

DAXUE WULI DAXUE WULI

大学物理

周一平等 / 编著 刘永安 / 主审

DAXUE WULI DAXUE WULI

方法·学习·讨论

中南大学出版社

D A X U E W U L I

大学物理

方法·学习·讨论

周一平等 编著
刘永安 主审

中南大学出版社

大学物理
方法·学习·讨论
周一平等 编著

☐责任编辑 李宗柏

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8829482

电子邮件:csucbs @ public.cs.hn.cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 中南工业大学出版社印刷厂

☐开本 850×1168 1/32 ☐印张 11.5 ☐字数 284 千字

☐版次 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 12 月第 2 次印刷

☐印数 4001-15000

☐书号 ISBN 7-81061-383-9/O·017

☐定价 16.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

内 容 简 介

本书是为工科的大学生们编写的一本物理学习参考书。全书共分为 3 篇。第 1 篇为研究方法，介绍了一些常用的物理学研究方法，也是学生今后学习和科学实践的重要基础；第 2 篇为学习指导，分为 15 章，每章由概要、学习指导、典型例题三部分组成。概要将每章的重点内容、公式定律提炼成知识结构表，一目了然；学习指导对各章重点、难点及学习方法进行讨论与辅导；典型例题选题典型，对掌握和巩固各章的教学内容很有帮助；第 3 篇为问题讨论，深入浅出地讨论了 13 个物理问题，这些讨论集知识性、应用性和趣味性于一体，这不仅提供了学生的课外阅读材料，增加学习兴趣，也为教师充实教学内容提供了参考。

本书主要适用于理工科院校大学生，对大、中学校的物理教师也有一定的参考价值。

前 言

物理学是一切自然科学的基础。随着科学技术的发展,物理学的概念、研究方法和实验技术在许多其他的自然学科和工程技术中得到越来越广泛的应用,物理学已经成为各类人才所必须具备的基础知识。同时通过学习物理学,学习科学的思想方法和研究问题的方法,对培养学生的综合素质和能力也起着十分重要的作用。由于时代发展的需要,为了培养新世纪所需的人才,大学物理的教学和教材内容正在更新。正是基于这样的背景,我们编写了这本书。本书分为三大部分,第1篇为研究方法,介绍了物理学的一些常用的研究方法,这些有效的物理方法对于工科学生今后的学习和科学实践、工程实践也是至关重要的基础;第2篇为学习指导,共分15章,每章由概要、学习指导、典型例题三部分组成。概要将每一章的主要内容、公式定律提炼成知识结构网络表,该表脉络清晰,一目了然,可帮助学生系统地理解教学内容和掌握重点。学习指导对各章学习方法、重点难点作出讨论与辅导,考虑到当前一些教材内容的更新,对于一些较新的学生学习可能感到困难的知识点,给予了比较详尽的指导,如对称性的概念、熵的概念(包括玻尔兹曼熵、克劳修斯熵、信息熵等)、非线性问题(包括非平衡态热力学和非线性光学等)、近代物理内容(包括相对论、量子力学基础、固体量子理论等)。学习这些更新的内容对于只有中学物理基础的工科院校的学生来说就好比登一个高台阶,而我们编写的学习指导部分就是想将这个“台

阶”变为“斜坡”，使学生学习起来不至于感到很吃力。典型例题部分的题目都是编者多年教学实践中积累并经过精心筛选的，以便帮助读者提高分析问题和解决问题的能力，理解和巩固一章的概念和知识点。第3篇为问题讨论，深入浅出地讨论了13个物理问题，这些讨论集知识性、应用性和趣味性于一体，对于开拓学生思维，理解基本知识都很有益处。相信本书对读者学习大学物理会有所帮助。

本书由杨兵初编写第1篇，周一平编写第2篇的1~4章，余燕编写5~7章，蔡建国编写8~10章，罗益民编写11、12、14、15章，朱星炬编写13章，刘永安编写第3篇。全书由周一平统稿。杨兵初教授为本书的编写提出了很好的建议，刘永安教授审阅了全书并提出许多宝贵意见。

由于本书的编写和出版比较仓促，对于错误和不妥之处，恳请读者批评。

编 者
2001年3月于中南大学

目 录

第 1 篇 物理学研究方法

一、理想化方法	(2)
二、观察方法	(5)
三、实验方法	(7)
四、假说方法	(10)
五、类比法	(14)
六、归纳和综合方法	(17)
七、机遇利用	(20)
八、数学方法	(22)
九、非常规科学思维方法	(25)

第 2 篇 物理学学习指导

第 1 章 力学相对性原理	(29)
1.1 本章概要	(29)
1.2 学习指导	(29)
1.2.1 运动的描述	(29)
1.2.2 运动定律	(35)
1.3 典型例题	(39)

第2章 对称性与守恒定律	(49)
2.1 本章概要	(49)
2.2 学习指导	(49)
2.2.1 对称性	(49)
2.2.2 功、动能和势能	(55)
2.2.3 哈密顿函数	(58)
2.3 典型例题	(65)
第3章 相对论基础	(81)
3.1 本章概要	(81)
3.2 学习指导	(81)
3.2.1 时空观	(81)
3.2.2 迈克耳逊-莫雷实验	(85)
3.2.3 关于动尺缩短、动钟变慢效应问题	(87)
3.2.4 对质能关系的理解	(88)
3.2.5 关于闵科夫斯基空间	(89)
3.3 典型例题	(91)
第4章 机械振动与机械波	(101)
4.1 本章概要	(101)
4.2 学习指导	(101)
4.2.1 简谐振动	(101)
4.2.2 简谐振动的合成	(108)
4.2.3 简谐波	(110)
4.3 典型例题	(117)
第5章 统计物理基础	(134)

5.1 本章概要	(134)
5.2 学习指导	(134)
5.2.1 理想气体状态方程	(134)
5.2.2 理想气体的压强	(134)
5.2.3 温度的微观意义	(137)
5.2.4 气体分子的速率分布律	(138)
5.2.5 能量按自由度均分定理	(143)
5.3 典型例题	(144)
 第6章 热力学基础.....	(152)
6.1 本章概要	(152)
6.2 学习指导	(152)
6.2.1 基本概念	(152)
6.2.2 热力学第一定律	(155)
6.2.3 热力学第二定律	(157)
6.2.4 信息熵	(159)
6.3 典型例题	(160)
 第7章 非平衡过程的热运动.....	(169)
7.1 本章概要	(169)
7.2 学习指导	(169)
7.2.1 线性非平衡态	(169)
7.2.2 非线性非平衡态	(171)
7.3 典型例题	(173)
 第8章 静电场.....	(175)
8.1 本章概要	(175)
8.2 学习指导	(175)

8.2.1	基本要求	(175)
8.2.2	关于场强 E 及其矢量性	(175)
8.2.3	对于真空中的高斯定理	(177)
8.2.4	静电场的环路定理和电势	(180)
8.2.5	关于场强 E 与电势 u 的关系	(182)
8.2.6	电容器与电场的能量	(183)
8.3	典型例题	(184)
第 9 章 稳恒磁场		(197)
9.1	本章概要	(197)
9.2	学习指导	(197)
9.2.1	基本要求	(197)
9.2.2	关于磁感应强度及其矢量性	(197)
9.2.3	高斯定理和安培环路定理	(199)
9.2.4	利用典型题结果或较易推导（通常用安培环路定理）的结果再用积分法求解磁感应强度 B	(200)
9.2.5	磁力及磁力矩	(201)
9.3	典型例题	(206)
第 10 章 介质中的电场和磁场		(216)
10.1	本章概要	(216)
10.2	学习指导	(216)
10.2.1	基本要求	(216)
10.2.2	关于介质的分类	(216)
10.2.3	导体、铁磁质、超导体对外场的影响	(218)
10.2.4	一般介质	(218)
10.2.5	介质中静电场、稳恒磁场的求解	(219)

10.2.6 电磁材料的应用	(219)
10.3 典型例题	(219)
第 11 章 电磁感应	(232)
11.1 本章概要	(232)
11.2 学习指导	(233)
11.2.1 感应电动势的计算	(233)
11.2.2 动生、感生电动势及感生电场的计算	(234)
11.2.3 自感、互感电动势	(236)
11.2.4 磁场能量的计算	(236)
11.3 典型例题	(237)
第 12 章 电磁场和电磁波	(249)
12.1 本章概要	(249)
12.2 学习指导	(250)
12.2.1 位移电流	(250)
12.2.2 麦克斯韦方程组, 电磁波和电磁场	(250)
12.2.3 相对论电磁学	(251)
12.3 典型例题	(253)
第 13 章 波动光学与现代光学	(263)
13.1 本章概要	(263)
13.2 学习指导	(263)
13.2.1 光学理论概述	(263)
13.2.2 光的相干性	(263)
13.2.3 光程差与干涉条纹明暗条件	(267)
13.2.4 时间相干性与光的单色性	(268)
13.2.5 半波损失和额外光程差	(269)

13.2.6 干涉与衍射比较·····	(271)
13.2.7 光栅衍射的实质·····	(272)
13.2.8 自然光和椭圆偏振光、圆偏振光·····	(272)
13.3 典型例题·····	(274)
第 14 章 量子力学基础 ·····	(285)
14.1 本章概要·····	(285)
14.2 学习指导·····	(287)
14.2.1 量子力学的发展历史简介·····	(287)
14.2.2 量子力学的基本假设·····	(289)
14.2.3 本章需强调的几个问题·····	(290)
14.3 典型例题·····	(293)
第 15 章 固体导电理论 ·····	(306)
15.1 本章概要·····	(306)
15.2 学习指导·····	(307)
15.2.1 自由电子气理论·····	(307)
15.2.2 费米-狄拉克分布·····	(307)
15.2.3 有关费米能量·····	(307)
15.2.4 能带结构·····	(308)
15.2.5 固体的电性能·····	(308)
15.3 典型例题·····	(309)

第 3 篇 物理学问题讨论

1. 运动叠加原理, 相对运动和力学相对性原理 ·····	(315)
2. 为什么不引入位矢对时间的三阶微商 $d^3\mathbf{r}/dt^3$ ·····	(317)
3. 船行八面风 ·····	(319)

4. 银河系为何呈盘状结构?	(322)
5. 跳空终极速率	(325)
6. 弹弓效应	(330)
7. 半波损失	(331)
8. 最可几动能	(335)
9. 为什么地球大气中没有氢和氦? 火星和木星大气成分 又如何?	(337)
10. 热力学过程吸热和放热的判别与计算	(340)
11. 电场能和电势能	(344)
12. 关于磁场力做功问题的讨论	(347)
13. 电缆的自感计算	(351)

第1篇 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基础课来学习也是不正确的。物理学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。在这个意义上来说,物理学是一门科学素质教育课,在实行素质教育的今天更是如此。

物理学从一开始就具有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,再结合严格的推理,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雄辩地证明了这一点。

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颠。”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,即科学方法论的指导。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科学研究方法,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

理想化方法是在思想中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。

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,如此一级级近似,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。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许多多质点组成的系统,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”。忽略了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”,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,在那时也不知道,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。

理想模型的作用之一在于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,便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。作用之二在于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。

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,这种实验在现实是难以找到的。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,是对自然界中进行过程的抽象,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;二是工作时候没有摩擦;三是理想气体;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。如他设计的同时性、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。若火车以光速前进的话,则只能看到西边的闪电,永远看不到东边的闪电。由此,他建立起同时的相对性的概念,这正是他创立狭义相对论的一个重要思想。

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。

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,模型不同于真实,但物理学的成功在于其有许多成功的模型。模型是理想的,但它不是伪劣的,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。如果你问一个小学生,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。