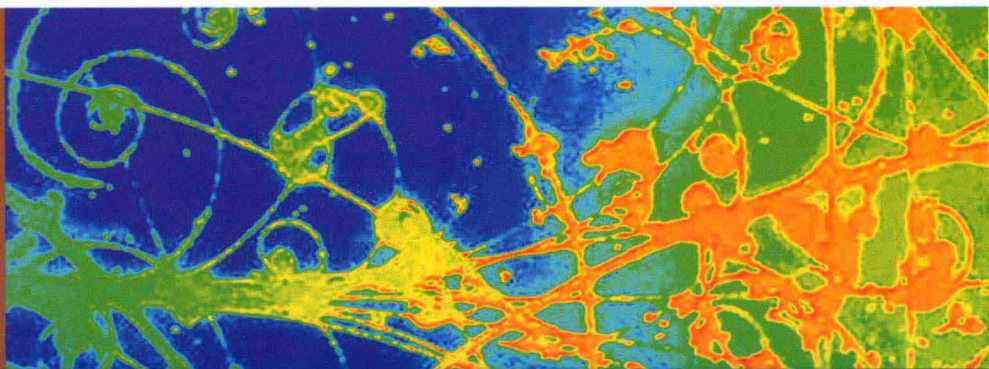


大学物理学

上册

University
Physics



主编 莫文玲 魏 环



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

大学物理学

上册

Daxue Wulixue

主编 莫文玲 魏 环

副主编 张占新 胡鸿奎 盛嘉茂



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是编者多年教学研究和教学实践的总结。本书精炼了经典物理学的内容,重点加强了相对论、量子力学、熵、混沌、分形、对称性的内容,一定程度上实现了大学物理教学内容的现代化,改变了大学物理课程的整体面貌,突出了大学物理课程对培养学生科学文化素质的作用。全书分为上、下两册,上册包括力学、振动与波动(包括光学)、统计物理与热力学基础,下册包括电磁学、相对论、量子物理和一些近代物理专题。

本书可作为理工科类专业大学物理课程的教材或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册/莫文玲,魏环主编.--北京:
高等教育出版社,2012.12
ISBN 978-7-04-036404-0

I.①大… II.①莫…②魏… III.①物理学-高等学校-教材 IV.①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第262603号

策划编辑 张海雁	责任编辑 张海雁	封面设计 于涛 杨海波
版式设计 于婕	插图绘制 尹莉	责任校对 金辉 责任印制 张泽业

出版发行 高等教育出版社
社址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印刷 北京市四季青双青印刷厂
开本 787mm×960mm 1/16
印张 20.75
字数 380千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版次 2012年12月第1版
印次 2012年12月第1次印刷
定价 32.00元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 36404-00

前 言

本书是在编者多年教学研究和教学实践的体会和经验的基础上编写而成的。

工科学生占高等学校基础物理教学对象的绝对多数,学生自身未来可持续发展的愿望和社会产业的需求,均对学生的适应性、特别是创造性提出了更高的要求。作为工科教育基础的大学物理课程担负起更大的责任,特别是培养学生的科学文化素质的重要责任。这就要求工科物理教育应当实质性地加强而不是削弱;应当更加注重物理学的现代内容和科学方法、科学的工作语言、明晰的物理图像和物理过程,而不仅仅是传授物理知识。大学物理教材应当适应这样的形势。下面对本书作几点说明。

一、课程内容的现代化

传统的大学物理课程的绝大部分内容只关注一个世纪之前的物理学,渐渐失去了对学生的吸引力,使学生缺乏对近代物理学的了解,由此造成科学素质的严重缺失。为此本书大大加强了近代内容。由于学时的限制,重点加强了近代物理学中意义重大、覆盖面广的内容,如相对论、量子力学基础、熵、混沌和对称性等。按照教育部的精神,“教学内容改革的重点是要实现物理课程内容的现代化”,“侧重于基本原理和方法,并且要有一定的深度”。

二、完整介绍量子力学的基本架构

量子力学基础无疑是大学物理课程中最应当加强的。本书以力学量取值的统计分布为线索,把量子力学的五个基本假设贯穿在一起,完整地介绍了量子力学的基本概念和原理,使量子物理学在书中所占比例从大约 7% 上升到约 20%,成为篇幅和深度都能与力学、电磁学相当的真正的重点内容。

三、重点加强的其他内容

除量子物理之外,本书重点加强了相对论、熵、混沌和对称性的内容,其中关于对称性的介绍从绪论开始,贯穿于质点力学、相对论、气体动理论、热力学、电磁学、量子物理各章,直到粒子物理的标准模型。

对近代物理学内容的介绍,我们一方面避免新闻报道式的叙述,而突出其中的物理原理和物理方法;另一方面避免脱离工科学生的实际,照搬理论物理教材,做到教材的科学性与适教性的统一。

四、教学实践

本书是我校物理教师十几年教学研究的总结,重点加强的内容在实际教学中讲授多年。实践表明工科学生可以接受这些内容,大学物理的“趣味性和吸引力”得到了提高。想增加新内容,但学时又很有限,因而我们对一些传统内容和技巧性的数学计算作了适当精炼。

本书适用于110学时左右的课程。配合两个学期的大学物理课程,本书分为上、下两册,上册包括力学、振动与波动(包括光学)、统计物理与热力学基础,下册包括电磁学、相对论、量子物理和一些近代课题。

参加上册编写的人员是,魏环(绪论),莫文玲(第一、第二、第三章),张占新、盛嘉茂(第四、第五章),盛嘉茂(第六章),魏环(第七、第八章),全书由莫文玲、魏环统稿,胡鸿奎参加了部分统稿工作。

封面上的照片,左边是月球环形山,右边是微观粒子在云室中的径迹。感谢河北联合大学杨海波老师提供了封面素材。

我们特别感谢北京大学陈熙谋教授、东南大学恽瑛教授、北京大学出版社瞿定老师提出的中肯建议,感谢高等教育出版社对本书出版的支持,感谢原河北理工大学、河北联合大学校领导和教务处对大学物理课程改革的指导和支持。编写本教材,河北联合大学物理教学团队的刘涛、王凤鸣、刘颖、赵宏微、王汝政、李宏、薄惠丰、常春蕊等教师参加了教学实践和资料收集整理等工作,编者一并表示感谢。

虽然编者多年从事教学研究和教学实践,但成书难免会有不足之处,我们真诚地希望老师和同学们对本书提出宝贵意见。

编 者

2012年8月21日

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 力 学

引言	9
----------	---

第一章 质点运动学	11
-----------------	----

1.1 参考系 坐标系 对称性	11
-----------------------	----

1.2 位移 速度 加速度	12
---------------------	----

1.3 几种典型的运动形式 运动叠加原理	18
----------------------------	----

1.4 相对运动	22
----------------	----

思考题	24
-----------	----

习 题	24
-----------	----

第二章 质点动力学	29
-----------------	----

*2.1 物理量的单位和量纲	29
----------------------	----

2.2 牛顿运动定律 惯性质量	35
-----------------------	----

2.3 惯性系 力学相对性原理	39
-----------------------	----

2.4 运动的守恒量和守恒定律	43
-----------------------	----

*2.5 守恒与对称	60
------------------	----

思考题	62
-----------	----

习 题	62
-----------	----

第三章 刚体定轴转动	67
------------------	----

3.1 刚体的运动	67
-----------------	----

3.2 力矩 转动定律 转动惯量	68
------------------------	----

3.3 转动动能 角动量	75
--------------------	----

*3.4 进动	81
---------------	----

3.5 理想流体模型 定常流动 伯努利方程	83
-----------------------------	----

*3.6 牛顿力学的内在随机性 混沌	86
--------------------------	----

思考题	88
-----------	----

习 题	89
-----------	----

第二篇 振动与波动

引言	95
第四章 机械振动	96
4.1 简谐振动	96
4.2 简谐振动的旋转矢量法	101
4.3 简谐振动的能量	103
4.4 简谐振动的合成 谐振分析	105
*4.5 阻尼振动 受迫振动 共振	113
*4.6 非线性振动与混沌现象	116
思考题	124
习 题	124
第五章 机械波	128
5.1 机械波的产生与传播 惠更斯原理	128
5.2 平面简谐波	132
5.3 波的能量和能流密度	138
5.4 波的叠加原理 干涉	141
5.5 驻波 半波损失	145
5.6 多普勒效应 红移	150
思考题	153
习 题	154
第六章 光学	157
6.1 几何光学	158
6.2 相干性 分波前干涉	166
6.3 分振幅干涉 迈克耳孙干涉仪	172
6.4 惠更斯-菲涅耳原理 单缝夫琅禾费衍射	178
6.5 圆孔的夫琅禾费衍射 分辨本领	183
6.6 光栅的夫琅禾费衍射 全息照相	186
6.7 偏振 起偏和检偏	196
6.8 反射和折射时的偏振	199
*6.9 各向异性介质中的偏振现象	202
思考题	212

习 题	213
-----------	-----

第三篇 统计物理与热力学基础

引言	219
----------	-----

第七章 气体动理论	220
-----------------	-----

7.1 物质结构的分子学说 统计规律性	220
7.2 平衡态 理想气体物态方程	225
7.3 理想气体的压强与温度	228
7.4 自由度 能量均分定理	234
7.5 麦克斯韦速率分布 玻耳兹曼分布	239
7.6 分子的碰撞 气体的输运现象	249
7.7 微观状态数 玻耳兹曼熵	254
思考题	258
习 题	259

第八章 热力学基础	261
-----------------	-----

8.1 热力学第零定律 温度	261
8.2 热力学第一定律	263
8.3 典型的热力学过程	270
8.4 循环过程	278
8.5 热力学第二定律 可逆与不可逆过程	284
8.6 热力学熵 熵增加原理	288
8.7 热力学第二定律的统计意义	296
*8.8 信息熵	298
*8.9 开放系统与耗散结构	301
思考题	305
习 题	306

附录	309
----------	-----

附录一 国际单位制	309
附录二 部分物理学常量	313
附录三 希腊字母表	314

习题参考答案	315
--------------	-----

参考文献	322
------------	-----

绪 论

一、物理学的意义

1999 年第 23 届国际物理与应用物理联合会的决议指出:物理学是研究物质、能量和它们相互作用的学科,是一项国际事业,它对人类未来的进步起着关键的作用。

物理学的研究对象在今天很难用一个范围、一句话去定义。力、热、电磁、光、原子、基本粒子、凝聚态、材料、信息、超导等等,大到天体,小到基本粒子,从宏观到微观,从低速到高速,都是物理学的研究对象及范围。物理学无论是在过去、现在,还是在将来,都是各类学科的带头学科和基础学科,并且为其他学科的建立提供了最基本的原理。

物理学理论体系的发展特征表明,物理学与哲学、数学、实验物理密切相关。物理学将哲学的抽象性与概括性、高等数学的逻辑性与严密性、实验物理的实践性与操作性集于一体,建立了自己特有的一套科学体系和科学的思维方式。物理学的研究方法被证明是行之有效的,是科学方法的典型代表。物理学作为一门基础学科,其思想与方法不仅对物理学本身有价值,对整个自然科学乃至社会科学的发展都有重要贡献,是具有方法论性质的基础科学。它在科学的认识论和方法论方面所具有的完备性是自然科学的任何一个其他分支所不具备的。

与其他自然科学相比,物理学与哲学有着更为密切的联系。牛顿在他的《自然哲学的数学原理》中提出的四条推理法则、爱因斯坦在相对论中提出的相对性原理以及玻尔在量子论中提出的互补原理等,都是站在自然哲学的高度对科学作出的审视。因此,物理学家的自然哲学思想对他们的科学发现与研究有着非常重要的影响。相应地,自然哲学作为认识客观世界的一门学问,也总要以物理学的成就作为它的最终依据,以保持自身的活力。显然,物理学对科学世界观的形成所起的作用是直接的。

物理学既是科学,也是文化,它是人类思想文明的源泉。我们的时代是科学技术的时代,科学技术的迅猛发展不仅推动了社会的发展,而且影响着社会生活的方方面面。物理学是科学技术的基础,物理学的基本理论、各种观念已经渗透到社会科学和日常生活中,并且已经成为人类文化的一部分。物理学对人类生活

的影响更加凸显了它的社会价值和人文的内涵。例如,物理学的熵增加原理让人们弄清了隐藏在能量守恒定律背后的能量品质问题,揭示了当今社会能源危机的物理实质,该原理被认为是任何一个受到过良好教育的人都应该必备的知识。人类可持续发展战略的提出与此不无关联。当代社会的许多问题(例如核电站问题、克隆人问题等)都与科学技术密切相关,科学技术是一把双刃剑。作为现代社会的公民,可以不了解技术的细节,但必须了解科学的价值、功能和潜在风险,对于一些政策性和方向性的问题,应当有自己的见解,这是每一位公民应该具备的科学素质。

因此,在大学的各个专业设置物理课,不仅仅是因为各专业都或多或少地要直接用到一些物理知识,更因为大学物理课程在培养学生的思维能力、提升文化素质、激发创造意识、掌握现代科学方法论方面所起的作用比其他任何课程都无法取代的。

二、对称性原理与科学方法论

“对称性”在物理学中既是一个原理、一种思想,又是一种方法。

1. 关于对称性的含义

关于事物的几何对称性我们并不陌生。圆周上所有点关于圆心是对称的,球面上所有点关于球心是对称的;很多古代的建筑都具有较高的左右对称性。

德国的数学家魏尔(H. Weyl, 1885—1955)首先给出了对称性的定义:如果有一样东西(对象),我们可以对它做某种事情(操作),在做完之后,这个东西看起来仍旧和先前一样,没有变化(不变性),那它就是对称的。而这种操作就是对称操作。所以,对称性在逻辑上包括三个组成部分:对象、操作与不变性。

物理学中所讨论的对称性有两类:一类是事物本身具有的直观的几何对称性,另一类是物理规律的对称性——物理规律在经过某种变换之后所保持的不变性。

2. 对称性与物理规律的关系

怎样的科学知识能够成为科学理论呢?或者说,科学理论的理性标准是什么?标准之一就是必须具备实证性。即理论与观察要一致。一种理论,如果它本身或者从它推出的结论能够通过经验得到证实或证伪,那它就是可检验的,经得起检验的理论,才是科学理论。

数学尽管具备了逻辑性和严密性,但是它不能通过经验得到证实或证伪,它的正确性,仅仅是从公理集中无矛盾地推导出来。所以,著名物理学家费曼说:“按照我们的观点,从数学不是一门自然科学这个意义上来说,它不是科学,它

的正确性不是用实验来检验的。”^①

科学研究事物的规律,而自然规律反映的是事物之间稳定存在的因果关系。

科学方法论指出,要构成事物之间的稳定的因果关系必须满足或具备可重复性和预见性:

- (1) 实验行为可以重复(任何人皆可以重复做此实验);
- (2) 实验结果可以再现(实验结果不能因地、因时、因人而异)。

要求两次实验有无限精确的相同条件,这在原则上是不可能的,因此,对实验结果的可重复性的合理要求是:在相近的条件下得到相似的或等价的结果。

因为对称性就是不变性,所以,用对称性的语言阐述,即**对称的原因产生对称的结果**。科学方法论的上述要求被称为**对称性原理**。可以说,对称性原理是自然科学的基本公理。

皮埃尔·居里(P. Curie, 1859—1906)于1894年将对称性原理概括为以下两段话,现称为居里对称性原理:

(1) 原因中的对称性必然反映在结果中,即结果中的对称性至少有原因中的对称性那么多。

(2) 结果中的不对称性必在原因当中有反映,即原因中的不对称性至少有结果中的不对称性那么多。

居里对称性原理作为一种分析问题的思想和方法,使我们可以在不涉及具体物理定律之前,有可能根据事物的对称性,对其作出定性的判断,得到有用的信息。在电磁学课程里对称性方法是经常使用的一种分析方法。

对称性原理要求物理规律必须是:

- (1) 不因时而异,即不依赖于时间,这种对称性称为时间均匀性;
- (2) 不因地而异,即不依赖于地点,这种对称性称为空间均匀性与各向同性;
- (3) 不因人而异,即不依赖于观察者,不依赖于参考系,这种对称性称为相对论性对称性。

这三种基本对称性是科学方法论的自然要求,是科学本身存在的前提。

3. 对称性与守恒定律的关系

对称性即不变性,事物的不变性意味着其中包含有某种不可分辨性,或者一种对称性意味着有一种不可认识的事物。空间的均匀性意味着空间没有绝对原点,即空间的绝对位置是不可测量的。空间的各向同性意味着空间转动的不变

^① 引自[美]R. P. 费曼, R. B. 莱登, M. 桑兹,《费曼物理学讲义》第一卷第21页,上海科学技术出版社,1983。

性,即空间的绝对方向具有不可测量性.时间的均匀性意味着没有时间的绝对原点,即时间的绝对原点具有不可测量性.

物理学中存在着许多守恒定律,它们存在的根源是什么?1918年德国女数学家诺特(E. Noether, 1882—1935)证明了一个以她的名字命名的定理——诺特定理,给出了上述问题的答案:“自然界中的每一种对称性均可以得到一个守恒定律;反之,每一个守恒定律均揭示了蕴含于其中的一种对称性.”因此,可以证明:时间均匀性导致了能量守恒定律,空间均匀性导致了动量守恒定律,空间各向同性导致了角动量守恒定律.

对称性与守恒定律的关系表明,所有物理规律在任何地方、任何时间都是一样的,而且与空间取向无关.这恰恰反映了科学实验不因人而异、不因时间而异、不因地点而异这样一个朴素的道理.如果不存在这些守恒定律,那么自然界的规律将随时随地而变化,实验不能重复,科学本身也就不存在了.正因为存在这些对称性,人类才能够认识自然规律、掌握自然规律,并且利用自然规律.

三、科学的审美准则

物理学并不枯燥,物理学是可以欣赏的.下面的这组方程是自由空间的麦克斯韦方程组的形式:

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = 0 \\ \oint_L \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \int_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \\ \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \\ \oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \int_S \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \end{array} \right.$$

即使不懂得数学语言和物理语言,也能从它的形式中发现对称美.

而真正懂得科学审美标准的人会用几个词来评价这组方程:简洁、对称、优美.就是这组简洁的方程,能够描述大自然中多姿多彩的电磁现象!杨振宁是这样评价的:“它们以极度浓缩的数学语言写出了物理世界的基本结构,可以说,它们是造物者的诗篇.”

简单性、普适性、统一性、对称性是科学理论的审美准则.它作为科学的审美框架,成为科学家在理论探索中所追求的目标之一.牛顿的万有引力定律、麦克斯韦方程组都具备了这些特点,它们堪称物理学中的经典法则.物理学的规律是有层次之分的,层次越深,规律越简单、越基本,适用的范围也越广.

爱因斯坦曾说:“从那些看来与直接可见的真理十分不同的各种复杂现象

中认识到它们的统一性,那是一种壮丽的感觉。”物理学是一门严格意义上表达自然的实证科学,根源于可观测世界的清晰的数学关系,数学和方程是它通用的表达手段。只有懂得了物理和数学的语言,才能欣赏隐藏在复杂的数学方程背后的物理学所独有的真与美。

懂得如何欣赏科学之美,这是每个学习过物理学的人应该具备的科学素养,在学习中要有意识地提升自己的科学欣赏品位。

四、怎样学习物理学

教育是一个人一辈子都不可能结束的过程,所以,大学教育的现代理念是:大学所提供的教育是一个阶段性的教育,应该是以基础的、素质的和方法的教育为主要的目的。

所谓基础性的教育是指,大学里开设的一切课程,无论针对哪个领域,哪个专业,都是基础性的课程,是作为一个人今后进一步学习、从事科学研究必须懂得和掌握的最为基本的知识与方法。

科学既是反映客观事物和规律的知识 and 知识体系,又是与科学知识相关的方法,包括“获得知识的方法”和“表达知识的方法”。在知识不断膨胀的时代,一个人不可能精通所有学科,而“素质”是一个人的知识与能力内化之后的隐蔽性的品格,是一个人的才智、能力和内在涵养的总和。因此,大学强调素质与方法的教育,并把提高大学生的科学文化素质、培养学生的学习与研究的能力放在首位。

科学不只是知识,更是一种方法,一种认识事物的途径。所以,大学的学习首先要自觉地转换视角,要从学习局部的、具体的知识转换到学习知识的整体结构,即注重学习和把握从各学科领域提炼出的基本概念、基本原理之间的相互联系。要学会并形成从“知识整体”的角度去定位和分析思考具体现象和问题的思维方式,在这样的思维方式中具体的事实或现象仅仅是整个“知识结构”给出的一般情况中的一个特例。其次,要从单纯的学习定律转换到学习“理论形成”。把科学理论、科学方法论和认识论整合成一个整体,从而培养自己的科学思维能力和创新思维能力。

在学习物理学的过程中,要使自己了解并懂得物理学的工作语言、基本概念和物理图像,这样才能真正领会和欣赏物理学的思想,才能够掌握物理学的方法、规律和知识。

五、结束语

最后,以“德国教育之父”洪堡(A. Von Humboldt, 1769—1859)提出的“洪堡

五原则”作为结束语。

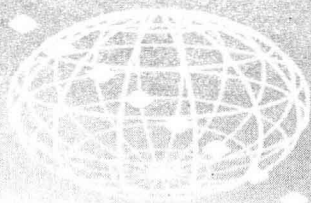
(1) 科学是某种还没有完全得出结论的定义,还没有被完全发现,没有被完全找到的东西,它取决于对真理和知识的永无止境的探求过程,取决于研究、创造性以及自我行动原则上的不断反思。

(2) 科学是一个整体. 每个专业都是对生活现实的反思,对世界的反思,对人行行为准则的反思. 唯有通过研究、综合与反思,科学才能与苍白的手工业区别开来。

(3) 科学首先有它的自我目的,至于它的实用性,其重要意义也仅仅是第二位的. 当然,对真理进行的这种目标自由式的探求,恰恰能导致可能是最重要的实用性知识,并能服务于社会。

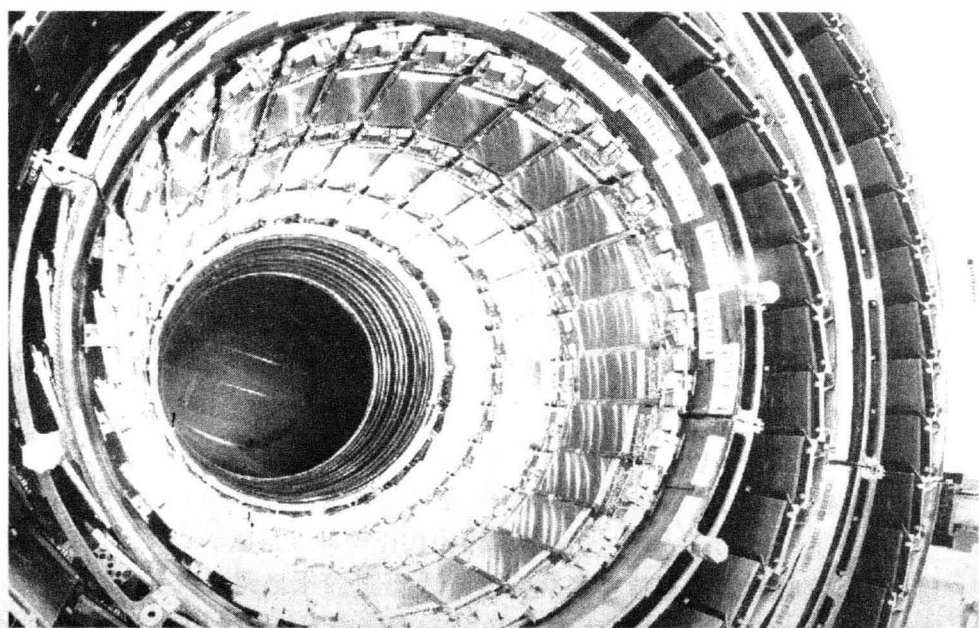
(4) 科学是与高等学校联系在一起的,唯有通过学术研究、科学交流以及对整体世界的反思,才能培养出最优秀的人才. 大学生要学的不是材料本身,而是对材料的理解. 唯有这样,才能形成他独立的判断力以及他的个性,然后,他才能达到自由、技艺和力量的境界。

(5) 高等学校的生存条件是孤寂与自由,这就是“坐冷板凳”和学术自由. 国家必须保护科学的自由,在科学中永无权威可言。



第一篇

力学



引 言

物理学是研究物质运动中最普遍、最基本运动形式的规律的一门学科。这些运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核运动以及其他微观粒子的运动等。所有的物质,大至天体、航天飞机,小至分子、原子、基本粒子都在不停地运动着。力学是物理学中研究物体机械运动的学科分支,讨论机械运动的描述、成因和规律。所谓机械运动,指的是物体相对于其他物体的位置(距离和方向)的变化以及物体各部分之间的相对运动(如形变)。

运动总是发生在一定的时间和空间中,对时空观的研究也就成了力学的一个课题。

在运动学中,我们主要研究运动的描述。

在动力学中,我们主要研究物体间的相互作用以及它们对相对运动的影响。力学中涉及的相互作用主要是引力以及电磁力引起的摩擦力、黏性力。

力学中所用的概念、量和方法在物理学的其他分支或其他学科中常常被直接运用或作为参考。这主要是因为机械运动是最基本的运动,另外也是由于历史和认识论的原因。

1867年,牛顿发表了他的《自然哲学的数学原理》(Philosophiae Naturalis Principia Mathematica)一书。这是一个重要的里程碑,自此开始了牛顿力学的时代。牛顿力学在行星运动以及其他很多方面取得了成功,预言海王星的存在可以说是辉煌的顶点。但是也正是在天文上,他遇到了本质的困难:水星近日点进动周期的计算无法与观测值吻合。

1905年爱因斯坦发表了狭义相对论(Special Theory of Relativity),把力学的研究范围扩展到高能、高速情形。他的时空观和牛顿不同。1916年爱因斯坦发表了广义相对论。该理论包括了加速参考系。作为引力理论,广义相对论具有普适性,牛顿的万有引力理论只是其弱引力的极限。

20世纪20年代发展起来的量子力学是研究微观粒子运动规律的科学。相对论和量子力学被认为是近代物理的核心,而牛顿力学也就被称为经典力学。

通常意义上,微观是指原子、基本粒子尺度,而宏观是指我们的感官能直接感知的、包含了极多的微观粒子的体系。大量粒子组成的体系中个别粒子的行为和体系的整体行为分别称之为微观行为和宏观行为,也许这才是微观和宏观的