

■ 高等学校教材

# 物理学教程

■ 上册

徐绪笃 陈晓域 李洛 等编

高等教育出版社

本书反映了编者的教学经验,汲取了国内外部分教材的优点.在体系更新、内容精选以及培养学生能力等方面的改革作了一些尝试.全书着重讲清基本概念和基本规律,文字通顺.

本书符合1987年国家教育委员会审订出版的《高等工业学校大学物理(原普通物理学)课程教学基本要求》,适合130~140学时使用.全书分上下册.上册包括力、电两篇,下册包括热力学、振动与波动、微观物理学基础等三篇.

本书是高等工业学校各专业物理课教材,也可作其他各类高等学校非物理专业物理课的教学用书.

本书经高等工业学校大学物理课程教学指导委员会评选后,由夏学江、吴颀和陈大鹏审查,夏学江复审,并推荐出版.

责任编辑 汤发宇.

高等学校教材

**物理学教程**

上册

徐绪笃 陈晓域 李洛 等编

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

北京印刷一厂印装

\*

开本850×1168 1/32 印张17 字数430 000

1988年9月第1版 1988年9月第1次印刷

印数:0001—4 620

ISBN 7-04-000823-8/O·320

定价4.20元

## 前 言

本着教学要改革的精神,我们在近年来教学实践中,对诸如体系的更新、内容的精选、能力的培养等方面,作了一系列尝试.本书就是在此基础上,汲取国内外部分教材的优点编写而成的.在编写过程中,我们力图做到:

一、处理好传授知识与培养能力的关系,立足于知识的传授,着眼于能力的培养.为此,不仅要讲清基本的物理概念、物理定律和物理理论,而且要使学生对整个物理框架有所认识;要加强对物理过程的分析以及建立正确物理图象的论述;要介绍在物理学发展进程中一些重大转折的产生和演变过程.从而使学生形成统一的物理世界图象,受到物理思维的熏陶和锻炼,提高物理素养.

二、处理好内容与学时的关系,既满足本门课程的基本要求,又与现行工科教学计划中规定的教学时数基本适应,以确保本书的实用性.为此,要避免与中学物理的简单重复,合理规定起点和要求,并注意与有关课程的分工与合作;在内容的选择上,要撷取精华,保证基础,加强近代;在阐述上,要轻重有别,主次分明,不平均使用力量.

三、处理好教与学的关系,遵循教学规律.为此,我们认为,在教材中应充分反映编者在教学中行之有效的经验,包括教学方法方面改革的经验.教材内容的安排,既要利于讲授的实施,又要利于自学.行文要注意启迪思维,引起兴趣,唤起共鸣.

本书初稿参加了全国工科物理教材评选,得到了肯定.并承浙江丝绸工学院、西安公路学院、合肥工业大学、南京工学院、武汉测绘学院等兄弟院校试用.合肥工业大学樊高明、陶国斯,南京工学院叶善专,武汉测绘学院罗静等诸位老师,在试用中写

出了书面意见。对他们的热诚帮助，编者谨致衷心的感谢。有幸的是，在本书稿审查和修改期间，经国家教育委员会审定的《高等工业学校大学物理(原普通物理学)课程教学基本要求》已经正式出版，这就使本书更符合课程的要求。

全书内容适合130~140学时使用。用小字体排印的部分，可供教师依具体情况选补采用，也可供有兴趣的学生自选阅读。出于数学上的需要，本书宜于从第一学年第二学期开始讲授，一年授完。考虑到学生的中学物理基础，以及便于接受从经典向近代的逐步过渡，我们将全书五篇共十六章分成份量大致相当的两册，每学期使用一册：上册包括力学、电学两篇共六章；下册包括热力学、振动与波动、微观物理学基础三篇共十章，其中第十六章原子核与基本粒子为选讲内容。所有例题均用小字体，思考题和习题混编在一起，附于每章之后，部分习题的答案列于每册的末尾。

参加编写工作的是：宋士贤（绪论及一、二、三章），陈晓域（四、五、六章并负责编写的组织工作），徐绪笃（七、八、十一、十六章并负责全书的统稿工作），陆福一（九、十章），李洛（十二章并负责全书的题解工作），唐丕显（十三、十四、十五章）。全书由徐绪笃按复审意见修改定稿。

由于编者水平所限，书中一定还有不少缺点和错误，我们真诚欢迎并恳请使用本书的师生和其他读者不吝批评指正。

编 者

一九八七年六月于西安西北工业大学

# 上册目录

绪论	1
§ 0-1 物理学的研究对象	1
§ 0-2 物理学的框架和结构	7
§ 0-3 怎样学好大学物理	9

## 第一篇 力学

第一章 质点力学	13
§ 1-1 质点运动学的基本概念	14
§ 1-2 质点运动的描述	37
§ 1-3 质点运动学的两类问题	42
§ 1-4 牛顿运动定律	51
§ 1-5 几种不同性质的力	57
§ 1-6 单位制和量纲	65
§ 1-7 质点动力学的两类问题	67
§ 1-8 力的时间累积效应 质点的动量定理	82
§ 1-9 质点系的动量定理和动量守恒定律	90
§ 1-10 质点的动量矩定理和动量矩守恒定律	96
§ 1-11 力的空间累积效应 质点的动能定理	101
§ 1-12 保守力的功 势能	110
§ 1-13 质点系的功能原理 机械能守恒与转换定律	120
§ 1-14 力学中三个守恒定律的应用	125
§ 1-15 普遍的能量守恒与转换定律	136
§ 1-16 伽利略变换与伽利略相对性原理	138
习题	142
第二章 连续介质力学	161
§ 2-1 刚体定轴转动的角量描述	161
§ 2-2 刚体定轴转动定律 转动惯量	170

§ 2-3	刚体定轴转动的动量矩定理 动量矩守恒定律 .....	178
§ 2-4	刚体定轴转动的动能定理 .....	183
§ 2-5	刚体的进动 .....	188
§ 2-6	弹性体的形变 .....	191
§ 2-7	弹性形变的传播 .....	196
§ 2-8	流体静力学基本方程 .....	198
§ 2-9	伯努利方程 .....	201
§ 2-10	粘滞流体的运动 .....	205
	习题 .....	207
<b>第三章 相对论力学</b> .....		<b>214</b>
§ 3-1	爱因斯坦的两个基本假设 .....	214
§ 3-2	洛仑兹变换 .....	218
§ 3-3	同时性的相对性 .....	226
§ 3-4	时间度量的相对性 .....	231
§ 3-5	空间度量的相对性 .....	234
§ 3-6	两种时空观 .....	236
§ 3-7	动量 质量 力 .....	238
§ 3-8	质量和能量的关系 .....	243
§ 3-9	动量和能量的关系 .....	248
	习题 .....	251

## 第二篇 电 学

<b>第四章 静电场</b> .....		<b>260</b>
§ 4-1	库仑定律 .....	261
§ 4-2	电场和电场强度 .....	265
§ 4-3	电偶极子 .....	273
§ 4-4	场强计算举例 .....	276
§ 4-5	电力线与电通量 .....	284
§ 4-6	静电场的高斯定理 .....	287
§ 4-7	高斯定理的意义以及在计算场强中的应用 .....	291

§ 4-8	静电场的环路定理 电势	297
§ 4-9	电势计算举例	301
§ 4-10	等势面 场强和电势的关系	306
§ 4-11	静电场中的导体	312
§ 4-12	导体的电容 电容器	318
§ 4-13	静电场中的电介质 电感强度	322
§ 4-14	电场的边界条件	338
§ 4-15	电场的能量	340
	习题	349
<b>第五章</b>	<b>稳恒磁场</b>	<b>363</b>
§ 5-1	稳恒电流的基本概念	363
§ 5-2	安培定律	377
§ 5-3	磁感强度 安培力公式	382
§ 5-4	毕奥-萨伐尔-拉普拉斯定律及应用举例	385
§ 5-5	磁场的高斯定理	394
§ 5-6	安培环路定理及其应用	400
§ 5-7	安培力矩 安培力的功	407
§ 5-8	洛仑兹力与霍耳效应	412
§ 5-9	带电粒子在电场和磁场中的运动	416
§ 5-10	磁介质 磁场强度	419
§ 5-11	磁场的边界条件	431
	习题	432
<b>第六章</b>	<b>电磁场</b>	<b>447</b>
§ 6-1	法拉第电磁感应定律	447
§ 6-2	洛仑兹力与感应电动势	453
§ 6-3	电磁感应与安培力	460
§ 6-4	麦克斯韦涡旋电场假说	465
§ 6-5	涡旋电场存在的几个例证及其应用	469
§ 6-6	互感与自感	472
§ 6-7	磁场的能量	479

§ 6-8	麦克斯韦位移电流假说 .....	486
§ 6-9	麦克斯韦方程组 .....	493
§ 6-10	电磁场的相对性 .....	496
	习题 .....	500
<b>上册习题答案</b> .....		517
附录 A	我国法定计量单位及使用方法 (摘录) .....	526
	B 电磁量的量纲式和单位名称 .....	533
	C 电磁学主要公式 .....	534



# 绪 论

## § 0-1 物理学的研究对象

物理学,以前称为自然哲学,乃是一门与自然界的**基本规律**有着最**直接关系**的学科。它不仅与自然科学的其它分支(如数学、化学和生物学等)有着**密切的联系**,而且,尤其是各种**工程技术科学**的必要基础。可以毫不夸张地说,在同学们今后从事的**科学技术**工作中,物理学始终是最**强有力**的武器之一。

自然界是由形形色色的物质组成的,所谓物质,就是不以人的意志为转移的**客观实体(客体)**。物质的固有属性是**运动**,这里的运动是一个总名称,包括宇宙中所发生的一切**变化和过程**,而不仅仅是**相对位置的变动**。自然界没有不运动的物质,也没有**脱离物质而单独存在的运动**。物质和运动是**不可分离**的,自然界的各种现象,无不是物质运动的具体表现。根据近代科学已达到的认识,物质运动的形式,按其复杂程度划分为**物理的(包括化学的)、生物的、思维的、社会的**等四种运动形式。较低级的简单的运动并不能代替较高级的复杂的运动,但在比较复杂的高级运动形式中,一定包含着比较简单的低级运动形式。

物理运动是物质运动中最基本、最简单因而也是最普遍的运动形式,包括机械运动,热运动,电磁运动,分子、原子、原子核和基本粒子等微观粒子的运动等。在本课程中,我们将介绍这些运动的最基本的规律及其相互联系,作为大家今后进一步学习的基础。

由此可见,物理学乃是一门研究物质及其基本运动规律的**科学**。换句话说,物理学的研究对象可以概括为:**探索物质的基本结**

构规律；研究物质的基本运动和转化的规律。这里应该着重指出的是，对物质运动的研究和对物质结构的研究，两者是相辅相成的。没有关于运动规律的知识，就不能认识物质的结构规律；而缺乏物质结构的知识，也就不能很好地掌握物质的运动规律。所以，在今后的教学过程中，我们常常需要把两方面的内容结合起来进行。

就物理学研究对象的这两个方面来看，关于物质物理运动的几种基本形式，前面已经列出了，大家在中学物理的学习中，对它们已有初步的了解。而相比之下，对于物质本身的了解就比较零散了。下面我们就物质的基本结构作概略介绍。

尽管自然界的物质以各种形态出现，千差万别，丰富多彩，但物质按其存在的形式，可分为实物物质和场物质两大类。

## 一 实物物质

实物物质是由具有静止质量的粒子聚集而成的。实物所具有的物质特性，除占据一定的空间外，主要可以归纳为下列两方面：与其它物质有相互作用——力；以及具有对其它物质做功的本领——具有能量。实物物质又可按其线度及聚集态进行分类。

从物质的线度(即尺寸大小)来看，自然界中的物质，有小到亚原子的基本粒子，其大小在  $10^{-15}\text{m}$  以下，有大到星系团的集合(即宇宙的已知部分)，其大小在  $10^{26}\text{m}$  以上。表 0-1 清楚地示明了宇宙的结构及相关的专门学科分支，这期间包含着无数的各种形态、各种线度的物质。为了研究的需要，人们常把它们分为宏观和微观两类。线度大于  $10^{-7}\text{m}$  的物质属于宏观世界；线度小于  $10^{-7}\text{m}$  的物质，属于微观世界。

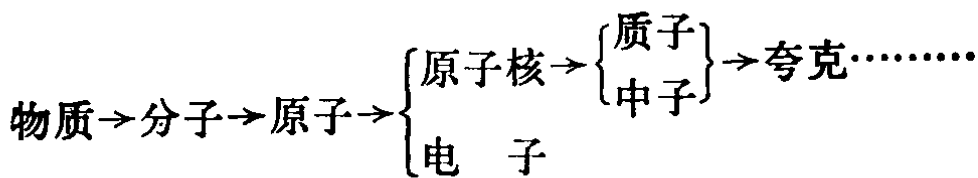
宏观物质与微观物质，不仅有大小数量的差别，而且在其性质、规律及研究方法上有着质的差别。例如，宏观物体显示出连续性，在研究方法上，着重研究其个体的粒子性规律，微观客体显示

表 0-1 宇宙的结构排列

实 物 物 质	大 小	相关的专门学科分支
基本粒子	$10^{-15}\text{m}$ 以下	粒子物理学
原子核	$10^{-14}\text{m}$	核物理学
原子	$10^{-10}\text{m}$	原子物理学
分子	$10^{-9}\text{m}$	化学
巨型分子	$10^{-7}\text{m}$	生物化学
固体		固体物理学
液体		液体动力学
气体		空气动力学
植物与动物	$10^{-7}\sim 10^2\text{m}$	生物学
地球	$10^7\text{m}$	地球物理学
星球	$10^7\sim 10^{12}\text{m}$	天体物理学
星系	$10^{20}\text{m}$	天文学
星系团	$10^{23}\text{m}$	天文学
宇宙的已知部分	$10^{26}\text{m}$	宇宙学

出不连续性和波粒二象性,在研究方法上着重研究其整个群体所服从的统计规律. 这些问题在今后各篇中将进一步予以介绍.

我们日常所说的物质是有着一定的结构层次的,即



就是说,通常的物质是由许多分子组成的,每个分子由若干个原子组成,每个原子又由一个带正电的原子核和它周围的若干个带负电的电子所组成,原子核又由若干个质子和中子组成……. 电子、质子和中子曾是廿世纪初期人们认识到的构成物质的基本单元,故称为基本粒子. 但迄今为止,基本粒子远不止这三种,已发现了三百多种,而且理论上还预见到,基本粒子并不基本,大多数基本粒子也是具有内部结构的.

从分子到基本粒子,都叫做微观粒子。自然界中以某种状态出现的宏观物质,都是由为数众多的微观粒子聚集而成的,而不同的状态,不过是这些微观粒子群的不同聚集形式而已。从这个角度出发,宏观物质可分为六态:

**固态** 固态物质(即通常说的固体)具有一定的形状和体积,在不太大的外力作用下,其体积和形状的改变都很小.当外力撤去后还能恢复原状的是弹性体,不能完全恢复的称塑性体。固态物质分子或原子间的相互作用较强,它们或者作严格有规则的排列而构成晶体,如金属、食盐、金刚石等;或者混乱分布的则构成非晶体,如玻璃、石蜡、沥青等。晶体加热到熔点时,便熔解为液体。非晶体的熔解过程,则表现为随温度的升高而流动性逐渐增加。因此,有时就把非晶体看作是过冷液体,固体则专指的是晶体。

**液态** 液体的外部特征不同于固体,虽然也具有一定的体积,但由于它的流动性,其形状随容器的形状而改变.液体在外力作用下,不易改变其体积(压缩性小),但容易发生流动。在一般容器中液体静止时,液面形成与重力方向垂直的水平表面。从微观结构看,液体分子虽容易作相对移动,但在极小范围内却有着象晶体那样的严格有规则的排列(称为准晶体近程有序结构)。由于液体分子间距也比较小,分子间相互作用力也很显著。液体在任何温度下都能蒸发,并在加热到沸点时迅速变为气体。如将液体冷却到凝固点时便凝结为固体(晶体),或者逐渐失去其流动性(非晶体)。近年来研究得很多并得到广泛应用的液晶,就是近程有序程度相当高的一种液体,它除了流动性外,在很多方面都类似晶体。

**气态** 气体是没有固定形状和体积、能自发充满任何容器的物质。气体分子的间距比固体、液体分子的间距大得多,分子间相互作用力很小。所以,气体容易压缩,分子间的相对位置完全不固定,处于一种完全随机的状态。气态、液态和固态在一定温度和压力下,可以相互转化。

等离子态 中性原子分解成电子和正离子的过程,叫做电离。举例来说,在非常高的温度下,气体中几乎所有的原子都电离为正离子和电子。这种由高速运动着的正离子和电子组成的物体,叫做等离子体,它和气体的结构有很大的不同。物质的这种状态叫等离子态,并把它称为物质的第四态。

等离子体中的粒子带电荷,而且正负电荷密度几乎相等,故从整体看呈现为电中性。正因为其中的粒子带有电荷并能自由移动,故在等离子体中电磁力起主要作用,能引起和普通气体大不相同的内部运动形态。它具有很大的导电性,加上它有很高的温度和流动性,所以应用前景很广,受到了极大的重视。

不过,在地球上,天然存在的等离子体是很少见的。但从地球电离层开始向外的整个宇宙中,绝大部分物质是以天然的等离子态存在的。

中子态或称超固态 在地球之外,除了上述四态外,还有另一种完全由中子组成的聚集态,叫做中子态。由中子态物质构成的星球就叫中子星,它是怎样形成的呢?

宇宙中有很多恒星,温度都很高,能像太阳那样自行发光。发光的能量,来源于内部粒子的热核反应。在反应过程中,高温等离子体的气体压力和所发出的光的辐射压力指向外部,促使恒星膨胀。但恒星内部物质对外层物质的万有引力,却产生巨大的向内压力,又促使恒星体积缩小。当这两种压力平衡时,恒星便保持着稳定的体积,太阳目前正处于这种平衡状态。当恒星内的热核反应随着核燃料逐渐烧完而减弱时,向外的辐射压力越来越小,恒星内的粒子在向内的引力作用下越挤越紧,致使电子完全被挤进原子核中,与质子结合成中子。这时,星体内部几乎都成为中子了,故称作中子星。

一颗与太阳质量差不多的中子星,其半径只有几十千米,约为太阳半径的  $1/15000$ 。可见其密度是非常之大的。每立方厘米的

质量竟达  $10^{12}\text{kg}$ ,也就是说,一颗黄豆大小的中子态物质的质量可达几千万吨。因此,中子态也叫超固态。

中子星除了密度极大之外,还能按严格的周期向外发射电磁波,所以,中子星又叫做脉冲星。理论研究指出,质量小于大约  $2\frac{1}{4}$  太阳质量的星体,才可能以中子态存在。质量更大的星体,在演化过程中可以继续收缩,以致最后成为异常致密、引力大到以致任何物质掉进去就不能再出来的程度,连它自己发的光也不能向外传出,成了一种完全黑暗的东西了。这种“死”了的恒星,称为黑洞。

**反物质** 本世纪廿年代,首先从理论上得知,并从 1932 年以来陆续在实验室发现,除了电子、质子等正粒子外,还存在反粒子,如反电子(带正电的电子)、反质子(带负电的质子)等。迄今为止,已发现三百多种正反成对出现的粒子,这反映了自然界的高度对称性。于是,人们设想,既然存在反粒子,就应该存在由这些反粒子组成的反原子、反分子和反物质,宇宙中就可能存在由反物质构成的反物质星体,从而才能保证对称性。这些想法目前还没有得到证实,反物质的存在还只是一种理论预测。

就大学物理的内容来说,我们主要研究的对象是分子、原子以及由它们构成的固态、气态和液态物质。

## 二 场物质

人们对场的物质性的认识,是从运动的电场和磁场的物质性开始的。继而,就更新了对万有引力场的认识,并发现原子核内的核子(质子和中子的统称)间,还有一种与万有引力场和电磁场不同的场,叫做核场或介子场。所有这些,说明场也是普遍存在的一种物质,只不过与实物存在的形式不同罢了。对场来说,在它所遍及的空间范围内存在着力的作用,并和实物一样也具有质量、动量

和能量。

但是,场与实物有着明显的差别。它不像实物那样具有集中的质量和能量,也不具有实物的那种单个可数性。场总是弥漫于较大的空间范围里。两个实物不可能占有同一个地方,但几个场却可以同时存在于同一空间内。更重要的是,场的运动不像实物那样具有一定的轨道,场的运动总是采取波动的形式。例如,运动的电磁场就呈现为电磁波或光;光或电磁波乃是一种场物质。

随着近代物理学的发展,大家知道,光电效应等实验证实了光还具有粒子的性质;光是由一个个的光子所组成,而电磁相互作用的实现,就是依靠光子作媒介来传递的。这样,就光来说,物质的这两种存在形式便统一起来了:光既具有粒子性,同时又具有波动性,这就是光的波粒二象性。

不仅如此,理论和实验事实都已揭示,实物粒子也具有波动性,这种波称为物质波。这就是说,二象性不是光所独有的,而是所有物质的通性。然而一般说来,依具体条件之不同,物质有时主要显示其粒子性,有时则主要显示出波动性。因此,我们仍可把物质划分为实物和场两类来进行研究。

所有这些,后面在有关章节中还要作较具体的说明。

## § 0-2 物理学的框架和结构

物理学作为一门自然科学,它的建立不仅要以客观的各种物理规律为基础,而且要以它们的内在联系为线索,来形成有系统的知识,并在此基础上进一步探求对其物理本质的解释,从而形成相应的物理理论。整个物理学就是一组有系统的普遍的物理理论体系,它的各个部分虽有其特定的分工,但相互之间却有着密切的关联,构成了一个有机的整体。

大体上说来,整个物理学的框架由两大部分组成。一个是以牛顿力学、麦克斯韦电磁学以及热力学为主要基础而构成的经典

物理学，一个是以爱因斯坦相对论以及量子力学为主要基础而构成的近代物理学。从物理学的发展进程来看，它们代表着两个重大的里程碑；而且现已弄清，近代物理是更为普遍的理论，它可以把经典物理当作一种特例而包括进去。但是，对宏观领域内的绝大多数研究对象来说，经典物理不仅仍然适用，所得结果的正确程度与近代物理的处理并无差别，而且处理的手续和过程反而更为简捷方便。所以，经典物理并没有丧失其独立存在的价值，而是还在不断地取得新的进展，扩大应用的园地。从教学的角度来说，我们强调重视经典物理，还有另一方面的理由：因为近代物理是从经典物理中孕育、发展起来的，没有扎实的经典物理基础，就不可能接受和学好近代物理。在本课程教学内容的安排上，我们采取了保证基础、加强近代的原则，使大家对整个物理学的框架有个较全面的认识。

具体说，物理学的重大基础理论可分为五个门类：

(1) 力学(也称牛顿力学或经典力学)——关于物体作机械运动的理论；

(2) 统计物理与热力学——关于热现象和大量粒子集合特性的理论；

(3) 电磁学——关于电和磁以及电磁辐射的理论；

(4) 相对论——关于物理规律不变性和高速运动的理论；

(5) 量子力学——关于微观粒子运动的理论。

工科院校的大学物理，是一门重要的基础理论课程。为了帮助大家掌握好物理学中主要的基本概念、基本原理以及研究问题的方法，提高分析问题和解决问题的能力，加强物理素养，以适应四个现代化的要求，本教程将安排如下五方面的内容：



- (1) 力学(包括经典力学和相对论力学);
- (2) 电磁学(重点讨论场的性质与规律);
- (3) 热力学(重点讨论热功转换的规律);
- (4) 振动与波动(包括机械的与电磁的);
- (5) 微观物理学基础(包括统计物理与量子物理的基本概念)。

这是两个学期的教学内容,可为大家今后学习专业和从事专业工作,打下必要的物理基础。

### § 0-3 怎样学好大学物理

大家在中学已经学了几年物理,现在又要学习物理了,有的人可能以为只要沿袭过去的学习习惯,也就可以学好了。但是经验告诉我们,对于大多数同学来说,沿用中学的学习习惯将使学习事倍而功半,至少会在不同程度上感到不顺畅、不适应。这是因为大学的物理教学,无论在内容或要求上,都比中学物理有较大幅度的深化、拓宽和提高;而且,教学方法也与中学有所不同,例如进度较快、自学的成分增加了。因此,为了学好大学物理,大家从一开始就要注意研究学习方法,及时地作相应的改进,以适应大学的学习生活。只要学习方法对路了,学好大学物理的条件就具备了。

什么是大学物理的学习方法呢?其实并没有统一的模式,学习方法是因人而异的。一种适合自己的学习方法,是要在教师指导下,通过自己不断的实践、摸索,才能逐渐形成和完善起来的。尽管如此,关于学习方法仍然有一些共同规律。我们认为,在学习中认真注意以下两方面的问题,可能是有益的。

首先,在学习具体物理知识的时候,要充分注意物理学自身的特点。物理学既是一门实验科学,又是一门概念性极强的理论