h = M_B \quad (1.1.1)$$

由此可得力的平移定理: 作用在刚体上的力, 可以等效地平移到刚体内任一指定点, 但必须在该力与指定点所决定的平面内附加一个力偶, 附加力偶的矩等于原力对指定点的力矩.

顺便指出, 根据上述平移力的逆过程, 共面的一个力和一个力偶总可以合成为一个力, 合力的大小和方向与原力相同, 但它们的作用线却要相距一定的距离.

§ 1.2 力系的简化

1. 共点力系的简化

共点力系是指各力的作用线相交于一点的力系. 如共点力系的各力的作用线位于同一平面内, 则称为平面共点力系; 否则为空间共点力系. 本小节先研究空间共点力系的简化, 而把平面共点力系作为它的特例来处理.

(1) 共点力系合成的几何法