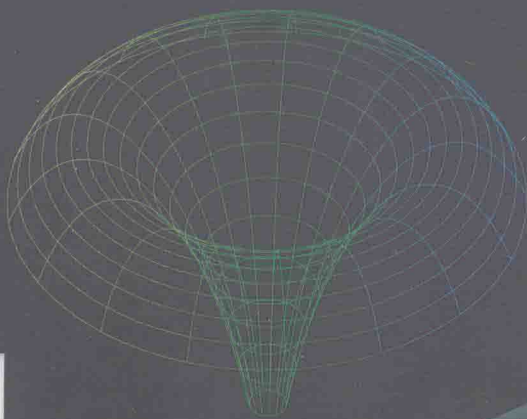




普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学习指导

康山林 梁宝社 赵宝群 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

大学物理学习指导

康山林 梁宝社 赵宝群 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书根据最新版本的高等工科院校“大学物理课程教学基本要求”,本着突出重点,提高解题能力,便于学生自学和教师教学的原则编写而成。本书着重叙述物理概念和物理规律的理解要点、适用范围和应用方法,以帮助读者正确理解和掌握大学物理的基本概念和基本规律;同时给出大学物理的各部分内容的知识结构,从而系统地掌握大学物理课程的内容体系;比较系统地介绍物理学研究方法,以便于深入领会和学习大学物理研究问题的基本思想和方法。本书的重点在于对各章习题进行归纳分类,阐述各种类型习题的解题思路和方法,有益于培养和提高分析问题、解决问题的能力。本书还对与大学物理相关的一些重要内容或有趣的问题进行分析和讨论,用于拓展知识面,以弥补教材内容的不足。阅读本书,读者可以系统地学习物理学研究问题的思想方法,比较准确地理解大学物理的基本概念和基本规律,特别是能够有效地学习求解物理习题的基本方法和技巧,有益于培养和提高分析问题、解决问题的能力。

全书紧紧围绕重点,突出解题思路和方法,概念清楚,文字通顺,篇幅简洁,对学生掌握物理知识,提高解题技巧和能力,特别是系统学习物理学研究问题的基本方法都有较大的帮助,对教师的教学也具有一定的参考价值。

本书可作为高等工科院校及各类成人大学师生及自学者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/康山林,梁宝社,赵宝群主编. —北京:科学出版社, 2014. 1

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-039621-1

I. ①大… II. ①康… ②梁… ③赵… III. ①物理学-高等学校-教学参考资料 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 011992 号

责任编辑:昌 盛 王 刚 / 责任校对:胡小洁

责任印制:阎 磊 / 封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 1 月第一次印刷 印张:24 3/4

字数:650 000

定价:43.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

大学物理学是理工科大学学生的一门重要基础课. 学好大学物理学对于培养学生的科学思维方法, 提高学生科学素质和从事科学工作的能力是至关重要的. 但是, 很多工科学生对于理解物理概念、掌握物理规律, 特别是求解物理习题感到十分困难, 其主要原因就是物理学内容广泛、概念抽象、规律较多, 而且各部分内容的研究方法差异较大, 使学生难以接受, 尤其是面对物理习题往往无从下手. 目前, 工科物理学课时少、内容多的矛盾日益突出, 仅靠一套教材难以满足教学要求. 因此迫切需要一套针对性较强、切实可行的学习指导书. 为此, 我们集全体作者多年的教学经验编写了这本《大学物理学习指导》.

本着突出重点, 提高解题能力, 便于学生自学和教师教学的原则, 本书对各章安排了四项内容.

(1) 基本要求. 根据教育部关于高等工科学校“大学物理基本要求”, 对各章需要掌握的内容、重点理解的内容和一般了解的内容提出了明确要求, 从而使学生心中有数.

(2) 主要内容与学习指导. 对各章的主要内容进行归纳, 着重说明物理概念和物理规律的理解要点、适用范围及应用方法, 从而帮助学生准确理解物理概念和规律. 为了使學生能够系统地掌握大学物理课程内容体系, 我们对每一篇内容都给出了知识结构图, 有助于学生掌握物理学知识的逻辑结构和因果关系.

(3) 习题分类与解题方法指导. 将各章的物理习题综合归纳成若干类型, 对每一类型的习题都明确指出了解题思路和方法, 并结合典型例题进行说明, 意在帮助学生掌握求解物理习题的基本方法和技巧, 从而提高他们应用物理知识分析问题和解决问题的能力.

(4) 知识拓展与问题讨论. 各章都选取了一些重要内容或某些有趣的问题进行分析和讨论. 由于学时所限, 这些内容或问题在课堂上难于讲述, 在教材中也没有涉及, 但是对于理工科大学学生又是有必要了解的. 学习这一部分内容有益于拓展读者的知识面和提高他们学习大学物理的兴趣.

每章附有习题以供读者练习之用. 关于习题的设置, 我们参考了现在比较流行的几种题库的内容和试题形式, 对每一章都设置了选择题、填空题、计算题和证明题, 而且对于每一种类型的习题, 都紧密结合本书正文中的习题分类和解题方法指导, 便于学生通过练习这些习题的求解, 掌握各类习题的求解方法和技巧.

我们知道, 在学习自然科学知识的同时, 更重要的是学习和掌握科学方法. 科学方法虽然给人们的不是现成的知识财富, 但它是挖掘和打开知识宝库的工具和钥匙. 为了方便广大读者学习和掌握物理科学的研究方法, 我们在本书的开篇(第0章)就比较全面系统地介绍了物理学研究方法, 并且尽量结合实例说明了这些方法的具体作用, 而这些方法也是所有自然科学研究中常用的科学方法. 通过阅读和学习这部分内容, 对于学生在学习大学物理过程中了解物理学基本思想和基本方法, 从而提高他们的科学素质是大有好处的.

本书由康山林、梁宝社、赵宝群担任主编, 负责本书内容的设计并审核定稿. 参加本书编写

工作的有:康山林(第0章),赵宝群(第1章~第4章),范锋(第5章),张慧亮(第6章、第7章),赵剑锋(第8章、第9章),熊红彦(第10章、第11章),张春元(第12章~第14章),张寰臻(第15章~第17章),王意(第18章、第19章).

由于水平有限,时间仓促,本书不足之处在所难免,恳请读者提出宝贵意见.

编 者

2013年9月

目 录

前言

第 0 章 物理学研究方法	1
一、理想化方法	1
二、实践性方法	3
三、物理学研究中的逻辑方法	7
四、数学思维方法	28
五、唯物辩证法	34
六、非逻辑思维方法	36
小结	44

第一篇 力 学

第 1 章 质点运动学	49
一、基本要求	49
二、主要内容与学习指导	49
三、习题分类与解题方法指导	53
四、知识拓展与问题讨论	64
习题 1	66
第 2 章 牛顿运动定律	71
一、基本要求	71
二、主要内容与学习指导	71
三、习题分类与解题方法指导	73
四、知识拓展与问题讨论	81
习题 2	83
第 3 章 功和能	89
一、基本要求	89
二、主要内容与学习指导	89
三、习题分类与解题方法指导	91
四、知识拓展与问题讨论	98
习题 3	101
第 4 章 动量和角动量	106
一、基本要求	106
二、主要内容与学习指导	106
三、习题分类与解题方法指导	108
四、知识拓展与问题讨论	118
习题 4	120

第5章 刚体的定轴转动	126
一、基本要求	126
二、主要内容与学习指导	126
三、习题分类与解题方法指导	129
四、知识拓展与问题讨论	135
习题5	137

第二篇 机械振动与机械波

第6章 机械振动	143
一、基本要求	143
二、主要内容与学习指导	143
三、习题分类与解题方法指导	147
四、知识拓展与问题讨论	155
习题6	156
第7章 机械波	160
一、基本要求	160
二、主要内容与学习指导	160
三、习题分类与解题方法指导	164
四、知识拓展与问题讨论	169
习题7	171

第三篇 热 学

第8章 气体动理论	177
一、基本要求	177
二、主要内容与学习指导	177
三、习题分类与解题方法指导	181
四、知识拓展与问题讨论	186
习题8	188
第9章 热力学基础	192
一、基本要求	192
二、主要内容与学习指导	192
三、习题分类与解题方法指导	197
四、知识拓展与问题讨论	202
习题9	204

第四篇 电 磁 学

第10章 真空中的静电场	213
一、基本要求	213
二、主要内容与学习指导	213

三、习题分类与解题方法指导	219
四、知识拓展与问题讨论	228
习题 10	229
第 11 章 导体和电介质中的静电场	234
一、基本要求	234
二、主要内容与学习指导	234
三、习题分类与解题方法指导	241
四、知识拓展与问题讨论	250
习题 11	251
第 12 章 稳定磁场	256
一、基本要求	256
二、主要内容与学习指导	256
三、习题分类与解题方法指导	261
四、知识拓展与问题讨论	273
习题 12	275
第 13 章 电磁感应	280
一、基本要求	280
二、主要内容与学习指导	280
三、习题分类与解题方法指导	283
四、知识拓展与问题讨论	293
习题 13	295
第 14 章 电磁场与电磁波	302
一、基本要求	302
二、主要内容与学习指导	302
三、习题分类与解题方法指导	305
四、知识拓展与问题讨论	308
习题 14	309

第五篇 波动光学

第 15 章 光的干涉	313
一、基本要求	313
二、主要内容与学习指导	313
三、习题分类与解题方法指导	317
四、知识拓展与问题讨论	320
习题 15	321
第 16 章 光的衍射	327
一、基本要求	327
二、主要内容与学习指导	327
三、习题分类与解题方法指导	331

四、知识拓展与问题讨论	333
习题 16	335
第 17 章 光的偏振	339
一、基本要求	339
二、主要内容与学习指导	339
三、习题分类与解题方法指导	341
四、知识拓展与问题讨论	343
习题 17	345

第六篇 近代物理学

第 18 章 狭义相对论	351
一、基本要求	351
二、主要内容与学习指导	351
三、习题分类与解题方法指导	356
四、知识拓展与问题讨论	359
习题 18	361
第 19 章 量子物理基础	364
一、基本要求	364
二、主要内容与学习指导	364
三、习题分类与解题方法指导	369
四、知识拓展与问题讨论	372
习题 19	375
习题答案	378

第 0 章 物理学研究方法

物理学是研究物质运动基本规律和物质基本结构的科学. 物理学的基本观点是人们的自然观和宇宙观的重要组成部分. 物理学的每次重大突破都深刻地影响着人们对世界的认识. 物理学是新学科的先导, 物理学革命孕育着新的技术, 物理学促进新思维的发展. 把物理学仅仅看成一门专业性的自然科学是不全面的, 把物理学当成为某些专业课服务的工具也是不正确的. 大学物理学课程应该是广义上的基础课, 它应是思想基础、知识基础和方法基础. 正因为如此, 学习大学物理学课程对于培养和提高一个人的科学素质具有举足轻重的作用, 在实行素质教育的今天更是如此.

物理学发展过程自始至终都彰显着彻底的唯物主义精神, 坚持“实践是检验真理的唯一标准”这个原则, 并且这种“实践”在物理学中发展成为特定的“实验”方法, 具有其他学科达不到的精密程度; 再结合严密的推理, 发展成一套成功的物理学研究方法. 物理学能取得如此辉煌的成就, 关键就是发展和运用了一套科学的研究方法, 这套方法也被广泛应用于其他自然科学和技术科学中, 对其他自然科学和技术科学的研究具有指导作用, 其他自然科学的发展也充分地证明了这一点.

人们做任何事情都要讲求方法, 方法对头, 事半功倍, 反之事倍功半, 甚至一事无成. 德国物理学家亥姆霍兹讲过这样一段话: “我欣然把自己比做山中的漫游者, 他不谙山路, 缓慢吃力地攀登, 不时要止步回头, 因为前面已经是绝境. 突然, 或许念头一闪, 或是由于幸运, 他发现一条通往前面的蹊径. 等他最后登上山顶时, 他羞愧地发现, 如果他当初具有找到正确道路的智慧, 本有一条阳关大道可以直通顶巅”. 虽然人们常说“书山有路勤为径”, 但要捷足先登, 不能只凭气力, 必须同时具有善于选择正确途径的智慧, 就必须有科学的方法论来指导. 掌握科学方法, 寻求正确的途径, 是取得成功的前提.

因此, 我们在学习自然科学知识的同时, 应该自觉地学习和掌握科学方法. 科学方法虽然给人们的不是现成的知识财富, 但它是挖掘和打开知识宝库的工具和钥匙. 为了方便广大读者学习和掌握物理科学的研究方法, 我们将在这一部分中简要介绍物理学中发展和运用的一些主要研究方法. 它们也是所有自然科学研究中常用的科学方法.

一、理想化方法

所谓理想化方法, 就是要完全排除次要因素的干扰, 把研究对象置于理想的纯粹状态下进行研究的方法. 在科学研究中, 理想化方法主要包括理想模型和理想实验两种形式.

(一) 理想模型

由于科学的研究对象受到多种因素的制约, 而这些因素有主要和次要之分, 如果想把所有的因素都考虑在内是不可能解决问题的, 所以必须要抓住其中的主要因素, 忽略其中的次要因素, 建立起比实际情况简单却又非常接近实际情况的模型, 这种模型就是理想模型. 理想模型就是在真实原型的基础上, 为了便于研究而建立的一种高度抽象的理想对象. 理想模型方法实际上是一种抓主要矛盾的方法. 任何复杂事物, 总包含许多矛盾, 但在一定条件下, 必有一个矛

盾是主要的,把它突显出来,暂时除去次要矛盾,便成为一个模型.弄清楚主要矛盾之后,再考虑次要矛盾,如此一级一级地近似,就可能逼近实际.而在每一步上,都可以用数学方法尽可能地加以研究.

比如,牛顿在研究地球与月球的引力作用时,要计算地球各部分对月球各部分的引力总和,就有很大困难.他运用数学推理,证明了一个球体吸引它外部的物体时就好像所有质量都集中在它的中心一样.这样一来,把地球和月球等天体都作为质点来处理就显得合理,通过科学抽象,运用质点的概念,他解决了 20 余年来一直未解决的难题.

又如,实际物体都有一定的大小、形状和内部结构;一般而言,在运动过程中,物体各部分的运动状态并不一定相同.在平动问题中,为了突出研究对象的主要矛盾,忽略物体的形状和大小,把物体视为一个具有一定质量的几何点,这就是所谓的“质点”模型.在研究物体转动时,不能再把整个物体看成一个质点,在处理方法上把物体视为由许多质点组成的系统,刚体中的所有质元(点)之间的相对距离始终保持不变,即把任何情况下形状和大小都不发生变化的物体称为“刚体”.物理学研究中常忽略物体内部各质点之间的相对运动,如研究原子结构时使用的“玻尔模型”,就是用三个基本假设便抓住了主要矛盾,使原子结构的量子论研究取得了突破性进展.当时并不知道,因而也不讨论自旋及其与轨道的相互作用,即原子的“精细结构”,这是次要矛盾;更不会去讨论电子自旋与原子核(如质子)自旋的耦合,即“超精细结构”问题,这是更次要的矛盾.

物理学中,除质点和刚体外,理想气体、点电荷、点光源、薄透镜、光滑表面、孤立系统、简谐振子、单摆等,都是理想模型.在其他科学中也广泛使用理想模型研究问题,如数学中的点、直线、平面等,化学中的单质、化合物、催化剂等,地理学中的等高线、经纬线等,都可视为理想模型.理想模型的共同的特点是:一些次要的、非本质的属性被舍弃了,而把抽出来的本质属性或因素用理想化方法引导到某些极限值上去.这在现实中是找不到的,然而在科学研究中却起到了化繁为简的作用.

理想模型的作用在于:①一个理想模型的建立可以使问题处理大大简化,便于研究工作的顺利进行.在原子的振子模型中,把一个原子用一个振子来代表,就能够相当有效地解释原子对可见光的散射;在研究原子核裂变的机理中,把一个原子用一个带电油滴来代表,就能够满意地说明裂变现象.这两个模型抓住了各自的主要矛盾而不涉及原子或原子核内部组分之间相互作用的细节,“举重若轻”,充分显示了模型方法的威力.当然,那些次要或更次要的矛盾都需要研究,但这种研究只能是在主要矛盾清楚之后,而不应该在这之前,否则我们将什么规律都找不到.②将理想模型与实际原型相比较,从差异分析中会得到新的启示,形成科学预见.

在科学研究中,对比较复杂的对象和变化过程,均可建立理想模型,以便从理论上进行研究.即使简化后结果与实际偏差较大,只要加以某些修正,仍可使之与实际相近似.例如,当实际气体的温度过低或压强过高时,用理想气体状态方程计算时误差很大,范德瓦耳斯引入了反映实际气体体积和分子间引力作用的修正,仍采用理想气体的计算方法,使计算结果更接近真实气体的状况,运算也不太复杂.当然,理想模型的建立绝不允许主观臆断,对已经建立的理想模型,也不允许不顾其适用条件而到处乱用.

物理学的骄傲在于其研究对象无所不包,大至宇宙,小至原子内部.如果碰到个顶牛的人,他可以说物理学研究的只不过是一些模型,物理学中的宇宙只不过是宇宙的模型.这话倒也不错.物理学并不讳言自身只研究模型,模型并不同于真实,但物理学的成功就在于其有许多成功的模型.模型是理想的,但它不是虚假的,它突出了许多表面上看来千差万别的物体的最本

质特征,从这个意义上来说,它具有不可动摇的“真实性”.模型的真实性竟会达到这样的程度:你看不见,摸不着,却会相信它.举个例子来说吧,今天,人们对地球在自转同时又绕太阳公转的事实已深信不疑,但我们都不是居高临下亲见地球旋转的人.如果你问一个谙熟物理的学生,你见过自转而又公转的地球吗?他可以不慌不忙地用一个篮球或一个乒乓球把道理向你透彻解释,这就是物理学的魅力.

(二) 理想实验

理想模型的延伸就是理想实验.理想实验是在真实实验的基础上,运用逻辑方法加以理想化和纯粹化,在思想上塑造出来的一种理想过程的实验.这种实验在现实中是难以找到的或者是无法实现的.真实的科学实验是一种实践活动,而理想实验是一种思维活动.它是人们在思想中抽象出的理想模型,塑造理想模型在理想条件下的运动过程,进行严密的逻辑推理的一种理论研究方法.

理想实验方法在物理学研究中运用得比较多;比如,为了证明自由落体定律,伽利略设计了一个表面非常光滑的金属球从非常光滑的斜面上滚下的实验,这是一个典型的理想实验,伽利略从这个理想实验中发现了惯性定律,取得了经典力学发展的重大突破.热力学中研究热机效率时用的按著名的卡诺循环运行的卡诺机,就是一种理想实验.卡诺机中的热力学过程是一种理想过程,是对自然界中所进行的热力学过程的抽象,在现实世界里是找不到的,表现在热机的工作过程是如此的理想:一是没有传导和辐射所造成的热损失;二是工作过程中没有摩擦;三是工作物质是理想气体;四是工作过程是由两个等温和两个绝热过程组成.但卡诺循环所得到的卡诺热机效率公式对热机效率的提高和热力学第二定律的建立,具有重大的理论意义和实际意义.

理想实验方法是科学研究的一种重要方法.爱因斯坦是娴熟运用这种理想实验方法的大师.他的狭义相对论和广义相对论的建立和这种方法的巧妙运用有着直接的关系.例如,他设计的同时具有相对性的理想实验:当两道闪电同时击中一条东西走向的铁轨时,对于站在两道闪电中间的铁路旁的观察者来说,两道闪电是同时发生的;而对于乘坐一列由东向西高速行驶的火车并正好经过两道闪电中点的观察者来说,则先看到西边的闪电而后才看到东边的闪电,若火车以光速前进,则只能看到西边的闪电,永远看不到东边的闪电.由此,他建立起“同时”具有相对性的概念,这正是他创立狭义相对论的一个重要思想.

需要注意的是,理想实验必须具备三个基本条件:①以科学实验为基础,抓住关键性的科学事实,对真实的实验过程作深入分析.②理想实验与真实实验形式相似,需要在思维中设想出与真实实验相似的实验物、实验条件和实验过程.③设计理想实验要熟练运用比较、类比、归纳、演绎等逻辑推理方法,以便能够通过理想实验推理出合理的结论.

由于理想实验对真实实验进行了合理的抽象,克服了客观上无法摆脱的各种条件限制,起到简化、纯化作用,能在科学实验无法企及的范围内把客观规律揭示出来,因此在科学研究中具有特殊的意义.可以说,物理学的发展有许多情况是通过科学抽象,对理想实验进行推理而起步的.当然,理想实验只是一种思想上的实验,根据理想实验所得到的结论,还必须放到真实的实验中去检验.

二、实践性方法

人们有目的、有计划地对自然现象在自然发生的条件下进行考察的方法称为观察.而人们

根据研究的目的,利用科学仪器、设备等,人为地控制或模拟自然现象,排除干扰,突出主要因素,在有利的条件下去研究自然规律的方法称为实验.观察和实验都是科学研究的实践性方法.

(一) 科学观察方法

所谓观察法是人们通过感觉器官或观测仪器对客观事物在自然状态下进行考察的一种方法.所谓“自然状态”就是人们对自然现象不加控制、不施加影响的情况.正是在这一点上,观察和实验相区别.科学观察是有计划、有目的的对自然状态下的客观事物进行系统考察和描述的一种研究方法.

按观察者与被观察对象之间的接触方式,可分为直接观察和间接观察.直接观察也叫肉眼观察,是人类最早使用的观察方法.它是凭借人的感官直接对事物进行感知和描述.其表现形式为:感官→事物.间接观察也叫仪器观察,是人们借助于科学仪器或其他技术手段对事物进行的观察.其表现形式为:感官→仪器→事物.在古代,限于生产力发展的水平,人们还不能制造仪器和工具,感官便成了人们认识自然现象的唯一工具.我国南北朝时的科学家祖冲之坚持常年对天体和气象进行观测,终于制成了“大明历”.随着生产力水平的提高和科学技术的发展,仪器、仪表和相应的工具被制造出来,从而延长了人们的感官,扩大了人们的视野,加深了人们对自然界的认识.由肉眼的直接观察发展到仪器的间接观察,导致了观察方法的巨大进步.比如,1609年伽利略制成了第一架望远镜并用于天文观测,首次看到了月亮上的“环形山”、木星的卫星、金星的圆缺变化等.当代,人们借助于射电望远镜把视野扩大到200亿光年以远的距离;借助于电子显微镜,可以观察物质内部的微观结构;借助于电子探针,人们可以看到原子并搬运原子进行材料设计与制造.

过去人们只能在自己居住的地球上进行观察、测绘和记录.但是,站在地球表面上观察,是无法对全球范围内的自然现象进行系统考察的.1957年,世界上第一颗人造地球卫星发射成功.至此,人们开始挣脱地球引力的束缚,把人们的活动范围扩展到了近地空间.在人造卫星上装置各种仪器设备,拉开了人类从地面观察进入空间观察的序幕.载人宇宙飞船的发射成功,使人类有了亲自拜访月球的机会.这就使传统的直接观察变为了现代的直接观察.这是观察方法上的又一次飞跃.

科学观察是有目的、有意识地在一定思想、理论指导下进行的.它依赖于观察者的经验、知识和文化.有心人才能做到精心细致,事事留心,在科学的大观园里领略到“春城无处不飞花”的景色.德国物理学家伦琴在对阴极射线进行研究时,偶然观察到附近桌子上的亚铂氰化钡荧光屏发出闪烁的微光,他马上就意识到这是一种新的射线,这种射线后来叫做X射线.又如,我国地质学家李四光在一次去大连疗养的路上,偶然看到一个个奇特的山峰,一道道山梁呈弧形旋上山顶,他立即爬上山顶鸟瞰全貌,发现道道山脊和条条沟谷相间展开,环抱着中央高地,就像花瓣围绕中心莲蓬一样,随后他进行了详细的考察,弄清了形成这种特殊地貌的原因.原来这是一次地壳旋转运动造成的一种地质构造新类型,李四光把它命名为“莲花状构造”.

科学开始于观察,离开观察就不会有科学的发展.因为人的一切认识归根到底来源于观察到的经验事实,科学观察是获得感性材料必不可少的手段.科学观察有时可以导致科学上的重大发现,如天文学上的许多重要发现就是来自于对天体运动的科学观察.科学观察是检验假说、发展理论的重要实践形式,如为了验证爱因斯坦根据广义相对论理论所做出的在引力场传

播的光将在巨大质量的周围发生弯曲的预言,英国天文学家爱丁顿率领的观察队在西非的普林西比群岛上观察日全食,发现两颗恒星的角距离在有太阳时和没有太阳时差 $1.6'' \pm 0.3''$ (理论值为 $1.75''$),从而第一次以天文观测定量地证实了爱因斯坦的上述假说.广义相对论的关于“水星近日点进动”和“光谱在引力场中红移”两个假说也都是在天文观测中获得验证的.达尔文用了20多年时间,观察收集了成千上万种生物资料,成功地创建了生物进化论.所以巴甫洛夫说得好:“应当学会观察,不学会观察,你就永远当不了科学家”.从这名言中可以看到观察在科学研究中的地位和作用.

在观察活动中,要坚持客观性,以保证所获得的第一手经验材料真实可靠,避免先入为主的干扰;坚持观察的全面性,力求防止片面,从而获得较系统的第一手材料;坚持典型性,减少盲目性,以求获得具有普遍意义的效果.为此,观察者必须细心、留心、有心,努力提高观察能力,要做好准确而周密的记录,同时要耐心、顽强,有为科学献身的精神.

观察有可能产生错误,究其原因主要来自观察者的主观和片面.例如,在观察现象并作记录时,观察者不自觉地掺进自己的主观想象,或者对某些观察所得的模糊情节作出错误的判断,或者心理上的先入为主,受假象和错觉所蒙蔽,从而导致主观性错误.像“重物比轻物下落得快”、“力是物体运动的原因”、“太阳围绕地球运转”等科学史上的错误论断,都是出自于此.又如,只观察既定目的有关的现象,而对其他很有价值的现象不予理睬;或者只观察一些现象来印证自己的观点,对大量与自己观点不符合的现象视而不见;或者只注意事物局部发生的现象,而不顾整体发生的情况;只强调个人的观察而不重视别人观察资料的收集;没有进行历史的和现实的观察对照等,都会产生片面性错误.

在科学观察上,应当在观察过程中养成定性、定量分析问题的习惯,从而将通过观察得到的感性认识上升到理性认识.善于观察者可以见常人之所未见,不善观察者入宝山而空回.之所以如此,正是由于各人具有不同的经验、认识和理论,具有不同的背景知识和科学训练,因而不同的人可能从同一对象中观察出不同的东西.观察的过程既是感观知觉因素在其中起作用的知觉过程,又是观察者的思维因素在其中起作用的思维过程.人们在观察事物时不只是用眼睛看,更主要的是要用脑子想,并要在一定的理论指导下进行.

(二) 科学实验方法

物理学是一门实验科学,实验方法是物理学的基本研究方法之一,也是科学研究的重要方法.实验方法同观察方法一样是获取感性材料的基本方法,然而实验方法又不同于观察方法.实验方法是根据研究的目的,利用科学仪器、设备,人为地控制或模拟自然现象,排除干扰,突出主要因素,在典型环境中或在特定的条件下研究自然规律的方法.系统的实验方法的产生,是自然科学研究方法上的巨大进步,它对科学的发展产生了积极的、深远的影响.实验方法在现代科学发展中起着越来越重要的作用,近代自然科学是在科学实验的基础上发展起来的,可以这样说,没有科学实验就没有近代自然科学.

实验可以获得比单纯观察更丰富、更精确、更系统、更深刻的感性材料.在科学实验中,由于运用了许多专门的仪器设备和工具,大大延长了人的感觉器官,无论从广度上还是从深度上都不同程度地扩展和深化了人们认识自然的能力;而且科学实验都能重复,可以反复地观察和测量,从而保证了观察资料和测量数据的准确性.例如,在相当长时间内,人们没有能力看到原子,但现在人们可以借助于电子显微镜及隧道扫描电镜直接观察原子.不仅如此,人们还可以利用高能粒子加速器,使粒子获得很高的能量,去轰击被测原子,探测原子的内部结构.

实验方法具有简化、纯化、定向强化自然现象的作用。自然现象是复杂的,由于各种因素互相交织,往往把事物的本质掩盖起来了。实验可以借助于科学仪器和设备创造的条件排除自然过程中各种偶然的、次要的因素,使要想认识的各种要素以较纯粹的形态呈现出来,以便于观察研究。例如,1911年荷兰物理学家昂内斯用控制温度的方法,发现了金属的超导性;1957年美籍物理学家吴健雄,把放射性钴60冷却到0.01K,排除热运动的干扰,证实杨振宁、李政道提出的微观粒子在弱相互作用下宇称不守恒原理。在实验中可以凭借各种物质手段创造在生产过程中或自然状态下难以出现的特殊条件,使自然现象在人为的控制下得到定向强化。比如,超高压、超高温、超低温、真空、强场等,这些条件自然现象中或者没有,或者虽有但是人们还无法控制,这就给观察研究带来了难以克服的困难。然而,人们可以采用各种实验手段得到可为人们控制的经过定向强化的自然现象,人们可将其控制、调节到最佳状态来进行观察研究,从而得到新的发现。例如,人们可以利用超高压使松软的石墨变成坚硬的金刚石。人造金刚石就是这样发明的。

由于科学实验具有上述特点和重要作用,所以人们可以运用实验方法,凭借先进的技术和仪器设备,超越生产实践或自然条件下某些方面的局限性,走在生产实践的前面,直接推动自然科学的理论研究,同时也为生产的发展开辟新的途径。科学史表明,近代和现代物理学上的重大突破,一般不是直接来自于生产实践,往往是通过实验这个环节获得的。例如,法拉第用实验获得了电磁感应定律;居里夫妇用实验发现了放射性元素;卢瑟福用实验发现了原子的“太阳系”结构;而后来的质子的发现、中子的发现、电子的发现和各种基本粒子的发现等,都不是直接来自于生产实践,而是来自于科学实验。尤其是现在,科学研究已经进入到微观世界和宇观世界,更是离不开实验。不难看出,科学越向前发展,科学实验就越来越成为生产的直接推动力量。

科学实验按其直接目的和它在科学认识中的作用可将其分成探索性实验和验证性实验。探索性实验是指利用各种可能的设备和技术手段,干预自然现象,以期获得迄今未知的新事实。例如,科学史上著名的“费城实验”就是探索性实验。1752年7月的一天,美国费城上空电闪雷鸣、大雨滂沱,富兰克林冒着雷击的危险向云层放风筝,通过风筝把“天电”接收起来,第一次用实验揭示云中的闪电和地面上摩擦所带来的电在性质上是完全相同的。验证性实验是指判断或验证科学假说或科学理论。例如,德国物理学家赫兹证明电磁波存在的实验,美国物理学家戴维逊-革末证明电子具有波粒二象性的电子衍射实验,都属于验证性实验。

根据实验对象质和量的不同特征,科学实验还可分为定性实验和定量实验。定性实验是判定研究对象具有哪些性质的实验,如俄国物理学家列别捷夫证明光具有压力的实验。定量实验就是测定对象的某些数值以确定某些因素之间数量关系的实验,如法国物理学家斐索测定光速的实验;英国物理学家汤姆孙测定电子荷质比的实验等。在科学研究中,定性是定量的基础,定量是定性的精确化。

教学实验是科学实验的一种类型。它的任务不是去探索求知物理学规律,而是着眼于培养学生的实验能力。传统的教学实验分为两类,一类是验证熟知的定理、定律;另一类是测定基本的物理量。为了充分发挥物理实验在培养学生从事科学实验时的动手能力和创新能力方面的优势,我国自20世纪80年代以来,物理实验教学进行了改革,首先表现在物理实验不再附属于理论课教学,而是成为一门专门的必修课。在教学内容方面,大胆地把学科前沿的新思想、新知识、新方法引入教学中,既重视基本实验方法、基本实验仪器的使用和误差理论等方面的训练,又重视学生的开拓创新能力的培养。具体做法是减少验证性实验,增加综合设计性实验,探

索研究性实验,以提高学生的动手能力。

科学实验的基本程序也就是实验的基本步骤大体经历三个阶段。

(1) 准备阶段。准备阶段要做好以下几点:①明确实验目的。只有目的明确了,才会围绕目的开展实验前的调查研究,如对前人工作的调查、对实验对象的现场实际调查、对实验对象的测试手段和方法以及理论依据的分析摸底等;只有充分占有资料,做到心中有数了,才能进一步确定采用的实验方法和类型。②拟定实验方案。方案拟定实际上是实验的可行性研究,需要周密细致地对实验工作进行科学论证,说明实验所需的仪器设备、要耗费多少人力物力、在一定条件下是否可行等。③实验设计。依实验目的和要求,运用有关的科学原理,对研究方法和步骤的预先制定,这就是实验设计。④实验组织。包括按实验任务确定人选(即从人员的类型特长、合理分工以及能充分发挥作用上选择参与实验的人员);对各项实验任务进行统筹安排;随时掌握实验进程,及时采取应变措施等。⑤实验物质条件的准备。包括实验器材、药品、场地等的准备。

(2) 实验阶段。实验准备就绪之后,就可以按照实验方案规定的步骤,有条不紊地进行各项实验、操作、观察和数据记录等,即进入实验实施阶段。此阶段就是实验者操作一定的仪器设备,使其作用于实验对象,以取得某种实验效果和数据。

(3) 总结阶段。总结阶段包括处理实验数据和撰写报告或科技论文。对实验数据进行处理分析,找出实验因素改变时,实验结果变化的趋势,从而突出实验的主要结论,这就是数据处理。一般实验数据处理有三种方法:①列表法。即用表格来说明实验的材料和方法的特征、特性,或统计实验结果。表格有观测数据列表、导出数据(如百分数、比值、总计、平均值等)列表和调查数据(统计、报表等)列表三类。②图解法。把数字及事物的发生发展过程变为点、线、面、角度或立体图等形象,通过一定的排列组合,直观地表达出它们之间的关系,或者用形态图(如研究课题所要的说明和论证作用的各种图画、照片或图像等)来表达,都称图解法。③方程法。即将实验中各变量间的依赖关系用解析形式表述出来的方法,由于该方法使实验结论表述清晰、形式紧凑、内容严密完整,不用过多的文字说明就能概括若干内容,更重要的是,能利用计算机进行计算和若干数据处理;因此,由实验数据求取数学方程的方法,是现代科研工作者必须掌握的基本方法。

三、物理学研究中的逻辑方法

“逻辑”一词是英文 logic 音译过来的。原义较复杂,有理性、思想性、规律性、推理等多种含义,一般专指思维的规律和规则。思维即理性认识,是人在脑子中借助语言材料,运用概念进行判断和推理的过程。研究思维形式、思维规律和思维方法的逻辑学有形式逻辑、数理逻辑和辩证逻辑等。在物理科学概念及规律形成中运用到的逻辑方法,通常有比较与分类、类比与假设、分析与综合、归纳与演绎、抽象与概括、模拟与论证等逻辑方法,这些都属于形式逻辑方法。

(一) 比较与分类

人们在观察和实验的基础上,确定对象之间的共同点和差异点的逻辑方法,称为比较;在比较的基础上,根据共同点将事物归合为较大的类,根据差异点将事物划分为较小的类,从而将体态万千的事物区分成具有一定从属关系的不同等级层次的系统,这样的逻辑方法称为分类。比较与分类是物理学和自然科学乃至社会科学研究中最常使用的逻辑方法。

1. 比较

认识事物从区分开始,要区分就要比较,有比较才能鉴别.为此我们有必要弄清楚比较的特点和类型,理解并掌握比较的方法.

我们可以将比较方法的特点归纳为四条.①比较可以对事物进行定性鉴别和定量分析.生物学上通过观察共同现象,即两个物种之间有一种亲密关系的现象,发现有双方都受益的,如细菌在人体大肠内摄取食物和栖息而得益,同时人也因细菌帮助消化食物,甚至提供能增强凝血功能的维生素 K(大肠杆菌的功能)而获益;也有单方受益、另一方不受益的,如红尾莺在仙人掌之间筑巢,受惠于仙人掌,而仙人掌的生长不受红尾莺的影响;还有单方受益、另一方受害的,如跳蚤、扁虱、蚂蟥等寄生在动物身上,动物体表或体内为寄生虫提供营养和栖息地,而动物(寄主)则受到伤害.通过上述比较,人们将共生现象分为互惠共生、共栖和寄生三类,这就是定性鉴别.通常为了鉴别两个形状、体积、颜色均不同的物体是否由相同的物质组成,我们是通过称衡它们的质量、测量它们的体积,然后计算出它们的密度,比较其密度的大小来辨别它们的组成情况的,这是定量分析.还有,通过用已知化学元素的标准特征谱线与被测对象的光谱线比较,定性判定对象的组成成分;对谱线强度的比较,判定对象中各种元素的含量,这是既定定性鉴别又定量分析的比较方法,在物理、化学、天文、地学、生物学上都被广泛应用.②比较可以揭示事物的运动及其发展的历史顺序.在天文研究中,恒星长期以来被人们看成是恒定不动的,1718 年,哈雷将自己在圣赫纳岛所作的观察,同一千年前古希腊天文学家喜帕恰斯与托勒密所作的观察进行比较,看到毕宿五、天狼、大角、参宿四这四颗恒星的位置有明显差异,从而发现了恒星不“恒”,而是运动的.英国地质学家赖尔通过古今地质变化过程中地质作用的种类和强度的比较,揭示地球表面发展变化的规律,他创立的渐变理论被恩格斯高度评价:“只有赖尔第一次把理性带进地质学中,因为他将地球的缓慢变化这样一种渐进作用,代替了由于造物主一时兴起所引起的突变神话”.③比较有横比和纵比两种.横比:空间上的比较,即对空间上同时并存的事物的既定形态进行比较.比如,物理实验中,常常要研究不同对象在同种条件下的不同表现,或者同一对象在不同条件下的不同表现.比如,不同的元素组成的几种物体,让它们在相同的大气压下加热到相同的温度,测出它们的体胀系数的不同;或者,同一元素组成的某物体,让它在不同的气压下加热到相同温度,测出其在不同压强下不同的体胀系数,从而比较其异同.这就是一种横比.纵比:时间上的比较,即比较同一事物在不同时期的形态,从而认识事物的发展变化过程,前边所举的天文学和地质学的例子就属于典型的纵比.④比较可以鉴别理论同实践是否相符.1609 年,开普勒在大量观察的基础上,设想行星运动可能采取的多种形式,然后将每一种行星运动形式同观测的事实材料进行比较,结果发现只有椭圆形轨道的行星运动同观测事实最符合,从而总结出行星公转轨道为椭圆形,恒星位于椭圆形长轴的一个焦点上的定律;也因此否定了自古流行的所谓行星沿正圆形轨道绕恒星运动的学说.1859 年,基尔霍夫运用光谱分析比较了地球与太阳的光谱,从而确证太阳上含有许多地球上常见的元素,证明太阳和地球的同一性的理论是正确的.

归纳起来,物理学中涉及比较方法主要有控制变量法、比值定义法和等效替代法.

(1) 控制变量法.在决定事物规律的多个因素中,先控制一些因素不变,只改变其中的一个因素,进行观察实验,如此多次进行,然后再综合出多个因素之间的关系的比较方法.例如,牛顿第二定律是通过实验归纳出来的,先保持物体的质量 m 不变,对物体施以大小不同的外力 F ,研究物体产生的加速度 a 如何变化,实验表明当 m 一定时, $a \propto F$;再保持对物体施加的