高中物理方法教育研究

浙江省教育学会
中学物理教学分会
本书编写组

浙江教育出版社

高中物理方法教育研究

浙江省教育学会
中学物理教学分会本书编写组

浙江教育出版社

知识和方法

——代序

本文题目虽是“知识和方法”，但我在这里谈的却只是方法．因为知识问题，大家都很清楚，我也说不出道道来．还是从物理学方法来谈，对大家来说，可能感到更亲切．

物理学的特性，不仅表现在研究对象上，而且也表现在研究方法上．物理学的基本研究方法就是实验和数学的结合．可以毫不夸张地说，没有实验，就没有物理学；同样，没有数学，也没有物理学．但在两者的结合上，还应当以实验为基础．对物理学说来，数学是一种科学语言，用它来表述科学的结论最简便而且最准确．

近代物理学是从探索机械运动的规律开始的．伽利略(1564—1642)为了探索自由落体的运动规律，把落体的实验移到斜面上来，终于得出这样的结论：自由落体在无其他外力的作用下，下落的距离与相应的下落时间的平方成正比．由此便开创了一个物理学的典型研究方法，一般称之谓“实验室实验”．这个方法的特点是，在实验室中可以控制次要因素的干扰，简化实验的条件，便于探求变量之间的定量关系；而且不论何时何地，在相同条件下无数次地重复实验，都能得相同的结果．这个方法实质上就是实验和数学的结合．

实验实际上是一个从具体到抽象的归纳过程，而数学基本上属于演绎科学．因此二者的结合实质上是归纳法和演绎法的

结合．这从方法论的角度来看，意义似乎更为深广．而在归纳法的使用上，也只有在物理学的实验室实验中，才真正能做到从具体事例归纳出普遍结论．因为从个别的具体事例概括为普遍的抽象结论，有一个基本原则，在论证的命题范围内，普遍的抽象结论必须覆盖所有个别的具体事例，如有一例外，则普遍结论就不能成立．在一般情况下是不容易符合这一原则的．若从少数几个事例便概括出普遍结论，这是以偏概全，极不科学．但就实验室实验而言，由于实验的可重复性，便可保证所得普遍结论的科学性．而一旦表述为数学公式，又可保证它随时随地应用于实际．这不正是归纳法和演绎法的结合吗？这也就是物理学家在归纳法发展史中所作出的贡献．

假说，作为一种重要的科学方法，实质上是作为归纳法的中介而提出的．当探索某一现象已取得一些数据，看出什么问题，但还没有充分根据作出最后结论的时候，为了使问题的研究更集中而明确一些，便可根据已取得的数据，提出一种设想，把现象的内在联系勾出一个轮廓；然后再进一步设计实验，搜寻数据，加以验证．这种科学的设想，便是科学上所谓的假说．在现代科学技术领域里，它已广泛地被看做是实验到理论的桥梁．在物理学研究中，假说也越来越普遍地为人们所使用．按它的实质来说，假说是从实验和数学的结合上发展而来的，而它本身又体现着二者结合的一种更好的方式．

对于某一研究对象可以提出多种假说．它们之间如有内在关联，那就可以建立一个能反映这些内在关联，并能用符号系统来表述的结构．通常就把这样一种结构叫做“模型”．一个有用的模型，是从直观类比、充分证据或理论考察中建立起来的，它能够解释已有的现象，又能够预见那些可以用实验来证明的结果．但它毕竟还是一个由假说组成的结构，因而又不能

等同于理论．理论必须不仅可以解释已有的现象，而且可以解释在它所探讨的范围内发现的新现象．在现代的科学研究中，不论是在自然科学、技术科学，还是在社会科学方面，建立模型被作为一种科学方法，越来越普遍地为人们所采用．面对较为复杂的问题，建立模型成为一条从实验到理论的重要途径．从方法论的意义上说来，它也还是实验和数学的更好结合．

以上只是就物理学方面，对它的研究方法作了简要的介绍，并不包括它所使用的全部研究方法．但由此也可看出，实验和数学相结合的确是物理学的最基本的研究方法．随着物理学的发展，物理的实验对象和手段以及作为物理工具的数学，都有了很大的变化，但它的基本精神却是一脉相承，永葆青春的．在物理学史上，几乎每一个新的重大成果都是在方法革新上取得的，而新的物理学成果反过来又促进了研究方法的革新．

总之，知识和方法是始终紧密地结合在一起的．知识是在一定方法上形成的，而一定的方法又是知识发展的产物．

有鉴于此，在中学物理教学中，加强方法教育，不仅要用科学知识去武装学生，而且要使他们在科学方法上得到锻炼，使他们在掌握物理知识的同时掌握取得知识的方法，这是物理学本性所决定的，也是当前教育为培养千百万促进祖国社会主义四化建设的青年一代的时代要求．

浙江省教育委员会教学研究室和浙江省中学物理教学研究会的同志们有鉴于加强方法教育的深刻意义，而且又感到这是当前中学物理教学中的薄弱环节，所以从1989年开始，就提出在中学物理教学中加强方法教育的倡导，并且积极推动广大中学物理教师结合教学实践，开展加强方法教育的教学研究，以此来促进中学物理教学的深入改革．他们的这一工作是很有意

义的．一年多来，由于我同他们时有联系，因而对他们的工作进展也略有所知．现在，我高兴地看到，他们坚持正确的研究方向，采取依靠广大教师、结合教学实践的正确研究方式，在不很长的时间内取得如此丰硕的成果．这实在是一件十分可喜的事情．我借此机会谈了一点我对物理学研究方法的看法，也是在他们工作的启示下想到的．这也表示我的一点快慰的心情．我希望他们用这些成果来进一步推动这方面的更广泛而深入的研究，取得更大的成绩．我更希望他们的这些成果，在更大范围内，能引起更多人的注意，从中获得启示，根据具体情况，加强中学物理教学的方法教育，并支持和促进开展这方面的研究工作．

汪世清

1991.11.20

加强高中物理方法教育

——编者的话

一、问题的提出

方法，历来为人们所推崇．毛泽东同志曾把方法喻之为桥和船，没有桥和船就不能过河，“不解决方法问题，任务也只是瞎说一顿”．

近年来，《中学物理教学大纲》对物理教学的要求提得越来越明确，越来越全面．《大纲》中说：“要培养学生的观察和实验能力、思维能力、分析和解决实际问题的能力．”“要结合物理教学进行辩证唯物主义教育和爱国主义教育．”“整个高中物理教学中，都要注意对学生进行抽象思维的训练，培养分析解决问题的能力，进行科学态度和科学方法的教育．”显然，这些要求中有不少内容是需要通过方法教育去体现和落实的．

我省在制定高中物理教学目标和考试目标时，虽然意识到在就概念、规律、实验等方面制定教学目标的同时，也应该编制出有关方法方面的目标，但总感到难度大．结果在现编的《高中物理教学目标（讨论稿）》中，只能以零星的、枚举的方式尽可能地编制相应条目（如在“电场”一章中编了如下条目：“能将库仑定律与万有引力定律进行比较”，“通过比较再次

领会比较方法和可忽略次要因素的研究问题的方法”），显然，方法方面教学目标的系统、完整，有赖于我们对方法教育的总体内容和教学要求的准确把握.

根据当前教学实际和全面提高教学质量的需要，我国高中教学计划及教学大纲近年来调整的趋势是，物理必修课课时减少，因而相应的教学内容减少，教学要求降低. 那么如何体现物理学科本身教学的高质量呢？人们面对新问题，或者说面对“少内容、低要求、高质量”的矛盾，寻求着教改的新思路. 这对我们来说，也成为一种契机，更激起对方法教育研究的紧迫感. 因为潜在的一种危机是，对已经删削的知识内容作机械重复性的教学，参与不讲效率的应试竞争，使仅以知识为核心的教学陷入更深的泥潭，压抑了物理课堂教学的勃勃生机.

近年来有关能力培养的研究逐渐深入，不时地推出相应的成果和提出突破性的见解：方法是通向能力的桥梁；能力既依赖于知识，更依赖于方法；在某种意义上，方法本身是能力的一部分；科学过程和知识的结合是中学物理教学的核心，而过程是与方法对应的，等等. 这使不少同志更强烈地意识到，能力培养可以从强化方法教育入手. 从方法教育的角度去审视和发掘近年来的教改和教学经验，许多事例说明，方法教育并不神秘，方法教育的经验和潜力蕴藏在广大物理教师之中.

总之，从方法本身的重要性、当前物理教学现实的必要性和客观的可行性诸方面，都引出同一个命题，即要加强高中物理的方法教育（其实也适用于初中），要使之更具体化、系统化、可操作化. 这需要大家来研究和探讨高中物理的方法教育的内容体系和与教学相关的问题.

二、构建高中物理方法教育内容体系

加强高中物理方法教育的首要问题是明确高中物理方法教育究竟应该包括哪些内容，为此我们着重做了以下一些工作.

1.以分析现行课本和现实教学中的方法教育因素为突破口，为构建方法教育内容体系提炼基本要素.

方法是什么？通俗地说，是人们认识客观规律和解决实际问题的手段（或操作）的总和. 高中物理教学中的方法教育内容，从广义上说，凡对高中物理学习有用的均可作为教学的对象. 但我们的任务则要针对高中物理教学要求和高中物理教学实际，从狭义上择取最基本、最重要、最适合的方法.

如何择取？我们借鉴浙江省慈溪市教研室分析初中重要知识的思维结构的做法，对现行高中课本（原试用本）按章为单元进行了方法教育因素分析（《教学月刊·中学理科版》自1989年第8期至1991年第12期连载）. 如对第二章“直线运动”，我们作了“建立质点模型”、“从简单运动入手”、“用比值定义速度和加速度”、“用图像反映直线运动规律”、“直线运动公式的演绎”、“运动和静止的对立统一”的分析. 对“光的反射和折射”一章，作了“几何光学研究对象的理想化”、“微元分割法在几何光学中的应用”、“透镜成像的作图法和公式法”、“通过寻找关节点掌握光现象的变化规律”、“几何光学中的对称”、“通过比较掌握光学仪器的特性”的分析，等等.

在以章为序列进行分析的同时，也择点以方法为线索进行分析，如我们纵观高中课本，分析出有40多个知识点涉及到理想化方法的运用.

这项分析工作的组织和初步完成，使我们更具体地感受到

教材中随着物理知识体系的展开，其方法教育因素是客观存在的，但多数并不直接点明，而是隐含其中．现经分析并用语言加以陈述，就使方法教育的内容明朗化、显性化，且达到一定程度的条理化．由此以归纳的思路来提炼和概括高中物理方法教育内容要素的工作迈出了坚实的一步．

2.以多维坐标的思路，为构建方法教育内容体系寻求分类框架．

杨振宁教授在“谈谈怎样学习科学知识”一文中论述多维坐标时说，计算机影响深远的一个例子是产生计算机分类学，它使古老的植物分类学获得新生．利用计算机可建立植物的五十维坐标，对应于植物可列举的五十种特征，于是每种植物可用这五十维空间中一个点来描述，然后以点的聚合程度对植物进行分类．显然，用五十维的高维度坐标获得了植物分类的高精度．

借用多维坐标的思路，我们试图将高中物理方法教育内容大致归纳为几个方面，它们犹如几个维度，每一维度又有几个具体方法（犹如标度），由此形成一个高中物理方法教育内容体系的分类框架，使前述的方法教育的因素分析借用分类框架的演绎功能更有一定的效度和深度．由此通过归纳和演绎两条思路的交互循环作用，推进方法教育内容体系的构建工作．

目前，我们初步考虑的四个方面（维度）为：物理方法、数学方法、逻辑方法和哲学方法．

物理方法集中体现物理学科研究方法的特色，理应作为高中物理方法教育的基本内容，且其中一部分已在教材中明确点明或已为大家所熟悉和重视，对此要进行整理，同时需要进一步挖掘高中教学阶段重要而深层次的方法内容．目前在分析中已有：实验方法（含观察方法）、模型方法（专指理论模

型）、理想化方法、等效方法、对称方法、守恒方法，还有叠加方法、隔离方法等.

数学方法常被认为是物理研究的工具，其实它是物理学的形式化语言，是高度抽象的数学以其普适性作用于物理学，使其精确和走向统一. 在众多的数学方法中常被高中物理教学采用的，代数方面有比例方法、图像方法、极限方法、数列方法等，还有三角、几何中的一些方法.

逻辑方法指逻辑思维方法，属理性思维. 而理性思维除了逻辑方法外，还有非逻辑方法，如直觉、想象等. 非逻辑方法对于科学研究和物理学习都是十分重要的，但从高中物理教学属基础教育范畴考虑，还是择取作为基础的逻辑方法，其中主要有：比较、分类、类比、概括，分析和综合，归纳和演绎，抽象和具体等.

哲学方法，从称谓上虽则突出了哲学的方法论功能，其实还兼容马克思主义哲学的重要观念和规律，把对方法的认识上升到哲学的高度. 目前，在我们的分析中涉及较多的有，对立统一，量变质变，肯定否定，绝对相对，现象本质，形式内容，原因结果，偶然必然，部分整体，无序有序等.

三、 促成高中物理方法教育的教学环路

在明确高中物理方法教育的教学内容的同时，要探讨研究方法教育的教学问题. 从教学的一般过程应由教学目标、教学活动、教学评价三大环节形成教学环路的规律出发，我们着重做了以下工作.

1. 总结提炼方法教育的教学经验.

在分析教材的方法教育因素的同时，比较有意识地总结提炼出一些方法教育的教学经验，探讨了一些方法教育的教学方

法问题．并为此提供了一些方法教育的教学建议，选编了一些教学实例，特别是总结出方法教育有隐性和显性两种模式．所谓隐性，就是在教学中不具体点明方法的名称，不对方法本身进行解释，而是隐蔽地发挥方法的指导作用，使学生潜移默化地受到方法的熏陶．所谓显性，就是在教学中把某种方法名称提出来，深浅适度地解释这种方法的内容，指导学生自觉地运用这种方法进行练习．至于采取哪一种模式，应从教材内容和学生的实际出发，从目前教学实践来看，隐性居多，随着年级和学生学习水平递增，显性成分将随之递增．这些工作虽然是初步的，但使我们更具体地感受到方法教育的客观存在和客观可行，产生一种贴切感，从而更激发起大家的兴趣．

2．试编评析方法教育的教学用题．

从学生的练习、知识巩固和考核的需要出发，试编了有关方法教育的练习题，研究开发相应的评价手段，以求“教、练、考”的落实．虽然方法教育是紧紧依附知识教学主线展开的，现行的各种物理练习题也均有一定程度的方法训练功能，但是方法教育既然有其自身的内容和体系，也应该有对测试方法教育功能更为有效的练习题．现在试编的一些方法教育的练习题，的确有其特色，为教师所赏识，有的已用于会考．

3．酝酿编制方法教育的教学目标．

教学目标是教学的出发点和归宿，理应制定相应的方法方面的教学目标，以求得物理教学目标的完整．但方法教育内容体系尚处于初步归纳提炼阶段，目前方法方面的教学目标仅作过一些试编，尚待深入研究．

四、几点思考

在近年来高中物理方法教育的研究中，不时地碰到许多理

论和实践的问题，大家一起学习、研究、交流，并进而处理相关问题，主要围绕以下几点.

1．认清方法教育的目的性.

加强高中物理方法教育，着眼于提高学生的科学素质，也就是说从物理学科角度发展学生的科学素质，使成为提高公民文化科学水平的一个重要方面，也是物理学科教学变应试教育为素质教育的具体体现. 同时，方法教育在相当程度上涵盖了物理学科德育教育的内容和要求，有利于提高学生的思想品德水平，是物理学科落实德育的具体体现. 这就是我们提出这一命题的出发点和归宿. 而在教育学生的同时，也提高了我们自身，即提高了我们物理教师的素质和教学基本功. 当前，要不断提高对方法教育在物理教学中的地位和作用的认识（从某种意义上说，强化方法教育带有课程改革的因素）.

2．把握方法教育的层次性.

首先要把握现已提出的四个方面的方法在概括性、操作性上的层次差别，在删选内容和落实教学时要作相应处理. 在构建方法教育内容体系的过程中，既要循着不同方面充分挖掘蕴含在高中物理知识教学中的方法教育因素，力求全面、丰满，形成系列，更要从实际出发，抓重点，抓基本. 例如在四个维度中，物理方法是最基本的，其中又以实验方法、理想化方法等为最基本；逻辑方法中，比较方法是最基本的，而分类、分析、综合均以比较为基础，层层递进和包容. 因此对“方法中的方法”，要格外重视.

研究方法教育的教学问题时，针对当前实际，我们强调重点要落在新课教学的层次上，也就是知识建立（含初步的应用）的层次，以对各级各类学校有较强的适应性，面向大多数，同时兼顾知识的深化.

3．注重方法教育的整体性．

从物理教学的整体看，方法教育绝不是孤立的，它与知识教学、能力培养紧密联系，需要进一步研究它们之间的关系，以求在教学中有机结合、协调处理，提高物理教学的整体效益．

在进行方法教育因素分析和落实教学时，都要求分出主次、轻重和分布．例如，一个知识点可渗透进行多种方法的教育，一个方法也可作用于不同的知识点．因此要权衡一个知识点突出哪个方法，兼顾其他；一个方法重点落实在哪个知识点上，同时又借用哪些知识点教学使之作为铺垫，或作为起点，或突出该方法的某一侧面，等等．总之，一定要有系统考虑．其中，我们特别强调突出实验方法：即凡实验性知识点的方法教育因素要重点分析；突出教学过程中实验手段的运用；同时注重实验练习题的选编．

在组织进行方法教育的研究过程中，我们坚持边学习、边总结、边研究、边组织队伍，使得方法教育能由零星到系统、由自发到自觉、由经验到理论、由个体到群体、由学术性到常规化．总之，强化方法教育是一项高中物理教学的基础工作，需要大家共同长期的努力，要循序渐进，以取得成效．

1993.1

目　录

知识和方法
——代序 ……（1）
加强高中物理方法教育
——编者的话 ……（5）
第一篇　课本内容方法教育因素分析
第一章　力　物体的平衡 ……（1）
一、分类方法 ……（1）
二、等效方法 ……（3）
三、力的分析和综合 ……（4）
四、二力平衡条件的演绎功能 ……（7）
第二章　直线运动 ……（8）
一、建立质点模型 ……（8）
二、从简单运动入手 ……（9）
三、用比值定义速度、加速度 ……（10）
四、用图像反映直线运动规律 ……（12）
五、直线运动公式的演绎 ……（13）
六、运动和静止的对立统一 ……（14）
第三章　运动和力 ……（15）
一、伽利略理想实验方法 ……（16）
二、确定F,m,a定性关系的逻辑方法 ……（18）
三、探求F,m,a定量关系的实验设计方法 ……（20）
四、整理实验结果的数学方法 ……（21）
五、力和惯性的对立统一 ……（22）

第四章　物体的相互作用 ……（25）
一、牛顿第三定律的实验方法 ……（25）
二、奇妙的守恒原理 ……（25）
三、隔离法 ……（27）
四、从比较中再认识 ……（28）
五、进一步把握矢量运算的数学方法 ……（29）
六、近似≒不可靠 ……（30）
第五章　曲线运动　万有引力……（32）
一、研究物理规律的科学过程 ……（32）
二、用正交分解方法分析抛体运动和圆周运动 ……（33）
三、天地统一的思想和万有引力定律的建立 ……（34）
四、引力问题中建立质点模型的数学物理基础 ……（35）
五、平抛实验的控制 ……（37）
六、卡文迪许扭秤实验中的测量变换 ……（37）
七、牛顿力学中的决定论思想 ……（38）
八、实践是检验真理的标准 ……（39）
第六章　机械能 ……（41）
一、从特殊推到一般 ……（41）
二、功和能教学中的数理结合 ……（44）
三、功、动能、冲量、动量的比较 ……（45）
四、功和能关系的因果性和可逆性 ……（46）
五、能量形式的变中不变 ……（47）
第七章　机械振动和机械波 ……（50）
一、从简单到复杂，从特殊到一般 ……（50）
二、理想化模型在振动研究中的运用 ……（51）
三、用图像描述振动和波 ……（54）
四、实验方法 ……（57）
五、抽象和概括……（58）
第八章　分子运动论　热和功……（60）

一、通过假说模型认识分子世界 ……（60）
二、有关分子实验中的两种观测变换 ……（62）
三、用推理方法沟通宏观和微观领域 ……（63）
四、用统计方法统一分子个性与分子群体的矛盾 ……（66）
五、能的转化和守恒定律的建立及其功能 ……（68）
第九章 固体和液体的性质 ……（70）
一、研究物质微观结构的模型方法 ……（70）
二、有序和无序 ……（71）
三、对称 ……（72）
四、理性方式和感性方式 ……（73）
第十章 气体的性质 ……（75）
一、类比法及研究气体性质的基本思路 ……（75）
二、隔离法在确定气体压强中的应用 ……（76）
三、实验是研究气体性质的主要方法 ……（78）
四、外推法及热力学温标的创立 ……（79）
五、等效方法在推导气态方程中的运用 ……（80）
六、气体状态变化图像的丰富内涵 ……（81）
七、模型方法及实验定律的微观解释 ……（82）
第十一章 电场 ……（85）
一、静电学中的理想化模型 ……（85）
二、运用枚举归纳引入电场 ……（86）
三、比值反映电场固有特性 ……（88）
四、静电场与引力场的类比 ……（89）
五、用电力线描述电场 ……（90）
六、模拟静电场的实验方法 ……（91）
七、比较方法在电场中的应用 ……（91）
八、由力的基本性质推出库仑力的性质 ……（93）
九、电荷相互作用的多因素分析 ……（94）
第十二章 稳恒电流 ……（96）

一、电路知识的部分与整体的有机联系 ……（96）
二、电路规律的实验研究和逻辑推理 ……（97）
三、电动势概念建立的逻辑顺序 ……（99）
四、对称、等效等方法在解题中的应用 ……（102）
第十三章 磁场 ……（105）
一、磁场与电场的比较 ……（105）
二、分子电流的假说 ……（106）
三、磁感应强度的比值定义 ……（108）
四、电荷在磁场中作圆周运动问题的图形方法 ……（109）
第十四章 电磁感应 ……（111）
一、归纳与演绎 ……（111）
二、抽象与概括 ……（113）
三、电磁感应中能的转化与守恒 ……（113）
四、等效方法 ……（114）
五、数学方法 ……（115）
第十五章 交流电 ……（117）
一、交流电与直流电的等效 ……（117）
二、变压器的理想化 ……（119）
三、变压器公式的实验验证和输电的实验模拟 ……（121）
四、交流电的表示法——形式化语言的运用 ……（124）
五、平均值与有效值的比较 ……（125）
六、隔离法在三相交流电路中的应用 ……（126）
第十六章 电磁振荡和电磁波 ……（128）
一、研究物理科学的一般方法 ……（128）
二、麦克斯韦电磁波的假说和理论 ……（129）
三、通过实验认识电磁现象及其规律 ……（131）
四、电磁波假说建立过程的演绎推理 ……（132）
五、电磁运动和机械运动的类比和比较 ……（133）
六、电磁波理论和技术发展的内在矛盾运动 ……（134）

七、电磁运动的特殊性 ……（135）
第十七章　电子技术初步知识 ……（136）
一、各种管子的比较和分类 ……（136）
二、晶体二极管的理想化 ……（138）
三、用实验方法研究晶体管的特性 ……（139）
第十八章　光的反射和折射 ……（140）
一、研究对象的理想化 ……（140）
二、微元分割法在几何光学中的应用 ……（143）
三、透镜成像的作图法和公式法 ……（146）
四、通过寻找关节点掌握光现象的变化规律 ……（150）
五、几何光学中的对称 ……（153）
六、通过比较掌握光学仪器的特性 ……（156）
第十九章　光的本性 ……（159）
一、运用类比方法，建立光的本性的假说模型 ……（159）
二、用实验方法探索光的本性 ……（161）
三、用叠加方法研究光的干涉现象 ……（162）
四、电磁波谱的比较和分类 ……（162）
五、光的本性假说发展过程中的辩证否定 ……（163）
六、光学现象中的质量互变 ……（164）
七、粒子性和波动性的对立统一 ……（165）
第二十章　原子和原子核 ……（167）
一、利用模型方法研究原子结构 ……（167）
二、通过实验建立理论和检验理论 ……（169）
三、借助类比方法建立原子结构模型和假说 ……（170）
四、核反应中的守恒原理 ……（171）
五、分析和综合方法的运用 ……（173）
六、运用对立统一规律认识物质无限可分 ……（174）
七、量子理论中反映的微观世界的矛盾特殊性 ……（175）

第二篇　高中物理方法教育教案例选

高中物理方法教育教学模式探讨 ……（176）
一、 隐性模式 ……（177）
二、 显性模式 ……（180）
高中物理方法教育要突出实验方法 ……（185）
一、 增强实验意识 ……（185）
二、 发挥演示实验的功能 ……（187）
三、 改进演示实验的方法 ……（194）
高中物理方法教育教学实例荟萃 ……（202）
一、 理想化方法教学“序曲” ……（202）
——高一绪论课的教学实例
二、 归纳、分类、图示 ……（204）
——“力”的教案实录
三、 跨好初、高中物理“台阶”的第一步 ……（207）
——谈“共点力的合成”的教学
四、 “质点”教学片断 ……（210）
——怎样建立理想化模型
五、 课例：匀速直线运动　速度 ……（214）
六、 “即时速度”概念的建立 ……（217）
——极限与近似的辩证关系
七、 课例：自由落体运动 ……（222）
八、 自由落体运动的教学 ……（228）
——亚里士多德和伽利略的研究方法对比
九、 伽利略理想斜面实验的讨论式教学实录 ……（232）
十、 牛顿第二定律的教学 ……（237）
——实验条件的控制、用图线找规律
十一、 “人造地球卫星”教学片断 ……（243）
——量变质变规律渗透一例
十二、 “机械能守恒定律”教学 ……（246）
——归纳和演绎方法的运用

十三、 用比较法进行“机械能”一章的单元复习 ……（248）
十四、 课例：简谐振动 ……（252）
——理想化模型的建立和纳入
十五、 “受迫振动”教案 ……（257）
——探索性实验方法运用一例
十六、 课例：分子的热运动 ……（262）
十七、 课外讲座：气体分子运动的估算 ……（271）
——理想化模型的建立和应用
十八、 “晶体和非晶体”、“空间点阵”的教学设计 ……（278）
——突出模型方法
十九、 教学演讲：关于理想化方法 ……（281）
二十、 “气体的性质”一章的单元复习 ……（283）
——突出一般与个别、原因与结果、现象与本质三对范畴
二十一、 涉及统计物理的高中物理教学内容及其教法 …（286）
——注意进行偶然与必然、部分与整体、无序与有序等辩证思维的教育
二十二、 电场强度概念教学的备课断想 ……（291）
二十三、 “平行板电容器的电容”的教学 ……（294）
——归纳演绎、分析综合的交替使用
二十四、 “稳恒电流”教学中的几个片断 ……（301）
二十五、 明确“电动势”概念的逻辑方法 ……（307）
二十六、 “电动势”教案 ……（309）
二十七、 课例：产生感应电流的条件 ……（315）
——通过改变物理过程的条件探究物理现象间的联系
二十八、 课例：自感现象 ……（320）
——用实验检验推论
二十九、 “电磁振荡的周期和频率”的教学设计 ……（326）
三十、 “调谐”教学的三步法 ……（328）
三十一、 改进演示实验 强化实验方法 ……（330）
——“光电效应”教学一例
三十二、 “透镜公式”教案 ……（333）

三十三、 关于原子模型的对话 ……（335）
三十四、 新课引入中的方法教育实例和评析 ……（340）
三十五、 算法方式在中学物理教学中的应用 ……（345）
三十六、 比喻方法应用拾零 ……（351）

第三篇 高中物理方法教育测试题选

试用高中物理方法教育试题的思考 ……（354）
一、 题选及说明 ……（354）
二、 几点思考 ……（357）
关于高中物理显性方法教育习题的若干问题 ……（358）
一、 编写方法教育习题的意义 ……（358）
二、 方法教育习题的命题 ……（360）
三、 显性方法教育习题的分析 ……（367）
高中物理方法教育试题例选 ……（369）

附 录 高中物理方法教育资料选编 ……（426）

第一篇　课本内容方法教育因素分析

第一章　力　物体的平衡

姚国辉

在绪言教学中，我们已经强调告诉学生：在学习物理时，要重视学习物理学在研究问题时的思路和方法.从某种意义上讲，掌握研究问题的科学方法，比掌握知识更重要. 本章作为高中物理的开篇章，除了要为学生学习力学打好知识基础外，同时也要开始在教学中落实绪言所提出的重视学习科学方法的要求.

一、分类方法

分类方法是在比较的基础上，根据对象特征的共同点和差异点，将对象区分为不同种类，并形成有一定从属关系的等级系统的逻辑方法，是各门科学普遍使用的方法. 学生在小学到初中的各科学习中，已较多地接触过分类方法，但对于为什么要分类，分类为什么要有确定的标准等问题，还不够理解. 本章力的分类、矢量标量、物体平衡等内容的教学，渗透了分类方法，可以使学生对分类的必要性以及分类要有确定的标准等问题，有进一步的认识.

1. 力的分类

课本在分别研究重力、弹力、摩擦力之前，先概述力的分

类，为后面的学习安排好系统．这里教学的重点，是向学生说明为什么要进行力的分类．首先联系学生在初中学习的经验：自然界的动植物很多，生物学是把它们分成门、纲、目、科、属、种来研究的；自然界的物质很多，化学是把物质分成金属、非金属、酸、碱、盐、氧化物等来研究的．自然界的力也很多，也要用分类方法来研究．在初中已经出现过的力的名称有重力、摩擦力、压力、拉力、浮力、电荷的引力、斥力等，但是还没有明确点明力到底是怎样分类的．高中学习力学，先要学习力的分类方法，这样才有利于系统地学好力学．

教材提出了力可以按性质分类或按效果分类这样两种分类标准，并举例说明按其中一个分类标准属于同一类的力，在另一个分类标准中可能属于不同类的力．但是物理学对力的分类的认识尚在发展，课本提出的分类标准是比较粗略的，学生的力学知识也不足．所以，对于两种分类标准的含义及其相互关系，只须讲到教材的深广度，使学生有大概的了解即可．

2．矢量和标量

把物理量区分为矢量和标量，也体现了分类方法．虽则本章的教学重在建立矢量概念，但隐含了物理量区分为矢量和标量的分类方法的教育因素，且贯穿于今后教学之中．

教材以力这一物理量的特征作为典型，提出矢量概念．矢量概念的建立有一定难度，学生过去习惯于单纯从量值大小认识物理量，虽然知道力不但有大小而且有方向，但对这两个因素是割裂开来认识的．教学中要突出力是大小和方向共存的统一的物理量，只有大小而没有方向的力是不存在的，只有方向而没有大小的力也是不存在的．力的图示就是把力的大小和方向（另外还有作用点）同时表示出来的几何方法．只有讲清力这个物理量的这些特征，并与长度、质量、时间等物理量进行

比较，才能使学生初步理解矢量与标量的概念，理解它们各自有不同的运算法则.

二、等效方法

本章的重心概念和力的合成分解，都体现了等效方法的运用 .由于这两个知识点中的等效原理都可以用实验检验，使学生对等效方法既感新鲜，又易看到它的妙处，因此等效方法是本章中对学生最有魅力的一种物理方法.

1. 重心

学生对重力似乎很熟悉，以为很简单. 但仔细一想，不那么简单. 物体有无数个微小的组成部分，实际上每个部分都要受到微小的重力，这些微小重力的作用点都各不相同. 若是这样来研究重力，复杂得无从下手. 物理学的研究方法，就是设想把无数个微小的重力用一个等效的重力来代替. 重心就是这个等效重力的作用点.

教材提出，可以认为物体各部分受到的重力都集中于一点，这个点叫做重心.为什么可以这样认为？如教学条件许可的话，可以按问题——猜想——检验的程序略作展开.

(1) 问题：物体（如铅笔、均匀木棒）各部分都受到微小的重力，重力作用点也不同，这样来研究重力简直无从下手. 是否可以认为物体只受到一个重力？如果可以，这个重力的作用点在哪里？

(2) 学生猜想：可以认为物体只受到一个重力，作用点在铅笔或均匀木棒的中点.

(3) 检验：用手指水平地支撑铅笔或均匀木棒，证实猜想正确，并且用二力平衡知识解释实验.

(4) 结论：可以认为物体各部分受到的重力都集中于一

点，把这个点叫做物体的重心．至此可以指出：我们用作用于重心的一个重力，等效地代替了实际作用于物体无数个点上的无数个微小重力，这在物理学上叫等效方法．这样一来，复杂的问题就变得很简单了．

2．力的合成分解

合力与分力部分的教材，明显地用到等效方法．教材通过举例和演示，引入合力与分力的概念，指出它们之间可以等效地相互替代．教学中必须强调等效替代不是同时并存，即合力与分力不是同时并存．教师还要注意，进行物体受力分析，是分析物体实际受到的力，如重力、弹力、摩擦力等．这些力都有施力物体*．对这些实际受到的力进行合成或分解，即用等效力进行替代．这些等效力是设想出来的力，不能讨论施力物体是谁．例如斜面上物体所受的重力的两个分力（沿斜面向下的力，垂直指向斜面的力），都不能说施力物体是地球．这些应注意的内容，在复习提高阶段可以给学生指出．

力的合成，即只用一个力替代几个力．学生容易看出，这个方法的好处是能把问题简化．至于力的分解，起初只把它当成解决实际问题的需要，其实，归根结底也是使问题简单化．例如，为了求许多个互成角度的共点力的合力，先把每个力正交分解，再求合力就比较容易．为了研究某一方向上的力学问题（例如物体沿斜面运动的问题），只要把有关的力沿这个方向分解出来即可．这些好处，开始时学生体会不到，可在以后的教学中逐渐指出来．

三、力的分析和综合

由于分析与综合是各种思维方法中的基本方法，广泛地存

---

*中学阶段一般都说重力的施力物体是地球，但严格说来，地球对物体的万有引力的施力物体才是地球，重力是万有引力的分力．

在于教材的各个部分，因此在分析教材中蕴含的分析与综合方法时，必须抓住重点，看一看在哪些教学内容中，分析和综合方法的作用表现得最突出．本章教材中，力的概念的深化和物体的受力分析，就是这样的重点．

1．力的概念的深化

学生在初中已学过力的初步概念，知道力是物体对物体的作用，力有三要素，也接触过一些常见的力，但理解得都很肤浅．本章运用分析为主的思维方法，以力的性质分类为序，逐一地对重力、弹力、摩擦力这三种常见力的特征进行具体分析．对每一种力，都分析其产生条件，是什么物体对什么物体的作用，决定这些力的大小的有关条件是什么，这些力的方向有何特征，作用点何在，等等（这些分析的个别方面虽未列入本章教材，但总的轮廓如此）．在对这三种力的各种特征进行具体分析的基础上，能使学生对这三种力产生综合的比较完整的认识，对力的概念的理解，就比初中时具体得多，也深刻得多．用辩证法的术语来说，就是经过具体的分析和在分析基础上的综合，学生对于力的概念，从较低级的思维抽象上升到了较高级的思维具体．当然，力的概念的深化过程，在以后各章还要继续．

比较也是分析与综合的结合．对三种力进行比较，也能深化力的概念．例如学生往往把物体竖直向下拉紧悬绳的力跟物体所受的重力混淆，认为弹簧秤下端挂个重物，静止时，弹簧受到的向下拉力T就是物体所受的重力G．产生混淆的原因，第一是生活经验的干扰；第二是重力测量方法的干扰．要澄清这种混淆，关键是分清施力物和受力物，即要指出重力G和拉力T的本质特征完全不同（受力物体和施力物体不同，力的产生原因不同），只是大小、方向相同，而且这种相同是非本质

特征的相同，是有条件的（只有在静止竖直悬挂时才相同）.

2．物体的受力分析

任何物体都不是孤立存在的，它与周围许多物体相互联系，组成整体．这种联系的复杂性，造成学生对受力分析感到困难．受力分析的过程，需要分析和综合的思维方法的指导．教学中要突出分析和综合的思路，使学生受到逻辑思维的训练，培养思维的条理性和周密性，这是搞好受力分析教学的关键．

受力分析的第一步，是要明确研究对象，即用分析思维的方法从相互联系的整体中“隔离”出某一部分，作为受力物体．第二步也是用分析思维的方法，一个一个地具体分析周围物体对该研究对象所施加的力．在本章范围内，就是根据重力、弹力、摩擦力的产生条件，分析这些力是否存在，并根据确定这些力的特征的有关知识，确定这些力的大小、方向、作用点．在进行这种分析时，还要考虑到物体所受的各个力之间的联系，特别要搞清力和运动的联系．物理条件不同，相互联系的情况也不同．例如，当一个物体静止在水平地面上时，物体受到的地面支持力的大小等于该物体受到的重力，物体受到静的摩擦力为零．当物体静止在粗糙斜面上时，它受到的斜面支持力的大小就不等于它的重力，而是等于与重力有关的函数 $G\cos\theta$，它受到的静摩擦力不等于零，而是等于与重力有关的函数 $G\sin\theta$．当物体在斜面上滑动时，物体受到的斜面支持力大小仍是 $G\cos\theta$，但是它受到的滑动摩擦力大小则等于与支持力及摩擦系数有关的函数 $\mu G\cos\theta$．可见，在分析物体受到的各个力的时候，只用分析思维方法是不够的，必须同时运用综合思维，考虑各个力在一定条件下一定运动情况下的相互联系．

需要注意的是，在深化力的概念和物体受力分析的教学中，分析综合思维方法的教育，主要是要求教师按分析综合的思路组织教学过程，对学生起到示范和引导作用，不宜步步指出哪一步是分析，哪一步是综合.

四、二力平衡条件的演绎功能

二力平衡条件是初中阶段知识，比较浅近，但它有很强的演绎功能. 在本章中，二力平衡条件的演绎功能有以下几处表现：

(1) 在建立重心概念的教学中，用二力平衡条件演绎解释说明重心概念的实验（例如用一只手指支撑铅笔水平静止），以及演绎解释用悬挂法测薄板重心位置的实验.

(2) 用二力平衡条件演绎解释课本中的实例和实验，得出有关弹力和摩擦力的知识. 例如根据水平支持面上重物的平衡，悬绳下重物的平衡，推断出支持面弹力的存在和悬绳弹力的存在，推断出弹力的大小和方向. 根据水平支持面上的物体拉而不动，或在拉力作用下匀速直线运动的现象，推断出静摩擦力或滑动摩擦力的存在，判断它们的大小和方向（演绎时力的作用点不作严格要求，画在受力物体上即可）.

(3) 课本中三个以上共点力的平衡条件，粗看起来是用实验归纳法得到的，但从更深层的逻辑结构来看，可由二力平衡条件演绎出来. 由于任意两个共点力可用一个合力等效代替，三个以上的共点力最终都可等效简化为两个共点力，即三个以上共点力平衡条件，最终都可以简化为二力平衡条件. 考虑到高一学生的学习心理，新课教学还是用实验归纳法.

第二章　直线运动

姚国辉

本章是直线运动基础知识．通过本章教学，学生不但能学到运动学的基本概念和直线运动的基本规律，而且能比较集中地学习研究物理问题的理想化方法，用比值定义物理量和用图像反映物理规律的数学方法，受到抽取事物本质特征和进行演绎推理的思维方法的训练．对于刚从初中进入高一的学生，这些方法对今后的学习富有启示作用．

一、建立质点模型

所谓模型，就是人们为了某种特定的目的而对认识对象所作的一种简化的描述．物理学常常把所研究的客观实体抽象为实体理想化模型，或把所研究的客观物理过程抽象为过程理想化模型．这种建立理想化模型的方法，能将研究对象简化，抓住它的主要特征，使物理学研究得以轻装前进．它不仅是物理研究的基本方法，也是各门科学普遍采用的重要方法．

初中物理也有理想化模型，但不明确点出这种方法．到高中，以建立质点概念为契机，正式介绍这个方法，并通过以后相继出现的其他的理想化模型，使学生能逐步掌握和运用这个方法．

考虑到学生的接受能力，不宜在讲质点概念的同时抽象地介绍理想化方法，要分两步走．

1．初步建立质点概念

(1) 研究机械运动，首先要描述运动物体某一时刻在什么

位置.

(2) 用几个实例说明，在描述运动物体的位置时，许多情况下可以忽略物体的大小和形状. 这时，可以用一个点代表所研究的物体，用这个点的坐标把物体的位置描述出来.

(3) 物理学中物体的质量不能忽略，用来代表物体的点不是几何学上的点，是有质量的，叫做质点.

2. 介绍建立质点概念的思想方法

(1) 提出问题. 回顾建立质点概念的过程，我们用了什么样的思想方法呢?

(2) 遵循过程提炼方法. 根据研究的需要（为了描述物体的位置），从实际出发，抓住研究对象的主要因素，忽略其次要因素（保留质量，忽略物体的大小形状），把研究对象简化（把物体简化为质点）.

(3) 适度概括. 质点是人脑想象的理想化模型. 说它“理想化”，是因为它只有质量，没有大小形状，是人工做不出来的. 说它是“模型”，因为它可以近似地代表原来的真实物体（原型）. 通过学习质点概念，我们学到了用理想化模型代表实际事物的方法.

本章研究的匀速直线运动，匀变速直线运动，也都是理想化物理模型(过程模型).教材虽然没有点出，教学中在适当时机可以作补充说明.这样能丰富理想化方法教育的内容，使学生对这个方法增进了解，培养对实际事物进行简化抽象的思维能力.

二、从简单运动入手

自然界的各种运动形式，相互间存在着简单与复杂，低级与高级的层次关系. 恩格斯在《自然辩证法》一书中指出，科学研究应该从运动的最低级、最简单的形式开始，先理解了这

些运动形式，然后才能对更高级更复杂的形式有所阐明．可见，从简单现象入手是科学研究的基本方法．

本章教材多处体现了从简单现象入手的研究方法．例如对机械运动的研究，从直线运动开始；对直线运动的研究，从匀速直线运动开始；对变速直线运动的研究，从匀变速直线运动开始，等等．教学中应努力揭示简单运动知识与复杂运动知识的联系，使学生体会从简单运动入手进行研究的好处．

讲变速直线运动的平均速度，应突出这样的思路：变速直线运动比匀速直线运动复杂，但若把某一段变速直线运动粗略地看作匀速直线运动（把复杂运动粗略地看作简单运动），就可借用匀速直线运动的速度粗略地描述这段变速直线运动的速度（平均速度），即可以借用匀速直线运动的速度定义式 $v=s/t$，建立变速直线运动平均速度定义式 $\bar{v}=s/t$．由此可见，变速直线运动平均速度概念是以匀速直线运动速度概念为基础发展过来的．讲变速直线运动的即时速度，也应揭示它是以平均速度概念为基础建立起来的．在极短时间内的平均速度，可以近似地看作是某一时刻的即时速度．这样前后联系，学生就能领会 v、$\bar{v}$、$v_{即}$这三个概念所形成的一条从简单到复杂的线索，先建立较简单的概念，才能建立较复杂的概念．

运动的合成和分解，既是等效方法，也是沟通简单现象与复杂现象相互关系的方法．对于复杂的运动，可以把它分解（分析）为几个简单的运动，先把各个简单运动研究清楚，然后把简单运动按一定的法则合成（综合），就可以解决复杂运动的问题了．

三、用比值定义速度、加速度

用已知物理量的比值定义新的物理量，是建立物理概念常

用的数学方法．这种方法能够最简洁、最准确地揭示和表述被定义物理量的本质．在初中物理中，虽有不少比值性质的物理量，但一般不用比值方法来定义，而是用较为通俗的语言文字来叙述定义．高中物理则大量使用以比值定义物理量的方法，本章速度、加速度的定义就是这样．

匀速直线运动速度的定义比初中有所发展，要用定义方法的变化带动概念的深化．要突出以下两点：①初中定义“速度是单位时间内通过的路程”，谓语的主要成分是“路程”，似乎速度是某一段路程，表达不确切；而且没有说出运动方向，表达不全面．高中定义“速度是位移跟时间的比值”，谓语的主要成分是“比值”，把时间跟位移两个因素都考虑进去了，表达确切；而且同时说出了运动方向，表达全面．②高中速度定义的文字语言与数学语言的表达一致，把文字语言“速度是位移跟时间的比值”译成数学语言，即 $v=s/t$ ．我们干脆可用比值式给速度下定义，既简洁，又准确．这就是用比值定义物理量的方法的优点．

用比值定义物理量，关键在于使学生理解比值的物理意义．加速度概念的教学，要以实际例子为依据，通过分析比较，先得出两点过渡性结论：①任何一个匀变速直线运动，其速度的变化跟所用时间的比值都是恒量（这是匀变速直线运动的共性）；②不同的匀变速直线运动，速度的变化跟所用时间的比值互不相等（这是各个匀变速直线运动的个性）．然后概括出，速度变化跟所用时间的比值，是反映匀变速直线运动速度变化快慢这一特征的物理量．把这个比值命名为加速度，则加速度定义式就是 $a=(v_t-v_0)/t$．这个定义式简洁准确地描述了匀变速直线运动速度变化的快慢，再次显示出用比值定义物理量的优越性．

教学中，还可以引导学生比较速度和加速度两个概念的内涵和下定义的方法，强化学生的方法意识，并领会某一物理量随时间变化的“快慢”，一般可用该物理量的变化值跟所用时间的比值来表示．这一思路在以后的类似场合，可以起正迁移作用．

四、用图像反映直线运动规律

图像和数学公式都是数学语言，图像方法也是数学方法．但图像比公式直观，使用中有独特的优越性．在初中只出现过温度——时间图像，作为图像方法的启蒙．高中从本章开始，要使学生逐步掌握用图像反映物理规律和解决简单物理问题的方法．但图像教学的要求，弹性较大，本章尚属初学，要打好基础，不要加码．

图像教学的内容有图像的形成和图像的应用两方面．图像的形成，一种是根据实验数据描点画图像，另一种是根据已知的物理规律和公式画图像．从研究方法的角度说，前一种是更基本的，所以是本章图像教学的重点．教材对这种方法讲得比较细，正是这个意图．但有一点值得商榷：教材认为，根据实验数据所描的点有一部分略微偏离直线图像，是由测量误差引起的．其实，本章所讲的匀速直线运动和匀变速直线运动的图像都是理想模型的图像，实际的运动并非理想模型，即使没有测量误差，也不可能所有的点都落在图像上．图像应用的教材大体有三类：一是由横坐标物理量确定纵坐标物理量，或是相反；二是用图像阐明物理规律，包括从图像得出物理公式；三是灵活运用图像解答物理问题．从研究方法的角度说，用图像阐明物理规律是主要的，也是本章图像教学的一个重点．

五、直线运动公式的演绎

高中教材与初中教材相比，演绎推理明显增多．本章教材的骨架基本上是用演绎推理构成的，主要表现在以下内容．

1．用演绎推理得出匀变速直线运动公式

(1) 速度公式：由匀变速直线运动的定义（相等时间内速度的变化相等）推出它的速度变化跟所需时间的比值是恒量．由此定义恒量($a=v-v_0/t$，再由此推出速度公式 $v_t=v_0+at$．

(2) 位移公式：已知：一般变速直线运动 $s=\bar{v}t$，

∵匀变速直线运动是变速直线运动，

∴匀变速直线运动 $s=\bar{v}t$（三段论）——关系推理

又已知匀变速直线运动 $\bar{v}=(v_0+v_t)/2$（不证明）

$v_t=v_0+at$

$\longrightarrow s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

(3) 由速度公式和位移公式推出 $v_t^2=v_0^2+2as$（关系推理）．

在方法论研究中，有人认为演绎推理的结论已蕴含在前提之中，所以结论与前提相比，在科学发现上没有前进．其实不然，演绎的推进，标志着认识的深化．例如上述得出匀变速直线运动几个公式的演绎推理，其结果揭示了匀变速直线运动5个物理量的相互关系，揭示了它的速度和位移随时间而变化的规律，比之演绎的起点知识（变速直线运动平均速度的概念，匀变速直线运动的定义），显然有了科学认识的进展，因而具有一定的科学发现的价值．

2．用演绎推理得出几种特殊运动的公式

匀速直线运动、自由落体运动、竖直上抛运动都是匀变速直线运动的特例．教材以匀变速直线运动公式为大前提，以各种特殊运动的特性(匀速直线运动 $a=0$，自由落体运动 $v_0=0$、

$a=g$，竖直上抛运动 $a=-g$）为小前提，演绎得出各种特殊运动的公式.

演绎推理是必然推理，但它的前提必须正确，结论才能正确. 教学中要强调前提的作用，培养学生根据前提自己推出结论的能力和运用结论时不忘前提的思维习惯. 由于某些原因，教材给出的某些演绎前提是未经充分证明的. 例如匀变速直线运动平均速度 $\bar{v}=(v_0+v_t)/2$，自由落体运动 $a=g$，竖直上抛运动 $a=-g$，都没有用实验证实，也没有用理论证明. 这些都是暂时的欠缺，可以在以后有条件时弥补.

六 运动和静止的对立统一

马克思主义哲学认为：一切事物都处于永恒的运动变化之中，运动变化是绝对的；同时，事物又有相对静止、暂时平衡的一面. 运动和静止的对立统一，即使在本章所研究的最简单的机械运动中，也有所表现. 例如，一切物体都在做机械运动，但在一定条件下，某一物体对于某参照物可以相对静止. 各种形式的直线运动，位移都随时间而变化. 但对于匀速直线运动，位移跟时间的比值不变. 对于匀变速直线运动，速度也随时间而变，但速度变化跟时间的比值不变. 这些“不变”，虽然仅是理想化模型的特征，但相应的实际运动，在应用领域中可以认为有这样的不变性. 这些不变性，反映了机械运动相对稳定的一面. 教学中，可以引导学生分析本章涉及的各种运动中哪些物理量是变的，哪些物理量是不变的，以渗透辩证法的教育，强化对对立统一的认识.

第三章　运动和力

姚国辉

本章在前两章静力学、运动学基础上，研究牛顿第一定律和第二定律，与后面的牛顿第三定律及万有引力定律一起，构成经典力学的基础.

从历史背景看，牛顿（1642—1727）在《自然哲学的数学原理》中提出的经典力学基本原理，是在此之前长时期的力学、天文学发展的成果. 产生这些成果所用到的科学方法是丰富多采的. 牛顿本人以及对牛顿力学的形成有直接影响的科学家如哥白尼（1473—1543）、伽利略（1564—1642）、开普勒（1571—1630）等人所处的时代，是近代自然科学方法论奠基的时代. 英国哲学家弗·培根（1561—1626）是当时系统地研究科学方法论的代表人物. 他批评过去的科学研究有两种极端，一种是经验主义，好像蚂蚁，只会“采集”，不会加工；一种是独断主义，好像蜘蛛，只依靠自己吐丝编网，即只靠主观思辩编织知识之网. 他提出科学家应像蜜蜂，从自然界采集原料，加工成新产品，即以观察实验为基础，进行以归纳为主的思维加工，逐步上升为定律. 伽利略是近代科学实验方法的主要创始人，开创了实验方法和数学方法有机结合的研究途径，并以其著名的理想实验方法，赋予归纳法以创造思维的新特色. 牛顿“站在巨人的肩上”，对17世纪以前的天文学和力学成果作了总结，经过自己20多年的实验研究和数学计算，创立了经典力学，他声称他的运动三定律和万有引力定律是以观察实验为基础，用分析—综合法发现的. 以上的历史回顾，可以

帮助我们认识本章知识的方法论背景．教材编写所用的方法，虽不是历史的复现，但有历史的烙印．总的说来，本章教材占主导地位的方法是实验方法和在实验基础上进行分析综合、数学处理，归纳出普遍定律的方法．

一、伽利略理想实验方法

学生在初中阶段已学过牛顿第一定律，本章再出现这个定律，知识内容没有多大增加，但教学要求应有所提高．其中伽利略斜面对接的理想实验，具有方法教育的重要价值，而且有利于加深学生对定律的理解．麦克斯韦说过："科学当它还在发生的时期，是最易于充分了解的．"

理想实验不是用实物进行的具体实验，不是科学实践活动，而是在头脑中进行的假想实验，是逻辑推理活动．之所以称它为"实验"，是因为它与具体实验有某些相似的特征，即也有实验对象，也要控制对象的物理条件，也有操作过程，也是为了发现实验对象的本质和规律．不过理想实验的对象、条件控制和操作，都是在头脑中的设想．理想实验在认识论和方法论上的地位，虽不能代替具体实验，但亦有其特有的优越性．它不受仪器设备的限制，可以超越控制实验条件等具体操作上的实际困难，没有误差，可以充分发挥想象和推理的创造性作用，所以在物理学史上常常导致重大的突破．爱因斯坦曾经高度赞扬伽利略为发现惯性定律奠定基础的理想实验，说"伽利略的发现以及他所采用的推理方法是人类思想史上最伟大的成就之一"．

介绍伽利略的理想实验，应该先按以下步骤讲清它的物理原理：

(1) 经验事实：小球从一个斜面（如图 1—1 中 AB）的

高处滚下，会滚上另一个对接的斜面（如图中 BC）．摩擦越小，小球越能接近于达到滚下前的高度．

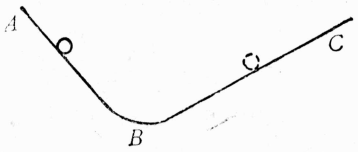


图 1—1

（2）假想：如果没有摩擦，让小球从斜面 AB 滚下，观察它在对接斜面 BC 上的运动情况．

（3）推理：①小球将会达到滚下前的高度；②如果对接斜面的倾角越小，小球在斜面上保持运动的距离越远；③如果对接斜面倾角为零，成为水平面，小球将以恒定速度永远运动下去．

在讲清以上原理的基础上，再向学生介绍理想实验方法的特点，即以事实为基础，假设理想化的物理条件，在头脑中做实验，进行推理想象，归纳出规律性的结论．要初步指出理想实验与具体实验的区别，并介绍伽利略这个理想实验的历史价值．至于理想实验方法和建立理想化模型方法的区别和联系，在本节教学中暂时可以不提．

伽利略理想实验的结论为牛顿第一定律奠定了基础，但不完全等同于后来的牛顿第一定律．伽利略那时还未认识重力及其本质．他预想到地球上的物体如果在没有阻力的水平面上运动，将以恒定的速度持续运动下去．因为地球是球状的，地球上的水平面不断延伸，是个球面，所以他所设想的永恒的匀速运动是圆周运动．牛顿依据伽利略和笛卡儿等人的研究成果，加上自己对天体运动的研究，把伽利略的结论的适用范围从地球上的物体扩充到包括天体在内的一切物体；把物体在水平方向不受阻力的条件，扩充为不受任何外力；把物体保持匀速运动的轨道从水平面扩展为空间任意直线（相对于惯性系而言）．以上史料，可以有选择地作些介绍，以培养学生的科学

发展史观，并加深学生对定律内容的理解.

二、确定F,m,a定性关系的逻辑方法

教材对F，m，a的相互关系，先作定性研究. 研究的方法是以牛顿第一定律和观察实验为基础，运用分析、归纳的逻辑方法，得到定性关系的结论. 分析的第一步，是把三者关系的问题，分解为两个仅有一对相关变量的简单的问题，然后对每个问题作进一步的分析、归纳. 其逻辑结构如下表.

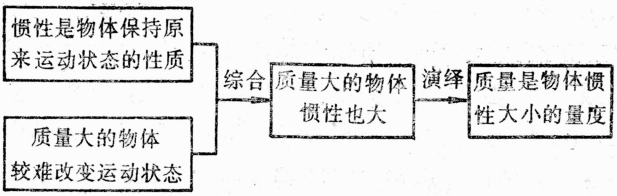
问　题	分　　析	归　　纳
a跟F的关系	①如果没有F，就没有a（根据牛顿第一定律） ②如果有F，必有a（根据定性观察实验）	F对a有因果关系
	m一定时，F增大，则a增大（根据定性观察实验）	a跟F有共变关系
a的跟关m系	F一定时，m增大　则a减小（根据定性观察实验）	m对a有制约关系， a跟m有共变关系

说明：表中F均指合外力. 制约关系、共变关系的名称教学中不宜直接引用，应改用通俗的语言说明意思.

通过对第一个问题的研究，揭示了力是产生加速度的原因，深化了力的概念. 原来只说力是物体对物体的作用，“作用”一词的含义不明确. 物体间可能还会有热传递作用，化学作用等. 现在则明确了力是能够使物体产生加速度的作用. 这个结论的得出，逻辑上要依据上表中①、②两点. 如果以合外力的存在为前件，产生加速度为后件，则①的逻辑结构是，如果没有前件，就没有后件，说明前件对于后件的必要性；②的

逻辑结构是，如果有前件，则必有后件，说明前件对于后件的充分性．这两点合起来，说明前件是后件的充分必要条件．

通过对第二个问题的研究，揭示了质量跟加速度的定性关系，为深化质量与惯性的概念开辟了道路．在初中阶段，学生知道质量是物件所含物质的多少，但这个说法的含义很模糊．学生是根据物体的轻重来感知质量大小的，然而这种对质量的感知其实已涉及引力质量的概念，但学生又难免把质量与重力混在一起．学生知道惯性是物体不受外力时保持原来运动状态的性质，但不理解物体受到外力时，惯性如何表现，不知道惯性有大小，更没有把惯性与质量联系起来．教材在得出加速度跟质量的定性关系的基础上，经过综合和演绎，建立了惯性与质量的联系，其逻辑过程如下所示．



通过这一段教学，使学生对质量的理解从“物质多少”上升为“惯性大小的量度”，概念比原来明确了，并且隐含着惯性质量与引力质量相统一的“潜台词”，还使学生理解惯性不仅表现在物体不受外力时保持原来运动状态，更现实的是表现在物体受到外力时具有反抗运动状态改变的本领，因此惯性是有大小的，从而渗透了惯性的质的规定性和量的规定性相统一的思想．总之，这段教学通过建立质量、惯性两个概念的联系，使学生对这两个重要物理概念的理解比初中阶段有所加深．

这一段教学的思维是比较抽象的，要联系实际，加强直

观．例如可用细线并排悬挂两个同样大小的乒乓球和木球，用同一风力吹动，使它们由静止开始运动，或在同步摆动时用同一逆风阻碍它们的运动，进行观察比较，认识到谁的质量大，谁的运动状态就不容易改变，谁的惯性就大．高一学生受潜意识影响，容易误认为运动快的物体惯性大，通过观察讨论，这种错误的认识可以得到澄清．

三、探求F、m、a定量关系的实验设计方法

在定性研究F，m，a三者关系之后，教材用演示实验和学生实验研究三者之间的定量关系．这两个实验是实验方法教育的典型教材，教学中要注重两点：①根据实验目的进行实验设计的方法；②处理实验数据，得出物理规律的数学方法．

演示实验的目的是探索F、m、a的定量关系．由于已知a跟F、m有共变关系，所以在总体设计上，先控制m一定，探求a跟F变化的定量关系；再控制F一定，探求a跟m变化的定量关系．这是典型的单因子定量实验方法．教学中要明确指出这一总体设计思路．在讲解具体的实验设计和演示操作时，要使学生懂得，实验对象的选择，仪器的装置，操作的每一步骤，都是围绕这个总体设计思路的．附带指出，课本的演示，为了简便起见，不测量加速度，仅用比较位移大小来比较加速度大小．这种间接比较的测量方法，有时也用于其他实验，值得一提．

教材在演示实验之后，安排了学生实验．应使学生了解这个实验的目的是为了更严格地验证刚刚学过的牛顿第二定律．虽然总体设计思路不变，但具体设计和操作测量比演示实验复杂、严密．例如采取了平衡摩擦力的措施，以减少合外力测量误差；用砂代替砝码，用打点计时器和纸带测量加速度，以取

得较多的具体数据．由于课本讲的都是前人已知的知识，教学上的所谓“探索”实验或“验证”实验一般都是从这些实验在学生认知过程中的作用来说的，不要求从科学史上的真实价值来评价这些实验的作用．对课本中重要的实验，应在教学中模拟它的“探索”性或“验证”性，明确实验的探索目的或验证目的，以理清学生学习实验教材的思路，并增加对实验在科学发现和科学检验上的作用的了解．当然也要提醒学生，实际科学史上的探索过程和检验过程，比课本讲的要曲折复杂得多．

四、整理实验结果的数学方法

在验证牛顿第二定律的定量实验中，要训练学生列表记录数据，用坐标方法描点，绘图像，根据图像得出物理规律．这些都是整理实验结果的一般数学方法．上一章讲了物理图像的基本作法和用图像反映物理规律的知识，通过本实验和今后其他实验的训练，能使学生巩固这些知识，学会合乎规范地处理实验数据；用图像反映物理规律，这是实验方法教育的重要内容．

a-m 图像是曲线，不易看出两者的函数关系，转而试用 a-$1/m$ 图像，可找到两者间的简单函数关系．这件事颇有启发性．它告诉我们，在物理学史上，用图像寻找物理规律很不容易，要经过艰难的摸索．这里学到的例子，因为前人已经摸索过，所以看起来还不算难．

由建立 $F=kma$ 的函数关系式过渡到建立 $F=ma$ 的公式，可以使学生学到有一定普遍意义的建立物理公式的方法．k 的出现，学生在数学上熟悉，但在物理学习上陌生．一般地说，k 值的确定有两种情况：①如果函数式中各物理量单位已经确定，则 k 值由实验测定；②如果函数式中尚有未规定单位的物

理量，则往往根据能使k为最简单值（如使$k=1$）的要求来规定该物理量的单位．这样，当式中使用符合这一要求的单位制时，k就自然地为最简单值．力的单位牛顿的规定就属后一种情形．教学中不必抽象地讲确定k值的方法，但要使学生理解以下两点：①物理量单位的规定必须有严格的客观标准．1千克质量和1米/秒^{2}加速度都已有客观测量标准，所以能使1千克质量产生1米/秒^{2}加速度的力不是任意大小的，是可以作为力的单位标准的．②这样规定力的单位牛顿，其好处是能使$k=1$，使公式最简单．因此，如果要使用$F=ma$这个最简单公式，就必须使用与此相适应的规定单位（国际单位制单位）．

五、力和惯性的对立统一

牛顿运动定律揭示了力、质量、加速度三者间的关系，也可以说，揭示了力、惯性、加速度的关系．粗浅地讲，可以认为：力是使物体改变运动状态的原因，物体的惯性则要反抗运动状态的改变；力与惯性是一对矛盾，双方的斗争决定了加速度．但是如果认识仅到此为止，则尚嫌不足，我们不妨再作一些探讨．

1.外因内因问题

马克思主义哲学认为，内因是事物变化的根据，外因是事物变化的条件．事物变化的根本原因在于事物的内部矛盾（内因）．但是联系到牛顿运动定律，外力（即外因）却成了物体运动状态改变的决定性原因，这在哲学上应如何理解？笔者认为，对于马克思主义哲学关于内因外因关系的观点，不能作机械的理解，需要作具体分析．物体既有保持原来运动状态的性质，又有在外力作用下改变运动状态的性质，这是物体自身的

双重属性．前一属性用惯性这个概念表述，后一属性没有专门的概念表述（也没有必要再建立专门概念），但这个属性是存在的．马克思主义哲学认为外因在事物的发展中是不可缺少的，有时甚至对事物的发展能否实现起决定作用．在力和加速度关系问题上正是如此．外力对于物体能否实现运动状态的改变起决定作用，不过这种决定作用必须通过物体自身的属性（上述的双重属性）才能发生．也就是说，外因仍然必须通过内因起作用．

2.惯性是否只是反抗运动状态改变的因素

对于某一物体来说，外力对于它能否实现运动状态的改变起决定作用，它自身的惯性则是反抗运动状态改变的因素．这样理解固然是对的，但如果换一个角度看问题，力和惯性还可以在一定条件下相互转化，相互依赖．第一，牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中阐述惯性定义时有一条注解，其中说："……这种力（笔者注：牛顿在这里是指惯性）的存在可以看作既是一种阻力，又是一种推动作用．当一个物体为了保持其原来的状态而反抗加于其上的力时，它是阻力．当物体受到其他物体加于其上的力而不易退让，反而要改变对方的状态时，它是一种推动力"．这段话具有辩证性，说明了物体的惯性对于加于其上的外力来说，是反抗自身运动状态改变的因素，而对施外力于其上的其他物体来说，则成了引起对方运动状态改变的原因．任意举一个两球碰撞的例子，就可理解牛顿这段话的意思．第二，在某些问题范围内，力不能离开质量（惯性）而存在．例如万有引力的产生少不了物体要有质量；碰撞时，双方都要有质量，才能产生相互作用力．这些例子说明力在一定条件下对惯性有依赖关系．

以上观点，仅供教师参考，不宜在课堂上讲．我们要防止

对力、惯性、加速度这三者间的关系，在离开研究对象和问题范围的条件下，孤立地绝对地讲外因内因，主动被动，以避免造成学生的形而上学观点．但同时又要意识到，对力、惯性、加速度三者关系的研究是训练学生确立诸如对立统一、原因结果（含外因内因、主动被动）等思想的典型素材．

第四章　物体的相互作用

李高风

本章内容包括牛顿第三定律、动量定理、动量守恒定律，这些都是力学的核心部分．物理学发展史上，在研究跟本章有关的知识——碰撞、动量守恒等问题时曾经采用过一系列科学方法．因此本章篇幅虽短，蕴含的方法教育的内容却十分丰富．

一、牛顿第三定律的实验方法

教材引出牛顿第三定律时采用实验方法．A、B两只弹簧秤联结在一起，用手拉弹簧秤，可看到两只弹簧秤的标尺同时移动，实验表明A对B的作用同时存在着B对A的反作用，并且作用力和反作用力大小相等、方向相反．这个实验的优点是方便、简单，但只能代表一种特殊的物理情景．因为相互作用的物体，不论它们在一起是静止或一起作匀速运动、加速运动，或它们之间有相对运动（如地球绕太阳转动），它们之间的作用和反作用总是相等，即本定律跟物体处于什么状态无关．所以有必要补充运动状态下物体间的相互作用关系的演示．其实验方法可参考人民教育出版社出版的教学参考书．

二、奇妙的守恒原理

我们观察周围运动着的物体，可以看到它们中的大多数最终会停下来：跳动的皮球，飞行的子弹，走动的时钟，转动的机器……．它们最后都会停下来的事实，似乎说明宇宙间运动

的总量在减少．整个宇宙万物会不会有一天会停下来呢？经过千百年来对天体的观察，并没有发现宇宙运动有减少的迹象．16、17世纪的许多哲学家都认为宇宙间运动的总量是不会减少的．寻找一个量度运动并能相应说明宇宙运动总量守恒的物理量是自然科学家们长期企求的愿望．伽利略在研究打击现象时，认识到打击效果与锤子的重量以及它的运动速度有关．笛卡儿继伽利略之后，把物体的质量和速率之乘积称为物体“运动量”的量度，并且初步提出了运动量守恒的思想，但是他在当时尚未认识到这个物理量是矢量，因而未能得出明确的结论．惠更斯细致研究了各种弹性碰撞的现象，并进行了许多实验，于1669年指出，必须考虑动量的矢量性，并基本上确立了动量守恒定律．由此可见，动量概念和动量守恒定律在历史上主要是在实验基础上得出来的．牛顿在他的《自然哲学的数学原理》一书中把以前的天文学和力学的成果总结起来，用三大运动定律把以前认为孤立的各种运动规律包括动量守恒定律联系起来，建立了力学的公理化体系．在现今的教科书上，动量守恒定律不但可以用实验方法得出，也可以由牛顿运动定律演绎得出．现行统编教材就是用演绎方法导出的．教学中应该突出地显示演绎的前提是什么，在推理过程中前提起着什么作用，从而说明所得的结论在什么条件下才能成立．这样，可以使学生受到典型的演绎推理方法的训练．

动量守恒定律的教学，对于培养学生用系统的观点和守恒的观点分析物理问题和解决物理问题，有重要的方法论价值．当被研究的系统（它由两个或两个以上物体组成）不受外力作用或外力的合力为零时，系统的总动量是守恒的，而系统的内力不为零，即内力的冲量不为零，它是系统内各个物体间的动量发生传递的根据．当系统的总动量守恒时，研究系统内各个

物体运动变化规律时，我们只须掌握系统的始末状态的动量，而不必去研究系统内力的性质和变化规律，不必去研究系统内部各个物体相互作用过程和具体细节，而使研究问题的方法大为简化．所以守恒原理是研究物理世界中运动规律的一种重要的科学方法．

三、隔离法

研究物体相互作用问题时要采用隔离法．隔离法是一种科学的思想方法．从思维方法来看就是如何考虑局部和整体的关系．对所要研究的问题，可以局部地加以研究，先把一个物体从系统中隔离出来，分析研究它和其他物体之间的相互作用，然后再把另一个物体隔离出来进行分析．这种从整体中选取合适对象并把它从整体中隔离出来的方法，是研究物理的基本方法，它不仅适用于力学，也适用于热学、电学等，是一种具有普遍意义的方法．力学中，应用隔离法时要注意两点：①隔离对象的合理选取；②对隔离对象进行正确的受力分析．例如在光滑的水平面上放着A、B、C、D、E五块质量均为m的物体，如图1—2所示．若在它们的左端受到一个水平力F作用，试求物体C对物体D的作用力T的大小．如何合理选取隔离对象呢？众所周知，牛顿第二定律$F=ma$，其中F是指研究对象所受外力的合力，而内力对加速度的产生不起作用．倘若我们由于对隔离对象选取不当，就有可能将原来的内力作用转化为外力作用，增加受力分析的复杂性．显然把D、E作为一个被隔离的对象，再把A、B、C选作为另一个隔离对象，问题就简单得多．如果把D作为隔离对象，它在水平方

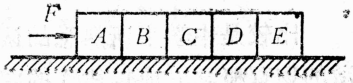


图1—2

向不仅受到C对D的作用力T，而且还受到E对D的作用力T'，而T'也是一个未知力，这样问题就复杂化了．在对隔离对象进行正确的受力分析时，要对每个力的施力物体，每个力的方向、大小、作用点等几方面进行认真分析，既不能遗漏，又不能凭空增添．在此基础上确定合力的大小和方向．

从广义上来说，合理选取系统，使系统满足遵循动量守恒的条件，也是一种隔离法．这种隔离法的目的，是为了使被研究的系统从周围环境中隔离出来，以便运用守恒的原理来方便地处理被研究的问题．例如我们在用理论演绎法推导动量守恒定律的过程中，首先把其中一个物体隔离出来，研究它在冲量作用下动量的变化，然后再将跟它有相互作用的另一个物体隔离出来，研究它在冲量作用下动量的变化．接下去我们将上述两个物体作为一个系统从周围环境中隔离出来，看一下他们是否具有所受外力合力为零的条件，如果具有这样的条件，问题就得到证明．总之，隔离法是研究物理的一种基本的普遍的方法．

四、从比较中再认识

比较是中学生所熟悉的认识活动．物理教学中，对容易混淆的物理概念（或规律）的内涵和外延进行比较，有利于进一步明确物理概念（或规律）．本章教材可采用比较方法的内容有以下几点．

1．一对作用和反作用力跟一对平衡力的比较

牛顿第三定律所讨论的一对作用力和反作用力的相互关系，跟物体平衡时的一对平衡力的相互关系极易混淆．区别的关键是明确研究对象，即受力对象．明确研究对象是物理思维正确起步的基础，往往也是学生学习物理的弱点．我们可以从

以下几个方面进行比较：一对作用力和反作用力总是同时产生、同时消失的，一对平衡力则不一定总是同时产生、同时消失；一对作用力和反作用力的性质是相同的，一对平衡力的性质不一定相同；一对作用力和反作用力的存在跟运动状态无关，一对平衡力仅存在于物体处于平衡状态时．为了具体地进行比较，可以列举马拉车、拔河比赛等具体事例分别讨论．

2.动量和动能的比较

动量和动能虽然都由质量和速度组成，但是动量是用来量度物体运动的量，动能是用来量度物体具有做功本领大小的量．动量是矢量而动能却是标量．当系统处于动量守恒时，动量可以从系统内的一个物体转移到另一个物体上，整个过程中动量是不会消失的（即守恒）；当系统处于机械能守恒时，动能可以转化为势能，整个过程中动能有可能消失（即动能不守恒）．一个物体动量变化的大小跟物体所受冲量的大小有关．一个物体动能变化的大小跟所有外力对物体做功的大小有关．

此外还可对动量守恒定律和机械能守恒定律进行比较，这里不再一一赘述．

五、进一步把握矢量运算的数学方法

学生在学习本章之前虽然已初步认识矢量及其运算法则——平行四边形法则，本章中的矢量运算又仅限于在一条直线上——即可用代数和来代替矢量和，但是本章教学涉及到的矢量运算的复杂性却远远超过以往的水平．其原因如下：①参与运算的物理量由单纯一种物理量推广到多种物理量；②参与研究的对象由一个物体推广到多个物体——即组成物体系；③参与运算的正负号，既有表示矢量方向的含义，又有表示求矢量

和或矢量差的运算意义．例如一个质量为m的小球竖直下落时（图1—3），跟水平面接触前速率为v，跟水平面相碰后速率为v'，设接触时间为t，求水平面对小球的作用力N．根据动量定理，可得

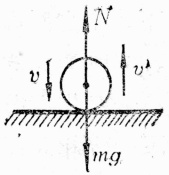


图1—3

$$F_{合}t=p'-p \qquad ①$$

公式中既有矢量力又有矢量动量．正确的运算应首先规定向上方向为正方向（当然若规定向下方向为正方向也可以），则不论是等号左边或右边，也不论是力或是动量，凡是方向向上的均以正值表示之，反之用负值表示．显然弹力N，作用后的动量$P'=mv'$均为正值；而重力$G=-mg$，作用前的动量$P=mv$均为负值．代入①式可得：

$$(N-mg)t=mv'-(-mv) \qquad ②$$

在公式②中从左到右第一次、第三次出现的负号表示矢量符号，第二次出现的负号表示运算符号．最后可得

$$N=\frac{mv'+mv}{t}+mg.$$

应用动量守恒定律时，公式内虽然仅有一种物理量，但是被研究的对象为一个物体系，内含有两个（或两个以上）物体．其运算原则基本与上述运算方法相同．但应注意的是它们的速度均要选取同一物体作为参照物．

六、近似未不可靠

近似法计算具有简洁、运算方便的特点．但是长期来受到从小学教育开始就采用的严密的推理论证以及精确的数字计算的教学方法的影响，很容易使人们对近似计算的可靠性产生怀疑．马克思主义认为，任何可靠性的源泉归根结底都是社会

历史实践，社会历史实践是一切可靠知识的基础及判别其可靠性的最高准则．同样可说，物理实验（或科学实践）是一切物理规律可靠性的基础及判别其可靠性的最高准则．在实验过程中通常要遇到对物理量的测量，由于仪器本身精度的限制，而使测量值具有一定的相对性．任何测量值都具有相对性，这就为近似值计算提供可靠性的依据．此外还存在这样一个数学问题，那就是当两个物理量的大小相差悬殊，以致具有不可相比性时，可以将足够小的数忽略，这样也为近似计算提供依据．

本章教材中采用近似法计算的有：

（1）动量定理运用中的近似法

动量定理 $Ft=p'-p$，其中 F 应该是指被研究对象所受外力的合力，但是在研究碰撞或敲击过程中，往往由于冲力大于其他的外力（如重力等），故可用冲力代替所受合外力．

（2）动量守恒定律运用中的近似法

动量守恒定律必须满足的条件是：系统不受外力或外力合力为零．但是应当指出，合外力为零的情况是不常见的，如果外力远小于相互作用的内力（例如炮弹在炮膛内的爆炸力，一般来说是远大于外力），则此时外力虽然存在，仍可应用动量守恒定律来近似处理．

第五章　曲线运动　万有引力

姜水根

本章研究曲线运动和万有引力，是前四章学习的深化.通过前四章和本章的学习，不仅了解了牛顿力学体系的四根支柱，而且对研究物理规律的科学过程，正交分解的方法，理想化模型，物理实验的控制和测量方法等均有了较深入的体会. 本章教学内容中包含的牛顿力学决定论的思想以及实践是检验真理的标准的观点，对学生逻辑及哲学思维方式的形成具有深远的影响·

一、研究物理规律的科学过程

科学过程的教育是指在具体知识的教学中向学生显示，人类是怎样发现和建立物理规律的，本章的平抛物体的新课教学，就是精采的一例.

在进行平抛运动的新课教学时，先让学生观察水平抛出的粉笔头作曲线运动，运用运动独立性原理进行初步分析，粉笔头同时作水平和竖直方向的两个运动，在此基础上进行猜测：平抛物体的运动可能是水平方向的匀速直线运动与竖直方向的自由落体运动的合运动，然后进行实验研究，用实验来证实或否定原先的猜测. 通过观察演示实验和分析闪光照片，证实了这种猜测，得出规律：平抛运动是水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动的合运动，数学表示式为：位移

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = \dfrac{1}{2} g t^2, \end{cases}$$ 速度 $$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = gt \end{cases}$$，并作出平抛轨迹图像，然后

教育学生要进行重复实验，自己动手做一个实验．这一点意义重大，在科学发展中，只有当不同的研究者从重复实验中得出相同的结果时，科学结论得到鉴定，才被公认为成立，下一步是追求统一．在科学史上，凡是在某一具体领域得到的物理规律，科学家总是要把它与已有的基础理论进行比较研究．当得到平抛规律之后，自然会想到它与牛顿运动定律是否统一．通过分析可知：水平方向 $F=0$，则 $a=0$，是匀速直线运动；竖直方向，$F=mg$，则 $a=g$．可见平抛运动规律与牛顿定律是统一的．

在以研究平抛运动规律为中心而展开的课堂教学中，要突出一条研究物理科学一般方法的主线：观察现象、初步分析—猜测—实验研究—得出规律—重复实验、鉴别结论—追求统一．这种在具体知识教学的同时进行的科学过程的教育，可使学生对这两方面的接受相得益彰．

二、用正交分解方法分析抛体运动和圆周运动

本章的平抛运动和匀速圆周运动，都比前面章节介绍过的直线运动复杂，而正交分解方法正是化难为易的有用的方法．解决平抛运动问题，可以在水平方向和竖直方向建立坐标系，平抛运动就可以在这两个坐标轴上进行正交分解．由于水平方向受力为零，则加速度为零；而竖直方向上受到重力，加速度为重力加速度，这样就可以用第二章学过的直线运动知识去解决问题．对于匀速圆周运动，可以以物体运动的瞬时速度方向即运动轨迹的切线方向和与它垂直的方向建立坐标系，匀速圆周运动就可以在这两个坐标轴上进行正交分解．由于物体在运动方向上受力为零，则切向加速度为零，而与切线垂直方向上

受到的力，就是向心力．这样就可以运用第三章运动定律知识去解决，即$F_{向}=ma_{向}$ $\left(F_{向}=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2 r\right)$.

正交分解方法是在第一章静力学和第三章动力学问题中经常运用的方法，而本章再次进行正交分解的教学，要更深入一步．这里表现为由静止向运动的深化，由直线向曲线的深化．而且通过本章教学，教给学生一种很有用的研究方法，即对不同的问题可采用不同的正交分解：对抛体运动，可选用空间直角坐标系；对匀速圆周运动，可选用自然坐标系（虽然在教学时都不给出这些名称，但教学中渗透着有关思路）．

三、天地统一的思想和万有引力定律的建立

物理学史料中有许许多多科学家探索、发现物理规律的故事，它们是培养学生的科学兴趣、科学态度和献身精神的生动教材．可以说，千百个故事中，没有一个能像牛顿发现万有引力的苹果落地的故事那样脍炙人口了．在本章教学中，我们既要介绍牛顿生平以及牛顿对引力定律研究的故事，更要从中揭示研究物理规律的一般科学过程和从科学家身上得到的教益．

万有引力定律的发现，是人类认识宇宙的一次飞跃，作为它的基础，有哥白尼、伽俐略建立起的日心说；有第谷的观测及进而由开普勒发现的行星运动规律；有胡克和哈雷对太阳系进行的动力学思考并得出了平方反比关系……．科学的发展已经到了需要有一个人对此进行综合的时代．生活在这样时代的牛顿，由于他童年的不幸，使他养成了孤僻的性格与沉思默想的习惯．由于他舅舅的支持，他本人的努力以及巴罗博士的指

导和推荐，使他一步步登上了科学研究的高峰．尤其是在他二十三四岁时，适逢两年瘟疫期间，使他在家集中精力思考了数学和哲学问题．他发明了微积分这个极为有用的数学工具，形成了关于运动基本定律和引力定律的清晰概念．

牛顿是沿着下述思路对引力问题进行分析的：

他在他家的花园里的苹果树下看到苹果落地，首先想到苹果为什么不飞上天而落到地呢？如果苹果树长得非常高，苹果是否也会下落？他认为苹果都会落回地面，与高度无关．他接着想到，苹果如果长在月亮那么高处，也会落回地面，但是，月亮为什么不落回地面呢？月亮不是很像一个大苹果吗？他又想到在山顶把一个炮弹发射出去，炮弹将以曲线轨道落到地面，发射速度越大，炮弹落得越远，如果发射速度足够大，炮弹就会绕地球旋转，永远不落回地面．接着，他想到，以足够大速度绕地球旋转的炮弹多么像月亮，可是又为什么不飞离地球呢？一定是它们之间存在一种相互作用的力．正是这种作用力，使炮弹、月亮围绕地球旋转，地球、水星、金星等围绕太阳旋转，这样就基本形成了万有引力思想．最后他发挥自己的数学才能，终于完成了万有引力的数学表述，并重新进行了“地月检验”．

我们从牛顿观察苹果落地到建立万有引力定律的过程，应得到什么教益呢？我们可以看到，牛顿是从像苹果落地这种极为平常的现象中提出了极有意义的问题的．提出问题之后，他从苹果——→月亮——→炮弹——→月亮进行思考．他是第一个跃过天地之间的鸿沟且把它们统一起来的人，他的追求天地之间统一规律的思想，正是导致他发现万有引力定律的关键．

四、引力问题中建立质点模型的数学物理基础

我们在第二章的教学中已经指出，在物理学中经常根据所

研究的物理问题的需要，忽略研究对象的次要因素或无关因素，使研究的问题得到简化，即把真实事物简化为理想化模型．这种方法在本章教学中是经常用到的．比如，我们要研究任何两个物体之间的万有引力，实际上是非常复杂的，但有时候我们可以把两个物体抽象为两个质点，使问题简化．

这里必须强调，把客观原型抽象为理想化模型的过程不是随心所欲的，不能背离严谨的科学态度．因此科学思维的严密性的培养是本章知识教学的又一个重要任务．

一个人站在地面上，或者说："一个质量为m的人处于半径为R、质量为M的地球的表面，根据万有引力定律，这个人受到的地球对他的引力为$F=\frac{GMm}{R^2}$．为数众多的学生，熟练地运用这个公式，他们算得的结果总是正确的，但是他们不知道为什么可以这样运用公式．可以说，在中学物理教学中再没有别的问题会比这个貌似简单的问题更叫人糊涂的了．

万有引力定律告诉我们："宇宙间的一切物体都是相互吸引的，两个物体间的引力大小，跟它们的质量的乘积成正比，跟它们的距离的平方成反比"．课本上接着解释道："万有引力定律中两个物体的距离，对于相距很远可以看作是质点的物体，就是指两个质点间的距离；对于均匀的球体，就是指两个球心间的距离"．而人站在地球表面是什么情况呢？作为细长个子的人与看上去一马平川的地球的关系，既不是相距很远的质点，又不是两个圆球，怎么可以运用万有引力公式呢？应当向学生这样解释：地球上每一质点对人体的每一质点都有引力，其合力的计算是非常复杂的，为此经过了两次处理：①均匀球体（把地球视为密度均匀或密度随到中心距离而变）对球外物体的引力相当于把这个球的质量集中于球心对球外物体的

引力，这是数学上的计算（积分）得出的．②经过这步数学处理之后，放在地心上的质点（质量为地球质量）与人相距几千公里，这样第二步便可把线度不足2米的人视为质点，这是物理处理．这样处理后就可用万有引力定律公式进行计算．

这样的教育，可以培养学生思维的严密性，学生就不会乱套公式了，对于任意两个物体的引力不会随意地用质心进行计算；对于放在地球球心的物体所受的地球对它的引力，也不会错误地认为是无穷大了．

五、平抛实验的控制

中学物理的实验教学内容是丰富多采的，从实验的设计、装置、操作、数据处理等各个环节都进行着多方面实验思想的教育，其中关于“实验的精髓在于控制”的思想，在本章的平抛实验中尤为突出．要让学生明确，该实验的装置中斜槽的末端应保持水平，木板要竖直放置，并用有孔卡片来做实验．有孔卡片的缺口代表小球通过卡片孔时的位置．在实验操作上要强调小球每次都从斜槽的相同高度，从静止释放，使卡片上有孔的一面与小球通过时的速度方向垂直．这些装置与操作都是为了控制小球的运动，使每次记录的实验点都满足相同的平抛条件，并在测量小球位置时控制实验的误差．

六、卡文迪许扭秤实验中的测量变换

在物理实验中，测量变换是一种重要的方法．初中物理中曾经用液面升降或光点移动来显示微小形变．这实际上就是把固体形变的测量变换为液面测量或光点测量．测量变换往往用于不能直接测量或难度很大的测量中．

牛顿发现万有引力定律之后的100年内，一直没有人能在实

验室内验证它，那是因为普通两个物体之间的引力实在太小了，无法显示出来．为了解决这个问题，卡文迪许采用了扭秤装置，巧妙地将力的测量变换成力矩的测量，而力矩的大小正比于石英丝的转动角度，这种转动的角度又变换为光点的移动．我们在向学生介绍卡文迪许扭秤实验的装置和原理的过程中，不仅使学生学习了实验内容，复习了物理知识，更重要的是培养了创造性的思维能力，使学生看到怎样用测量变换的方法把研究对象与已经掌握的测量手段联系起来，这是最生动、最富有创造性的教学活动．

七、牛顿力学中的决定论思想

高中物理教学从建立概念到研究规律，从受力分析到解运动方程，都在进行逻辑思维的训练，物体受力是原因，产生加速度是结果；物体前一段运动的结束即是后一段运动的开始．通过学习，学生逐步体会到，物体的运动是有规律的，这种规律是可以被认识的．从更深的意义来说，只要物体的受力情况确定，初始状态已知，那么以后任何时刻的运动都是可以被精确描述的，或者说物体今后要发生的运动都是“命中注定”的，这就是牛顿力学的决定论世界观．因此在学习了万有引力定律后，学生懂得了地球受太阳引力且具备运动初速度使地球绕日运行后，很自然地会提出地球开始是怎样运动起来的问题，牛顿也解答不了这个问题，而不得不认为是上帝第一次推动的．

对于这著名的第一次推动说，我们不要急于批判，说这是牛顿的唯心主义世界观．应当从积极的意义上引导学生理解牛顿力学体系是一个自洽的科学体系，它能精确地描述宏观物体运动，比如可以精确地预言几百年之后的日食和月食等．

高一学生尚未学习近代物理，也没有掌握概率思想，所以没有能力批判决定论的错误；他们也不会把牛顿的决定论思想马上引伸到社会生活中消极的宿命论．至于第一次推动说的错误，在他们以后学习了角动量守恒定律，以及康德、拉普拉斯星云说之后，自然会明了的．

八、实践是检验真理的标准

实践是检验真理的标准这一基本观点，在本章教材中得到充分的体现．教材中也充分展示了理论在实际中的应用，这里包含两层意思：

第一，正确的理论应用于实践的时候，它能解释实际现象，解决实际问题．比如平抛运动可以解释水平射出的子弹，飞机上空投下来的炸弹或救援物资，平台上踢出的皮球等的运动现象．又如匀速圆周运动可以解决水流星，离心轨道上的滑车，人造卫星，正在转弯的火车摩托车等问题，因此，在本章教学中要做相当数量的练习，做习题的过程中要经常进行从具体到抽象，再从抽象到具体的思维训练，使学生看到习题表述的内容在生活、生产、科研活动中的清晰的物理图景．本章教材还介绍了卫星在科研、通讯、气象、军事等方面的应用，都是令人神往的．我们应该根据教学的实际情况，通过物理课外活动或科普讲座形式，适当地向学生介绍一些课外物理知识．

第二，正确的理论应用于实践的时候，它不满足于解释实际现象，而且要指导实践，作出预言．教材介绍了海王星的发现，这是应用万有引力定律取得重大成就的一个例子．恩格斯对此作出了高度评价："哥白尼的太阳系学说有三百年之久一直是一种假说，这个假说尽管有百分之九十九、百分之九十九点九、百分之九十九点九九的可靠性，但毕竟是一种假说；而

当勒维烈从这个太阳系学说提供的数据，不仅推算出一定还存在一个尚未知道的行星，而且还推算出这个行星在太空中的位置的时候，当后来加勒确实发现了这个行星的时候，哥白尼的学说就被证实了．”恩格斯的论述极其明确地告诉人们：当一种理论作出的预言被证实的时候，理论的价值就被充分地显示出来了．这同时也体现出实践是检验真理的标准这一基本观点的正确．

第六章　机械能

郑青岳

本章涉及的功和能的概念和机械能守恒定律等知识，是学习各种不同形式的能量转化规律的起点，在高中物理中居有较重要的地位．本章教学不但可使学生的力学知识在原有基础上得到进一步充实、扩展和综合，还可以使学生得到从特殊推到一般、数理结合以及比较、分类等科学方法的训练，受到宇宙万物普遍联系、物质运动不灭等观点的教育．

一、从特殊推到一般

本章中，无论是功的概念，功和机械能变化的关系，还是机械能守恒定律等教材的编写，其思路都是从特殊到一般．这样的处理，既符合辩证唯物主义的基本原理，也符合人的认识规律，又利于抽象思维能力不够强的学生掌握知识．辩证唯物主义认为，特殊中有一般，一般存在于每一特殊之中．从特殊到一般的过程，也就是从具体到抽象的过程，或从低层次抽象到高层次抽象的过程．在教学中往往也就是从简单到复杂的过程，就是将问题的条件逐步放宽的过程，或是由旧知识出发推出新知识的过程．从特殊推出一般，在获得一般性的结论后，又用它去研究那些尚未研究过的各种具体的事物，这是人类认识事物的一般过程．

1．功的概念

学生在初中已学过一种特殊意义的机械功，其特殊性表现在：①作用力的方向与物体运动方向相同；②作用力是恒力．

而在本章中，功的意义要加以拓宽，两个限制将被突破．在建立功的概念时先突破限制①，在讲授功和能的关系后可突破限制②．

课本讲授功的概念时，先回顾初中讲过的功（如图1—4所示），即$W=Fs$．然后讨论图1—5情形，将力F作分解，得F_1和F_2，并指出只有F_1做功（即F_1为有效分力），从而得出功的一般式$W=F_1s=Fs\cos\alpha$．最后利用公式$W=Fs\cos\alpha$讨论熟悉的特殊情形（$\alpha=0$，$90°$）和新的特殊情形（$\alpha=180°$，$90°<\alpha<180°$）．这样做体现了特殊——一般——特殊的思想，但对特殊情形的讨论尚不够充分．建议：

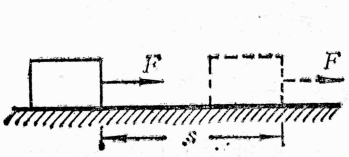


图1—4

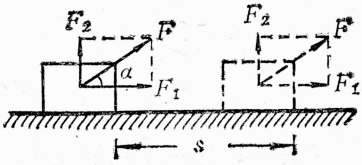


图1—5

(1) 在推导功的一般式前，补充力与运动方向垂直（即力不做功）的情形，在此基础上提出问题：如果力F既不与运动方向一致，又不与运动方向垂直，而是与运动方向成任一夹角α，那么，力F所做的功应如何计算？然后引导学生寻求功的一般式的推导方法．

(2) 当得到$W=Fs\cos\alpha$后，再提问：这一公式是否把已知的特殊情形都包括进去了，它还涉及到哪些新的情形？继而引导学生进行逻辑演绎，逐一讨论$\alpha=0$，$0<\alpha<90°$，$\alpha=90°$，$90°<\alpha<180°$，$\alpha=180°$等特殊和一般情形，使学生对力做功的多种情形有一个完整的认识，也使学生看到各种特殊是如何统一在一般之中的．

一般与特殊的意义是相对的，在一定的条件下会发生相互

转化. 式 $W=Fs\cos\alpha$ 比之式 $W=Fs$ 虽然具有更为普遍的意义，但它仍然具有相当的局限性，即它只适用于恒力的功的计算. 这一点课本中没有指出，建议在教学中予以补充.

2. 功率计算式 $P=Fv$

课本中是由公式 $P=\frac{W}{t}$ 和 $W=Fs$、$v=\frac{s}{t}$ 推导得到的，也就是以作用力与物体运动方向一致，物体做匀速运动为例进行讨论的. 对此应当明白：

(1) 公式 $P=Fv$ 仅适用 F 和 V 同向的特殊情形，当 F 和 v 成 α 角时，$W=Fs\cos\alpha$，于是有 $P=Fv\cos\alpha$.

(2) 虽然 $v=\frac{s}{t}$ 仅适用于匀速运动、但 $P=Fv$ 却可适用于变速运动情形. 这是因为，当物体做变速运动时，我们可将 v 取作平均速度，这实际上已将变速运动变换成匀速运动，此时用 Pv 所计算出的则是平均功率. 我们也可将观察时间 t 取得极短，此时用 $v=\frac{s}{t}$ 所计算的就是即时速度，用公式 $P=\frac{W}{t}$ 所计算的就是即时功率，所以公式 $P=Fv$ 所反映的就是即时功率、作用力和即时速度之间的关系. 考虑到学生对前一问题容易忽视，对后一问题的理解会过于刻板，故在教学中应将公式 $P=Fv$ 的形式及适用范围加以推广.

3. 外力做功和物体动能变化的关系以及重力做功和物体重力势能变化的关系

课本中都是在恒力做功、物体运动方向与受力方向共线等特殊情形下推得的. 特殊性中有一般性，所推得的关系对于变力做功及物体运动方向与受力方向不共线的情形也同样适用. 课本中没有说明这一点，教学中应当加以补充. 这不但可以拓宽关系的适用范围，同时也使学生认识到功和动、势能变化的关

系为我们提供了计算变力的功的一种有用的方法，还可以使学生领略到一般与特殊之间的辩证关系.

4．机械能守恒定律的推导

课本中先是根据自由落体情形推得机械能总量不变，然后指出竖直上抛运动中机械能总量也不变．继而分析机械能总量不变的条件，同时将情形逐步推到弹性势能与动能的相互转化．最后得出一般意义下的机械能守恒定律．教学中，应当注意做好“推广”工作，揭露各种“特殊”情形中的“一般”，即只有动能和势能发生相互转化（就是说只有重力或弹力做功），没有摩擦和媒质阻力，从特殊巧妙地推广到一般．还可增加一些动能和重力势能的转化、动能和弹性势能的转化的实验或实例，以帮助学生从特殊到一般的推广.

二、功和能教学中的数理结合

数学为表达物理内容提供了简洁的形式化语言，也为进行严格的物理推理提供了重要的工具．由于本章所研究的功和能的知识，较之前面学过的力、速度、质量等知识更为抽象，更难用直接感知去体会，因此也就更需要借助数学语言来表达和思维.本章中，如功的定义式、功率的计算($P=Fv$)、动能的定义式、功和动能变化的关系、重力势能的定义式、重力做功和重力势能变化的关系，以及机械能守恒定律等等，都是运用数学方法推导得到的．运用数学方法解决物理问题的关键是使数理有机结合．教学中，我们既要充分利用数学方法，又要防止学生“重数轻理”，防止学生沉湎于符号运算而忘记了物理内容.

1．关于功率计算式 $P=Fv$

可以引导学生运用数学方法进行逻辑演绎，推演出常见的

三种情形，即①当F一定（恒力作用）时，v越大，P也越大；②当v一定（匀速运动）时，F越大，P也越大；③当P一定（功率恒定）时，F大则v小，F小则v大．同时，要结合实例对这三种情形作说明．

2．关于机械能守恒定律

应要求学生会将公式$E_K+E_P=$恒量转化成不同的表达式，如：

$E_{K1}+E_{P1}=E_{K2}+E_{P2}$，$\Delta E=0$，$\Delta E_K=-\Delta E_P$

3．动能和重力势能定义式的推导

应使学生充分理解推导的依据和思路，即“不同形式的能可以通过做功互相转化，转化的量可以用转化过程中所做的功来表示．”教学中不宜在学生尚未很好理清思路时就匆匆地进入数学推导．

4．关于功的正负

由公式$W=F\cos\alpha$出发从数学角度作分析并不难，但仅仅这样做是远远不够的，应当使抽象的数学分析与生动的物理内容紧密结合，使学生懂得：功是标量而不是矢量，功的正负与正方向的规定无关，故它不是表示方向，而是反映：①是动力做功还是阻力做功；②做功是使物体的动能增大还是使物体的动能减小．

三、功、动能、冲量、动量的比较

比较就是对照各个事物，找出它们的差异点和共同点，从而确定事物的特殊属性和一般属性，它是进行一切科学思维的基础．本章中出现的一些知识之间，以及本章知识与学生已学过的一些知识之间，存在着许多共同点和不同点，教学中要注意比较，使学生在比较中认识不同事物之间的相互联系，以及

相似事物之间的细微差别．例如，功和冲量都是过程量，都可以改变物体的运动状态，但功是力对空间的积累，而冲量则是力对时间的积累；功是标量，而冲量则是矢量；合力的功与物体动能的改变发生直接联系，而合力的冲量则与物体动量的改变发生直接联系；力对物体有做功必定也有冲量，而力对物体有冲量则不一定也有做功．又如用机械能守恒定律处理力学问题与用牛顿第二定律处理力学问题，也可进行比较，可以让学生先后用两种方法求解课本例题，比较两种解法的差异．再如功和动能、功与动能变化的关系及动量定理、机械能守恒定律和动量守恒定律等等，均可引导学生进行比较．比较时，既要比同，也要比异，以帮助学生认识不同事物之间的联系和区别，使学生得到科学方法的训练．

在对有关事物进行充分比较的基础上，如有可能，还可引导学生对它们进行分类．例如对功、动能、冲量、动量四个物理量，可以按是矢量还是标量进行分类，也可以按是状态量还是过程量进行分类．通过这样的分类，既渗透了分类方法的训练，也可使学生从一个角度去理解这四个物理量各自的特征．

四、功和能关系的因果性和可逆性

辩证唯物主义认为，世界上一切事物都是普遍联系、互相制约的，任何一个（些）现象都会引起另一个（些）现象的产生；反过来，任何现象的产生也都是其他现象所引起的．即事物之间存在着因果的联系，一定的原因必然导致相应的结果，一定的结果必可追溯到相应的原因．因此，认识事物不仅要考察事物的内在构成要素，还必须进一步考察事物与事物之间的因果联系．事物之间的因果联系在本章功和能量变化之间表现得尤为突出．功是“功效”的功，力对物体做功，会产生一定

的效果——改变某种形式的能量．做功是引起能量转化的原因，能量转化是做功的结果，并可用功的大小去量度能量转化的多少．合力对物体做功，使物体的动能改变．重力对物体做功，使物体的重力势能改变；弹性力做功，使物体的弹性势能改变．能量转化形式的多样性是与做功形式的多样性相联系的，教学中应引导学生寻找各种形式机械能变化与相应的功之间的因果联系，以防混淆不清．

认识事物的因果性可以帮助学生了解事物之间制约与受制约的关系，但因果性对人们思考问题往往会产生一定的影响，即人们比较习惯于从因到果的顺向思维，而这种单向思维有时会有碍于他们对问题的解决．因此，教学中在引导学生认识功和能量转化之间因果关系的同时，还应引导学生认识两者间的可逆关系，即因为功和能量转化之间具有等量的关系，所以两者间的关系实际上也为我们提供了计算功（恒力的功或变力的功）的方法，即根据某种形式能量的变化，可以反过来求出相应的功．教学中还可以编拟一些诸如无法直接用公式 $W=F\cos\alpha$ 而只能根据物体动能变化反过来计算功之类的问题，要求学生解决，以训练学生逆向思维的能力．

五、能量形式的变中不变

机械能守恒定律是普遍的能的转化和守恒定律在机械运动中的表现，它是对学生进行对立统一、运动不灭等观点教育的好材料．应当充分利用这个材料，使学生建立正确的守恒观，并用守恒原理指导物理问题的求解．

守恒本质上是事物转化的一种关系，没有转化，就无所谓守恒．而事物的转化就是矛盾的转化．在动、势能相互转化的过程中，两者既相互排斥、相互否定，又相互吸收，相互贯

通，即既对立又统一．教学中，应注意在转化过程中讲守恒，多列举一些动、势能转化和机械能守恒的实例，使学生初步建立起这样一种思想：由于事物之间的相互作用，自然界中不同形式的运动会发生相互转化，一事物的增长总是伴随着另一事物的消减，而且两者在量上也存在着确定的等量关系．这就是变中有不变，在各种变化中总存在着某种恒定不变的东西．在某些量上存在的这种守恒关系，反映了自然界物质运动不生不灭的永恒性．

需要指出两点：

(1) 守恒与不变是不同的两个概念．守恒的本质是转化，是变中的不变．有些参考书中常将守恒与不变混为一谈，例如认为如图 1—6 的做圆锥摆运动的小球机械能守恒，这是不妥的，或者说这样的讨论是没有意义的．因为小球在运动过程中，动能与势能之间并没有发生相互转化．

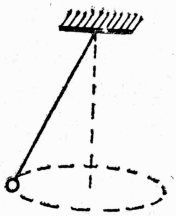


图 1—6

(2) 机械能守恒是有条件的，这反映了守恒性的相对性．守恒不守恒，与研究对象有关，还与守恒量的意义有关．例如图 1—7 中，轻杆一端用光滑铰链固定在天花板上，其上固定两只小球A、B，当杆下摆时，其中任何一个球的机械能都不守恒．但若取两球为一系统，则总机械能守恒．又如图 1—8 中，物块放在光滑地面上，当一子弹水平射入时，系统的机械能不守恒，但总动量守恒，能量也守恒．

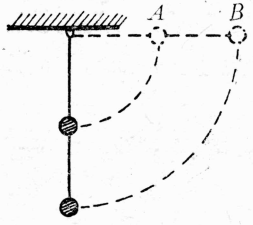


图 1—7

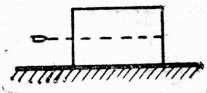


图 1—8

应当告诉学生，自然界中各种守恒关系为我们解决实际问题提供了一个有用的方法．利用守恒定律解题，可以不必纠缠过程的细节，只要守恒条件满足，抓住某些特殊状态，问题就可顺利解决．因此，在解题时，我们通常优先考虑应用守恒定律，然后再考虑用别的物理规律．

还应通过实例向学生指出，守恒定律能够肯定地告诉我们某些事件（即违反守恒定律的事件）是不可能发生的，但它却无法肯定地告诉我们哪些事件是一定能够发生的．要断定什么事件会发生，还要根据实际的情况，用到其他物理规律．所以，在解决具体问题时，我们往往不是单独运用守恒定律，而是综合运用其他物理规律．

第七章　机械振动和机械波

沈为民

机械振动和机械波是很重要的运动形式，也是高中物理在力学部分中向学生介绍的最后两种具体运动形式．鉴于它的复杂性，并考虑到学生的接受能力，在高中阶段只对机械振动和机械波中最基本的概念、最简单的现象进行一些讨论，使学生对这类运动形式有一粗浅了解，因此教学要求不高，本章属于非重点章．但本章中很多研究方法的教学要求与以往各章相比，有明显的提高．理想化模型方法将涉及实物模型与过程模型交织在一起的情况，且更重视原型纳入模型的条件；实验方法的运用显得更为突出，一是演示实验数量多，物理知识的传授更依赖于实验，二是更讲究实验条件的控制和实验精度的提高；波形图的学习和运用在难度上大大超过以往各章中图像方法的运用．因此，本章教学负有很重的方法教育任务，从这个意义上讲，本章又是重点章．

一、从简单到复杂，从特殊到一般

关于机械振动，高中阶段只研究最简单的一种——简谐振动．研究简谐振动的意义有两个：一是简谐振动作为具体的一类振动，有其自身的研究价值，很多振动，特别是一些小振幅的振动都可以当作简谐振动；二是简谐振动的知识是研究其他复杂振动的基础，各种复杂振动都可以通过分解的办法转化为简谐振动加以解决．这里，第二个意义体现了从简单到复杂，从特殊到一般的研究方法．

通过特殊的具体的事物来认识一般事物，是人们认识事物的一般方法，不过在物理研究中被运用得更加“精彩”．我们把它与等效处理等方法相结合，可以在众多的具体事物中选取最简单的事物作为研究的突破口，带动一类问题的研究．这种方法在物理研究中常被使用．教学中要利用研究简谐振动的第二个意义，对学生进行方法教育．我们可以把它与以往几章中出现过的类似处理相联系，使学生体会到这种方法的普遍性．在过去几章中，研究物体的运动时，先研究较简单的匀变速直线运动，再在此基础上运用运动的合成与分解这把“钥匙”来处理抛体运动等较复杂的运动；研究力对物体运动的影响时，先搞清力与速度在一直线上或相互垂直这两种特殊情况，然后据此分析力与速度成任意角的情况；功的计算公式 $W=F\cos\alpha$ 的推导也以初中介绍的特殊情况为基础．

二、理想化模型在振动研究中的运用

本章有多处涉及理想化模型．这里，既有理想化实物模型，又有理想化过程（现象）模型．教学中，我们不仅要让学生知道建立物理模型是物理研究的一种方法，知道哪些属于物理模型，更重要的是使学生领会理想化模型是经过怎样的抽象建立起来的，具体的事物又是通过怎样的抽象纳入理想化模型的．从而培养他们进行抽象思维的能力，提高他们用理想化模型思考和解决问题的自觉性．因此，在教学时要展示背景内容，让学生经历抽象的过程；同时让学生鉴别哪些事物可以纳入模型，哪些不行．

1．简谐振动

这是理想化过程（现象）模型．这一模型是这样提出来的：我们希望一开始着手研究的振动所受的回复力比较简单，

所以假设回复力与位移成正比；产生振动的条件之一是阻力足够小，我们就设想阻力不存在．经过这样理想化处理的运动形式就叫简谐振动，这样的振动实际上是并不存在的，因为实际振动不可能不受阻力，回复力严格与位移成正比的情况也几乎不存在．但是，很多实际振动在略去其次要因素后都可以纳入简谐振动这一模型，这也就是建立这一模型的意义之所在．

现在的课本是在分析弹簧振子振动的过程中提出简谐振动概念的．这样处理比较具体、直观，但是太具体了，物理模型的“味道”就不浓了，方法教育作用就会被削弱．因此，我们在利用弹簧振子帮助学生理解简谐振动概念时，最后一定要让简谐振动概念从弹簧振子这一具体形态中“脱胎”出来，成为独立的理想化模型．

我们经常碰到一些题目，要求证明某一具体振动属于简谐振动．这实质上是把具体事物纳入模型的问题，具有方法教育的意义．我们应从简谐振动这一理想化模型出发，引导学生思考简谐振动模型的根本特征是回复力大小与位移成正比，应牢牢抓住回复力，在具体情景中着力找出回复力，写出它与位移的函数关系．

2．弹簧振子

这是理想化实物模型．课本上把弹簧质量远小于小球质量的弹簧——小球系统叫弹簧振子．其实，作为模型的弹簧振子，其弹簧应是理想的完全没有质量的．课本上讲的弹簧振子只是可以纳入弹簧振子模型的一种实际装置．

弹簧振子模型为什么要求弹簧没有质量这一条件呢？事实上，弹簧形变量为 x 时，其两端产生的弹力为 $F=kx$，是有条件的．一般只有在弹簧无质量时，才有此关系式．如果弹簧存在质量，在很多情况中此式将不再成立．对此这里不作详细

分析，只举一个简单的例子．如图1—9所示，在光滑水平面上拉弹簧的一端，使其加速运动．众所周知，由于弹簧质量的存在，弹簧将被拉长，设伸长量为 x，若按胡克定律，弹簧两端将出现大小为 kx 的弹力，但显然弹簧的右端（自由端）并不存在弹力（因该端右边无质量），弹力 $F=kx$ 并不成立．

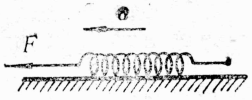


图 1—9

当然，对高中学生无法作上面的分析，因此他们对弹簧质量为零这一条件并不理解，过后容易忽略这一点，应通过一定的教学手段使学生对此引起注意．可以展示各种实验装置，让学生从中确认可以当作弹簧振子的装置．

还有一点也是容易被忽视的．一个实际装置能否当作弹簧振子是一回事，它的振动能否当作简谐振动又是另一回事．能当作弹簧振子并不保证其振动定是简谐振动．前者只表明这一装置经过科学近似可以纳入弹簧振子这一理想化实物模型，而它的振动能否纳入简谐振动这一理想化过程（现象）模型，还必须满足另外的相应条件．事实上，当弹簧振子所受阻力不能忽略或振动超出弹性限度时，其振动就可能不是简谐振动．这类问题，在研究单摆时比较注意，而讨论弹簧振子时容易忽略．

3．单摆

这也是理想化实物模型．与弹簧振子类似，研究单摆也会涉及两个模型问题．首先是实际的摆如何纳入单摆模型的问题，接着是它的振动如何纳入简谐振动模型的问题．两个不同的模型有不同的条件．对此，学生初学时容易混淆，以为如果一个摆可以当作单摆，那它的振动就是简谐振动了．

理想化模型方法也就是理想化方法，说到底就是两个方

面，一是建立模型，二是运用模型．在物理模型建立以后，后者就显得重要了．运用模型就是设法把具体事物纳入已建立的理想化模型之中，用模型遵循的规律直接处理具体事物．教学中要通过实例培养学生进行这种处理的能力．教材中证明单摆的小振幅振动是简谐振动，既从众多的力中寻找出回复力，又用上了科学的近似处理，是一个很不错的实例．讲述时要突出证明的策略和关键的细节．

如果教学基础较好，恰当地讨论一些较复杂的例子，对于帮助学生体会理想化模型方法的重要性，启发他们运用这种方法的自觉性是很有好处的．例如，摩擦板的振动是学生觉得很陌生又很复杂的一种现象，然而，当教师引导学生抓住回复力进行分析，证明这种振动是简谐振动，并直接运用简谐振动的周期公式导出摩擦板的周期公式，确认了影响摩擦板振动周期的诸多因素之后，学生首先会对研究问题的快速感到惊奇，继而就会深深地被这种处理方法所折服．

三、用图像描述振动和波

图像是研究物理问题的重要工具，用它表示物理现象或物理规律有简洁、直观的特点．高中学生在第二章直线运动中开始接触图像，其后几章也有接触，但比较零星．本章是学生第二次大量接触图像并且在对图像的理解、运用上，要求都有明显提高．

以往，图像都用来表示一个质点（物体）的某个物理量的变化情况，本章出现了表示许多质点情况的图像（波形图），反映的对象从质点扩展到质点系．同时，图像除了用来反映一个过程的情况，还用来反映一个瞬间的情况．这些新情况都是学生不熟悉的．波形图成为教学难点的主要原因就在于此．在

进行波形图像教学时，一定要使学生清楚波形图表示的是：许多质点，一个瞬间.

图像只是研究问题的一种工具，因此其正方向的规定完全是任意的，与实际方向没有必然的不可改变的对应关系. 同一个物理现象，由于正方向规定的不同，完全可以有不同的图像. 有的题目不严密，就是由于忽略了这一点. 例如“试由图1—10所示的波形图判断A对应的质点在该时刻的运动方向，”这一题目，没有给出波的传播方向，估计是把横轴的正方向与波的传播方向等同起来了. 其实，它们是两回事，没有必然的联系. 如果在学生头脑中形成这种想当然的联系，必然削弱对图像工具性的认识.

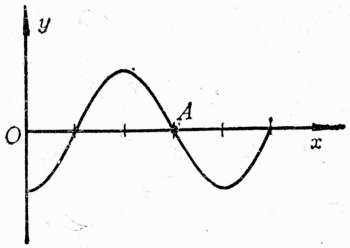


图 1—10

同样，作为工具的图像，其O点的确定也具有任意性. 在振动图像中，O点并非一定表示开始振动的时刻；在波形图中，O点并非一定表示波源的位置，只是我们研究范围内的一个质点；研究范围也是视需要而定的，甚至可以不包含波源在内，因此这种图像带有浓厚的主观性.

对以下这道题的答案有时会出现争议：“某横波在某时刻的波形图如图1—11所示，试画出该时刻后$\frac{T}{4}$时刻的波形图”. 有人认为正确的答案应如图1—12所示，图1—13所示的答案是错误的. 理由是经过$\frac{T}{4}$后，波传播了$\frac{\lambda}{4}$，$\left[\frac{3}{2}\lambda, \frac{7}{4}\lambda\right]$范围内的质点也已经振动了，也需要画上. 这种看法实际上把作为工具的图像与实际的波混淆了，以为我们所画的图像应能反映

整个波的情况．其实，图像只要能反映我们所关心的范围内的质点的情况就可以了，随着波的不断传播，参与振动的质点越来越多，我们的图像无论如何也无法把它们都表达出来．上题中原来画的是$[0,\frac{3}{2}\lambda]$范围，在没有特别说明的情况下，表明这就是研究范围，答案自然只需画出这一范围的情况，无须多画$\frac{\lambda}{4}$．所以图1—13所示的答案是正确的．

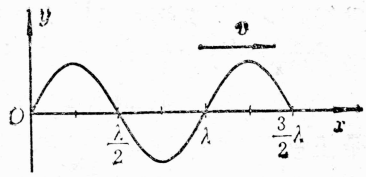


图 1—11

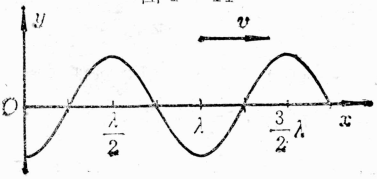


图 1—12

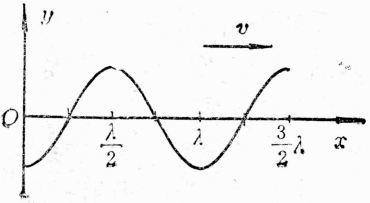


图 1—13

关于本章图像教学的要求，可以分成几个层次．最低的，应能根据图像直接读出显含的物理量．中间层次的，应能进行实际运动与图像的相互转化，应能由已知条件画出图像，应能由图像判断隐含物理量的情况（这是所有图像教学的共同要求，如由速度图线判断加速度与位移，由气体的 p—V 图判断温度 T，由电路的 U—I 图判断 ε、r 等）．高层次的，应能由同一列波在不同时刻的波形图分析波的情况，能把波形图和有关的振动图像结合起来进行分析．当然，最后一条，大纲明文不作要求，但在条件许可的情况下，引导学生进行讨论是有益的，可以加深对波的概念的理解．

四、实验方法

本章教材研究的现象比较复杂，从理论上理解它们困难较大；对有些现象，学生还有错误的生活经验；同时，他们也不具备用数学方法分析处理这些现象的基础．这样，做好实验，充分发挥实验的作用，就成为搞好本章教学的关键．教材安排的实验确实特别多，几乎每节课都有实验．

实验教学还有另一方面的重要意义．实验是研究物理的根本的方法．假设是否正确，理论是否需要修正，最终都要由实验来作结论．教学中的实验不仅是传授知识的需要，也是培养唯物论观点，进行方法教育的需要．教师要用自己对待实验的认真态度去影响学生，使学生通过亲身感受，确立物理学是一门实验科学的观念．

现在的教材没有简谐振动周期的一般公式，单摆的周期公式是直接给出的，需要安排演示实验对某些方面加以验证，哪怕只是定性的验证．

研究物体作受迫振动，很自然地会想到物体的固有频率与策动力频率都可能会影响实际振动的频率．那么，实际振动的频率究竟由什么因素决定呢？这个问题靠粗浅的分析是得不出结论的，学生也没有这方面的生活经验，生硬地让学生记住结论，教学效果会很差．建议做好受迫振动的实验，而且以探索性实验的形式组织教学．可以采用图1—14所示的实验装置．弹簧用细铅丝绕制，选择悬挂物的质量，可使振子的固有频率为45周/分，电唱机能

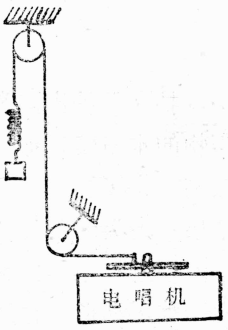


图1—14

提供频率为16周/分、$33\frac{1}{3}$周/分、45周/分和78周/分的稳定的策动力．学生通过自己的观察分别记下固有频率、策动力频率和实际振动的频率后，结论很自然地就出来了．而且实验中出现的共振现象将给他们留下深刻印象．关于共振，教师只要提出名称即可，不必再费口舌．整个教学过程成了师生共同实验的过程．

控制条件与提高精度是物理实验的基本设计思想，也是指导实验操作的原则．这在用单摆测定重力加速度的学生实验中体现得很充分．实验要用小钢球，悬线用丝线而且相当长，偏离不能超过5°，防止作圆锥摆运动……，这些都是为了控制条件，使摆能作为单摆，其振动能当作简谐振动．由多次振动的时间求周期，小球通过平衡位置的时刻作为计时的起止时刻等都是为了提高精度．与以往的实验不同，还要引导学生由公式分析各物理的测量误差对实验结果的影响，认识提高周期的测量精度的重要性．因此，这个实验是对学生进行实验方法教学的极好材料．我们在指导学生做实验时，要突出实验的设计思想，使他们在实验方法上有所收获．

五、抽象和概括

抽象是抽出同类事物本质特征的思维过程，概括是把同类事物的本质特征加以综合并推广到同类其他事物的思维过程．任何一个概念、一条规律、一个公式或原则都是抽象和概括的结果，人类的各种科学知识都是抽象和概括的产物．

经过抽象和概括的思维加工，机械振动和机械波才分别作为一种运动形式存在于物理的理论框架之中．因此，应该把振动和波的概念的讨论作为对学生进行抽象和概括的思维训练的

过程，要认真设计引入这两个概念的教学环节．引入振动这一运动形式时，可以向学生展示各种形态的机械振动：水平的、竖直的、沿直线的、沿曲线的，等等．在观察的基础上，引导学生进行抽象思维，找出它们共同的本质特征．波的概念的引入，也应建立在实验的基础上，可以把横波、纵波一起展示，让学生分析比较，从看似完全不同的现象中抽象出“振动的传播”这一共同的本质特征．

与研究力学的其他运动形式不同，研究振动和波这些较复杂的运动形式时，提出了相应的特征量．用特征量来描述这些运动形式．振动中有振幅、周期和频率，波有波长、波速．这种做法带有一定的普遍性，例如电学中研究交流电，也提出了最大值、有效值、周期和频率等．特征量是一类事物区别于他类事物的个性，又是这一类事物中各事物的共性．寻找和提出特征量的过程是一个抽象和概括的思维过程．振幅、周期、频率、波长和波速等内容具有思维训练的意义．

迁移是指将已经学过的知识在新情景中的运用．迁移能力的强弱很大程度上取决于抽象概括能力的强弱．抽象概括的水平越高，迁移的范围和可能性就越大．我们常常会碰到一些题目，需要将单摆的周期公式迁移到超重、失重的情况中去；以后学静电场时，又要把它迁移到存在静电场的情况中去．因此在讨论单摆公式时，有必要对公式中 g 的意义进行恰当的抽象和概括，最大限度地消除 g 的“具体色彩”，保留其抽象的内核，使公式能应用于广泛的范围．

第八章　分子运动论　热和功

沈正之

本章是热学基础知识．其内容有的已在初中讲过，有关重要的结论仅须通过回忆就可解决．因此在高中阶段要在复习、巩固、深化已学知识的同时，要让学生通过具体问题的分析，学习研究热学的方法．

分子运动论与热和功分别从微观与宏观角度研究热学问题，涉及的方法很多，又因具体的问题不同，即使是同一种方法也有不同的侧重，所以只能择要分析．但由于本章刚开始接触微观领域，所以较多地讨论如何从宏观现象揭示微观本质，以及如何从物质的微观结构引出宏观量．

一、通过假说模型认识分子世界

本章教材没有提“模型”一词．但教材一开始就介绍了德谟克利特的原子论，这实际就是一个物质微粒结构模型．但这只是一个尚待证实和进一步完善的假说模型．随着这一模型的证实和完善，逐步揭示出了物质内部微观世界的奥秘．

教材在确认构成物质的单位统称为分子后，就在物质分子结构模型的基础上，忽略分子具体形状和分子间存在空隙等次要因素，提出了球形分子跟分子紧密排列的补充假设，从而设计出油膜法实验，并粗略地测得了分子的直径．由此还求得了阿伏伽德罗常数．教材还把这些结果跟用其他方法得到的结果（如离子显微镜观测到的分子直径数量级、X射线测得的阿伏伽德罗常数）进行比较．测量结果的互相吻合，肯定了油膜

法及其设计思想的正确性．同时分子大小和阿伏伽德罗常数的测定，又从量的方面丰富了物质分子结构模型．

教材用上述模型完满地解释了水和酒精混合后体积减小的现象．这不仅肯定了分子间存在空隙，而且也说明了分子是一个个不连续的微粒．把分子看作球体是一种简化，其直径只是表示分子大小的数量级情况．

教材还凭借这个模型，并在假说分子作无规则运动的情况下顺利地解释了产生布朗运动的原因，从而揭示出分子热运动的特征．如果没有物质分子结构模型，就不可能有分子运动的假说，更谈不上分子作无规则运动．布朗发现并仔细研究以他名字命名的布朗运动，但终究未能解开运动之谜．这一历史事实足以说明物质分子模型对认识分子运动的作用．而分子热运动的发现，又充实了物质分子结构模型．

既然物质是由一个个的分子组成的，分子又在不停地做无规则运动，而且由于分子间的互相碰撞，必将使它们互相分离，最后必将充满它们所能到达的空间，犹如气体所显示的情况．但对于固体、液体而言，只有假说分子间存在着跟它们间隔离有关的相互作用力，才能解释固体与液体有一定体积的事实，并且也跟气体充满整个容器不发生矛盾．分子力的假说为物质内部的分子间的联系制约指出了原因．

到此为止，我们不难勾画出物质内部的微观世界的图景：一个数目庞大的，由相互作用联系着的，不停地作无规则运动的分子集体．这就是物质分子结构模型所提供的微观世界信息．这一信息包含了分子、运动和联系，跟辩证唯物主义的基本观点——物质、运动和联系完全符合．由此可见，物质分子结构模型在微观领域给辩证唯物主义以有力的支持．

我们还可以从上面所述内容看到人们认识微观世界的过

程：即从假说出发，经过推理而得到阶段性的结论，再经过事实(或实验)的检验，对假说判定真伪.如果假说得到证实（或完满地解释事实），认识就前进一步．循此前进，认识逐步深化.

从假说出发认识客观世界的方法对于缺乏资料、有待探索的新领域具有特殊重要的意义.

假说是理性认识，其认识源泉是实践．首先，假说的提出是为了解决实践中遇到的问题，如原子论是为了解释世界的多样性．其次，假说总是在一定的事实基础上提出来的．如原子论就是在物质可分性的基础上建立起来的．正由于这一实践的广泛性，所以即使把物质分割到不能直接感知的微粒，但人们仍然确信微粒的存在．也正由于实践的广泛性，所以古希腊的德谟克利特能提出原子论，古代中国的儒家和墨家也提出了原子观点．由此可见，假说的本源是实践．人们在实践基础上随着认识的发展，必然会发现微观世界，至于谁首先发现可能是偶然的．但是有一点是肯定的，首先发现的人必须是勇于探索、勤于思考的人.

二、有关分子实验中的两种观测变换

在以研究分子属性为目的实验中，最大的难题是怎样才能观测到对象．为此，教材提供了两种方式：一是改进实验手段，用放大200万倍的离子显微镜直接显示分子(目前已发现了扫描隧道显微镜和原子力显微镜，分辨率更高——参阅《物理通报》1991年第3期封里）．二是把不能观测到的分子转变为能够观测的对象，然后根据观察结果推断分子的情况，从而实现对分子的间接观测.

实现间接观测的关键在于观测变换．按照分子与观测对象之间的关系，可以分为以下两种：

1.积累法

积累法把不能观察到的分子和分子效应通过其自身的积累而成为可观测的宏观物和宏观效应．然后根据对宏观物和宏观效应的观测结果来推断分子和它的效应．油膜法测分子直径就是一个例子．在这个例子中就是"积"不能观察到的油分子体积为能观测的油滴体积和油膜面积(单分子油膜)．然后根据宏观领域中的体积、面积跟厚度之间的几何关系求得油分子的直径．

其他如扩散，显示压紧铅块间的引力，以及显示分子间存在空隙的实验等等，都是积累法的具体应用．

2.作用显示法

在布朗运动的实验中，液体分子的运动通过悬浮颗粒的运动来反映．分子与颗粒的关系是作用与被作用的关系．直接观测不到的分子运动经过被作用的中介物——颗粒而显示出来，从而为推断分子运动的情况提供了事实依据．

用被作用的中介物来显示作用物的性质，是物理学中常用的观测变换．例如以检验电荷受力来反映电场的性质，以发屑和铁粉显示电力线和磁力线等，都是属于这一类观测变换，甚至如获得诺贝尔奖的威尔逊云室，也可以说是这一方法的发展．

总之，在讲实验时应该把观测变换的方法渗透进去，让学生从中得到启迪．

三、用推理方法沟通宏观和微观领域

在观测变换中我们已经遇到了从宏观到微观和从微观到宏观两种推理．这两种推理在本章有很多例子．

1．用类比推理引入内能的概念

类比推理是根据两类不同事物存在某些相似点而推出其它可能有的相似点．分子动能、势能和物体内能，就是从微观领

域跟宏观领域中存在的某些相似点引出的新概念.

为了简化推理过程，将3种能量列表如下. 物体的内能虽是宏观量，但在表中所列的定义揭露了它的微观本质，所以列入微观部分.

列入的新概念	宏观		微观	
	前提	结论	相似的前提	推出的结论
分子动能	运动着的物体	具有动能	运动着的分子	具有分子动能
	具有不同速率的物体	有着不同的动能	各个分子的速率不同	各个分子的动能不同
分子势能	有相互作用的物体	具有由物体相对位置决定的势能	分子间有相互作用力	具有由分子间相对位置决定的分子势能
	拉长弹簧表现为拉力	随着弹簧长度的增大，弹性势能增大	分子间的距离大于 r_0，分子间表现为引力	随着分子间的距离增大，分子势能增大
	压缩弹簧表现为斥力	随着弹簧长度的缩短，弹性势能增大	分子间的距离小于 r_0，分子间表现为斥力	随着分子间的距离减小，分子势能增大
物体内能	物体具有动能和势能	系统中所有物体的动能、势能的总和，叫做系统的机械能	分子具有动能和势能	物体中所有分子的动能、势能的总和，叫做物体的内能

由表可见，类比推理具有如下优点：

（1）以熟悉的知识和模型为基础，可以化抽象为具体，通过迁移，化难为易，便于对新知识的理解.

（2）简化了推理过程.

类比是在两类本质不同的事物间进行的，因而必须注意：

（1）类比必须在一定限度内进行. 例如以弹簧连接的小球跟分子力类比，只能定性说明分子的引力、斥力跟距离的关系，如果扩大到定量范围就不适用.

（2）类比是一种或然推理，推理的结果可能对（两类事物的相同点），也可能不对（刚好是两类事物的不同点）. 而类比本身又不能制定推理结果的对错，因此必须借助于其他方法来检验. 对此我们在后面再进行讨论.

2. 用演绎法揭示温度、体积跟内能的关系

物体的机械能是由物体的质量和位置、速度(两状态参量)决定的. 物体的内能是由物体的质量（摩尔数）和温度、体积（两状态参量）决定的.（状态参量还应包括压强，但它跟温度、体积间有一定的关系，即当温度、体积确定后，压强也就确定了，因此独立的状态参量只有两个，现根据教材要求，只提温度和体积）. 内能跟质量、温度和体积的定性关系，教材是通过以下的演绎过程而得到的：

物体的温度升高→分子的热运动加剧→分子的平均动能增大→物体内所有分子的总动能增大→物体的内能增大.

物体的体积发生变化→分子间的距离改变→分子的势能变化→所有分子的势能总和发生变化→物体的内能变化.

物体的质量（摩尔数）增大→物体内的分子数增多→物体的内能增大.

上面三个联言推理中，在进行任何一个推理时，都假定其

他两项是不变的．这是多因素推理中经常采取的方法．

对一具体的物体而言，通常认为质量是不变的．在此前提下，物体的内能只跟它的温度、体积有关．如果温度或体积发生变化，则物体的内能亦发生变化．

四、 用统计方法统一分子个性与分子群体的矛盾

从微观的角度去考察一个个分子，我们就会看到各个分子并不是相同的．这不仅表现在各个分子的速度不同，还由于同位素的存在，即使是同种物质的分子，其质量也有差别．这些就构成了各个分子的差异性．这是问题的一个方面．问题的另一方面就是宏观现象是反映分子群体的性质的，是确定的，或者说唯一的．也就是分子的多样性跟分子群体的统一性之间的矛盾．统计规律是反映大量偶然事件整体性质的规律，是解决上述矛盾的基本规律．因此，统计方法是从微观角度研究热学的基本方法．

分子热运动是遵循统计规律的．这可以用统计规律推得（悬浮着的）小颗粒和较大颗粒不同运动，并被观察事实所证实（参阅教案）．因此可以这样说：布朗运动证实了分子运动是遵循统计规律的．

另外，教材在描述分子的紊乱运动时，除了指出各个分子有的速率大，有的速率小，还特别提出了速率很大和速率很小的分子是少数，大多数分子具有中等大小的速率．这一定性的描述，实际上就是速率分布规律，是统计规律的表现．

用统计平均值来反映分子集体中所有分子的共性（也可以说用平均值来消除差异），再由平均值建立跟宏观量的联系．这是本章用到的主要统计方法．

例如分子的质量分别为 m_1、$m_2\cdots m_N$，则平均质量

$$m=\frac{m_1+m_2+\cdots+m_N}{N}=\frac{M}{N}.$$

式中M是物体的质量，是宏观的量；N是物体中的分子数.

再如由于分子间存在空隙，空隙的大小是不均匀的，因此各个分子所占的空间分别是V_1、$V_2\cdots V_N$，则每个分子平均所占的空间为

$$\overline{V}=\frac{V_1+V_2+\cdots+V_N}{N}=\frac{V}{N}.$$

式中V是物体的体积，N是物体中的分子数.

实际上我们不可能测定一个个分子的质量或所占的空间，所以上面式子只具有说明统计平均值意义的作用. 而通常总是用阿伏伽德罗常数 N_0、摩尔质量 M_0 和摩尔体积 V_0 求分子质量m与分子体积V，即

$$m=\frac{M_0}{N_0};\quad V=\frac{V_0}{N_0}$$

显然由此求得的不是哪一个分子的质量和体积，而是全体分子的平均质量和平均体积. 由此可见，统计平均值是反映分子群体性质的量. 至于对具体某个分子或某些分子的值，则可能比平均值大，也可能小.

从上述观点出发，我们就容易理解“研究热现象时，有意义的不是一个个分子的动能，而是物体所有分子的动能的平均值”这一观点了. 至于温度跟分子平均动能的联系，比上面两个例子复杂得多，所以教材只能从温度对布朗运动和扩散现象的影响，直接提出“温度是物体分子平均动能的标志”这一结论.

统计规律是分子热运动的基本规律，是区别热运动和机械

运动的重要标志，所以应在教学中渗透．但限于学生的水平，不能讲得过多过深．

五、 能的转化和守恒定律的建立及其功能

能的转化和守恒定律的确立是许许多多的科学家从不同的领域，采取各种方法，经过长期探索的结果．它是有着极其广泛和深厚基础的普遍自然法则之一．教材虽然只着重介绍了焦耳的研究工作，但我们也可从中看到发现这一法则的方法：焦耳是用实验方法研究热传递和做功在改变物体内能上的等效性，从而测定了热功当量．他还通过摩擦做功、电流做功等方式改变物体的内能，不仅实现了机械能跟内能、电能跟内能以及其他能跟内能间的转化；并从热功当量的一致性，认识到内能的增加量等于其他形式能量的减少量．教材在枚举以上事实后，再用“大量事实证明”加以扩展而得出能的转化和守恒定律的．

能的转化和守恒定律是物理学的基本定律，对物理学的发展有着极其重要的贡献．如从光电效应发展到光子理论、玻尔对原子光谱的解释、波粒二象性的揭示、中微子的发现等等，无一不是应用这一定律的结果．

能的转化和守恒定律说明了各种形式的能可以互相转化，但转化的过程是多种多样的，甚至是很复杂的，但根据转化中的守恒，就可以避开转化过程，使复杂问题简单化．例如我们目前还没有弄清原子核力，更谈不上核力如何做功，但我们已经能够利用原子能发电（当然已有质能方程，但用了质能方程后还是要用能量规律）．高中学生通过机械能守恒定律的学习，对应用能量观点解题可以使问题简单化虽然有所认识，但

体会不深，因此要以能的转化和守恒律的教学为契机，加强用能量观点分析问题和解决问题的训练，为今后的学习和工作奠定良好的基础。

历史上为了提高蒸汽机的效率，推动了能量问题的研究，把能的转化和守恒定律表述为（第一类）永动机不能实现，就是历史的痕迹．所以说明能量问题是发展经济、推动生产的重要基础．能源是我国经济建设的战略重点．要依靠科技进步来发展经济，就离不开能量问题．例如开发新能源，合理利用能源，发展节能新技术新产品等，都是能量问题．因此，能量观点既是衡量科技进步的一个重要标志，也是科技意识的重要内容．

能的转化和守恒定律的发现，为辩证唯物主义提供了重要的科学支持．因此，这一内容也是渗透辩证唯物主义思想教育的重要材料．主要表现为以下两方面：

第一，能量是物质运动的量度．能的转化和守恒本质上就是物质运动的转化和守恒．能量既不能创生，又不能消灭，说明物质的运动是永恒的，运动是物质的基本属性．这就是物质运动的绝对性．能量能够从一种形式转化为另一种形式，说明物质运动形式的多样性，它们互相联系、互相转化，它们的出现是有条件的，所以具体的运动形式是相对的．但是它们又统一于“守恒”之中．所以能的转化和守恒是物质运动的绝对性和相对性的统一，是统一性和多样性的统一．

第二，物质运动的形式是无限的，但它们是可以互相转化的．因此可以从已认识的运动形式去认识尚未了解的运动．所以对无穷的世界，人类的认识也是无限的．世界是可知的．

除此之外，还有量变与质变、对立与统一、否定之否定等等方法教育因素，这里不再一一分析列举．

第九章　固体和液体的性质

姜水根

本章教材所涉及到的有关固体和液体方面的知识还是比较基本而简单的，但其中蕴含的一些物理科学的方法却是丰富和多方面的，其中有的方法虽然对于中学生是首次接触，但其用途甚广，影响深远.

一、研究物质微观结构的模型方法

学生从高一起就学习了理想化模型，比如质点、刚体、光滑平面、匀速直线运动等. 这是在了解了事物的全貌，或认识了事物的本质之后，把要研究的事物的本质抽象出来，成为理想化模型，用以代替客观原型，这是物理研究中常用的理想化方法. 还有另一种情况，即当人们还未了解事物的全貌，还未认识其本质，而是根据一定限度的观测以及实验资料，提出一种假说，来代替客观原型，这是阶段性的假说模型，这是物理科学中常用的模型方法. 这种方法在研究物质的微观结构中特别重要.

教师对这两种方法的重要性都有相当的认识，但是在教学中的处理往往大不一样. 对于理想化方法，大家往往从质点教学一开始就予以充分的重视，因而学生对理想化模型的理解与运用都比较好. 而对于模型方法，却并不是从一开始就予以充分重视的，往往直到学习物理光学和原子结构时，模型方法大量呈现，那时学生在众多的模型面前，就会显得无所适从. 因此在本章进行的晶体的空间点阵结构的教学中，当学生首次接

触模型方法时，就应当充分重视.

假说模型在提出时就履行其解释功能. 人们是根据晶体的外形和物理性质的各向异性提出空间点阵的结构的. 食盐晶体是由钠离子和氯离子等距离地排列在三组两两垂直的平行线上，我们从外观上的确可以看到小盐粒的正方体形状（或别的形状），都是有棱有角的. 石墨和金刚石的点阵的不同，造成了它们强度的区别. 点阵模型能很好地解释晶体的物理性质.

假说模型仅仅停留在解释现象是不够的，随着实践的发展，假说模型要经受实践的检验，履行其判据功能. 当假说模型与实践发生矛盾时，它将被否定（扬弃）. 当假说模型与实践一致时，模型被肯定，或进一步证实. 晶体的空间点阵模型是19世纪中叶提出的，在20世纪前期，劳厄等人用X射线衍射的方法，得到实验的结果可以推断晶体中原子排列，并测出晶体的晶格常数，证实了晶体的空间点阵模型的正确性. 随着探测手段的发展，现今的电子显微镜能分辨出相距1埃*的两个物点，可以分辨到单个的原子. 所以，现在人们用电子显微镜对晶体内部可以直接进行观察和照相，进一步证实了这种模型是正确的.

二、有序和无序

研究我们的世界的有序和无序是一个很普遍的问题，本章研究的是物质微观结构的有序性，它是晶体区别于非晶体的根本原因. 为什么在云母晶体上的薄石蜡层被热钢针熔化成椭圆形，而玻璃板上的薄石蜡层却被热钢针熔化成圆形呢？这样宏观上的物理性质的各向异性与各向同性的区别正是来自微观上

---

* 埃不是长度的法定计量单位，将逐步废弃不用. 1埃$=10^{-10}$米.

的有序和无序.

有序和无序是相对的，单晶体的点阵结构是完全有序的，多晶体的每一个小单晶是有序的，而小单晶的排列是无序的. 我们可以把金属结构看成每个原子占有确定的格点仍然是有序的，那么合金（比如由A和B两种成分组成）呢？虽然合金晶格中原子占有的位置是有序的，但是占有格点的原子的成分或是A或是B，表现为无序. 掺杂的半导体材料也是这样. 液体的结构也是短程有序的，这种有序的区域随时间在变化. 而液晶可以在电压控制下在有序与无序之间实行转化. 我们如果把液晶的这种变化类比到铁磁物质的话，那么就把安培电流取向一致的叫有序，取向不一致的叫无序，这样在外磁场的作用下可使铁磁物质在无序和有序之间实行转化.

三、对　称

在物理科学的研究中，对称方法往往是很有用的. 本章研究的晶体具有一个显著的特点，就是对称. 晶体的外形是对称的，食盐的晶体是立方体，明矾的晶体是八面体，石英的晶体中间是六面棱柱，两端是六面棱锥. 我们都说这些晶体具有规则的几何外形，实际上它们绕某一根轴转过一定的角度后就能与原来的位置重合，或关于某个平面反射对称. 从晶体的微观结构看，它们的严格有序正是其点阵的对称性. 它们具有几次旋转对称或平移对称. 从对称的观点去观察晶体与非晶体，就看清了晶体与非晶体微观结构的有序与无序的本质.

正如用守恒的观点去分析物理问题，可以使我们避免运动过程的细节而抓住守恒量这个关键，简洁地解决较为困难的问题那样，用对称的方法去分析物理问题，可以使我们避免复杂的不规则状态的计算，而抓住每一个具体问题的对称性方面的

特点进行分析，使问题的解决大为简化．本章的教学对于对称方法的要求并不高，但是在教学中培养学生有意识地从对称的角度去观察事物，逐步树立对称方法是研究物理的一种基本方法的观念是不无益处的．

四、理性方式和感性方式

人们解决问题的思维方式，按解决途径可分为两种：理性方式与感性方式．所谓理性方式，是用计算或推理的方法，逐步论证，达到解决问题的目的．所谓感性方式，是用试验的方法，直接显示结果，解决问题．例如我们要求一个物体的重心，用理性方式就是用重积分计算，用感性方式就是用悬挂法作出铅垂线的交点．这两种方式各有自己的适用范围和优缺点，在实践中的发展还会交互作用．

我国学生由于从小学开始的长期的数学教学进程中偏重推理的训练，忽视感性操作的训练，造成了我国学生在解决问题的思维方式上习惯于理性方式．应当说，这样的训练对学生解决问题的能力的培养是瑕瑜互见的．针对我国学生的实际情况，需对感性方式的培养予以充分的重视．本章教材具有培养学生用感性方式解决问题的丰富题材．液滴在消除重力影响的条件下其表面受张力作用呈球形，可以观察橄榄油在水和酒精的混合液里的现象．肥皂膜的收缩使棉线拉成弧形，使棉线圈张成圆形（如图1—15），如果用一个立方体铁丝框架浸入肥皂水取出后，肥皂膜会成图1—16的形状．这两种现象都是肥皂膜的面积取到极小值；浸润现象发生凹形弯月面与不浸润现象发生的凸形弯月面；毛细现象在粗细不同管子中的高度差不同．这些都可以用感性和理性两种方式给予解释．本章的作业是学过知识在实践中的应用，应引导学生在解释现象之前或之

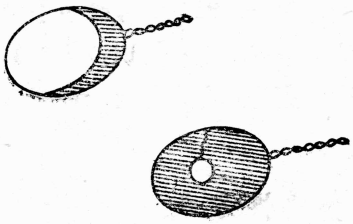


图 1—15

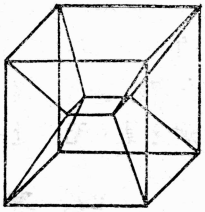


图 1—16

后亲手做一下以下实验：缝衣针和硬币可以放在水面而不沉，玻璃断口在火焰上烧熔变圆，篾箩可以盛水（少量水）等．人们常说，欲知结果，一试便知．这就是指感性方式，感性方式是解决问题的一种重要方式，它快速、直观、启发性强．我们要通过物理教学逐步培养学生善于交替地使用理性和感性两种方式解决实际问题的习惯．

第十章　气体的性质

童晓弘　杨润田

本章是高中物理的重点章．从知识内容看，它与第八、第九两章一起构成了独立的知识体系．从科学研究方法看，它在继承力学的许多研究方法的同时，又增添了一些新的研究方法，例如外推法导致热力学温标的创立，建立微观气体模型使人们对宏观实验规律获得了本质的认识．此外，教材中还渗透了一些统计观点．本章在方法教育上，不但可以使学生对几种主要的研究方法获得再认，对同一研究方法在不同的知识领域中的共同价值得到确认，而且使学生对科学研究方法的本身的认识也不断得到丰富和充实．在教学过程中重视科学方法教育，对学生掌握本章的一些概念和规律，提高他们能力是有帮助的．

一、类比法及研究气体性质的基本思路

由于气体形态的不确定性和不易被感官感知的特点，高一学生初次涉足“气体”这一新的知识领域时，往往有一种抽象和神秘的感觉．运用类比的方法，能使学生在已有知识和经验的基础上，比较容易掌握有关的一些概念和研究方法．

教学中至少有三处可以用类比来引入新知识或帮助理解有关概念：

（1）类比机械运动，提出研究气体先要区分“状态”和“过程”——研究入手点的类比．

（2）类比雨滴对伞面的压力，启发对气体压强产生的理解

——理解物理概念的类比联想.

(3) 类比牛顿第二定律实验，提出寻找 p、V、T 三参量关系时的变量控制问题——研究方法的类比.

其中类比(1)、(3)具有普遍意义. 它包含了确定研究的目的是认识气体的状态变化规律，研究对象是一定质量的气体，从而使表征气体状态的物理量减少为 p、V、T 三个，同时又给出了控制变量的实验研究方法. 当人们着手于一个新的领域或新问题的研究，感到茫然无措或束手无策的时候，如果能与以往的卓有成效的研究进行类比，循着“目的——对象——参量——变量控制——综合成果”的思路思考，会比较迅速地找到一块立脚地或研究的入手点，从而稳步地展开问题. 教学中注意渗透这些类比方法的教育，对提高学生解决问题的能力是不无裨益的.

对于气体压强的产生，先入为主的“液体压强”的概念将左右学生的认识而产生负迁移. 除了例举打足气的皮球内的压强可以大于大气压强来纠正外，还必须从分子运动的微观角度予以解释. 雨滴撞击伞面的例子，学生会有体会的. 还可以做一些带有“模拟雨滴”的简单演示：将磅秤上的托盘反放，然后将大量豆子均匀地撒落到托盘上，虽然豆子都弹落了，但由于连续不断地撞击盘底，使盘受到一个持续的压力. 使一个抽象的问题，通过具体形象的实例来激发学生丰富的联想，加深理解.

二、隔离法在确定气体压强中的应用

确定封闭气体的压强是进行状态分析的关键和难点. 一般来讲封闭气体总要通过水银、活塞等物体与外界大气或其他封闭气体相关联，只要隔离关联物体，对它进行受力分析，便能

找到封闭气体的压强和外界压强的关系.

图1—17所示的玻璃管内A、B为两段空气柱，C、D部分的水银柱长度分别为h_1和h_2，大气压强为p_0. 试确定空气柱A、B的压强.

有学生认为有$p_B=p_A+p_{h_1}$，必然会有$p_0=p_A+p_{h_1}+p_B+p_{h_2}$. 错误的原因在于把各部分的压强关系看成简单的相加. 如果我们隔离关联物体C、D（图1—18），分别对它们进行受力分析，可得：$p_AS+pgh_1S=p_BS$，$P_BS+pgh_2S=p_0S$，则$p_B=p_A+p_{h_1}$，$p_0=p_B+p_{h_2}$.

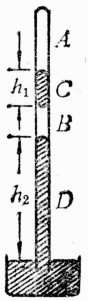


图1—17

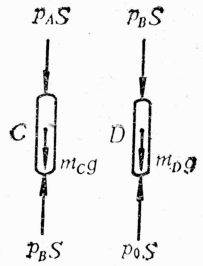


图1—18

又如图1—19所示，活塞和气缸光滑无摩擦，活塞的截面积为S，重力未知，气缸的重力为G. 将气缸用弹簧秤悬空挂起，弹簧秤的读数为F，大气压强为p_0，求封闭在气缸中的空气的压强p.

我们可以隔离活塞（或气缸）进行受力分析（如图1—20）.

$\therefore$ $F=G+G'$（设G'为活塞重力），

而 $F+pS-p_0S-G'=0$，

$\therefore$ $p=p_0-\dfrac{F-G'}{S}=p_0-\dfrac{G}{S}$.



图 1 - 19



图 1 —20

用这种方法确定封闭气体的压强，从本质上找到了封闭气体与外界的联结点，注意了新旧知识的融会贯通，具有较大的可接受性，可以防止学生在确定压强时的牵强附会．这是本章教学的一个基本环节．

三、实验是研究气体性质的主要方法

教材循着科学发现的序展开．先通过两个演示实验，把玻——马定律和查理定律介绍给学生．然后，又安排了一个学生实验，使学生得到一次控制实验条件，手、脑并用的实践机会，意在巩固知识和培养他们的实验技能；接着，课本介绍了在查理定律的启示下，通过“外推”建立热力学温标，从而使查理定律简化，揭示实验是这种理性思维的基础．对于实验定律的适用范围，也是通过在极端情况下进行实验，发现实验结果与定律有严重偏差，从而说明定律仅适用于温度不太低、压强不太大的实际气体，并由此提出“理想气体”的理想化模型．最后，在实验定律的基础上通过推理得到气态方程，还安排了一个选做实验，说明这一推理的正确性完全可用实验的方法加以验证．为了拓宽学生的知识面而安排的选学教材中，所

列出的一系列气体的性质和概念，也明确说明是从实验得到的．教材这种清晰的脉络，充分展示出贯穿全章的实验方法主线，给学生留下较深的印象——实验方法不仅是获取物理知识的基本方法，还是检验物理理论和学习物理知识的重要方法．在教学展开的进程中，不断地强调实验的地位和作用，本身就是实验方法教育的一个重要方面．

在自然条件下发生的物理现象常夹杂着多种因素的干扰和影响，使人们无法从纷杂的自然现象直接获得可以上升为物理规律的知识．实验可以创设一种特定的物理环境，把次要因素和干扰因素一一排除，突出反映研究对象本质的主要因素，以进行有目的的研究．在这一方面，用玻—马定律的演示实验提供了一个良好的范例：阀门涂上凡士林，漏气的影响控制到可以忽略的程度，可以认为气体的质量保持一定；实验进行得比较缓慢，使封闭气体和外界充分地进行热交换，就可以认为气体的温度和室温保持相同．这样，由于参量m，T得到控制，要研究的p，V两个参量就被人为地突出了．同样在学生实验中，活塞上涂少量的润滑油，注射器口加橡皮帽，实验时不要用手握住外筒的目的都应该让学生理解．控制条件是为了创设理想化的物理环境，是实验的灵魂，是实验方法的生命力所在；也是学生掌握实验方法所需要吸取的精髓，是教师在教学中应该下功夫的地方．

四、外推法及热力学温标的创立

所谓外推，就是按某种趋势，把已知规律推向未知领域．查理在实验室的条件（常温、常压）下得到压强和温度间的线性关系，把查理定律外推到低温领域仅仅是一种“科学幻想”，事实（实验）证明这种推测是失败的．但是由外推而创

立了热力学温标，是物理学的一大创举，它除了使查理定律和盖·吕萨克定律的表述得到简化以外，最主要的贡献是推动了人类对低温领域的研究.

教学中，要注意防止学生在作查理定律（盖·吕萨克定律类同）图线时，出现物理意义上的差错，在低温段要用虚线表示（如图1—21），仅表明图线的趋势，说明低温下查理定律是不适用的.

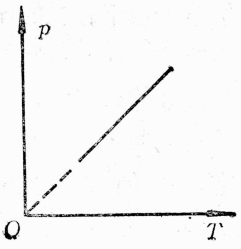


图1—21

外推是科学思维的一种重要方法，虽然具有科学的不确定性和冒险性，但是它的科学发现价值也就存在于不确定和冒险之中. 近年来，课本内容几经修改，本章的要求已经降低了不少，而对外推法创立热力学温标的叙述，却始终没有减少，足以说明它的方法教育价值.

五、等效方法在推导气态方程中的运用

自然界的事物、现象、过程之间往往存在着许多共同点、相似点. 不但求异思维有创造力，求同思维也可以有创造力. 有时候把两个通常认为毫不相干、相去甚远的事物、现象或过程联系起来，一旦发现它们间的共同点或相似点，就有可能导致新的发现. 等效方法是科学思维的相似性原则的一个具体形式.

然而“等效”必须视问题的性质，不应是盲目、无根据的等效. 三个参量同时变化的过程与等温和等压过程本来是不相干的. 如果从能量的角度来考察，一定质量的理想气体，从 p_1、V_1、T_1 状态直接变化到 p_2、V_2、T_2 状态，跟先经历一

个等温过程从 p_1、V_1、T_1 状态变化到 p_1'、V_2、T_1，再经历一个等容过程变化到 p_2、V_2、T_2 状态相比，只是内能的变化相同，作功和吸热的情况完全不同，这样前一个过程便不可以用后两个连续的过程来等效．现在我们仅从状态变化的角度来考察，等温变化先使体积参量变到 V_2，等容变化再使压强参量变到 p_2，由于描述一定质量的气体状态参量只有三个，这时温度参量也必然变到 T_2．因为前一过程的初态和末态与后两个连续发生的过程的初态和末态是相同的，这样把描述后两个过程的状态变化的规律综合起来就可以用以描述前一个过程的变化．这样，对于三个参量同时变化的复杂情形，就找到了比较简单的解决途径．这是一种很有实用价值的处理方法．

这里，我们不妨仔细地回想一下，验证玻—马定律的实验过程实际上不是一个等温过程，验证查理定律的实验过程也不是一个等容过程．只不过是把每一次实验操作的始、末两个状态都控制在同一条等温线或等容线上．从这个意义上来说，我们也要把这两个实验称之为等温或等容变化的等效实验，这种等效仅仅是限于对 p、V、T 三个状态参量间的关系探讨．

六、气体状态变化图像的丰富内涵

图线教学是高中物理的特色之一，因而受到教师们的重视．借助于图线形象、直观的特点，可以加深对物理规律和概念的理解，启迪智慧，有助于改善思维的灵活性、深刻性和周密性．

例如，比较 p—V 图上的两条等温线 a，b（图 1—22），

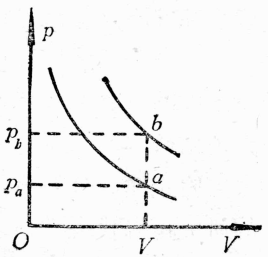


图 1—22

可能的情况有很多种，其中最特殊的情况有两种：①在 a，b 所对应的气体是同种气体且质量也相等的情况下，b 的温度高于 a；②在 a、b 所对应的气体是同种气体且温度相同的情况下，b 的质量大于 a. 只要稍加分析，学生就能接受上述说法. 我们在 a，b 上找到对应同一体积时的压强 p_a，p_b，就可以作出判断，对同种气体在 m，T 相同的情况下，T 越高 p 一定越大；在 T，V 相同的情况下，m 越大 p 一定越大. 在这个基础上我们还可以结合数学知识作出综合，得出 $pV=C$ 中常数 C 的数值大小与气体的种类、质量、温度、单位有关. 图线教学的弹性比较大，类似的比较还可以在 $p-T$ 图或 $V-T$ 图上进行. 也可以运用图线来分析实验误差产生的原因.

利用图线进行分析、综合，使抽象的思维活动找到一种形象、具体的依托，从而降低解决问题的难度，这是培养分析能力的一条有效途径.

七、模型方法及实验定律的微观解释

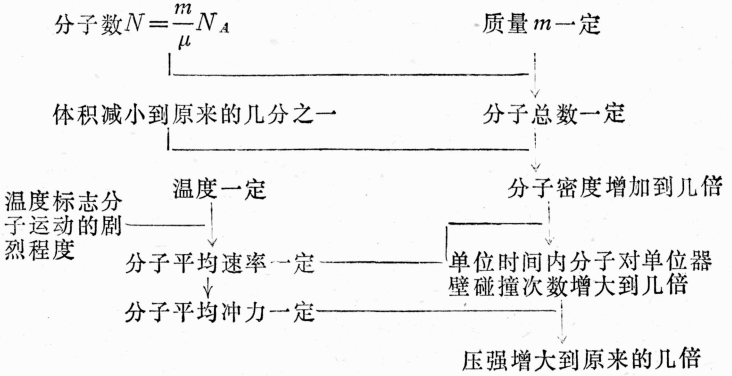
模型是原型的科学抽象，与原型具有相似性、代表性和外推性的关系，它同时还是物理理论和客观规律的中介物.

气体的三个实验定律是客观的实际气体状态变化规律的反映，它已经上升为物理的理论. 但是种类繁多的实际气体中有一些往往并不严格地遵守这三个定律，有的甚至有严重的偏差. 从在通常的温度和压强下不易被液化的诸多实际气体中，抽象出能够严格遵守三实验定律的气体称之为“理想气体”，作为理论研究的对象. 由于理想气体与原型的相似性就在于对三个实验定律、气态方程和热力学定律的遵循方面，对理想气体的研究可以代表对诸多实际气体的研究，理想气体的研究成果也可以外推到实际气体，它们间的差别甚小，但是不能外推

到水蒸气等一类不能当做理想气体的实际气体.

从实验的角度来研究气体的性质，仅使人们“知其然而不知其所以然”。由于人们的这一个不满足，又导致了建立微观的分子运动理论，试图对实验定律作出解释. 由于问题性质的不同，采用的理想化模型也就不同. 理想气体的微观模型把气体分子看成弹性小球，分子间仅在碰撞时有相互作用. 这一理想化处理就抓住了气体分子运动的主要矛盾，就可以把单个分子的运动纳入经典力学的框架.

对气体实验定律的解释，实际上是以演绎推理的方式进行的论证. 这种论证由一连串环环紧扣的演绎推理组成，结构严密、文字简洁、节奏明快，给学生一种完美、满足的感觉. 玻一马定律的论证过程如下：



学生在学习力学的基础上，能够理解：①分子速率的大小与分子对器壁碰撞时给器壁的冲力大小有关；②单位时间内气体分子对器壁的碰撞次数与分子密度及分子平均速率有关. 但在推理时对这两点尚需明确交待，以作为推理的依据之一.

当前，学生对教科书中的问答题的解答困难较多，他们的

解答往往逻辑性不够严密。教师在课堂上引导学生进行上述推理，有助于推理论证能力的培养，这也是高中物理教学区别于初中物理教学的所在之处。

第十一章 电 场

张培荣

本章讲的静电学的基本知识，是学好整个电学的基础．通过本章的教学，学生不但能学到场强、电势和电容等基本概念和库仑定律、静电平衡及带电粒子在匀强电场中的运动规律，而且要学到有关场的研究和描述方法，并且继续学习理想化方法、用比值定义物理量的方法，以及比较集中地受到比较、类比、归纳和演绎、分析和综合等的思维方法的训练．由于本章概念比较抽象，多种物理研究方法和思维方法又交叉运用，因此本章教学的难度较大，需要细加研究．

一、静电学中的理想化模型

上册已出现过质点、单摆和理想气体等实体理想化模型及匀速运动、匀变速运动和简谐振动等过程理想化模型，学生对理想化方法已有一定的了解．本章首先出现的是点电荷模型，教学中虽可讲得简单些，但必须比上册的有关讨论更深入，为此，可说明以下三点：

（1）点电荷模型的提出不仅是一种简化处理方法，而且点电荷是研究一切带电体的基础．教学中可计算几个点电荷的场强叠加，并进一步计算均匀带电圆环圆心处和轴线上一点的场强，使学生明确一切带电体都可看成是由大量点电荷组成的，因此研究了点电荷的电场就可进一步研究任意带电体的电场．

（2）主要因素和次要因素是相对而言的，通过某些情况下带电体能否看成点电荷的实例分析，指出只有在两个或几个因

素相比较的情况下才有主要因素和次要因素之分，才能忽略其中的某个（或几个）因素．有些同学就是不明确这一点，所以在讨论带电粒子运动时往往忽略其所受重力，并同时提出了忽略其质量的错误想法．

（3）指出点电荷不是真的点，而是在一定的前提下忽略了其形状大小而作的简化，在不符合前提条件时它仍然是一个有形状大小的带电体．如果学生基础较好，有条件讲解半径为a的均匀带电圆环轴线上离环心为r的一点的场强的计算，得到结果$E=\frac{kQ\,r}{(r^2+a^2)^{3/2}}$后，可讨论当$r\gg a$时上式转化为$E=\frac{kQ}{r^2}$，可见符合$r\gg a$这一条件时圆环也可看成点电荷了．反过来再讨论点电荷场强公式$E=\frac{kQ}{r^2}$，若$r\to 0$，是否$E\to\infty$，指出当r逐渐减小到一定程度时，带电体已不能看成点电荷了，就要考虑它的形状大小．公式$\frac{kQ}{r^2}$已不再适用，如上述带电圆环就要用$E=\frac{kQr}{(r^2+a^2)^{3/2}}$计算．由此式可知$r=0$时，$E=0$，并不是$\infty$．上述公式均超出课本要求，介绍这些内容，意在深化比较方法的运用，不在于公式的本身．

匀强电场也是一种理想化模型．教学中只需指出，在以后的讨论中把两带等量异号电荷的平行大金属板间看作都是匀强电场，两板之外场强都看作零，这也是理想化方法的运用．

二、运用枚举归纳引入电场

客观上，一般总是寓于个别之中，通过个别表现出来，个别也总是在某种程度上表现一般．人们总是先认识个别事物，然后通过对个别事物的分析和综合，掌握事物中的一般性内

容．这就是科学研究中常用的归纳推理的方法．

在“电场”一节，教材首先通过对物体间的弹力、摩擦力等作用都离不开物质，归纳出任何力的作用都离不开物质，再演绎得出静电力的作用也离不开物质，从而引入带电体周围存在电场，使学生初步了解场是一种客观存在的物质，因而对物质的认识产生了一个飞跃．

当然归纳推理有一定的或然性，因为结论的知识范围超出了前提的知识范围，因此在教学中必须强调以下三点：

（1）归纳推理要求前提的真实性对结论的真实性有相当大的支持力量，不能随便推广．

（2）归纳推理的结论是否正确还必须进一步验证，如由弹力、摩擦力作用离不开物质，归纳出的任何力的作用都离不开物质是否正确，就要研究由此推得的带电体周围的电场是否确实存在．于是进一步研究电场的特性，知道电场确有力的特性、能的特性等固有特性，证明电场确实存在，从而进一步证明任何力的作用都离不开物质．

（3）个别事物的特殊性和一般事物的共性要分清，也就是必须搞清楚各个性质、规律的适用条件．

教材中还多处用到了枚举归纳推理，如由点电荷场强公式 $E=\frac{kQ}{r^2}$ 推出一般电场的场强大小决定于场源电荷及该点在场中位置而与试验电荷无关；由匀强电场导出 $\frac{\Delta\varepsilon}{q}$ 这一比值与试验电荷无关，推出一般电场中这一比值与试验电荷无关，而仅仅反映电场的固有特性，因而可定义为电势差；由匀强电场中场强和电势差的关系推出一般电场中场强大小反映了沿场强方向电势降落的快慢，从而使学生更深刻理解场强和电势的区别和联系；由平行板电容器的讨论推出一般电容器的电容均由两

个导体的形状、大小、相对位置及它们之间的电介质决定的.

三、比值反映电场固有特性

力学中已学过两个用比值定义的物理量——速度和加速度，但初次接触时往往还不能完全理解为什么要引入比值来定义一个物理量？这个比值为什么反映了事物的本质属性？在这一章中比较集中地出现了场强、电势和电容三个相似的用比值定义的物理量，它们都比较抽象，在讲清定义方法的同时也有利于对抽象概念的理解，特别是场强和电势既反映了电场的固有特性又给出了描述场的性质的一种重要方法. 在教学中应着重讲清以下几点：

(1) 用比值定义物理量的推理过程可以这样处理：先明确提出要研究电场中力的特性. 于是把同一试验电荷放在场中不同点，发现所受电场力各不相同，说明电场有一定的分布. 对场中某点来说，电场的特性应是固有的，但把不同的试验电荷放在场中同一点时所受电场力则不同，说明电场力并不能反映电场中某点的固有特性. 然而对同一点来说，$\frac{F}{q}$这一比值是不变的，它能反映电场的固有特性. 反映什么特性呢？对场中不同的点，这一比值大的地方相同的试验电荷所受的电场力也大，所以这一比值反映了电场中力的特性.

(2) 比值定义的物理量的物理意义，如场强的大小等于单位正电荷在电场中该点所受的电场力，这里指“大小相等”，但并不“就是”电场力. 电场是客观存在的物质，场强是反映电场固有特性的，它与试验电荷无关，而对放入场中该点的试验电荷产生电场力的作用则是这种固有特性的具体表现，因此放入试验电荷是认识和研究电场的一种手段.

(3) 比值定义物理量的定义式和数学中的比例式有区别，如$E=\frac{F}{q}$，对于场中某一点来说场强是不变的量，与q和F均无关，不能看成$E\propto F$或$E\propto\frac{1}{q}$.

经过本章教学，应使学生对用比值定义物理量的方法与实质有较深刻的理解.

四、静电场与引力场的类比

类比推理是通过比较，知道两种事物某些属性的相同，推出它们在另外一些属性上也相同，这也是常用的一种思维方法.

本章的突出例子就是将静电场跟引力场进行类比，这一方面使学生由较熟悉的引力场出发，更好地认识静电场，另一方面在高一讲万有引力时还没有提出引力场的概念，借本章教学通过类比能更深刻地认识引力场的性质.

教材中由地球上物体受重力作用而具有重力势能推出电场中电荷受到电场力作用而具有电势能；又从重力做功和重力势能变化关系推出电场力做功和电势能变化的关系. 这些都是类比推理过程.

类比推理实质上仍属于归纳推理，因此要求：①尽可能多地发现两事物的相同属性；②尽量找出已知属性与结论的必然内在联系. 因此在讲库仑定律时首先要将库仑定律和万有引力定律加以比较，为以后的类比打下基础；在引入电场时也指出地球等物体周围存在引力场，物体间的万有引力是通过引力场相互作用的，在讲电场强度时可提出引力场（重力场）中也可引进引力场（重力场）强度的概念，并作一些简单讨论，使学

生更多地了解电场和引力场的相同点，为从重力势能推出电势能提供有力的依据.

五、用电力线描述电场

本章第一次接触“场”的概念，也第一次学了用“力线”模型描述场的方法，所以教学中应引起重视，并须指出以下几点：

(1) 电力线是一种假想的曲线. 教材指出：虽然我们可以用实验来模拟电力线，但是电力线并不是电场中实际存在的线，它只是描述电场性质的一种方法.

(2) 电力线仅由场源电荷决定. 除教材中给出的电力线由正电荷（或无穷远处）发出，终止于负电荷（或无穷远处）外，有条件的还可补充讲明在同一问题中，电量相等的带电体发出（或终止）的电力线条数相同，与试验电荷无关，因此它能反映电场的固有特性：①沿着电力线方向电势降低；②电力线密的地方场强较大；③电力线上某点的切线方向就是该点的场强方向. 因此在讨论电场问题时应首先抓住电力线（以及等势面），如图 1—23，两个等量同号正点电荷电场中有 a. b 两点，将一个负试验电荷从 a 点移到 b 点是电场力作功还是克服电场力作功，这里如果对这种电场的电力线和等势面很熟悉的话，根据电力线和等势面分布很容易知道 $U_a > U_b$，试验电荷是负的，因而在 a 点时的电势能比在 b 点时的电势能小，所以把它从 a 点移到 b 点是克服电场力作功的.

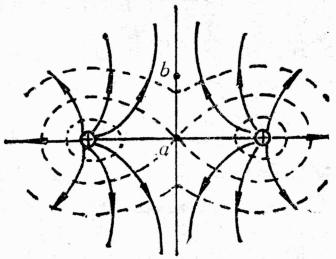


图 1—23

(3) 几个场叠加时，用计算法确定各点的场强和电势是很繁的，大多数情况下只需定性地确定电场的大致分布情况，因此用电力线描述电场是很常用且很重要的方法，以后在磁场中还有用磁力线描述磁场.

几种常见电场的电力线分布要让学生熟练掌握.

六、模拟静电场的实验方法

在实验中由于某些原因，如被测事物无法直接测量或被测事物虽可直接测量但测量比较复杂，对这些我们常用模拟实验的方法. 如初中学过磁场中的磁力线，常用磁场中被磁化的铁粉的分布来模拟演示，这就是一种模拟实验. 本章要研究的静电场虽可直接测量，但静电测量灵敏度较低，只适用于测很强的电场，而且探测用的电极较大，不能反映电场的细微分布，由于在一定条件下，导电介质中稳恒电流场与静电场服从类似规律，因而采用稳恒电流场来模拟静电场描绘等势线，稳恒电流场不必详细介绍，但是这种模拟实验的方法应作简要介绍.

七、比较方法在电场中的应用

本章可较集中地进行“比较”这一逻辑思维方法的训练.

“库仑定律”一节中应引导学生把库仑定律与万有引力定律进行比较，让学生了解库仑定律和万有引力定律形式上很相似，都是平方反比律，因而库仑力与万有引力有很多相似之处；同时又使学生明确前者表示静电相互作用的强弱跟相互作用的带电体的电量有关，后者表示引力作用的强弱跟相互作用的物体的质量有关，由此反映出这两种力的不同本质. 其次，质量没有正负之分，因而只有万有引力没有“万有斥力”，而电荷有正负，所以静电力有引力和斥力. 最后通过习题 3 的定

量计算使学生明确，在基本粒子相互作用的领域中，静电力远大于万有引力，以致可以完全忽略万有引力的作用.

本章有很多相近的物理概念，教学中应加以比较，增强正迁移，防止负迁移. 如场强和电场力、电势和电势能，这两组概念比较时要突出场强和电势都是电场的固有特性，与试验电荷无关，而电场力和电势能除与电场有关外还和试验电荷有关. 再如场强和电势，它们的区别有：①前者是描述电场中力的特性，后者是描述电场中能的特性；②前者是矢量，后者是标量；③前者的大小由电力线疏密反映，后者则沿电力线方向逐渐降低. 它们的联系是场强的大小表示沿场强方向电势降落的快慢，因此场强大只反映该点附近沿场强方向上电势降落得快，并不能反映电势的高低. 同样，场强为零只反映该点附近电势不变，也无法确定电势的高低，所以场强的大小与电势的高低无直接联系，就像力学中的速度大小和加速度大小没有直接联系一样.

本章还有几对定义式和决定式，如$E=\frac{F}{q}$和$E=k\frac{Q}{r^2}$应加以比较，使学生明确：①两式适用条件不同；②两式的意义不同，定义式又是量度式，不涉及电场产生的原因，而决定式反映了场强大小由哪些因素决定的；③两式中的q和Q的含义不同，q是试验电荷而Q是场源电荷；④前式不能说$E\propto F$或$E\propto\frac{1}{q}$，而后者可说$E\propto Q$、$E\propto\frac{1}{r^2}$. 再如$C=\frac{Q}{U}$和$C=\frac{\varepsilon S}{4\pi kd}$也可作类似比较.

另外，在“电场中的导体静电平衡”讨论中可对外电场、感应电荷的电场及合电场加以比较；对等量同号电荷与等量异号电荷的电力线、等势面也可加以比较.

八、由力的基本性质推出库仑力的性质

高一力学中学了力的一般规律，本章开始接触除重力、弹力和摩擦力之外的一种新的性质的力——静电力（热学中虽还学过分子力，但因无法定量计算而未展开讨论）．静电力也是一种力，因而也具有力的共性——它也是物体间的相互作用；它的合成分解遵守平行四边形法则；可以跟其它力相平衡；遵守牛顿三定律．因此本章教材特别重视跟力学知识的结合，讨论了带电粒子在电场力作用下的运动等，这不仅复习了旧知识并具有实用意义，而且还体现了从一般到特殊的思维方法，是一种演绎推理的范例．高一时学生通过对重力、弹力和摩擦力这三个常见力的学习，认识和掌握了力的一般性质和规律，是从特殊到一般，现在反过来以已掌握的力的一般性质和规律为基础深入学习和理解较为抽象的静电力，又从一般到特殊，是学生对力的认识的一次飞跃，为以后学习洛仑兹力、安培力打下了基础．

教材中还有多处用到了演绎推理，如由电场强度定义和库仑定律推出点电荷场强公式；静电平衡时导体内部场强必为零及等势面必定跟电力线垂直的推理过程；带电粒子在电场中的运动的讨论等．教学中应注意使学生明确推理的前提，从而掌握由此推出的结论的适用条件．例如，不同带电粒子初速可忽略时，经相同加速电场加速后垂直于偏转电场飞入同一偏转电场，则飞出电场时的偏向角的正切可用演绎方法推出，且都相同；但如果加速电场不同，带电粒子的初速不可忽略，且不垂直于偏转电场，或者偏转电场不同或粒子没有飞出偏转电场，则它们的偏向角的正切就不一定都相同了．

九、电荷相互作用的多因素分析

人们研究一个事物，总是先把一个整体的对象分解成各个部分，分别研究其各部分所具有的属性，然后再把各个部分有机地综合起来，成为一个完整的统一体，这种思维的方法就是分析和综合.

本章两个带电体之间的相互作用力就是一个多因素问题，教学中应注意下面几个要点：

（1）对多因素问题研究时首先应看看是否可作一些简化. 如“库仑定律”的教学，如有条件，可介绍库仑扭秤实验. 教学中可先让学生猜测两带电体的相互作用力可能与哪些因素有关，可得出可能跟两带电体的电量、距离、带电体的形状和大小、带电体周围的电介质等有关. 这一过程实际上是假设，然后实验验证. 通常是先从研究最简单的情况入手，也就是要把实际问题简化，所以把研究限于真空和点电荷的情况下进行，这样就简化为电量和距离两个因素.

（2）研究多因素问题时总是采用逐个研究单因素（固定其他因素）的影响，然后加以综合的方法，库仑用扭秤实验得出库仑定律的过程正是这样的. 在高一得出牛顿第二定律的实验中已初次接触过此方法，但学生并不能完全掌握，这里有必要再次予以强调. 平行板电容器的电容与哪些因素有关的演示实验也是用了这种方法.

（3）对多因素问题进行研究时还常对各因素作分类分析，如带电粒子在匀强电场中偏转时的横向偏离或偏向角的正切都有六个因素，可分类如下：

$$\begin{cases}\text{电场特性}\begin{cases}\text{固有特性 } d、L\\ \text{外加条件 } U\end{cases}\\ \text{带电粒子特性}\begin{cases}\text{固有特性 } q,\ m\\ \text{运动状态 } v_0\end{cases}\end{cases}$$

这样在讨论时思路就会更加清晰.

(4)研究简化后的问题所得出的结论，如得出真空中两点电荷相互作用的库仑定律后，再逐一考虑其他因素的影响，对原有结论进行修正. 如考虑介质影响后库仑定律可修正为$F=\frac{kq_1q_2}{\varepsilon r^2}$，而带电体较大不能看成点电荷时，只需将带电体分割成很多足够小的带电体元，每个带电体元都可看成点电荷，算出它们之间的相互作用力再叠加. 这一点中学教材中虽不要求，但教学中可提示一下思路，使学生对多因素问题的研究方法有较完整的了解.

第十二章　稳恒电流

陈立明

本章研究电流通过电路的各部分而引起电能和其他形式的能相互转化的规律，涉及电学中很多基本概念和重要定律．知识贴近实际，应用性强．在教学中，当引入基本概念、导出公式和定律时，如能有意识地进行科学方法教育，则有助于学生加深理解基本概念和规律，培养独立思考和分析问题的能力．下面结合教材内容讨论在教学过程中进行科学方法教育的几个具体问题．

一、电路知识的部分与整体的有机联系

大家知道，分析与综合是以研究对象的部分与整体的关系为基础的．中学物理教学离不开分析与综合这一科学方法．在各个章节的实际教学过程中，常常是分析中有综合、综合中有分析，分析与综合总是相互渗透、交替进行，从而不断地揭示教材的各个部分与整体间的有机联系．所以分析后必须进行综合，分析为了综合，在分析的基础上进行综合，能使学生获得的知识系统化，建立起知识的理论体系或知识整体的逻辑结构．否则，仅有分析而无综合，会使“人们的认识陷入枝节之见，不能统观全局”．我们知道任何事物都是以系统形式存在的有机整体，是由各个要素以一定的结构组合而成的．随着现代科学技术的高速发展，系统观点和方法，已由感性经验上升为科学理论(系统论)，它彻底改变了世界的科学图景和当代科学家的思维方式，丰富和发展了辩证唯物主义的方法论．在物

理教学中进行科学方法教育，首先应该考虑系统性与整体性原则，要把这个原则贯穿整个教学的全过程，使为学生掌握与运用这种探索世界的新的科学思维方法奠定基础．这要求我们在平时的教学中要善于运用分析与综合这一科学方法，有意识有目的地阐明各个章节各个知识点间的内在联系，最后使学生从整个教材的逻辑结构上建立起整体观念．从这一教学要求出发，在开始讲授本章时，首先要让学生大体了解本章教材是在“电场”和初中电路知识的基础上探讨三个问题：①简单电路的电阻、电流、电压和电功率；②电源的内电路和外电路；③电阻的测量．使学生对本章教材的轮廓先有一个初步的综合认识（感性整体观念）．然后强调指出，这三部分知识并不是各自孤立的，而是一个有机联系的统一整体．为了在一定深度和广度上认识这个统一整体的逻辑结构，我们必须把它分解为几个部分，而且每一部分又把它划分为几个小课题进行教学，只有把一个个的小课题分析清楚了，找到了这个统一体是在什么基础上统一的，最后才能把它综合起来进行整体研究，进一步认识和把握本章教材的整体结构，深刻揭露其部分与整体的有机联系，使认识的深度和广度发生质的飞跃．点明这点，既有利于调动学生的学习自觉性和主动性，同时也是进行科学方法教育的一个不可缺少的环节．

二、电路规律的实验研究和逻辑推理

在有关简单电路的基本规律问题的教学中，常把实验方法和逻辑推理结合起来进行研究．简单电路知识涉及四个物理量——电流、电阻、电压和电功率以及三个定律——部分电路欧姆定律、电阻定律和焦耳定律．讲电流、电阻和电压概念时要联系“电场”知识，运用演绎推理方法使学生确认：在导体两

端存在电势差时，导体中自由电子在电场力作用下作定向移动而形成了电流．那电流强度决定于哪些因素呢？我们都是利用实验方法，按照图1—24所示的电路引导学生研究通过导体 AB 的电流强度跟加在导体两端的电压有关．根据实验数据，作出 I—U 图像，归纳得出：对一定导体来说，通过的电流强度跟加在它两端的电压成正比．换用不同导体重做实验，再一次作出 I—U 图像，同样可归纳出电流强度跟电压成正比的结论．

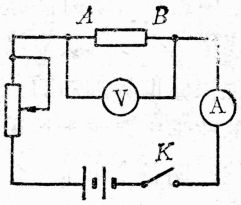


图 1—24

在上述结论的基础上再引导学生分析，对于不同导体来说，电压与电流的比值为什么不同？通过分析讨论学生容易得出，这个比值的大小反映了导体本身的一种固有特性，就是阻碍电流通过的特性，由此引出了“电阻”的概念，并指出式子 $\frac{U}{I}=R$ 是电阻的定义式，也是它的量度公式，它为我们提供了测量电阻的方法和依据．

在分析清楚用不同导体做实验，电压与电流的比值为什么不同之后，再把几次实验综合起来研究，最后得出：导体中的电流强度跟它的两端电压成正比，跟它的电阻成反比．

讲电阻定律和电阻率概念，同样先采用实验方法，根据实验数据进行逻辑推理．电功和电功率的计算公式可直接运用演绎推理方法由电场力做功公式和欧姆定律推导得出．

焦耳定律是定量研究电流热效应的一条规律，既可利用实验方法，根据实验测得的数据归纳得出，也可由已知的热功当量直接推理得出 $Q=0.24I^2Rt$．但用演绎推理方法导出的另两

条公式：$Q=0.24IUt$ 和 $Q=0.24\frac{U^2}{R}t$ 对非纯电阻电路是不适用的．通过分析讨论要使学生清晰了解：如加在电动机上的电压为U，通过的电流为I，此时的电功IUt并不等于电热I^2Rt，而是大于后者．公式$\frac{U^2}{R}t$中的U若代表加在电动机上的电压，那它既不是电功，也不是电热，而是没有物理意义的一个错误式子．如果U是代表电枢导线电阻上的电压降，则可用来计算电热．这个例子说明只有归纳与演绎、分析与综合的交替使用、互相补充，才能修正由于归纳材料的不全面而可能出现的错误；归纳本身不能发现这个错误，必须求助于演绎，求助于分析与综合，才能发现真理．

三、电动势概念建立的逻辑顺序

电动势是本章的重点，也是整个电学教材的重点，它几乎是贯穿“稳恒电流”、“电磁感应”和“交流电”三章的主要内容．要深刻理解电动势概念，必须掌握其确切的内涵和外延．在教材教法研究中，仅从形式逻辑的观点阐明它的内涵和外延是不够的，应该从建立教材的整体结构或理论体系的角度，根据学生的认识发展规律和逻辑推理顺序阐明其物理意义，使学生在以后学习“电磁感应”和“交流电”时，对这一基本概念的内容不断充实、丰富和具体化（概念的内涵确定了外延，概念的外延又会进一步确定其内涵，内涵和外延密切联系，有相互制约关系）．

为了阐明电动势的概念，此处应以电池为例，撇开复杂的化学反应和电势跃升概念不谈，把电池内部理想化为处处存在有非静电力和欧姆电阻的部分电路（内电路）．外电路未接通

时，电池两极带的正负电荷在静电引力作用下为什么不通过内电路而互相中和掉呢？就是由于电池内存在有非静电力，非静电力与静电力达到平衡时，两极上的正、负电荷既不会增加，也不会减少．在开始瞬间非静电力把正、负电荷分离开来使它们分别堆积在两极上是需要克服静电引力作功的，在这瞬时作功过程中是把少量的化学能转化为少量的电势能．电池两极带的电量不变，电势能不变，电势差就会保持恒定．由不同材料制成的电池，外电路断开时两极的电势差一般各不相同．当电池的两极连上一导体构成闭合电路时（图1—25），电池两极上的正、负电荷就会通过外电路开始互相中和；这样，两极上带的电荷本应很快减少，从而使电势差降为零，但由于电池内非静电力又会将正、负电荷分离开来使两极继续不断地有电荷补充而维持其电势差不变．设想内电路是超导体，那非静电力移送电荷只用克服静电力做功，而不需要克服内电路的欧姆电阻做功．在这一理想情形下，电池两极的电势差跟外电路断开时是相等的，只不过是：内电路非静电力不断地在移送电荷作功，因而不断地在“生产”电能；外电路静电力也不断地在移送电荷作功，因而不断地在“使用”电能．在任一段时间内，内电路“生产”的电能都被外电路“使用”掉了．实际上内电路是有欧姆电阻的，非静电力在移送电荷的过程中，既要反抗静电力做功，又要克服内电阻作功．设内电阻为 r，外电阻为 R，内外电路通过的电流为 I，则在时间 t 内，外电路和内电路的电流因克服欧姆电阻做功而消耗掉的电能分别为 I^2Rt、I^2rt，而电池内非静电力在同一时间 t 内把 $q=It$ 的正电荷从负极移送到正极因克服静电力和内阻作功而“生产”的电能，

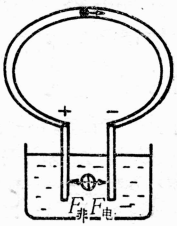


图1—25

应等于内、外电路消耗的电能之和．设非静电力在该段时间 t 内做的功为 W，应有

$W=I^2Rt+I^2rt=IR\cdot It+Ir\cdot It=U_{外}\cdot q+U_{内}q$，由此引出电动势的定义式为

$$\varepsilon=\frac{W}{q}=U_{外}+U_{内}.$$

定义式 $\varepsilon=\frac{W}{q}$ 表明：非静电力把正电荷 q 从负极移送到正极做的功 W 跟被移送的电量 q 的比值叫做电池的电动势（概念的内涵），它在数值上等于外电路电压和内电路电压降之和．电动势大，表明电池“生产”电能的本领大，电动势就是用来表征电池“生产”电能本领大小的一个物理量．用非静电力作功概念和能量转化关系来分析电池“生产”电能的物理过程，从而揭示电动势这一概念的内涵，是紧密联系旧课知识，且符合逻辑推理顺序，易被学生所接受的．而且更重要的，这对学生从教材整体的逻辑结构上形成电动势概念，了解其在整个教材中的地位和作用，进一步丰富和深化力、功和能的基本概念，明确部分与整体的有机联系等等都是有教育意义的．因为承前启后，既有利于复习巩固和深化旧知识，同时对以后“电磁感应”等章的学习也有启迪和帮助．所以从科学方法教育的要求来看，这对学生掌握知识的理论体系、培养分析与综合的能力是有意义和作用的．

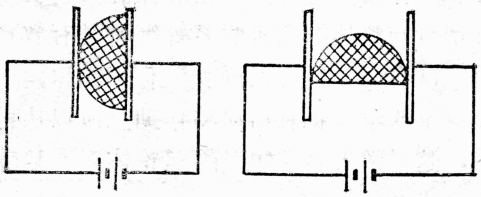
电动势概念容易与电压混淆，在教学中要引导学生进行比较：电动势定义式 $\varepsilon=\frac{W}{q}$ 中的 W 是指非静电力移送电荷作功而“生产”电能（把其他形式的能转化为电能）；电压定义式 $U=\frac{W}{q}$ 中的 W 是指静电力克服导体的电阻做功而消耗电能（把

电能转化为其他形式的能），等等．有比较才能有鉴别．让学生对容易混淆的概念进行比较，这也是进行科学方法教育的一个方面．

四、 对称、等效等方法在解题中的应用

例题和练习题是物理教学的一个有机组成部分，精选和编写有针对性的例题和练习题，可以补充和拓宽综合运用基础知识的深度和广度．随便哪一道题，在解题过程中都有方法教育问题，方法对头，可以化难为易，有利于开拓学生的思路，发展学生的智力和培养能力．这里选编两道紧密结合本章基础知识的例题，着重在从解题过程中进行方法教育方面作一些初步探讨．

例 1 有半个均质球体（如图 1--26甲所示）夹在两块平行金属板间，电池的电动势 $\varepsilon = 3$ 伏、内阻 $r = 1$ 欧，此时电池的输出功率为 2 瓦．若改用乙图所示的连接方法，电池的输出功率如何变化？



甲　　乙

图 1—26

本题可用来对学生进行等效方法和对称法解题的训练．先求甲图连接法的外电阻 R：

$$\because P=\left(\frac{\varepsilon}{R+r}\right)^2 r=\left(\frac{3}{R+1}\right)^2 R=2,$$

$\therefore 2R^2-5R+2=0$，　$R=\dfrac{5\pm\sqrt{25-16}}{2\times 2}$.

即$R=2$欧或$R=0.5$欧.

因半个球体在甲图中等效于两个$\frac{1}{4}$球体的并联电路，所以$\frac{1}{4}$球体的电阻应是半个球体的阻值的两倍. 若取$R=2$欧，则$\frac{1}{4}$球体的电阻为4欧. 乙图中等效于两个$\frac{1}{4}$球体的串联电路，所以外电阻为8欧，输出功率$P=\left(\dfrac{3}{8+1}\right)^2\times 8=\dfrac{8}{9}$(瓦).

若取$R=0.5$欧，则$\frac{1}{4}$球体阻值为1欧，乙图中外电阻为2欧，输出功率$P=\left(\dfrac{3}{2+1}\right)^2\times 2=2$（瓦）.

由于球体的对称性，也可引导学生这样分析：整个球体可看成是左右两半球串联而成（如图1—27甲所示），它的总电阻为$2R$；也可看成是上、下两半球并联而成（如乙图），截去下半球后，剩下的上半球的阻值应是$4R$. 因此同样得出图中外电阻为8欧或2欧.

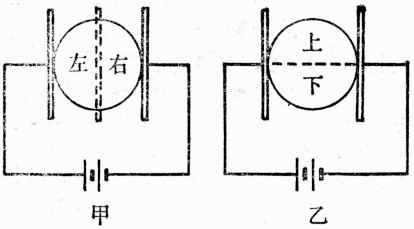


图1—27

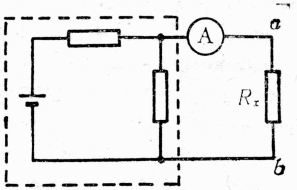


图1—28

例2　如图1—28所示的电路，虚线框内各元件的数据都不知道. 当在它的输出端a、b间接一电阻$R_1=10$欧时安培

表读数$I_1=1$安培；若换以电阻$R_2=18$欧时，安培表读数$I_2=0.6$安．当换以多大的电阻R_x时安培表读数为0.1安？

本题难度较大，要求学生运用等效思维求解：撇开虚线框内的具体结构不考虑，若用一个等效电源（ε'、r'）来代替它，那么根据闭合电路欧姆定律，容易列出以下三个方程：

$$\varepsilon'=I_1(R_1+r')=1\times(10+r') \qquad ①$$

$$\varepsilon'=I_2(R_2+r')=0.6\times(18+r') \qquad ②$$

$$\varepsilon'=I_x(R_x+r')=0.1\times(R_x+r') \qquad ③$$

由①、②解出$r'=2$欧，再由①、③求得$R_x=118$欧。

第十三章 磁 场

汤子良

本章是含有丰富的方法教育因素的重要一章．本章所涉及的如比较的方法、科学假说的方法以及比值定义物理量的方法等，虽然在以前的章节中已有出现，但它们在本章中却显得更为突出或有进一步的深化．因此，充分发挥本章方法因素的教育价值，以期有利于改善学生的能力结构，这是在本章教学过程中必须加以注意的问题．

一、磁场与电场的比较

比较的方法，是人们在认知活动中，自觉或不自觉地广泛应用着的一种方法．通过将两个对象（事物、状态、性质等）相互对比，以确定它们的相同或不同．在比较中鉴别，经比较后确认．在“磁场”这一章的教学过程中，完全有可能而且有必要反复地把磁场的知识与电场的知识加以比较．这种教学方法的目的，并不只是单纯为了使学生更正确地理解磁场知识，避免与电场知识的混淆，更重要的是通过比较方法的运用，使学生逐步理解比较方法中应注意的事项，以此改进自己的学习方法．

通过本章知识进行比较方法的教学，应注意归结出以下三点：

（1）比较应当在同一关系下进行．也就是说只能就某种特定的性质或形态来比较两个对象，而不能笼统地比较两个对象．例如，我们不能笼统地来比较磁场和电场，只能就某一特

性，如场产生的原因，或磁力线与电力线的画法，或场强度的定义方式，或电荷在场中的运动特点等分别进行磁场与电场的比较.

(2) 比较应当按照尽可能全面的标准进行. 事实上，单就某一个特性来比较两个对象，并不足以使我们把它们真正地区别开来，只有利用尽可能多的特性来进行全面的比较，才能理解两个对象之间的差别. 例如我们比较$B=\frac{F}{Il}$与$E=\frac{F}{q}$两个定义式时，如果仅就定义方式进行比较，那么结论就是它们都是物理学中常用的比值定义方法，这就不能真正地理解B与E定义的区别. 要全面地对它们进行比较，势必还要涉及到它们的结构形式、构成因素，它们的方向与式中F的方向之间的关系等多种特性.

(3) 比较应当就对象的实质方面进行. 例如电荷在匀强磁场或匀强电场中的运动形式是非实质性的，而电荷所受磁场力与电场力的特点才是实质性的，因为正是电荷的受力特点才决定了它的运动特点.

二、分子电流的假说

“磁现象的电本质”这一节，是高中物理课本中少有的按科学方法要求组织内容的课文，假说方法的主要方面，可谓是呼之欲出. 课文首先从磁铁与电流都能产生磁场这一点出发提出问题：磁铁的磁场是如何产生的？接着又叙述了安培的分子电流假说的内容，然后用分子电流的假说解释了磁铁的磁性、磁铁的两个磁极不可分割的现象、软铁棒的磁化以及磁体在高温与猛烈敲击下的失磁现象. 最后又说明分子电流的观点为什么在安培的时代只能说是一种假说，在什么情况下才能上

升为理论.

我们知道，一个假说的提出，总是只有有限的事实或实验现象作为依据，而且假设不能与当时已被科学界普遍接受的理论相冲突. 安培关于磁体电流的第一种设想是磁体宏观电流，他认为是磁钢中分子之间相互接触而产生这种宏观电流的，这种设想显然与电流热效应的理论相冲突. 因此，在菲涅耳的建议下，安培欣然把这种宏观电流改为每一个分子上的微观电流——分子电流，从而超脱宏观热效应对他的假说的束缚. 假说的生命力表现在它能较好地解释已经观察到的各种有关的现象，甚至能预言当时尚未被发现的现象，但只有在找到对假说的实质内容的实验证据或理论证据之后，假说才会被上升为普遍接受的理论.

在本章之后，将会碰到较多的假说，如麦克斯韦的电磁波假说、牛顿的光微粒说、惠更斯的光波动说、麦克斯韦的光电磁说、爱因斯坦的光子说、汤姆逊的原子枣糕模型说、卢瑟福的原子核式模型说、玻尔的原子量子化轨道模型说等等. 可见假说的方法在高中物理教学内容中，是比较重要的科学方法之一. 为了给今后的假说方法的教育作好必要的垫铺，并考虑到“磁现象的电本质”这一节课的教学时间的可能性，在本节教学中应突出以下几点：

(1) 假说方法在科学理论的形成过程中，是十分重要的，“只要自然科学在思维着，它的发展形式就是假说.”（恩格斯语）

(2) 假说的提出绝不是无中生有的，它是以观察与实验作为自己的坚实基础的，这也是假说最终可能变成真理的必要条件.

(3) 假说应该能够较好地解释已经观察到的各种现象.

(4) 假说必须进一步经受新现象与新理论的检验.

当然，假说方法的教育还将涉及更多的内容，例如有些假说的提出是其他理论的演绎结果所需要的，对同一问题的几种假说并存的现象等等，这要在今后的教学中逐步地展开.

最后提一下，假说方法的教育，有利于改善学生的能力结构，因为在物理分析与解题过程中，经常会碰到类似于假说的思维方式. 一个对假说方法有所了解的学生就更容易把握这种思维.

三、磁感应强度的比值定义

比值定义是定义方法的一种，它的特点是操作性：即这种定义并不说明被定义者是什么，而只是无歧义地说明量度该物理量（被定义者）所用的操作种类. 一般地说，操作定义最主要的优点就是精确性与唯一性，它有利于使用该被定义的物理量的人，在同一个意义上理解该物理量.

比值定义被用来定义物质或物体的属性，如密度$\left(\rho=\frac{m}{V}\right)$、电场强度$\left(E=\frac{F}{q}\right)$、电势$\left(U=\frac{\varepsilon}{q}\right)$、电容$\left(C \quad \frac{Q}{U}\right)$、电阻$\left(R=\frac{U}{I}\right)$、电动势$\left(\varepsilon=\frac{W_{非}}{q}\right)$等等，而本章中的磁感应强度$B=\frac{F}{I\cdot l}$却比上述物理量的定义更复杂一些，它的操作中涉及对三个量的测定，其根本的原因是这种定义要求找出一对以被定义的物理量为比例常数的互成比例关系的量，而这些量又必须是易于测定（或计算）的.

在进行磁感应强度B的教学过程中，与进行其他比值定义的物理量的教学过程相似，既要进行比值定义方法的教学，使

学生了解这种定义方法的优点，也要注意克服这种定义方法对学生学习物理概念的消极作用．因为这种定义方法并不说明被定义的物理量本身的物理意义，所以我们在教学中还要反复地强调（通过多种手段）它的物理内涵，以使学生不被定义式的表象所迷惑．

四、电荷在磁场中作圆周运动问题的图形方法

在解决电荷在磁场中的圆周运动问题时，学生往往会出现不少错误，究其原因，关键在于这些学生在解题中不懂得（或不愿意）画出准确的运动轨迹图形，而脱离对图形的直观感受，思维就会陷于茫然．解这类题的关键，往往是几何关系而不是物理知识．发现几何关系的主要途径，是利用准确的几何图形．因此，强调图形的方法，有利于突破这一难点．

例如：一电子从原点O开始，以与Y轴成θ角的方向射入磁感应强度为B的匀强磁场之中，电子速度为v（如图1—29所示），在X轴的下方没有磁场．电子的电量为$-e$，质量为m，试问电子从何处射出磁场？

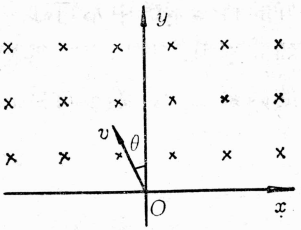


图1—29

我们可以简单地考察一下图1—30中甲、乙两图对解题思路的作用的差别．显然，徒手随便画的甲图，对于引发解题思路难起作用（更不必说不画图了）；而准确画出的乙图，却可以帮助有几何常识的同学很快地找到解题思路．可以毫不夸张地说，对解决这类题有困难的同学辅导方法，就是规定他用三角板与圆规准确地画出图，并连接几条必要的半径．

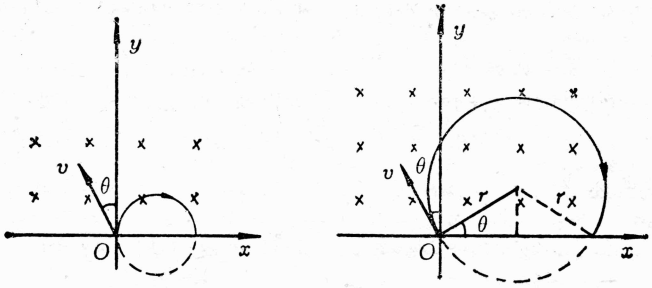


图 1—30

图形的方法，并不只用于这类问题中，力学中的受力分析图、物体运动过程示意图、电磁感应中从不同角度画磁场的磁力线图、几何光学中的光路行进图等等，都要用到这种方法．再进一步说，对实验数据的分析也离不开先把数据转换成图线的方法．惯于并善于把文字或数据转换成一定图形的能力，是良好的科学素养中不可缺少的，而它在电荷在磁场中的圆周运动的问题中，作用表现得特别明显．因此，作为本章的方法教育的因素之一，绝不可被忽略．

第十四章　电磁感应

胡文俊

“电磁感应”一章的教学，是从研究电磁感应现象着手，揭示有关感生电流、感生电动势的一系列规律，其间蕴涵了丰富的科学方法.

一、归纳与演绎

实践是认识的基础，科学实验是认识的重要来源. 无论是研究产生感生电流的条件，还是研究感生电流的方向、感生电动势的大小，都是在进行了大量实验的基础上，在实验观察到的现象、数据的基础上再归结出更广泛、更普遍的规律，这就是归纳推理. 归纳推理的思维特征是从特殊到一般，是以个别的特殊的知识为前提，推出以普遍性知识为结论的推理过程.

我们在研究产生感生电流的条件时，首先在实验中观察到稳定的磁场不引起电磁感应，变化的磁场才会产生感生电流，从而得出只有穿过闭合电路的磁通量发生了变化，闭合电路中才会有感生电流的结论. 我们在研究感生电流的方向时，首先在实验中观察到磁铁移近、插入线圈时，线圈中感生电流的磁场方向与磁铁的磁场方向相反；磁铁拔出、离开线圈时，线圈中感生电流的磁场方向与磁铁的磁场方向相同；然后进一步分析使我们认识到：感生电流的磁场总是要阻碍引起感生电流的磁通量的变化（楞次定律）. 归纳推理一般是或然性推理，前提正确，结论未必正确. 为了使结论真实可靠，我们在实验时使被考察的对象在数量上应尽可能地多、在范围上应尽可能地

厂.

在已经认识了电磁感应现象的普遍规律之后，再来研究自感这个特殊的电磁感应现象时，就要从另一条思路来考虑问题了．只要穿过电路的磁通量发生变化，电路中就有感生电动势产生，那末当通过电路自身的电流发生变化时，会不会有感生电动势产生呢？通过电路自身的电流产生的磁通量当然穿过电路本身，所以当电流发生变化时，穿过电路的磁通量也会发生变化，也会有感生电动势产生（自感电动势）．感生电动势的大小与磁通量的变化率成正比，如磁通量的变化是由于磁感应强度的变化而引起的，磁感应强度的变化与通过电路自身电流的变化成正比，所以自感电动势与电流的变化率成正比$\left(\varepsilon = L\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$.演绎推理的思维特征是从一般到特殊，是在已有知识的基础上获得新知识，认识新事物的一种重要方法．演绎推理导出的结论是否正确，还需经过实验验证．

法拉第电磁感应定律为什么不直接研究感生电流的规律而研究感生电动势的规律呢？大家知道，在闭合电路中有电流，必有电源，电流是由于电源电动势的存在而引起的．法拉第认为在电磁感应现象中，既然闭合电路中有感生电流，则必有电动势存在，而且感生电动势比感生电流具有更广泛更实际的意义，因为只要穿过电路的磁通量发生变化，电路中就有感生电动势产生，与电路是否闭合、与电路的结构并无关系．综观这个认识过程，也是演绎推理的过程．

归纳与演绎在人们的认识与思维过程中，两者往往互相依赖、互为补充，不可能绝然分割．正如恩格斯指出的："归纳和演绎，正如分析和综合一样，是必然相互联系着的．不应当牺牲一个而把另一个捧到天上去，应当把每一个都用到该用的

地方，而要做到这一点，就只有注意它们的相互联系，它们的相互补充．”

二、抽象与概括

物理学虽然是一门以实验为基础的学科，但最终还是要上升为科学理论，这样才对实践具有指导意义．抽象与概括，是获得理性认识必需的思维形式，也是在大量实验的基础上寻求电磁感应规律必需的思维过程．

我们在研究感生电流方向时，在实验中观察到电流计的指针时而向左偏、时而向右偏，这说明不同实验条件下产生的感生电流的方向有可能是相同的，有可能是不相同的．剔除各次实验中的非本质因素（如条形磁铁的插入与拔出、开关的闭合与打开、滑线变阻器滑动触头的移动），就可以抽象出两条本质属性的规律：①穿过线圈的磁通量增加时，感生电流的磁场方向与原来磁场的方向相反；②穿过线圈的磁通量减少时，感生电流的磁场方向与原来磁场的方向相同．抽象是人类认识过程中的决定性环节，向认识客观事物与现象的本质前进了一步．我们把抽象出的实验的两条本质属性加以联结，运用归纳的方法，就可以概括出适合一切方法产生的感生电流方向的规律——感生电流的磁场总是要阻碍引起感生电流的磁通量的变化（楞次定律）．这一下，真正完成了从现象到本质，从个别到一般的飞跃，把任何具体的物理现象置于普遍规律的指导之下．抽象与概括是思维过程的核心，是从感性认识上升到理性认识的桥梁．

三、电磁感应中能的转化与守恒

能的转化与守恒定律证实了物质运动可以由一种形式向另

一种形式转化，而运动的总量保持不变，揭示了物质运动的永恒性与绝对性．闭合电路的一段导体，在磁场中做切割磁力线的运动，电路中就会有感生电流产生；通电导体在磁场中要受到安培力的作用，安培力要阻碍导体做切割磁力线的运动．矛盾是事物发展的动力，正是这对矛盾的存在，使其他形式的能持续不断地转化为电能，完成了由磁生电的过程．所以从能量转化的角度讲，电磁感应是把其他形式的能转化为电能的过程．

楞次定律和法拉第电磁感应定律都符合能的转化与守恒定律．条形磁铁插入线圈，磁铁与线圈有了相对运动，感生电流的作用就是反抗相对运动，为了维持原来的运动，须有外力做功，外界消耗的能量转化为电能．所以应用能量转化与守恒的观点同样可以判断感生电流的方向，同样可以计算感生电动势的大小．

四、等效方法

等效方法是科学研究中常用的一种思维方法，在效果等同的前提下，把实际的、复杂的物理过程变换成理想的、简单的等效过程来处理，既可使运算大为简化，又可加深对物理概念、规律的理解．

导体由于做切割磁力线的运动而产生感生电动势，其大小可由公式 $\varepsilon=BL\upsilon\sin\theta$ 求出．公式中的 L 指的是运动导体切割磁力线的有效长度，而非导体的真实长度．何谓有效长度呢？我们可以另外假想一个导体，使假想导体与真实导体在切割磁力线上是等效的（即切割到相同条数的磁力线），而假想导体的长度应该是最短的，这就是表征导体形状 L 的等效替换．导体在磁场中转动，当然也可切割磁力线，产生感生电动势，但

是导体上各处切割磁力线的速度大小不等，如何计算感生电动势的值呢？我们可以设想把导体的转动改为平动，使平动导体与转动导体在切割磁力线时磁通量的变化率是等效的（即在匀强磁场中在相同的时间内扫过相同的面积），这样可以用平动的速度作为转动的平均切割速度，从而顺利地计算出 ε 值，这就是表征导体运动情况 v 的等效替换．此外还有电路的等效替换，把产生感生电动势部分的电路等效为内电路，把没有产生电磁感应部分的电路等效为外电路，这样就可以运用闭合电路的欧姆定律计算感生电流了．

五、数学方法

数学是研究物理问题时的计算工具，更是研究物理问题时进行科学抽象和思维推理的工具，用以描述、表达物理概念、规律和过程．

在研究电磁感应的实验中，我们观察到磁铁相对于线圈运动得越快，即穿过线圈的磁通量变化越快，感生电流和感生电动势就越大．另一实验中，导体切割磁力线的速度越大，穿过闭合电路的磁通量的变化就越快，感生电流和感生电动势也越大．由此可知：感生电动势的大小与穿过闭合电路的磁通量改变的快慢有关系．如何来表达这个关系呢？法拉第使用了“变化率”这个数学概念．什么是磁通量的变化率？磁通量的变化与所化时间的比值叫做磁通量的变化率，表示磁通量变化的快慢．一般意义上的比值，对时间没有特殊的要求，所以只能描述磁通量均匀变化时产生的感生电动势和磁通量不均匀变化时产生的感生电动势的平均值．当对时间间隔要求很小时，$\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ 就可以描述感生电动势的瞬时值．这对描述任意变化的磁通量

产生的感生电动势有了一个很简捷的方法．在自感现象中产生的自感电动势的计算，当然适用法拉第电磁感应定律，但自感现象是由于通过导体自身的电流发生变化而产生的电磁感应现象，所以又有其特殊规律：自感电动势与电流的变化率成正比$\left(\varepsilon = L\frac{\Delta I}{\Delta t}\right)$.

一个矩形线圈在匀强磁场中匀速转动，线圈中有感生电流和感生电动势．如何清晰地揭示各物理量（ε、B、L、v）之间的关系呢？这时最好的办法是把直观图转换成主视图、俯视图，可以精确、明晰地描述矩形线圈切割磁力线的物理过程，以正确揭示各物理量之间的关系．

第十五章　交流电

沈为民　周　珑

交流电一章是电磁感应的继续与延伸，很多知识与具体的生产实践、日常生活有关．从知识教学角度看，总体上要求较低；从方法教育角度看，内容却很丰富，且在本章应用中很有特色（如变压器）．交流电较直流电更为复杂，越是复杂的内容，越讲究研究方法；物理研究的一些重要方法，如等效方法、理想化方法、实验方法等等在本章均有不同程度的运用．

一、交流电与直流电的等效

等效方法就是在保持效果不变的前提下，用简单的、熟悉的事物替代原来复杂的、陌生的事物进行研究，使研究变得简便的方法．交流电有效值的提出就是等效方法运用于交流电的结果．交流电是变化的，使计算变得复杂，我们用热效应相同的直流电来代替交流电，从而简化计算过程，这个能替代交流电的直流电就是交流电的有效值．

在这以前，学生已经接触过不少运用等效方法处理问题的事例．如力的合成与分解、运动的合成与分解、复杂振动分解成多个谐振动、电路的交换等等，学生已经有了较多的体验．现在讨论有效值，可以说是到了等效方法教育的高潮．因此可以适当多介绍一些有关的方法论方面的知识，同时，联系过去的事例，使学生对等效方法在高中物理中的运用有比较完整的了解，也可指出等效方法在高层次内容研究中的作用，使学生领会等效方法的重要性，为他们以后自觉运用等效方法打下基

础.

由于数学工具的限制，正弦交流电的有效值与最大值的关系无法根据热效应相同进行推导，所以，教材在提出有效值的概念以后，直接给出了有效值与最大值的关系式．教学过程的简略，会造成学生理解上的肤浅，他们对有效值的认识将是原则的、抽象的．作为弥补，可以另选一些非正弦性的，却易于计算的交流电（例如方波形的）作为例子，引导学生推导有效值的计算式．

进行等效方法教育，有一个必须教给学生的内容，就是等效方法中的“等效”是有局限性的．我们用一个事物等效地取代另一事物，这里的等效只是某一方面的等效，并不是“全方位”的．事实上，这毕竟是两个不同的事物，在其他许多方面往往有明显的、甚至是质的差异．因此，只有在事物的特定方向，才能进行两个事物的替代，而不能不顾具体的研究内容，随意替代．相比之下，学生以前接触过的等效方法，局限性小些．合力与分力之间，除力的内效应之外，其余方面都是等效的，高中阶段又基本上不讨论力的内效应，因此，学生当时不会认识到等效方法中的“等效”有局限性．类似的，合运动与分运动之间、等效电路之间，“等效”的局限性也不突出，但交流电与等效的直流电之间，等效关系的局限性很突出．实际上这是两种十分不同的电，除热效应相同之外，其他很少共同之处．它们的磁效应、化学效应都不同，受安培力的情况也不同．利用有效值计算仅限于热功或热功率．学生往往不注意这情况，随意地把有效值用于电量的计算、安培力及其相应的冲量的计算．教学中要采取有效措施，让学生理解“等效”的局限性，随时注意学生可能发生的错误，及时加以纠正．

二、变压器的理想化

本章教材有多处涉及理想化方法.

实际电路严格地说总是同时存在电阻、电感、电容的，但当与其中一个因素相比，其他两个因素影响很小时，就忽略这两个因素，使电路成为单因素的纯电路. 纯电阻、纯电感、纯电容电路就是实际电路进行理想化处理的结果.

理想化处理体现得最充分的，是对变压器的讨论. 围绕变压器这个对象，在电阻、磁通、能量等多方面同时进行了理想化处理，提出了理想变压器模型. 最后，还在此基础上建立了变压器的数学模型. 但是，考虑到学生的接受能力，现行教材要求有所降低. 变压器原理只作定性介绍，仅从电磁感应理论在技术上应用的角度加以说明，电压公式改由实验得出，电流公式作了推导，推导时在能量上作了理想化处理. 这样处理的好处是降低了难度，但缺陷也是明显的，从知识角度讲，介绍变压器原理，至少要把变压器为什么能变压讲清楚，然而教材恰恰在这个最根本的问题上用“从实验知道”这样一句话避过去了，可以说没有介绍变压原理，从方法角度看，教材的方法教育功能被大大削弱了. 有鉴于此，建议在学生接受能力许可的条件下，采用甲种本教材进行教学.

理想化方法是在思维中完全排除次要因素的干扰，把研究对象置于理想状态下进行研究的方法，是一种科学的方法. 但学生往往不易接受这一观点，认识不到排除干扰因素正是突出了事物的本质，总觉得排除了一些因素，研究的就不是原来的事物了，是一种近似，而近似是在迫不得已时才采用的办法，所以学生对理想化处理不以为然. 这个观念的改变是长期的，需要经常利用各种机会向学生阐明理想化方法的意义. 这里，

可以利用讨论变压器的机会再进行这方面的教育．在用理想化方法导出变压器的电压公式和电流公式后，要排演示实验，验证这两个公式．在验证后指出，运用理想化方法得到的规律，在很多情况下与实际符合得很好，这就是理想化方法的意义之所在，说明这种方法的确抓住了事物的本质，是一种科学的方法．我们应自觉地、恰当地运用这种方法．

理想变压器的条件，究竟是三条还是四条？有的书上列出四条：①原绕组、副绕组电阻都等于零；②原副绕组间没有漏磁通，也就是它们是100%耦合；③铁心中没有损耗；④铁心的导磁率μ为无穷大．

高中课本（甲种本）实际上是提三条，即上面的前三条．事实上，两者是统一的，前三条已经包容了第④条．粗略的可这样理解，为满足第②条，即没有漏磁通，就必须有μ为无穷大这一条件；若μ不为无穷大，那么，对于那么多可能的空气磁路，或多或少总有磁通通过，造成漏磁；只有在μ为无穷大时，这些空气磁路才能短路．然而，第四条比较明确，使空载电流为零这一点很容易被注意到．高中课本正是因为没有明确提出这一条，又没有介绍空载电流的情况，所以学生不知道电流公式$I_1/I_2=n_2/n_1$是在空载电流为零的前提下得到的，致使学生提出这样的疑问：根据电流公式，空载电流应为零，但从电路结构上看，原绕组回路是通的，应有电流，两者不是矛盾了吗？为此，建议在教学中补充讲述空载电流的情况．

空载时，I_1为零吗？对此，有的根据$P_{出}=P_{入}$，当输出为零时输入电流也为零；有的从实验中测出空载时原线圈有微小电流，认为实际测得的电流是实际变压器的结构造成的，对理想变压器应予忽略．其实作为理想变压器，负载空载时，原线圈

也是应该有电流的，且$I_1=\frac{U_1}{x_L}$，与原线圈的自感系数有关，与电源电压U_1有关．I_1虽然不大，但这时却是不能忽略的．且不难看出，若I_1为0，原线圈内无电流，原线圈不能激发磁场，线圈两端无电压，输出电压亦为0，这与实际是不相符合的．教师在处理这个问题时可作为理想化方法应用时典型例子，指出可以忽略的是与本质无关的或影响较小的因素，而不是只根据其大小．

理想化处理中，某个因素之所以作为次要因素被忽略，是这个因素与相应的参照因素比较的结果．这样某个因素是主要因素还是次要因素必然是相对的，关键是哪一个因素是参照因素．因此，在进行理想化方法教学中，要使学生重视参照因素的问题，当需要忽略某个次要因素时，能指出它是相对于哪个参照因素而言的．如对变压器进行理想化处理时，副线圈电阻被忽略，参照因素是负载电阻；漏磁通被忽略，参照因素是主磁通；铁心损耗被忽略，参照因素是输出功率；比较隐蔽的是原线圈电阻的参照因素，显然不是供电线路的电阻，那么是什么因素呢？其实是反映到原线圈上的感抗．但学生没学过感抗，可改由公式$U_1=\varepsilon_1+I_1r_1$分析，即由原线圈电阻上的电压降与感生电动势对比．

三、变压器公式的实验验证和输电的实验模拟

对学生进行实验方法的教育，首要的内容是培养学生实验的观念，使学生认识实验是获取科学事实的基本方法，是形成和检验科学假说与理论的实践基础．为此，教学中要多做实验，做好实验，让学生自己在学习物理知识的过程中体会到实

验在科学研究中的重要地位.

本章教材，演示实验很多，从交流电的产生、描述到电能的输送，每一部分都可安排实验，应有意识地发挥教材方法教育的功能. 实验不仅要做得多，更要做得好，实验的现象要清晰，要能简单有力地说明问题. 观察交流电的波形的实验，用示波器，但绝对不能贪图方便，直接使用机内的交流取样电压，这样效果不好，学生根本不知道这个波形是哪个电压的波形. 交流电压必须由外电路引入.

验证变压器的电压公式与电流公式的实验，要做得准确比较困难. 因为公式适用理想变压器，而做实验用的只能是实际变压器，而且往往用可拆变压器，两者差别较大. 另外，线圈都是已经绕制好的，有多少匝，只能听教师讲，学生并不直接感知，实验效果不好，建议验证电压公式的实验，在空载条件下进行. 找一只三相可拆变压器，拆去中间一相的铁心，用两只低压线圈组成原线圈，实验时可以只用一只，也可以串联起来用两只，这样就达到了改变原线圈匝数的目的，而且学生都能看到. 副线圈用长塑料线在铁心上绕成，匝数很易调节，也能为学生直接感知. 验证电流公式实验，应选用实用的变压器，这时空载电流较小，结果会准确些，只是无法直接得到电流与匝数的关系，可分别测得原副线圈上的电流和电压，得出电流与电压的反比关系，由于已经知道了电压与匝数的正比关系，也就间接验证了电流与匝数的反比关系.

其次，可以结合实验适当向学生介绍实验的方法论方面的知识. 实验方法的特点之一是实验具有深化的作用. 人们往往利用各种仪器、仪表和设备来代替感官的直接观察，以克服直接观察的局限性. 例如显微镜、光谱分析、X射线分析等在科学研究中常被用来发挥这类作用，帮助人们探究事物的深层次

的奥秘．本章教学中也不乏这样的事例．交流电的变化是人的感官直接观察得到的，示波器就能够替代人们的感官来感知交流电的变化情况，并把它反映出来．因此，电子工业中，示波器成了工作人员的“眼睛”．要把三相交流电三个波形在示波器上同时显示出来，以便比较它们之间的关系，本来是很困难的，然而，电子开关的运用使这个愿望成为可能．

模拟实验是在现代科学技术活动中应用日益广泛的一种实验方法，是一种间接实验方法．它常常用于受主、客观条件限制对某些研究对象难于甚至无法进行直接观察和实验的情况．远距离输电的课题，从问题的提出、定性的分析、定量的计算到最后选定高压输电的方式，完全是一个理论上的研究过程，应该用实验验证其可行性．但我们无法创设一个远距离输电的实际场景，故采用模拟实验．实验装置如图 1—31所示，用电器是一个 6 伏灯泡，发电机用低压电源输出端的 6 伏交流电代替，远距离输电线用两根电阻丝模拟（电阻丝电阻与灯泡电阻的数量级相同）．当低压电源通过输电线直接对灯泡供电时（图甲所示），灯泡很暗或根本不亮；当通过升压变压器升压，再经过降压变压器降压时（图乙所示），输电线上损耗大为减少，灯泡正常发光．

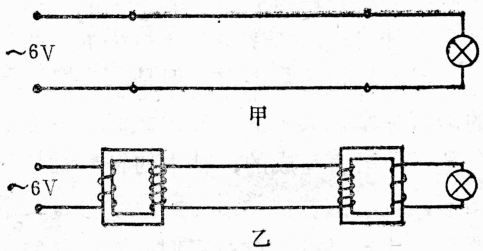


图 1—31

根据模型与原型相似关系的不同特点，可将模拟实验分为物理模拟与数学模拟两类．这个模拟实验中，模型与原型之间，物理过程是相似的，它们只是大小的不同．本质是一样的，因此属于物理模拟．

模拟实验是一类很重要的实验，由于是间接实验，它可以克服时间、空间上的限制，能扩大科学技术研究的实践基础，提高科技研究的效率，减少人力、物力、财力上的消耗．高中阶段模拟实验很少，电场一章中的“等势线的描绘”是模拟实验，远距离输电的演示实验是第二个．教学中，要利用这些少有的机会向学生简单介绍模拟实验的特点及其意义．

四、交流电的表示法——形式化语言的运用

数学方法在科学研究中的作用之一是为科学研究提供了一种简洁精确的形式化语言．这种形式化的数学语言，不仅在形式上简明扼要，而且表达的内容深刻、精确．自然科学的许多规律都是用简明的数学方程式表示的；如果不用数学语言，只用日常语言，恐怕连简单的自然规律都难以说清楚．同时，形式化语言的运用还使定量的分析和计算成为可能，并且大大简化和加速了思维的进程．伽利略曾对数学语言在科学研究中的作用给予极高的评价：“哲学是写在这部永远摆在我们眼前的大书中的——我这里指的是宇宙．但是，我们如果不首先学习用来写它的语言和掌握其中的符号，我们是不能了解它的．这部著作是用数学的语言写成的，其中的符号就是三角形、圆和其他几何图形，没有这些数学语言和数学符号的帮助，人们就不可能了解它的片言只语，没有它们，人们就会在黑暗的迷宫中徒劳地徘徊．”

对于比直流电复杂得多的交流电，无论是为了简单明了地表示其变化规律，还是为了使以后交流电路的分析计算有一个简便的方法，都要求选择恰当的数学形式来表示交流电．解析式和图像就是我们找到的两种方法．交流电的解析式 $e=\varepsilon_m\sin(\omega t+\varphi)$，很简洁，然而却告诉我们很多交流电的特征：交流电按正弦规律变化，有一个最大值，是周期性的，周期与 ω 有关．交流电的图像，不仅直观、形象地告诉我们交流电的一些特征，而且当两个交流电的图像画在一起时，使我们清楚地察觉到它们变化步调的不一致，从而形成了相位、相差、超前、落后等概念．不同的数学表示法各有其优缺点．图像便于我们对问题进行定性的分析判断，解析式便于我们对问题进行定量的计算．事实上，为使交流电路的计算更为简便，以后交流电还将采用旋转矢量表示法和复数表示法．

形式化数学语言的特征要求我们在进行交流电的解析式和图像的教学时，应引导学生分析它们所包含的丰富的物理意义，培养他们读懂数学语言的能力．讲述交流电的特征量也要紧扣交流电的解析式与图像．

五、平均值与有效值的比较

交流电的平均值，是指一定时间间隔内的几何平均值．一般地说，不同时间间隔内平均值是不同的．例如正弦交流电在一个周期内平均值是 0，从中性面开始$\frac{1}{4}$周期内平均值为最大值的$\frac{2}{\pi}$倍．技术上应用的平均值是指一个周期内交流电的绝对值的平均值．其数值为最大值的$\frac{2}{\pi}$倍，小于有效值．由于平均值与有效值定义不同，一个是对应于交流电算术平均值，一个

是对应于均方根值；一个是对应于时间的平均，一个是对应于能量的等效，因此其应用场合是不同的．平均值与一周期内通过导体截面积的电量有关，一般磁电式电表，测量单向脉动电流时，指针偏转角度正比于电流的平均值．只是因为有效值用得最多，其表盘按有效值刻度罢了．

在明确交流电平均值和有效值定义不同，模型等效不同之后，还应选择适当例子予以练习与区别．例如，将220V、100W用电器接在$u=311\sin 314t$伏的交流电源上，下列说法中正确的有：

（A）每分钟有$\frac{5}{11}$库仑电量通过用电器．

（B）每分钟用电器消耗电能100焦耳．

（C）每分钟电流做功100焦耳．

（D）电源电压有效值为220伏、平均值为$\frac{622}{\pi}$伏．

六、隔离法在三相交流电路中的应用

交流电路中，三相电路连接和三相变压器的研究，均可采用隔离法．例如，对三相变压器，课本中指出：“无论是用三个单相变压器，还是用一个三相变压器，三个原、副线圈都可以同时采用星形连接或三角形连接，也可以一组线圈用星形连接，另一组线圈用三角形连接．”这段话的描述给教与学都带来一定的困难．使用隔离方法点拨，可以化难为易．做法是：把三组线圈隔离开，具体考察每组铁芯上的两个线圈．注意到同组铁芯内每匝线圈中磁通量的变化率相同，从而每组铁芯上的原副线圈上的电压比等于匝数比．同理，其他各组铁芯亦然．抓住了这个关键，各种组合方式就都不困难了．

再如图1—33中，电源以三角形接法，负载以星形接法．

已知电源每相电压为U，求每个负载上的电压（负载电阻均同）.

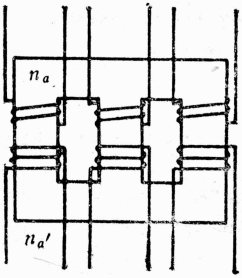


图 1—32

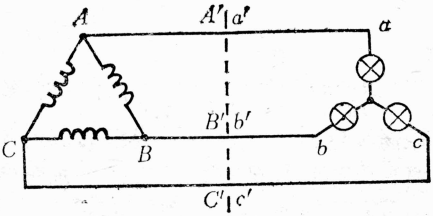


图 1—33

采用隔离法，如图中虚线所示把电路隔离开. 从右向左看，$U_{A'B'}=U_{AB}=U$. 从左边向右看，$U_{a'b'}$ 相当于线电压，即相当于负载上每相电压的$\sqrt{3}$倍. $U_{a'b'}=\sqrt{3}U_{ab}$. 注意到虚线隔离处，应有$U_{A'B'}=U_{a'b'}$，有$U=\sqrt{3}U_{ab}$，即用电器每相电压为$\frac{\sqrt{3}}{3}$.

第十六章　电磁振荡和电磁波

陈重威

本章在电场、磁场和电磁感应等知识的基础上，讲述电磁振荡和电磁波，以及无线电的发射和接收的初步知识．这些知识是电学知识的延续，也是振动和波知识的扩展，又是以后学习光的本性等知识的必要准备．本章知识虽然大多属于一般性的介绍，却是对学生进行科学假说、科学类比、科学实验以及演绎推理等科学方法教育的好教材．

一、研究物理科学的一般方法

物理科学的一般研究方法在本章电磁振荡及其周期和频率等教材内容中得到较好的体现，因此，在教学这些内容时应予以突出．

先让学生观察 LC 振荡电路中电流表指针的左右摆动．学生根据已学的交流电知识，能够理解这一现象意味着电路中产生了大小和方向都作周期性变化的电流，即振荡电流．在此基础上运用电容器充放电现象与电感线圈的自感现象，从能的转化和守恒角度对 LC 电路产生振荡电流的原因和过程作定性分析．注意到电容器充放电需要时间，通过电感线圈的电流变化也需要时间，于是就猜测振荡周期 T 应与电容 C 和自感系数 L 的大小有关．然后再进行实验研究．演示实验证实，当 C 或 L 增大（减小）时，周期 T 也随之增大（减小），于是，猜测得到了证实．可向学生指出，进一步的定量研究，可得到 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 但对此还必须进行重复实验，只有当不同的研

究者从重复实验中得出相同的结果时，科学结论才得到鉴定，并被公认．接下去的任务将是寻求这些知识与已有理论的统一或建立新的理论．

科学研究是一个异常复杂的认识活动，各门学科中，研究过程并不完全相同，各个环节互有重叠交叉，并非那么截然分明．物理科学也是这样，每一个具体课题的研究过程未必都包括上述所有阶段．但是从整体上看，物理科学研究的上述过程是绝大多数研究课题的必经之路．所以，让学生在接受具体知识的同时潜移默化地受到这一科学过程的教育和训练，对培养他们解决实际问题的能力无疑是十分有益的．

二、麦克斯韦电磁波的假说和理论

假说是根据已知的科学原理和科学事实，对未知的现象及其规律做出的一种假定性的说明．观察和实验的检验是假说上升为科学理论的中介环节．

麦克斯韦电磁波理论的建立过程，在思想方法上可以给人们以极大的启示．它不但是本章知识教学的重点，也是方法教育的重点．教学中应使学生了解，麦克斯韦是根据哪些实验事实和已有理论提出电磁波的假说的；电磁波的假说又是怎样为实验所验证而上升为科学理论的，等等．

1.麦克斯韦怎样提出电磁波假说

导体在磁场中运动产生感生电动势，其非静电力是洛仑兹力．在磁场变化而产生感生电动势的情形下，非静电力又是什么呢？实验表明，感生电动势与导体的种类和性质无关，它是由变化的磁场本身引起的．麦克斯韦敏锐地感觉到这预示着有关电磁场的新效应．他相信，即使不存在导体回路，变化的磁场在周围也会激发一种电场，叫做涡旋电场．也就是说，麦克

斯韦根据电磁感应的实验事实认为，不仅电荷，而且变化的磁场也能产生电场.

根据电和磁的对称性，麦克斯韦进一步认为，不仅传导电流，而且变化的电场也能产生磁场. 虽然，当时的一切电学实验都不能证实这一点，但对自然界和谐美的追求，帮助他完成了科学上的这一不朽勋业.

教学中应注意从介绍建立电磁波概念的具体思维过程中，提炼出建立科学假说的一般方法，具体应介绍以下两种.

(1) 深入分析物理想象的本质. 电磁场变化产生的感生电动势，与放在磁场中的导体的种类无关，这是已知的科学事实. 麦克斯韦的功绩在于用场的观点对它进行分析，并揭示其本质：一个场（磁场）的变化导致了另一个场（电场）的产生，而由磁场的变化产生的电场不同于静电场，它是一种可脱离电荷存在的涡旋电场. 这既是逻辑推理的必然结果，又是思维过程中的重大突破.

(2) 进行科学猜测. 认为变化的电场也会产生磁场，而且与传导电流产生的磁场一样. 在当时，这只是麦克斯韦的猜测. 这一猜测的科学性表现在两个方面：首先，科学家们相信自然界是按照和谐优美的数学方式设计的，是合理的、简单的和有序的. 这一点已为当时越来越多的科学事实所证明. 其次，物理学发展史上，许多问题都是从对称角度提出的. 而电和磁在许多方面具有对称性，“电生磁”与“磁生电”. 麦克斯韦的一个突出贡献就是通过跟“变化的磁场产生电场”相类比，作出了“变化的电场也能产生磁场”这一科学猜测，并进而预言了电磁波的存在.

2. 赫兹怎样验证电磁波假说

赫兹在实验室检查仪器时，偶然观察到感应圈放电时发生

的电火花．他立即想到，电火花的跳跃实质上是电荷在做间断的快速振动而引起的．根据麦克斯韦假说，快速振动的电荷必定在其周围空间激起电磁波．在这个思想导引下，赫兹设计了如图 1—34所示的这个著名的实验，并获得了极大的成功．赫兹对物理现象有如此敏锐的观察力，赫兹实验的构思又是如此精巧和优美，这除了他对基本理论的深刻理解和具有极强的动手能力外，十分重要的一点就是科学假说对科学观察和实验起了先导作用．

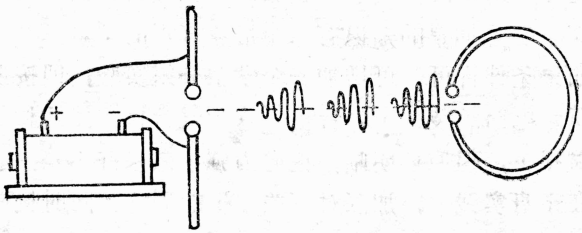


图 1—34

三、通过实验认识电磁现象及其规律

本章内容有两个特点，一是基本概念比较抽象，研究的是学生看不见，摸不着的电磁场及其运动规律；二是涉及的理论问题和技术问题较多，但限于学生的接受能力，多数知识只是定性介绍，使学生有一初步了解．因此，实验方法在本章教学中显得尤为重要．本章的演示实验应力求装置简单、效果明显．教学时应突出说明主要装置及其作用与需观察的现象，使学生把注意力集中到要研究的问题上来．

赫兹实验具有重要的方法教育的意义，历史上正是由于这一实验的成功才使麦克斯韦的电磁波假说上升为公认的理论．

它说明理论的正确与否最终需要由实践来检验. 为此，建议在教学中补充赫兹实验的演示. 演示时应尽可能采用赫兹当年的实验装置(参见图 1—34)，发射装置不变，接收装置可改为振子天线，振子之间接上氖气管以显示接收到的电磁波的强弱.

观察电谐振的演示实验应尽可能用高中物理课本（乙种本）下册图 6—12所示的莱顿瓶，使接收电路的固有频率与所产生的振荡电流强度之间的关系在最简化的纯粹的形态下显露出来.

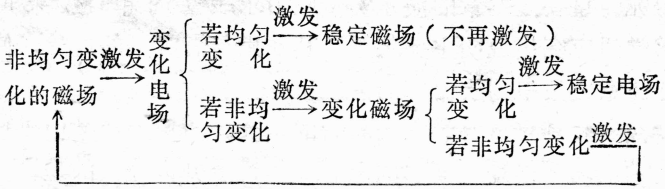
还可采用示波器演示电磁振荡、调幅和检波的作用等实验，使学生对抽象的知识有一个形象直观的了解.

如果条件许可，可增加一个学生分组实验，即按课本图 6—14所示电路组装一个收音机. 这种收音机虽然结构简单，所用器材很少，但原理明晰，说服力强，效果并不差. 这样可使学生在亲身实践中，加深对有关知识的理解，同时提高学习物理的兴趣.

四、电磁波假说建立过程的演绎推理

本章教材中演绎推理的运用较多，其中最典型的是对电磁波假说建立过程中所运用的演绎推理. 教学中应重视对演绎推理方法的运用和训练.

①将麦克斯韦的两个理论要点展开，便可形成如下的分析推理思路：



在此基础上可进一步推理：若过程中产生的始终是非均匀变化的磁场或电场，那么，某处的这种磁场或电场将会在周围空间由近及远地激发起一系列的电场或磁场，这就形成了电磁波.

(2) 周期性变化的磁场（或电场）可以激发电磁波，而振荡电路中电荷作快速振动是产生周期性变化电场（或磁场）的根本原因. 由此推知，一切电荷做快速振动时都会激发电磁波. 由此可见 LC 振荡电路仅是激发电磁波的一种方法.

五、电磁运动和机械运动的类比和比较

电磁振荡和电磁波与机械振动和机械波之间有许多相同之处，教学中应当注意引导学生对两者进行比较，并善于用学生所熟悉的机械振动和机械波去类比电磁振荡和电磁波，以启发学生的思路，达到触类旁通的目的.

(1) 从能的转化和守恒角度，将弹簧振子或单摆的简谐振动与电磁振荡相类比，以揭示电磁振荡中电场能与磁场能的相互转化关系及电磁振荡的周期性.

(2) 通过机械振动和电磁振荡的类比，引出描写电磁振荡的物理量——周期和频率.

(3) 通过机械受迫振动中的共振现象与电谐振现象的类比，指出电谐振的产生条件及获得方法.

(4) 从波速与频率、波长三者关系的角度，将机械波与电磁波相类比，得出电磁波的波速、波长、频率的关系式 $c=\lambda f$.

机械运动与电磁运动之间可进行类比的方面是很多的，麦克斯韦当年在建立电磁波假说时就曾运用了类比方法. 建议教学中参考高中物理课本（甲种本）第三册第四章第一节和第八节内容作适当补充.

此外，电磁波与机械波，静电场和涡旋电场，传导电流和位移电流（即与变化的电场所等效的电流）等，都既有相似之处，又有不同之处．教学中要注意引导学生比较它们的异同，使学生既认识它们之间的内在联系，又了解它们的细微差别．

六、电磁波理论和技术发展的内在矛盾运动

科学理论与科学实验的矛盾是经常发生的，这种矛盾的不断产生和不断解决，推动了自然科学的不断发展．本章教材中有关调制和检波的内容便是很有说服力的一例．

需要传递的声音或图像信号的频率较低，而发送电磁波却需要高频振荡，这是一对矛盾．这一矛盾的解决促进了调制理论和技术的发展．教学中应向学生指出，调制过程不是载波和调制信号的简单叠加．课本（乙种本）下册图6—10所示调制电路中的话筒是一种碳粒话筒，它兼有两个作用：一方面将声音信号转变为电信号，另一方面由于碳粒话筒的电阻随碳粒松紧程度而变，控制了高频振荡电流幅度的大小，形成了调幅高频电流．这样，它既能被有效地发射，又载有所需传递的信号．

但是，这种调幅高频电流并不能使耳机或扬声器的振动片振动发声．这又是一对矛盾．解决这一矛盾又促进了检波理论和技术的发展．

自然科学是在继承和创新的矛盾运动中发展的．继承性表明了科学发展的前后相继关系，是量上的积累和延续，而创新则表明了科学发展的质变和飞跃．两者既相互联系又相互区别，是一个辩证的统一体．麦克斯韦继承了前人对电磁现象的研究成果，他在电学方面的研究工作就是从试图将法拉第的思

想写成数学形式开始的．他很快发现，当时的电磁学理论所依据的基本原理在逻辑上是相互矛盾的．他的创造性表现在：他认为不仅电荷，而且变化的磁场在其周围也能产生电场，这种电场不同于静电场，它可以脱离电荷存在；进而，他认为不仅电流，而且变化的电场也能产生磁场．正是由于麦克斯韦的这种继承和创新，使他建立了电磁场的基本方程，确立了电磁场理论，使人类对电磁现象的认识产生了一大飞跃．

七、电磁运动的特殊性

电磁波与机械波具有诸多的相似点，这反映了两种运动形式的共同性．但是，电磁波不需借助媒质传播，可以脱离电荷独立存在，这又反映了电磁运动的特殊性．电磁运动的这一特殊性即使是麦克斯韦当年在建立电磁场理论时，也未能充分认识．所以，他还为解决电磁波的传播问题建立了“以太”模型．

电磁波不仅具有上述特殊性，而且还具有能量、动量．因此，电磁波和实物粒子一样，又都是客观存在的物质．

在教学中指出电磁运动的特殊性，有助于学生避免将电磁波与机械波混淆．指出电磁波是一种特殊形式的物质，又有助于学生加深对物质的认识．

第十七章　电子技术初步知识

陈庭芳

本章所涉及的电子技术方面的知识是初步的．课文篇幅少、教学要求较低．但是，从方法教育的角度来看，其内容都还是比较丰富的．

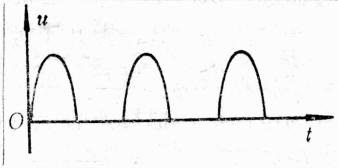
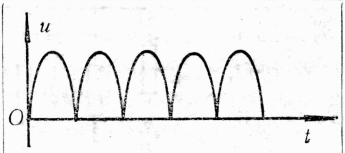
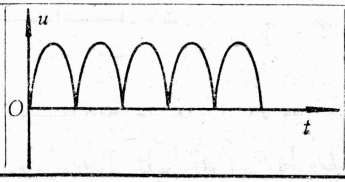
一、各种管子的比较和分类

本章所叙述的各种管子，特点明显，分类清楚．由于学生在以前的学习中已经多次接触过比较和分类，所以在本章的教学过程中，可以引导学生随时对所学的内容进行比较和分类．本章教材的系统是先讲二极管（包括电子二极管和晶体二极管），再讲三极管（包括电子三极管和晶体三极管），所以在学习二极管时就可以对电子管和晶体管进行比较．在学完三极管之后，还要对二极管和三极管、对 PNP型和 NPN 型两种晶体三极管进行比较．通过比较，使学生对它们的构造、作用和简单性能更加清楚，同时，这也是一次方法教育的练习和检验．

由于高中阶段对电子技术只作常识性的介绍，所以以上的比较应该在教材的基础上进行，必要时可作适当补充，但不要离题太远，更不应涉及过多的技术细节．例如在比较电子管和晶体管的时候，首先要让学生了解它们的共同点：这两种管子都是重要的电子元件，都有单向导电、放大及其他作用，都是收音机、电视机、电子计算机等的基本组成元件之一，在电子技术发展的不同阶段都起过重要的作用，等等．其次，要了解它们的不同点：一是构造上的不同，电子管是在抽成真空的玻

璃泡内装入金属电极构成的，晶体管是用半导体材料制成的．构造的不同，决定了晶体管有体积小、重量轻、不怕振动、不易损坏、寿命长等优点，而电子管则没有这些优点．二是作用原理不同．电子管的导电是依靠热电子发射，晶体管的导电是由于P型及N型半导体中的空穴及电子．因此，电子管在工作时必须对灯丝通电，待阴极温度升高后才能发射电子，由电子管组成的收音机等，开机后要预热几分钟才能正常工作，且工作时耗电量较大，机器温度也较高；晶体管则不需预热，就没有这些缺点．至于晶体管的工作机理，以及这两种管子的型号、特性曲线及其他技术性能，已经超出中学物理要求范围，就不必多作比较．

另外，对于选学教材中的三种常见整流电路及三种常用滤

名称	电路	整流后波形	二极管个数	变压器	二极管反向耐压要求
半波	略		1	利用率低	较低
全波	略		2	要有中心抽头，次级线圈圈数较多	较高
桥式	略		4	利用率高	较低

波电路，也要作简要的比较．可以用列表方式对三种整流电路进行比较（见前表）．

二、晶体二极管的理想化

晶体二极管的正向电阻阻值很小，越小越好，但不能是零；反向电阻阻值很大，越大越好，但不能是无限大．可是，在许多物理习题中却常常加进“晶体二极管正向电阻为零，反向电阻为无限大”这样两个条件．对于实际晶体二极管来说，这两个条件是互相矛盾的．因为正向电阻为零时，管子可能已被击穿，这时反向电阻也应是零；而反向电阻为无限大时，可能是引线断路，这时正向电阻也应是无限大．可见，“正向电阻为零、反向电阻为无限大”的二极管只是一种理想化模型，于是有些书上把满足这两个条件的二极管叫作理想二极管．当我们把实际晶体二极管接入电路并加以正向电压时，它的电阻比其余电阻阻值小得很多，而加以反向电压时，它的电阻比其余电阻阻值大得很多．为了便于研究问题，撇开了对电路影响的次要因素，用理想二极管来代替实际二极管，可以使问题得到简化．在出现理想二极管的电路中，把导通的二极管看作短路，电阻为零；把截止的二极管看作断路，电阻为无限大．例如图1—35，D_1是导通的，所以R_1和D_1并联电路的电阻为零；D_2是截止的，所以R_2这条支路是断开的，外电阻只有一个R_3．这里，通过D_1的电流强度与通过R_3的电流强度，即干路电流强度相等，而D_1及R_1两端电压为零，通过D_2的电流强度为零，而D_2与R_3两端电压相等．

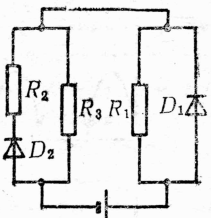


图1—35

三、用实验方法研究晶体管的特性

物理学是一门实验科学，实验方法是研究物理和学习物理的主要方法．对于“不讲晶体管作用机理”（教学大纲规定）的本章来说，实验方法的重要性尤为突出．无论是晶体二极管的单向导电性，或者是晶体三极管的放大作用，都是在演示实验的基础上来说明的．对于演示实验，最重要的一条是让学生明确演示的目的是什么，明确了实验目的，才能知道观察什么、测量什么，才能达到预期的要求．例如演示“晶体管单向导电性”的实验，只要观察到加正向电压时小灯泡发光，就说明二极管导通；加反向电压时小灯泡不发光，说明二极管截止，即可达到说明单向导电性的目的，不必再作其他的观察或测量．但是，演示晶体三极管放大作用的实验就不同了，这个演示不仅要测量几组 I_e、I_b 及 I_c 的数据，而且还要对这些数据进行分析，从而得出以下三点结论：①$I_e=I_b+I_c$，$I_b \ll I_c$；②基极电流 I_b 稍有变化，集电极电流 I_c 就有较大的变化，即晶体三极管具有放大作用；③$\Delta I_c/\Delta I_b$ 对于同一个三极管来说，大体上是一常数，即为电流放大系数 β．

第十八章　光的反射和折射

吕基昌

本章介绍几何光学的基本知识．几何光学是波动光学的近似，是光学中研究光的传播规律的分科．光在同一均匀媒质中沿直线传播的特性，光的反射定律和折射定律是基本规律；利用光学系统控制光路和成像，是基本规律的应用．几何光学有一套研究方法，蕴含着丰富的方法教育因素，主要体现在以下几个方面．

一、研究对象的理想化

在研究光的传播规律时，为了使问题纯化，便于讨论，必须对涉及的光源、光束和光学系统等作理想化处理．

1．光源的理想化

在光的传播中，首先接触到光源，点光源是最简单又很重要的光源．课本中提到了这个名词，但没有指出其含意，在教学中应加以说明．点光源是只有几何位置、没有大小形状并向各个方向均匀辐射光能的发光点，是和质点相类似的理想化模型．一个光源，不论其大小形状如何，只要其尺寸远小于光源到被照物间的距离，就可以当作点光源处理．发光面较大的光源，可以看成许多点光源的集合．

应进一步向学生指出，在研究光学系统成像时，还可以用发光点来描述“物”和“像”．“物”是许多发光点（物点）的集合，“像”也是许多发光点（像点）的集合．

2．光束的理想化

为了掌握光的传播规律，要把从光源发出的光分成若干光束进行研究．对光束可以进行两种抽象．“线光束”（横截面的线度比它的传播距离小得多的光束）是光束的物理抽象，它是携带能量的理想化模型．如果用一条只表示传播方向的几何线来代表光束，这条带箭头的几何线叫“光线”，在均匀媒质中光沿直线传播，这条几何线是直线．光线是光束的数学抽象．在教学中要使学生注意以下两个问题．

（1）正确理解光线的含意．首先，光线不携带能量，没有粗细、强弱之分，它只代表光束轴线在空间的位置和光能传播的方向．在日常生活用语中，也有光线这个词，但它的内涵不像物理学中的光线概念那么严格，要防止它对正确掌握概念的干扰．例如，平时说“光线很强”，实际上是说“光束”的能量很大．高中物理课本中有关这部分的内容有这样一段话：“逐渐增大光的入射角，将会看到折射光线离法线越来越远，而且越来越弱，反射光线越来越强．”显然，文中的“光线”实是指“光束”．

其次，光线只是一种表示方法，在实际中并不存在，也不可能用实验模拟．因为，即使让光通过一个极小的孔，也不可能得到一条可以模拟光线的极细的光束，这是由于当孔径小到可与波长的尺寸相比拟时，衍射将使光束明显地变粗（这个问题将在下一章中讨论）．

（2）掌握用光线表示光的传播规律的一些基本方法．首先，会用光线表示出三种不同的光束（如图1—36所示）．用

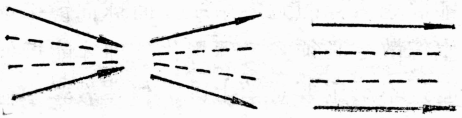


图1—36

一条光线无法表示出光束的会聚发散情况，要用若干条光线才行，通常省略中间的各条光线，只画出边缘的两条.

其次，会用光线的交点表示物点和像点. 物点和像点都是同心光束的中心，用光线表示，就是发散光线和会聚光线的交点. 入射光学系统的发散光线的出发点为实物点，入射光学系统的会聚光线延长线的交点为虚物点；由光学系统出射的会聚光线的交点为实像点，由光学系统出射的发散光线反向延长线的交点为虚像点. 例如，在图 1—37 中，s_1 为实物点，s_1' 为虚像点；s_2 为虚物点，s_2' 为实像点. 但应注意，不能认为凡是光线相交的点都是像点. 如果仅有两条光线相交，而其它光不通过这一点，该点肯定不是像点. 只有从物点发出并经光学系统作用的所有光线的交点才是像点.

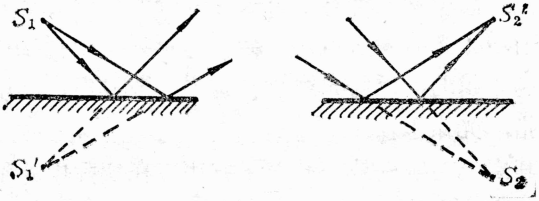


图 1—37

3. 光学系统的理想化

(1) 对成像光学系统的要求. 为了使光学系统能够成完善的像，要求入射的同心光束在经过系统的作用后，仍保持同心光束出射，可以改变的仅仅是它的立体角. 也就是说，物和像有共轭关系，一个物点只产生一个像点，不发生像散. 平面镜是最简单的能成完善像的光学系统. 而球面镜、透镜等光学系统，都要发生像散，必须经过理想化处理才能近似地达到上述要求. 这些道理不一定要对学生讲，但在教学中必须通过实验使他们理解：只有在理想的条件下，平行于主轴的光线经球面

镜反射后交于一点，平行于主轴的光线经透镜折射后交于一点.

(2) 理想化透镜模型的建立. 理想化过程，是抓住主要因素和略去次要因素而突出事物本质的抽象过程. 可以通过实验来展示这一过程. 在光具盘上对厚透镜和薄透镜作对比实验，如图 1—38所示. 先用厚透镜（可用半圆形玻璃砖模拟）实验，入射的平行光束经透镜折射后，明显地不相交于一点. 再用薄透镜（若将半圆形玻璃砖的两个尖端遮住一部分，既减小了折射面，也相当于透镜变薄）实验，折射光的交点逐渐靠拢.

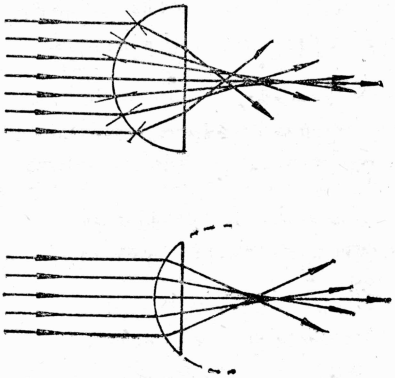


图 1—38

然后，将射向薄透镜边缘的光线挡住，近轴光线折射后几乎交于一点. 还可以把平行光源换成点光源进行实验，发散光线经厚透镜折射后发生像散，得不到像点，而近轴的发散光线经薄透镜折射后，能相交于一点形成像点. 这样，抓住平行于主轴的光线经透镜折射后交于一点和物像共轭等主要因素，通过减薄透镜和筛选光束（即仅取近轴光线）等处理方法，建立起一个“使平行于主轴的光线折射后会聚于一点”，也就是“使一个物点产生一个像点”的理想化透镜模型.

二、微元分割法在几何光学中的应用

微元分割法又叫无限分割法，是一种数学方法，但它在物理学中也有着广泛的应用. 我们曾用它导出即时速度等概念，

下面列举它在几何光学中的应用.

1．说明凹镜的会聚作用

课本中指出了凹镜能将平行于主轴的光线会聚于一点，但没有说明为什么能交于一点．应引导学生用微元分割法进行解释．可以借用我国古代数学家刘徽的割圆术，设想由若干个小平面镜组成内接多边形来代替凹镜．入射光也被分成若干光束，它们经小平面镜反射后会聚成大光斑，如图1—39所示．镜面分割得越小，小平面镜的数目就越多，它们组成的内接多边形，就越接近于具有连续曲面的反射镜，光束反射后的聚光区也就越小．当小平面镜的数目足够多，小平面镜足够小时，其极限情况就是凹面将平行于主轴的光线会聚于一点．在实际中，利用太阳能的大凹镜，就是根据这种分割原理，用许多平面镜制成的．

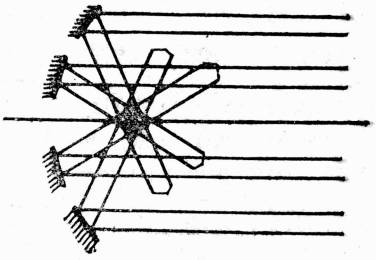
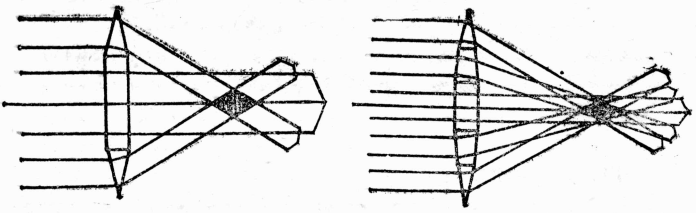


图1—39

2．说明凸透镜的会聚作用

关于凸透镜对于平行于主轴的近轴光线有会聚作用，课本采用分割法作了分析，但说得过于简单，学生不易理解．在教学中要通过思想实验来展现分析思路和过程．设想将透镜沿平行于主轴方向分割成若干个小单元，把中央的单元看成平行透明板，其他单元看作底面朝向透镜中央的许多棱镜的集合，如图1—40所示．在图甲中，由于分割的单元数目少，因此，平行于主轴的光线经各个棱镜和平行透明板折射后，聚光区很大．在图乙中，两个棱镜的尖端部分已被切去，而用顶角较小的新棱镜代替．棱镜数目增多了，平行于主轴的光线的聚光区



甲　　乙

图 1—40

变小了．当棱镜的尺寸越来越小而数目越来越多时，这些小棱镜与平行透明板组成的折射面，越来越接近于光滑的曲面，平行于主轴的光线的聚光区越来越小．当棱镜的尺寸足够小、数目足够多时，其极限情况就是凸透镜将平行于主轴的近轴光线会聚于一点．在工厂里，制镜工人也是利用这种微元分割法来磨制透镜的．

3．解释本影和半影的生成

用大发光面的光源照射不透明体，为什么会形成本影和半影，这个问题也只有通过分割光源，由点到面讨论，才能分析清楚．先用一只小灯泡模拟点光源观察球体成影，在球后只形成本影，如图 1—41甲所示．再用两只小灯泡作光源观察球体成影，在球后中间部分形成本影，两侧为半影，如图 1—41乙所示．第三次用三只排列成正三角形的小灯泡作光源观察球体成影，在球后中央部分形成三角形本影，周围是半影，如图 1—41丙所示．依此类推，若改用六只排列成正六边形的小灯泡作光源，则在球后中央部分将形成六边形本影，周围为半影，如图 1—41丁所示，而且本影区逐渐变小．大发光面的光源是足够多的点光源的集合，它照射球体成影的极限情形是中央形成圆形本影，四周是环形半影．发光面越大，本影越小，甚至消失．无影灯就是根据此原理制成的．如果制作一组叠影幻灯

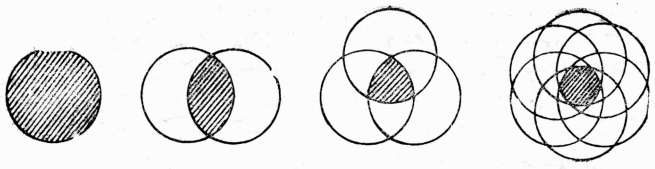


图 1—41

片配合讲解，效果更好.

三、 透镜成像的作图法和公式法

作图法和公式法是描述光的传播规律，包含透镜成像规律的基本方法，要求学生熟练地掌握这两种方法.

1. 透镜成像作图法

此法是用光线作出光路图，直观、形象地描绘成像规律. 在教学中要重视下面两个问题.

(1) 成像作图法的由来. 在研究作图的具体方法之前，应让学生先了解这个方法的来历.

首先，物像共轭特性是作图的出发点. 透镜是成像光学系统，它应满足物像共轭关系，即像点与物点一一对应. 若用光线表示，就是从物点射向透镜的所有光线，折射后必交于一点. 因此，为了求出这个交点（像），不需要画出所有光线，而只需画出其中的任意两条就行. 这样，我们从物像共轭特性演绎出下述作图原则：如要求出一个发光点由凸透镜所成的像，只需求出从这个发光点发出的任意两条光线经凸透镜折射后的交点即可.

其次，三条特殊光线是成像作图的具体依据. 有了作图原则，还必须找到容易求出折射方向的光线才能顺利地作出光路图. 只能从透镜本身的一些性质去寻找这些光线. 由于我们研

究的透镜是薄透镜，本身厚度不计；并且，对平行于主轴的光线有聚集作用．根据以上特性可以画出三条特殊光线．当发光点不在主轴上时，以下三条光线的折射方向很容易求出：

①由透镜的聚焦作用得出，跟主轴平行的光线，折射后通过焦点；②根据光路可逆性原理得出，通过焦点的光线，折射后跟主轴平行；③由于薄透镜不计厚度，通过光心的光线经过透镜后方向不变．取三条特殊光线中的任意两条，就能方便地作出光路图，求出发光点的像．

(2) 应用作图法要注意两点：

第一，在不能直接利用三条特殊光线时，要根据物像共轭特性解决问题．有时，三条特殊光线变成一条（例如，发光点在主轴上，光线被挡或焦点未知等），甚至三条特殊光线在作图中都不能使用．这时，必须设法求出任意入射光线经透镜后的折射方向，在不引入副光轴和焦平面的情况下，可以根据物像对应关系求解．

若焦点已知，可用参考物法求像．例如，为了求出图1—42中在主轴上的发光点S的像，第一步，先画出一条任意的通

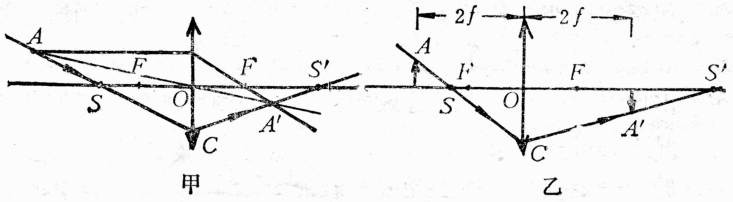


图1—42

过S点的光线AC并在其上找一假想发光点A（即参考物）．第二步，用特殊光线求出它的像A'．第三步，根据演绎推理，由物像对应关系可知，通过S点的任意光线AC，经透镜折射后必通过A'点并交于主轴上的S'点，S'即为S的像（如图甲

所示）．图乙是一种简略画法．由于将参考物点A选在离镜两倍焦距处，不需要画成像光线就能确定像点A'（也在离镜两倍焦距处），因此，只要画出一条通过发光点S的任意光线及其折射光线，就能得出S的像S'．若焦点未知，就只能直接根据物像共轭特性求解．例如，在图1—43甲中，只知光心，不知焦点，要求判断入射光线1和2的折射光线是否正确．为了解决这一问题，把入射光线的交点P看作假想物点，画出通过光心的光线，再看三条出射光线的反向延长线是否交于一点，就能判断出射光线1′和2′方向是否正确．从图乙可以看出它们不交于一点，故图中两条折射光线方向是不正确的．

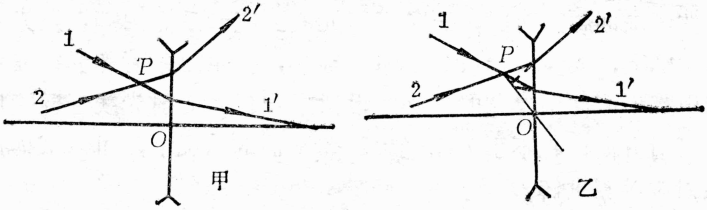


图1—43

第二，用典型光线作图，要以对所有光线行为的分析作基础．要看到以两条特殊光线代表所有光线的局限性．当所有光线经透镜折射后都交于像点时，“特殊光线”和“所有光线”在求出像点这个问题上是等效的．但不能因此就认定它们在各种情况下都等效．对于光的传播问题，一定要先对所有光线作全面分析，再看能不能用两条特殊光线表达规律，该选用哪几条典型光线显示规律．例如，在讨论眼睛观察放大镜中虚像的范围时，就不能用两条特殊光线表达，而必须用射向透

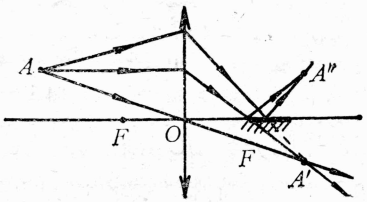


图1—44

镜边缘的光线显示. 又例如，在图 1—44中，平面镜放在凸透镜主轴上的焦点外，要求用作图法求物点A的像. 学生往往会漏画像A'，就是由于他们没有对光束作全面分析的缘故.

2. 透镜公式法

公式法是以数代形表述物距u、像距v和焦距f之间的关系，透镜公式也是物像共轭特性的数学抽象.

公式的推导是教学中的难点，要妥善处理. 若以一般的光学系统为对象，从折射定律等基本规律出发推导公式，过程繁琐，数学处理复杂，不宜在中学阶段介绍. 课本采用从个别到一般的程序，先就凸透镜成实像的特例，根据成像光路图用几何方法导出公式$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$；接着，未作验证，仅对$u$、$v$和$f$的正负号取法作些说明，就将公式推广到透镜成像的一般情况. 这样讲，在逻辑上不够严密，学生也不大信服. 补救的办法是让他们对其他成像情况，包括凸透镜成虚像，凹透镜成像等各种情况作枚举验证，以确认公式的普适性.

也可以考虑采用另一种讲法. 不是从一个特例推广到一般，而是由几个特例归纳出公式. 教师先就凸透镜成实像的情况，作示范性推导. 在得出公式$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$后，不急于推广，让学生对其他情况进行推导. 可以把学生分成两组，分别就凸透镜成虚像和凹透镜成像情况推导公式，各得出与上式不同的公式$\frac{1}{u}-\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$和$\frac{1}{u}-\frac{1}{v}=-\frac{1}{f}$. 然后，对能否用相同的公式表述规律的问题进行讨论，使学生理解，只要对u、v和f的正负取法作出规定，就能得出统一的表达公式$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}$. 当

然，这样处理也还不够严密，不是完整的归纳，但总比从一个特例得出公式的方法要全面些，学生也更容易理解和接受.

除了作图法和公式法外，还可以用直角坐标图解法求像. 如图1—45所示，在几何方格纸上，画出分别代表物距 u 和像距 v 的直角坐标，用跟两坐标轴等距的 C 点作为焦点 F，它跟任何一轴的距离就等于焦距 f .对于凸透镜，有实焦点，f 为正，F 点在第Ⅰ象限；对于凹透镜，是虚焦点，f 为负，F 点在第Ⅲ象限. 这样，若 A 为物点，从 A 点通过 F 点作一直线交于 v 轴上的 B 点，则 B 为像点. 当物距 OA 变化时，通过图解也很容易了解像距 OB 的变化情况. 图中的实线 AB 表示凸透镜成实像的情况，虚线 $A'B'$ 表示凸透镜成虚像的情况. 应用相似三角形关系，可以证明图解法跟透镜公式是一致的（证明从略）. 此法的优点是方法简捷，且能直接从图上得到数据，作为一种辅助方法，用它来核对答数十分方便. 还有，当物距变化时，可以通过 AB 直线绕 F 点的转动情况来了解像距的变化情况，也很直观. 这一方法不应作为课堂教学要求，可在课外介绍给学有余力的学生.

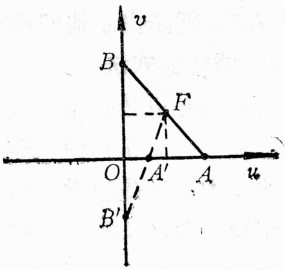


图 1—45

四、 通过寻找关节点掌握光现象的变化规律

恩格斯在《自然辩证法》中讲到：“物理学的所谓常数，大部分不外是这样一些关节点的名称，在这些关节点上，运动的量的增加或减少会引起该物体的状态的质的变化，所以在这

些关节点上，量转化为质．”在光的传播过程中，也有量转化为质的关节点，要引导学生发现和认识这些关节点，从而掌握光现象的变化规律．

1．从反射到全反射的转变

光的反射和全反射都遵守光的反射定律，但它们的传播特性有质的区别．从现象上看，前者是反射光束和折射光束并存，后者只有反射光束．从发生条件看，不论光从光疏媒质进入光密媒质，还是从光密媒质进入光疏媒质，均能发生反射现象；但只有光从光密媒质进入光疏媒质，且入射角大于一定数值时，才能发生全反射现象．再从光能分配看，反射时的反射光能只是入射光能的一部分，并且随入射角的大小而变化；全反射时的反射光能不随入射角的大小而改变，几乎等于入射光能．从反射到全反射的转变，是从量到质的转变，有关节点．在教学中，首先要让学生通过实验观察发现关节点．实验可利用半圆形玻璃砖分两步进行．第一步，先让光从空气射向玻璃砖的平面，逐渐增大入射角直至90°，反射现象只有量的变化．第二步，再让光从玻璃砖半圆面进入，射向玻璃与空气接触的界面，随着入射角的增大，反射光束越来越强，折射光束越来越弱，这是量变．当入射角达到某一数值时，折射光束消失，这是质变．再增大入射角，反射光强保持不变．

然后，在上述实验的基础上，引入关节点的名称——临界角，再根据光的折射定律导出临界角的计算公式．

2．凸透镜成像中的量变与质变

凸透镜成像的虚实、正倒和大小，均取决于物距．当实物由无限远移到焦点的过程中，虽然都是成倒立实像，但像的大小发生了变化（由缩小变为放大），这是量变过程中的部分质变．而当物距小于焦距时，像发生质变（由实变虚）．这样，

在物距发生量变的过程中，凸透镜成像形成几个不同阶段，有两个关节点：①焦点，是像的虚实转变点．物距大于焦距时成实像，物距小于焦距时成虚像．②离镜两倍焦距处，是像的放大和缩小的转变点．物距大于两倍焦距时成缩小的像，物距大于焦距且小于两倍焦距时成放大的像．（还有光心，是实物成像和虚物成像的转变点，但这点不必向学生介绍）

为了使学生切实掌握透镜成像的变化规律，首先要做好凸透镜成像的演示实验．当物距的数值接近焦距或两倍焦距时，要使光源缓缓移动，以便让学生发现关节点，看清不同阶段的成像情况，在头脑中形成明晰的直观印象．其次，要引导学生用作图法表述透镜成像的变化规律，在一个光路图中，形象地展示出不同阶段的成像情况，如图11—46所示．第三，还应启发学生运用公式讨论成像变化规律．用由透镜公式和放大率公式得出的关系式$m=\frac{f}{u-f}$来分析成像情况，十分方便，现将结果列于下页表中．

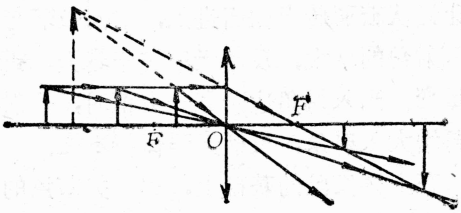


图 1—46

凸透镜成像				凹透镜成像			
	物　距	像放大率	像的性质		物　距	像放大率	像的性质
实物	$u>2f$	$m<1$	缩小实像	实物	$u>0$	$\|m\|<1$	缩小虚像
	$u=2f$	$m=1$	等大实像				
	$f<u<2f$	$m>1$	放大实像				
	$u<f$	$\|m\|>1$	放大虚像				
虚物	$u<0$	$\|m\|<1$	缩小实像	虚物	$\|u\|<\|f\|$	$\|m\|>1$	放大实像
					$\|f\|<\|u\|<\|2f\|$	$m>1$	放大虚像
					$\|u\|=\|2f\|$	$m=1$	等大虚像
					$\|u\|>\|2f\|$	$m<1$	缩小虚像

注：表中列出了凹透镜成像情况，是为了完整展现各种成像情况，示出对称关系，其中涉及虚物部分仅供教师参考.

五、几何光学中的对称

“理论自然科学把自己的自然观尽可能地制成一个和谐的整体”（恩格斯语）. 科学常常展示出对称美. 对称规律和方法，在几何光学中处处有所体现，要引导学生去认识和应用.

1. 光学基本定律中的对称

在反射现象中，反射角等于入射角. 即 $r=i$，光的反射定律反映了对称关系. 在折射现象中，入射角正弦和折射角正弦成正比，即 $n_1 \sin i = n_2 \sin r$，斯涅耳定律表达出对称规律. 反射现象和折射现象中的光路可逆原理，是对称规律在光学中的集中表现. 掌握这一原理能为解决光学问题开拓思路，提供方法. 因此，一定要抓好这一原理的教学. 例如，在定量研究光的折射现象时，课本只讨论光从空气进入玻璃的情况，列举

实验数据得出结论，归纳出折射定律，到本节最后才提出光路可逆的问题，这样讲，学生往往对这一原理领会不深．应该在得出定律的全过程中渗透这一原理．为此，在观察了光从空气进入玻璃（入射角为 i）发生折射的情况并记录几组 i 和 r 的数据后，还要再观察光从玻璃进入空气（入射角为 r）发生折射的情况，也记录若干组 i 和 r 的数据．算出两种情况下各组的 $\sin i$ 和 $\sin r$ 的比值，它们在误差范围内应相等．从而，使学生理解光路可逆的第一层意思：无论光从空气进入其它媒质，或者从其它媒质进入空气，在折射时都遵从相同的规律——斯涅耳定律．光路可逆的第二层意思是：在折射现象中，光可以沿原路返回．若在折射光路上垂直光线放置反射镜，就能观察到这一现象．

2．光学系统成像中的对称

这是从光的基本规律对称和光路可逆原理演绎出来的对称关系．

（1）平面镜成像中的对称．根据光的反射定律可知，像和物对称于平面镜的镜面．又可以从光路可逆原理得出，实物成虚像和虚物成实像对称．

（2）透镜成像中的对称．透镜成像有 6 种情况，如下表所示，它反映出两类对称关系．

凸 透 镜	实物成实像	实物成虚像	虚物成实像
凹 透 镜	虚物成虚像	虚物成实像	实物成虚像

这两类对称关系如下：

第一类，由光路可逆原理得出，物距和像距互换，成像情况对称．可用式子表示如下：

当 $u_1=v_2$，$v_1=u_2$ 时，$\dfrac{1}{u_1}+\dfrac{1}{v_1}=\dfrac{1}{u_2}+\dfrac{1}{v_2}$.

图 1—47是这类对称某种情况的光路图．可以让学生解答

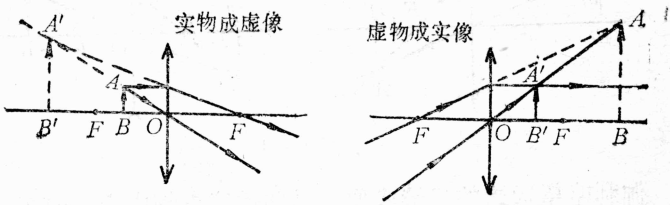


图 1—47

一些这类虚物成实像的简单问题，当然不提虚物，是要求学生用光路可逆原理转化为实物求像问题来解，这有利于开发学生的智力．共轭法测凸透镜焦距的计算公式 $f=\dfrac{L^2-d^2}{4L}$，就是根据这类对称关系进行推导的，在教学中应引起注意．

第二类，由于凸透镜与凹透镜在外形上互补，对光线的作用相反，因而凸透镜成像的某种情况，必有凹透镜成像的某种相反情况与之对应，前面的表格中已列出了这种对称关系．也可以用式子表示如下：

某凸透镜成像：$\dfrac{1}{u_1}+\dfrac{1}{v_1}=\dfrac{1}{f_1}$，

某凹透镜成像：$\dfrac{1}{u_2}+\dfrac{1}{v_2}=\dfrac{1}{f_2}$.

若 $f_2=-f_1$，$u_2=-u_1$，$v_2=-v_1$，

则 $\dfrac{1}{u_1}+\dfrac{1}{v_1}=-\left(\dfrac{1}{u_2}+\dfrac{1}{v_2}\right)$.

图 1—48是这类对称某种情况的光路图．

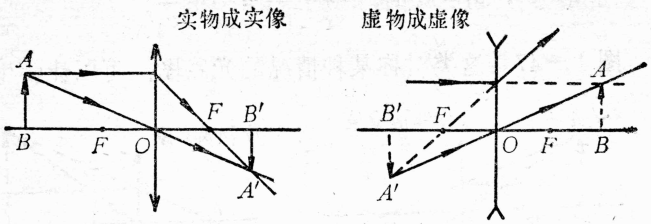


图 1—48

伽利略望远镜的目镜成像，是凹透镜虚物成虚像的实例.

还可以用透镜成像的牛顿公式讨论：

某凸透镜成像：$x_1 \cdot x_1' = f_1^2$（其中 $x_1 = u_1 - f_1$，$x_1' = v_1 - f_1$）.

某凹透镜成像：$x_2 \cdot x_2' = f_2^2$（其中 $x_2 = u_2 - f_2$，$x'_2 = v_2 - f_2$）.

若 $f_2 = -f_1$，$u_2 = -u_1$，$v_2 = -v_1$，

则 $x_1 \cdot x_1' = x_2 \cdot x_2'$.

画出 $x - x'$ 的图像（如图 1—49所示），就更容易看出上述对称关系. 这些讨论已超纲，仅供教师参考.

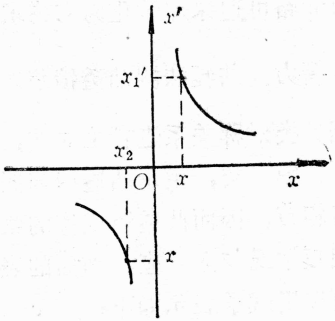


图 1—49

六、 通过比较掌握光学仪器的特性

在中学阶段学生已接触到多种光学仪器，它们既有共同点，又有不同之处，在教学中要通过比较使学生掌握各种仪器的特性.

1. 眼睛和照相机的比较

人眼本身是光学系统，光学仪器的作用都是为了改善眼的

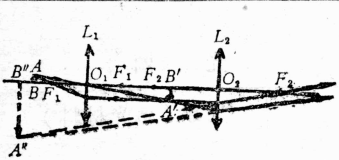
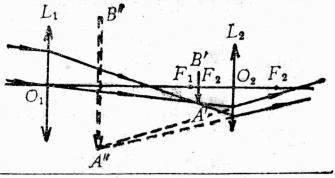
观察能力，所以，讨论光学仪器总是从眼睛开始，了解它的结构和成像原理是本章教学的重点之一．照相机是模仿眼睛设计制造的，它的原理学生在初中学过，比较熟悉，通过它与眼睛对比，容易搞清眼的结构和成像原理，可引导学生列出下表．

	眼　　睛	照　相　机
结构	角膜、水样液、晶状体和玻璃体(相当于一个凸透镜)	镜头（相当一个凸透镜）
	瞳　孔	光　圈
	视网膜（有感光细胞）	底片（感光材料）
成像	缩小、倒立、实像	缩小、倒立、实像
调节作用	像距不变。当物距变小(或变大）时，增大（或减小）晶状体的曲率以减小（或增大）焦距，使物体在视网膜上成清晰的像	焦距不变。当物距增大（或减小）时，减小（或增大）镜头与底片间的距离(即像距)，使物体在底片上成清晰的像

为了改善照相机的性能，照相机的镜头也由定焦向变焦发展．可连续变焦距镜头的出现，是近十几年来光学上的一个重要成就，是在模拟人眼方面的一大进步．

2．显微镜与开普勒望远镜的比较

为了看清近而小的物体和远而大的物体，必须借助于显微镜和望远镜．这两种光学仪器都有两组凸透镜，在结构和成像原理上有相似之处，容易混淆．在教学中，也应该通过列表对比，使学生掌握它们的光学特性（见下表）．

	显　微　镜	望　远　镜
观察对象	近处微小物体	远处的庞大物体
构造	物镜焦距f_1较小 目镜焦距f_2较大 物镜和目镜间的距离（镜筒长）大于f_1+f_2	物镜焦距f_1较大 目镜焦距f_2较小 物镜和目镜间的距离（镜筒长）等于f_1+f_2
成像光路图		
成像特点	物镜成放大实像于目镜焦点以内，目镜成放大虚像于明视距离处	物镜成缩小实像于焦点附近，目镜成放大虚像于远处（比物体离镜的距离近）

第十九章　光的本性

郑青岳　周吾仁

本章从对光的现象的研究转入到对光的本性的研究，是上章知识的深化．虽然本章从知识地位上看并非高中物理的重点，但其中却包含着丰富的方法教育因素，包括进行科学假说、科学实验、比较和分类等科学方法以及对立统一、辩证否定、量质互变等辩证唯物主义观点，是对学生进行科学方法教育的重要教材．

一、运用类比方法，建立光的本性的假说模型

科学假说是自然科学研究的重要方法．人类对光的本性的研究过程源远流长，但所用的方法都是在观察和实验的基础上建立科学假说的方法．所以，从某种意义上说，人类对光的本性的探索过程，实质上也就是反映在各种假说模型更迭替换的过程．从古希腊学者提出的光是触须或粒子流学说，到17世纪以牛顿和惠更斯为代表的微粒说和波动说，随后麦克斯韦提出的电磁说，再到爱因斯坦提出的光子说，直至最后形成的波粒二象说．这些假说的内容本章教材中都先后作了介绍．因而本章中的科学假说内容显得十分集中，可以说在中学物理教材中达到了“高峰”．因此，利用这部分教材，不但可以使学生了解各种假说的内容，而且还能使学生了解科学假说模型的方法论意义以及建立科学假说模型的方法和途径．

在建立假说模型时，类比方法往往起着重要的作用．一般

说来，人们对所研究的对象越陌生，就越希望拿熟悉的事物与之作类比．在物理学中，力学是较早成熟的一个学科分支，力学的规律与人们的日常经验和观念比较接近，所以，在建立光的本性的假说模型时，科学家开始总是乐于将光与力学模型相类比．牛顿的微粒说就是将光与高速微粒流相类比而建立起来的．其推理过程大致如下：

高速微粒（如弹性小球）流有空间运动、直线传播、反射等现象．光也有空间传播、直线传播、反射、折射等现象．所以，光可能是微粒流．

惠更斯的波动说则是将光与机械波相类比而建立起来的．其推理过程大致如下：

机械波（如声音）在两种媒质的界面上会同时发生反射和折射现象，不同振源发出的几列机械波在空间交叉相遇后能够彼此毫无妨碍地相互穿行．光在两种媒质的分界面上也会同时发生反射和折射现象，几束光交叉相遇后也能够彼此毫无妨碍地相互穿行．所以，光可能是一种波．

同样，麦克斯韦正是将电磁波与光波作类比，根据理论推算电磁波传播速度与光速相同这一点，才提出了光的电磁说的，从而把光现象和电磁现象完美地统一起来．而爱因斯坦则是根据光电效应实验现象，用普朗克能量量子化的理论作类比，提出了光的光子说．

教学中，应当注意将人类对光的本性的认识过程与光的假说模型的演化过程有机地结合起来，讲清人们为什么要建立各种假说模型；各种假说模型是怎样建立起来的，又是怎样被人们普遍接受的；新的假说模型是怎样取代旧的假说模型的；等等．可以借用比喻，讲述科学假说的方法论意义，即人类通过建立假说模型来研究客观现象的本质，就像我们想知道一个合上表壳的表的内部机构，我们虽然看到表面和正在走动的表

针，甚至还可以听到嘀嗒声，但是我们始终无法打开表壳．于是我们着手画出一些机构图，试图利用这些机构图来解释所观察到的种种现象．不过我们不能肯定哪一幅图是唯一可以正确解释所观察到的一切现象的图形，也永远无法把这幅图跟实在的机构进行比较．但是，随着知识和经验的日益增长和方法的多次改进，我们可以不断地修改图形，而这些图形的一次次修改，就会与实在的机构越来越接近．人类探索光的本性的过程正是如此．为了回答“光是什么”这一问题，人们建立了一系列假说模型、从微粒说到波动说，从电磁说到光子说，直到波粒二象说，这个漫长的过程就是对光的“机构”的图像反复修改的过程．这些假说模型经过一次次修改，也就越来越接近光的真实面目了．

二、 用实验方法探索光的本性

本章内容学生在生活中不太熟悉，因此要做好实验，使学生由分析实验现象入手，经过抽象思维，理解其本质．尤其是要做好光学发展史上有重要影响的杨氏干涉实验和光电效应实验．

1．杨氏干涉实验

对于杨氏干涉实验，既要让学生观察到实验现象，又要使学生领略实验的构思美．应向学生讲明我们平时很难看到光的干涉现象的原因，以及托马斯·杨又是通过怎样的巧妙构思而成功地解决了这一问题的．要控制好实验条件，例如做双缝干涉实验，应使光源发出的光平行地射到单缝上，单缝到双缝的距离取10厘米左右，双缝间距可取0.1毫米．教学中，还要引导学生对不同色光的干涉条纹间距作比较，使他们由此认识到不同色光波长和频率的不同．

2．光电效应实验

做好光电效应的演示实验十分重要，应确保实验成功，并使学生从观察到的现象中总结出有关规律．实验时，学生在观察到紫外线照射锌板使验电器的指针偏转后，还要用带正电的玻璃棒接触验电器，使指针偏角继续增大，以判明锌板的带电性．光照开始，立即见到指针偏转；光照停止，指针马上静止，由此可揭示光电效应的瞬时性．将紫外线改为可见光（红光、绿光、白光），则不能产生光电效应，由此来说明产生光电效应现象的频率条件．

此外，还可鼓励学生动手做一些家庭小实验，如在熏黑的玻璃片的一面刻上两道间距为0.1毫米的平行狭缝，用它观察日光灯光的干涉现象；用两支铅笔观察衍射现象；用两块厚玻璃压紧观察空气薄膜的干涉现象，等等．

三、用叠加方法研究光的干涉现象

叠加方法是研究几个相同物理量作用于同一研究对象上经常用到的方法．干涉条纹的出现是两个运动（振动）叠加的结果．教学中可以先复习机械波叠加的有关知识，说明波的叠加与波的独立传播的一致性．即波的传播是独立的，一列波在空间的传播不会因为另一列波在同一空间的传播而受阻，因此在两列波相遇的空间，两列波是共存的，它们的总效果是两者的叠加．然后根据相长干涉和相消干涉发生的条件来解释明暗条纹．

四、电磁波谱的比较和分类

光的电磁说是在通过对光波与电磁波的比较，发现两者具有诸多相同属性的基础上而建立起来的．电磁波谱反映了电磁

波是一个庞大的统一家族，但在这一大家族中的众多成员之间又具有很大的差别．教学中应加强对各种电磁波的频率范围、产生机理、性质效应、表现行为的比较，使学生认识到它们作为一个整体的道理及对它们进行分类的依据和必要性．既要指出各种电磁波的差异性，如产生机理不同、性质效应不同、波长（频率）不同以及观察干涉、衍射现象的难易程度不同，等等；又要指出它们的统一性，在分别介绍红外线、紫外线、伦琴射线及γ射线后，应提醒学生注意课本（乙种本）下册中的一段文字："……所以，它们之间的区别并没有绝对的意义．总的说来，从无线电波到γ射线，都是本质上相同的电磁波，它们的行为都遵守共同的规律．"同时说明，各种电磁波都是变化的电场和磁场在空中的传播，在真空中的传播速度都是c，都遵守$\lambda=\frac{c}{f}$、$n=\frac{c}{v}$等关系式，都会发生反射、折射、干涉和衍射等现象．

五、光的本性假说发展过程中的辩证否定

否定之否定规律是事物发展的辩证法，它对光的本性假说的发展同样也提供了一条重要的方法论原则．光的本性的一系列假说，从微粒说到波粒二象说，其中经历过的漫长过程，实际上就是一个辩证否定的过程．新旧假说的更替并不是对旧假说的简单的全盘否定，而是既克服又保留，既变革又继承．牛顿的微粒说既有古希腊人的光粒子流学说的痕迹，但又不同于光粒子流学说；麦克斯韦的电磁说使惠更斯的波动说摆脱了机械波观点的束缚，是人类对光的本性认识的一次突破．同样，爱因斯坦的光子说又与牛顿的机械微粒说有着质的区别．因为

光子的运动不遵循经典力学的规律，而是遵循电磁运动的规律．光量子理论是人类对光的本性认识的又一次飞跃．波粒二象说的建立使人类对光有了全新的认识．教学中应使学生认识到，辩证的否定既可以表现为修改和补充，又可以表现为充实和提高．新的假说保留了旧的假说中的合理的成分，又克服了旧的假说中某些缺陷．

惠更斯（1629—1695）和牛顿（1643—1727）几乎是在同时代提出了光的波动说和微粒说（严格地说，波动说稍早于微粒说），但是由于当时牛顿在学术界的威望等原因，在较长时期微粒说一直占据统治地位．直到19世纪初，人们才普遍接受了波动说．这表明，任何新生事物的产生和发展总是要经历一个曲折的过程，而不是一帆风顺的．但无论如何，从事物发展的总趋势看，人类总是日益接近真理，新生事物是不可战胜的．

六、光学现象中的质量互变

质量互变是马克思主义哲学的重要观点，本章中含有大量的可进行质量互变观点教育的材料，应当很好地加以利用．

1．光的衍射

在教学中进行光的衍射演示实验时，可以先提出问题："当缝（或孔）的线度逐渐变小时，在光屏上可观察到什么现象？"然后逐渐减小缝（或孔）的线度，使学生在光屏上看到，光斑先逐渐变小，然后又出现明暗相间的条纹．继续使缝或孔变小、明暗条纹的宽度和间距会随之变化．从而使他们体会到量变引起质变的规律，进而认识到，任何规律都有其适用条件．光的直线传播只是一条近似的规律，只有在光的波长比障碍物或孔的线度小得多的情况下，才可以看成是沿直线传播

的.

2．电磁波谱

电磁波谱是由无线电波、红外线、可见光、紫外线、伦琴射线、γ射线等组成的电磁波系列．应使学生明白，每种射线都涉及一定的波长范围，不同波段的电磁波具有不同的性质．波长量的变化到一定的程度会引起电磁波性质的变化．课本中对可见光没有详细展开讨论．考虑到可见光十分常见，教学中可以结合课本中太阳光谱的彩图适当补充，使学生从可见光波长的变化引起颜色变化中认识质量互变的规律．

3．光电效应

光电效应现象的产生要求入射光的频率要有足够大，$\nu \geqslant \frac{W}{h}$．教学中应使学生看到，当入射光频率 $\nu < \frac{W}{h}$ 时，光电效应现象并不产生，只有当入射光频率 $\nu \geqslant \frac{W}{h}$ 时，才能产生光电效应现象．从而使学生体会到一种质的变化应有足够的量的变化的积累．在 $\nu \geqslant \frac{W}{h}$ 后，ν 的增大将使光电子的初动能随之变化，这表明在新的质的基础上又将发生新的量变．

七、粒子性和波动性的对立统一

粒子和波动是两个对立的事物，但是，单用粒子或波的模型都不能对光现象作出满意的解释．“统一”的方法论原则提示我们，是否可将粒子和波动统一起来呢？正是在这种思想的导引下，人们设计了单光子干涉实验．实验成功地证实了波粒二象性．波动性和粒子性的统一是一种对立的统一，这种对立的统一可能会与学生的日常观念相抵触，较难为学生接受．这种思想方法的培养需要有一个过程，不能操之过急．本章教学

时可着重抓住以下两点加以说明：

（1）由光子能量公式 $E=h\nu$ 说明统一性. 式中 E 是每个光子携带的能量，它表明光的能量是量子化的，这是光的粒子性的特征；而 ν 则是光波的频率，它表现的是光的波动性的特征.

（2）利用单光子干涉实验，指出波粒二象性中的粒子并不是宏观的粒子，波也不是宏观的波. 微观世界有其自身的规律，不能简单地套用宏观世界中的结论. 个别光子表现为粒子性，而大量光子则表现为波动性.

第二十章　原子和原子核

俞祥露

本章研究物质微观结构的初步知识．通过本章教学，要使学生掌握原子和原子核物理的一些基本概念和基本规律，而且要了解建立科学模型和假说等现代物理的研究方法，还可以使学生认识世界的物质性和统一性，受到辩证唯物主义观点的教育．

一、利用模型方法研究原子结构

模型方法在前面一些章中已出现，但因为本章所涉及的都是微观世界的知识，看不见，摸不着，于是也就更需要采用模型方法．与前面各章相比，本章中模型方法的运用比较集中，模型方法的意义也体现得比较彻底．而且，教材中第一次采用“模型”作为标题．因此，应当重视对模型方法的教育，使学生对这一科学方法有本质的认识和深刻的印象．

模型是为了达到认识原型的本质及其规律，根据事物的某些特征，从各个方面进行模拟，并借助丰富的想象而创造出来的．赫兰德教授指出：“1913年，玻尔公布他对氢原子的描述时，第一次使用‘模型’一词，模型的本质是模型和原型的一致性．”

在进行原子结构模型教学时，应当使学生确认：研究原子结构必须建立模型（必要性），而模型很难一次建立成功，因此必须对模型进行反复的检验和修改．同时还应当使学生明白，原子结构的各种模型能够解释哪些现象，在解释什么现象

时遇到哪些困难，新的模型是怎样建立起来的，新的模型较之旧的模型有了哪些改进，等等．具体应说明以下几个问题．

（1）在引出汤姆生模型前，应向学生指出：①电子的发现说明原子并不是不可分割的，它有自己的结构．②原子的结构无法直接观察到，只能根据原子的某些表现，在头脑中去揣摹原子结构，也即建立起一个形象化的模型．③因为人对原子的认识是从无知到有知，从知之不多到知之较多的，所以开始根据个别现象建立起来的模型不一定能解释后来发现的事实．应当随着认识的深入和扩大，对原来的模型进行修改，使之更接近原型．

（2）在教学汤姆生枣糕模型时，应使学生明确建立这个模型的基础和所能解释的现象．即：①电子的发现表明原子可分为带正电的部分和带负电的部分．②枣糕模型可以解释原子的电中性和定性解释原子光谱．③枣糕模型虽然否定了原子不可分割的旧观念，但仍带有旧观念的痕迹，即原子从整体上看是一个球体．

（3）在教学卢瑟福核式结构模型时，应使学生认识到：①α粒子散射实验的现象是汤姆生模型所无法解释的，因此这个实验也就成为否定汤姆生模型的判决性实验．②α粒子散射现象表明原子中带正电的部分具有很小的体积，并集中了原子的大部分质量，原子的整体并不是球体．③电子不会因库仑力而落到核上，这是因为电子绕核运转，正如地球绕太阳运转一样．④卢瑟福模型虽然否定了汤姆生模型，却保留了汤姆生模型中原子整体呈电中性的合理成分．

（4）在教学玻尔原子模型时，应使学生明确：①卢瑟福模型无法解释原子的稳定性及原子光谱，必须对它进行修改．②玻尔受量子理论的启发提出了三条假设，解决了卢瑟福模型面

临的困难. ③玻尔并不是推翻卢瑟福模型，而是对它进行修正. 玻尔原子模型仍保留了卢瑟福核式结构的模式，只是补充了几条假设. 但这几条假设却具有极为重要的革命性意义，它使人们对原子的认识达到了一个崭新的阶段. ④玻尔模型能很好地解释氢光谱，但在解释较复杂的原子时却碰到很大的困难. 原因在于玻尔模型是半量子化的，它保留了轨道等经典概念.

（5）对玻尔模型的修改必须彻底放弃经典概念. 量子力学对玻尔模型的修改，最关键之处在于用电子云概念取代经典的轨道概念. 电子云与轨道的统一之处在于电子云密度最大处恰好与玻尔理论中的电子轨道相一致.

原子结构模型的发展史，也是对学生进行辩证唯物主义教育的好教材. 根据辩证唯物主义观点，新事物取代旧事物的过程是一种辩证的否定的过程. 人们对原子结构的认识过程也符合这一观点. 应当在教学中使学生认识到，任何一种原子模型的建立都不是凭空想象的，它总是否定了旧模型中不合理的成分，而保留了旧模型中合理成分；旧模型能解释的现象，新的模型都能解释，旧模型不能解释的许多现象，新模型也能解释. 但是现有的新模型也不是终极模型.

二、通过实验建立理论和检验理论

实验是物理学研究的基本方法.科学问题被提出之后，问题的深入研究就离不开观察和实验. 实验不但为建立理论提供基础，也为检验理论正确与否提供依据. 原子不可分割观点的否定，是依据电子的发现这一事实；汤姆生模型的否定及卢瑟福模型的建立，是依据α粒子散射实验；玻尔模型的建立是依据氢光谱实验；量子力学理论代替玻尔理论，是依据复杂原子光

谱的事实. 又如，原子核结构的研究，起始于放射性的发现；质子的获得，归功于α粒子轰击氮核的实验；中子假说的检验，依据的是α粒子轰击铍核的实验；爱因斯坦质能方程原是从相对论中推出的一个预言，只是在原子核的裂变和聚变发现后，才被普遍确认. 此外，如α、β、γ射线的探测，射线本质及其特性的确定，等等，更离不开实验.

应当通过本章的教学，使学生深刻认识到，只有借助观察和实验所获得的事实，才能建立科学模型，提出科学假说，而模型和假说的正确性又必须通过观察和实验来检验. 如果模型和假说的预言为事实所证实，则模型和假说正确，因而被人们所接受；如果模型和假说的预言与事实相悖，则应当放弃旧的模型和假说，或对它们进行修改，从而建立新的模型和新的假说.

教学中还应使学生认识到，微观现象虽然看不见，摸不着，但我们却可以根据各种粒子产生的各种效应来进行观察和判断，所以微观世界是可知的. 为此，教师要创造条件，做好威尔逊云雾和盖革计数器等演示实验，其余实验应尽量采用挂图和板图，向学生详细介绍各个实验的设计思想、原理、观察方法、观察结果，以及科学家如何根据实验结果提出模型和假说，得出什么结论，等等，使学生认识到实验在物理研究中具有不可替代的作用.

三、借助类比方法建立原子结构模型和假说

类比方法的运用对发展学生的创造性思维是很有效的，它的优点在于既不受已有的一般结论束缚，又不受个别知识不多的限制，而可以大胆地从已知个别的知识中可能推出其他个别的正确结论来. 类比是建立模型和假说的一种重要手法，因为

模型和假说的建立不是凭空的，它往往是从已知事物类推而出。

卢瑟福建立原子的核式结构模型是受到太阳行星的启发。在教学这段教材时，应当先向学生指出，如果原子具有带正电的核，为什么核外的电子不会因库仑力而落到核上去呢？然后再予以启发：地球受到太阳的万有引力，为什么不会落向太阳呢？从而引导学生通过类比提出：核外电子绕核高速运转，原子就像一个小的太阳系.

在介绍正电子时，可以适当补充正电子假说的提出和检验. 即人们在发现电子和质子后，看到电子和质子的电荷很对称但质量差异太大，于是人们由正负电荷的对称，推测自然界中可能存在与负电子完全对称的正电子. 这个假说1928年由英国物理学家狄拉克提出，1932年被美国物理学家安德森证实. 此外，还可以启发学生思考：宇宙间既然有负电子和正电子，类似地应当也存在质子和反质子、中子和反中子（反质子和反中子均已找到），等等. 进而可以敞开思路：自然界中会不会存在由反粒子组成的反物质？宇宙间会不会存在反物质星系？有没有与“我们的宇宙”所对称的反宇宙，等等. 这种启发设想，虽然不是本章教学的直接任务，但它对于激发学生的求知欲，训练类比思维，具有极大的作用.

四、核反应中的守恒原理

学生在前面各章的学习中已经接受了不少守恒观点的教育和守恒方法的训练，已经认识到质量守恒、电荷守恒、机械能守恒、动量守恒及能量守恒等守恒关系在宏观世界中的表现. 这些守恒定律的适用范围不尽相同，本章教学要将其中一些守恒关系的适用范围推广到微观领域. 应当充分利用典型教材的

教学，使学生认识到守恒是自然界中一种十分普遍的规律，从守恒规律着手是解决物理问题的一个好方法.

在原子核反应中，原子核性质发生变化，但反应后的总质量数和总电荷数总是与反应前的总质量数和总电荷数相等. 这是质量守恒定律和电荷守恒定律在核反应过程中的表现. 在教学中应当向学生指出：

（1）质量数守恒和电荷数守恒只是对核反应的发生提出了必要条件，而不是充分条件. 符合两条守恒定律可写出的核反应方程式有许多，但究竟哪一种反应是可能发生的，只有由事实来决定. 核反应方程反映的是客观的物理过程，决不能反过来根据两条守恒定律来臆造出几个核反应方程.

（2）质量数也即核子数，质量数守恒是质量守恒定律的近似表现，因为它只考虑原子核的静质量. 但是，核反应过程中总是伴随着能量的吸收或释放，所以，原子核的静质量严格地说并不守恒. 只是因为与吸放的能量相对应的质量增减极为微小，使质量数守恒的关系不受破坏.

对第（2）点，可以在讲授了质量亏损知识之后向学生补充指出，以使学生对此有一个正确的理解.

爱因斯坦的质能方程 $E=mc^2$ 及 $\Delta E=\Delta mc^2$ 形式很简单，但学生对此往往容易产生误解. 不少学生容易将方程 $E=mc^2$ 理解为质量与能量之间存在着相当的关系，而将方程 Δmc^2 理解为质量与能量间的互变. 有的甚至由此对质量守恒定律及能量守恒定律产生怀疑. 为此，教学中应当正确阐述两个方程的物理意义，特别要通过扩大学生对质量概念的认识，使他们明确：质量守恒和能量守恒是自然界中两条独立的基本规律. $E=mc^2$ 反映的是 E 和 m 的对应关系，而不是相当关系. 哪里有质量，哪里就有能量，反之亦然，运动和物质是不可分离

的．E是物质的总能量，包括潜在的能量（静能）和运动的能量；m是物质的总质量，包括静止的质量和运动的质量．在裂变和聚变过程中，都发生了质量亏损，但质量亏损并不是质量消失了，而是在这两种情况下都有一定的静能转化为动能，并转化为热能以及电磁辐射能等．由此可见，在发生质量亏损时，有一部分实物状态的物质转变成场状态的物质，并以电磁波的形式辐射．静质量减少了，而动质量却增加了，总质量还是守恒的，物质还是不灭的．相应地，原子核的潜能减少了，而场的能量却增加了，总能量还是守恒的．在核反应发生辐射时，既带走了一定的质量，又带走了一定的能量．所以，质能方程并没有推翻，而是丰富了质量守恒定律和能量守恒定律．

此外，还可以适当补充查德威克利用动量守恒定律进行运算，发现中子的史实，从而使学生认识到动量守恒定律在微观领域中也是适用的．

五、分析和综合方法的运用

分析和综合是两种基本的思维方法，本章涉及的都是微观世界的知识，因此应当善于引导学生通过对宏观现象的分析，然后进行综合概括，得出结论．可以α粒子散射实验为例进行分析．

α粒子散射实验出现了出乎意料的结果，绝大多数α粒子穿过薄金箔后仍沿原来方向前进，少数α粒子发生较大的偏转，极少数的α粒子则发生大角度的偏转，有的甚至被弹回，偏转角近180°．进行这段教材教学时，可先补充介绍，假定金箔厚1微米，则有3 000多层，然后引导学生分析：大部分α粒子可以穿过3 000多层的金箔，表明原子内大部分空间是空的，原子带正电的部分集中在一个很小的体积中；少数α粒子穿过

金箔后会发生偏转，是因为少数α粒子离原子中心（核）较近的地方穿过，受到较大的静电斥力作用；极少数α粒子穿过薄金箔时会被弹回来，说明这些α粒子是正对原子中心射入，受静电斥力而折回．在充分分析的基础上，综合得出原子的核式结构模型．

教材在介绍查德威克发现中子的实验时，也是采用分析和综合的方法．α粒子轰击铍核时，会产生一种看不见的贯穿能力很强的不带电的粒子．根据穿透性及不带电性可能是γ射线，但根据该射线从石蜡中打出的质子的能量来推算，该射线不是γ射线，而是与质子质量相当的粒子．根据不带电性及质量大小，最后综合得出该粒子是中子．

质子的发现，教材中也是通过对α粒子打入氮核后的分叉径迹进行仔细分析，从而得到确证的．

六、运用对立统一规律认识物质无限可分

唯物辩证法的对立统一规律告诉我们，物质是无限可分的．

19世纪的大多数科学家认为原子是组成各种物质的最小微粒，是物质的基元．这种形而上学的观点曾经严重地禁锢了科学家的头脑，阻碍了科学的发展．在证实原子可分前，恩格斯从唯物辩证法的基本原理出发，明确地指出：原子决不能被看作简单的东西或最小的实物粒子．1895年X射线的发现，1896年天然放射性的发现，1897年电子的发现，都证实了原子内部具有复杂的结构．大量的实验事实证明，原子是由原子核和核外电子组成的，而原子核则是由质子和中子组成的．当人们获得这种认识时，不少受形而上学世界观支配的物理学家并没有吸取历史的教训，而是重复历史的错误，将电子、质子和中

子等粒子看作不可分割的，并把它们称为“基本粒子”.

现代物理研究表明，基本粒子在一定条件下能相互转化，基本粒子并不基本，它们都是有内部结构的. 所以，有些物理学家倾向于不再使用“基本粒子”这个名称，而改称为粒子.

此外，教师还可以适当补充发现夸克存在的事实（见《物理教师》1991年第3期）. 三名物理学家因这一发现而获得1990年度诺贝尔物理学奖，从而在科学上最终承认了夸克的存在. 这是粒子物理学的又一重大进展.

七、量子理论中反映的微观世界的矛盾特殊性

世界的统一是多样性的统一，世界是物质的，物质是有层次的，不同层次的物质都是运动着的. 但不同层次物质运动的形状和规律不尽相同. 玻尔模型中的定态概念和量子力学中的电子云概念，都是与宏观物体的运动不相一致的. 所以，不能用宏观的观念去理解微观物体的运动. 这一点应该在教学中向学生指出，因为只有承认微观物体运动的特殊性，才能接受量子观念.

第二篇　高中物理方法教育教案例选

高中物理方法教育教学模式探讨

徐承楠

在高中物理教学中，进行方法教育的意义已逐渐被大家所认识．为了使方法教育在高中物理教学过程中得以实施，除了继续认识方法教育的价值外，还要建立适合高中教学实际的、有效的教学模式．作为合理的方法教育的教学模式，应满足以下几个方面的要求：

（1）高中物理方法教育的目的是使学生初步认识科学探究的过程，促进科学素质的形成，并为建立正确的世界观打下良好的基础；使学生学会一些科学的方法，进而提高能力．方法教育的教学模式要体现素质教育和能力教育的教学过程特征，以保证方法教育目的的实现．

（2）“（自然科学的）科学方法是自然研究活动领域中行为方式”①，它是研究科学活动过程的途径、手段和方式．所以，科学方法的知识有过程性和操作性的特征，而我们的教学是要让学生认识这些途径、学会使用手段，因此教学模式应有

利于揭示科学方法的过程，并含有运用手段的操作过程.

（3）“科学方法论是关于认识世界和改造世界的方法理论”②. 作为一种科学理论，自然有由概念、规律、原理等组成的知识体系，并具有自身的系统性. 我们并不开设独立的课程（选修课除外）进行科学方法教育，只是依附物理知识教学的过程，而物理知识也有它的系统性. 鉴于这样的教学背景，方法教育的教学模式必须很好解决这两个系统的矛盾，使两个教学过程有机地结合起来，相互促进，而不是相互干扰. 结合的方式可以是在知识的系统中发掘方法教育的因素，用方法论的知识结构加以组织，从而形成一条依附知识教学系统主线的副线.

根据以上认识，笔者对几年来方法教育的教学的实践进行总结，提出隐性和显性两种教学模式，下面就这两种教学模式进行讨论.

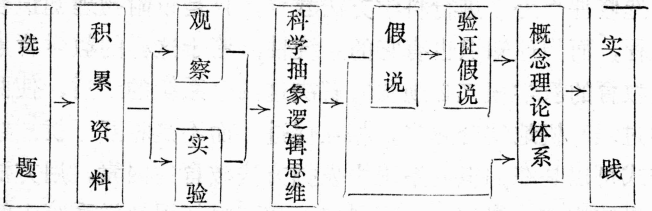
一、隐性模式

所谓隐性模式就是用反映科学认识基本过程的科学方法的一般程式去组织对科学知识的概念、规律、原理的教学过程，使学生的认识过程模拟科学探究过程. 但教学过程中并不明确地去揭示所采用的科学方法一般程式的原理、各阶段具体方法的名称和有关知识.

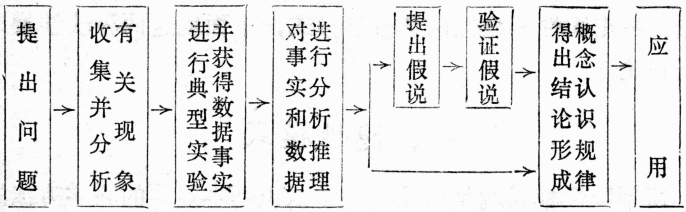
这种模式是建立在科学的认识过程和教学的认识过程有相似之处的基础上. 它们的认识过程有共同的认识对象并得到共同的结果，一般也服从共同的认识规律. 如果教学的认识过程较接近科学认识过程，就能使学生感受科学探究过程，得到科学研究的启蒙，达到科学方法教学的目的. 但由于科学方法的哲学原理是深奥的，科学认识基本过程各阶段所采用的方法是

多样的，在很短的教学过程中阐明有关方法论的知识，使学生理解科学认识过程的原理是有困难的，所以采用了隐蔽的方式进行.

科学方法的一般程序可以简单地图示如下：



根据以上程式及教学的实际情况，把教学的基本过程设计如下：



下面以楞次定律的教学过程为例，来说明如何按照这种模式进行教学.

1.提出问题

在上一节产生感生电流条件研究的基础上，从进一步认识感生电流的角度提出研究感生电流的方向.

2.收集和分析现象

启发学生回忆研究感生电流产生条件的实验中电流表指针偏转的情况. 从现象可直接知道，不同的实验过程中，感生电流的方向是不同的.

3.获得典型实验事实

先选择两个典型实验（如图2—1所示，该实验可以演示，也可以分组进行）．分两步进行实验，第一步试探性地进行，把不同极性的磁极插入线圈或从线圈中拔出；使原线圈中电流方向不同的情况下，改变它的大小，观察感生电流表指针偏转方向，从中猜测可能影响感生电流方向的因素．第二步进行有控制的单因子实验，即使线圈中原来磁场方向不变，改变它的大小．观察电流表指针偏转情况，再控制磁场改变的情况，比较不同磁场方向情况下电流表指针的偏转，并作下记录．

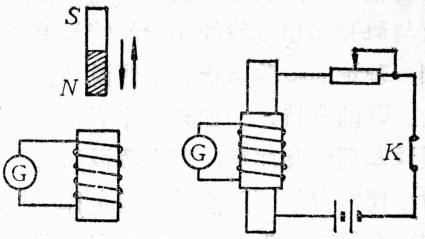


图2—1

4.分析实验事实并作推理

对实验所显示的磁场方向，电流（产生磁场的电流）方向，磁场变化的情况等因素与感生电流方向关系作分析，概括出带普遍性的，表述简洁的定律．为使定律更具普遍性，淘汰用产生磁场的电流方向来描写感生电流方向的方法；由于用磁场的方向直接描写电流方向的困难，淘汰用原磁场的方向描写感生电流的方法．考虑到比较的方便，引入感生电流的磁场方向这个因素，在实验记录中把这个因素显示出来，再作比较，可发现原磁场增大时，感生电流磁场和它的方向相反；原磁场减弱时，感生电流磁场和它的方向相同．

5.提出假说并加以检验

在上面分析基础上概括成楞次定律（一般来说，由学生概括成书上的楞次定律的表达形式是困难的，故可在学生讨论基础上，经教师的引导而得到），但此时仍处假说阶段．对假说

的检验可以是实验，也可以是理论．用实验检验时选用的实验应与原来得出规律的实验的情景差异大一些，这样可信性就增加．理论的检验是指这个假说是否得到“包含更广的假说或理论”③的支持，“如果一个假说与当时公认为得到充分确证的假说和理论相冲突，那末假说的可信就受到不利的影响．”④对于楞次定律可用能量守恒定律去检验．经检验后，才确认楞次定律，学生也从能量的高度获得对楞次定律更深刻的认识．

以上的设计自然不能脱离教材而另搞一套，而是对教科书的内容加以补充、组织．另外，我们还要解决时间和效果的矛盾．因为教学过程越接近科学探索过程，学生参加探讨的活动就越多，学生对科学过程的“感受量”就越大，科学方法教育的效果就越好，但这需要很多的时间，所以要掌握适度原则，在教学时间许可的条件下，争取更好的效果．

二、显性模式

所谓显性模式是指进行科学方法教育时，明确指出这种科学方法的名称，传授有关该方法的知识，揭示方法的形式，操作过程，说明原理．也就是说教师公开宣称进行科学方法的教育，学生处于有意识地接受科学方法知识的状态，教学过程的方法教育的形式是外显的，所以称为显性模式．

运用这种模式进行教学所选用的方法可以是科学认识过程中各阶段采用的方法，如观察法、实验法、理想化方法、模型方法等．也可以是解决问题过程中技巧性的方法，如隔离法、等效代替法、虚设法、特殊值法等．就每一个方法来说，涉及该方法的知识不多，形式是确定的，原理也容易接受，学生也有可能模仿进行操作练习，教师可以设计目标，让学生达成．

而且这些方法的掌握是形成能力的基础，从培养能力的角度来看是必要的.

这种教学实质是知识和技能相结合的教育. 教学过程要阐明方法的定义，方法操作的基本形式、作用、原理依据、适用范围，而且还要有操作练习. 下面以理想化的方法为例，说明这种教学过程.

1.通过特殊到一般的过程，概括理想化方法的定义

第一步在学习质点、单摆、理想气体、自由落体、匀速圆周运动、简谐振动等概念以后，对它们作对比分析，它们虽然有的是理想的“实物”，有的是理想的过程，但它们的共同点是对客观存在的纯化反映，是抽象的绝对理想形态，所以我们把这些称之为理想模型. 在介绍伽利略的一些理想实验后，又指出这类的实验是纯化条件、塑造理想过程、进行逻辑推理而得到一定的结论. 第二步把理想模型和理想实验作比较. 指出它们不同点是：理想模型是作为一种形态的形式存在，而理想实验作为一种推理过程的形式存在. 它们的共同点是“以可靠的事实为基础，经过抽象思维，抓住主要因素，忽略了次要因素”⑤，从而更深刻地反映客观，这样的方法就是理想化方法.

2.通过理想化方法过程的展示，明确理想化方法的形式和操作方式

理想化过程是抽象过程，这个抽象的内容是提取主要因素，所以展示过程就要对对象所含的因素进行分析，根据研究问题的需要和具体情况确定主要因素和次要因素，保留主要因素略去次要因素，再根据主要因素的特征，建立模型. 作这样的抽象可以是理性分析，如一个物体有大小、形状、刚性等外表形态和质量等内在性质. 为了研究物体的整体运动状态，在

物体处于平动和物体大小比运动的空间小得多的两种情况下，大小、形状、刚性等均为次要因素，而质量为主要因素（这一点学生在学完牛顿第二定律才能体会到），于是建立只有质量而无大小的质点模型．有时也可用实验的方法来说明理想化过程和它的合理性．如为了建立理想化透镜模型，可用图2—2装置的实验．先用比较厚的透镜对平行于主光轴的光线聚焦，实验显示出通过透镜的光线明显地不聚在一点上，然后换作较薄的透镜，各交点逐渐靠拢，再把离主光轴较远的光线用遮光板挡住，剩下的光线就几乎交在一点上．于是在薄透镜和近轴光线的条件下，平行于主轴的光线经透镜折射交于主轴的一点上，这一主要因素就被提炼出来，由此我们建立了能把平行于主轴的光线会聚在一点的理想透镜模型．

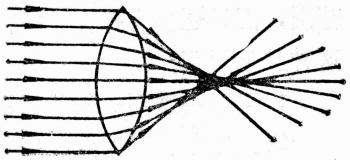


图2—2

3.运用模型过程中体会理想化方法的作用

在理想模型基础上建立的定律有简洁性特征，而且实验可说明结果又与实际符合得很好，我们可以用事实说明以上两点．如在单摆模型基础上得出的周期公式很简单，但用它来测定重力加速度时获得的结果也很准确．学生在接受这些事实的情况后，能体会到理想化方法的作用．

4.在学生逐步理解理想方法的基础上，让学生参与“理想化过程”，对几个典型的模型进行理想化过程分析

这种参与和分析对学生是一种练习，当然也可以在习题中进行把实际对象转变为理想模型的练习．

显性模式的教学过程要处理好系统性问题，学生接受一个方法的知识需要过程，如果不安排好次序，会影响教学效果．

组织这个系统可以从两方面着手，一是挖掘教材中的方法教育因素，二是分析方法过程特征（因笔者无这方面的成熟经验，只能提出参考性的意见）．另外还要处理好各方法之间的关系，在有限的教学时间内只能选用几个主要的方法进行教学．教学中也可以把各方法作比较，如学生会把理想化方法和模型方法混淆，我们可以指出前者是设计模型过程中的手段，而后者则包含模型的建立、检验、修改及从模型中推导出假说等多个过程的理论思维发展的方式，从而把两者加以区别．科学方法还具有层次性，前面提到的这些自然科学方法中含有推理、分析和综合、抽象等逻辑方法，这些方法是自然科学方法的元方法，教学中不必对元方法展开深入讨论．自然科学方法中还含有哲学原理，根据学生可接受性原则，也只能“点到为止”．

两种模式不是完全对立的，隐性教学过程中可以有显性的表现，为了教学的方便，提出方法名称，很简单地指明方法的手段，也是必要的．显性模式中也有隐蔽阶段，显示科学方法是教学的需要，一个方法在中学物理知识系统中多次用到，不可能也无必要让它全部地显示出来．

以上对两种模式的探讨是很粗浅的，笔者把初探的结果撰成此文，目的是请教于同行们，希望得到批评和指正，也希望和同志们一起为建立完整的中学物理方法教育体系作出努力．

参考资料

①中国科技大学等校编，《自然辩证法原理》，湖北教育出版社1984年版，第262页．

②《中国大百科全书·哲学》编辑委员会编，《中国大百科全书·哲学分册（1）》，中国大百科全书出版社1987年版，第203页．

③季子林等编，《自然科学方法论》，内蒙古人民出版社1983年版，第34页.

④享普耳著，侣华夏等译，《自然科学的哲学》，生活·读书·新知三联书店1987年版，第73页.

⑤刘克桓等编，高级中学课本《物理（上册）》，人民教育出版社1987年版，第85页.

高中物理方法教育要突出实验方法

——试谈实验教学的意识、功能和方法

吴加澍

一、 增强实验意识

物理教学必须以实验为基础，这已经成为广大物理教师的共识. 无论从物理学科的特点，或者从学生的年龄、心理特征，还是根据物理教学的目标等方面来看，我们都可以列举出充分的理由，来论证这样做的必要性，在此无须赘述. 但眼下的问题是，一致的认识似乎并没有形成一致的行动. 目前，实验在整个物理教学中，仍是最薄弱的一环，它的地位尚未保证，作用更有待发挥. 原因当然是多方面的，既有客观条件的限制，还有高考副作用的影响，但最主要的还属主观因素. 在许多情况下，我们对实验的认识，往往只满足于口头上的泛泛而谈，或是书面上的应景文章，并没有在增强实验意识这个根本问题上认真地下功夫.

人们做事，总要受思想支配，而思想则往往由沉淀在深处的意识所决定. 如果一个人在某方面的意识越强烈，则他相应的行动就越主动，越有效. 就好比一个优秀的足球运动员，必须要有强烈的射门意识，只有这样，他才会在瞬息万变的赛场上积极主动地捕捉战机，去夺取胜利. 同样，实验意识的强弱，对于我们搞好物理实验教学，也起着极其重要的作用.

记得有一次，南京师大的刘炳升教授来我省讲学，主要就

是关于实验教学．他表演了很多精彩的实验，其中有一个“高空落蛋”的演示，我至今记忆犹新．这个实验很简单：把鸡蛋用一根细线悬挂，通过支架、滑轮将其升至高处，然后放手落下，第一次掉在桌面上，鸡蛋破裂；第二次掉在厚厚的泡沫塑垫上，鸡蛋完好无损，我对如此简单的现象也要演示一番，还真有些不以为然．但随着刘老师认真的操作，传神的演示，自己也不知不觉地进入了角色，目光紧紧盯着越升越高的鸡蛋；当它突然落下时，心里还忍不住抽动了一下．这个实验虽然简单，演示却很成功，完全吸引了在座听讲的老师．以后，每当学习动量定理这一课时，我也就将它引进，作为一个“传统节目”，每次必做，每次总是引得学生们满堂喝彩，收到了很好的课堂效果．

通过这件小事，我有两点感受，第一，“高空落蛋”的现象，原本也可通过教师的讲述，用语言形式来呈现，但与演示实验相比，视觉刺激要比听觉刺激强烈得多，具体形象要比再现形象鲜明得多．因此，在一些教师看起来似乎很容易理解，无须实验的地方，恰恰是应当加强实验的地方．物理知识只有扎根于物理实验的沃土里，才能茁壮地成长．第二，“高空落蛋”的演示，无需复杂器材，更不要化高昂代价，可以说是人人可做，个个会做．但我自己过去为什么就没有想到去做呢？由此看来，造成目前实验薄弱的原因，并非全是“不能为”的问题，很多是属于“不想为”的问题．为了改变实验教学的现状，增添仪器设备当然需要，但增强实验意识尤其需要．“坛坛罐罐当仪器，拼拼凑凑做实验”，这是著名物理学家朱正元先生的传世名言．它给我们的启迪，与其说是提出了因陋就简、器材代用的可能性，不如说是指出了更新观念，增强意识的重要性．对于一个具备较强实验意识的教师，坛坛罐罐也能

当成仪器，信手拈来，照样做好实验；相反地，对于实验意识薄弱的教师来说，纵然有现成的器材，也不愿采用，长期堆置于角落，实验仪器也会变成“坛坛罐罐”．因此，作为一个物理教师，我们应该自觉地加强实验意识，充分发挥它在实验教学中的能动作用和导向作用，提高我们的实验素养．

当然，实验素养的构成，除了实验意识之外，动手能力也很重要，要做一个合格的物理教师，应该具备“三术”：一是学术，有扎实的专业、理论功底；二是艺术，有较高的教学水平；三是技术，有较强的动手能力．物理教师既要心灵口巧，更要心灵手巧．

近几年来，我校的物理教师从增强实验意识入手，提高了实验教学的自觉性和主动性．过去是，能不做的实验就尽量不做；现在是，不能做的实验也想方设法尽量去做．应该说，这是个可喜的进步，首先是观念和意识上的进步．目前，我们不但保证学生实验开出率达到100%，演示实验更有较大幅度的增加．如高中电学部分，教学大纲规定的演示实验总数大约是38个，我们则做了117个，比规定数的三倍还多．实验教学的加强，为物理教学质量的提高打下了良好基础．以近两年我校物理高考成绩为例，1991年全体考生的物理平均分为82.3分，1992年为86.7分，都达到了较好的水平．

二、发挥演示实验的功能

物理教学要真正落实以实验为基础，就必须充分展现实验的魅力，淋漓尽致地发挥它的教学功能．几年来，我们探索运用演示实验，在以下诸方面起到了积极的作用．

1．创设情景，引入课题

凡是成功的教学活动，总是在良好的教学情景中展开的．

利用演示实验，可以有效地激活学生的动因，使得他们的智力或非智力因素迅速调动起来，投入到新课题的学习活动中去．对于物理教学来说，至少有着如下两个最为活跃的学习动因．

一是“以美引趣”．从审美的角度来看，奇异美妙、变化万千的物理世界对学生有着一种特殊的魅力．我们若通过演示实验，将她充分展示出来，定会使学生激起强烈的审美情趣．例如，在学习液体的表面张力时，我们总是先从演示两则实验开始．先是吹肥皂泡．尽管每个学生小时候都吹过这玩意儿，可在课堂上看到老师吹，恐怕是头一遭；而且吹出的都是些特大的超级肥皂泡，都感到很新奇，课堂气氛很快就出来了．随着五彩缤纷的花纹在肥皂泡的球面上飘忽变化，一种令人愉悦的美感在学生心中油然而生．接着是第二个演示，把多种不同形状结构的铅丝框架浸入肥皂液中，而后取出来一看，学生们情不自禁发出了阵阵赞叹：那普通的皂膜竟在框架上自动组成了各种漂亮的图案，显得那样神奇，那样和谐，犹如一件件精美绝伦的艺术珍品，大家都沉浸在一种强烈的审美体验之中．为了进一步将这种体验从官能感受的阶段引向理智领会的水平，我们又及时点拨，如在吹肥皂泡时，就问学生：为什么肥皂泡都是球形的？你能吹出方形的肥皂泡来吗？在演示框架皂膜造型时，则向学生点出：若对这些图案进行测量，可以发现任意两个相邻面之间的夹角总是成120度，利用数学知识还可以进一步证明，按这样规律构成的空间图形，表面积为最小．通过上述的演示和点拨，不仅使学生目睹了液体表面现象外在的形态美，而且也初步领略到事物内含的规律美，通过审美的移情作用，最终对表面张力这一新课题产生了浓厚的学习兴趣．

二是“以疑激思”．从认识的角度来看，只有不断地打破学生原有的认知结构，使他们的思维远离平衡状态，才能有效

地调动起学习新课题的积极性. 为此，我们可以运用实验手段，将新旧知识的矛盾，尖锐地摆在学生面前，使他们的思维处于激烈的不平衡状态之中，从而带着要解决问题的迫切心情投入学习. 例如用伏安法测电阻，学生在初中就学过原理，也做过实验. 尽管高中对此课题的教学要求已经提高，要讨论安培表内接和外接时两种电路的误差情况，但是面对这两种电路，学生开始的反应是淡漠的. 因为在他们原有的认知图式中，这两种电路原本是等价的，所以他们的思维仍处于稳定的平衡状态之中.为了能使学习引向深入，我们可通过演示实验来激化矛盾，打破平衡：采用大型示教电表，分别以两种电路去测量同一只大电阻的阻值，两次测出的数据是5.2千欧和2.0千欧；然后又去测量同一只小电阻，得出的数据为 5.0 欧和 3.6 欧. 悬殊的测量结果，造成了一种外来的强刺激，学生的思维被迅速地激动起来，从而促使他们积极主动地参与新课题的学习.

2. 建立概念，掌握规律

物理概念和规律，都是物理现象（过程）的本质联系在人们头脑中的反映，据此，我们在物理教学中应向学生提供足够的感性材料. 但是，这并不意味着要穷尽所有事例，越多越好. 值得注意的是，在每个概念或规律涉及的大量事例中，有的本质特征比较明显，而有的非本质联系却很强烈，我们必须根据教学要求，精选出那些最能反映事物本质的典型事例，运用实验手段，通过人为控制，创设特定的条件和情景，尽量使得所要研究的现象（过程）形象鲜明，本质突出，以便于学生分析和概括.

不妨以“即时速度”为例. 对高一学生来说，这是个抽象难学的概念. 如果我们就照着课文宣讲：“运动物体在某一时

刻（或某一位置）时的速度叫做即时速度．”这种说文解字式的诠释显然无助于概念的建立．如果仅仅告诉学生：“速度计的读数就是即时速度．”这更没有道出概念的实质性含义．当然还可举实例说明：一个人站在公路旁，刚好有辆汽车从他身边疾驰而过，“好快呀！”这时他所感受到的就是汽车该时刻的即时速度．但这毕竟只限于直观体验的描述，远谈不上对概念本质的揭示和把握．

为了使学生能建立起这个概念，课文中指出：为了更精确地了解做变速运动物体的运动情况，就要知道它在各个很短时间内的平均速度．教材这样处理的意图，是要利用学生认知结构中已有的“平均速度”概念，并以它作为“生长点”，通过同化作用，来建立起“即时速度”的新概念．但由于高一学生既缺乏相应的感性认识，更没有数学的极限思想，往往很难领会这段话的真谛．为此，我们如果运用实验手段，演示一番即时速度的实际测定，教学效果就会大不一样．

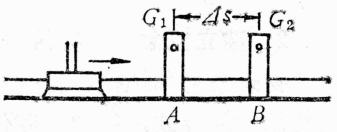


图 2 — 3

实验可在略为倾斜的气垫导轨上进行(如图 2 — 3)．例如要测定滑块通过A点时的即时速度，可把光电门 G_1 固定在A点，把光电门 G_2置于另一点B．演示时通过改变 G_2 的位置，逐次减少 AB 间的距离 Δs 并用计数器的“10ms”档测出相应的时间Δt，最后算出各次平均速度$\bar{v}$．

Δs(cm)	40	30	20	10	5.0	3.0	1.0
Δt(s)	1.03	0.80	0.55	0.29	0.15	0.09	0.03
$\bar{v}$(cm/s)	38.8	37.5	36.4	34.5	33.3	33.3	33.3

分析表列的数据，可以看出，随着 Δs（以及 Δt）的逐渐减少，各平均速度值也随之接近，当 $\Delta s=5.0\text{cm}$ 以后，平均速度已趋向一个定值. 这表明，在如此短的位移（时间）内，我们所用的实验仪器已经检测不出滑块速度的变化了，因此可将其视作匀速运动，它的平均速度值当然也可作为滑块通过 A 点时的即时速度了. 讲到这里，有的学生会提出：如果换用更精密的测量仪器，测出的速度值不是又要改变了吗？我们将计数器的时基改为"1ms"后重做实验，结果证明了这种看法的合理性. 接着，就以此为契机，进一步启发学生超脱具体条件局限，运用思维去继续"操作"实验（理想实验），从而使他们萌发出"无限逼近"的极限思想. 学生的认识一旦进入这样的境地，实际上已经触及到即时速度概念的内核了.

3. 丰富表象，软化难点

"从生动的直观，到抽象的思维"，这是认识的基本程序. 物理教学中诸多难点的形成，往往是由于学生缺乏相应的感性材料，表象单薄，甚至畸化，因而不能建立起准确、清晰的物理图像.

就以波动图线为例. 如何突破这个难点？常有各类经验文章见诸于物理杂志，不少作者还提出了多种多样的"口诀"，让学生照此行事. 但这样是否就可将波动图线问题一举突破了呢？我不敢苟同. 至少，我觉得把生动活泼的波动规律，僵化为呆板的操作指令，这种"变活为死"的做法并不可取. 我们运用图线这个数学工具来描述物理规律，原本是为了增强形象，便于理解，但是如果图线一旦与物理内容相脱离，就好似"魂不附体"，同样成为抽象的东西. 正确的做法，诚如朱正元先生说的"千言万语说不清，一看实验就分明"，还是要发挥物理学科的特点和优势，尽可能运用多种直观手段去解决

它.

首先，我们采用实物直观，演示了水波、绳子波以及弹簧波等多种波动现象，让学生对于这种运动形态有个具体形象的认识. 接着又运用模像直观，利用波动演示仪，模拟横波和纵波的形成，并指导学生分步观察：先看单个质点（每个质点都在平衡位置附近来回振动），再看相邻质点（后一质点总是重复前一质点的运动），最后综观全体质点（媒质的质点并没有随波迁移，传播的只是运动的形式）. 第三，还借助语言直观，通过比喻或类比，进一步丰富学生关于波动的表象. 如爱因斯坦为了说明波动过程中质点并未“随波逐流”的特征，曾经比喻：“一个谣言从伦敦传到爱丁堡，但制造谣言的人并没有在两地之间来回往返”. 又如美国一本物理教材中，为了说明波动的形成，则举了这样的例子：一大群戏迷聚集在剧院门口，正在等待他们崇拜的明星出来. 当明星刚在门口出现，首先引起前排戏迷的扰动，这种扰动迅速地往外传递开来，从而使得最后几排的戏迷也感知到了明星的出现，尽管他们根本看不见明星的身影. 如果我们把上述两种现象也称之为“波”，不妨称前者是“谣言波”，后者则是“热情波”. 尽管它们都是非物理波，但类比之下，同样具有波的基本特征：既有波源，又有媒质，还有着传播机制.

通过以上多种直观手段的交替运用，就为学生提供了丰富的表象材料，使他们在头脑中构建出一幅较为清晰、准确的波动图景. 有了这个基础，我们再引导学生从理论上分析、归纳出解决波动图线问题的几条关键性规律，例如：波动与振动在时空上的一致性，波在媒质中双向传播的可能性，以及波形图线的重复性，等等，从而就有可能在根本上突破这个难点.

4. 启迪思路，渗透方法

为了使学生更好地掌握分析、解决物理问题的思路和方法，我们还尝试将实验与习题教学有机地结合，利用演示实验起到言简意明、画龙点睛的作用.

例如，在分析如图 2 — 4 所示的圆球是否受到墙面摩擦力作用时，我们用细线拴一周边光滑的圆盘，并按图示方式紧靠在黑板上，一松手，原来隐蔽着的转动趋势马上就充分显露出来，静摩擦力的判断也随之迎刃而解了. 通过演示，给学生以形象的启迪，从而有助于掌握运用“设想法”去分析静摩擦力问题.

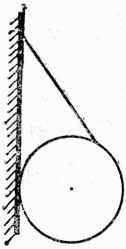


图 2 — 4

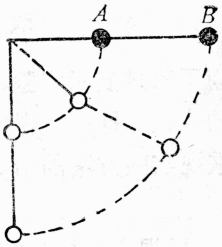


图 2 — 5

又如图 2 — 5 所示，一根长为 L 的轻质细杆，在中点和端点处，固定质量相等的两个小球 A 和 B，将杆拉至水平，放手后由静止开始绕轴 O 摆下，求杆摆至竖直位置时两球的速度多大?

学生在解此题时，往往根据自己的直觉观念认为，在杆摆下的过程中、A、B 小球只有重力做功，而杆的作用力对它们均不做功，因而两个小球各自的机械能守恒，并据此列方程求解，结果当然是错误的.

对此，我就给学生演示了一个简单实验：用柔软的细绳代替细杆，按题设条件系上两个小球后让其自由摆下. 结果学生发现在运动过程中，细绳并不如细杆那般平直，而是弯折如

图，表示两球运动的“步调”并非一致(角速度$\omega_A>\omega_B$)．面对实验事实，学生自然会想：在细杆相连的情况下，两球的角速度又何以能够相等呢？通过积极思考，学生终于明白了，那是由于杆的作用力分别对A球作了负功（使它减慢些）而对B球作了正功（使它加快些）的结果．正因为如此，我们当然就不能将机械能守恒定律单独运用于A球或B球了．由于演示实验提供了效果鲜明、令人信服的事实，这就使学生对“隔离法”和“整体法”的正确运用，加深了理解．

三、改进演示实验的方法

为了改进演示实验，在教学中我们主要通过所谓“三重一变”的途径，即：重视实验思想的渗透，重视物理过程的分析，重视实验方法的培养，以及运用实验变式，提高演示效果．

1．重视实验思想的渗透

物理学史告诉我们，每一次物理学上的重大发现，往往伴随着实验思想的重大突破．物理实验大师那深刻的设计思想，精巧的实验方法，连同他们得出的结论一样，都是人类知识宝库中瑰丽的精华，值得后人学习和继承．因此，我们面对物理课本中多种多样的实验素材，无论是经典实验，还是演示实验和学生实验，都应该努力提取其中蕴含的实验思想，开发它们的教学功能．

例如，在介绍卡文迪许扭秤实验时，我们引导学生着重领悟其中两个最为精彩的设计原理．一是转化原理，即：力$\longrightarrow$力矩$\longrightarrow$扭丝偏角$\longrightarrow$光标位移．通过三次转化，就使微小力的测量成为可能．另一个是放大原理，即：采用T形架增大力臂；利用反射光路增大偏角；拉开小镜与光标的间距增大位

移．通过这三次放大，有效地提高了测量的精度．

对于演示实验和学生实验的教学，也只有在科学的实验思想指导下，才能实现其应有的智能价值．即便是验证性的实验，如果只是按着教材提供的现成方案，“照方抓药”地操作一番，这样看似简捷省时，效果却定然不好．我们不能仅仅满足实验结论的重复性，更要突出实验思想的探索性．例如要验证动量守恒定律，首先应让学生体验如何根据实验目的去确定研究对象．找出一些符合动量守恒的事例也许不太困难，比如炸弹、原子核裂变等等皆是，重要的是要权衡确定的研究对象是否有利于对物理量的测定．通过分析筛选，确定了“一球静止，对心正碰”的实验模型．接着，再引导学生研究如何转移测量对象，把较难测量的速度，通过“等高平抛”的方法巧妙地转化为较易测量的位移，从而形成了该实验的基本构想．

实践表明，经常有意识地在实验教学中创设一种探索氛围，给它带上一点研究色彩，将会促使学生更好地领会实验思想的精髓，弄清实验设计的思路，有助于提高实验素养和能力．

2．重视物理过程的分析

一个完整的物理知识体系，包括两大部分，一部分是静态的知识（体现在研究结果上），另一部分是动态的知识（蕴含在研究过程中）．如何进一步开发动态知识领域，在当前尤其是个重要课题．反映在实验教学上，我们就不能仅以结果的显示为目标，而应以过程的分析为主线．对于一些重要的物理现象，可以运用实验手段，突破时间和空间的限制，使现象放大或缩小，将周期延长或缩短，把过程分解或压缩．总而言之，要使物理现象变化的全过程，以最清晰的形态，最有利的角度，展现在学生面前．

就以碰撞现象为例. 在那稍纵即逝的碰撞过程中，几乎覆盖了高中力学大多数重要的知识点，涉及了大多数重要的规律，如果在演示时，仅仅拿两个小球一碰了之，那是远远不够的. 对此，我们采取了“小题大做，步步推进”的方法：先演示几个小球之间“快碰撞”；接着在气垫导轨上放两个滑块（其中一个固定一条倔强系数较小的轻质弹簧）演示它们之间的“慢碰撞”；最后又将滑块的碰撞过程拍成录像重放，利用慢镜头放大时间，利用特写镜头放大空间，使学生能更细微地观察碰撞的全过程. 在演示中，我们还注意做到观察与思考同步，实验与思维并进，引导学生对照实验现象，抓住 8 个物理量（F，a，v，I，P，W，E_K，E_P等），紧扣三条主线（力与运动、功与能、冲量与动量）进行过程分析，然后由学生总结出有关规律. 实践表明，这样形成的物理图景才是生动、清晰的，这样获得的知识才不致于僵化而富有迁移活力. 回顾近两年来物理高考的把关题，其物理过程都与“碰撞”有着很大的相似性，我校大多数学生对此都能顺利解答，究其原因，也得益于此.

3．重视实验方法的培养

由于受到设备条件和教学时间的限制，现行教材所提供的演示实验（当然还包括学生实验），一般多是象征性或是抽样性的. 做定性的演示，只要求学生局限于观察某一特定范围内的现象；做定量的实验，往往在得出少量几个数据后便尽快地概括出结论. 这样做的弊端，不仅容易造成知识上的缺陷，也可能产生认识上的偏颇，学生会认为，似乎物理规律的发现都是那样一帆风顺，轻而易举的. 为了改变这种状况，应该精心设计实验方案，合理安排演示流程，尽可能为学生提供一种研究探索的情景，引导他们去实践和体验科学的实验方法，力

求做到：撇开次要因素，突出本质因素，排除干扰因素，从而使所要研究的物理现象以更为简化和纯化的形态显露出来.

例如“光电效应”实验. 教材给出的演示方案是用紫外线照射原不带电的锌板，由于验电器的灵敏度所限，它的指针并不张开，只能得出零结果. 一般的做法是先给锌板带上负电荷，在紫外线照射下，可看到验电器逐渐闭合. 对于所见现象，我们如果简单地利用课本中“金属在光的照射下会发射电子”的说法来解释，并告诉学生“这就是光电效应现象”，似乎是水到渠成，顺理成章的. 其实不然. 因为有的学生会心存疑虑：锌板负电荷的消失会不会是紫外线的电离作用引起的呢？也有的学生会因此而误解，以为光电效应就是特指原先多余的电子被释放的现象. 凡此种种，都表明这样单层次的演示实验不但不利于揭示物理现象的本质，而且也有碍于学生掌握科学的实验方法.

为此，我们在教学中不仅鼓励学生对实验现象发表不同的见解，而且还启发他们寻求实验方法来验证取舍. 例如，根据学生提出的方案，给锌板带上正电，重复上述实验，却未见验电器指针闭合，这就表明紫外线的电离作用在该实验中属于次要因素，可予不计. 或者，仍给锌板带负电，但在板前放置一块普通玻璃（告诉学生它能吸收紫外线），开启紫外光灯后，指针不偏转，一旦移开玻璃，指针又复闭合，由此进一步确认，紫外线的照射才是产生这种现象的主要原因. 通过以上演示起到了撇开次要因素，简化光电效应现象的作用. 这是第一层次的演示.

接着，改用白炽灯光去照射带负电的锌板，验电器指针不偏转. 增加灯光强度，或用大口径凸透镜聚焦，或延长照射时间，结果仍然一样. 这表明要产生光电效应，入射光需要具备

一定的外因条件．仍用紫外线，但去照射带负电锌板的另一面（氧化层），或者去照射带负电的紫铜板，验电器指针也不偏转，这些又表明了光电效应还与物质本身的内因条件有关．有趣的是，若用紫外线去照射带负电的黄铜板，指针也会逐渐闭合，原来这是由于黄铜中含有锌的成分，因而仍具备同样的内因条件．通过以上第二层次的演示，起到了突出本质因素，纯化光电效应现象的作用．

最后，我们用紫外线去照射原不带电的锌板，按理也会发生光电效应现象，但实际上却观察不到验电器指针的张开．启发学生分析原因所在（锌板周围存在反向电场，阻碍了光电子发射），并寻求相应对策（例如在锌板附近放置带正电的玻璃棒，以产生附加的正向电场），结果又呈现出预期的光电效应现象．这是第三层次的演示，它排除了干扰因素，从而强化了光电效应现象．

通过上述多层次的系列演示，同时辅以积极的思维活动，不仅使学生较好地掌握了光电效应现象的本质，同时，也使他们受到了一次科学的物理实验方法的熏陶．

4．重视实验变式的运用

我们演示的物理现象，一般都以复合刺激物的形式呈现出来，客体的不同成分对学生的刺激作用也不尽相同．值得注意的是，一些表现本质特征的现象往往不一定以强刺激的形式出现，而表现非本质特征的现象倒有可能给学生以较强的刺激，从而直接影响了演示实验的教学效果．要解决这个问题，一个有效的方法就是运用实验变式，根据不同的教学要求，适当调控各种成分的刺激量，合理分配学生的注意力，从而帮助他们准确地把握事物的本质特征．可供采用的实验变式很多，下面举例择要说明．

(1) 互补性实验. 在演示电容器的充放电现象时，我们就采用了这种方法：先把日光灯电容器接入直流高压电源充电，取下后短路放电，学生在看到耀眼的闪光时，还同时听到了尖脆的声响；再取一只电解电容器，充电后与音乐片相连，奏出了悠扬悦耳的乐曲声；最后将大型示教电流表接入电容器的充放电回路，观察电流大小和方向的变化. 这三次演示的现象各具特色：第一次声光并茂、形象直观；第二次余音缭绕、兴味盎然；第三次则过程精细、便于分析. 它们又都紧紧围绕电容器充放电这个中心，不仅丰富了观察内容，而且产生了协同互补的效应，使学生对电容器的本质特性有了深刻的认识.

(2) 对比性实验. 学生尽管已学过用电流表改装安培计和伏特计的原理，但对于前者要并联分流电阻，后者却要串联分压电阻，多半是知其然而不知其所以然. 如果在进行电表改装的教学时，能辅以对比性实验，就可以解决此类问题. 例如，要测量一只小灯泡在正常发光时的电流多大，我们先将电流表直接串入电路，随着电键短促闭合，电表指针就迅猛地撞击过去，这说明电流表不能测量较大电流. 怎么办？不少学生出于保护电流表的考虑，往往首先会提出串接一个大电阻的方案. 教师照此演示，结果电流表真是保护住了，但小灯泡却不发光了，学生从而懂得了这种“因噎废食”的做法并不可取. 在此基础上，启发学生提出修正方案，给电流表并联一个小电阻，经演示，结果既保护了电表，又不影响用电器正常工作，这才是“两全其美”的正确方法. 伏特计的改装也可采用类似的对比实验.

又如学习光的全反射，我们先让学生观察浸放在水中的一个“银色灯泡”，只见它银光闪闪，通体铮亮，显得与众不同，引起了学生很大的兴趣. 然后将灯泡从水中取出，再让学

生观察，他们才大呼上当，原来那不过是一只其貌不扬、普普通通的白炽灯泡．在引导学生运用全反射知识分析了银色灯泡的原理之后，我们又取来一只做过银镜反应的玻璃试管，它也同样银光四射，可与水中的银色灯泡相媲美，再要求学生分析比较两者的光学原理是否相同．通过前一次对比，可使学生对全反射的现象有个鲜明、强烈的感知，而后一次对比，则使他们对全反射的本质有了更为深刻的理解．

（3）矛盾性实验．这类实验的特点，是通过变式手段，使实验中出现的现象与学生已有的知识相悖，或与预期的结果不符．实践表明，这样做有助于活跃气氛，加深印象，能取得很好的教学效果．例如演示声波干涉，从音频讯号源输出的同一讯号，通入两只分置于讲台两侧的扬声器中，让学生在座位上缓缓地摇晃身体，用单只耳朵仔细辨听，就可明显地感受到声波的干涉现象．这时，如果撤去其中一只扬声器，先问学生：还会发生干涉现象吗？他们几乎异口同声地表示了否定的意见．接着开启讯号发生器，叫学生重新辨听，结果居然也能清晰地听到强弱相间、分布有致的干涉现象．面对这意外情况，学生都投入于积极思考和热烈争辩之中．最终，大家透过“单只喇叭”这一非本质因素的干扰，认识到它发出的声波与经墙壁反射的声波同样满足频率相同、相差恒定的条件，从而突出了“相干波源”这个本质问题．

又如，有一次我用示教可拆变压器演示电流与匝数的关系．所用原副线圈的匝数之比是 2 ∶ 1，但实际测得原线圈的电流反而要比副线圈的大得多，这时学生哄堂大笑，教师满脸尴尬．出现这种场面，学生倒是特别来劲，都七嘴八舌地议论开了，想要找出症结，为老师“排忧解难”．很快，有一位坐在前排的同学给我指出：变压器上方那段铁心还没有搁放上去

呢！我赶紧弥补了这个疏忽，使铁心严密闭合，再重做实验．结果当然完全符合变流比关系．这时，我索性“反守为攻”，要学生分析两次实验结果为何大不相同，从而突出了“理想变压器”这个关键条件．如果说这一次还属于无意的偶然失误，那么在下一堂课我就是有意将错就错了．我觉得在实验教学中，我们不仅要求“一矢中的”，演示成功的实验，有时也不妨“歪打正着”，演示不成功的实验，让学生从反面去认识事物的本质面貌．

高中物理方法教育教学实例荟萃

一、理想化方法教学“序曲”

——高一绪论课的教学实例

理想化方法是物理学研究的重要方法之一，也是中学生学好物理必须掌握的思想方法之一．因此在物理教学中，特别是高一物理教学中必须予以重视．课本上第一次出现的教学素材是质点，但是质点对高一学生来说比较生疏，不易从中领会理想化方法的实质，因此我在绪论课中安排学生进行测量物理课本面积的实验，结合实验，由学生熟悉的几何图形出发提出理想化方法．现谈谈我的具体做法．

1．相对比较

理想化方法主要是建立理想化模型和理想化过程的方法，其实质是突出主要因素，忽略次要因素，这里就有一个比较的过程．要明确主要和次要是相对而言的．高一学生往往把数量绝对化，因而有时把0.143写成0.1，他们认为0.1已经很小了，0.043更小，所以就忽略了，有时900400又不肯舍去这个400，他们认为400这么大，舍去就不准了．这些看来是数学中的近似计算问题，实际上就是一个相对比较的方法问题，这个问题不解决就无法掌握理想化方法．因此在绪论课中，我让学生测量物理课本上边的长后，把结果13.04厘米用微米和千米作单位表示为1.304×10^{5}微米和0.000130 4千米，由此指出这三个

量是同一个测量结果，准确程度是相同的，可见看一个量的准确程度并不是看小数几位，而是看有效数几位，也就是看它的相对误差．一个数该不该舍去，就看它在整个数值中所占的比例，让学生初步树立相对比较地认识问题的观点．

2．把实际问题抽象为理想问题

中学物理中研究的都是理想问题所服从的规律．理想问题是从大量实际问题中抽象出来的，所以很多情况下实际问题很接近理想问题，在一定的条件下可以当成理想问题来处理．认识到这一点是掌握理想化方法的关键．高一学生从课本中接触理想问题较多而接触实际问题较少，因此要理解这一点有一定的困难．例如他们在几何中学了理想的长方形，却并不明确实际生活和生产中的长方形的对边并不完全相等，四个角也并不都是90°，当学生按我的要求在测量了课本的上边长后再测量课本的下边长时，发现课本对边不相等都觉得很奇怪，我就抓住这一时机指出，一切实际问题都不像课本上学的东西那么简单．几何中学的长方形、圆等都是一种理想化的图形，实际生活中严格符合这样条件的图形几乎是没有的，但是很多实际图形和这些理想图形都很相似，理想图形就是从这些实际图形中抽象出来的．物理学研究也是如此，首先从大量的实际物体中抽象出理想模型，从大量实际过程中抽象出理想过程，然后研究这些理想模型的理想过程所遵循的规律，应用这些规律再来处理实际物体的实际过程．

3．量变到质变

在认识了像课本封面这种实际长方形和几何上的理想长方形的区别和联系后，学生还会提出，课本上下边相差仅0.5毫米，与边长相比很小，仍可看成长方形，那么差1毫米呢？2毫米呢？相差多少才不算长方形呢？这时就向学生指出：研究

实际问题时都有一个精度要求．例如地球南北直径和赤道直径相差43千米，当精度要求较低时，43千米和它的平均直径6367千米相比是一个很小的量，所以可把地球看成一个球体．如果精度要求高一些，则应把地球看成一个椭球．再要求高一些，由于北半球比南半球略小些，所以又是一个“梨”形．在要求的精度范围内相差大些小些没关系，超出精度范围就量变上升为质变了．因而，实际问题理想化必须有一定的条件．牢固树立量变到质变的哲学观点是灵活运用理想化方法的前提．

最后提出，高中物理与初中物理的区别不仅在于要学习更深更广的物理知识，还在于要更重视“方法”的学习．简单的面积测量为学生提供了“方法”学习的范例．实践证明，这样教学后学生不仅在习题的数据处理上较合理了，而且由于他们初步具有了理想化方法的思想基础，在讲质点等理想模型时就很容易接受，效果较好．

（张培荣）

二、归纳、分类、图示

——“力”的教案实录

1．课题分析

力，是学生进入高中后学习的第一个物理概念．“力”这一节课文内容及要求均跟初中相差不多，如果照课文讲下去，学生就没有新鲜感．为了使这一节的教学能高于初中，我用方法教育作为主线，贯穿始终．这样，让学生一开始就接触科学方法，对今后的学习将会有较好的影响．

我在这一节中向学生介绍了归纳方法、分类方法及图示方法．这里把后两种方法的次序跟课文作了对调，目的是使用例子方便，并使学生有充分的练习时间．

2．教学过程

(1) 力的概念

师：今天我们要学习进入高中后的第一个物理概念——力．大家还记得初中学过的——什么是力？

生（同声）：力是物体对物体的作用．

师：对！你们是怎么知道力是物体对物体的作用的？回答时不要说“老师告诉我的”或“书上看来的”，而要把老师怎么样告诉你的说出来？

生：我坐在椅子上，椅子对我有一个支持力，我和椅子都是物体，所以说力是物体对物体的作用．

师：你的回答有正确的地方，但不够严密．你只举了一种力为例，怎么知道其余的力也是物体对物体的作用呢？

生：我们可以再举例．（学生七嘴八舌地举了许多例子，教师把这些例子都写在黑板上．写的时候有意识地把以性质命名的力和以效果命名的力错开）

椅子对人	支持力
地球对粉笔	重　力
汽车对拖车	动　力
弹簧对木块	弹　力
空气对汽车	阻　力
磁铁对铁块	磁　力
桌面对滑动物	摩擦力
电线对电灯	拉　力
书对桌子	压　力

师：黑板上写了9个例子，其实同学们还可以举出更多的实际例子．这里每个例子讲的只是个别的、特殊的、具体的力，但这些力都有一个共同的特点，这个共同点就是——

生：一个物体对另一个物体的作用．

师：讲得对！刚才我们已经运用了一种很重要的科学方法，就是从对许多特殊的、具体的问题的研究入手，找出一般的、抽象的共同性质，这种方法叫作归纳方法，这是研究科学的最常用的方法之一．今后我们在学习物理知识时还会多次用到这种方法．（接下去简述施力物体和受力物体）

（把力的概念的教学过程作为介绍归纳方法的过程，既可以使学生对力的理解深化，又进行了方法教育，可谓一举两得）

（2）力的分类

师：黑板上这些力都是最常见的，常见的力可以分9类，对吗？

生：（大部分说不对，也有的说对）

师：现在先来看另外一个例子．我们教室里有50多人（包括老师、同学），我说这些人可以分为下面几类：男人、女人、老人、青年人、温州人、平阳人、永嘉人……．我说得对吗？

生：不对！

师：为什么不对？

生：你用了不同的分类标准．

师：讲得很好！刚才我说力分成9类也犯了一个相同的错误．怎样正确地把力分类呢？（以下略）

师：（在讲了力的分类后）分类也是一种常用的重要科学方法．分类方法在生物学中有很重要的地位，在物理学及其他科学中也会常常遇到．在进行分类的时候，必须首先对被分类的对象（如力）的特征进行研究，然后确定分类的标准，再进行分类．

（介绍分类方法，要着重讲分类应有确定的标准．如果时

间允许，还可以讲一讲三角形的分类．用人的分类、三角形的分类等学生熟悉的例子进行类比，对学习掌握分类方法是有益的）

（3）力的图示

师：（在师生共同回顾初中学过的力的图示以后）图示方法是我们今天要学习的第三种方法．从力的图示我们知道，图示必须把研究对象（如力）的所有主要要素都表示出来，而表示要素必须规范化．同时，图示还必须简单、明了，不仅使看的人容易看懂，而且要便于作画．（接下去，由学生练习）

（由于学生在初中已学过力的图示，所以这里主要是通过练习纠正作力的图示时的一些错误，在要求他们画得正确的同时，还要求画得美观，进行美学的教育）

（陈庭芳）

三、跨好初、高中物理“台阶”的第一步

——谈“共点力的合成”的教学

初中和高中物理之间存在着一定的“台阶”．这个台阶在高一物理的头几节课中还不明显．到了“共点力的合成”这一节时，这个台阶就明显了．因此上好共点力的合成这一课，既使学生认识到台阶的存在，又使学生学到一些跨上台阶的方法，增强勇气，克服困难，这对于今后的学习是很有利的．这里就如何得出力的平行四边形法则，谈一些想法和做法，供参考．

1．矢量和标量

矢量和标量是物理学中常见的两类物理量．矢量和标量不

仅含义不同，而且服从不同的运算规则．不过，在此之前，学生虽然接触过这两类物理量，然而并没有用矢量的运算法则对矢量进行过运算．学生所接触的都是特殊情况下运用代数运算法则的运算．在共点力的合成中第一次出现矢量运算的平行四边形法则，这对学生来说，既感到新鲜，又觉得难以理解．因此按照课本提供的素材，运用等效原理，做好演示实验，引导学生注意实验条件下的科学观察，密切联系数学知识的应用，对于学生掌握这个法则，跨好这第一个台阶是有重要作用的．

2.力的作用和力的效果存在着对应关系

共点力合成的平行四边形法则是应用等效原理而得到的．高中物理课本上册中先设计了一个演示实验（课本中图1—15）．在做这个实验的过程中，要让学生通过观察和分析，明白两点：第一，悬挂同一个重物，第一次是用互成角度的两根绳子拉着（拉力分别为F_1和F_2），第二次是用一根绳子拉着（拉力为F），只要重物处于相同的运动状态（在这里都处于静止），这样，力F_1和F_2共同产生的效果与力F的效果相同．第二，既然力F_1、F_2的共同作用与单个力F的作用效果相同，那末力F_1、F_2的合力与F必然存在着数值上相等的关系．

很明显，在课本图1—15上所表示的F_1、F_2分别是3个单位和4个单位的力，F是5个单位的力．按“习惯”的想法，力F_1和F_2直接相加是7个单位，显然$7 \neq 5$．但它们的效果确实相同．这究竟是怎么一回事呢？对这一问题要让学生有一定时间的议论．可以想象，没有看过课本的人一般是说不出正确答案的．在这种时候教师的启发具有重要的作用．为此我们仍然通过实验来启发．如果把上述实验装置两边的滑轮靠近或移远一些，悬挂着的重物还会静止吗？或者另外用互成角度的

两个示教测力计拉着一个重物，改变两测力计的夹角，观察读数的变化．通过这些演示让学生知道：作用在同一点的两个力，它们的作用效果除了跟两力的大小有关外，还跟相互夹角有关．两力之间的夹角变化，用力的图示法表示，就是力的方向的变化，这表明力的方向也是影响力的效果的因素之一．进一步可以推论：两个有方向的物理量相“加”时有别于过去我们熟知的 3 + 4 = 7 的法则，它们有自己的特殊的运算法则．

那末，共点的两个力相“加”，遵循的是什么法则呢？

3.共点力相“加”遵循平行四边形法则

接下去的工作便是罗列实验现象，观察和分析实验所提供的示意图和数据．

为了更直观地反映分力和合力的关系，我们可以在课本图1—15所示装置的后面衬上一块小黑板，依照 F_1、F_2 的方向和大小用图示法画在黑板上，再用另一种颜色的粉笔画出 F 的方向和大小（见图 2—6）．为了便于学生观察，还可以再画一个 F_1 和 F_2 的夹角变小后加重重物才能使重物保持静止的示意图，再用力的图示法表示出来（见图 2—7）．

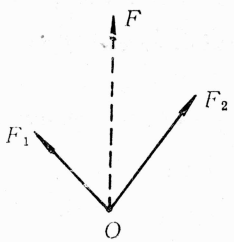


图 2—6

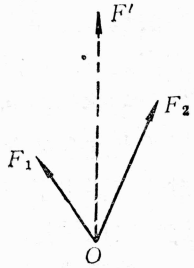


图 2—7

观察之后是猜想．这对于得出科学的结论，有时是有决定的作用．猜想不是胡思乱想，它是建立在事实基础上的创造性

的思维活动．经验（实验）事实多了，且这些事实之间有某种规定性，于是通过想象，猜测它是什么．看了图 2—6 和图 2—7 以后，注意到在诸多变化的因素中，看出了F是以F_1、F_2为邻边的平行四边形的对角线，于是猜想：共点力的合成遵循平行四边形法则．

猜想之后还需要验证．为此可以用课本中的学生实验“共点的两个力的合成”来验证这一结论．（虽然这一实验是要学生自己动手完成的，但考虑到这是高一学生的第一个实验，需要教师作些示范，因此在课堂上先做一遍较有好处）

至此，力的合成的平行四边形法则已经得出，接着便是讨论两力夹角为零和180°两种特例，再接下去是推广到两个以上的共点力的合成．这些内容这里不再多述．

（夏乃义）

四、“质点”教学片断

——怎样建立理想化模型

1．课题分析

理想化方法是物理学中最常用的方法之一，也是高中物理方法教育的重点之一．质点是学生正式接触的第一个理想化模型，教师必须化较多的时间认真对待．

为了教好质点这个概念，同时使学生对理想化方法有初步的了解，我对这节课作了如下的考虑：

（1）通过学生已学过的具体问题引入新课，使学生对质点概念的提出不会感到突然．

（2）在质点概念建立之后，要通过具体例子使学生明确什么条件下可以把物体当作质点．至于怎样才能算作“次要因素”，只是通过具体数字进行讲解，不作进一步的说明．

(3) 介绍一下理想化这个名词是有必要的，但只能简述，不能讲得过多.

(4) 让学生回顾一下初中学过的一些例子，说明他们早已接触过理想化模型，使学生觉得它并不陌生，这对理解质点概念及了解理想化模型的意义是有好处的.

(5) 由于这节课比较抽象难懂，教师必须自始至终起主导作用，使学生的活动纳入教师设计的轨道.

2. 教学过程

(1) 复习旧课、引入新课

师：高中物理课本第一册封面上的图是一个摆，图 2 — 8 所示摆锤作的是什么运动？

生：（有的说是平动，有的说是转动，也有的说既做平动又做转动）

师：（通过平动及转动的复习，确认这个摆锤的运动是转动）

师：把摆从悬挂点上取下来，像图 2 — 9 那样运动，这是什么运动？

生：平动.

师：我们再来观察图 2 — 8 及图 2 — 9 中摆锤的运动. 如果我问："摆锤走了多少路？"你应该选摆锤上哪一点来测量？

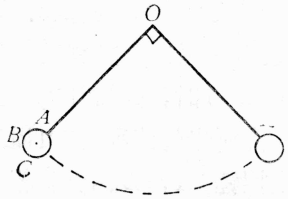


图 2 — 8

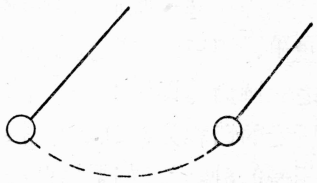


图 2 — 9

生：图 2 — 9 中的摆锤无论测量哪一点都可以.

师：为什么？

生：因为各点的运动情况都是一样的.

师：如此说来，对我们所研究的问题来说，摆锤的大小及形状就是一个无关的因素. 图 2 — 8 中的摆锤应选哪一点呢？

生：（有的说选圆心 B，有的说这个问题不好回答，因为各点所走的路不一样长）

师：（肯定学生后一种回答是对的）

（从复习平动和转动入手，使学生很自然地想到，做平动的物体的运动情况跟它的大小及形状无关，物体上任一点都可以代表整个物体，而做转动的物体则不同. 这样，质点的概念就不是凭空而来的了）

(2) 建立质点概念

师：既然做平动的物体的运动情况跟它的大小及形状无关，为了使问题简化，我们可以用一个有质量的点来代替整个物体，这个有质量的点就叫做质点. 现在大家来考虑一下，什么情况下，可以把物体当作质点，什么情况下不行？

生：平动可以，转动不行.

师：谁能回答得更“原则”一点吗？

生：当大小、形状是无关因素时，可以把物体当作质点.

师：现在我们再来看看课本封面上这个摆锤的运动. 可以量出，摆锤的直径为 1 厘米，OA 长为 4 厘米，当摆运动四分之一圆周（即图 2 — 8 中 $\angle AOA' = 90°$）时，通过计算，A 点所走的路程为6.3厘米，摆锤圆心 B 点所走的路程为7.1厘米，相差0.8厘米. 如果用圆心代替整个摆锤，A，B 两点就相差约九分之一，所以是不行的. 如果 OA 长增加为100厘米，摆锤

直径仍为1厘米，那末圆心B所走的路程就是157.8厘米，而A，B两点仍相差0.8厘米，约为二百分之一．在这种情况下，物体的大小、形状虽然与运动情况有关，但已经影响不大，变成了次要因素，可以忽略不计，因此，我们也可以把摆锤当作质点．

（通过摆锤运动这个具体例子，让学生知道什么时候可以把物体看作质点，什么时候不行．这已超越仅以运动形式来判断的局限，即表明不是只有作平动的物体才能视为质点）

（3）介绍理想化方法

师：现在大家能用一句话来说明什么情况下可以把物体看作质点吗？

生：当物体的大小、形状属于无关因素或次要因素时，可以把物体看作质点．

师：可不可以这样说：大物体不能当作质点，小物体才能当作质点？（以地球为例加以说明，明确物体的大小是有相对性的）

师：我们在研究其他物理现象时，也可以对问题进行简化，也可以撇开无关因素及次要因素，这种方法叫理想化方法．质点就是一个理想化模型．

师：下面来看几个过去学过的例子．在初中学习动滑轮时，忽略了什么？

生：忽略了摩擦力及动滑轮的重量．

师：可不可以这样说：初中的动滑轮是一个“没有重量、没有摩擦”的理想化的动滑轮？

生：可以．

师：再来看看图2—10的电

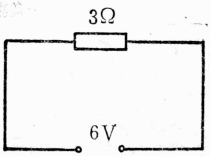


图2—10

路，通过电阻的电流强度多大？

生：2安.

师：你在计算时忽略了什么？

生：连接电阻及电源的导线的电阻值.

（还可以再举“光滑平面”、“绝缘体”等实例，视时间而定）

师：（小结以上内容后指出）自然界物质的运动是很复杂的，我们不可能把所有的因素都同时加以考虑. 用理想化模型来代替实物，可以使问题大为简化，而又不会产生多大的偏差. 当然，对于有的问题，可以先从研究理想化模型入手，再根据实际情况加以补充、修正，这在今后的学习中将会碰到.

（简单地介绍一下理想化方法，不仅可以深化质点的概念，而且可以为以后有关内容打下基础）

（陈庭芳）

五、课例：匀速直线运动　速度

研究物体的运动就要掌握它的运动规律. 首先让学生讨论下表中三个物体，哪种运动的规律较简单.

物体 \ 时间(秒) \ 位移(米)	1	2	3	4	…
甲	15	30	45	60	…
乙	3	6	9	12	…
丙	1	4	9	16	…

在讨论中指出：

(1) 物理学中研究问题总是从简单的问题着手，因为一方面简单的问题便于研究，另一方面复杂问题的研究是以简单问题的结论为基础的.（下面会看到研究变速运动是以匀速运动的规律为基础的）

(2) 运动规律最简单的就是相等时间内位移相等的运动（如表中甲、乙）称为匀速直线运动.

(3) 匀速直线运动虽不是最常见的运动，但也有实际意义，如汽车在平直公路上稳定行驶的运动就可看作匀速直线运动.

(4) 实际运动不可能在相等时间内位移完全相等，如路面不一定完全平整，发动机的四冲程中只有一个冲程是做功的，即使在这一冲程气体对活塞的压力也不是相等的，所以在相等时间里位移总略有差异，如表中甲物体即使每秒钟位移都是15米，那么每0.1秒内是否都是1.5米呢？每0.01秒内是否都是0.15米呢？只是在一定精度要求下某些实际运动和匀速直线运动的偏差可忽略，而把实际运动简化成匀速直线运动了，可见这里也用了理想化方法，匀速直线运动也是一种理想化模型（过程模型）.

再研究匀速直线运动的特性，指出每一事物都有其固有特性，如初中学过的密度就是物质的一种特性. 所谓固有特性，就是对同一事物是不变的，而对不同事物则是不同的. 如同一物质的质量m和体积V都可改变，但是$\frac{m}{V}$这一比值不变，而不同物质这一比值则各不相同，所以这一比值反映了物质的某种特性，称之为密度.

于是让学生寻找什么量可以反映匀速直线运动的特性，很容易找出$\frac{s}{t}$这一比值对同一匀速直线运动是不变的，对不同的

匀速直线运动这一比值大的运动就快，所以把它定义为速度.

讨论速度的物理意义、单位、方向等，这里不再叙述.

接着由 $v=\frac{s}{t}$ 变形得到匀速直线运动的位移公式 $s=v\cdot t$.

这里应向学生指出，从数学上讲，两式是一样的，但物理上却不同，前者是速度的定义式，不能由它得出匀速直线运动的速度跟位移成正比、跟时间成反比；而后者是匀速直线运动位移的决定式，可以得出位移跟速度成正比、跟时间成正比.

最后可讨论下述例题：

一摩托车用30米/秒的速度追赶在它前面100米处同向行驶的汽车，追了300米才追上，问汽车速度多大？

解 首先确定研究对象：摩托车和汽车. 接着根据所给情景建立实体模型和过程模型：两车均看作质点，以地面为参照物都是匀速直线运动，实际上就是把实际情景纳入已经建立的“质点”和匀速直线运动”的理想化模型中来解决问题.

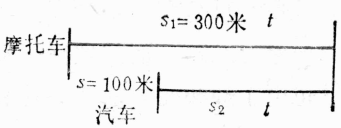


图 2—11

画出草图（图 2—11）

列出方程：

$$\text{摩托车}\ \begin{cases} s_1=v_1t, \\ \text{汽车}\quad s_2=v_2t. \end{cases} \quad \text{即} \begin{cases} 300=30t, \\ 300-100=v_2t \end{cases}$$

解得 $v_2=20$ 米/秒.

此例题不仅介绍了解题的一般步骤，而且使学生体会到解决实际问题时建立理想模型的重要性.

（张培荣）

六、“即时速度”概念的建立

——极限与近似的辩证关系

1. 课题分析及教学设计

本课题主要解决如何建立一个物理概念的问题.

在高中物理课程中，学生将要研究一些变量之间的简单关系（匀变速直线运动的 s、v、a、t 之间的关系，简谐振动中的 F、x、a、v 之间的关系，感生电动势与磁通量的变化率之间的关系等等）. 即时速度是学生接触到的第一个变量. 通过即时速度的教学，可以使学生认识到，人们为了描写一种变化过程，是如何从对实际过程的分析中提炼出物理概念，并如何将物理上的“近似”抽象为数学上的“极限”的. 这也是学生思维水平的一个台阶.

高中物理课本第一册中关于“即时速度”的概念，共提了下面三点：第一，为了比较精确地了解变速运动物体的运动情况，就要求出它们在各个很短时间内的平均速度；第二，运动物体在某一时刻的速度就是即时速度；第三，速度计测出的速度就是即时速度. 笔者认为，以上提法中，第二点实际是同义语反复；第三点更是没有提供关于即时速度的任何信息；至于第一点，若能由此再前进一小步，直截了当地从极限出发，给出即时速度的定义，倒是可以把问题说得明白一些的. 教学实践表明，高一年级的学生，还是能够理解浅近的极限概念的. 而让学生懂得用极限的概念来思考问题，对以后研究有关比较复杂的变化过程的问题（例如正弦交流电当电流极大时变化率为零，电流为零时变化率为极大，必须用取极限的方法才能说清），也将带来不少方便.

当然，用取极限的方法来定义物理量，还要考虑到高中一

年级学生的思维水平，从他们的生活经验和实验、观察出发，加以概括，不能讲得太玄、太严密，还要讲清数学上的极限和物理上的近似的区别和联系.

由以上考虑，这一节课的程序是：

(1) 提出用“即时速度”的概念来描写作变速运动的物体某一时刻的运动状态的必要性；

(2) 联系学生的生活经验，结合实验演示，说明为了了解作变速运动的物体某一时刻的运动状态，可以测量该物体在包含这一时刻在内的一段尽可能短的时间内的平均速度；

(3) 给出“即时速度”的定义：$v=\lim\frac{\Delta s}{\Delta t}$

(4) 说明数学上的极限和物理上的近似的区别、联系.

（本教案的教学要求较高，能否按此考虑实施教学，应按各校的教学条件而定. ——编者）

2. 教学过程

(1) 提出问题——建立“即时速度”概念的必要性

师：我们知道，严格意义上的匀速直线运动实际上是不存在的. 比方说一列火车，从杭州站出发，用 4 小时行驶了 200 千米到达上海. 发车，中途停靠，进终点站，以及行驶中由于路况的变化，它的运动情况每时每刻都是不同的. 这样，200 千米/4 小时=50千米/小时就只是列车的平均速度，而不能反映它每个时刻的运动状态. 那么，我们应该用什么物理量来描写作变速运动的物体在某一时刻的运动状态，比方说上面的列车经过某一车站时的运动状态呢？

生：（翻看书本）用即时速度.

师：好的. 那么什么是火车经过某一车站时的即时速度呢？

生：就是火车经过某一车站时运动的“快慢”.

师：那么什么又是经过某一车站时运动的“快慢”呢？

生：…….

（揭露学生思维上的矛盾，使学生体会到，对事物的直观感受和科学描述是不同的，为进一步研究如何建立“即时速度”的概念作好准备）

(2) 提示解决问题的思路

师：这个问题好像只能意会，不能言传．是不是方法上不大妥当——用生活上“快慢”这样一种比较含糊的语言来给严格的物理概念下定义．现在我们不妨想象一下，如果你是一名乘客，你怎样来解决这个问题？

当火车快经过某一车站时，你可以先看一下路标和手表，记下里程数和时间，比方说是50千米，9时00分；当火车经过车站后，再看一下路标和手表，记下第二个里程数和时间，比方说是51千米，9时01分(图 2—12)．那么，$\bar{v}=\frac{\Delta s}{\Delta t}=\frac{(51\text{千米}-50\text{千米})}{9\text{时}01\text{分}-9\text{时}00\text{分}}=1\text{千米/分}=60\text{千米/小时}$．是不是比前面求得的50千米/小时能更精确地说明火车经过某一车站时的运动情况呢？

生：当然．

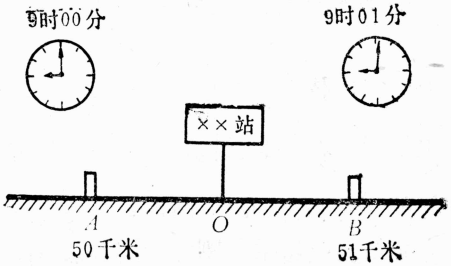


图 2—12

师：火车在50千米到51千米这段路上也是作变速运动的．如果你要更加精确地说明火车经过某一车站时的运动情况呢？

生：可以再缩短测量的距离．

师：或者说缩短测量的时间．现在我们把刚才的讨论模拟一下．

师：（介绍气垫导轨、电子计时器、光电门，显示光电门的作用，并说明要使导轨保持一定的倾斜度）

师：让我们在气垫导轨上作一个标记“O”（如图2—13），每次从一个固定位置释放滑块，则滑块每次经过标记时

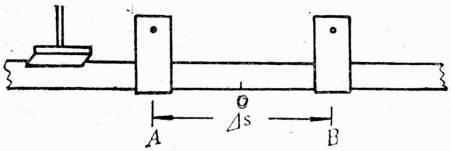


图2—13

速度是相同的．现在把两个光电门放在标记O的两侧A、B，量出A、B的距离Δs，再用电子计时器测出滑块经过A、B所需时间Δt，$\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$就是滑块经过包括标记“$O$”在内的一段路程上的平均速度．把$A$、$B$向$O$靠拢，所取的$\Delta s$、$\Delta t$愈小，则测得的平均速度愈能精确地说明滑块经$O$点时的运动情况．

师：（演示，依次取$\Delta s=50$、40、30、25厘米……，直至两个光电门紧靠在一起．计算表明，开始时得到的各$\bar{v}=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$值是不一样的，但当$\Delta s$很小时，$\bar{v}$值渐渐接近某一极限．）

师：（总结实验结果）刚才的实验表明，当Δs、Δt很小时，v慢慢趋向某一个确定的值．那么，Δs和Δt要取多大值

才能真正（严格地）测得物体的“即时速度”呢？Δs取1米？1厘米？1毫米？1微米？……Δt取1秒？0.1秒？0.01秒？0.001秒？……

生：这很难说.

师：是很难说. 在实际测量中，不同的仪器有不同的测量极限. 例如用普通的米尺就很难量准厘米以下的长度；普通的秒表也测不准零点几秒的时间. 还有，不同的问题也有不同的要求. 比方说上面测量火车的即时速度，长度取几千米，时间取几分钟，也许就差不多了；但若要测量一支手枪子弹的出口速度，则测量的时间可能要短到千分之几秒. 那么，怎样给“即时速度”下一个严格的定义呢？

（使学生初步理解，规定一个物理量的定义时，至少从原则上应该提供一种可测量的方法. 还要使学生理解，物理上的近似有必要抽象为数学上的极限）

(3) 给出即时速度的严格定义

对初学者来说，下面跨出的一步是相当大的一步，而这一步正反映了物理思维的特点.

师：设想有人发明了一种尺和钟，能够测出比任何人所能想象的最短的距离和最短的时间还要短的距离和时间（当然，这种尺和钟是永远发明不出来的），然后用这种尺和钟来测定一个物体经过一段比任何人所能想象的最短的距离还短的距离和所需的比任何人所能想象的最短的时间还要短的时间，则这段时间内物体的平均速度应该是物体“真正的”（严格意义上的）即时速度了. 在数学上叫做取“极限”（极限的严格定义以后会学到），也就是说，即时速度是平均速度的“极限”，可以表示成 $v=\lim\limits_{\Delta t\to 0}\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$.

师：我们知道，在数学上，$\frac{0}{0}$是无意义的．那么上面关于即时速度的定义跟数学知识有矛盾吗？

生：没有，因为 Δs、Δt 只是趋向零而不等于零．

师：（总结，重述即时速度的定义）数学上的“极限”是从物理实际中的“近似”抽象出来的，两者既有联系又有区别．实际测量中，为了知道某一时刻物体的即时速度，我们可以在尽可能短的时间内测定物体的位移（或通过尽可能短的位移所需的时间）．所谓“尽可能短”，可能是仪器的测量极限，也可能是根据问题的性质，我们认为这样测量的精确度已经够了．

（让学生做了一次“思想实验”，解释了物理实际中的近似和数学实际上的极限的辩证关系）

（夏蒙森）

七、课例：自由落体运动

1．课题分析及教学设计

自由落体运动是学生接触到的一种重要的理想条件下的运动．在一般的教学中，教师的讲授往往停留在批判亚里士多德的错误论断，证明伽利略的观点；学生也往往满足于获得“轻、重物体下落得一样快”这样一个结论．显然，从方法教育的角度来说，这样的教学给学生的知识是很肤浅的．

落体运动受多种多样因素（物体轻重和形状、下落速度等）的影响．在本课的学习中，应使学生懂得如何通过对影响落体运动的各种因素的分析，把运动的条件理想化，正确地提出问题——研究真空条件下的落体运动；还应使学生懂得在实际的研究中，如何创造近似于理想化的条件，从而找到自由落

体的运动规律.

这一节课的程序是：

(1) 通过对生活经验的分析及实验观察，说明实际的落体运动受多种因素的影响；

(2) 正确地提出问题——研究真空条件下落体运动的加速度；

(3) 研究在实际的实验中，如何近似地满足自由落体运动的条件，演示钱毛管实验及其他一些小实验；

(4) 提出重力加速度的概念，学生小实验——粗测重力加速度.

2. 教学过程

(1) 引出课题

师：落体运动是一种很有代表性的变速运动. 关于落体运动，你们都知道些什么？

生A：伽利略在比萨斜塔上做过实验，结果是大、小铁球同时落地.

生B：我在杂志上看到，伽利略没有做过这个实验，是另外什么人做的.

（通过各种途径，学生对比萨斜塔、伽利略的落体实验早有所闻，利用他们已有的知识引出课题，可以尽快地把问题导向深入）

师：我也在有些资料上看到，说比萨斜塔上的实验不是伽利略做的. 不过这个问题最好留给物理学史的专家去考证，反正伽利略对落体运动确实作了非常深入的研究. 对我们来说至少有两点是很有启发的：①伽利略敢于向亚里士多德这样的大权威挑战；②他（或别的什么人）懂得用实验来检验自己的推论并且用事实来说服和自己持不同观点的人. 另外，伽利略对

亚里士多德的“重物体比轻物体下落得快”的说法，还有一段很精采的反驳，大意是：如将轻重不同的两个物体绑在一起，从一个角度看，它们的总重量比原来较重的那个物体还要大，按照亚里士多德的观点，它们应该下落得比原来较重的物体还要快些；但从另一个角度看，由于轻、重物体之间相互牵扯，则它们一起下落应该比原来较轻的物体快些，而又应该比原来较重的物体慢些，这说明亚里士多德的观点本身存在矛盾．但请注意，这番辩论只证明了亚里士多德观点的内在矛盾，而没有证明轻、重物体下落得一样快．

（必须指出，课堂教学进行到这一步，只能说引出了课题，但还没有正确地提出问题．如果把这个问题的探索比作一次跋涉，现在只能说站在了出发点上，还没有找准前进的方向，更不要说到达终点．要向学生指出，物理学中的结论不是单凭思辨就能得到的，必须在实践中检验）

（2）正确地提出问题，研究真空条件下的落体的加速度

师：到现在为止，我觉得对我们到底要解决什么问题，还是很模糊的．如果不把问题提明确，我们的研究就没有方向．

第一个问题：我们应该在什么条件下研究不同物体的下落运动？先看实验．

师：（演示实验：取一个小铁球，一张打开的报纸，一个分币，比较三者的轻重（质量），得到 $M_{铁球}>M_{分币}>M_{报纸}$．比较三者下落的快慢，得到铁球，分币下落快慢差不多，报纸下落较慢；再把报纸捏成纸团，则下落变快．）

师：（总结）从刚才实验看，物体下落的快慢和轻重（质量）的关系比较复杂．既不能说愈重愈快，也不能说愈轻愈快；重量相同的两个物体，下落快慢也可能不同．这说明我们的研究如果停留在“物体下落的快慢和物体轻重有什么关

系？”这个问题上，是找不到出路的，必须换一个角度来研究这个问题．看来影响到落体运动的，除了物体受到的重力以外，还有其他因素．这个因素是什么？

生：空气阻力．

师：由于影响空气阻力大小的因素太复杂（物体的形状、速度的大小、空气的密度等），所以我们最好先研究物体在没有空气阻力的条件下的下落规律．

师：（给出“自由落体”的定义．）

师：“自由落体”在地球大气层里只能是一种理想的运动．但掌握了这种理想运动的规律，也就为研究实际的落体运动打下了基础．同时，当空气阻力不太大时，实际的落体运动往往也可以近似地看作是“自由落体”运动．

（在科学研究中，通过对纷繁复杂的现象的分析，理出头绪，正确地提出问题，是非常关键的．从研究“轻、重物体哪个下落得快”到研究“物体在没有空气阻力条件下的下落运动”是一个飞跃）

师：现在提出第二个问题：什么是物体下落的“快”、“慢”？这可以是指物体在一定时间内下落距离的长短（或指物体下落一定距离所需时间的长短），也可以指物体下落速度的大小．就前者而言，如果两个物体下落经历的时间不同（或经过的距离不同），则比较它们下落的距离（或所需的时间）就没有意义了；就后者而言，我们知道落体运动本身是一种变速运动，因此比较两个落体速度的大小也是无意义的．那么，对一种变速运动来说，最能反映它的运动特点的，是什么物理量呢？

生：是加速度．

师：因此，我们的问题是不是可以归结为①各自由落体是

不是具有相同的加速度（我们先承认自由落体运动是一种匀变速直线运动，这一点在以后容易通过实验来检验）？②自由落体的加速度是多少？

就第一个问题而言，由式 $y=\frac{1}{2}at^2$，可以通过比较各自由落体下落相同距离所需时间是否相同，来判断它们的加速度是否相同．至于自由落体加速度的大小，也容易通过实验来测定．

（这一段从人们的直观印象“快”、“慢”，上升为研究加速度的大小，从而使思维更加严密．最后由式 $y=\frac{1}{2}at^2$ 仍归结为比较各物体下落相同距离所需时间的长短，但显然思维的深度已经不同了）

（3）实验检验

师：现在让我们通过实验来具体地研究一下自由落体运动．在地球大气层里，怎样才能使一个物体作自由落体运动呢？

生：抽掉空气．

师：很好．当然，用抽气机并不能把实验装置里的空气完全抽尽．但只要空气足够稀薄，空气阻力比物体受到的重力小很多，则物体的下落运动就非常接近自由落体运动了．那么我们是否可以从相反的方向想一下，如果物体的密度很大（因此体积相对来说很小），而且它的形状是截面很小，则即使不把空气搞得很稀薄，空气阻力与重力比较还是可以忽略，而物体的下落运动仍很接近自由落体运动，就像比萨斜塔实验中的两个球一样．

师：（演示毛钱管实验及大小铁球在空气中下落相同距离

所需时间相同.）

师：（总结实验结果）在空气阻力可忽略的条件下，质量不同的物体下落的加速度相同.

师：（介绍重力加速度的概念）

（使学生理解控制条件进行实验研究是物理研究中的一种基本思想，同时理解理论上的理想条件与实际研究中的近似条件之间的辩证关系）

（4）学生小实验，粗测重力加速度的值

师：现在用我们不久前学过的方法粗测一下重力加速度的值，同时检验一下自由落体运动是不是一种匀变速直线运动.

师：（指导学生具体的实验方法及数据处理方法）.

生：（用打点计时器测量重锤下落的加速度，并检验是否 $s_2-s_1\approx s_3-s_2\approx\cdots\cdots\approx$常数）

生：（报告各组实验结果，一般测得 $g_{测}\approx9.5$米/秒^2）

师：请估计一下，你们测得的落体加速度比真正的自由落体加速度大了还是小了？为什么？

生：小了，因为有空气阻力.

师：更主要的原因，还是重锤上的纸带通过打点计时器时受到了摩擦力.以后我们会学到重力加速度的更精确的测量方法.

（学生完成本实验只需约5至10分钟，实验使学生对重力加速度有一个具体的印象，且提高了知识的“可信”程度）

师：（总结）①在同一地点，不同物体作自由落体运动时有相同的加速度，叫重力加速度；②不同地理位置，不同高度有不同的重力加速度；③海平面上 $g_{均}=9.80$米/秒^2，杭州地区海平面上 $g_{杭州}=9.79300$米/秒^2；④物体作自由落体运动时，如果下落的高度不大（$h\ll R_{地}$），则可看作匀变速直线运动.

（夏蒙森）

八、自由落体运动的教学

——亚里士多德和伽利略的研究方法对比

1.课题分析

自由落体运动的教学在高中物理教学中具有特殊的地位。虽然在知识上，它是作为匀变速直线运动教学之后的一个特例，但是在整个高一年级教学的安排上，由于匀变速运动的教学重点在于规律的应用，自由落体运动的新课教学则要向学生介绍近代物理的先驱伽俐略是如何进行研究的——这是向高中学生首次介绍伽俐略，并进行物理学研究方法的教育，它在整个高中物理教学中具有特殊重要的意义.

本课程的教学设计要解决两个问题，一是怎样提出课题和分析论证课题；二是介绍自由落体运动规律以及伽俐略在物理研究方法上的特点 这两个问题是统一的，前者是教学的组织，即课程进展的形式；后者是课题内容本身，这两者的结合便是本课教学的任务.

2.教学过程

(1) 课题的引入

〔教师先在副黑板复习匀变速直线运动公式与 $v-t$ 图像，并取初速为零的特例……〕

现在我们来研究挂在细线下的小球（教师出示实验装置如图 2—14，让学生进行受力分析……），教师演示用火将细线烧断（实验前及时引导学生分析细线烧断前后小球的受力情况，如图 2—15，学生观察到小球在重力作用下竖直下落，这就是自由落体运动.

板书：自由落体运动

仅在重力作用下从静止开始下落的运动叫自由落体运动.

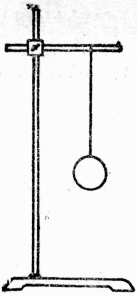


图 2—14

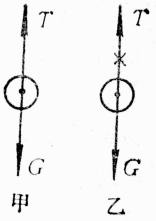


图 2—15

（这样引入课题，可以很自然地避开空气阻力问题，便于单刀直入地提出自由落体运动的定义）

（2）运动的分析

师：这种运动是什么性质的运动呢？（有学生答，是匀变速直线运动）这样说有根据吗？你研究过吗？（这样反问一下有好处）（学生语塞）很早就有人研究过了，那就是——古希腊哲学家亚里士多德.

古希腊哲学家是一些知识渊博的伟大学者，那时候的哲学是包括一切专门学科的科学的科学. 亚里士多德在研究了物体下落现象，重物体与轻物体哪一个下落得快（演示：木球比纸片下落得快）之后，提出了物体下落的快慢是由物体的重量决定的. 亚里士多德研究的方法是观察与思考，他认为人类只要凭借观察自然现象，再加上大脑的思考便足以建立起宇宙间万物变化的规律.

板书（副黑板）：亚里士多德：观察与思考.

（这里概括出古希腊哲学家的研究方法，以便与伽俐略开创的近代科学研究方法相对比）

伽俐略不同意亚里士多德的结论，而且伽俐略在研究方法上与古希腊哲学家大为不同，他认为不仅需要用眼观察，还需

要动手实验，不仅需要定性思考，还需要对实验结果用数学方法进行定量研究．伽俐略开创了近代物理研究的新方法．

板书（副黑板）：伽俐略：实验加数学．

（近年来对伽俐略的宣传着重在实验方面，实际上，数学方法用于物理科学研究正是伽俐略工作的两大特点之一）

伽俐略用木板制成斜槽蒙上羊皮纸，用铜球从槽上滚下，他用大容器稳定地滴水并用天平称量的方法解决计时问题，测出铜球在斜槽上位置与时刻．在这样条件下，对物体沿不同角度的光滑斜面运动的规律进行了上百次的定量研究，得出结论：物体沿光滑斜面运动是匀变速直线运动，进而将斜面倾角趋于90°时，推理得：

板书：2.自由落体运动是初速为零的匀变速直线运动．

（上述讲课进程中，暂不回答重物与轻物落地问题，是为了先解决运动性质问题，然后再解决加速度问题）

话又得说回来，重物与轻物下落到底哪个先落地？

（一句话就把亚里士多德讨论过的问题引回来）

实验演示：大小相同的木球与乒乓球几乎同时落地；轻小纸团比重的硬纸片先落地．

实验证明，物体下落快慢不是重力决定的．

（以上是伽俐略时代实验水平能证明的）

那末，亚里士多德错在哪里？（学生答：有空气阻力）对！排除了空气阻力，物体就只在重力作用下运动．我们现在来看一个实验（演示：在有空气的玻璃管里羽毛比硬币下落慢，抽去空气后，羽毛与硬币下落一样快）．

（实验的精髓在于控制）

分析：由于下落位移相同，时间相同⇒$\bar{v}$相同，再因自由落体运动是匀变速直线运动⇒$v_{末}$相同⇒Δv相同⇒下落加速度

相同.

板书：3.不同重量的物体下落的加速度相同.

出示自由落体闪光照片，求得加速度值，再介绍精确实验测定的北京、北极、赤道的重力加速度值，并给出一般取值.

板书：$g=9.8$米/秒^2.

由初速为零的匀变速直线运动公式（已在副黑板上）得：

板书：$s=\frac{1}{2}gt^2$,

$v_t=gt$.

$v-t$ 图如图 2—16.

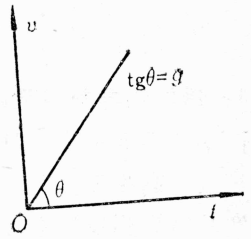


图 2—16

需要说明的是：这种运动只有在没有空气的空间里才能发生，在有空气的空间里，如果物体下落过程中所受空气阻力的作用比较小，可以忽略不计，它的运动可以当作自由落体运动.

(3) 规律的应用

例题 某人要测一座塔的高度，从这座塔顶上静止释放一个小石块，测得石块从释放到落地的时间是3.0秒，问塔有多高？

解（板演） 石块作自由落体运动，由

$s=\frac{1}{2}gt^2$，得塔高 $s=44$米.

同学们从这道题的解题中可以看到自由落体运动规律的应用. 它使我们把长度测量的问题变换为时间测量的问题，物理科学研究中经常运用测量变换的方法.

（题目是简单的，思想是深刻的）

3.教学说明

(1) 本课讲授伽俐略开创的近代物理研究方法的同时，对

亚里士多德“观察与思考”的方法进行一定程度的评论，请勿涉及社会生活中的关于“观察与思考”的口号.

(2) 由于伽俐略对亚里士多德关于重物下落快的批判的推理本身在逻辑上是不正确的，所以在授课过程中对伽俐略的推理采取回避策略，以免节外生枝.

（姜水根）

九、伽利略理想斜面实验的讨论式教学实录

1. 教学指导思想及课前设计

高中物理课本第一册第三章的《牛顿第一定律》一节，内容上属初、高中知识的结合点. 学生在初中学习中，通过斜面小车实验认识到亚里士多德关于“力是维持运动的原因”的说法是不正确的，并已经了解了牛顿第一定律的内容. 如何以初中知识为生长点，以教材内容为线索，展开科学方法教育与思维能力培养是本课教学活动的主要目标. 故教学的侧重点应放在理解伽俐略对“运动物体不受外力作用会保持自己的速度不变”论断的研究、思考、推理过程，学习科学研究中常用的理想实验方法上. 因此，课堂教学采用讨论式：教师列出讲演提纲，在阅读教材的基础上，请一位学生率先演讲，引发学生的问题，展开答辩与讨论，教师在其间适当引导与点拨，并由教师概括总结. 设计这样的教学方式，是基于教材具有循环性，学生已有一定基础，旨在让学生处于主动地位，追寻科学家走向成功的足迹，学会像物理学家那样发现问题、思考问题与解决问题.

课堂教学中，应引导学生特别注意伽俐略的理想实验. 既注意它符合事实的可靠性，又注意它忽略次要因素、抓住主要因素的科学性. 课堂教学中还应引导学生不只是简单地否定或

肯定什么，而且知道为什么否定或肯定以及如何进行否定或肯定.

学生演讲题目是："关于力与运动的关系"；演讲提纲是：①亚里士多德的观点是什么？②伽俐略的观点是什么？③我的看法是什么？④牛顿第一定律是如何表述的？

预习问题是：①从某一高度沿斜面滚落的球为什么可以沿对接的另一斜面滚上同样的高度？②定律为什么不以伽俐略的名字命名而称为牛顿第一定律？③牛顿第一定律包含了哪些内容？研究问题①是为了深入理解伽俐略理想实验的事实基础与科学推理方法；研究问题②可以使学生了解从亚里士多德到伽俐略到牛顿人们对惯性定律的认识是如何逐步逼近真理的；研究问题③则为了使学生对定律本身的认识比初中提高一步.

2．课堂实录

（引入）教师提出本课学习任务及教学方式，板书阅读提纲.

（学生阅读教材"牛顿第一定律"一节全文，教师巡视.学生们仔细读书，在课本上划出要点，注写眉批）

（学生演讲：学生L被推为主讲）

古希腊学者亚里士多德处在他的时代，对世界的认识是有很大局限的，所以亚里士多德根据日常观察得出的结论是：物体受了力才能运动，不受力，运动着的物体就会停下来.他认为力是物体运动的原因.伽俐略不同意亚里士多德的看法，他认为一辆小车不再推它会停下是由于受到摩擦阻力的缘故.假如没有摩擦力，这小车便不会停止运动.伽俐略设计了一个理想实验来证明这一点：他把两个光滑的斜面对接起来.先把一个光滑小球从一个斜面上某高度释放，小球沿着斜面滚下来，然后滚上另一个斜面，在另一个斜面上它将滚到与释放点等高

的地方．对接的斜面倾角越小，小球要滚到原来的高度通过的距离越长，那么当对接的斜面成为水平面的话，小球就要一直地滚下去，这说明小球如果不受摩擦阻力，就可以持续地运动．我们生活在当今世界，从一开始接受的就是伽俐略以来的物理学知识，所以我赞同伽俐略的观点．我觉得牛顿第一定律的表述是完全正确的，这个定律反映了物体不受外力时的运动规律，指出了所有物体都具有惯性，同时也说到外力将迫使物体改变运动状态．

（讨论）

师：刚才L同学概述了亚里士多德和伽俐略对运动与力的关系的观点以及牛顿第一定律的内容，同时表明了自己的观点．下面，同学们可以提出问题，请L同学答辨，也可以互相讨论，请大家各抒己见．

生W：伽俐略用理想实验作推论的一个重要前提是小球沿对接的斜面总可以滚到原来的高度，请解释一下这是为什么？

生L：（稍作思考）这个问题可以解释．小球在高处有势能，滚到斜面底部势能变成动能，再滚上另一个斜面时，动能又逐渐还原成势能，因为理想实验中的斜面是光滑的，没有摩擦，所以最后的高度一定与原来的高度一样．（初中学过动能与势能转化与守恒的知识，学生W表示认可，有些学生仍在议论）

生F：我觉得这个解释是后来人做的，伽俐略当时知道动能、势能概念吗？

师：是啊，关于能的概念是伽俐略以后一个半世纪才由英国物理学家托马斯·扬加以明确的．

生L：这……请其他同学发表高见！

（一片议论）

生Z：我想伽俐略可以做实验．他在实验中可以把斜面做得很光滑，这样他会发现每次滚上的高度几乎与原来落下时的高度相同，于是就可以推论，当斜面极其光滑毫无摩擦时应当正好与原来等高．

生S：我觉得伽俐略可以通过计算得出结论．老师以前曾讲过一个例题，那个例题很像伽俐略的理想实验，我曾算过，小球在两个斜面上的高度是一样的．

师：Z同学和S同学的见解很好．Z同学所说的正是伽俐略理想实验的事实基础，伽俐略的思考过程确实与Z同学所说相似，只是伽俐略还借助了类似物——单摆．他是从单摆在空气阻力很小的情况下来回摆动时到达几乎相同的高度演化到小球在两个对接斜面上的滚动，得出结论的．所以伽俐略的理想实验虽然无法实现，伽俐略的结论也不能直接从实验得出，但它们有事实作依据，是观察与思考的结果．S同学能联系学过的知识，对一个例题中的情景给出正确的模型，值得大家学习．关于这个理想实验，同学们还有问题吗？

生C：我注意到两个斜面的连接处是圆弧线，这是为什么？

生L：我想这是为了不让小球弹跳，能连续地滚动吧．

生Z：我有一个有趣的问题：假如伽俐略是在一艘光速飞船里做实验，斜面在以光速前进，而小球又在斜面上向前滚着，那么小球的速度就超过了光速，可是我听说光速是速度的极限呀？

（学生兴奋起来，要求L同学解答．L同学求助于老师．问题所及不在教学范围之内，教师作适当疏导）

师：大家对这个问题很感兴趣，看来你们对爱因斯坦的相对论略有所知，以后我们会有机会学习这方面的知识的．这里

老师要告诉大家的是，我们现在学习的规律属牛顿力学范畴，与一切物理规律一样，牛顿力学有它的适用范围，它的规律适用于低速运动与宏观物体运动．当物体运动速度可与光速相比时，便不再适用了．

生Y：我想，亚里士多德讲力维持运动，这力指的是动力，这样理解的话，他的观点就对了．

生L：指动力也不对，一只足球踢了一脚不再踢它，没有了动力，它还能继续运动．

……

师：我来提一个问题：伽俐略研究得出的结果，为什么隔了一代以后才由牛顿把它写成“牛顿第一定律”？

生X：我在一本书上看到，伽俐略只是提出物体在没有外力作用于它时沿直线匀速运动下去，没有“直到有外力迫使它改变这种状态”一说，也就是不完整不全面．

师：是的，伽俐略发现了不易直觉的摩擦力，改变了亚里士多德以来人们根据直接经验得出的直觉结论，应用科学的推理方法得出了正确的结论．伽俐略在他的著作《两种新科学的对话》中写道：“……一个运动的物体假如有了某种速度以后，只要没有增加或减小速度的外部原因，便会始终保持这种速度——这个条件只有在水平面上才有可能……只有水平面上的运动才是不变的……．”我们看到伽俐略的认识已经很接近惯性定律了．但是他的认识还不够确切，认为只有在水平面上物体才具有保持速度的特性，他甚至曾由此而推论：地球是圆的，任何水平面实际都是球面，物体不受力时将沿地球表面匀速地运动下去．这样，伽俐略又重落入了亚里士多德以来把作匀速圆周运动视为物体本性的巢臼之中，一个伟大的定律从伽俐略身旁悄然滑脱了．

牛顿继承了伽俐略的研究成果，并以自己的发现完善了这些成果，以定律的形式作出了完整准确的结论："一切物体总保持匀速直线运动状态或静止状态，直到有外力迫使它改变这种状态为止."

我们看到，从亚里士多德以来，关于力与运动的问题，经过了几千年漫长的求索过程，直到伽俐略和牛顿时代以后，才加快了认识进程，认识世界发现真理是很不容易的.

接下来请同学们再来讨论一下牛顿第一定律. 这个定律包含了几层意思？

生*W*：我觉得定律有两层意思：①定律指出了物体在不受外力时的运动状态；②定律指出了一切物体都具有惯性.

师：对. 让我们再注意一下定律里的几个字眼：一切，总，或.

（经学生讨论后教师归纳）

一切，说明天地万物，无一例外；总，指出物体的惯性是物体固有的，不论物体处于什么状态；或，则指出了静止与匀速直线运动的等同性——它们都是物体不受外力时的运动状态.

（总结：教师对活跃的课堂气氛和积极的学习态度加以肯定，关于伽俐略理想实验的讨论尤加赞赏，励鼓学生在今后的物理学习中要像这堂课上一样，多思考、多讨论，把知识学透、学活.）

（沈　晨）

十、牛顿第二定律的教学

——实验条件的控制、用图线找规律

1. 课题分析及教学设计

牛顿第二定律是中学物理教材中最重要、最基本的定律之

一. 本课题的教学，实验有着特别重要的作用. 教学中，将向学生展示物理实验研究的基本思想和基本方法，即：①在多因素的过程中，通过控制实验条件，找到各单因素对过程的影响；②通过改直实验图线，找到变量之间的函数关系.

对于牛顿定律这样一种最基本、最重要的理论，课堂上的演示实验只能作最粗略的检验. 因此教学的重点，并不在通过实验得到什么结论，而在实验的过程. 在教学中，要引导学生去看，去思考，去进行一次科学探索的演习.

由于本实验从原理到方法的掌握都有相当的难度，有些要求仅仅通过学生分组实验很难落实，因此教学中把演示实验作为重点，首先由教师作出示范，而把学生分组实验作为一种模拟和练习.

这一课是在已经初步定性地分析了影响物体加速度的因素的基础上进行的，教学程序如下：

(1) 明确提出本课的目的是检验变速运动物体的加速度是否正比于作用在物体上的外力，反比于物体的质量；

(2) 演示实验，在m一定的条件下改变F，在F一定的条件下改变m，分别测定a；

(3) 说明为了通过作实验图线找到变量之间的函数关系，适当选择坐标并将图线改直的必要性；

(4) 通过作实验图线，找到F，m，a之间的函数关系.

2. 教学过程

(1) 提出问题

师：我们已经初步了解了物体的加速度与物体所受外力及物体质量之间的关系，现在让我们通过实验对这个问题作进一步的研究. 首先明确今天实验的目的是……

生：证明牛顿第二定律.

师：是证明吗？

生：是检验.

师：牛顿定律的发现，牛顿力学理论体系的建立，是人们对大自然进行长期观察研究和深入思考的结果. 像牛顿定律这样一种重要和基本的定律，不是一两个实验所能“证明”的. 今天我们只能说通过实验对牛顿定律进行一次检验，而且由于条件的限制，比方说我们不可能测量很多组数据或是对每一组数据进行多次反复的测量（这在科学研究中是必须做到的），这个检验也是比较粗略的. 因此，同学们注意的焦点，不必放在通过实验得到了什么结论（这个结论早就知道了，想必在座的没有人怀疑），而在于实验的过程. 请大家特别注意我们在实验中是怎样想，怎样做的；为什么这样想，这样做；通过实验，我们又是怎样得到结论的. 让我们一起做一次科学探索的演习.

（使学生正确全面地理解实验和理论的关系. 使学生对实验数据中不可避免的误差有一个正确的评价，从而把思维活动集中于实验研究的过程和实验研究的方法上来）

(2) 说明实验的基本思想

师：现在利用气垫导轨和电子计时器来做实验. 为了使大家了解研究的全过程，是否让我们退回到起点，从零开始（假定我们对结论还一无所知）：

首先让我们对F，m，a之间的关系作一些猜测. 我们觉得a正比于F，反比于m这个假定还是很合理的. 现在就来检验这个假定.

（在实验之前，人们总要对实验结果有一个合理的推测，否则就不能回答一个实验为什么这样做而不那样做. 在这个意义上说，任何实验都是“验证”性的）

接着看一看在实验中应该测量哪一些物理量……

生：测F，m，a

师：这个问题在技术上不难解决．我们的研究对象滑块及附加砝码的质量可以用天平称得．在气垫导轨上离起点s处安上光电门(实际取$s=0.500\text{m}$)，在滑块上装上一个宽度为Δl的挡板（实际取$\Delta l=1.0\text{cm}$，$\Delta l \ll s$），每次从起点由静止开始释放滑块，记下挡板通过光电门所需时间Δt，则$v=\Delta l/\Delta t$，而有$a=v^2/2s$．当然实验开始前，还应调整一下导轨的倾斜度，使得不加拉力时，滑块恰能匀速滑动．至于加在滑块上的拉力，可以认为近似等于系在滑块上的细线通过滑轮所挂砝码的重量．

（使学生了解实验中必须十分具体地解决测量什么和如何测量的问题．同时只有先解决好技术问题，才能使学生把注意力更好地集中于如何控制实验条件的问题上来）

师：我觉得作为一次科学探索，还有一些根本性的问题没有解决，使我们对这个实验究竟怎样做心中无数．如果我们随意地测定了许多组相互之间没有什么联系的数据，而且每一组数据还不可避免地包含着各种原因带来的误差，我们将很难从中找出什么规律来．为了弄清楚F，m两个因子中的每一个分别对a有什么影响，必须这样来进行实验：①在m一定的条件下改变F，考察$a-F$之间有什么函数关系；②在F一定的条件下改变m，考察$a-m$之间有什么函数关系．

这就是在实验中“控制实验条件”的思想．在一切实验中，我们都必须适当地控制实验条件．

（这是本课题方法论的核心问题）

(3) 演示实验

（在m一定的条件下改变F测定几组$F-a$数据；在F一

定的条件下改变m测定几组m—a数据．由师生一起对数据进行计算．具体实验过程及数据从略）

（4）实验数据处理

师：现在试着用作实验图线的方法来处理实验数据，先看m一定的条件下a—F的关系．试作a—F函数图线．

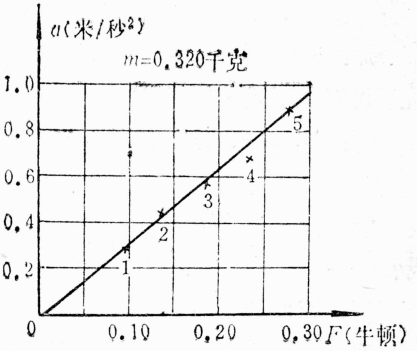


图 2—17

师：（在a—F座标上标出数据点，其中第四点偏离直线较远，如图2—17）

师：实验图线应该通过数据点的平均位置．这第四点有点离群索居，我们可以不去管它……

生：（笑，表示不服气．）

师：我所以敢于舍弃这个数据点，是基于这样一种信念：物理过程总是遵循一定的规律的．比方这次实验中，不论a—F之间的函数关系如何，a总是随着F而连续变化的．如果一次实验中研究对象忽然有什么“出格”的行为，则或是发生了某种我们没有预料到的现象，或是实验操作中有些什么问题．我想这一次我们是否宁可选择这后一种解释？

（承认物理世界的规律性，是我们研究和认识物理世界的出发点．使学生理解处理实验数据时，既要忠实于实验数据，又要对数据作合理取舍的辩证关系）

师：（作实验图线，得到一条基本上是通过座标原点的直线．）

师：根据实验，我们是否可以合理地认为，在m一定的条

件下，物体的加速度 a 与所受的外力 F 成正比的猜测是正确的？

生：可以.

师：现在再来分析一下 F 一定的条件下 $a-m$ 之间的关系. 我们是不是像刚才那样，试着也作一下 $a-m$ 图线？

师：(作 $a-m$ 图线，如图 2—18)

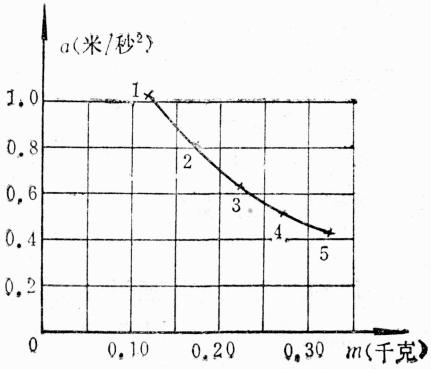


图 2—18

师：这是一条什么图线？

生：双曲线.

师：我可看不出来. 事实上在一个座标平面上，可以作出无数条双曲线. 我们很难检验实验图线是否和某一条双曲线吻合. 因此我们还得另想办法. 如果 a 与 m 成反比，则 a 将与 $1/m$ 成正比，那么如果取 $a-1/m$ 为座标作实验图线，我们将得到一条过原点的直线. 让我们来试一下.

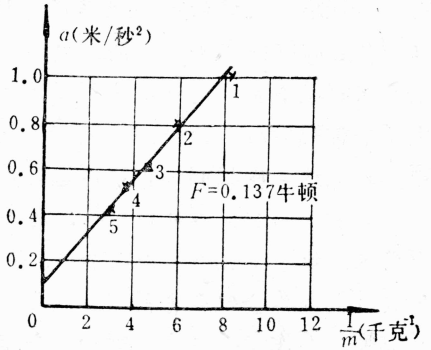


图 2—19

师：(作 $a-\frac{1}{m}$ 图线，结果如图 2—19所示)

师：我们是否也可以合理地认为，在 F 一定的条件下，物体的加速度 a 与物体质量

成反比的猜测也是正确的？

生：可以.

（合理选择座标，改直实验图线，是通过实验找规律的重要方法．在此只能给学生一个初步的概念，使他们理解这样做的必要性）

3．总结

师：现在来总结一下：①实验开始时我们的猜测："质量一定的物体，加速度与所受外力成正比，所受外力一定时，物体的加速度与它的质量成反比"是正确的；②用实验方法来研究物理规律时，首先要对物理规律作出合理的推测；③实验研究的核心思想是控制实验的条件，逐个研究各个因子之间的关系；④在明确了实验的指导思想的前提下，必须十分具体地解决测量什么量，怎样测量的问题；⑤必须正确地处理实验数据.

（夏蒙森）

十一、"人造地球卫星"教学片断

——量变质变规律渗透一例

1．教学目的

量变质变规律是唯物辩证法的基本规律之一，也是哲学方法中学生感性认识较多，在学习物理规律解决问题时应用较多的规律，只是在物理教学中较少直接指明罢了．因此，在物理教学中渗透量变质变规律，是必要的，也是可行的.

人造卫星原理是牛顿的天才构思之一．对这一构思进行回顾，是渗透量变质变规律教学的一个很好的机会．通过教师与学生的共同探讨，可以达到以下目的：

（1）知道运用量变质变规律是学习和研究物理的重要思维

方法之一；

（2）知道量变质变规律应用的一般方法；

（3）进一步认识到重视物理规律适用条件的必要性.

本例在高中物理课本（上册）或1991年新版本第三册（选修）“人造地球卫星”一节引入时运用，约需10～15分钟.

2.教学过程

师：将一个物体在一定高度水平抛出，忽略空气阻力，物体将作何种运动？有何特点？

生：物体将作平抛运动. 可以看作水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动的合成. 具有落地等时性的特点.

师：对！伽利略早在1638年《两种新科学的对话》中就指出了这一点，并且作了推论：在同一炮台上水平发出的炮弹，如果不受空气阻力，不论它的射程远近，在空中的飞行时间都是一样的.

然而，飞行时间真的与初速毫无关系吗？不久以后，一位站在巨人肩膀上的科学家在同样的前提下进一步分析，得到了很有意义的成果. 这位科学家就是牛顿. 请同学们看课本中“人造地球卫星”这一节.

生：……从高山上用不同的水平速度抛出的物体，速度越大，落地点越远，速度足够大，物体就不会落回地球，成为绕地球旋转的人造卫星.

师：这就是牛顿从平抛运动初速越大，落地越远出发进行的推导，他的人造地球卫星的原理图可以说是最早的最有说服力的最成功的设想图. 只是由于当时技术条件的限制，物体不可能达到这样的速度. 但是他的思想启发了后人，在太空探索上可以说立了头功.

生：太妙了.

师：我们再回顾一下牛顿的思路，看看有什么特点，从中可受到哪些启发. 大家回忆一下，平抛运动落地等时性一般用在什么场合？速度比较大时还适用吗？

生：平抛运动落地等时性一般用在同一水平面上. 而地球表面是圆形的，当速度比较大时，落地点与抛出点下方的水平线上的点不在一个平面上，所以不适用了.

师：对！在水平抛出速度不太大的情况下，地平面可以看作平面；忽略空气阻力时，物体落地时间与初速无关. 当速度的值不断增大，即运动的量发生变化，直至地面不能看作平面的时候，运动已不再是理想的平抛运动，即运动的形式发生了变化，发生了质的变化. 若速度足够大，或者说量变足够大，物体的运动就发生了突变，不再是抛体运动，而是圆周运动，干脆不落回地球，也就无所谓落地等时性了. 用哲学的语言，就是量变引起质变. 牛顿的人造地球卫星原理设想就是量变质变规律应用的典范.

生：真有趣，学习物理还要用到量变质变规律. 它的应用很多吗？我们应该怎么用？

师：量变质变规律应用很多，大家平时未注意罢了. 例如物体吸收或放出热量，量变达到一定限度，可以发生质变——物态变化；物体运动的量的变化，可以引起质变——运动形式的变化. 从今天的例子看，运用的步骤应是这样：先分析物体的一般状态，研究物理量关系；再使其中某些量变化，分析对其他量的影响，并判断有无质变的可能性；若有质变的可能性，进一步找出其质变的临界点.

当然，牛顿当年不一定是沿着我们今天分析的捷径这么快就想到了人造地球卫星的原理. 但是，对于在座的同学们一旦

掌握了认识世界的哲学规律，就有可能较快地理解、认识世界，更多地造福于人类．好了，现在让我们来分析从平抛运动到绕地球作圆周运动的质变的临界点．看看根据牛顿的设想至少要有多大的速度，物体才能成为人造地球卫星．

（课文内容阅读、讲解、计算）

3．小结

（提供下面的选择题给学生口答，并结合教学目的予以归纳．

题目：在地球赤道的高山上以不同速度水平抛出物体，下列说法中正确的是（　　）

（A）物体一定作平抛运动，且落地等时．

（B）忽略空气阻力时，物体作平抛运动，且落地等时．

（C）忽略空气阻力，且抛出速度不太大时物体作平抛运动．

（周　珑）

十二、“机械能守恒定律”教学

——归纳和演绎方法的运用

1．教学目标（略）

2．教学过程

（1）课堂练习（或板演）

在离地面高为H处以初速v_0竖直下抛质量为m的小球，不计空气阻力，求：①抛出时小球的动能、重力势能、动能和重力势能之和；②抛出后t秒末（落地前）小球的动能、重力势能、动能和重力势能之和．

（2）教师讲解

首先，由练习结果知道，在小球下落过程中，它的重力势

能减小，动能增大，动能和重力势能的总和保持不变，重力势能转化为动能.

引入“机械能”概念.

其次，下面这些问题同样可以得到上面的结论，同学们可在课后自己加以探讨：（A）质量m的小球从高H处自由落下；（B）质量m的小球从地面以初速度v_0竖直上抛；（C）质量m的物体从倾角为θ的光滑斜面顶端无初速滑下；（D）质量m的物体从倾角为θ的光滑斜面底部以初速v_0沿斜面向上滑出.

第三，总结出机械能守恒定律，并指出守恒的条件是没有摩擦和媒质阻力.

讨论高中物理课本上册中的有关习题.

第四，以下问题可以应用机械能守恒定律解决吗？（不计空气阻力及摩擦）：（A）以任意角度斜抛一个小球；（B）细线一端固定，另一端系一小球，把线拉到水平，放手让球摆下；（C）光滑的弧形轨道竖直放置，一物体从轨道上滑下.

第五，把机械能守恒定律推广到弹性势能与动能的互相转化.

（3）练习

应用机械能守恒定律继续求解本节课开始时的课堂练习（①、②）：③当小球离地高为h（$h<H$）时，小球的速度多大？④小球着地时的速度多大？⑤在什么高度小球的动能等于重力势能？此时小球的速度多大？

练习后教师在讲解时着重指出：①应用牛顿定律及机械能守恒定律均可解出这几个题目；②用机械能守恒定律解题的优点.

3．教案说明

（1）从对竖直下抛这个特殊的物理过程的研究，得出机械

能总量不变的结论，再以自由落体、竖直上抛、物体在光滑斜面的运动等特殊情形加以佐证，从而推广到一般情形下的机械能守恒定律．这里用的是归纳的方法．

(2) 把机械能守恒定律这个一般规律，应用到本教案教学过程中第(2)段第四小点中的这些情形，并推广到弹性势能与动能的转化和守恒，用的是演绎方法．

（陈庭芳）

十三、 用比较法进行“机械能”一章的单元复习

高中物理课本上册“机械能”一章中的物理概念和物理规律，有许多可供比较的内容．同时，到本章为止，高中力学范围内的重要概念及规律大部分已经出现，所以用比较方法进行单元复习不仅可以使已学过的知识更加系统化，领会得更加深刻，运用得更加适当，而且还可以帮助学生进行科学方法的训练．下面是用比较方法进行该章单元复习的教学安排（2课时）．

1．物理概念的比较

(1) 提问：指出下列六组概念（本章的以及跟本章有关的概念）中每组两个概念的共同点、不同点及相互联系：

①功、功率；②功、能；③动能、势能；④动能、功；⑤动能、动量；⑥功、冲量．

(2) 教师讲解：在学生回答的基础上，通过下面五个问题，对①、⑤、⑥三组概念的比较进行重点讲解．

问题一：我们从楼下到达楼上，慢走和快跑哪个做功大？哪个功率大？我们从底层慢走到四层楼跟快跑到三层楼相比，哪个做功大？哪个功率大？（比较功和功率）

问题二：作匀速圆周运动的物体，动量改变吗？动能改变吗？一个物体动能改变时，动量一定改变吗？动量改变时，动能一定改变吗？

问题三：一物体在恒定合外力作用下从静止开始运动，该物体的动能跟____成正比（填："时间"或"位移"，下同），动量大小跟____成正比.

（以上比较动能和动量）

问题四：在地面把一物体竖直向上抛出，设空气阻力大小不变，从抛出到回到原处这段时间内，下列几个量中等于零的有（　　）

（A）重力所做的功.　　（B）重力的冲量.

（C）空气阻力所做的功.　　（D）空气阻力的冲量.

问题五：一木块从斜面上滑下，下面几个量中等于零的是（　　）

（A）支持力的冲量.　　（B）支持力所做的功.

（C）重力的冲量.　　（D）重力所做的功.

（以上比较功及冲量）

2．物理概念的分类

（1）提问：以下面提出的不同标准对速度、功、冲量、动能、动量等物理概念进行分类：①矢量或标量；②状态量（某时刻的、某位置的）或过程量（某段时间内的、某段位移内的）.

（2）教师讲解. 讲解时要指出：即时速度是状态量，跟动能、动量有联系；速度增量是过程量，分别跟功及冲量有联系.

（3）练习

①一个质量为m的质点，以线速度v在半径为r的圆周上作匀速圆周运动. A及B是圆周上同一直径的两个端点（图2—

20）．从质点的动能、质点的动量、向心力所作的功、向心力的冲量这四个物理量中选择填充以下问题：



图 2—20

问题一：位置A时_____跟位置B时_____是相同的．

问题二：从位置A到位移B这段时间内，_____等于零．

问题三：根据已知条件，可以求出从位置A到位置B这段时间内_____的大小及方向．

②从高处竖直向下抛出一个小球（不计空气阻力），经3秒钟着地，回答以下问题：

问题一：第1秒内与第2秒内相同的量是（　　）

（A）重力的功．　　（B）重力的冲量．

（C）位移．　　（D）速度增量．

问题二：第1米内与第2米内相同的量是（　　）

（供选择的答案同问题一）

问题三：第1秒末与第2秒末相同的量是（　　）

（A）球的动能．　　（B）球的动量．

（C）球的加速度．　　（D）球的速度．

3．物理规律的比较

（1）练习：一木块以初速v_1从光滑斜面底部A沿斜面上滑，经过B点时的速度为v_2，方向沿斜面向上（图2—21）．求从A到B的时间t及位移s．要求用牛顿第二定律、动能定理、机械能守恒定律及动量定理分别求解．

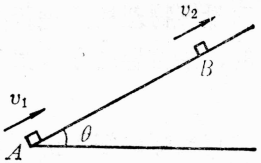


图 2—21

练习后教师在讲解时指出：①用上面这些规律均可解出本

题，步骤的繁简相差不多．但如果只求 s，则用动能定理及机械能守恒定律较为简便；如只求 t，则用动量定理较为简便．②用动能定理及机械能守恒定律求解的算式很相似，但物理意义不同，必须分清：

$$mgs\sin\theta=\frac{1}{2}mv_1^2-\frac{1}{2}mv_2^2\ （动能定理）$$

$$mgs\sin\theta+\frac{1}{2}mv_2^2=\frac{1}{2}mv_1^2+0\ （机械能守恒定律）$$

（2）练习：质量 $m=2$ 千克的物体跟水平地面间的滑动摩擦系数 $\mu=0.3$，物体受水平力 $F=8$ 牛从 A 点由静止开始作匀加速直线运动，当物体到达 B 点（$s_{AB}=4.5$ 米）时撤去 F 力，物体运动到 C 点停止，求 BC 距离 s_{BC}．

练习后教师讲解时指出：①用动能定理解题，我们可以只考虑运动的初始状态（A）和终了状态（C），不必考虑中间状态（B），这比用牛顿第二定律解题时要简便得多．②本题也可以用动量定理求解，但因题目没有明显涉及时间，所以比较麻烦．③本题中存在摩擦力做功，所以机械能不守恒．

（3）练习：一小木块从光滑的四分之一圆弧（竖直放置）顶端 A 点从静止开始滑下，已知圆弧半径，求木块到达底端 B 时的速度 v_B（见图 2—22）．

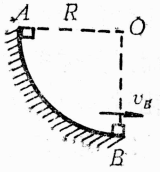


图 2—22

练习后教师讲解时指出：①物体从 A 到 B 的过程中受到的是变力（支持力的大小、方向均在变），所以在高中阶段无法用牛顿第二定律求解，但应用动能定理或机械能守恒定律却可以解出．②如圆弧不光滑，则必须再给出木块从 A 到 B 的过程中克服摩擦力所作的功，才能应用动能定理求出 v_B．此时机械能不守恒．

(4) 教师总结

①牛顿定律只能解决恒力的问题（高中阶段），动量守恒定律只能解决系统不受外力（或外力之和为零）的问题，机械能守恒定律只能解决没有摩擦和媒质阻力的问题（或据高中物理课本甲种本，只能解决只有重力做功的情形）. ②应用两条守恒定律及两条定理时，我们只需讨论运动的初始状态和终了状态，不必考虑运动过程的细节，可以使解题步骤大为简化.

（陈庭芳）

十四、课例：简谐振动

——理想化模型的建立和纳入

1. 教学目的

(1) 按教材内容的顺序，完成振动的概念、弹簧振子的简谐振动和简谐振动的特点三个知识点内容的教学.

(2) 在知识传授过程中渗透以下两方面的方法教育内容：①从简单到复杂，从特殊到一般的研究方法. ②用实验的方法建立理想化实物模型——弹簧振子，再用理想化方法对其进行力和运动的分析，进一步建立理想化过程模型——简谐振动. 继而对具体事物进行科学抽象，以使其纳入简谐振动这一个理想化过程模型之中.

2. 教学程序

(1) 通过回顾前几章学过的几种运动与本节的机械振动相比较，突出物理学由简单到复杂的基本研究方法. 而对于各种复杂的机械振动又从最简单的简谐振动着手研究，由此既引出课题，又强化由简单到复杂，从特殊到一般的科学研究方法.

(2) 通过对实验的观察，分析，推理，建立起理想化的弹

簧振子模型和简谐振动模型.

(3) 在初步了解弹簧振子和简谐振动这两个理想化模型特点的基础上对具体实例进行分析，并使其纳入简谐振动模型，以进行如何运用理想化模型的方法训练.

3. 教学过程

(1) 引出课题

师：前面几章我们学习了匀速直线运动，匀变速运动和匀速圆周运动. 请大家回顾一下这几种运动的动力学条件各是什么？

生：匀速直线运动的力学条件是：$F_{合}=0$；

匀变速运动的力学条件是：$F_{合}=$（常数）；

匀速圆周运动是：$F_{合}$大小不变，方向始终与速度垂直.

师：对！这些运动的动力学条件是由简单到复杂逐步深入的. 今天我们要研究一种新的运动——机械振动. 它是比前面几种运动更为复杂的一种运动.

（运动的性质由动力学条件决定. 对已学过的几类运动从这一角度进行小结，既提高了概括的层次，又强化了因果关系这一逻辑思维方法的训练，并为$F=-kx$的讲解作准备）

师：（演示弹簧振子，钟摆的摆动，琴线的振动，气缸中活塞的往复运动）

师：请注意观察这些运动，都有哪些共同的特点？

生：它们都来回运动.

生：它们最后都停下来.

师：对！共同特点是：这些物体（或物体的一部分）总是在某一位置两侧沿直线或圆弧作往复运动. 我们把这类运动叫机械振动，常简称为振动.

师：大家看到了这些振动没几次就停下来了，如果想使它们一直振动下去有什么办法？

生：不断地加力……．

生：不断地提供能量……．

（从不同表现的运动中观察出它们共同的特征加以归类，这是发现和研究物理规律的重要方法）

师：请同学们再举些日常生活中常见的机械振动实例．

生：水上浮标的浮动，地震．

生：刮风时门窗的振动．

生：机器开动时机座的振动．

生：织布机上梭子的来回飞动．

（学生以振动的共同特征为线索去寻找生活中的实例，把新接受的概念与他们已具备的感性经验联系起来．通过比较、鉴别，确认后达到了巩固概念的作用）

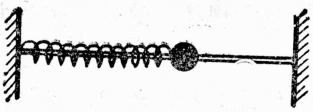
师：同学们举的都是好例子，这些振动实例中有的振动很复杂，如地震之类．有的就比较简单，像弹簧小球的振动、摆球的振动．这节课我们研究的是机械振动中最简单的振动，叫简谐振动．这种振动虽然很简单，但自然界很多小幅度的振动都非常接近这种运动．不仅如此，许多复杂的振动都可以分解成若干个简谐振动．因此学习这种简单的振动更具有普遍的意义．

（突出从纷繁复杂的各种振动中找出最简单、最特殊的进行研究，然后再逐步引深的科学方法．同时指出学习简谐振动的重要意义，激发学生的学习兴趣）

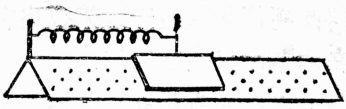
（2）建立弹簧振子模型

演示两个实例（图 2—23、2—24）．

师：请同学们观察，将滑块向右拉离中心位置一段后释放（弹性限度内），滑块就和弹簧一起振动起来．如果滑块的质



直杆上的弹簧振子
图 2 —23



气垫导轨上滑块振动
图 2 —24

量远大于弹簧的质量，那末是否可以将滑块的质量就看成是振动系统的质量？

生：可以.

师：滑块体积虽然比较大，但它各部分运动的情况相同，能否用一个质点来替代它？或者是把它看成一个质点的运动呢？

生：能.

（将一个具体的振动体模型化，巩固质点概念）

师：再观察，在直杆上振动的小球没振动几下就停下来了，而在气垫导轨上的滑块，振动的次数就比较多，这是什么原因呢？

生：小球受到的摩擦阻力太大，滑块受空气摩擦就小得多.

师：猜想一下，如果没有摩擦，滑块将如何运动呢？

生：一直振动下去…….

师：如果能一直振下去，那末振动体每次偏离中心位置的最大距离会不会改变呢？

生：不会改变.

师：好！现在我们按照上面的思路将这两个实际的振动抽象成一个质量为 m 的振子，只在弹力作用下不停地振动. 这样的振动叫弹簧振子的振动. 当然这是一种理想化的运动. 这种

抽象的模型跟实际的振动有一定的差异，但很接近．这样处理能使问题简化，便于我们找出它的特点和规律．这是理想化方法在本节的又一次应用．

（以实验为基础从具体现象着手经过分析、推理、猜想，建立起弹簧振子这一理想化模型．指出了模型的重要性，突出了理想化方法这一物理研究的基本方法）

(3) 在弹簧振子模型基础上研究简谐振动的力和运动的关系

师：上面演示的气垫导轨上滑块的运动是非常接近我们的弹簧振子模型的．那么这个振子为什么会振动呢？…….

（以下对话略）

师：刚才分析了弹簧振子在振动方向上只受到弹力的作用，而且分析了这个力的方向始终与振子偏离平衡位置（回复力等于零的位置）的位移方向相反．它的作用能使振子返回平衡位置，把这样的力叫做回复力．由胡克定律得：

$$F=-kx$$

式中的 k 是比例常数．对于弹簧振子来说，它就是弹簧的倔强系数．式中的负号表示回复力与位移方向相反．

(4) 简谐振动的特点

师：同学们再来分析一个实例，液体中浮沉子上下振动时它受到的回复力与位移有什么关系？……

由此看来我们同样得到回复力与位移的关系是 $F=-kx$．这里我们同样忽略了一些次要因素（如振幅很小时液体的粘滞阻力等），而将其纳入理想化的模型．同学们可以看到这里的 $k=\rho Sg$ 不再是弹簧的倔强系数了．而是一个由振动系统固有性质决定的常数．

除了以上两个例子外，许多实际的振动在忽略一些次要因

素之后，在主要的方面有共同的特点：物体在跟位移大小成正比，并且方向始终指向平衡位置的力作用下振动．这类振动叫简谐振动．像音叉及一端固定的弹簧片的振动都是这类振动．

（从枚举的实例中抽象，归纳出简谐振动的特点）

4．作业

试运用牛顿第二定律得出作简谐振动的物体加速度与位移的关系：$a=-\frac{k}{m}x$．

（张秉述）

十五、“受迫振动”教案

——探索性实验方法运用一例

1．教学设想

学生对受迫振动缺乏生活经验，但是前面刚学过频率和固有频率的概念．面对受迫振动中的两个频率——固有频率和策动力频率，很容易引导学生对受迫振动的频率与什么有关的问题作出一些猜测．因此，以此作为教学的切入点，运用探索性实验组织教学是比较恰当的．共振现象可以作为实验中的异常现象开展进一步的讨论．

学生实验观念的形成，实验能力的培养，只有通过各种各样具体的实验活动才能达成．因此，本节课的实验应发挥寻找物理规律和培养实验能力的双重功能．

实验方法的方方面面很多，不可能也不应该要求学生在一次实验活动中在每一方面都受到训练．结合本节课实验的特点，实验方法的教育主要围绕以下几方面进行，希望学生在这些方面程度不同地有所获益．

（1）根据要解决的问题及初步的猜想对实验进行初步的、

原则的构思.

(2) 分析实验装置，寻找干扰因素，采取有效手段加以排除或削弱，从而发挥实验应有的纯化作用.

(3) 培养观察能力，认识捕捉异常现象的重要性.

(4) 设计记录数据的表格.

2. 教学过程

(1) 引入课题

指出以往研究的振动是自由振动；提出策动力、策动力频率、受迫振动等概念；揭示课题：讨论受迫振动及其重要特例——共振.

(2) 新课教学

①问题和猜想

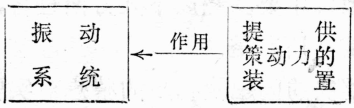
提问：与研究其他振动一样，研究受迫振动也要研究它的一些特征量；频率就是其中之一，那么，受迫振动的频率由什么决定呢？

我们用实验来研究这个问题. 用实验研究问题，一般都先根据已有知识对问题进行一些初步猜测，再根据猜测设计实验. 在受迫振动现象中，振动物体自身存在固有频率，这是内因；它受到的策动力也有一个频率，这是外因；实际振动频率很可能与内因、外因都有关系.

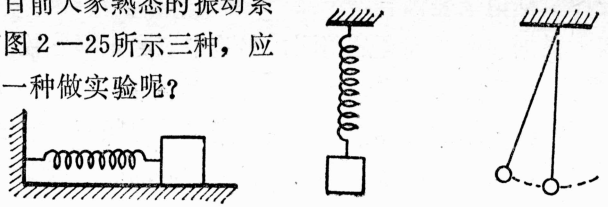
②设计实验装置

提问：作受迫振动的装置，至少应由哪些部分组成？（振动系统和提供策动力的装置）

学生回答后，出示下面方框图.



目前大家熟悉的振动系统有图2—25所示三种，应选哪一种做实验呢？



（A）　（B）　（C）

图2—25

我们要研究的是受迫振动，理想的装置应是加在振动系统上的外界因素只有策动力，不应有其他外界因素干扰．所以，我们应选干扰因素少而且弱的振动系统．

提问：上面三种振动系统分别会有哪些外界因素影响它们的振动？

（A）物体与水平面间的摩擦力，空气阻力；（B）空气阻力；（C）空气阻力．

提问：试选择振动系统，并说明理由．

（根据前述原则，可选（B）或（C））

教师指出：为了便于施加稳定的策动力，我们选竖直的弹簧振子作为实验的振动系统．

出示实验装置（如图2-26所示）*，简介策动力装置（强调跨过滑轮的细绳的一端是套在唱盘偏心钉上的）．

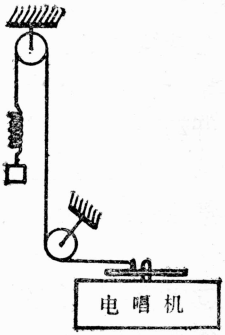


图2—26

*实验中使用的电唱机为四速电唱机．弹簧振子自制，使其固有频率恰为$4\frac{5}{9}$周/分；弹簧可用ϕ0.7毫米左右的细铅丝制作，在直径25毫米左右的铁管上密绕160匝左右，稍作淬火处理后从铁管上退出即成．悬挂物约20克左右．若固有频率不等于45周/分，酌情调整弹簧匝数或砝码质量即可．

③设计数据记录表

提问：根据前面对问题的猜测，实验中应测定哪些数据？（固有频率f_0、策动力频率f'及受迫振动频率f）

为提高实验结果的可靠性，我们改变策动力频率，重复几次实验．这样，在实验中策动力频率f'及对应的受迫振动频率f都是变量，而固有频率是恒定的．

请学生设计记录数据的表格．

④实验

实验前提请学生注意：观察实验现象是实验的重要环节，实验过程中除测定各种频率外，同时应注意现象的其他特征，以免失去发现其他规律的机会．

第一步：让弹簧振子作自由振动，请学生测定固有频率f_0．

第二步：将细绳从唱盘偏心钉上脱开，把电唱机转速调至16转/分（不必告诉学生），开动唱机，让学生根据唱盘转速测定并记录策动力频率f'．

第三步：把悬挂弹簧振子的细绳的一端套到唱盘的偏心钉上，开动唱机，让弹簧振子作受迫振动，待稳定后让学生观察振动情况并测定受迫振动频率f．

第四步：唱机转速分别调至33转/分与78转/分，重做以上实验．

⑤实验结论（略）．

⑥小结（略）．

提问：大家在刚才的实验中，除发现了受迫振动频率的规律外，还注意到其他什么现象没有？（学生可能回答：受迫振动开始时，有一段不稳定状态．教师可以在肯定这一点以后提示：振动的特征量除频率外，还有振幅，在振幅方面出现过怎

样的现象？学生可能回答：$f'=16$转/分时，振幅很小，$f'=33$转/分时，振幅有所增大，但$f'=78$转/分时，振幅又变得很小）

策动力频率增大时，振幅变大又变小，这是否告诉我们振幅存在一个最大值？若存在，何时出现？另外，作为振动系统内因的固有频率虽然对受迫振动在频率上没有影响，难道在其他方面也没有任何影响吗？

这些问题留待下节课继续讨论.

3.后续教学概述

在上节课的实验中，有的同学已经注意到这样一个现象：当策动力频率取16转/分、33转/分、78转/分等值逐渐增大时，受迫振动的振幅先变大、又变小. 我们重做一遍实验，请大家注意观察这个现象.

（重做实验）

猜测：振幅变大又变小，可能表明在33转/分与78转/分之间存在一个策动力的频率能使受迫振动的振幅达到最大值. 振动系统的固有频率$f_0=45$转/分，正在这个范围内；固有频率对受迫振动频率没有发生影响，其影响可能体现在振幅上；固有频率可能正是使振幅达到最大值的策动力应有的频率值.

演示：将唱机转速调至45转/分，让学生测定策动力频率（测出后，教师强调该频率恰等于固有频率），然后用它带动弹簧振子作受迫振动. 观察现象，发现振幅很快增大，以致我们必须立即中止实验，以免损坏弹簧.

教师指出：精确的实验表明策动力频率等于固有频率时，振幅确是最大值. 我们的猜测是正确的.

（板画共振曲线，说明物理意义）

接着具体讨论共振现象，从中引出共振概念，实例分析共

振产生条件以及阐明共振在技术上的意义.

（沈为民）

十六、课例：分子的热运动

1.课题分析和教学设计

在初中已讲过分子运动论的基本内容. 有关的知识性结论通过回忆就可以解决. 高中阶段主要应让学生认识如何从宏观现象去揭示微观本质的方法，并通过具体问题的分析来提高思维能力.

本课题是分子运动论的第二个课题. 主要解决如何认识分子热运动的方法问题.

扩散现象只能说明分子运动和分子运动快慢与温度的关系，但不能说明分子运动的特征. 初中教材则在未作任何解释的情况下提出了分子作无规则运动的结论. 这就是本课题要解决的问题.

布朗运动是揭示分子无规则运动的事实基础. 但在通常情况下观察不到布朗运动. 因此要通过实验观察悬浮颗粒的运动，使学生建立感性认识，为理解布朗运动和进一步分析奠定基础.

从布朗运动出发去推断现象的原因，是符合认识顺序的. 但教材采取了由因推果的方法，即把有待发现的原因——分子作无规则运动作为推理的前提，然后用力学规律和统计规律推出应该出现的现象. 在这种推理中前题是假设，因此推出的结论还要跟事实比较. 如果二者是一致的. 假设就得到证实. 而教材对检验假设这一点似乎比较含糊. 另外，假设总是在一定事实基础上提出的. 但教材直接提出了分子作无规则运动，不仅使人感到突然，而且也可能造成认识不必依赖于实践的误

解．再就是教材回避了统计规律，所以说不清颗粒大小是出现不同运动情况的原因．其实对高中学生来说，平时已经接触到一些诸如成绩统计等问题，所以并不一定不能讲．讲一点统计，不仅对了解课文有好处，而且还可从中了解到分子运动与机械运动的区别．问题是不要讲得过多、过深．

基于以上的考虑，本课程主要是通过对布朗运动的观察和分析，确认分子热运动就是分子的无规则运动．重点在于观察和分析，有了这一基础，关于什么是热运动也就迎刃而解了．

观察布朗运动是本课题的起点．如没有显微投影幻灯机，应在课前组织学生轮流观察，明确观察对象、运动的特征，比较大小不同颗粒的运动情况．

2．教学过程

(1) 归纳观察结果，给出布朗运动术语．

师：我们是不是从显微镜中看到了分子？

生：不是，看到的是悬浮颗粒．

师：对！用光学显微镜只能观察到大于10^{-7}米以上的颗粒，而分子的直径数量级是10^{-10}米，所以用光学显微镜看不到分子，看到的是远大于分子的颗粒．

（为区分布朗运动和分子运动，以及为说明颗粒同时受到许多分子撞击作好铺垫）

师：看到的颗粒是静止的还是运动的？

生：大颗粒是静止的，小颗粒是运动的．

师：很好！不但能说明静止和运动，还能说明颗粒大小和它们不同的运动．如果我们观察得更仔细，还可以发现：颗粒越小，运动越明显．那么能否描述一下小颗粒的运动情况？

（正确地描述观察结果是良好观察能力的反映．这不仅对实验十分重要，也是一个人的重要素质，要在平时培养）

生：颗粒一忽儿向左，一忽儿向右，一忽儿向前，一忽儿向后……总之在不停地改变运动方向，犹似一条鱼在水中不停地游来游去.

师：如果把刚才的描述用图形表示，那么大体上如图 2 —27中的细线所示（边画边讲）. 课本上的图则是每隔30秒记录一次位置后用直线连起来的折线，相当于图 2 —27中的实践. 所以课本上的图是近似地描述了小颗粒的位置变化的情况. 我们把这种运动叫不规则运动.



图 2 —27

（实践证明，不少学生不清楚不规则运动的含义，并误认为就是沿折线的运动）

师：我们把悬浮颗粒不停地做无规则运动叫做布朗运动，以此来纪念首先发现并深入研究这一现象的英国植物学家布朗.

（给出术语及其来源）

师：布朗以及后来很多人的实验表明：对不同质料（花粉、碳粉、玻璃粉末等）的悬浮颗粒都能观察到布朗运动；对悬浮在水中和其他液体及至各种气体里的颗粒也都能观察到布朗运动. 可见产生布朗运动的条件有两个：一是颗粒足够小（刚才回答已说明观察不到大颗粒的运动）；二是要悬浮. 如果液体干涸了，或者把颗粒放在真空里，颗粒能悬浮吗？所以悬浮包含这样一层意思，即颗粒周围存在气体或液体. 只要具备上述条件，布朗运动就永不停止. 布朗运动是一种比较普遍的自然现象，只是我们的肉眼不能观察到罢了.

（布朗运动是科学术语. 科学术语总是反映一类事物的共性. 这里是通过不同质料和各种液体、气体来扩展术语的外

延，揭示“悬浮”的隐含含义，为后面作准备）

（2）分析产生布朗运动的原因

师：布朗运动是一种现象，那么产生这一现象的原因是什么呢？从刚才产生布朗运动的条件中，我们能得到一些启发吗？

（猜测是解决问题的最初步骤，也是分析问题和解决问题的重要方式．一旦猜测被证实，所产生的激励对学习的促进作用是巨大的．但为了避免猜测的跨度过大而挫伤积极性，所以要逐步引导．引导，也是教师主导作用的表现）

生：从颗粒和颗粒周围的液体或气体去分析．

师：对！辩证唯物主义告诉我们：内因是事物变化的根据，外因是变化的条件．我们观察的对象是颗粒，颗粒就是内因．布朗最初是发现花粉颗粒的不规则运动，他在排除液体流动和蒸发的影响后，认为运动的原因是粒子本身，是有机物的某种活力．为了证明这一想法，他继续用已经过了100多年的花粉、花岗石粉末等做实验，都能观察到颗粒的运动，从而否定了由颗粒本身活力引起运动的假设．布朗虽然没有解开颗粒运动之谜，但他这种尊重实验事实，勇于探索的精神永远值得学习．同时从布朗的实践中，对解开这个运动之谜又有什么启发呢？

生：布朗从颗粒本身去研究，没有解决问题，那么我们可以从颗粒周围的液体去试一试．

师：对！只是布朗并不是没有考虑液体的问题，如液体的流动、蒸发等，但这些都是宏观的观察现象，因此也没有解决问题．所以如果我们要试一下，该从哪方面去考虑呢？

生：从物质的分子结构去考虑．

师：那么请你们讲一下已经知道的内容．

生：液体是由大量分子组成的（根据上一节内容）；分子是在不停止地运动（根据扩散现象）；分子做无规则运动（在初中已经讲过）.

师：在初中讲过分子做无规则运动，根据什么实验？

生：扩散.

师：扩散只能说明分子运动，但能说明分子做无规则运动吗？

生：……

（揭露思维矛盾，为说明“分子作无规则运动”是一个有待证明的假设作准备）

师：分子作无规则运动在初中没有说明理由，高中还是有待于发现，所以这只能说是一种猜想或者叫做假设. 猜想也不是胡思乱想，也要有一定的根据.

我们已经从观察知道：颗粒越小，无规则运动越明显，那么如果颗粒小到跟分子一样大，那么颗粒的运动不是更明显了吗？

生：当然.

师：既然颗粒已小到分子大小，那么颗粒的运动可不可以认为更接近分子的运动呢？

生：可以.

师：但小颗粒终究不是液体分子本身，因此只能是认为假设. 归纳以上所说，就是课文中所说的：液体是“由许许多多做不规则运动的分子所组成. ”这就是我们推理的出发点. 下面就请你们想象一下颗粒在液体中的情景. 为了便于想象，我们可以把它设想成在一只容器中有许许多多乱飞的苍蝇，中间放上一只气球.

生：颗粒被做无规则运动的液体分子包围着，受到分子的

不断撞击，每个液体分子的撞击都给颗粒一定的冲力，在冲力作用下颗粒的运动状态发生变化.

师：颗粒是受到一个接一个分子的撞击，还是每一时刻都受到一些分子的撞击？

生：由于颗粒体积远大于分子，所以每一时刻都受到一些分子的撞击.

师：那么引起颗粒运动状态变化的是一些分子的合冲力了.

生：是这样.

师：既然使颗粒发生运动状态变化的是一些分子的合冲力，那么对小颗粒来说，由于体积小，同时跟它碰撞的分子数少，因此受到的合冲力大；而比较大的颗粒则因体积较大，同时碰撞的分子数多，因而受到的合冲力小. 这一分析对不对？为什么？

生：因为液体分子从四面八方撞击分子，各个分子的冲力的方向是不同的. 所以合冲力的大小还要看分子撞击的方向.

师：这个回答很好. 到此为止我们都是用力学规律来分析问题. 现在我们能不能继续用力学规律来确定分子撞击的方向呢？或者说沿不同方向撞击颗粒的分子数的多少呢？

生：……

（揭露思维矛盾，为提出统计规律作好思想准备）

师：对于这个问题，我们要用统计规律来解决. 为了让大家对统计规律有一个初步了解，在这里举一个简单的例子. 现把一枚硬币掷在桌上，你能确定正面（有国徽的一面）向上还是向下？因为两种都可能，至于实际出现哪一种完全是偶然的. 如果掷上几千次甚至几万次，如果从中随意取出其中的10次，你能确定有几次向上和几次向下吗？不能肯定，如果从一

万次中你能大致确定向上和向下的次数吗？

生：大体上各是5000次.

师：你是怎么得出来的？

生：是猜的.

师：第一，你不妨拿一枚硬币在课余自己试一试，把每次结果记录下来，然后统计一下，看看两种情况的次数是不是大体相等，这就是用实验来检验你的想法. 这也是布朗追求真理所采取的方法. 第二，我们也可以这样思考：掷硬币时出现正面向上和向下的机会是均等的. 没有理由说出现哪一种的情况多一些. 对少数几次，有偶然性，但对很多很多次来说，就应该一样了. 这就是反映大量偶然事件的整体性的规律，也就是统计规律.

注意，统计规律是对大量偶然事件起作用的规律，对于少量的偶然事件，仍然是不能肯定的. 例如掷硬币只掷两次，那么向上和向下不一定各有一次，可能是2∶0，也可能是0∶2，结果还是偶然的.

现在我们回到分子的无规则运动上来. 在同一瞬时，有的向左，有的向右，有的向前，有的向后……总之向各个方向运动都有，但是我们能不能知道分子向哪个方向的机会多一些呢？

生：……

师：（启发）如果在教室中间打开一瓶香水，过会儿你们都闻到了香味，说明有一定数量的香水分子运动到你们的鼻子里（几个香水分子你是感觉不到的）. 这说明香水分子向四周运动. 如果没有风，也没有重力的影响，也没有墙壁、地面等的阻挡，让香水分子自由运动，那么香水分子向哪个方向运动机会多一些？

生：机会均等.

师：液体分子也一样，它们向各个方向运动的机会均等.因此，我们虽然不能对一个个分子的运动方向进行统计，但应用刚才讲的统计规律，还是可以进行推断的.对大量分子而言，向各个方向运动的分子数怎样？

生：相等.

师：分子数较少和较多又是怎样？

生：分子数较少时，向各个方向的分子数不等；分子数较多时，向各个方向运动的分子数接近相等.

师：现在用上述的观点讨论一下小颗粒和大颗粒受到碰撞的情况.

生：颗粒小，同时撞击分子数少，从各个方向撞击颗粒的分子数不等，颗粒受到各个方向的冲力不平衡.由于分子运动是无规则的.所以这一时刻向左的分子多，下一时刻向右的多……这就将使小颗粒忽左忽右地做无规则运动.

颗粒比较大，同时撞击颗粒的分子数比较多，从各个方向撞击颗粒的分子数比较接近，各个方向对颗粒的冲力接近平衡，所以颗粒的运动状态可以认为没有变化.

师：还要补充一下，颗粒小、质量小，容易改变运动状态；颗粒大，质量大，就不容易改变运动状态.所以外因（液体分子的撞击）总是通过内因（颗粒的大小和质量）起作用.

到此为止，我们从假设出发，应用力学规律和统计规律推出了小颗粒和较大颗粒应该出现的运动情况，已经完成了推理.但这个推理是否正确还要由实践来检验，也就是要看一看推理的结论是否符合观察的现象.你们已经观察过现象，是不是小颗粒作不规则运动而看不到较大颗粒的运动？

生：是这样.

师：回顾一下本节课的过程，就是实验、假设、推理、结论、检验（实验判定假设的正确性）的过程.

（归纳认识过程，说明实践是认识的源泉，也是检验真理的标准）

师：在刚才的分析中，如果不用统计的观点能说清大小颗粒发生不同运动情况的原因吗？

生：不能.

师：从这里可以看出分子运动是遵从统计规律的. 正因为分子运动不能单用力学规律解决，所以分子运动是不同于机械运动的另一种更复杂的运动形态.

师：根据刚才的分析，我们还可以讨论以下三个问题：①布朗运动是不是分子运动？②分子跟颗粒之间是什么关系？③通过扩散来观察分子运动跟用布朗运动反映分子运动有什么不同？其中①是课文后的练习题，是比较容易回答的. 但它是回答②、③的基础. 现在先议论一下，再回答.

生：（思考、议论）

生：布朗运动是悬浮颗粒的运动，不是分子的运动. 颗粒是在分子作用下发生运动，所以它们的关系是被作用物和作用物的关系. 布朗运动是通过被作用的颗粒来反映分子运动的，而扩散观察到的就是分子本身运动的积累效果（如闻到香水味，就是许多分子运动到鼻子才被感知的）.

师：从上面的回答，给我们提供了两种观察分子的方法：一种是利用分子本身的积累效果，如扩散、油膜法等；另一种就是通过能被观察到的被作用物来显示（反映）观察不到的分子，如布朗运动就是. 这种方法不仅用于观测分子，其他如用铁屑显示磁力线等都是这一思想的应用. 以后我们还会遇到不少类似的观察方法，这里不多说了.

(3) 以温度对布朗运动和扩散现象的影响，确认分子无规则运动跟温度有关，从而给出分子热运动的定义. 教师指出：关于分子热运动，请同学看书，弄清楚什么叫热运动？为什么把分子无规则运动叫热运动？有什么实验根据？

（沈正之）

十七、课外讲座：气体分子运动的估算

——理想化模型的建立和应用

1. 课题分析及教学设计

通过建立物理模型把微观过程和宏观现象联系起来，从可直接测量的宏观物理量出发，对微观量作出数量上的估计，是人们研究和了解微观世界的重要方法.

学生在课堂教学中，已学过“用油膜法估测分子大小”，“估算NaCl晶体的晶格距离”等课题，已经初步了解到（虽然极其粗糙）通过对一些宏观量的测量，人们可以对分子的大小和数量作出估算. 在这个讲座中，将对气体分子的运动特点作进一步的研究，主要估算：气体分子的平均距离、气体分子的平均动能；单位时间内气体分子间的碰撞次数.

从方法教育的角度来说，主要说明以下几个问题：

(1) 为了对微观量作出估计，需要建立简化的物理模型；

(2) 为了建立模型，必须对影响物理过程的诸因素作出分析，抓住主要矛盾，忽略次要因素，将物理过程理想化；

(3) 将物理过程理想化时，必须对它的合理性作出论证.

由于研究的问题不同，物理过程诸矛盾间的主次关系也会转化. 因此，对同一个研究对象来说，可以有不同的理想化模型.

由于是课外讲座，所以内容不完全受大纲的限制.

2．教学过程

（1）估算气体分子间的平均距离

师：在课内，我们已经对分子的大小和数量作过初步的估算，在这些估算中，有两点是共同的：①必须找到一些与所要估算的微观量有关的宏观量，这些宏观量是能直接测量的，如摩尔质量，密度，体积，面积等；②构造出一种模型，把宏观量和微观量联系起来.

所以，模型是联系宏观世界和微观世界的桥梁．从分子论角度来看，气体的行为是最简单的．现在让我们用建立模型的方法，对气体分子的运动特点作进一步的研究.

（指出研究微观过程的基本思路是通过建立物理模型，把微观量和可以直接测量的宏观量联系起来）

师：（给出例题一：试估计在常温常压下，气体分子间的平均距离．为简单起见，把气体分子看作弹性小球.）

师：把气体分子看作弹性小球，已经是一种简化．我们知道，除了单原子气体，其它气体的分子很难看作是一个弹性球（就是单原子分子，也很难想象它的“形状”是怎样的）．不过我们今天只要求对有关的量作最粗略的估算，所以我们就把研究对象想象成最简单的形状.

生：什么是常温常压？

师：这是一个模糊概念．大概像现在教室里这样，大家觉得还过得去，就可以算“常温常压”吧．你们估计，现在教室里的温度和气压是多少？

生：大概是20℃，1×10^5Pa.

师：和标准状态差不多，我们就当作是标准状态来处理吧．现在主要的困难是什么？

生：分子排列不规则.

师：岂但排列不规则，简直谈不上什么排列，因为气体分子是不断地作激烈运动的．但我们是否可以相信，如果单位体积里的分子个数一定，则不论它的排列情况如何，并不影响分子间的平均距离？那么，我们在估算时，就可以想象气体分子是按一种最简单的方式排列的．这个最简单的方式是什么？

生：正立方体点阵．

师：当然气体分子绝对不是这样排列的，但这大概不会影响估算的结果．现在看一看还要找哪些必要的数据？

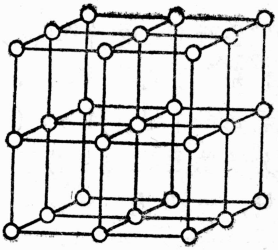


图 2—28

生：阿佛伽德罗常数，标准状态下的摩尔体积．

师：请大家算一下．

生：（计算：见图 2—28）

$$n=\frac{N_0}{V_{mol}}=\frac{6.0\times10^{23}}{0.0224}/\mathrm{m}^3=2.7\times10^{25}/\mathrm{m}^3$$

$$\bar{l}=\frac{1}{\sqrt[3]{n}}\doteq\frac{1}{3.0\times10^{8}}\mathrm{m}\doteq3.3\times10^{-9}\mathrm{m}$$

生：最边上的一个分子漏掉了．（意指正立方体每边 $\sqrt[3]{n}$ 个分子，只有 $\sqrt[3]{n}-1$ 个间隔）

师：这影响我们估算的结果吗？

生：不影响，$\sqrt[3]{n}$ 太大了．

（在不严重影响估算结果的前提下，可以选择最简单的模型，选择模型时要有根据）

（2）由气体压强估算气体分子平均动能

师：（给出例题二：气体对容器壁的压强是由分子对器壁的碰撞产生的．试由此估算常温下气体分子的平均动能．）

师：气体对容器壁的压强，是大量作不规则运动的气体分子对器壁碰撞的结果．据此我们有可能估算出气体分子的平均动能．我们知道，气体分子的运动是很复杂的．就某一个分子来说，它不断地和其他分子发生碰撞，每次碰撞后，它的速度大小和方向都发生变化；就某一时刻来说，各个分子都以不同的速度向不同的方向运动．看来要解决这个问题，还要把过程作一些简化．我们假设：①每个分子除了与器壁发生碰撞外，相互间不发生碰撞；②算作容器是长方体形的，在空间建立一个直角坐标系，使它的 X，Y，Z 轴分别与器壁垂直．假设任一时刻沿着每一个坐标轴方向（$+X$，$-X$，$+Y$，$-Y$，$+Z$，$-Z$）各有占分子总数 1／6 的分子以平均速率运动．

这样，在 Δt 内，包含在柱体 $\Delta S\cdot\bar{v}\Delta t$ 里的所有分子中的 1／6 都将以 $\bar{v}$ 速率与器壁发生碰撞，每次碰撞的冲量为 $2m\bar{v}$（见图 2—29）．

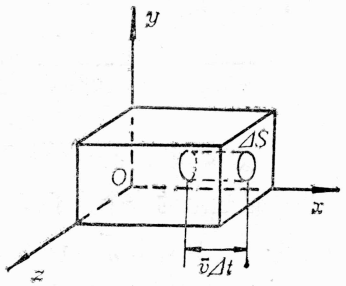


图 2—29

如果根据这个假设，找到气体压强和分子平均动能之间的关系，而压强又是可以直接测量的，我们就能由此求出分子的平均动能．

上面两个假设和气体分子实际的运动情况相差很远，因此有必要研究一下它的合理性，看一下在我们粗略的估算中是否能说得过去．

生（甲）：分子间要发生碰撞……

生（乙）：弹性碰撞要交换速度……

师：质量相同的物体作弹性正碰才互相交换速度．分子间不可能都作弹性正碰．但分子间发生碰撞时，每个分子速度增

大或减小以及向任一个方向偏转的概率是一样的，因此我们可以认为不虑考分子间的碰撞，大概不至严重影响估算的结果。还有什么问题？

生：分子并不总是垂直地撞在器壁上.

师：这就使每次碰撞的平均冲量小于 $2m\bar{v}$. 但我们是否可以认为，由于分子运动方向不都和器壁垂直，实际上打在器壁上的分子数要比按这个假设估计的多一些？这样，就使估算中的误差抵消掉一些. 反正我们的估算只要准确到数量级就可以了.

生：（在教师帮助下演算）

$$f\cdot\Delta t=\frac{n}{6}\cdot\Delta S\cdot\bar{v}\cdot\Delta t\cdot 2m\bar{v};\quad p=\frac{f}{\Delta s}=\frac{n}{3}\cdot m\bar{v}^2.$$

师：这式子还可写成：

$$p=\frac{2n}{3}\cdot\frac{1}{2}m\bar{v}^2=\frac{2n}{3}\cdot\overline{e_k}.$$

$\overline{e_k}$是分子的平均动能.

这式子说明了气体压强和分子密度及分子平均动能之间的关系.

必须指出，这里有一个不严密的地方. 前面的 $\bar{v}^2$是分子的平均速率的平方，而后面出现的平均动能 $\overline{e_k}$（对多原子气体，分子还有转动动能和分子内部振动动能，这在中学里不研究），用的是速度平方的平均值. 我们知道，这两者是不相等的. 但如果我们只要求估算到数量级，则问题不大.

现在设气体很接近标准状态，并设分子的质量为 5×10^{-26}kg，试估算一个分子的平均动能和平均速率.

生：（估算）

$$p=\frac{2n}{3}\cdot\bar{e}_k,\quad n=\frac{6.0\times10^{23}}{0.0224}/\mathrm{m}^3=2.7\times10^{25}/\mathrm{m}^3,$$

$$\bar{e}_k=\frac{3p}{2n}=\frac{3\times1.0\times10^5}{2\times2.7\times10^{25}}\mathrm{J}=1.1\times10^{-20}\mathrm{J},\quad \bar{e}_k=\frac{1}{2}m\bar{v}^2,$$

$$\bar{v}=\sqrt{\frac{2\bar{e}_k}{m}}=\sqrt{\frac{2\times1.1\times10^{-20}}{5\times10^{-26}}}\mathrm{m/s}=670\mathrm{m/s}.$$

（在建立模型之前，首先要对实际的物理过程作出尽可能详尽的分析．模型可能和研究对象有很大的区别，因此应该对照已经了解的实际过程，对模型的合理性作出有说服力的论证）

(3) 估算气体分子间的碰撞次数

师：（给出例题三：设上述气体分子可以看成为直径 $d=3\times10^{-10}\mathrm{m}$ 的弹性小球，试估算每个气体分子在每秒内与其它气体分子的平均碰撞次数 k．）

生：这容易，$k=\bar{v}/\bar{l}=670/(3.3\times10^{-9})/\mathrm{s}$

$$=2\times10^{11}/\mathrm{s}.$$

师：你的意思是说，每个气体分子平均每经过分子间的平均距离 $\bar{l}$ 就要与其他分子碰撞一次，这就要保证每个分子在与另一个分子碰撞以后，就得恰巧“准确”地向着与它最邻近的分子运动．这合理吗？

（不是每一种简化都是合理的）

生：不合理，因为没有考虑分子的运动完全是无规则的．

师：如果我们在任一时刻任意选定一个分子作为观察对象，我们将观察到，这个分子向哪个方向以什么速度运动完全是随机的．所以上面那个计算所依据的假设是不合理的．这一次我们准备作这样的假设：①除了所研究的气体分子（下面把它定名为分子 A）恰好以平均速率运动以外，所有其他气体分子都不运动；②运动的分子（分子 A）在与其他分子碰撞后，仍以原来的速度沿原来的方向运动．

这样，取时间Δt，则A分子沿$\bar{v}$方向运动了$\bar{v}\Delta t$距离，在空间划出一个半径为d，长为$\bar{v}\Delta t$的圆柱体．所有球心落在这个圆柱体内的其他分子，都将与分子A相撞．只要求出圆柱体内的分子数，也就求出了分子A和其他分子的碰撞次数，如图2—30（图中小圆直径应约等于圆柱体半径）．现在是不是来考察一下这个假设的合理性．大家可以找一下疑点．

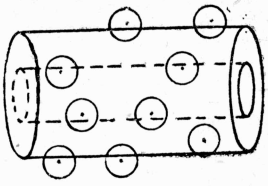


图2—30

生（甲）：因为其他分子也在运动，所以实际的碰撞次数要比这样估算的多一些．

生（乙）：也存在这样的情况，就是当分子A向着某一个分子运动时，这个分子却躲开去了．

师：是否可以这样理解：由于分子运动的无规则，从统计的观点看，一段时间内，由外面进入圆柱体的分子数和离开圆柱体的分子数是相等的？

（学生对问题的解释是从直觉出发的．这样点一下，使它看起来理论的味道更浓一些）

生：因此其他分子是否运动，对碰撞次数没有影响．

师：很难说没有影响，但大概不会有严重的影响．

生：A分子在每一次与其他分子碰撞后，速度的大小和方向都要改变．

师：但是从统计的观点看，A分子在每一次碰撞后，速度变大或变小的机会是一样的；同时，不论A分子与其他分子碰撞后向哪一个方向运动，再与另外分子碰撞的机会也是一样的．其实，我们当作A分子恰好以平均速率运动，把分子当作弹性球，这些假设本来就是非常粗糙的．因此，今天我们只能

说是对分子间碰撞次数的非常粗略的估计.

生：（在教师帮助下进行计算）

$$k=\frac{\pi d^2\cdot\bar{v}\cdot\Delta t\cdot n}{\Delta t}=\pi(3\times10^{-10})^2\times670\times2.7\times10^{25}/s$$

$$=5.1\times10^9/s\doteq5\times10^9/s.$$

师：（介绍“分子平均自由路程”的概念）求得

$$\bar{\lambda}=\frac{\bar{v}}{k}=\frac{670}{5\times10^9}m=1.3\times10^{-7}m.$$

师：（总结）①为了研究微观现象，必须通过建立物理模型把微观量和可以直接测量的宏观量联系起来；②为了建立一个合理的模型，必须对实际的物理过程作尽可能详尽的分析，突出主要矛盾，忽略次要矛盾，把过程理想化，还必须对模型的合理性进行论证；③模型只能反映研究对象某一方面的特性，模型不等同于研究对象．因此，由于研究的重点不同，同一个研究对象可以有不同的模型．

（夏蒙森）

十八、“晶体和非晶体”、“空间点阵”的教学设计

——突出模型方法

在科学研究中经常会遇到一些其内部结构和机理一时尚不能够或不便于直接观察，只能从外部去认识的客体．对此，一般的研究方法是：①通过观测和实验获取有关这一客体的大量信息；②根据所获信息和已有知识提出一种假说模型来代替客观原型，解释有关现象；③验证模型，即若假说模型与进一步实验和观察的结果相矛盾，则模型被否定，反之，则模型得到确认；④根据对正确模型研究的结果，阐明该客体的种种特

性.

“晶体和非晶体”及“空间点阵”两节课的内容充分展现了科学研究中的这一重要方法. 对此，教学中应予以突出.

1. 观察与实验

(1) 让学生2～4人一组用放大镜观察食盐、砂糖、云母、石英、明矾和松香、沥青、橡胶、玻璃等固体的外形，说出哪些固体具有规则的几何形状.

用教学挂图显示冬天的雪花，它们的花纹虽然各不相同但都是六角形的规则图像.

有学生指出：①规则的外形不是人工造成的，而是天然的；②具有天然的规则几何形状的固体叫晶体，不具有规则外形的固体叫非晶体. 但这只是晶体和非晶体的一个区别.

(2) 演示云母片和薄玻璃板传热性能的比较实验. 教师在演示过程中可让学生思考：①为什么要让铁钉的烧红的尖端去接触云母片涂蜡层的反面，而不是直接接触涂蜡层？②云母片上熔化了的石蜡成椭圆形，玻璃板上熔化了的石蜡成圆形说明什么问题？

向学生指出：①演示实验表明，云母片在沿椭圆长轴方向上的导热性能要比与之垂直方向上的导热性能好. 而在非晶体玻璃里，各方向上的导热性能是相同的. 晶体内部的物理性质与方向有关，这种特性叫做各向异性. ②晶体有时不完整，它的外形也容易受到破坏，使外部特征不明显，因此各向异性就成为识别晶体的一个基本特征. ③并非每一种晶体都能在各种物理性质上表现出各向异性，有些晶体在导热性上表现出显著的各向异性（如云母、石膏晶体），有些晶体在导电性上表现出显著的各向异性（如方铅矿），有些晶体在光的折射上表现出各向异性（如方解石），等等.

(3) 和学生一起回忆初中已学过的知识：①晶体的另一个基本特征是具有一定的熔点，这是从宏观上区分晶体和非晶体的重要依据. ②多晶体虽无规则的几何形状，物理性质又各向同性，但它仍跟单晶体一样具有一定的熔点，而非晶体则没有.

2. 晶体微观结构模型的提出

(1) 问题的提出：晶体为什么会具有规则的外形、各向异性并具有一定的熔点？

(2) 晶体微观结构的假设模型：空间点阵.

组成晶体的物质微粒（原子、分子或离子）依照一定的规律在空间排成整齐的行列. 这种有规则的排列就称为“空间点阵”.

①让学生观察点阵模型，对照模型和课本的图理解空间点阵的概念. 应当指出：点阵模型并不代表晶体的真实情况，点阵粒子的大小及间距都不是按比例绘制的，它只是组成晶体的物质微粒有规则排列的示意图.

②假说模型的解释功能：一是物质微粒排列的有规则性使晶体的形状有规则；二是沿不同方向的等长距离上的物质微粒数不同，使晶体在不同方向上的物理性质不同；三是在熔解过程中，外界供给晶体的能量全部用来破坏晶体的点阵结构，增加分子间的势能，所以温度不发生变化，凝固时情况正好相反，这便是晶体有一定熔点的原因；四是有的物质能够生成种类不同的几种晶体，因为它们的物质微粒能够形成不同的空间点阵. 同一种化学成分的物质，若其微粒的排列有规则，则它就以晶体的形式存在，若其微粒无规则排列，它就以非晶体形式存在.

点阵模型能很好地解释晶体的物理性质.

3. 模型的验证

1912年开始用X射线对晶体结构进行研究，现在已可用电子显微镜对晶体内部结构进行直接观察和照相，都证实了空间点阵这一假说模型是正确的.

4．研究模型，阐明晶体特性

为扩大学生眼界，可对下述内容作简单介绍，使学生对模型的判据功能有一感性的认识. 根据化学键的不同，可把晶体分为四类.

(1) 由离子键作用而组成的晶体，即离子晶体. 由于离子键作用强，故该晶体具有熔点高、挥发性弱和可压缩性小的特点. 最典型最简单的离子晶体就是食盐晶体.

(2) 由共价键把中性原子结合起来组成的晶体即原子晶体. 共价键作用很强，所以原子晶体硬度大、熔点高、导电性差、挥发性弱. 金刚石是典型的原子晶体，半导体硅、锗、碲也是原子晶体.

(3) 分子晶体由分子组成，靠分子间的相互作用产生结合力，即范德瓦尔斯键把这些分子结合起来. 范德瓦尔斯键的作用很弱，故分子晶体硬度小、熔点低、易挥发. 碘和低温下的惰性气体都是分子晶体.

(4) 由金属键作用所组成的晶体叫金属晶体，简称金属. 金属键的作用可以很强，因此金属熔点高、硬度大、难挥发. 由于金属内存在自由电子，因而金属具有良好的导电性和导热性.

（陈重威）

十九、教学演讲：关于理想化方法

同学们：

我们在学习物理的过程中已经多次运用了理想化方法. 比如，我们要研究一辆大卡车从甲地开往乙地的运动，就忽略了

大卡车的大小与形状，把它看成一个质点；我们要研究卡车内方向盘的转动时，就忽略它的形变，把它看成一个刚体（不会变形的物体），而不忽略它的大小与形状．这种在研究问题过程中忽略次要因素或无关因素的方法就是理想化方法．它使我们得到理想化的模型去代替客观原型．诚然，理想化模型与客观原型是不同的，从现象上看，它失去了真实，但是它更反映本质，它使我们能近似地在理想的条件下较为方便地研究客观世界，得到物理规律．

同学们，你们对理想化方法是逐步适应的，逐步接受了．但是你们在思想深处尚存疑虑，一步三回头，时时在反思．在碰到新问题试图运用理想化方法时，经常问：这样忽略某些因素，是不是太随心所欲了？科学难道允许这样的漏洞吗？这样得到的物理定律难道还会准确吗？

是啊，是不太准确．所有的物理定律都不是百分之百地准确的，这正是物理方法的优点，也是物理定律的局限．

我们的任务是什么？我们的任务是研究这个纷繁复杂的客观世界的各种事实，这实在是太困难了．打个比方吧，这正如我们要在大海中捕捉所有的鱼一样，怎么办呢？我们就需要一个工具，这就是捕鱼的网．如果我们的网是一个严密得滴水不漏的容器，能使我们捕起所有的鱼吗？不能，因为鱼和另外我们不需要的海水的总重量之大，使我们根本提不起网来．我们的网必须有漏洞，它漏掉了水，漏掉了我们不需要的杂物也漏掉了一些小鱼．理想化方法正是编织这样一个网的方法．

从理想化方法得到的物理定律正是一张一定规格的网．所有的物理定律都是相对真理，它们有一定的适用范围，超过这个范围就不正确了．物理定律的局限性正是主、客观矛盾的反映，它是促进科学发展的革命性因素，它不断促使人类继续编

织更好的网，得到更接近真实的物理定律.

有忽略的方法——有漏洞的网——有局限性的物理定律——不断逼近真理的进程，这就是科学！

（姜水根）

二十、“气体的性质”一章的单元复习

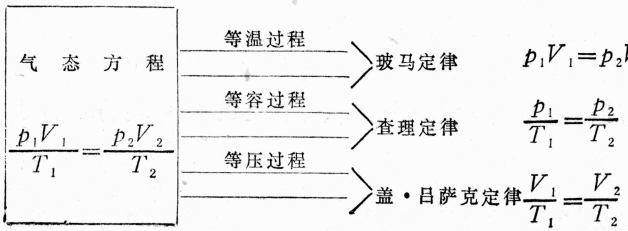
——突出一般与个别、原因与结果、现象与本质三对范畴

气体性质这章是高中物理的重点章，对学生的要求较高，本章的复习课要以气体实验定律为中心，不仅应该把本章内的各节内容有机地联系起来，而且应该联系第八章的关于分子运动论与热和功的知识，使学生对气体实验定律融汇贯通，同时在复习时从以下三个关系实施方法教育.

1. 一般与个别

我们学习新课知识是从个别逐步归纳到一般，而在上复习课时，要让学生从一般演化到个别，理清知识结构.

描述一定质量的理想气体的三个状态参量压强 p、体积 V 温度 T 在发生一般的变化时，符合 $\frac{pV}{T}=$恒量，即 $\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$. 若对气体状态变化的过程进行控制，保持其一个状态参量不变，则分别得到三条气体实验定律：



2．原因与结果

在复习气体定律时，还应该从引起气体状态变化的原因上去考察，气体状态变化是由外界对气体做功或热传递引起的，详见下表.

	原　　因	结　　果
等温过程	外界对气体传热等于气体对外做功	气体等温膨胀，压强变小，内能不变
	外界对气体做功等于气体对外传热	气体等温压缩，压强增大，内能不变
等容过程	外界对气体传热，气体体积不变，不做功	气体等容升温，内能增加
	气体对外界散热，气体体积不变，不做功	气体等容降温，压强变小，内能减少
等压过程	外界对气体传热大于气体对外做功	气体等压膨胀，温度升高，内能增加
	外界对气体做功小于气体对外传热	气体等压压缩，温度降低，内能减少

3．现象与本质

在复习气体实验定律时，还应该把它们与分子运动论联系起来，应该让学生对每一种宏观现象看清其微观本质，用分子运动论的微观本质去解释气体状态变化的宏观现象，详见下表.

	宏观现常	微观本质
玻马定律	气体压强增大，体积变小，温度保持不变	气体分子平均动能不变，由于体积变小，撞击容器壁次数增多
	气体压强变小，体积变大，温度保持不变	气体分子平均动能不变，由于体积变大，撞击容器壁次数减少
查理定律	气体体积不变，温度升高，压强变大	气体分子平均动能变大，撞击容器壁的速度变大，撞击次数增多
	气体体积不变，温度降低，压强变小	气体分子平均动能变小，撞击容器壁的速度变小，撞击次数变少
盖·吕萨克定律	气体压强不变，温度升高，体积变大	气体分子平均动能变大，撞击容器壁的速度变大，由于体积变大，撞击次数变少，使单位时间内气体分子作用在容器壁单位面积的冲量不变
	气体压强不变，温度降低，体积变小	气体分子平均动能变小，撞击容器壁的速度变小，由于体积变小，撞击次数变多，使单位时间内气体分子作用在容器壁单位面积的冲量不变

综上所述，气体性质的复习课要注意知识的横向和纵向的融汇贯通，使学生得到一幅总体知识结构图景（图 2—31）.

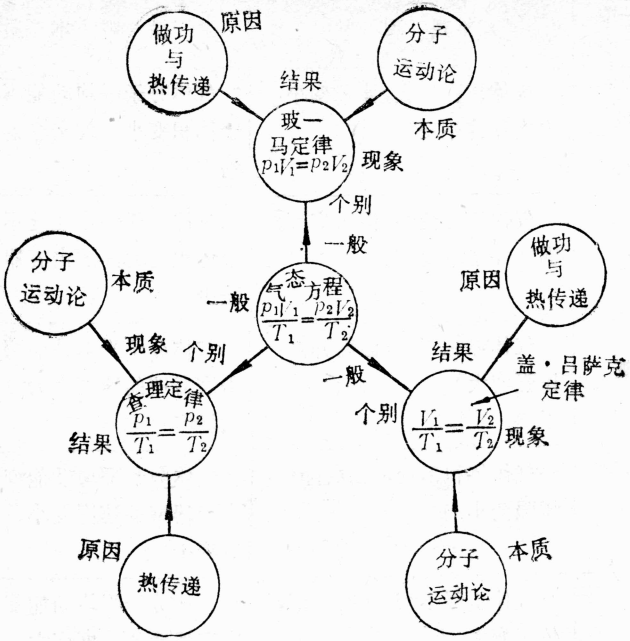


图 2—31

（姜水根）

二十一、 涉及统计物理的高中物理教学内容及其教法

——注意进行偶然与必然、部分与整体、无序与有序等辩证思维的教育

统计物理学是物理学的一个重要分支. 从它的内涵与作用来看，或许说是一种必不可少的重要的物理研究方法学更妥贴. 统计物理学建立了一系列的统计规律和统计方法，是物理学各分支，特别是热学研究的重要依据.

统计规律是对大量偶然事件起作用的规律，它表现了这些

事物整体的本质与必然的联系，反映了一些随机过程中大量个别的偶然事件的整体效果．统计规律具有两个重要特点：对于所研究的大数量的偶然事件呈现稳定性及局部范围内与最可几状态或统计平均值的偏差，即永远伴随有涨落现象．

统计方法既不是力学研究方法的延续，也不是力学方法的极端，更不是在力学规律对客观事物的精确研究无能为力的情况下所采用的一种近似方法．它适用的特征条件是所研究对象包含的基本粒子为数极多．统计方法在物理学许多分支以及化学乃至自然现象的研究中普遍存在且有着重要而独到的意义，故而在高中物理教材与教学中具有不容忽视的地位．

本文试分析现行高中物理教材中涉及统计物理的知识要点，并就统计思想初涉的教学略叙管见．

1．涉及统计物理的高中教材因素

现行高中物理教材中，对统计规律只有最初步的介绍与运用，涉及统计物理的教材内容并不多，主要分布在必修课本第一册第六～八章中．这些内容是气体分子速率分布问题，布朗运动的成因问题，给出分子平均动能、温度、气体的压强等物理量的含意．

教材在分析布朗运动成因时，用示意图描绘出一个悬浮微粒被液体分子包围、不断受到液体分子撞击的情景，然后写道："每个液体分子撞击时都给小颗粒一定的冲力．由于小颗粒体积很小，在某一瞬间和它相撞的分子数也比较少．如果从某一个方向撞击的分子数多于从其他方向撞击的分子数，小颗粒受到的冲力就不是平衡的，……这样，就引起了小颗粒的无规则的运动．"这是一个涨落现象的典型实例，布朗运动产生的条件是布朗颗粒足够小，以期引起小范围内由液体分子各向不均的碰撞造成的压力涨落．

教材在引出分子的动能这个概念时，作了两个层次的讲述．首先，教材指出，大量分子的运动是杂乱的，同一物体内各个分子向哪个方向运动的都有，速率也不同．“但是，从大量分子的总体来看，速率很大和速率很小的分子是少数，大多数分子具有中等大小的速率．”这样，课文很浅显地向学生介绍了分子速率分布规律．接着，又指出“在研究热学现象时，有意义的不是一个分子的动能，而是物体内所有分子的动能的平均值”，“温度是物体分子平均动能的标志”．这里既包含了最基本的统计观念，又讲述了宏观物理量温度的统计意义．

教材在讲述气体的压强时，又一次融入了上述思想方法与物理意义．课文谈到大量气体分子在对器壁不断碰撞施加压力的整体运动中“从单个气体分子来看，给器壁的冲力很小，作用时间也很短，但是，大量气体分子对器壁的频繁碰撞，就对器壁产生了一个持续的均匀的压力．……器壁单位面积上受到的压力，就是气体的压强．”把压强这个宏观物理量的微观意义深入浅出地告诉了学生．

我们看到，教材涉及统计物理的内容的确是少而浅，但却又都是最基本、最重要的启蒙知识．以教材为依据，搞好这部分启蒙教材的教学，无疑是关系到学生的进一步发展提高所不可缺少的一环．

2.统计思想之启蒙教学

根据学生的接受能力，要以有限的教材内容为蓝本，将最基础的统计思想传输给学生，笔者以为对统计思想的启蒙教学应该尽量做到形象化、具体化并联系中学物理的实例．

（1）形象化．这里指的是教学要尽量形象、生动，多动用实验手段，以引起学生的直觉与兴趣，将统计规律的最基本特点形象地映入脑海中．

比如，为了讲清气体分子速率总是遵循“两头少、中间多”的分布规律，可以自制伽尔顿板装置（如图2—32），先一颗颗地从入口处投入豆子，豆子在下落过程中先后与许多大头针发生碰撞，最后落入某一狭槽．每颗豆子落入哪个狭槽不尽相同，具有偶然性．如果逐个投入大量的豆子，各狭槽分布豆子的数目不相等，中央槽内分布最多，越远离中央的两侧槽内分布得越少．可以用一条连续的曲线在装置盖面上勾勒出豆子在狭槽中的分布情况．若重复实验，则可以看到，当豆子数目较多时，每次所得到的分布曲线基本重叠，这就可使学生形象地认识气体分子的速率分布也是有一定规律的．

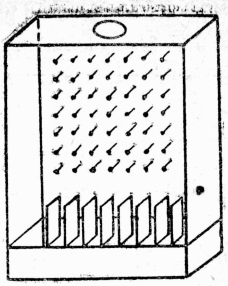


图2—32

比如，为了使学生理解气体压强的产生机理，就可以作如下演示：将托盘天平中的一个盘反扣在支架上，调平后，在正放的托盘里放入适量的砝码，将豆子从反扣托盘的上方连续释放，冲击托盘后落下，并使天平达到平衡．这就形象地模拟了大量气体分子对器壁的频繁碰撞可以产生持续稳定的压强．

（2）具体化．这里指的是教学中要多联系实际，多作具体类比，利用学生习惯的运算思维和熟悉的生活感受，接受统计思想．

比如讲气体总是充满整个容器而不会自行压缩，可以作一个具体数学运算．如图2—33所示，一个容器用隔板分成A、B两部分，其中B部为真空．假如A中原有4个气体分子a、b、c、d，将

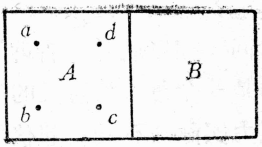


图2—33

隔板抽去后，分子可能的分布情形有16种（见表）.

A	abcd	abc	abd	acd	bcd	ab	ac	ad	bc	bd	cd	a	b	c	d	0
B	0	d	c	b	a	cd	bd	bc	ad	ac	ab	bcd	acd	abd	abc	abcd

气体自动“收缩”回容器A部的可能性只是$\frac{1}{16}$，这是对4个分子而言，假如A中原有1摩尔理想气体，则同样方法可算得这种自动压缩的可能性只是$1/2^{6.0\times10^{23}}$，比一部一百万字的巨著付梓，铅字信手拈来恰为原稿的机会还要少得多，少得多！所以实际上是不会发生的. 不过，在小范围内，例如在大量分子构成的实际气体中设想划出4个分子的气体的小区，那么这个区域就很可能出现密度不均匀的情况，而与宏观上气体状态平衡时密度均匀发生偏差，这就是涨落现象，和布朗运动的成因是同出一辙. 通过这样的类比，学生对统计规律的印象就比较具体了.

（3）联系中学物理的实例. 中学物理中有不少问题可以用统计规律加以描述与分析. 在适当时机，对学生因势利导，有助于统计思想的形成与巩固.

例如在学习力学部分时，曾解答过这样一个问题：在无风的天气里，雨滴在空气中竖直落下，由于受到空气阻力，最后达到一个恒定速度，求达此恒定速度时，雨滴受到的空气阻力是多大？这属于终极速度问题，学习了统计规律，我们可以对这个问题加以展开，告诉学生，雨滴达到终极速度时所受空气阻力是一个有统计意义的平均值. 实际上，足够小的雨滴所受的阻力实际是有变化起伏的，我们叫它微扰. 当这个阻力出现偏离平均值的涨落时，雨滴的平衡状态将被破坏.

在光电效应现象中，学生常常不能理解，为什么一个电子

不能接受两个、三个光子，积累起足够的能量而逸出金属表面，却一定存在着一种可以逸出光电子的极限频率？所谓积聚能量，就是指一个电子在获得一个光子后，将能量保存下来，直到再吸收一个光子．事实上当电子吸收一个光子后，它的能量便高于周围的电子和原子核而处于非热平衡态，从而会将其所得能量向四周粒子传递，这个过程一般不超过10^{-8}秒．而在这样短的时间内一个电子再吸收一个光子的可能性是多少呢？设入射光强度为每平方厘米100瓦，频率为6×10^{14}赫的光在10^{-8}秒时间内流过每平方厘米的光子数为$\frac{100\times10^{-8}}{6.63\times10^{-34}\times6\times10^{14}}=2.5\times10^{12}$个．金属原子间距离的数量级是$10^{-8}$厘米，每个原子提供一个电子的话，每平方厘米就有$10^{16}$个电子，以电子能吸收到一个原子大小范围内的光子计算，吸收到一个光子的可能机会是$\frac{2.5\times10^{12}}{10^{16}}=\frac{1}{4\times10^{3}}$，而连续吸收两个光子的可能性只有$\frac{1}{1.6\times10^{7}}$，所以一般是不会出现双光子吸收的．这样的解释，学生可以接受也比较信服．（沈　晨）

二十二、电场强度概念教学的备课断想

电场强度是高中电学中一个重要的物理概念．为什么要引出这个概念？怎样去定义这个概念？为什么要这样定义这个概念？怎样正确认识定义式中各个量之间的关系？等等．这些问题学生要理解得深刻，并非易事．可以利用这一概念的建立过程，对学生进行以下三个方法的教育．

1．理想化方法

电场有其自身的特性，与其他任何物质（实物或场）一

样，电场的各种特性总会以一定的方式表现出来的．电场对放入其内的电荷会有力的作用，就是电场特性的一种表现，这种特性称为电场力的性质．我们应当怎样描写这一特性呢？为了描写，首先必须探明．为此，我们必须获得一个试探电荷（也称试验电荷或检验电荷），并将它放入电场中去“试探”电场力的性质．那么，怎样一种电荷才能承担起这种“试探”的任务呢？

我们知道，当电荷放入电场中时，它多少会影响原来要研究的电场．例如图2—34中的金属球A上带有负电荷，当A球孤立时，其上的电荷的分布是均匀的，球外电场的分布也具有球对称性．但是，当我们在A球右边附近的B点处放上一个电荷q后，若q为正电荷，则由于电荷的相互作用，A球上的电荷要重新分布，结果是，球上电荷左疏右密；若q为负电荷，则由于电荷的相互作用，A球上的电荷将是左密右疏．所有这些，都会破坏电场分布的球对称性．这样，由电荷q试探到的电场已经不再是原来的电场了．为此，我们要求试探电荷应当具有这样的特点，即它放入电场后不会对原来的电场造成影响．其次，我们希望试探电荷能探明电场中每一个“点”的性质，因此，我们要求试探电荷应是没有线度和形状的点电荷．任何实际的电荷都不可能没有体积和形状，也不可能在放入电场后不对原来的电场造成影响．可见，试探电荷是一个理想化了的电荷．实际电荷在线度很小、带电量很小时，可以近似看作试探电荷．



图2—34

试探电荷是一个理想化了的电荷，而不是实际电荷，不能拿它去进行实际的实验．而且，即使我们取得一个线度和电量

极小的电荷来代替试探电荷，并把它放到实际的电场中去，要测出它的电量和受到的电场力，也不是一件容易的事．为了避开这些困难，我们采用思想实验的方法，即我们将试探电荷放入电场中所进行的一切“操作”，只是在头脑里凭想象进行．

2．比值方法

电场的力的性质需要用一个物理量去描写，如果原有的物理量无法起到这种描写作用，那么，新的物理量的引出也就势在必行了．

因为我们要用一个物理量去描写电场的力的性质，因此，对这个物理量应当提出以下的要求：①给定一个电荷，利用这个量（及其他条件）可以确定电荷所受电场力的大小和方向．这个量的大小和方向不同，同一电荷受到的电场力大小和方向也不同；②在电场中同一点，这个量是一定的，与是否放入电荷及放入什么电荷无关．在电场中不同的点，这个量的大小和方向一般并不相同．

电场力这个物理量显然是无法满足上述要求的，因为在电场中同一点，不同的电荷受到的电场力一般并不相同．但是，当我们将不同的试探电荷放入电场中时，我们发现，在电场中同一点，虽然引入的电荷电量不同，电荷受到的电场力也不同，但电场力F和电量q的比值F/q却是一个恒量；而在电场中不同的点，同一电荷受到的电场力一般也不同，于是比值F/q一般也不同．由此可见，比值F/q能反映出电场的力的性质，它在数值上等于单位试探电荷受到的电场力．比值F/q越大，表明该处电场越强．至此，新的物理量——电场强度的引出也就水到渠成了．比值F/q实际上为我们定义了一个新的物理量——电场强度，即$E=F/q$．电场强度就是一个能很好地描写电场的力的性质的物理量．

3. 类比方法

在$E=F/q$中，E可用F、q去量度，但与F、q的大小却无关. 这正如人的体温可用体温计去量度，但体温的高低与体温计无关一样. 我们不能认为在$E=F/q$中，E与F成正比，与q成反比. 描写物质（体）某种特性的其他物理量，如密度$\left(\rho=\frac{m}{V}\right)$、电阻$\left(R=\frac{U}{I}\right)$、比热$\left(c=\frac{Q}{m\Delta t}\right)$、重力加速度$\left(g=\frac{G}{m}\right)$等，它们的定义式也都具有类似的性质. 物理与纯数学之间的这种表观矛盾，在生活中我们也可以找到许多类似的例证. 例如，我们想了解文具商店里某种铅笔的单价，可以试着去买若干支同样的铅笔，然后用所付的总金额除以铅笔的总支数便可，即

$$\text{铅笔的单价}=\frac{\text{总金额}}{\text{总支数}}$$

买铅笔付钱只是我们为了解铅笔单价所采用的一种手段. 单价是由铅笔的品种决定的（不同品种的铅笔单价往往不同），与我们所买铅笔的支数及所付的总金额无关，即使我们不去买，铅笔的单价仍然存在. 我们当然不会说，铅笔的单价与所付总金额成正比，与铅笔支数成反比. （郑青岳）

二十三、“平行板电容器的电容”的教学

——归纳演绎、分析综合的交替作用

1. 教学要求

讲授平行板电容器的电容跟哪些因素有关时，一般都是利用课本中的演示实验装置，引导学生研究在电容器带的电量不

变条件下的各种情况.

(1) 反复改变两板的距离，使学生直观地看到，当距离增大时，电势差增大，这表明电容减小；当距离减小时，电势差减小，这表明电容增大. 继而减少或增加电容器带的电量，同样，使减少或增加后的电量保持不变，重做实验（反复改变两板的距离时观察电势差变化情况），所得结果是相同的，从而归纳出平行板电容器的电容跟两板的距离有关. 实验现象还粗略地表明了平行板电容器的电容跟两板的距离成反比.

(2) 保持距离不变，多次改变两平行板的正对面积，让学生注意观察正对面积增大时，电势差减小，这表明电容增大；正对面积减小时电势差增大，这表明电容减小. 用不同电量重做实验，所得结果是一样的. 由此归纳出平行板电容器的电容跟正对面积有关，实验现象也大致反映了平行板电容器的电容跟正对面积成正比.

(3) 在两极板距离和正对面积都保持不变的情况下，分别插入不同的电介质，学生可清楚地看到电势差的降低，有的降低得多，有的降低得少，但都表明了插入电介质后会使电容增大起来. 可见，平行板电容器的电容还跟两板间的电介质有关.

把由实验归纳出的三个结论综合起来，就得出了平行板电容器的电容决定于三个因素：①两板的距离 d；②两板的正对面积 S；③板间的电介质.

2. 教学方法

为使学生进一步了解平行板电容器的电容为什么跟上述三个因素有关以及电容的大小跟这三个因素究竟存在什么关系，在教学中应该紧密联系已学知识，交替运用归纳与演绎、分析与综合等基本方法. 在引导学生注意观察实验现象的同时，可启发学生结合旧课知识进行一些分析讨论.

(1) 平行板电容器两板带的是等量异号电荷，在忽略边缘效应的理想化情形下，板间的匀强电场电力线是怎样分布的？要求学生作出如图 2—35所示的电力线图像，并强调指出电力线是从正电荷出发，终止在负电荷上，匀强电场的电力线是彼此平行、间隔相等的直线(电力线密度处处相同). 电容器带的电量不变而改变两板的距离时，电力线密度变不变？场强变不变？两板的电势差变不变？根据已学知识，学生不难逐步推出，因电量不变，所以电力线密度不变，即场强不变，两板的电势差$U=Ed$将随着距离d的变化而变化，即电势差跟距离d成正比. 实验是在电量不变的条件下进行的，电势差增大，表明电容减小. 若距离增加为原来的 2 倍，则电势差增为原来的 2 倍，这表明电容只有原来的$\frac{1}{2}$了. 若距离减小为原来的$\frac{1}{n}$，则电势差降为原来的$\frac{1}{n}$，这表明电容增大到原来的n倍. 可见平行板电容器的电容跟两板的距离d成反比.

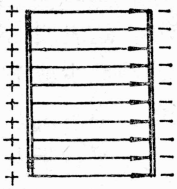


图 2—35

(2) 电量不变，距离不变，正对面积改变时，电力线密度很明显地会改变. 由图 2—36容易看出若正对面积减小为原来的$\frac{1}{2}$时，电力线密度就会增加到原来的 2 倍，即场强变为原来的 2 倍，电势差相应地增大到原来的 2 倍，这表明电容减小为原来的$\frac{1}{2}$. 若正对面积增

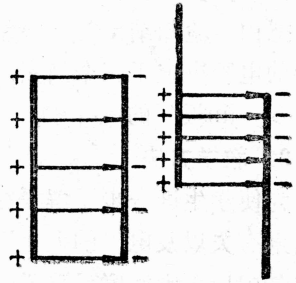


图 2—36

大到原来的 n 倍，则电力线密度或场强减小为原来的 $\frac{1}{n}$，电势差相应地减到原来的 $\frac{1}{n}$，这表明电容增大到原来的 n 倍．所以，平行板电容器的电容跟两板的正对面积成正比．

（3）当两板间充满电介质时，为什么会使电容器的电容增大呢？由于课本中不讲电介质的极化问题，这里只能根据实验现象作一些粗略的说明：电容器内放进电介质后，两板电势差降低表明板间场强减小，场强减小到几倍，电势差也减小到几倍，这表明电容增大到几倍．不同电介质使场强减小的倍数一般各不相同．设两板间充满某种电介质时，场强减小到等于原来的 $\frac{1}{\varepsilon}$，则电容就会增大到原来的 ε 倍．ε 叫做该电介质的介电常数．实验表明平行板电容器的电容跟板间的电介质的介电常数成正比．

在分析清楚三个有关因素的基础上再进行综合，从而得出：$C \propto \frac{\varepsilon S}{d}$．这可使学生对平行板电容器的电容问题获得较为深刻的印象．而且，在教学过程中，由于归纳与演绎、分析与综合的交替运用和相互渗透，才能揭示实验现象的物理图景；显然，这对学生进行科学方法教育具有潜移默化的作用．

3．解题举例

最后，再通过有关例题的分析讨论来加深和巩固本节所学的基础知识．

例 1　设有两块平行放置的金属板 A 和 B 彼此相距 $d=6$ 毫米．当两板带上 3×10^{-8} 库仑的等量异号电荷后，板间匀强电场的场强 $E=1000$ 伏/米．由 AB 两板组成的平行板电容器的电容有多大？

现将一个厚度为2毫米、面积与两板正对面积相等的铜片如图2—37所示平行放置在两板中间，问该电容器的电容将变大、变小或不变？

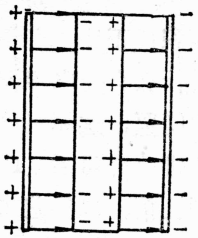


图2—37

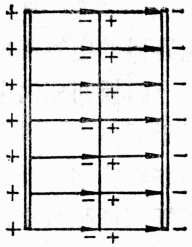


图2—38

要求学生联系静电感应和电容等已学知识进行分析：

未放铜片时，两板间的电势差$U=Ed=1000\times6\times10^{-3}$伏$=6$伏．由电容定义式，算出电容器的电容

$$C=\frac{q}{U}=\frac{3\times10^{-8}}{6}=0.5\times10^{-8}\text{法}=5\,000\text{皮法}$$

放进铜片后，因静电感应作用使铜片左右两面出现等量异号电荷，其电量也等于3×10^{-8}库．整体铜片为一等势体，内部场强为零．由图2—37容易看出，它等效于A、B两板的距离从6毫米缩短为（6－2）毫米＝4毫米，仅是原来的$\frac{2}{3}$了．因此不难推得该电容器的电容将增大到原来的$\frac{3}{2}$倍，即$\frac{3}{2}\times5000$皮法＝7 500皮法．

还可引导学生进行演绎推理：若铜片很薄，厚度跟6毫米比较，小得可忽略不计（图2—38）时，则放进薄铜片并不影响其电容，在此情形下，平行板电容器的电容仍保持不变．

本题运用了等效思维方法．以后学习电容器串联时，还可应用电容的串联公式对本题的答案给予证明．

例 2　如图 2—39所示，两块面积很大的金属平行板，A板固定在竖直方向，且经过一只灵敏电流计与电源正极相连接，电源负极连在B板上．B板可以上下或左右移动．在图示的位置，两板距离为d，正对面积为S，电容为C．保持距离d不变，使B板沿竖直方向匀速下移，在时间$4t$内，正对面积从S增到$2S$．设电源两极电势差U为恒定，求B板在下移过程中电流计的读数是多少？

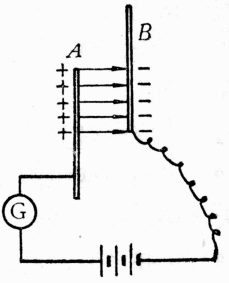


图 2—39

要求学生作如下的分析与推理：正对面积从S增大到$2S$时，电容相应地从C增大到$2C$．在时间Δt内，A、B两板带的正负电荷从$q_1=CU$增大到$q_2=2CU$，所增加的电量$\Delta q=q_2-q_1=2CU-CU=CU$，是电源对电容器充电过程中积累起来的．在时间$\Delta t$内通过电流计的电量等于$\Delta q$，所以通过电流计的电流强度 $I=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}=\dfrac{CU}{\Delta t}$.

还可引导学生继续进行分析和计算：

保持正对面积$2S$不变，让B板朝左匀速移动，在时间$\Delta t'$内，假定两板间的距离减小到等于原来的$\dfrac{1}{n}$，那么当B板向左移动的过程中，电流计的读数又是多少？

学生应能回答：在B板朝左匀速移动的过程中，A、B两板带的正、负电荷随着电容的增大而增加，在时间$\Delta t'$内有$\Delta q'=q_2-q_1=n2CU-2CU=(n-1)2CU$的电量经过电流计“充”到两个极板上去，所以在该段时间内通过电流计的电流强度

$$I'=\frac{\Delta q'}{\Delta t'}=\frac{2(n-1)CU}{\Delta t'}$$

电流强度学生在初中已学过，此处既有复习初中知识的作用，又是为下一章“稳恒电流”的学习作准备.

例 3　如图 2—40所示，竖直放置的平行板电容器，两板距离为 d，板间为空气时，电容为 C. 将一个质量为 m、电量为 q 的带正电小球，用绝缘细线悬挂在正极板上，静止时悬线跟正板成 θ 角. 问：

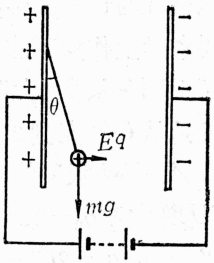


图 2—40

(1) 电容器带多少电量?

(2) 当缩短两板距离时，θ 角将变大、变小或不变?

(3) 断开电源，给两板间充满介电常数为 ε 的液体，如不考虑液体的浮力，稳定后 θ 角将变大、变小或不变? 然后再将电源接上，θ 角又如何变化?

要求学生应用已学知识进行分析与推理：

(1) 由图 2—40 可看出电场力 $qE=mg\mathrm{tg}\theta$，场强 $E=\frac{mg\mathrm{tg}\theta}{q}$，两板的电势差 $U=Ed=\frac{mg\mathrm{tg}\theta}{q}d$，所以电容器带的电量 $Q=CU=C\frac{mg\mathrm{tg}\theta}{q}d$.

(2) 当缩短两板距离时，因电容增大，而电势差不变，所以电容器带的电量增大，两板间的场强增大，小球所受的电场力增大，故 θ 角变大.

(3) 断开电源后，电容器带的电量不可能再增加或减小，如在两板间充满介电常数为 ε 的液体，则场强和电势差都减小

到仅是原来的$\frac{1}{\varepsilon}$，若不考虑浮力，则此时θ角必减小．之后若再将同一电源接上，由于电容器的电容已增加到原来的ε倍，所以电源又会对它进行充电，直到两板的电势差和板间的场强恢复到原来的值，待小球静止时，θ角应等于原来的大小．

为了简化问题，此时暂不考虑浮力，到高三总复习时，再结合浮力作定量分析．

分析上面三个例子，着重使学生更深刻地理解平行板电容器的电容跟两板距离成反比，跟板的正对面积成正比，跟板间的电介质的介电常数成正比．从科学方法教育的角度看，是有助于培养学生分析与综合的能力的．

（陈立明）

二十四、“稳恒电流”教学中的几个片断

1.电流强度

在给出电流强度的定义$I=\frac{q}{t}$后，作如下讨论：

（1）电流可能是正电荷的定向移动，也可能是负电荷的定向移动．例如图2—41中A导体带有10^{-6}库正电，B导体带有10^{-6}库负电，当用导体C把它们连接起来时，若在C导体中有10^{-6}库正电从A导体向右定向移动到B导体，则导体A将不带电，导体B因正负电荷中和也不再带电．如果换一种情况，在C导体中有10^{-6}库负电从B导体向左定向运动到A导体，则其结果也是A、

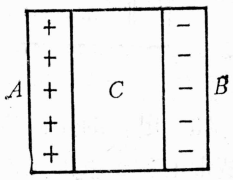


图2—41

B导体均不带电，可见正电荷向右定向运动和负电荷向左定向运动是等效的，习惯上我们规定正电荷定向运动方向为电流方向，那么负电荷定向运动方向就和电流方向相反（金属导体中自由电子的定向运动就是如此）．若上述过程均在10^{-5}秒内完成，则平均电流强度都是0.1安，方向向右．

(2) 图中若导体C中在10^{-5}秒内既有0.5×10^{-6}库正电由A向右定向运动到B，又有0.5×10^{-6}库负电由B向左定向运动到A，结果A、B导体也均不带电，这时正电荷定向运动形成的电流强度为0.05安，方向向右；负电荷定向运动形成的电流强度也是0.05安，方向也向右，因而总电流强度仍为0.1安，方向向右（电解液中的电流就是正负离子同时反向定向运动形成的）．

练习：如图2—42电解槽中，每秒钟有1库正电向右通过中截面，同时有1库负电向左通过中截面，则电解液中电流强度多大？每秒钟到达阳极的负离子所带总电量是多少？

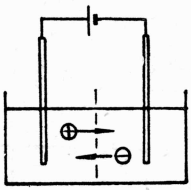


图2—42

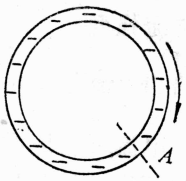


图2—43

(3) 电荷的定向移动形成了电流，带电体整体的定向运动或是带电粒子束的定向流动也等效于电流．如图2—43，橡胶圆环均匀带有10^{-6}库负电，圆环以600转/分的转速绕圆心作顺时针转动，此时可等效看成一个逆时针方向的圆环电流，取截面A（相对地面固定）每秒钟就有$10^{-6}\times10$库$=10^{-5}$库电荷通过截面A，所以电流强度为10^{-5}安．

练习：①一电子顺时针方向作匀速圆周运动，周期为10^{-8}秒，求等效电流强度大小及方向；②电子二极管电路中电流强度为5毫安，求每秒钟阴极中发出多少电子？

（4）按电流变化情况可以把电流分成直流电和交流电，而直流电又不同于稳恒电流，如图2—44中a为稳恒电流，而c不是稳恒电流，但仍属于直流电，为与稳恒电流加以区别，常称之为脉动直流，脉动直流可等效地看成稳恒电流和交流电叠加而成的，如图中a和b电流叠加就成c电流了.

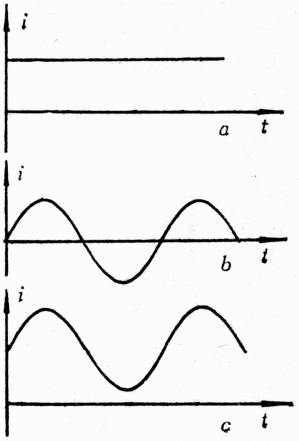


图2—44

说明：

本节教材中内容都是初中学过的，因而补充上述讨论，体现了等效方法的具体应用.

2.闭合电路欧姆定律

在给出$I=\dfrac{\varepsilon}{R+r}$和$U=\varepsilon-Ir$后作如下讨论：

电源内部由于有某种力把正电荷从电源负极移送到电源正极，使电源正极电势比负极升高ε伏，起了电势升的作用；另一方面在电流从负极向正极流过内电路时，内电路有电阻r，所以电势又降落了Ir伏，因而路端电压U为$\varepsilon-Ir$.

由此可见，电源同时起了两个作用. 为讨论方便，可把电源画成如图2—45等效电路，ε就是端电压不变的电池，r为一个纯电阻，当然它们都在电源内部，因此整个虚线框就是一个电源. 应用等效电路讨论如下：

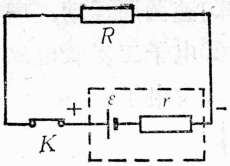


图 2 —45

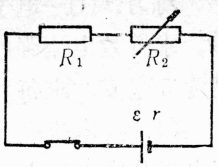


图 2 —46

(1) 当R增大时，路端电压如何变化？

可把电路看成R和r串联在恒压电源ε上，显见R增大时，R上分到的电压（即路端电压）也增大.

(2) 当R_2增大时，图 2 —46电路中R_1、R_2两端的电压U_1、U_2如何变化？

可把电路看成R_1、R_2、r串联在恒压电源ε上，串联分压，当R_2增大时，显然U_2也增大，R_1和r分到的总电压减少，R_1和r比值不变，所以它们分到的电压都减小，U_1减小.

当然也可把R_1“塞”进电源内部，则U_2即为“路端电压”. 当R_2增大时，利用讨论 1 中的结论，即可得U_2增大.

(3) 如图 2 —47电路中滑动变阻器滑臂向下滑动时两灯亮度如何变化？

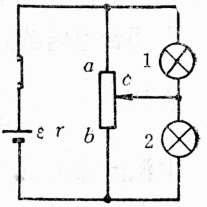


图 2 —47

设滑动变阻器ac段电阻为R_1，bc段电阻为R_2，R_1与灯1并联电阻为R_1'、R_2与灯 2 并联电阻为R_2'，则电路即可看作R_1'、R_2'、r串联分压，滑臂向下滑时R_1'增大、R_2'减小，所以容易判断灯 1 变亮、灯 2 变暗.

说明：

此教学片断的教学中，一般应先按常规方法讨论，然后介绍这种等效方法，使学生从对比中领悟运用等效方法能简化解题思路. 但因属新课讲授，不宜讨论过于复杂的问题，只是让学生在电学学习中又一次了解和初步掌握等效方法.

3.串联电路

在给出串联电阻分压后边讲边练如下例题：

例题 $R_1=1$欧和$R_2=999$欧两电阻串联在3伏的电源上，求各电阻两端的电压（结果是$U_1=0.003$伏，$U_2=2.997$伏）.

在得出具体计算结果后，提出：测量U_2应用量程多大的伏特表？（答：3伏）最小分格是多少？（答：0.1伏）能估计到多少？（答：0.01伏）U_2的测量值为多少？（答：3.00伏）可见两电阻阻值比足够大时，串联后接入电路电压几乎全部降落在大电阻上，小电阻上的电压一般情况下可看作零.

再课堂练习两题：

(1) 图2—48电路中电容器两端电压多大？

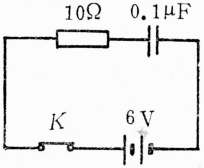


图2—48

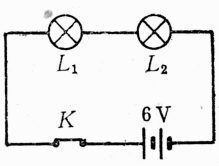


图2—49

(2) 图2—49中若灯2的灯丝断了，则两灯两端的电压分别为多少？

接着再讨论原例题若要测量U_1可用量程为5毫伏的毫伏表，其读数应为3.00毫伏左右.可见U_1虽然相对U_2来说是很小，但毕竟还有电压，所以连接导线与电阻串联时，我们虽然认为导线两端电压为零，但实际上只能说几乎为零. 正是这个很小的电压，才使导线中有电流.

说明：

这一环节也可以说是渗透了等效方法和理想化方法的教学，也体现了物理学是一门实验科学. 所述问题虽然看似简单，但初学者往往很易出差错，在新课教学中不可忽视.

4. 伏安法测金属丝电阻率实验

在这一实验中有很多理想化方法的教学因素，现列举如下：

(1) 测导线长度用毫米刻度尺，而测导线直径应该用千分尺.

分析：导线长约500毫米，毫米刻度尺可精确到毫米，误差在1毫米以下，相对导线长度来说已相当小了（0.2%以下）. 而导线直径约0.2～0.3毫米，用毫米刻度尺测量，误差与直径大小差不多，采用千分尺后可精确到0.01毫米，误差在0.01毫米以下，比直径小得多了. 其实相对来说，测量结果的精度还是长度较高. 这能使学生巩固可否忽略某因素，需将该因素和其他因素作相对比较的思想方法. 而相对比较是理想化方法的基础.

(2) 测导线直径要在导线上三个不同位置各测一次.

分析：导线形状不是理想的圆柱体，不仅各处的直径不同，同一地方各个方向的直径也不同，只是这个差异与导线的直径相比足够小，所以可把它看作圆柱体，在计算它的电阻率时作为理想圆柱体，而在实际测量时则应看到它和理想圆柱体的差异.

(3) 测定金属丝电阻时采用安培表外接电路.

分析：该电路中伏特表读数是 R_x 两端的电压，安培表读数是总电流而不是流过 R_x 的电流，因而引起系统误差. 误差大小决定于 R_x 与伏特表内阻 R_V 的比值 $\frac{R_x}{R_V}$.

若采用安培表内接电路，安培表读数就是流过 R_x 的电流，而伏特表读数却是总电压而不是 R_x 两端的电压，其系统误差大小决定于安培表内阻 R_A 与 R_x 的比值 $\frac{R_A}{R_x}$.

采用哪一种电路较好得看这两个比值的大小.本实验中 R_V 约10千欧，R_A 约0.1欧，R_x 约5欧，所以 $\frac{R_x}{R_V}=\frac{5}{10000}=\frac{1}{2000}$，而 $\frac{R_A}{R_x}=\frac{0.1}{5}=\frac{1}{50}$，显然前者系统误差较小．这也是相对比较的方法．

（张培荣）

二十五、明确“电动势”概念的逻辑方法

根据逻辑学，概念明确应有以下三个方面的要求：①明确概念的内涵，即把握概念所反映事物的本质；②明确概念的外延，即把握概念所反映事物的范围；③明确概念和邻近（可比较）概念的关系．对于电动势这样的物理概念，如果达到上述要求，当然也是概念明确了．在教学的过程中，我们总是采取一些方法，使学生逐步明确电动势这个概念．从逻辑学的角度看，是采取以下逻辑方法来明确电动势这个概念的．

1．用抽象的方法引出电动势的概念

引出电动势概念一般是通过抽象电源的本质而达到的．从讨论电源在电路上的作用入手，采用一个抽象的电源模型（如图2—50）来分析．电源为了保持外电路两端的电势差，要克服静电力把正电荷（也可是负电荷）从电源负极通过内电路移送到电源的正极（如果是负电荷则是从正极移送到负极）．这个移送电荷的力不可能是静电力，而且是每个电

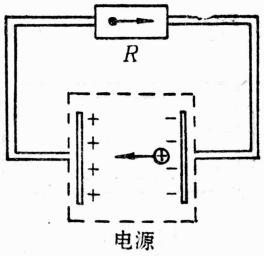


图2—50

源都必须具有的，我们叫它非静电力．这样，第一步是抽象出电源存在一个非静电力的本质．而这非静电力，在移送电荷过程中，必定对电荷做功，于是伴随着一定能量的转换．即其他形式的能转换成电势能，这样，进一步抽象出电源作为能量转换装置的本质．完成这一步抽象，描写电源这种转化本领大小的物理量——电动势，便呼之即出了．

2．用定义的方法确定电动势的内涵

为了揭示电动势的内涵，要给电动势下一个定义．它的定义是非静电力把正电荷从负极移送到正极所做的功跟被转送电量的比值，并辅以数学表达式 $\varepsilon=\frac{W}{q}$，这个定义中明确了电动势的非静电力做功的本质属性，并对电动势的属性加上对“单位电荷做功”的限制，使它的内涵确定下来．

3．用类比的方法帮助理解电动势内涵的物理意义

由于学生无法直接观察到电源内部非静电力做功的过程，这样就有碍于这个过程的物理图像的建立，不能确切理解电动势内涵的物理意义．为了解决这个问题，可以设想一个与一个闭合电路（图2—51）的能量转换有类似之处的物理过程．如图2—52所示：把人对小球做功过程与非静电力做功的过程作

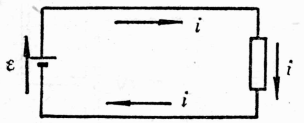


图2—51

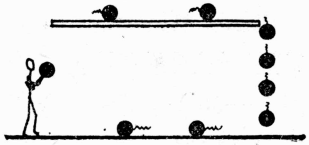


图2—52

类比，小球相当于电荷，人施于小球的力相当于非静电力，重力相当于静电力．人对小球作功，使小球重力势能增加，相当于非静电力对电荷做功，使电荷的电势能增加．由于人做功的

过程具体形象，经过这样的类比之后，可以使学生建立一个关于电动势的物理图像，于是对它的内涵就能更好地把握.

4．用划分的方法明确电动势概念的外延

在理解电动势内涵以后，为了明确它的外延，可采用划分的方法．根据非静电力的不同来源来划分，有来自化学作用的非静电力（干电池、蓄电池），有来自电磁作用的非静电力（发电机），有光作用的非静电力（光电池）等．根据电动势对电路的能量贡献来划分，有对电路贡献电能的正电动势和对电路吸收电能的反电动势．通过这样的划分，学生可以把握电动势反映的事物的范围.

5．用比较的方法揭示和邻近概念的关系

电动势和电势差两概念关系密切，而且容易混淆．为了区别这两个概念，可以把它们从两个方面作比较：一是比较和两个概念相联系的力．电动势是和非静电力相依存的，有非静电力才可能有电动势；电势差是和静电力相依存的，有静电力，才可能有电势差．二是从能的角度作比较．电动势是用来量度其他形式能转化为电能的本领大小的量；而电势差是用来量度电能转化为其他形式能的本领大小的量．从以上两点比较，使学生明确电动势和电势差是两个不相容的概念，不能混用.

如果以上五个方法运用得当，是可以达到概念明确的三个方面的要求的.

（徐承楠）

二十六、“电动势”教案

1．教学目的

使学生确认电动势是表征电源特性的物理量；知道电动势的大小等于外电路断开时电源两极间的电压，也等于外电路接

通时内外电压之和；初步从能量转化的角度理解电动势的物理意义，同时渗透有关比较、类比、实验方法等方法教育.

2. 教具准备

不同型号的干电池若干；手摇发电机一台；太阳能电池一只；可调高内阻蓄电池一只；示教电压表（0～2.5V）两只；滑线变阻器（0～50Ω）一只；电容器（440μF/25V）一只；2.5V小电珠两只；电键、导线等.

3. 教学过程

(1) 电源的特性

提问：

①在导体中产生电流的条件是什么？②将小电珠接在充过电的电容器两端，会有电流产生吗？为什么小电珠只闪亮一下就熄灭了？③使导体中形成持续电流的条件是什么？持续的电压可由什么装置来提供？

通过以上复习提问，明确电源的特性：在电源两极间保持一定的电压.（板书）

演示：

①小电珠跨接在蓄电池两端而发光；②转动手摇发电机，使小电珠发光；③用100W白炽灯光照射太阳能电池，带动玩具电动机运转.

引导学生分析上述电源中的能量转化关系. 蓄电池：化学能→电能；发电机：机械能→电能；光电池：光能→电能. 从而指出，从能量转化观点来看，电源实际上就是一个“能量转换器”，由此揭示电源的特性：把其他形式的能转化为电能.（板书）

(2) 电源的电动势

提出问题：

电源具有保持电压和转化能量的特性，那么如何来描述电源的特性呢？

联想类比：

前面学过，电场具有力和能的特性，那时是用什么方法描述电场特性的？

教师指出，E和U都是物理量，用物理量去描述客观事物的特性，是研究物理的主要方法．例如，对于电场中某一确定点来说，它的场强与电势均是相应的定值．按照类似的思路，我们是否也可以找到这样一个只由电源本身性质所决定的物理量，从而利用它来描述电源的特性呢？

观察思考：

要求学生仔细观察干电池上的字样，并问：关于它们的特性，你能得出些什么线索来吗？让学生报告观察结果．又问：在这些结果中，你认为最能反映电池特性的是什么？肯定学生的回答，因为各种干电池尽管型号不同，但都标有“1.5V”字样，共同性往往体现了规律性．接着再问：你能说明这“1.5V”表示什么含义吗？

学生回答后，用示教电压表测量各种不同型号的干电池两极间的电压值，果然都是1.5V．可见：同种电源两极间的电压相同．再分别测量蓄电池、手摇发电机和太阳能电源的两极间电压，结果表明：不同电源两极间的电压不相同．

引出概念：

由此看来，电源在两极能保持多大的电压，是完全由电源本身的性质（材料结构、工作方式等）决定的．对于确定的电源来说，它两端的电压是个定值；对于不同的电源来说，它们两端的电压也分别有相应的定值．

既然电源两极间的电压与它的特性有着如此密切的关系，

可否就通过这个电压来反映电源的特性呢？回答应是肯定的．据此，我们引出一个新的物理量——电动势，它的数值就等于电源未接入电路时两极间的电压．（板书）

说明电动势常用符号ε表示，它的单位是伏．

（3）电动势与内、外电压的关系

质疑：

将电源接入电路后再测两极间的电压，结果会如何呢？

演示：

如图2—53，闭合K，可见电压表示数减少；若在小电珠L两端再并接一只小电珠，则电压表示数又会进一步减少，这说明，随着电源外部电路的改变，其两极间的电压也随之变化．

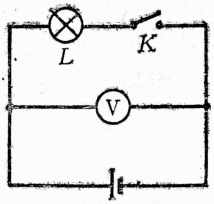


图2—53

对此现象，学生普遍感到意外，并急于了解其中原因．针对学生心态，可设问：你认为电源的电动势是变量还是恒量？

猜想：

①先让学生围绕“减少的电压哪儿去了？”展开讨论，并鼓励他们进行合理的猜想．会有学生提出，减少的这部分电压可能分布在电源的内部．因为他们感到，电源内部也许会有电阻存在，当电流通过时，将会受到阻碍作用，从而在电源内部产生一定的电压．这种猜想是否合理？关键在于确认电源内部有电阻，对此，可通过演示来检验：将小电珠跨接在可调内阻蓄电池的两极，提高或降低可动挡板的位置（从而改变了电池内部溶液的截面积），可见电珠发光亮度随之变化，这就间接地说明了电源内部确实存在着电阻的作用．

②再启发学生进一步猜想：电流通过闭合电路时，在内、

外电路都会有电压，那么，外电压U、内电压U'与电动势ε这三者之间又有怎样的关系呢？学生会根据闭合电路中内、外电路的串联关系，凭直觉就得出$\varepsilon=U+U'$的猜测．对此，教师既要肯定学生猜想的合理性，更需指出，这一猜想的依据是过去所学的串联电路分压规律，它是否能适用于今天这种包括电源在内的闭合电路，还有待于实验的检验．

验证：

①介绍装置．实验电路如图2—54所示．重点说明内电压的测量，尤其是探针a、b的作用以及电压表V′的连接等．（关于V′表的极性，学生常常接反，如发现这种错误，可先不予更正，当实验中V′表的指针反偏时，再作强调，以加深印象．）

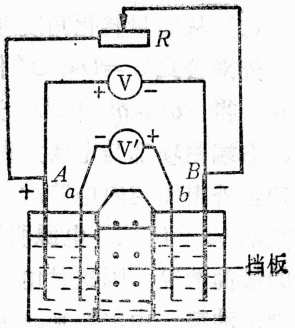


图2—54

②说明方法．移动滑线变阻器的滑动触头，或者改变蓄电池挡板的位置，都可看到V和V′表的示数随之而变．这说明，无论改变外电阻R或内电阻r，都会引起电路中内、外电压的变化．对于这种含有多个变量的问题，我们可采用“控制变量”的方法，即在R与r中，先保持其中一个量不变，而只改变另一个量的大小，以便于实验．

③记录数据．将蓄电池的挡板固定在某一合适位置（即保持r不变），逐渐移动变阻器触头（改变R），由学生读出并画表格记录每次电压表V和V′的示数．

④分析结果．引导学生分析表列的实验数据，寻求其中规律．

结论：

通过上面的实验，证实了我们的猜想，正是由于内电压 U' 的存在，才使得电源两极间的电压 U 小于电动势 ε，电动势是一个不受电源外部条件影响的恒量，用它可描述电源的特征.

我们根据实验结果，还可得出电动势的另一层含义，即：电动势的数值等于电路接通时内、外电压之和.（板书）

(4) 从能量转化角度理解电动势的物理意义

先对公式 $\varepsilon = U + U'$ 作些数学变换，将其两边同乘以电量 q，得：$q\varepsilon = qU + qU'$.这个式子有什么新的物理含义呢？显然，右端两项都是电场力做功的形式，它们的数值等于 q 库电量通过外电路与内电路时所消耗的总电能，根据能量守恒，式子左端 $q\varepsilon$ 就应该是电源所提供的电能了. 如果我们考虑 $q=1$ 库的最简情况，则这时电源提供的电能就为 ε 焦，其数值正好等于电动势. 由此看来，电动势的大小，也可以反映出电源把其他形式的能转化为电能的本领.

板书：电动势的数值等于电路中通过 1 库电量时电源提供的电能.

(5) 小结

这节课讨论了电源具有保持电压和转化能量的特性，而电动势是用来表征电源特性的重要物理量. 我们通过特殊、一般和本质这样三个不同的层次，剖析了电动势的物理意义，即：

电动势 ε 等于
1. 电源不接入电路时两极间的电压（特殊）
2. 电源接入电路时内外电压之和（一般）
3. 电路中通过 1 库仑电量时电源提供的电能（本质）

(6) 作业（补充）

①一节干电池的电动势 $\varepsilon = 1.5\text{V}$，你能说明它表示什么

物理意义吗？

②如图 2—55电路，当K断开时，V表读数是6V．若K接通后，V表读数变为5V，则电源电动势、外电压和内电压各多少？若K接通后，电路中的电流$I=0.5$A，则在1分钟内，电源提供了多少电能？

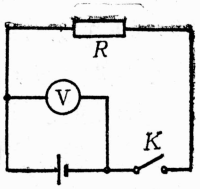


图 2—55

（吴加澍）

二十七、课例：产生感应电流的条件

——通过改变物理过程的条件探究物理现象间的联系

1.课题分析及教学设计

中学物理教材中，把产生感应电流条件的普遍陈述方式归结为“穿过闭合导体的磁通量发生变化”．本课教学的目的，是向学生展示，在实验研究中如何通过改变实验条件，通过层层深入的比较和分析，找到物理现象之间的本质联系．教学程序大致如下（通过演示实验）：

（1）说明当闭合导体的一部分切割磁力线时，导体中能产生感生电流；

（2）说明只有当闭合导体的一部分切割磁力线而造成穿过闭合导体的磁通量变化时，导体中才能产生感应电流；

（3）说明即使闭合导体与磁场没有相对运动，而由于另外原因造成穿过闭合导体的磁通量变化时，闭合导体中也能产生感应电流；

（4）归纳出产生感应电流条件的普遍陈述方式：当穿过闭合导体的磁通量变化时导体中就产生感应电流．

为了增强实验效果，教学中用到了几件自制的教学仪器：①带直流放大器的灵敏电流计；②能在较大范围内产生匀强磁

场的永久磁铁（磁场范围 $20\times30cm^2$），配有导电支架（图 2—56）；③几只不同形状的线框．其他有示教变压器、变阻器、电池组等．

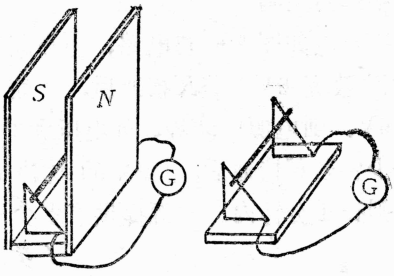


图 2—56

2．教学过程

（1）问题的提出

师：（简述法拉第发现电磁感应现象的历史，演示几种产生感应电流的实验）．

师：还有许多实验可以使我们观察到电磁感应现象，产生感应电流的具体情况各不相同，现在让我们看一下在这些具体的物理过程中，有什么共同的东西（即产生感应电流的必要而充分的条件是什么），或者说如何找到一种关于产生感应电流条件的普遍陈述方式．

（2）闭合导体的一部分作切割磁力线运动

师：（按图 2—56装置进行演示实验，使导体沿导电支架作不同方向的运动，并作磁力线图，表明只有当导体切割磁力线时，闭合导体中才有感应电流．）

（对产生感应电流条件的第一层认识．使导体沿导电支架运动而不把导体直接通过连接导线接在电流计上，是考虑到由于用了直流放大器，电流计测量的是单根导体切割磁力线时产生的感应电流，连接导线上产生的感应电动势不可忽略，要对实验结果产生干扰）

（3）导体切割磁力线时，闭合导体中磁通量的变化

师：让我们改变一下实验的做法，看一看上面归纳出来的关于导体中产生感应电流的条件“导体做切割磁力线运动”这

种提法还要不要作一些补充，或者是否还有什么更好的陈述方法.

师：（按图 2—57使单匝小线框在磁场中作不同的运动，发现为：①线框从磁场外移入磁场内或是由磁场内移到磁场外时，电路中有感应电流；②线框在匀强磁场内运动时，如果线框只作平动，则电路中没有感应电流；③但若在匀强磁场内使线框平面发生转动，则电路中有感应电流）

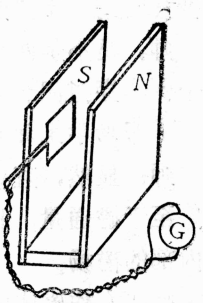


图 2—57

（作磁力线图，发现当闭合导体的一部分在磁场中作切割磁力线的运动时，只有同时穿过闭合导体的磁通量发生了变化，导体中才有感应电流.）

（表明用“导体切割磁力线”来概括产生感应电流的条件，必须加上附加的限定. 因此这种提法必有局限性）

师：现在看来，当闭合导体的一部分作切割磁力线运动时，只有同时穿过闭合导体的磁通量发生变化，导体中才能产生感应电流；但只要闭合导体中有感应电流，则穿过闭合导体的磁通量一定有变化. 那么，把产生感应电流的条件归结为“穿过闭合导体的磁通量发生变化”是否更有普遍意义？

生：不一定，当小线框在磁场中平动时，可以认为是它的各条边上的感应电流互相抵消了.

师：说成“感应电动势”互相抵消是否更合适一些？（具体分析当小线圈在匀强磁场中平动时，各边感应电动势的方向及这些电动势是如何抵消的）那么除此之外还有什么？

（引导学生揭露矛盾）

生：像第一个实验那样，单根导体切割磁力线，用“磁通

量变化”就说不清楚了，找不到磁通量.

师：是不是两个问题：①在第一个实验里，闭合导体是哪一个？②穿过闭合导体的磁通量是哪一部分的磁通量？

（帮助学生把问题提明确）

师：显然，直导体连同电流计及连接导线构成了闭合导体. 至于磁通量，我们不但要考虑空间的磁场，还必须考虑磁体内部的磁场.

师：（作磁体内外的磁力线图如图 2—58，看出如果直导体沿平行于磁力线或平行于导体本身运动时，穿过闭合导体的磁通量不变；但若直导体切割了磁力线，则穿过闭合导体的磁通量发生变化. ）

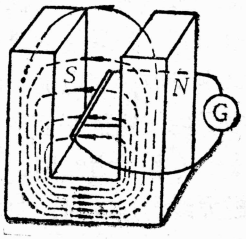


图 2—58

（为了找到物理现象之间的本质联系，必须对物理过程作深入的分析，而不能停留在直观的、表面印象的水平上）

师：至少在因为闭合导体的一部分与磁场发生相对运动而产生感应电流的这种情况，“导体切割磁力线（假定导体各部分的感应电动势不抵消的话）”和“穿过闭合导体的磁通量变化”这两种对产生感应电流条件的陈述方式是等效的. 但是后一种说法不必加上“假定……”那样一个附加条件. 是不是可以说，对一种物理过程因果关系的描述，语言愈简明，附加条件愈少，就愈能反映物理现象之间的本质联系呢？

生：当然.

（对物理规律的陈述，语言愈简明，限定愈少，则愈有普遍性，愈能反映事物的本质）

师：那么有没有哪种情况，是其中一种陈述方式所不能说明的呢？

（从反面提出问题，进一步揭露矛盾）

（4）由于磁感应强度变化造成穿过闭合导体磁通量变化

师：（按图2—59进行演示实验，T为示教变压器铁芯，L_1为示教变压器110V线圈，L_2为单匝线框．先用小磁针检验，表明由于铁芯导磁率远较空气为大，L_1通有电流时，磁通量基本上全部集中于铁芯内部，空气中磁场很弱．因此，可以认为L_2导体本身在磁场之外，但L_2所包围的面积有磁通量穿过，如图2--60所示．当使L_1电路接通，切断，或改变串联在L_1电路中的变阻器阻值时，L_2电路中都产生感应电流．）

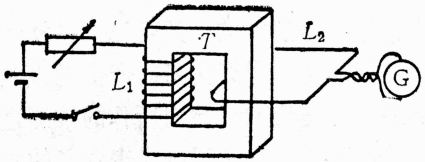


图2—59

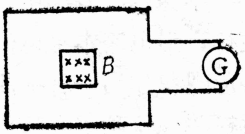


图2—60

（实验的设计使得虽然所研究的闭合导体所包围的面积有磁通量穿过，但导体本身却处于磁场之外．这就把问题提得更尖锐，使矛盾充分暴露，这样才便于找到事物间的必然联系．这正是实验中“控制条件”思想的体现）

师：最后这一种情况，导体并未与磁场发生相对运动，甚至导体本身并未处于磁场之中，因此自然不能用“导体切割磁力线”来说明产生感应电流的条件．但因为闭合导体所包围的面积上有磁通量穿过，而且穿过闭合电路的磁通量发生了变化，导体中就产生了感应电流．因此是否可以说，“穿过闭合导体的磁通量发生变化”是闭合导体中产生感应电流条件的普遍陈述方式呢？

生：是的．

师：这一课我们通过实验，运用改变实验条件，从正反两方面进行分析对比的方法，找到了关于产生感应电流条件的普遍陈述方式．这个方法在物理学的研究中是有代表性的．

（夏蒙森）

二十八、课例：自感现象

——用实验检验推论

1.课题分析及教学设计

自感现象是电磁感应现象的一种特殊形式，也是一种重要的电磁感应现象．

本课题的教学中，首先根据电磁感应的一般理论——楞次定律，对电路本身电流变化造成的磁通量变化可能产生的电磁感应现象作出一种推测，然后设计适当的实验对所作的推测进行检验．这种研究问题的方法，在科学上是很有代表意义的．

设计实验时，要强调对实验条件的分析和正确的观察方法．只有这样，才能通过实验得到正确的结论．

教学程序如下：

(1) 根据楞次定律对自感现象发生的可能性及其表现形式作出推测；

(2) 选择适当的条件，用比较的方法，观察电路中电流增长和减弱时的自感现象；

(3) 简单介绍自感现象在技术上的意义，介绍自感系数．

教学中用到一些自制教具，详见下面．

2.教学过程

(1) 问题的提出

师：我们已经研究了产生感应电流的条件，研究了判断感应电流方向的法则——楞次定律．现在来考虑这样一个问题：

当一个电路中有电流通过时，这个电流就产生磁场，如果电流变化，穿过电路的磁通量也发生变化．试问这个磁通量的变化，能不能引起电磁感应现象？如果能，它的表现形式是怎样的？

根据楞次定律，这里发生的物理过程是不是应该这样：当闭合电路中的电流增长时，穿过闭合电路的磁通量增加，于是电路中将产生一个与电流方向相反的感应电动势，这个电动势将阻碍电路中电流的增长；当闭合电路中的电流减弱时，穿过闭合电路的磁通量减少，电路中也将产生一个与电流方向相同的感应电动势，这个电动势将阻碍电流的减弱，但这只是一种推论，是否正确，还应该用实验来检验一下．

（根据物理学的基本原理，对物理过程作出了一般性的推论，是否成立，还要用实验来检验．但要在实验中观察到这些物理过程，还要对实验条件作出具体的分析）

（2）研究电流增长时的自感现象——用比较的方法来观察物理现象

师：如果上面的分析是对的，可以设想如果在一个线圈两端加上一个直流电压，在电流增长的过程中，由于产生一个与电流方向相反的感应电动势，电流达到最后的稳定值将经历一段时间，如图 2—61所示．这样，如果在电路里串联一只小灯泡，当电键接通时，我们将观察到小灯泡发光的延迟现象．这个推论是否正确，还得通过实验来检验．下面我们就来做一下这个实验．（按图 2—62线路进行实验，发现不能观察到小灯泡发光的明显的延迟现象．）

师：没有观察到我们所预期的现象．有两种可能：或者我们的推论错了；或者我们观察的方法有些问题．由于我们的推论是根据关于电磁感应现象的一个基本理论——楞次定律作出

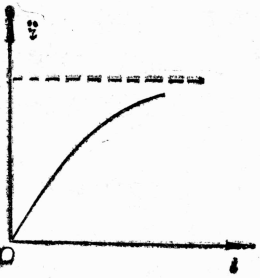


图 2—61

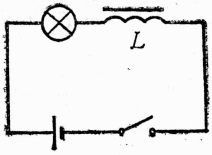


图 2—62

的，所以我们不准备轻易地放弃我们的猜测．让我们考虑一下，是否可以改进一下观察的方法．实验中，接通电键的动作，小灯泡灯丝的升温，观察者对灯泡发光的感受都需要一定的时间．如果小灯泡由于电磁感应造成的发光延迟时间比上面那些时间还要短，则我们将很难觉察到．为了解决这个问题，我们不妨用两个特点不同的电路对比一下．

师：（给出图 2—63甲及连接好的示教板）电路中，R_1是一个普通的变阻器，L是一个有很多匝数并且有铁芯的线圈．让我们试一下，当电键接通时，图中两个电路的表现有什么不同？

生：变阻器本身就是一个线圈……

师：因此当电流变化时也要产生电磁感应现象．不但如此，从理论上说，甚至每一条连接用导线当通过电流时它的周围也能产生磁场，也能产生电磁感应现象．这么说，对这个问题我们就没有办法来进行研究了？让我们分析一下变阻器的线圈和另一只大线圈有什么不同．

生：（指出前者圈数很少而且没有铁芯，后者圈数很多且有一个大铁芯．）

师：它们在结构上有这么大的区别，我们相信如果我们的分析正确，将能观察到当电键接通时，两个支路电流增长的情

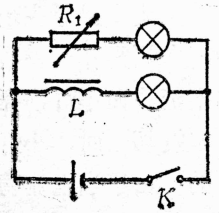
况会有明显的区别.

师：（演示电路接通时的自感现象．实验表明，当电键接通时，串有大线圈的电路中的小灯泡的发光有明显的延迟．总结观察的结果．）

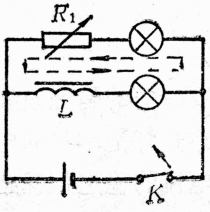
（使学生了解“比较”是进行观察的一种有效的方法．为了对物理现象正确地进行观察和研究，必须对实验的条件作具体的数量上的分析）

(3) 研究电流减弱时的自感现象——现象与本质

师：现在来研究一下当一个电路中的电流减弱时会发生什么现象．在上面的实验电路中，如果切断电键，线圈中的磁通量开始减少，根据楞次定律，线圈中将产生一个与原来电流方向相同的感应电动势，因而线圈中的电流将以变阻器、小灯泡为回路延续一段时间而逐渐减弱到零（图 2—63乙）．大家设想一下，我们应该观察到什么现象？



甲



乙

图 2—63

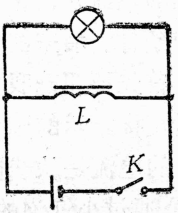


图 2—64

生：电键切断后，小灯泡要继续亮一段时间．

师：我们来试一下．（演示，电流的减弱没有明显的延迟现象．）

生：电流延续的时间可能很短，所以观察不到不等于我们的分析不对．

师：看来还得用比较的方法来进行观察．这一次我们用这

样一个电路（图 2—64），小灯泡的电阻大约是线圈电阻的1_0倍，当电路接通，电流达到稳定时，通过线圈的电流大约是通过小灯泡电流的10倍．如果这时切断电路，线圈中的电流将以小灯泡为回路，从原来的稳定值开始逐渐减小到零．设想一下，我们将观察到什么现象？

生：小灯泡将发出瞬间的强光．

师：（演示电路切断时的自感现象，切断电键的瞬间，小灯泡发出强光．）

师：观察到了什么？

生：电键切断时，电路里的电流增强了．

（这是进行实验观察时的一种很普遍的弊病．学生注意的焦点往往只集中在最明显的现象上，而不去思考现象的本质，因而通过实验获得的，可能只是一种错觉）

师：你的意思是由于电磁感应现象，当电键切断时，通过线圈的电流反而增强了？这样是不是就破坏了产生电磁感应现象的条件？看来我们对如何理解所观察到的现象还得作一番研究．首先要明确我们要研究的是通过线圈的电流；而小灯泡亮度所直接指示的则是通过灯泡本身的电流，电键切断时，小灯泡中的电流是从线圈电流的稳定值开始减小的．由于当电流稳定时，通过小灯泡的电流比线圈中的电流小得多，所以小灯泡中的电流有一个瞬间增强的过程．如定义“线圈—灯泡”回路中的电流以顺时针方向为正，则电键切断前后回路中“电流—时间”图线将如图 2—65那样．因而，电键切断瞬间小灯泡发出强光只表明线圈中的电流要延续一段时间，而不表明线圈中的电流反而增强了．从分析中还可看出，电键切断的瞬间，通过小灯泡的电流有一个反向的过程．为了进一步确认我们所作的分析是不是正确，不妨再设计一个方法来观察一下这个反向的过程．

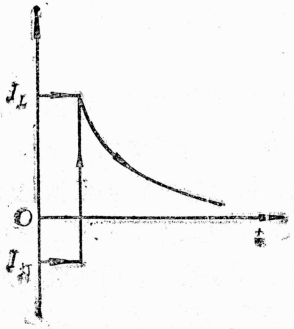


图 2—65

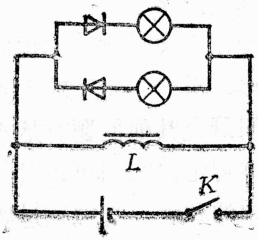


图 2—66

师：（介绍图 2—66电路，先切断线圈电路，改变加在小灯泡—二极管电路两端电压的极性，表明二极管有单向导电作用．每种极性的电压下，只有一只小灯泡能发光．接通电键，当电流稳定后，A灯泡发暗淡的红光，B灯泡不发光；切断电键的瞬间，B灯泡发出强光．）

师：刚才所做的实验进一步表明，我们的分析是正确的．（通过实验来研究物理现象，一定要把观察与理论的分析结合起来，才能理解所观察到的现象的实质，而不至于被假象所迷惑）

（4）介绍自感系数

师：（简单介绍自感系数的概念）

（5）介绍自感现象在技术上的意义

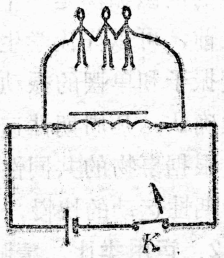


图 2—67

师：（简单介绍自感现象在技术应用上的意义．介绍日光灯镇流器的原理，用投影仪观察日光灯起动过程中起辉器中双金属片的动作．用图 2—67电路让学生体验电路很快切断的过程中能

产生很高的感应电动势.）

（6）小结

师：（简单重述本课内容）这一课我们根据电磁感应的基本理论，对一种特殊的电磁感应现象进行了探索. 下面的几点在我们研究其他问题时是不是也有借鉴意义？①根据已经掌握的基本理论，我们可以对一种未知的现象作出预测；②根据理论作出的预测，必须通过实验来进行检验；③用实验来观察一种物理现象，必须控制好实验的条件，并且掌握正确的观察方法，对比的方法就是一种很有效的方法；④必须把实验观察和理论的分析结合起来，否则就容易被假象所蒙蔽.

（夏蒙森）

二十九、“电磁振荡的周期和频率”的教学设计

1. 从比较事物之间的共同性，引出周期和频率的概念

学生在前节学习中已经从多方面了解到，*LC* 振荡电路中发生的电磁振荡是一个周期性变化的现象. 因此在引出这一课题之前，可以先让学生回忆一下已经接触过的周期性现象，如弹簧振子和单摆的振动，匀速圆周运动，交流电，等等. 并使学生确认，凡周期性运动的快慢，都可以用周期和频率去描写. 根据事物的共同性，很自然地引出新课；描写电磁振荡这种周期性运动的快慢，也应当用周期和频率.

2. 运用类比，猜测电磁振荡的周期和频率的相关因素

教师紧接设问：*LC* 振荡电路中的电磁振荡的周期和频率究竟与哪些因素有关呢？然后引导学生进行类比推理：电磁振荡与弹簧振子的机械振动很相似，已知弹簧振子的振动周期

$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$只与本身构成(m和k)有关,而与振幅等因素无关,因此可以猜测,LC振荡电路中产生的电磁振荡的频率也可能只与电路的构成(即L和C)有关,而与电容器电压的变化范围以及电感线圈中电流的变化范围无关.作出这种猜测,实质上就是针对所研究的问题提出了一个假说.

3.通过对比实验,检验假说的真伪

假说是对未知事物的某种猜测,具有或然性,它的真伪要经受实验的检验.为此安排如下对比性实验:

(1)按图2—68,E取6伏,C取200微法,观察振荡的快慢.

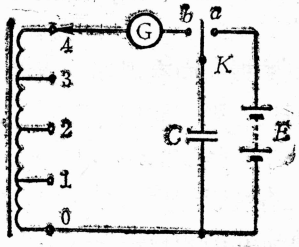


图2—68

(2)将C改取为50微法,重复步骤(1).

通过(1)、(2)两个实验现象的对比,可观察到当C减小时,振荡变快,周期变小,由此得出定性结论:电磁振荡周期确与C有关,C越大(小),T也越大(小).

(3)再将接"4"端的导线改接到"3"端,可观察到振荡进一步加快.由此得出定性结论:电磁振荡周期T确与L有关,L越大(小),T也越大(小).

(4)再将E改为4伏,与实验(3)对比,可观察到振荡快慢没有改变.由此可知电磁振荡的周期与电容器两端电压高低及电路中电流的强弱无关.

综上得出:T随L,C的增减而增减,与其他因素无关.

向学生指出,实验的结果与我们的猜测相吻合.于是假说

获得验证．但我们并不满足于上述定性结论，进一步的精确实验及严格的数学推导可得到$T=2\pi\sqrt{LC}$．

4．追求知识的统一性

向学生指出，从实验获得的新的知识与已知的知识是统一的，我们可以用已知的知识来解释新的结论，即：当加在电容器上的电压一定时，电容器的电容越大，它容纳的电荷就越多，放电和充电需要的时间就越长，因而周期就越长，频率就越低．线圈的电感越大，阻碍电流变化的作用就越强，放电和充电需要的时间就越长，因而周期就越长，频率就越低．

我们已经了解到机械振动和电磁振荡的一些共同性，周期公式$T=2\pi\sqrt{LC}$的获得使我们又了解到它们新的共同性，即机械振动固有周期（频率），其值仅取决于系统本身；电磁振荡也有固有周期（频率），其值也仅取决于系统本身．周期公式中都是以$2\pi\sqrt{\quad}$的形式出现．指出知识间的统一性，不但有利于学生加深对知识的理解和记忆，而且也能激励学生探索未知的积极性．

（郑青岳）

三十、“调谐”教学的三步法

“调谐”是电磁波接收中的一个重要课题．它所解决的是电磁波接收中的一个十分实际的问题，但一般学生对这个问题比较陌生，较难凭空想出调谐的方法．因此，本课题的教学应当借助学生已知的机械振动中的有关知识，引导学生进行比较、类比、猜想，再用实验进行验证，以培养学生科学探究的精神．具体地说，本课题的教学可按如下三步进行．

1．第一步：比较——问题

首先引导学生将电磁波接收回路中激起感生电流的现象与

机械受迫振动作比较.

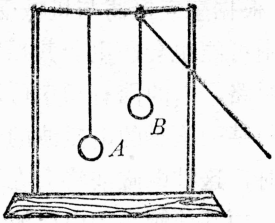


图 2—69

在图 2—69中，先让单摆A（摆线长l_1）振动，用手捏住单摆B（摆线长l_2）．释放B球后，可看到B球将随A球作同频率的振动．B球的振动叫做受迫振动，受迫振动的频率并不等于单摆B的固有频率，而是等于策动力的频率，即等于单摆A的固有频率．也即$f_B \approx \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_2}}$，而是$f_B = f_{策}\ (= f_{A固}) = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l_1}}$.

电磁波在接收回路中产生的感生电流也是一种振荡电流，但这种振荡不同于前面学过的LC振荡电路中的自由振荡，而是一种感应振荡，或称“受迫”振荡．与机械受迫振动相似，感应振荡的频率与接收回路本身的结构无关，而是等于施感的电磁波的频率，也即等于电台振荡电路的振荡频率.

由此可以提出问题：由于空间传播着许多种不同频率的电磁波，在接收电路中产生的感应振荡的频率是多种多样的，如何将我们所需要的某种频率的电磁波挑选出来呢？这就提出了问题.

2．第二步：类比——猜想

我们暂且不立即回答上述问题，而是在上述比较的基础上，引导学生对机械受迫振动与感应振荡进行类比，并进而提出猜想.

在图 2—69中，改变单摆B的摆长以改变B的固有频率时，将会发现，当l_2与l_1即$f_{B固}$与$f_{策}(=f_{A固})$相差较大时，B的摆幅较小；当l_2与l_1即$f_{B固}$与$f_{策}$较接近时，B的摆幅较大；当$l_2=l_1$即$f_{B固}=f_{策}$时，B的摆幅最大，产生了共振现

象.根据感应振荡与机械受迫振动的相似性,可以猜想：感应振荡中可能也会产生“共振”现象，即如果我们设计一个 LC 接收回路，它的固有频率可以调节，那么，当它的固有频率调节到与某一施感的电磁波的频率（也即某一发射电台的频率）相等时，这种电磁波将会在接收回路中激起最大强度的感生电流，而其他频率的电磁波在接收电路中激起的感生电流则十分微弱．如果这一猜想实现，那也就解决了选台的问题．

3．第三步：实验——验证

利用课本上的调谐电路图进行实验，对上述猜想进行验证．于是猜想得到确证．

（郑青岳）

三十一、 改进演示实验 强化实验方法

——“光电效应”教学一例

演示实验是学生观察物理现象的源泉，理解物理知识的基础．但由于物理现象是复杂的，许多因素交织错迭，往往将其本质掩盖起来．如果我们的演示实验只是将现象简单地罗列展示一番，那么学生的感受最多只会停留在直觉的水平上，难以收到预期的效果．

例如就“光电效应”现象来说，它是爱因斯坦创立“光子说”的主要例证，也是学生认识光的粒子性的实验基础．由于目前一般学校尚未具备定量研究光电效应规律的实验条件，因此做好教材中“紫外线照射锌板使验电器带电”的定性实验，就显得格外重要了．课本上给出了如图 2—70所示的实验装置，擦亮的锌板原来不带电，经紫外线照射后带上正电．但是，中

学实验用的验电器灵敏度较低，若按此方案演示，只能得到零结果，验电器指针并不会张开．为了能显示光电效应现象，一般采用的方法是：预先给锌板带上负电，然后用紫外线照射，则可看到验电器指针逐渐回到零处，表明在紫外光作用下，锌板上的负电荷消失了．这时，我们若直接“端”出结论，告诉学生：“这就是光电效应现象”，似乎是顺理成章、水到渠成．其实不然，因为这般匆匆过场，难免会使学生产生疑虑甚至误解．譬如，有的会问：锌板负电荷的消失，会不会是紫外线的电离作用而引起的呢？也有的因此而误认为，光电效应就是特指原先多余的电子被释放的现象．凡此种种，表明单层次的实验不利于揭示物理现象的本质，而且有碍学生掌握科学实验方法．

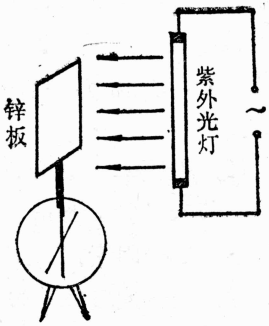


图 2—70

为了改进演示实验教学，我们必须精心设计实验方案，合理安排演示流程，尽可能为学生创设一种探索、研究的情境，引导他们主动地去分析现象，发现规律，并从中体验物理学家们的实验方法，学会如何在实验中做到撇开次要因素，排除干扰因素，突出本质因素，从而使得所要研究的物理现象最终能以更为纯化和简化的形态显露出来．

现将改进后的光电效应实验过程简述如下．

(1) 实验装置仍如图 2—70．验电器远离紫外光灯放置（相距0.5米左右）．先给锌板带上负电，开启紫外光灯后，验电器指针逐渐闭合．要求学生分析并解释所见现象．多数会引用课本中“金属在光的照射下会发射电子”的说法，也有部分

学生会对此提出异议，因为他们知道紫外线能使空气电离，锌板上负电荷与空气中正离子中和后，也可出现验电器指针闭合的现象．两种观点，孰是孰非？鼓励学生寻求实验方法以验证取舍．

（2）根据学生提出的方案，给锌板带上正电荷，重复上述实验，却未见验电器指针闭合，这表明紫外线的电离作用在该实验中属次要因素，可不计．或者，仍给锌板带负电荷，但在板前置一块普通玻璃（告诉学生它能吸收紫外线），开启紫外光灯后，验电器指针不偏转；一旦移开玻璃板，指针又复闭合．由此可进一步确认，紫外线的照射是产生这种现象的主要原因．

（3）改用白炽灯光照射带负电的锌板，验电器指针不偏转；增加灯光强度，或用大口径凸透镜聚焦，或延长照射时间，结果仍然一样．由此可见，要产生光电效应，入射光需具备一定的外因条件（这实际上预示了“极限频率”的存在）．

（4）用紫外线照射原来不带电的锌板，按理也会发生光电效应，使锌板带上正电，但实际上却观察不到验电器指针张开的现象．教师设问：这是否意味着只有原先带负电的物体，才会在光的照射下释放出多余电子呢？经过启发，学生否定了这种观点，并找到了症结所在：锌板受紫外线作用，逸出一些光电子而带正电，同时在其周围空间形成了一个反向电场，正是这个电场对光电子的继续发射起着阻碍作用，使锌板实际带有的正电荷相当少，以致一般的验电器无法显示出来．如何排除实验中这个干扰因素呢？引导学生提出设想．例如，可用一带正电的玻璃棒放在锌板附近（如图2—71所示，注意两者距离不能过近，以防止静电感应的影响），形成一个附加的正向电场，用来帮助光电子克服锌板反向电场的阻碍作用，结果又呈

现出预期的光电效应现象.

通过以上多层次的演示实验，同时辅以积极的思维活动，不仅使学生较好地掌握了光电效应现象的本质因素，同时也使他们受到了一次物理实验方法的熏陶.

（吴加澍）

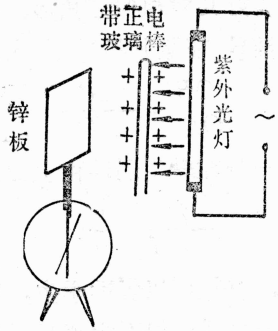


图 2—71

三十二、“透镜公式”教案

——数学方法的运用

1. 数学目标（略）

2. 教学过程

（1）板演：由四位同学在黑板上用直尺作出下列四个题目中物体的像（每人一图）：

①凸透镜焦距 2 厘米、$u=6$ 厘米；②凸透镜焦距 2 厘米、$u=3$ 厘米；③凸透镜焦距 2 厘米、$u=1.5$厘米；④凹透镜焦距数值为 2 厘米、$u=6$ 厘米.

板演后简单复习成像情况跟物体位置的关系，并提出：能否利用公式来确定 v 跟 f 及 u 的关系？

（2）推导公式

①利用板演第①题的图（见图 2—72），要求学生求出 $f(OF)$，$u(OB)$ 及 $v(OB_1)$三个量的关系. 在学生着手演算之前，教师可根据学生实际情况作必要的提示.提示中着重指出

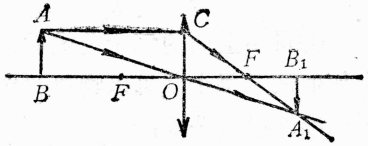


图 2—72

图中有好几对相似三角形，我们可以利用相似三角形的性质来进行推导.在教师指导下,大部分学生可以得出下面两个等式：

$$\frac{OB}{OB_1}=\frac{AB}{A_1B_1},\quad \frac{OF}{B_1F}=\frac{OC}{A_1B_1}.$$

其中一分部学生还能由上面两式得出：

$$\frac{f}{v-f}=\frac{u}{v}.$$

这里，教师可以告诉学生，这个式子已经确立了f、u、v三个量的关系，但不大容易记忆，所以还要作进一步的简化. 于是教师和学生一起演算，得出：

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}.$$

然后，教师可以问学生，这个公式是由板演第①题即$u>2f$这个特殊情况得出来的，对板演第2、3、4这三种情况是否也适用呢？学生很容易看出，板演第2题，即$f<u<2f$这种情况的图跟图2—72是很像的，只是u、v的大小不同而已，公式无疑是适用的，至于另外两种情况，学生中可能出现一些不同意见，教师要求学生根据这两种情况的图再推导一次，推导的结果分别是：

$$\frac{1}{u}-\frac{1}{v}=\frac{1}{f},$$

$$\frac{1}{u}-\frac{1}{v}=-\frac{1}{f}.$$

②得出上面的三个公式后，怎样进行统一？教师应着重指出如何赋予每个字母以物理意义，使三式变为一式，于是得出了标准的透镜公式：

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f}.$$

式中每个字母的正负号分别表示：f：凸透镜为正、凹透镜为负；v：实像为正、虚像为负；u：总是正的（仅限高中阶段）.

（3）小结：这节课运用了以下数学方法得出透镜公式：①作图法；②相似三角形法；③简化、美化公式；④数学公式中各量正负号的物理意义的确定.

（练习及作业布置略）

说明：

课本中透镜公式这一节先是从凸透镜成实像这个特殊情况出发，得到透镜公式，再把公式应用于凸透镜成虚像及凹透镜成像这几种特殊情况，用的是归纳及演绎方法. 本教案虽然也是从几种特殊情况利用归纳方法得出公式，但更加突出数学方法的运用. 这不仅让学生自己把相似三角形法运用到公式推导中去，而且更重要的是，如何在赋予字母以一定的物理意义后对公式进行合并及简化，使学生明白透镜公式所以能这样简单、和谐、易记，应该归功于数学方法的运用.

（陈庭芳）

三十三、关于原子模型的对话

生：我们学习高中物理的原子结构这部分内容，觉得现代物理知识很新奇，尤其是它的研究方法与力学和电学的研究方法很不相同.

师：你指的是研究现代物理常用的模型方法吧，那是物理学研究中最重要的方法之一. 在研究原子结构时，由于我们对微观客体不能直接进行观察，所以必须通过实验获得一定的观测资料进行分析，提出一种假说，即一种原子模型去替代客观原型. 模型在提出时首先要履行其解释功能，不论什么模型，

它们都要能解释已知的实验现象，比如说，汤姆生模型能解释原子的电中性，卢瑟福模型进而能解释α粒子散射实验.

生：用模型去解释已知的实验现象，但不一定能解释将来发现的新的实验现象，这也算一种科学方法吗？

师：是啊！模型作为一种假说，光能解释已知的实验现象还不够，随着实践的发展，它应该受到实践的检验，履行其判据功能，当它与新的实验结果一致时就被肯定，不一致时，模型就被否定（扬弃）.

生：但是我总觉得变化太多，关于原子结构，先是汤姆生模型，接着是卢瑟福模型，后来又是玻尔模型，没有一个定论，原子到底是怎样的啊？

师：一种模型的提出，标志着人们的一个阶段性的认识水平，随着实践的发展，新实验现象的发现，暴露出旧模型的缺点，比如α粒子散射实验，暴露出汤姆生的枣糕模型的缺点. 卢瑟福提出的核式结构模型能很好地解决这个问题，而在解释原子电中性这一点上，它与汤姆生模型是一样的. 同样，随着实践的发展，卢瑟福模型也暴露出缺点，为玻尔模型所取代，而且玻尔模型也能解释α粒子散射现象，因为它本身也是一个有核模型. 可见，旧模型的修正，新模型的提出是科学发展的必然结果，是人们认识问题不断深入的标志，这就是模型的研究法功能，这在认识论上有重要意义，它使人们的认识不断地向真理迈进.

生：听了老师这一番论述，使我对模型作用的认识大为深入，但是，具体涉及玻尔模型，我总觉得它的提出是多么牵强，直到今天，我仍觉得玻尔模型难以理解.

师：你这个问题实际上道出了广大高中学生心中的疑虑. 对此，我们可以从模型提出的背景，模型本身以及随着实践的

发展对模型的认识几方面来谈. 玻尔模型提出的背景是要解决原子的稳定性以及原子的线状光谱问题. 根据经典电磁理论，原子的核外电子绕核运动要辐射电磁波，原子的能量就要减少，那么电子就不能维持原来的轨道运行，旋转半径必将越来越小，很快会坍缩到原子核上，所以原子会是不稳定的，在这个过程中，原子会辐射连续光谱. 实际情况不是这样，原子是稳定的，所以玻尔提出了定态的假设：原子系统处于各个特定状态，在每个状态都有相应的能量E，在这些状态原子不辐射能量. 原子的光谱是线状的，所以提出了跃迁的假设：原子在两个定态之间发生跃迁才会发生光辐射或光吸收，光子能量为两个定态能量之差. 这两条假设与经典物理理论相结合，得到氢原子的能量表述$E=-\frac{Re^2}{2r}$. 为使氢原子能量E取某些特定值. 玻尔还提出了轨道的假设：电子绕核运动的轨道不是任意的，只有符合$mvr=n\frac{h}{2\pi}$的轨道才是可能的，玻尔的假设创造性地运用了量子化思想解决了原子的稳定性及光谱问题.

生：玻尔模型的确是很成功的，但是我还有一个感兴趣的问题：玻尔的第三条假设到底是怎么想出来的？为什么电子的动量mv要与运动半径r去相乘，还要与$\frac{h}{2\pi}$去挂钩，他是怎么考虑的？

师：既然你问到这个深度，那么我必须向你指出，玻尔原先提出的第三条假设叫做对应原理，它是确定原子容许能态的方法. 正像相对论中$\frac{v}{c}\longrightarrow 0$时，即在低速范围内相对论结果与经典理论相同那样，量子理论在那些已经知道经典理论正确的极限内，必须得出同经典理论相同的结果. 对于氢原子，对

应原理需要在大系统的极限里，其容许能量是连续的，量子辐射条件就产生同经典计算相同的结果，被氢发射的射线的频率就应该与电子绕原子核转动的频率相同，他根据广义巴尔末公式 $\frac{1}{\lambda}=R\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ 得：$h\nu=hcR\left(\frac{1}{m^2}-\frac{1}{n^2}\right)$. 由玻尔第二条假设 $E_n-E_m=h\nu$，取 $m=\infty$，可得氢原子稳定态的容许能量必然为 $E_n=-\frac{h\cdot cR}{n^2}$，再应用对应原理求得里德伯恒量的表述为 $R=\frac{2\pi^2k^2e^4m^*}{h^3c}$，则氢原子稳定态的容许能量 $E_n=-\frac{2\pi^2k^2e^4m}{n^2h^2}$. 另外，结合电子的圆周运动及电势能知识可得 $E_n=-\frac{ke^2}{2r}$，进而可解得氢原子轨道容许半径 $r_n=\frac{n^2h^2}{4\pi^2ke^2m}$，电子运动速度 $v_n=\frac{2\pi ke^2}{nh}$. 玻尔当时考虑，由于原子处于定态，电子沿圆轨道运动时，它的动量大小 mv 是一定的，轨道半径 r 是一定的，所以 mv 与 r 的乘积是不变的量（叫角动量）. 玻尔注意到 mvr 的量纲与普朗克恒量 h 的量纲相同，由于玻尔相信普朗克恒量在原子理论中起着基本作用，所以他就寻找角动量与普朗克恒量的关系，算得 $mv_nr_n=m\left(\frac{2\pi ke^2}{nh}\right)\left(\frac{n^2h^2}{4\pi^2ke^2m}\right)=n\frac{h}{2\pi}$. 玻尔得出的这个结论虽然只是第一和第二条假设和行星模型的结果，但玻尔觉得这个结果的表述比对应原理简单，所以玻尔就把 $mvr=n\frac{h}{2\pi}$ 这个简单的表述作为第三条假设了. 这条假

*由库仑定律和圆周运动公式可得电子运动频率，并与能量公式对比，得到频率表达式后再与高能区跃迁对应，可得里德伯恒量的表述，限于篇幅，计算过程从略。

设叫角动量量子化规则.

生：玻尔真聪明，真亏他想得到.

师：是啊！爱因斯坦称玻尔具有独特的直觉和洞察力，取得了一个奇迹，具有思想领域中最高形式的音乐才能. 实际上，玻尔也是站在前人的肩膀上而取得的成就啊！他后来说过："我一看到巴尔末公式，就全都清楚了."

生：我现在在想，怎样从物理上解释这个角动量量子化规则呢？

师：你做过示波器实验吧，把"衰减"调到"∿"档，这时机内产生一个Y方向的正弦电压，把"扫描"调到"10"档，再调节扫描微调旋钮，可使荧光屏上出现三个正弦波（如图 2—73），这就是说 AB 这段长度（扫描周期长）等于正弦波长（正弦电压周期长）*的 3 倍，当电子在第二次扫描时出现的波形与第一次出现的波形正好叠加时，我们看到了一个稳定的波形. 如果我们再把扫描微调变化一下，使 AB 的长不等于正弦波长的整数倍（比如2.9倍），那么图形就不稳定了，继续调节使 AB 的长为正弦波长的 2 倍时，图形又出现一个稳定状态，如图 2—74（两图中 AB 长度本应相同）.



图 2—73

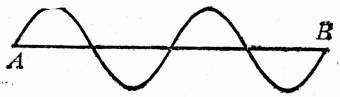


图 2—74

* 这里作了一个时空转换，以长度表示时间，以与下文的玻尔容许轨道的驻波条件相对应.

生：老师，您说得对，示波器上的稳定波形的确是这样的，那么您的意思是……

师：我们可以用物质波理论给玻尔的角动量量子化规则一个物理解释．原子核外绕核运动的电子也可以看成是波，它的波长是 $\lambda=\frac{h}{mv}$（德布罗意波长），对某些轨道，其轨道长度等于电子波长的整数倍（比如3倍），波每转一周波峰老是在同一个位置，这样波就能相加，而轨道就相应为玻尔的容许轨道，但对长度不等于波长整数倍的一个轨道，在电子绕圈时波峰总要最终被一个波谷抵消掉，这样的轨道就不能被容许，所以玻尔的第三条假设可理解为 $2\pi r=n\lambda$.

生：氢原子核外电子从3倍波长的轨道向原子核靠近只能到2倍波长的轨道，同时放出红光，或者到等于波长的轨道，放出紫外线，对吗？真是太妙了．

师：玻尔模型虽然取得很大的成就，但它毕竟是一个经典理论与量子理论混合在一起的产物，它是不完善的，还有更好的模型取代它，希望你注意学习现代物理知识．

（姜水根）

三十四、 新课引入中的方法教育实例和评析

新课引入，不论采用什么形式，往往不外于两条途径：一是从学生旧有的物理知识出发，过渡到新的知识；一是给学生以感性认识（或利用学生已有的实际经验）然后上升为理性认识，引入新的课题．无论是第一条途径的“过渡”或是第二条途径的“上升”，都包含着丰富的方法教育因素．下面的实例，摘自温州市中学物理教学研究会编的《高中物理新课引入

（上册）》．在此汇编本中，差不多每章每节都包含方法教育的内容，但由于篇幅有限，这里只能摘录少数例子进行评析（实例后面括号内的姓名为原编者）．

实例1 共点力的合成（第一章）

教师演示：桌上放着一个砝码，先用两根互成角度的绳往上拉，使砝码沿竖直方向匀速上升；再把砝码放回桌面，改用一根绳拉，同样使砝码匀速上升．

师：这里一根绳的拉力的效果跟两根绳的拉力的效果是否一样？

生：一样．

师：大家小时候一定都看过蚂蚁搬食物的有趣场面．几只蚂蚁一起拉着一小粒食物，有的往东、有的往西，拉来拉去最后把食物拉到洞里．这一小粒食物到底往哪里跑，不是由某一只蚂蚁决定的，而是由他们共同的作用决定的．这就涉及到如何确定几个力作用在一个物体上产生的总的效果的问题．换句话说，如果用一个力作用在物体上，它产生的效果跟几个力共同作用的效果相同，这个力就可以代替那几个力．我们把这个力叫做那几个力的合力，而那几个力就叫作这个力的分力．如果这几个力都作用在物体上的同一点，或者它们的作用线相交于同一点，这几个力就叫做共点力．如果一个物体受到两个互成角度的共点力作用，它们的大小、方向都已知，怎样求出它们的合力呢？

（石观象　徐国贤　徐丽丹）

评析 这节课的引入，无论是演示实验还是教师的讲解，都比较明显地表达了一种重要的思维方法——等效方法．等效代换，学生在以后的中学物理学习中还要多次碰到，这里，作为第一次出现，虽然没有提出等效方法这个名词，但教师有意

识地在新课引入时强调“效果相同”（等效方法的前提）是十分必要的.

实例 2　匀变速直线运动的速度（第二章）

学生练习：一质点从 A 点开始作匀变速直线运动，已知 $v_A=0$，$v_B=5$米/秒．$t_{AB}=2$秒，求：

①质点运动的加速度（复习检查）；

②如质点经 B 点后继续运动 3 秒钟到达 C 点，问质点在 C 点的速度多大？

教师：质点在 C 点的速度可由两条途径计算：

①$v_C=v_B+at_{BC}=5+2.5\times3=12.5$（米/秒）；

②$v_C=v_A+at_{AC}=0+2.5\times(2+3)=12.5$(米/秒)．

由以上分析可知，作匀变速直线运动的物体的速度可用 $v_t=v_0+at$ 计算．这就是今天学习的内容：匀变速直线运动的速度．

（陈翔志　王君宇）

评析　通过对加速度定义公式 $a=\dfrac{v_t-v_0}{t}$ 的复习检查，用定义公式来求解物体在某时刻的速度，从而得出了匀变速直线运动的速度公式 $v_t=v_0+at$．这里采用了代数方法——公式变形．这种变形，不仅给出了较方便的计算公式，而且赋于公式以新的物理意义．

实例 3　宇宙速度，人造地球卫星（第五章）

教师：为什么我们用力抛出的物体，发射出去的子弹、炮弹和导弹，最终都要落回地面，而发射出去的人造地球卫星可以绕地球运转而不落回地面，原因何在？我们今天这节课就要研究这个问题．

（徐定军）

评析 子弹、炮弹、导弹与人造地球卫星，在发射时有其相似之处，但又有很大的差异，这个差异主要表现在不同的速度上．子弹等由于速度较小，最终都要落回地面．如果水平发射的导弹速度达到某一程度，也就有可能绕地球运转而不落回地面（牛顿就曾讨论过这个问题）．这节课的引入，既采用了比较的方法，又包含了量变到质变的思想．

实例4 机械能守恒定律（第六章）

教师问：一个质量10千克的物体从45米高处自由落下，不计空气阻力，求下降5米、15米、45米时的速度、重力势能、动能以及重力势能和动能的总和．（g取10米/秒^2）

下降距离（米）	v（米/秒）	重力势能 E_p（焦）	动能 E_K（焦）	E_p+E_k（焦）
5				
15				
45				

教师提出：我们能从上表得出什么规律？这个规律的物理意义是什么？

（陆国屏　陈怡华）

评析 这节课的引入采用了归纳的方法．分别计算下降5米、15米、45米这三个特殊位置时的重力势能和动能的总和，然后得出一般的规律——机械能守恒定律．这种从许多个别的事例中得出共同性质的方法，就是归纳的方法．本来，从三个个别事例总结出一般的认识，属于不完全的归纳，但由于在新课教学中还要再进行数学推理及其他讲解，机械能守恒定律的确立就不容怀疑了．

实例 5　单摆（第七章）

教师讲故事：1682年，18岁的伽利略离开了神学院进入比萨大学学习医学，心中充满着奇妙的幻想和对自然现象的无穷无尽的疑问．一次他在比萨教堂忘掉了向上帝祈祷，双眼却注视着天花板上悬垂下来摇摆不定的挂灯，右手按着左手的脉搏，嘴里默默地数着数字．在这万人熟视无睹的现象中，他却第一个发现了挂灯每摆动一次的时间（周期）是不变的．于是，他制作了单摆的模型，潜心研究了单摆的运动规律，给人类奉献了最初的能准确计时的仪器．本节课就要学习单摆的运动规律．

（白嘉楷）

评析　伽里略发现摆的等时性的故事，不仅能以其生动的情节引起学生的学习兴趣，增强求知愿望，而且，更重要的是告诉学生一种重要的科学研究方法——观察的方法．伽里略以特有的目的（测量挂灯摆动的时间），不考虑有关挂灯的其他现象来寻找挂灯摆动时最本质的东西，最终得出了等时性这一科学的结论．

实例 6　乐音（第七章）

课前准备：先录制一段约 2～3 分钟的轻音乐磁带，再接着录制一段15～20秒的噪声（如锯板厂和织布厂的混合声音）．

教师：先请同学们听一段声音（避免暗示，只说声音，播放轻音乐）．再请同学们听一段声音（接着播放噪声，播放完毕）．提问：同学们听后有什么感觉？同样是声音，给人的感受为什么差异如此之大？

（白嘉楷）

评析　在以前的学习中，学生曾多次接触过比较的方法．

通过比较，认识到物理概念、物理规律间的共同点和不同点．而这节课在引入时，却要学生对“感觉”进行比较，通过录音和播放的声音，使学生直接从听觉感知乐音和噪声的区别，引入这节新课．然后讲解它们本质上的不同，再从感性认识上升为理性认识．

实例7 晶体和非晶体（第九章）

教师：通常物体可分为固体、液体和气体．这一章和下一章将分别研究固体、液体和气体．请同学们观察粗盐、明矾、石蜡等有什么不同？

（每个实验组已备有放大镜，粗盐、明矾、石英、石蜡、涂有石蜡的云母片和玻璃片以及钢针、火柴）

（戴日可　杨圣光）

评析 观察—比较—分类，是引入这节课的方法．分类应该按照事物的本质特征来进行，所以在分类之前应该对事物进行比较，比较它们各个方面的异同，而比较又是建立在观察的基础上的．让学生对许多固体进行有目的的观察，先观察其外形，再观察其各个方向上的导热性能是否相同，根据观察的结果进行比较，最后进行分类，认识晶体和非晶体的区别．

（陈庭芳）

三十五、 算法方式在中学物理教学中的应用

人类解决问题的思维方式概括起来有两种：推理方式和算法方式．

推理方式是从抽象的公理系统出发，通过演绎和归纳推理来解决给定问题的思维方式；算法方式是从具体的操作规范入手，通过操作过程的构造与实施来解决给定问题的思维方式．

在使用这个方式过程中为了解决给定问题而需要一步一步地施行有穷的操作过程．一个算法必须具备以下五个基本特征：有穷性、确定性、数据输入、信息输出、可执行性．以推理方式为主导的公理系统的思维方式，是人们习以为常的方式，从小学开始以来的数学教学过程中，任何一个数学问题的证明过程，都采用了这一方式．以往由于不适当地偏重推理命题训练，从而忽视了构造与发现命题的能力训练．这个现象是十分严重的．如果我们向一组学生提出这样一个问题，时钟上的分针在12小时内转几圈？可以说几乎所有的学生都会拿起笔，通过列式计算来求解．而很少会有学生想到通过自己手表进行具体操作来求给定的解．当然本例中后者并不一定比前者简便．但有的问题运用算法方式来求给定问题的解就能使研究过程大大简化．本文试就算法方式在中学物理教学中应用列举一些事例．

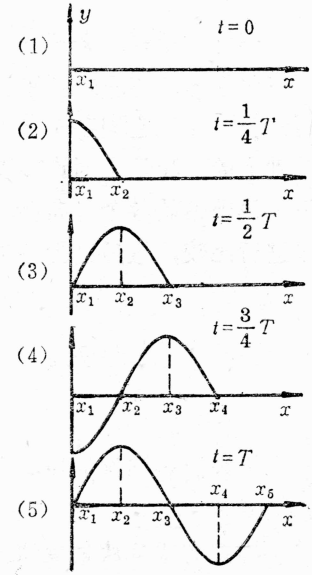


图 2—75

1．模型操作

我们要证明振动在一个周期内在媒质中传播的距离等于一个波长．如果采用推理方式，必须根据波动过程列出算式（列式过程从略）

$$y=A\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}+\frac{2\pi t}{T}\right).$$

当 $t=0$ 时，$x_1=0$．如图2—75(1)所示，质点 x_1 刚开始振动．当 $t=\frac{1}{4}T$ 时(如图(2))，此时波已由 x_1 传播到 x_2．

将 $t=\frac{1}{4}T$，$x_1=0$，代入①式，得 $y_1=A$，即 x_1 处在最大位移．而 x_2 刚开始振动，它的位移 $y_2=0$，再考虑到 $t=\frac{1}{4}T$，代入①式得

$$0=A\sin\left(\frac{2\pi x_2}{\lambda}+\frac{\pi}{2}\right), \qquad ②$$

则

$$\frac{2\pi x_2}{\lambda}+\frac{\pi}{2}=\pi.$$

所以 $x_2=\frac{1}{4}\lambda$．我们通过同样方法，可以计算在 $t=\frac{1}{2}T$，$t=\frac{3}{4}T$ 时各质点的位移和振动所传播的距离．如此等等，余不赘述．当 $t=T$ 时，x_5 点刚开始振动，所以它的位移 $y_5=0$，考虑到 $t=T$ 代入①式得

$$0=A\sin\left(\frac{2\pi x_5}{\lambda}+2\pi\right) \qquad ③$$

则

$$\frac{2\pi x_5}{\lambda}+2\pi=4\pi.$$

所以 $x_5=\lambda$．这就是说振动在一个周期内在媒质里传播的距离等于一个波长．

如果采用模型操作，我们可采用波动演示仪（这个模型一般学校均有）．第一步操作，通过演示让学生找出哪些是同相质点，然后指出相邻两个同相质点间的距离为一个波长．第二步操作，让这些质点复位，处于平衡位置，然后指导学生观察：当第一个质点开始振动了一个周期之后，波传播到哪一个质点．通过两次操作一目了然，很快就能得出振动在一个周期内在媒质里传播的距离等于一个波长．

2．作图操作

在研究波的干涉现象中，如果有两个频率相同，相差$\Delta\varphi=0$的波源S_1、S_2相距四个波长，试问在S_1、S_2之间有几个振动加强区．如果采用推理方式，当相干波源相差$\Delta\varphi=0$时，若P点为振动加强区，则S_1波到P点的波程l_1与S_2波到P点的波程l_2，如图2—76所示，它们的波程差$\delta=l_1-l_2$必须符合$\delta=K\lambda$的条件（证明从略），其中$K=0$，±1，±2，±3，±4，……．由于$l_1+l_2=4\lambda$（已知条件），所以本题中K取0，±1，±2，±3．于是运用公式：

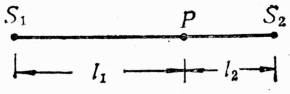


图2—76

$$\delta=K\lambda; \qquad ④$$

$$l_1+l_2=4\lambda. \qquad ⑤$$

可以得出这样7组解：$l_1=\frac{1}{2}\lambda$，$l_2=3\frac{1}{2}\lambda$；$l_1=\lambda$，$l_2=3\lambda$；$l_1=1\frac{1}{2}\lambda$，$l_2=2\frac{1}{2}\lambda$；$l_1=2\lambda$，$l_2=2\lambda$；$l_1=2\frac{1}{2}\lambda$，$l_2=1\frac{1}{2}l$；$l_1=3l$，$l_2=\lambda$；$l_1=3\frac{1}{2}\lambda$，$l_2=\frac{1}{2}\lambda$．所以共有7个振动加强区．

如果我们采用算法方式，通过作图操作也能清楚地解决上述问题．

用两组同心圆分别表示从波源S_1、S_2发出的两列波，实线圆弧表示波峰，虚线圆弧表示波谷．分别以波源为圆心．如果把波源处于波峰时刻的波形图画出来，如图2—77所示．在某一点如果是两列波的波峰相遇（即图中实线相交点），位移为正的最大值这就是振动加强区；在另一点如果是两列波的

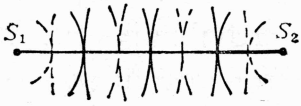


图2—77

波谷和波谷相遇(即图上虚线相交点),位移为负的最大值,这一点也是振动加强区. 由图上可见共有7个交点,所以共有7个振动加强区. 课本中关于两列波的干涉现象的原理说明,也是采用作图操作的方式,此法简单、明瞭、直观性好.

3. 公式恒等变换操作

一个单摆摆长为l_1,在悬点的正下方钉上一枚钉子,从而改变单摆向另一方摆动时的摆长,如图2—78所示,求此单摆的周期. 我们如果采用算法方式来思考这一问题,只要将单摆的周期公式进行恒等变换:

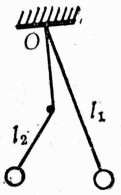


图2—78

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}+\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad ⑥$$

显然本题的解就是

$$T=\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}+\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}}.$$

4. 实验操作

在研究α粒子轰击氮核能够放出一个质子的事实中,人们设想这质子是α粒子直接从氮核中打出的,还是α粒子打进氮核后形成的复核发生衰变时打出的呢?为了弄清这个机制,英国物理学家布拉凯特在云室里做了以上实验. 他认为,如果质子是α粒子直接从氮核中打出的,那么在云室里就会看到四条径迹:入射α粒子的径迹,碰撞后α粒子的径迹,质子P的径迹,抛出质子后的核的反冲径迹,如图2—79. 如果粒子打进氮核后形成一个复核,这复核立即发生衰变放出一个质子,那么在云室里就只能看到三条径迹:入射α粒子的径迹,质子P的径迹,核的反冲径迹,如图2—80所示. 布拉凯特拍摄了两万多张云室的照片,终于从40多万条α粒子径迹的照片中,发

现有8条产生了分叉，分叉的情况表明，上述的第二种设想是正确的.

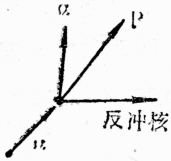


图 2—79

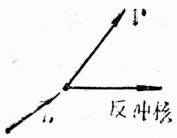


图 2—80

我们根据算法方式五个基本特征：有穷性、确定性、数据输入、信息输出、可执行性来分析上例. 上例中通过拍摄两万多张云室的照片能找到8条3分叉，说明操作具有有穷性；云室的照片究竟是3个分叉还是4个分叉两者必居其一，所以它的结果具有确定性；而实验过程中各数据也是清楚的；操作过程中通过云室这个构造能获得信息输出——径迹，从而使操作具有可执行性. 所以它是运用算法方式的典型. 如果本例采用推理方式的思维方式来求给定问题的解，显然就相当困难的了. 因为对此过程很难建立一个数学模型.

综上所述，凡是能采用推理方式来解决的问题，有时候也可采用算法方式，而且用算法方式具有简便、明瞭、直观性的特点. 凡是难以建立数学模型的问题或者公理系统尚不完全的问题，如果采用算法方式能获得圆满的解答. 于是我们在物理教学过程中必须纠正偏重推理命题训练，轻视构造与发现命题的能力训练的倾向，努力培养学生具有多方位、多角度的思维能力.

参 考 文 献

周启海，“既授人以鱼更授人以渔”（计算机结构程序设计原理与应用系列讲座），《电子与电脑》1990年第1期.

（李高风）

三十六、 比喻方法应用拾零

比喻也即打比方，它不但是作家进行文学创作时常用的一种手法，而且也是方法教育中常用的一种类比方法．孔子说："能近取譬，可谓仁之方也已．"意思是说，应当通过学生身边熟悉的事例的比喻，去帮助学生理解"仁"．作家秦牧说："精彩的比喻，仿佛是童话里的魔棒似的，它碰到哪里，哪里就仿佛清晰明亮起来．"这句话不但说明了比喻的作用，而且本身也是运用了比喻的手法．中学物理中不少概念和理论比较抽象难懂，在教学中注意运用比喻，可以使抽象的知识形象化，隐晦的事物明朗化，深奥的知识通俗化，复杂的问题简单化，枯燥的东西情趣化，从而使学生活跃思路，增强兴趣，形成鲜明生动的印象．本文列举比喻方法的若干个应用例证，供教师教学时参考．

例证 1 在导电情况下金属导体内自由电子的运动，既有无规则的热运动，又有定向运动．这可以比喻成在行驶着的列车车厢内一群飞蜂的运动——在无规则运动上再附加一个定向运动；也可以比喻成在大街上游行的舞蹈队员的运动，即他们既前后左右激烈运动，又随游行队伍缓慢向前运动．

例证 2 安培力的大小既与磁感应强度有关，又与导体的长度及电流的强弱有关，等于三者的乘积（指导体与磁场垂直的情形）．磁感应强度$\left(B=\frac{F}{Il}\right)$在数值上等于通过单位电流的单位长度的导体所受到的安培力．这可以比喻成列车站托运货物，运费的多少既与单价有关，又与货物的质量及运送的里程有关，等于三者的乘积．单价在数值上等于将单位质量的货物运送单位里程所需要的运费．

例证 3　对光的能量的不连续性，光量子是光能量的最小单位，不同频率的光量子大小不同，可以比喻成钱的增减是量子化的，每个国家的货币都有一个最小的“钱币量子”，而不同的国家的最小钱币量子是各不相同的.

例证 4　调制和检波是一个互逆的过程，调制就是将要传送的电信号“加”到高频振荡上去，而检波则是从高频振荡中“检”出所载的信号. 前者可比喻成在货物发出地将货物装在运载工具（如火车）上，后者则可比喻成在货物到达地将货物从运载工具中卸下来.

例证 5　关于原子特征光谱及光谱分析：每一种元素都有自己的特征光谱（系统），任何两种元素不会有完全相同的谱线系统，通过对谱线系统的分析可以鉴定出元素的种类. 这可以比喻成，每一个人都有自己的指纹，任何两个人不会有完全相同的指纹，通过对指纹的分析可以鉴定出是谁留下的指纹.

例证 6　对光电效应现象，可以比喻成（如图 2—81）在井下的人，吃了一只井外抛进的具有能量 $h\nu$ 面包，然后克服重力做功 W，跳出井外. 很显然，如果面包能量 $h\nu$ 太小，$h\nu<W$，则人无法跳出；如果 $h\nu>W$，则人跳出后还具有初动能 $E_k=h\nu-W$.

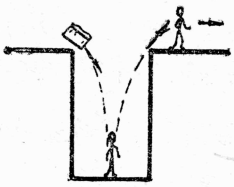


图 2—81

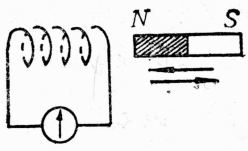


图 2—82

例证 7　对图 2—82，当弄清线圈的极性与磁体极性的关系后，为便于学生记忆，可将线圈比喻成具有“冷酷”与“多情”双重性格的特殊人物. 当磁极来时，线圈的近端产生同性

磁极，排斥原磁极，以抗拒磁极的接近，表现十分“冷酷”；但当磁极走时，线圈的近端又立即产生异性磁极，吸引原磁极，以挽留磁极，表现得相当“多情”.

例证 8　对建立假说模型以认识客观事物的方法，可作以下比喻：

我们想了解一个合上表壳的表的内部机构，虽然我们看到表面和正在走动着的表针，甚至还可以听到滴嗒声，但是我们却无法立即打开表壳，甚至永远无法打开表壳. 于是，我们开始画出一些企图能解释所观察到的一切事物的机构图来，但我们却不能肯定我们所画的图就是唯一可以解释所观察到的一切事物的图形. 但是，随着知识、经验的增长以及方法的改进，我们可以不断地修改这幅图，使之与实际的机构越来越接近.

值得指出的是：

(1) 对同一事物的比喻方式不是唯一的（如例证 1），在教学中应当选择合适的方式进行比喻.

(2) 不但对知识可以进行比喻，对方法也可进行比喻，如例证 8 就是对假说模型方法的一种比喻.

(3) 对事物不但可从正面作比喻，也可从反面作比喻. 例如对新理论取代旧理论，爱因斯坦曾经运用了这样一种比喻：“……建立一种新理论不是像毁掉一个旧的仓库，在那里建起一个摩天大楼. 它倒是像在爬山一样，愈是往上爬愈能得到新的更宽广的视野，并且愈能显示出我们的出发点与其周围广大地域之间的出乎意外的联系. 但是我们的出发的地点还是在那里，还是可以看得见的，不过显现得更小了，只成为我们克服种种阻碍后爬上山巅所得到的广阔视野中的一个极小的部分而已”. 这里的“不是像……，倒是像……”就是将正反两方面比喻相结合.　（郑青岳）

第三篇　高中物理方法教育测试题选

试用高中物理方法教育试题的思　考

陈庭芳

方法教育，过去虽然零星进行了一些，但没有计划、没有检查，讲过就算．近来，我在高三物理课的单元测验及摸底测验中有意识地放了一、二个有关方法教育的题目，这些题目所涉及的方法教育内容都是以前讲过的，有的还是反复强调过的，但测验结果很不满意，这就不得不促使教师要进行认真的思考．

一、题选及说明

1．关于理想化方法

例1　关于质点，下面哪几句话是正确的？

（A）质点就是数学中的“点”．

（B）质点既无大小，又无质量．

（C）只有体积很小的物体才能看作质点．

（D）以上三点都错．

答案　D，得分率$P=0.98$

例 2　关于单摆，忽略了下列哪些次要因素？

（A）摆线的质量.　　（B）摆线的伸缩.

（C）摆球的大小.　　（D）摆球的质量.

答案　A，B，C. 得分率$P=0.72$

以上两个关于理想化模型的题目，就其考试水平来说都是属于“识记”级的，学生只要记住有关内容，即使不大理解，也可答对，得分率较高. 例 2 中少数学生没有选“C”. 他们说：在测定重力加速度的实验中，摆长等于线长加摆球半径，说明摆球的大小是不能忽略的. 他们不明白单摆是实际摆的理想化，是“一根不能伸长、又没有质量的线的下端系一质点”（高中物理课本甲种本第一册第286页）；而测定重力加速度实验中用的是实际摆，为了使这个摆更接近于理想化的单摆，在测量摆长时下端才从球心算起. 从这些学生的想法来看，他们对理想化模型还是一知半解的，即使死记硬背了一些结果，也并没有真正领会其意义.

2. 关于用比值定义物理量

例 3　写出高中力学中用比值定义的物理量及其定义公式三个：（　　）、（　　）、（　　）.

得分率$P=0.67$

例 4　写出高中电学中用比值定义的物理量及其定义公式三个：（　　）、（　　）、（　　）.

得分率$P=0.71$

这两个题目分别是在总复习前的力学及电学摸底试卷中出现的. 从测验结果来看，在未开始总复习前，得分率达到70%左右似乎还是不错的，但严重的问题恰恰出现在30%左右的错误答案中. 在错误答案中，有 $a=\frac{F}{m}$、$m=\frac{F}{a}$、$t=\frac{s}{v}$、$\omega=\frac{v}{r}$、

$I=\frac{U}{R}$、$\varepsilon=\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$等等．这些答案的出现，说明他们只知道比值这种形式，而不了解用比值定义物理量的意义是什么，在例3的测验结果中，只有32%的学生填对三个答案，有68%即三分之二的学生还不明白什么叫“定义”．

3．关于物理概念的比较

例5 从动能、动量、功、冲量四个物理量中选择填空．

在高处以10米/秒的初速水平抛出一个质量1千克的小球，不计空气阻力，则可以求出第1秒内球的重力的（　　）的大小及方向，可以求出第1秒末球的（　　）的大小及方向．

答案　冲量、动量．得分率$P=0.39$．

例6 从电场强度、电场力、电势、电势能四个物理量中选择填空．

电场中某点的（　　）的大小及方向只跟位置有关、跟检验电荷的大小、正负无关．电场中某点的（　　）的大小，跟该物理量的零值的选择有关．点电荷在电场中某点的（　　）（标量）不仅跟位置有关，而且跟q有关．

答案　电场强度，电势，电势能．得分率分别为：0.87、0.62、0.57．

比较各个类似的物理概念的共同点及不同点是正确理解物理概念的重要方法．动能、动量、功、冲量这四个概念容易混淆．虽然过去在新课教学中多次反复强调过它们的区别及联系，但在这次摸底测验中，大部分学生答错．他们分不清哪几个是矢量、哪几个是标量、哪几个是过程量．哪几个是状态量．用他们自己的话来说：这些共同点及不同点都是记住且能背出来的，但一遇到具体问题，注意了这一方面，就忘了另一方面，往往顾此失彼．

二、 几点思考

首先，方法教育作为一项教学内容，是可以通过测验检查其教学效果的，也就是说，方法教育的测试是可行的. 但是，目前，我们的方法教育还没有经验，停留在较低的水平上，因此，方法测试只能从低级别的识记、领会开始，必须谨慎地试行.

其次，在上面这些题目中，例 3 、例 4 分别在力学及电学中测试同一种方法，例 5 、例 6 也是如此. 测试结果，电学的得分率高于力学. 这是因为，在力学摸底测验发现这些问题后，教师重视了这几种方法的教学，这说明有意识地进行方法教育是能够收到成效的.

第三，编制方法教育测试题是一个新的课题，从形式到内容都处于探索阶段. 但有一点是肯定的，方法的测试要依附于物理知识，不能离开具体的物理内容，一般地说采用隐性的方式.

关于高中物理显性方法教育习题的若干问题

姜水根　沈　晨

在中学物理教学中，用科学的物理知识去武装学生固然是重要的，但用物理学的科学过程与科学方法去武装学生，其意义更为重大与深远．越来越多的教师日益注意在知识传授的同时实施方法教育，教学生开拓解决物理问题的思路，形成正确的思维方式，培养学习物理、认识未知世界、发现新知识的能力，着意使学生受益终生．关于科学方法教育的探索方兴未艾．本文拟从习题角度，探讨实施物理方法教育的一个方面，以期达到推波助澜之目的．

一、编写方法教育习题的意义

习题编制是教材建设不可缺少的一部分，好的习题是教材的延续、补充与完善．诚然，在几经修订的现行教材行文中，是十分注意在讲述物理知识的过程中或隐或显地向学生灌输掌握正确的物理规律所应有的思想方法的，一些典型的、常用的基本方法，课本中还多次反复，并配有相应的练习题，也可以说是方法教育的隐性练习题．学生若能在学习和练习中多加留心，多多揣摩，日久年深是可以逐步领会的．为了使学生对融汇在课本的知识讲授中的科学方法引起特别的注意，作出专门的探求，从而不只是有一种潜移默化的感觉，而且能跃进到理性的认识，以期自觉地、有意识地运用科学的物理方法审视已有的知识，学习乃至发现新知识．因而可编制另一种显性模式

的方法教育习题，与教材相辅相成.

例 1 英国物理学家查德威克仔细研究了α射线轰击铍时产生的一种射线，证实了卢瑟福关于原子核中可能有一种质量与质子相近的不带电的中性粒子即中子的预言. 确认该射线为中子流的推证过程应为

（A） Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ→Ⅳ.（B） Ⅰ→Ⅳ→Ⅱ→Ⅲ.

（C） Ⅳ→Ⅰ→Ⅱ→Ⅲ.（D） Ⅱ→Ⅰ→Ⅳ→Ⅲ.

Ⅰ. 该射线在磁场和电场中不发生偏折，可见是中性粒子流；

Ⅱ. 该射线的速度不到光速的十分之一，故不可能是γ射线；

Ⅲ. 利用动量守恒和能量守恒定律，测出该射线粒子的质量差不多等于氢核的质量；

Ⅳ. 该射线的贯穿力极强，在已知的各种射线中，唯有γ射线具有这样强的穿透性，故可能是光子流.

答案 B.

本题以课本提供的科学史料为据，学习如何推理才是合乎逻辑的.

例 2 我们知道，万有引力定律的公式中的距离 r 是指两个均匀球体球心间距离或相距很远而可看作质点的两个物体之间的距离. 地球与站在地面上的人（非球形且与地球贴近）之间的引力也可用该公式进行计算，这是因为

（A）地球可以视作密度均匀的球体，故质量集中在球心.

（B）人与地球相比很小，可以不管他的形状.

（C）人的长度与人到地心间的距离相比极小，故可以视作质点.

（D）地球对球外物体的引力与把质量集中在球心时对球

外物体的引力等效.

答案　C，D.

应用万有引力定律解答具体问题时需作各种处理，本题要求学生对相关处理的科学性和严密性予以审视.

例 3　突出主要矛盾，忽略次要因素是解决物理问题时常用的思维方法. 在下述问题的研究中，有哪些因素是可以忽略不计的？

（A）计算玻尔模型中各能级的能量时，不计万有引力势能.

（B）研究毛细现象时，不计微小液面上的表面张力.

（C）研究迅速压缩气体引起内能变化情况时，不计气体与外界的热交换.

（D）估算地球大气层的总质量时，不计大气所受的重力.

答案　A，C.

哪些因素可当作次要因素予以忽略是相对的. 液体沿毛细管壁上升，正是看似微弱的表面张力的作用结果，怎能忽略；估算大气质量借用对大气重力的把握，怎能不计其重力？本题B，D项的设计从反面提示学生，忽略与否不能唯其小，而要权衡其在所涉及的问题中的轻重.

二、方法教育习题的命题

编制方法教育习题不象编制通常的习题那样驾轻就熟，这是因为它有着不同于后者的立意与命题角度、命题技巧. 这里须从两个方面进行研究.

首先是内容问题. 这就要求命题者掌握中学物理方法教育内容体系和中学物理方法教育的教学目标. 中学物理方法教育内容体系可由物理方法、数学方法、逻辑方法、哲学方法这四

个方法维构成．每个方法维中又包含了极其丰富的方法因素．在中学物理教学中，以物理方法为方法教育的主干，其内容涉及实验方法、理想化方法、模型方法、对称方法、等效方法、隔离法、微元法等．我们的显性方法教育习题应以上述方法为主要内容．例如，关于理想化方法和模型方法可以设计这样的习题：

例 4 下面各选项所列事物，属于理想化模型的是

（A）玻尔原子模型．　（B）点电荷．

（C）光滑水平桌面．　（D）毛细管．

答案　B，C．

例 5 下面所列各选项中属于假说模型的是：

（A）光线．　（B）光子．

（C）电子云．　（D）电力线．

答案　B，C．

例 6 下面关于分子模型的设计与运用有错误的是哪一个？

（A）常温常压下的气体分子可视作质点，故可根据气体的摩尔体积估算分子间的距离．

（B）液体分子可视作一个挨着一个地排列，故根据液体的摩尔体积可以估算出分子的直径．

（C）固体分子可视作弹性钢球，故分子间作用力为零时分子间距离的数量级即为分子直径数量级．

（D）分子间的作用力可视作类同于两个小球间的万有引力，故物体体积缩小时，分子势能一定减小．

答案　D．

显而易见，例 4 是考查学生对理想化方法的掌握情况，例 6 是考查学生对分子模型的正确建立和运用的情况．它们都是

立足于大纲和教材，通过适当的题材剪裁与一定的命题技巧，编制出具备传授、实践科学方法功能的习题．下面还将看到，对于每一种科学方法，我们都可以编制出相应的习题．

其次是形式问题．方法题试编中，我们首先采用了选择题型．这是因为这种题型比较适宜于方法教育内容的铺陈，而且信息容量大，教学导向功能强，易于展开与拓宽．

选择题的基本结构是题干与选项两部分．题干提出问题，叙述问题的情景，选项则由题干所述问题引出的可能结论、答案或类比事项等构成．选择题一般少计算或无计算，侧重于理解、分析、判断、推理等思维活动，故此种题型与方法教育内容相当匹配．编制时，可以将物理学方法与物理知识有机地穿插交织于题干与选项中，让学生通过解题，既重温了物理知识，又学到或用到物理方法．

例 7　下列各物理量中，用比值法定义的有

（A）密度．　　（B）磁感应强度．

（C）气体压强．　　（D）电流强度．

答案　A，B．

例 8　下述物理过程中，哪些应对研究对象进行整体分析方能解决问题？

（A）如图 3—1 所示，求光滑匀质铁链离开桌面时的瞬时速度．

（B）如图 3—1 所示，求光滑匀质铁链一半长度离开桌面时的加速度．

（C）如图 3—2 所示，求相对静止的 m_1、m_2、m_3 应具有的加速度（摩擦不计）．

（D）如图 3—2 所示，求使 m_1、m_2、m_3 相对静止时，m_3 应受到的水平推力 F．

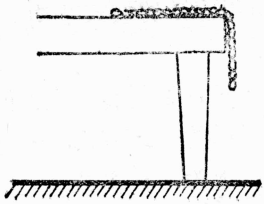


图 3 — 1

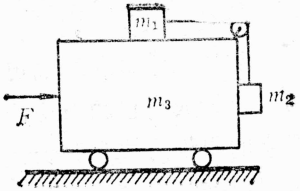


图 3 — 2

答案　A，D.

由于选择题都设有多个选项，每个选项可以独立成句. 命题时，涉及的种种物理知识可不受文字连贯等技术制约而使多个选项容纳多个知识点，从而具有题小信息量大的优点. 如下面的两个示例中，通过解例 9，学生可以了解物理学史上四个重要规律是通过什么方法发现的，而解例10，则让学生重温了运用对称思想使物理学家发现电磁感应现象、永电体和粒子波动性等生动史实，同时也认识了电生磁—磁生电，永磁体—永电体，光的粒子性—粒子的波动性等物质形态的典型的对称.

例 9　在我们所知道的重大物理发现中，以“假说——推理——实验检验”方法研究获得成功的有哪些？

（A）电磁场理论.　　（B）中子的发现.

（C）惯性定律.　　（D）库仑定律.

答案　A，C.

例10　自然界的物质形态及其运动图景具有广泛的对称性. 追求对称帮助物理学家提出问题、完成重大发现的实例是：

（A）因电流周围存在磁场而探索利用磁场获得电流.

（B）由永磁体的存在而寻找到永电体.

（C）由光具有粒子性而揭示出粒子波动性.

（D）由太阳系的结构而推断出原子的核式结构.

答案　A，B，C.

学生在掌握科学的思想方法之前，通过日常生活的各种渠道，已形成自己的看法，养成了自己的思维方式，但这往往与科学的思维方式和概念大相径庭，成为一种相异构想. 命题者可以根据学生中形形色色的相异构想，归纳出一些共通的模式，分析其形成原因，揭示其不合理不科学性，设计出具有迷惑性的问题组成选项，作为干扰，与正确的科学的结论所构成的选项一起提供给学生，让学生在解题时，在头脑中展开正确与错误、科学真理与主观臆想之间的冲突，最后将学生引向正确的途径. 选择题的这种导向性功能是其他一些题型所不及的.

例11　下列各组所述的两个物理过程，可作等效变换的是

（A）“做功”与“热传递”以改变物体的内能.

（B）“线圈静止在磁感应强度按正弦规律变化的匀强磁场中”与“线圈在恒定的匀强磁场中匀速转动”以产生电流.

（C）金属球恰能穿过金属环，“加热球”或“加热环”以使球不能自由穿过环.

（D）“用明线光谱”与“用吸收光谱”以鉴定物质的化学成份.

答案　A，B.

例12　运用相异相似类比方法可以帮助我们利用已经掌握或较易掌握的概念理解与认识新概念. 下面所列各组事物，哪些类比是合适的？

（A）用单摆的振动规律对照电磁振荡.

（B）以水位差比拟电位差.

（C）把电容器的电容与物体的热容相比较.

（D）用带电粒子在电场中的偏转来模拟带电粒子在磁场中的偏转.

答案　A，B，C.

另外，由于方法题的宗旨在于了解、学习、运用方法，所以题干中问题情景的取材可以不受学生现有课本知识的限制. 为了检查学生是否会运用正确的物理方法而排除依赖识记的因素，有时还需要在题干中选取一些课本知识展开、延伸甚至全新的内容作为问题情景，让学生学习怎样用科学方法认识新知识. 这样的选择题集阅读与解题于一体，熔学于习中，拓展视野，增长见识，对学生颇有启发，成为一种开放性习题. 下面所示三例，便属这样的习题.

例13　计算一个绕圆心以角速度ω旋转的半径为R、单位长度质量为ρ的均匀圆环中的张力过程是：在环上取一极小弧长Δl，其对应的圆心角为$\Delta\theta$，质量为$\rho\cdot\Delta\theta\cdot R$. 分析其受力如图3—3所示，则张力的合力

$F=2T\cdot\sin\dfrac{\Delta\theta}{2}$；由牛顿第二定律

可得$2T\sin\dfrac{\Delta\theta}{2}=\rho\cdot\Delta\theta\cdot R\cdot R\omega^2$；

考虑到$\Delta\theta\to 0$时，$\sin\dfrac{\Delta\theta}{2}=\dfrac{\Delta\theta}{2}$，

故$T=\rho R^2\omega^2$·这一解题方法

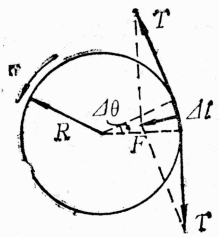


图3—3

（A）只是一种粗略估算方法.

（B）包含一种由个别到一般的思想方法.

（C）运用了极限思想方法.

（D）是从事物极小部分分析入手达到解决事物整体问题的微元法.

答案　B，C，D.

例14　欲利用电力线性质对库仑平方反比律作一验证.

Ⅰ. 电力线只能起始于正电荷，终止于负电荷，故通过点电荷Q电场中包含Q的各球面上的电力线条数相等；

Ⅱ. 检验点电荷在场强为E处所受库仑力满足$F\propto\frac{1}{R^2}$；

Ⅲ. 电力线的疏密，即垂直穿过单位面积的电力线条数可表示场强的大小；

Ⅳ. 点电荷Q形成的电场中，半径为R的球面上的场强$E=k\cdot\frac{\phi}{4\pi R^2}$（$\phi$为电力线总条数、$k$为比例系数）.

合理的思维推证过程是

（A）Ⅲ→Ⅳ→Ⅰ→Ⅱ.　（B）Ⅱ→Ⅰ→Ⅲ→Ⅳ.

（C）Ⅳ→Ⅰ→Ⅲ→Ⅱ.　（D）Ⅰ→Ⅳ→Ⅲ→Ⅱ.

答案　A.

例15　设想利用太阳的光压将一平板送到太阳系以外去. 估算这块板厚度的步骤是：

Ⅰ. 将平板视作刚度足够、表面极光亮、光子对平板的碰撞是完全弹性的；

Ⅱ. 用气体分子对器壁的连续碰撞产生压强的模式，推导光压计算公式，以便计算光对板的压力；

Ⅲ. 取平板的位置在地球轨道上以便计算太阳引力；

Ⅳ. 以光压力与太阳引力平衡为临界条件建立方程.

其间所用到的物理方法是

（A）Ⅰ是建立理想化模型的方法.

（B）Ⅱ是类比推理方法.

（C）Ⅲ是取隔离体的方法.

（D）Ⅳ是极限方法.

答案　A，B.

三、显性方法教育习题的分析

由于显性方法教育习题的编制是一项新的工作，因此，在习题被用于测试之后更要及时进行分析，以便不断改进，对方法教育习题的分析应从以下四方面进行：

（1）试题是否具有预期的功能？这是效度问题. 命题时除了必须注意大纲要求与教材体系之外，特别要审视习题是否在考查科学方法上具有鲜明性. 比如在例 8 中如要求算出加速度值，例13中如要求算出张力大小，那么试题便着重于考查物理知识与物理规律，在方法考查上就变得不鲜明了，这是要注意防止的.

（2）试题的难度是否适当？应该说有两个方面的因素会直接影响难度：一方面是所考查的方法. 在中学物理中最基本的是实验方法、理想化方法和模型方法，这是一般学生均应掌握的. 而对称方法、等效方法、微元法则要求较高，难度就大些；另一方面所取题材的知识是否常用或浅显也是影响难度的因素. 比如，学生是否理解例 3 涉及的毛细现象中表面张力的作用，是否知道例10中提到的永电体，都会影响测试结果，这就要因学生而异，区别对待了.

（3）选项的诱答是否有效？每次测试以后要及时统计，分析每一个诱答分别在高分段与低分段的选中频率，对每一个诱答的有效性作出适当的估价，以便改进选项的编写.

（4）试题是否有严重缺陷？除了所述知识内容的科学性之

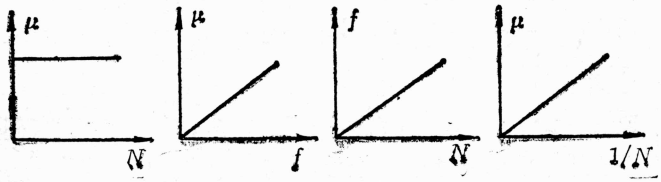
外，这里还包括两方面因素，一是试题与答案是否有方法论上的科学性错误，二是试题在叙述上是否由于不慎而造成理解上的歧义.

诚然，方法教育只是物理教学中的一个组成部分，方法教育习题更是物理习题中的一小部分. 以上所论仅是引玉之砖，我们相信，随着物理教学改革的深入，方法教育习题必将逐步渗入每一次测试中. 我们期待有更多的同行注意并实施方法教育，在方法教育习题的研究中提出真知灼见.

高中物理方法教育试题例选

例 1　物体所受滑动摩擦力 f，物体对支持面的正压力 N 及物体与支持面间的滑动摩擦系数 μ 之间的关系，可用图3-4中哪些图线来表示？

答案　A，C.



A　　B　　C　　D

图 3—4

评析　考查学生用图线表示物理规律的能力.

（张培荣）

例 2　倾角为 θ 的斜面上有一木块，当 θ 等于45°时及等于30°时，斜面对木块的摩擦力大小相等，求斜面与木块间的滑动摩擦系数 μ.

答案　$\mu=\sqrt{2}/2$.

评析　由于题目没有明确指出斜面取不同倾角时的摩擦力究竟是静摩擦力还是滑动摩擦力，所以必须先通过分析确定：$\theta=45°$时的摩擦力是滑动摩擦力，$\theta=30°$时的摩擦力是静摩擦力，否则，它们不可能相等，所以本题采用的是分析方法.

（陈庭芳）

例 3　图 3—5 中四个受力分析的问题中，相同的是哪几种情况？

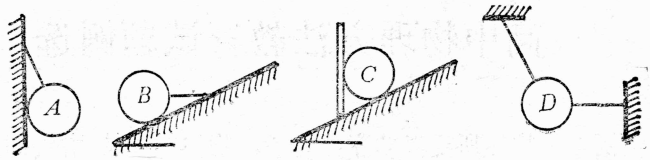


图 3—5

（A）仅 A 球与 B 球.

（B）仅 B 球与 C 球.

（C）仅 A，B，C 三个球.

（D）A，C，C，D 四球受力情况相同.

答案　D.

评析　本题描述一种多题一解的情景，使学生看到不同题目中受力本质相同的情况，对高一新生初学物理有益.

（姜水根）

例 4　如图 3—6，4 块质量均为 m 的相同的砖块夹在两块相同的竖直放置的木板之间. 木板两侧施以相同的压力 F，使砖块静止，则 2、3 两块砖之间的摩擦力多大？试充分利用对称关系求解本题，并写出求解过程.

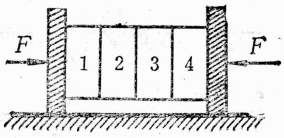


图 3—6

答案　从图可见，砖块 2 和 3 完全对称（即等地位的），因此，2 和 3 之间不可能存在摩擦力. 因为 2 和 3 之间若有摩擦力，则这个摩擦力将以相反的方向作用两砖块上，这就将使 2 和 3 两砖块的对称性受到破坏.

评析　本题要求用对称方法求解. 学生解题前要先通过观

察、分析，充分认识所给问题中存在的对称性．本题有不同解法，如可把2、3两砖块看作整体作为研究对象（如图3—7），根据对称性，可得$F_1=F_2=G$。再以2或3砖单块为研究对象，得出$f_{2.3}=0$．但在图3—7前面的解法中，对称方法运用得最为充分和彻底．作为方法教育练习题，应要求学生反映求解过程，故本题不宜出成填空题或选择题形式．

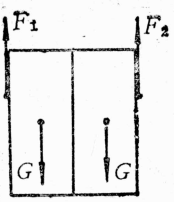


图3—7

（郑青岳）

例5 如图3—8所示，在倾角为θ的光滑斜面上，有一质量为m的均匀小球(球心为C)，被竖直放置的木板挡住而静止（球与木板的触点为A，球与斜面的触点为B）．

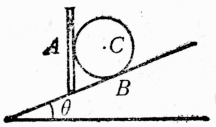


图3—8

(1) 若撤去木板，为了使球仍保持静止，并且对斜面的压力不变，可以用一个大小为____、通过C点沿____方向的力拉小球．

(2) 若不动木板，为了使球对斜面的压力为零，并且对木板的压力不变，可以用一个大小为_____、通过C点沿____的力拉小球．

(3) 若不动木板，为了使球对斜面和木板的压力均为零，可以用一个大小为____、通过C点沿_____方向的力拉小球．

答案 (1) $mg\mathrm{tg}\theta$，AC；(2) $mg/\cos\theta$，BC；(3) mg，竖直向上．

评析 在力的分解和共点力平衡的问题中，会遇到各种不

同情况，学生往往不能抓住本质，出现错误．其实，许多貌似不同的情况实际上属于同一类型．例如，图3—9的6个图中物体的受力情况，用一个受力图就能表达．

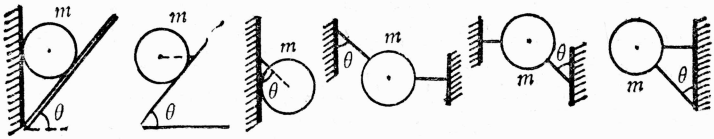


图3—9

本题的意图是，让学生通过一些力的等效替换练习，对受力分析达到举一反三、触类旁通的目的．

（吕基昌）

例6 如图3—10所示，有质量为m的小重球被三根互成120°角的软质橡皮筋拉住处于静止状态．已知三根橡皮筋a、b、c的拉力之比为3∶3∶1．现将竖直方向的橡皮筋C剪断，求剪断C的瞬间球的加速度．

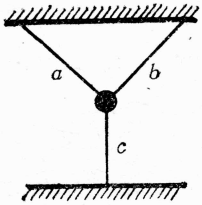


图3—10

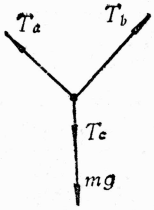


图3—11

解答 由对称性可知（图3—11），

$T_a=T_b=T_c+mg$.

已知$T_a:T_b:T_c=3:3:1$，

$$\therefore T_c=\frac{T_a}{3}=\frac{mg}{2}.$$

当C断时，其他各力均未立刻改变，球所受合力方向竖直

向上，大小为$\frac{mg}{2}$．则球加速度为$\frac{g}{2}$，方向竖直向上．

评析 本题的求解主要应用了由几何的对称性推论到受力的对称性这种推理过程．

（董　明）

例 7 如图 3—12所示，一木球用细绳固定在盛水的杯子里，此时杯子对水平地面的压力为N_1，若某时刻细绳突然断裂，木球上浮过程中杯子对水平地面的压力为N_2．则：

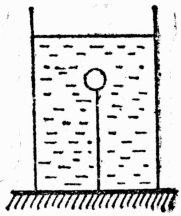


图 3—12

（A）$N_1=N_2$．　（B）$N_1>N_2$．　（C）$N_1<N_2$．

（D）条件不足，无法确定．

解答　当细绳未断时，整体作为研究对象．装有木球和水的杯子处于受力平衡状态，杯子对地面压力大小等于整体受到的重力．而当木球上浮的同时，留下的“真空”立刻被水补充，即木球加速上升的同时，一个同样大小的“水球”加速下降．整体重心是加速向下，所以，正确的答案应选B．

评析 本题的第二个过程实际上并不存在一个“水球”，只有一个木球在加速上升．解决问题的关键是找到一个“水球”的等效物，从而可以认定其整体重心加速向下．这样可用等效的方法简化解题过程，而不必作定量计算．

（董　明）

例 8 关于“质点”，下列说法正确的是

（A）一个物体的形状和大小在被研究的物理过程中是无关因素或次要因素时，可以把它当作一个有质量的点，叫做质点．

（B）一个物体能否当作质点，只跟它的形状和大小有关，

而与其他因素无关.

（C）质量和体积都很小的物体可视为质点，质量或体积大的物体不能视为质点.

（D）同一个物体在某些场合下可视为质点，而在另一些场合下又不能当作质点.

答案　A，D.

评析　学生在高中物理中第一次接触理想化方法就是质点概念的建立，考查对质点概念的理解，可以检查学生是否初步掌握了理想化方法.

（周吾仁）

例9　关于“质点”，还可有下列一些说法，其中正确的是

（A）只有小的物体才能看作质点.

（B）只有作平动的物体才能看作质点.

（C）任何物体，在一定条件下都可以看作质点.

（D）任何物体，在任何条件下都可以看作质点.

答案　C.

评析　本题直接对理想化实物模型的典型之一——质点进行考核.　（柯　蒽）

例10　关于地球可否看作质点，下列说法中正确的是

（A）因地球体积很大，任何情况下都不能看作质点.

（B）地球在任何情况下都可看作质点.

（C）地球在公转时可以看作质点，自转时不能看作质点.

（D）以上看法都不正确.

答案　C.

评析　本题考核学生对质点概念领会是否正确，实际上考核能否应用理想化方法处理具体问题.　（柯　蒽）

例11　研究物体运动规律时先研究匀速直线运动的理由

是：①它是最简单的运动形式，②它是最常见的运动，③它是研究变速直线运动的基础．其中正确的是

（A）①和②．　　（B）①和③．

（C）②和③．　　（D）①②③．

答案　B．

评析　考查学生对从简单现象入手的研究方法的理解．

（张培荣）

例12　对于匀速直线运动，把$\frac{s}{t}$这一比值定义为速度，并用来描述运动快慢这一特性．这样做法的根据是：①同一匀速直线运动，$\frac{s}{t}$比值不变，②不同的匀速直线运动的$\frac{s}{t}$比值一般是不同的，③$\frac{s}{t}$比值大的运动较快．其中正确的是

（A）仅①．　　（B）仅②．

（C）仅③．　　（D）①②③．

答案　D．

评析　考查用比值定义物理量的方法，由①和②可知$\frac{s}{t}$这一比值反映了匀速直线运动的某一固有特性，由③可知该特性反映运动的快慢．

（张培荣）

例13　实验测得某物体运动时位移和时间关系如下表：

时间(s)	0.10	0.20	0.30	0.40	……
位移(m)	9.9	20.2	29.8	40.1	……

由实验数据可知：

（A）该运动一定不能看作匀速直线运动．

（B）该运动相等时间内位移略有差异，这一定是测量仪器或测量原理引起的误差.

（C）该运动在一定精度要求下可看作匀速直线运动.

（D）该运动不管怎样都能看作匀速直线运动.

答案　C.

评析　考查学生对理想化方法的理解.

（张培荣）

例14　两物体在同一直线上运动，图3—13中图线①和②分别代表这两个物体的运动. 试比较两图线，并指出两种运动的相同点和不同点.

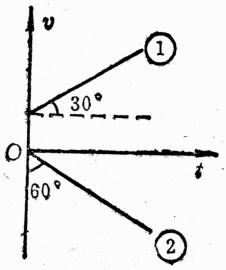


图3—13

答案　相同点有：(1) 都是做匀加速直线运动；(2) 加速度大小相等，即速度变化的快慢相同.

不同点有：(1) 初速度不同；(2) 运动方向不同；(3) 单位时间内通过的路程不同.

评析　比较是一切科学思维的基础，本题要求学生通过两条运动图线的比较，认识两种运动的异同. 学生可能会发现两种运动的更多更深刻的异同点，只要合理，都应纳入. 这种试题放在课内讨论也是很合适的.

（郑青岳）

例15　小钢块以一定的初速沿光滑斜面上滑，在第3秒内的位移是2米，在第4秒内的位移为零，求第6秒内的位移.

答案　第6秒的位移是4米.

评析　本题如用常规解法，要列4个方程：$v_B=v_A+at$，

$v_B^2=v_A^2+2as_3$，　$v_C=v_B+a\frac{t}{2}$，　$v_C^2=v_B^2+2as$，解题过程繁琐.

对于这类加速度不变的往复运动问题，若根据其匀减速过程和反向匀加速过程的对称关系，用比例法求解，就比较简便. 由题意可知，钢块从B点到达C点（最高点）的时间为0.5秒，而s_3：$s=(5+3):1$，

得$s=\frac{1}{8}s_3=0.25$米.

又由$s:s_6=1:(7+9)$，

得$s_6=16s=4$米.

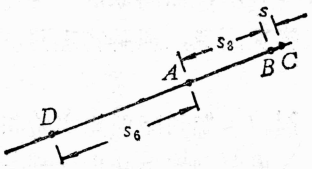


图 3—14

（吕基昌）

例16　甲、乙两地之间有公共汽车运行，每隔5分钟各开出一趟，全程运行20分钟. 小明乘车从甲站出发，这时恰有一辆车进站，到达乙站时又正遇上一辆车从乙站开出. 问：小明一路上遇到几辆从乙站开出的汽车？（所有汽车均以相同速度匀速行驶）

解答　如图3—15，以小明出发为$t=0$时刻，则在此时刻前后每隔5分钟各有一辆汽车在乙站出发. 以相对乙站的距离为纵坐标s，则从乙站发出各车的s—t图线为一组平行直线，

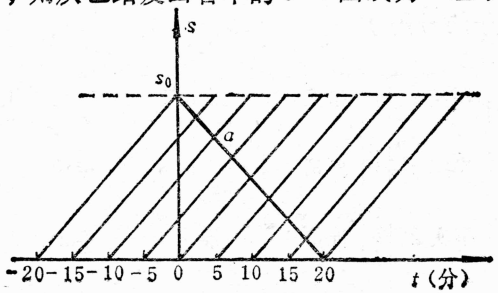


图 3—15

而小明所乘车的 s—t 图线为图中的直线 a．（设甲、乙两地相距为 s_0，则对小明所乘车有：$t=0$ 时 $s=s_0$；$t=20$分时 $s=0$）

显然，图中各交点即为汽车相遇的时刻和位置，即：小明一路上遇到 9 辆汽车．

评析 对本题，由于有多个运动物体，故用公式法求解存在一些难度，而图象法解题则有简单、直观的特点，对于学生建立物理图像，理解物理过程有很大的帮助．

（李建明）

例17 伽利略理想实验将可靠的事实和理论思维结合起来，能更深刻地反映自然规律．有关的实验程序内容如下：

（1）减小第二个斜面的倾角，小球在这斜面上仍然要达到原来的高度；

（2）两个对接的斜面，让静止的小球沿一个斜面滚下，小球将滚上另一个斜面；

（3）如果没有摩擦，小球将上升到原来释放时的高度；

（4）继续减小第二个斜面的倾角，最后使它成水平面，小球要沿水平面作持续的匀速运动．

请按程序先后次序排列，并指出它究竟属于可靠的事实，还是通过思维过程的推论．下列选项正确的是（方框内数字表示上述程序的号码）

（A） 事实 2 → 事实 1 → 推论 3 → 推论 4

（B） 事实 2 → 推论 1 → 推论 3 → 推论 4

（C） 事实 2 → 推论 3 → 推论 1 → 推论 4

（D） 事实 2 → 推论 1 → 推论 4

答案　C.

评析　本题考查学生分析推理能力.

（李高风）

例18　在“验证牛顿第二定律”的实验中，下述措施中为了消除由于实验方法不完善所造成的误差的是

（A）将长木板的不带定滑轮的一端提高使摩擦力得到平衡.

（B）一定要使砂和小桶的质量远小于小车的质量.

（C）重复实验3次，从3条纸带中选择一条比较理想的使用.

（D）取每隔5个实验点作为一个记数点.

答案　B.

评析　本题从减小误差角度考查学生分析辨析能力.

（李高风）

例19　在验证牛顿第二定律的实验中（如图3—16），为了研究在质量不变的条件下加速度和作用力的关系，用图示装置连续做了5次实验. 在做第一次时，砂与砂桶的总质量为 m

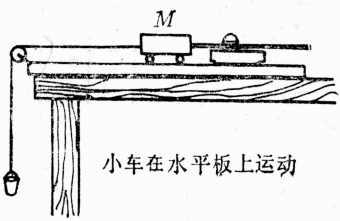


图3—16

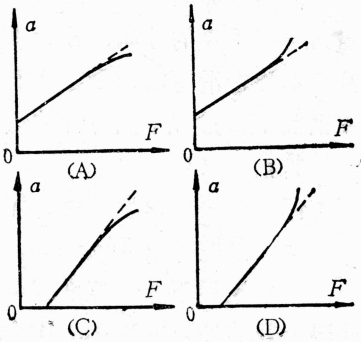


图3—17

$\left(m=\frac{1}{20}M\right)$，以后每次在砂箱内增加砂的质量为 $\Delta m=\frac{m}{2}$. 这5次实验中，第____次实验的数据误差最大. 若按这5组数据画出的 $a-F$ 图像应如图3—17中____所示.

答案　5；C.

评析　本题从实验操作及相应图线的差别来考查学生的分析比较能力.

（杨润田）

例20　质量2千克的物体受到10个力的作用处于静止状态. 这10个力中，$F_1=5$牛，方向向西，$F_2=8$牛，方向向北，$F_3=4$牛，方向向南，其余7个力未有给出. 如果 F_1 消失，其余9个力大小方向不变，求物体运动的加速度大小及方向.

答案　$a=2.5$米/秒^2，方向向东.

评析　本题采用的是等效方法. 10个力平衡，除 F_1 外，其余9个力的合力是 F_1 的平衡力，即跟 F_1 方向相反、大小相等，所以当 F_1 消失时物体受到的合力是向东5牛.

（陈庭芳）

例21　如图3—18所示的装置，A 是质量 $m=1$ 千克的砝码，B 为质量9吨的钢锭. 不计定滑轮的质量和所有的摩擦. 试问在钢锭下落过程中测力计的读数约是多少？

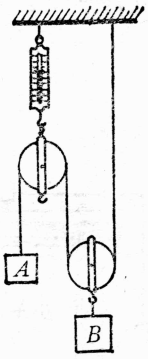


图3—18

答案　60牛.

评析　要求学生运用近似法进行分析.

∵　钢锭重量 $Mg\gg mg$，

∴　钢锭下落加速度 $a\approx g$.

砝码上升的加速度为 $2g$，绳子拉力 $T=3mg$，所以推得测力计的读数是60牛.

（陈立明）

例22　有一位同学用牛顿第二定律和动量守恒定律来证明牛顿第三定律，过程如下：

设两个相互作用的物体所受合外力为零，而相互作用力为F_1、F_2．根据动量守恒定律有

$$m_1v_1+m_2v_2=m_1v_1'+m_2v_2',$$

于是有

$$m_1(v_1'-v_1)=-m_2(v_2'-v_2)\text{或}m_1a_1\Delta t_1=-m_2a_2\Delta t_2.$$

根据牛顿第二定律有

$$m_1a_1=F_1,\quad m_2a_2=F_2,$$

又因　$\Delta t_1=\Delta t_2$，所以得

$F_1=-F_2$．命题得证．

你认为以上论证过程是否正确？

评析　设计此题，从知识角度来说，是要学生明确第三定律的内容．告诫学生，若把$F_1=-F_2$当作牛顿第三定律的全部内容，显然是不对的．从方法角度来看，是要求学生能明确论证的基本方法．要强调指出，相互作用力的作用时间$\Delta t_1=\Delta t_2$本属于牛顿第三定律的内容，把论题用作论据，显然是一种伪证．

（徐承楠）

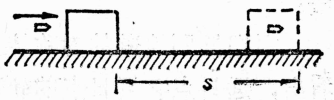


图 3 —19

例23　如图 3 —19，质量为M的木块放在水平面上，木块与水平面的摩擦系数为μ，一质量为m，初速度为v_0的子弹水平射入木块中，并嵌入其中，致使木块沿水平面滑行路程s而停下．根据动量守恒定律、牛顿运动定律及运动学公式，可列出：

$$mv_0=(M+m)v,$$

$$(M+m)g\mu=(M+m)a,$$

$$v^2=2as,$$

所以 $$s=\frac{m^2v_0^2}{2(M+m)g\mu}.$$

在上述解答中，我们做了哪些近似处理？

答案 ①在子弹和木块相互作用时，忽略地面摩擦力，而认为系统总动量守恒；②认为子弹开始进入木块到两者达到相同速度过程中，木块在地面上没有移动.（实际上移动是$d\ll s$）

评析 本题求解过程中采用了两个近似处理，这种物理近似实质上就是理想化处理. 但多数学生可能并未予以足够认识. 通过本题训练，可使学生自觉地认识到这一点.

（郑青岳）

例24 行星围绕太阳沿椭圆轨道运行，太阳处于椭圆的一个焦点上. 行星通过近日点时跟太阳的距离为a，速率为v_a，通过远日点时跟太阳的距离为b，速率为v_b. 试求$v_a:v_b=$？

答案 $v_a:v_b=b:a$

评析 这是一道常见的题目，一般都是用开普勒定律或角动量守恒定律求解. 对高中学生来说最好引导他们运用对称法：

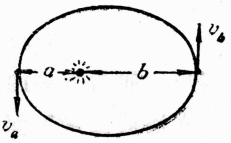


图 3—20

根据椭圆轨道的对称特点容易看出，远日点和近日点的轨道曲率半径相同，设该两点的轨道曲率半径为R，则行星经过该两点时的向心加速度为

$$a_1=\frac{v_a^2}{R},\qquad a_2=\frac{v_b^2}{R}.$$

所需的向心力是万有引力提供的，所以有

$$G\frac{Mm}{a^2}=m\frac{v_a^2}{R} \qquad ①$$

$$G\frac{Mm}{b^2}=m\frac{v_b^2}{R} \qquad ②$$

(1)÷(2)得出　　$v_a:v_b=b:a$.

（陈立明）

例25　大雾天气，司机突然发现汽车已开到一个丁字路口，前面是一条小河（如图3—21）．问司机当时采取紧急刹车或是紧急转弯，哪个方法比较有可能避免危险？

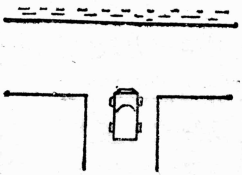


图3—21

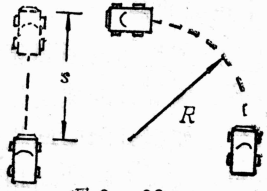


图3—22

解答　解题的关键是把实际问题转化为两种典型的运动学问题：紧急刹车时，可以认为汽车做匀变速直线运动；紧急转弯时可以认为汽车作匀速圆周运动（$\frac{1}{4}$圆弧，图3—22）．这样就是比较匀变速直线运动中最短的刹车距离s_{min}和最小的转弯半径R_{min}的大小问题．设车轮和地面的静摩擦系数为μ则有$s_{min}=\frac{v_0^2}{2\mu g}$，$R_{min}=\frac{v_0^2}{\mu g}$，$R_{min}=2s_{min}$．因此紧急刹车与紧急转弯比较，前者比较有可能避免危险．

一般学生凭自己直觉往往选择紧急转弯的答案．这是因为他们在生活经验中，如果骑自行车遇到前面有行人时，常

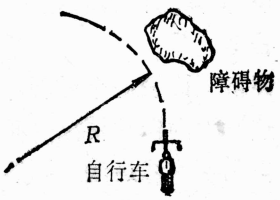


图3—23

常是绕过去而不是立即刹车．从图 3—23可知，这种情况和此题的条件不同．这说明光凭直觉，往往会得到错误的结论．

评析 本题所用的方法是把实际问题转化为两种典型的运动学问题，即纳入匀变速直线运动和匀速圆周运动这两种理想化过程模型之中．这两种典型模型已为人们所熟知．

（夏蒙森）

例26 已知甲、乙两台起重机的实际输出功率 $P_{甲}>P_{乙}$，当它们匀速提升货物到相同的高度时（忽略空气阻力），下列判断中正确的是

（A）如货物的质量相同，则甲的钢绳拉力较大．

（B）如提升的速度相同，则乙的钢绳拉力较大．

（C）如提升的时间相同，则甲的钢绳拉力较大．

（D）如拉力做的功相同，则乙的钢绳拉力较大．

答案 C．

评析 本题考核学生的比较辨析能力．

（李国倩）

例27 质量相等的两质点甲、乙，甲从高处以3米/秒的初速水平抛出，不计空气阻力，经2秒落地；质点乙从斜面顶端以速度3米/秒匀速下滑，经2秒到达底端．两质点在运动全过程中

（A）机械能的变化量相等．　　（B）重力做的功相等．

（C）重力的冲量相等．　　（D）合外力做功相等．

答案 C．

评析 比较两个运动，要分析它们的运动情况、受力情况以及这些力的做功情况．质点甲作平抛运动，只受到重力；质点乙作匀速直线运动，除重力做功外，还有摩擦力做功，支持力则不做功．由此可以知道甲的机械能守恒，乙的机械能不守

恒；甲的动能增加，乙的动能不变，合外力做功不等．可见A，D都是错误的．对B，C则需比较全过程的竖直位移及时间，甲在竖直方向作自由落体运动，下落高度等于20米（取$g=10$米/秒^2），乙在斜面上的位移只有6米，不论倾角多大，其下落高度必定小于6米，可见B也是错的．而甲、乙两质点的运动时间都是2秒，质量又相等，可见重力的冲量是相等的，所以C是正确的．

（陈庭芳）

例28　在静水湖中有两只互相靠近且完全相同的船甲、乙．开始时，在甲船上站有一小孩，且两船均静止，不计水与船的相互作用力．现在小孩以水平速度v在甲、乙两船间来回跳动，且每次起跳的速度都相同．试问在下列两种情况下，船速哪只大？

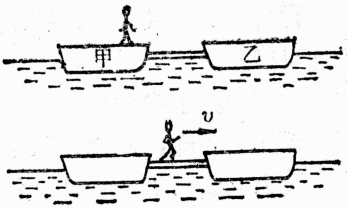


图3—24

①人最终落回甲船；②人在空中且速度方向向乙船．

（A）$v_{甲}>v_{乙}$．　（B）$v_{甲}<v_{乙}$．

（C）$v_{甲}=v_{乙}$．　（D）无法确定．

解答　据实测情况看，对①大多数学生能按动量守恒定律列公式，算出$v_{甲}<v_{乙}$．对②，则有很多同学选C，其实，整个系统动量是守恒的，总动量为零．当小孩在空中时，既然有向乙船的动量，则乙船的动量肯定比甲船小，而它们的质量相同，故乙船速度亦小．

评析　本题考查守恒方法．

（柯　蔑）

例29　质量为M的小车静止在光滑的水平地面上，车上有N个质量均为m的小球．现用两种方法将球以相对于车的恒定

速度 v 向右水平抛出．第一种：将 N 个小球一起抛出；第二种：将 N 个小球一个接一个地抛出．问用上述两种方法抛完小球后，哪一种方式使车的最终速度大？

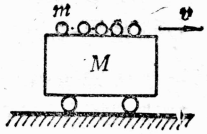


图 3—25

答案　第二种．

评析　像这类题目，学生往往习惯根据物理原理和数学方法加以判断，这不但要求学生有清晰的物理图景，还要有较好的数学基础，不少学生感到困难．能不能让学生用简单的数据模拟操作一下呢，总比无从下手为好．这就要用到算法方法．

设 $N=2$，$M=m=1$千克，$v_0=1$米/秒．根据动量守恒定律进行有关计算，得出

第一种方法：$1\times v_1=2(1-v_1)$，$v_1=\frac{2}{3}$米/秒．

第二种方法：$2\times v_0'=1(1-v')$，$v_0'=\frac{1}{3}$，

$$2\times\frac{1}{3}=1\times v_2-(1-v_2),\quad v_2=\frac{5}{6}\text{米/秒}>v_1.$$

（柯　蔓）

例30　对事物的分类必须要有一定的根据，分类的根据不同，分类的结果也会不同．如对动量、功、冲量、动能 4 个物理量，我们可按如下两种方式将它们分为两类．

甲方式：动量、动能 // 冲量、功．

乙方式：动量、冲量 // 动能、功．

试说明甲、乙两种方式分类的依据各是什么？

答案　甲方式是根据状态量和过程量分，乙方式是根据矢量和标量分．

评析　本题的目的是使学生懂得，在对事物进行分类时，

首先必须确定分类的根据．同一事物，可根据不同的标准分出不同的结果．

（郑青岳）

例31 相向运动的甲、乙两球相撞后，一起沿甲球原来的运动方向前进，这是因为

（A）甲球的质量大于乙球的质量．

（B）甲球的速度大于乙球的速度．

（C）甲球的动能大于乙球的动能．

（D）甲球的动量大于乙球的动量．

答案 D．

评析 本题的关键是解决甲球的动能大于乙球，是否甲球的动量也一定大于乙球的问题．考核比较辨析能力．

（李国倩）

例32 子弹击中冲击摆可以隔离成子弹和摆相互作用及子弹随摆一起向上摆动两个过程来处理．能理想化地完全分开为两个过程的理由是什么？

答案 子弹和摆相互作用时间很短，可把摆在这段时间里的位移忽略．

评析 本题从过程分析的缘由角度考核理想化方法的运用水平．

（李国倩）

例33 从动能、功、动量和冲量4个物理量中选择填入以下题目的空格中：在高20米处以10米/秒的初速度水平抛出一个质量0.2千克的小球，不计空气阻力．

（1）可以求出抛出后第1秒内球的重力的____的大小及方向，还可以求出第1秒末球的____的大小及方向．

（2）小球重力在第2秒内的____比第1秒内的____大．小

球重力在第2秒内的____和第1秒内的____相等。

(3) 改变抛出方向（初速大小不变），则球落地时的____改变、____不变.

答案 (1) 冲量、动量；(2) 功、功、冲量、冲量；(3) 动量、动能.

评析 本题的命题意图是检查学生是否能对动能、功、动量、冲量这4个物理量的共同点及不同点进行比较，在比较的基础上解题. 以(1)为例，两个空格应填的物理量都是矢量，所以应该从动量及冲量中来选择. 前一格是“第1秒内”的量，是过程量，应选填冲量；后一格是“第1秒末”的量，是状态量，应选填动量.

（陈庭芳）

例34 下面是一些填空题：

(1) 同一物体在地球上不同地方，它的 *A* 是有一些差别的.

(2) 利用天平可以称出物体的 *B*.

(3) 速度一定的物体，它的动能跟 *C* 成正比.

(4) 一定 *D* 的理想气体，温度不变时，它的压强跟体积成反比.

(5) 电子在电场中运动时，它的 *E* 可以忽略不计.

(6) *F* 大的物体惯性大，运动状态难改变.

在以上6个题目的空格中：①填“质量”的是_____；②填“重力”的是_____.

答案 ① *B*, *C*, *D*, *F*； ② *A*, *E*.

评析 本题必须在比较质量和重力的基础上才能正确解出. 质量和重力是两个完全不同的物理量，它们的定义、是否是矢量、是否是物体固有属性（是否随地点、运动状态而变）

以及测量方法等都是不同的．但是，由于它们之间联系比较紧密，加以日常生活中常常把它们混为一谈，所以学生常常觉得混淆不清．因此，对质量和重力的比较，单靠高一力学一节课是不够的．在以后的热学、电学、原子物理学等有关章节中，还要不断加以比较，才能对这两个物理概念有明确的认识．

（陈庭芳）

例35 审读下列题目．试问：为解此题，需作哪些理想化处理？

题目：用长1米的细绳悬挂一只质量为100克的小球，将球拉离平衡位置，使细绳与平衡位置成60°角，然后释放，试求小球到达最低点时细绳的张力．

答案 把小球当成质点，不计细绳的质量以及不计空气阻力．

评析 本题涉及的题目的具体求解并不难，且为学生熟知．但其实际蕴含的理想化的处理环节却往往为学生所忽视，故本题考核了学生对具体的物理问题进行理想化处理的能力，针对性较强．

（李国倩）

例36 有一个在水平方向上的简谐振动，振子由平衡位置向右运动，经过0.2秒，速度降为0.5米/秒，又经过0.6秒，速度变为0.5米/秒，但方向向左，则这个振子可能的周期是

（A）0.6秒．（B）1.2秒．（C）2.0秒．（D）2.4秒．

解答 此题可利用简谐振动的对称性来解．如图3—26，设振子以O为平衡位置在A，B之间振动．据题意，$t=0$时，振子在O点，$t=0.2$秒时速度降为0.5米/秒，设它在C点，方

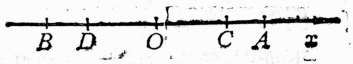


图3—26

向还是 x 轴正方向. 再经过0.6秒（即 $t=0.8$ 秒时）速度变为0.5米/秒，此时振子可能在 C 点，也可能在与 C 对称的 D 点方向向左. 根据简振在时间上的对称性，振子从 $O\to C$ 与从 $C\to O$ 及从 $O\to D$ 的时间相同，从 $C\to A$ 及从 $A\to C$ 的时间也相同. 因此再经过0.6秒（即 $t=0.8$ 秒时）振子落在 C 点，即是振子从 $C\to A$ 又回到 C 是0.6秒. 即从 $C\to A$ 是0.3秒，则从 $O\to A$ 是0.5秒故周期为 2 秒. 若 $t=0.8$ 秒时振子在 D 点，同样可推知其周期为1.2秒，故应选 B，C.

评析 该题运用对称思想方法来解决振动的周期问题，比用振动方程解方便，而且现在教学大纲对振动方程不要求，那么解决本题非用对称方法不可.

（邬志林）

例37 如图 3—27所示，用在水平的天花板上以两根等长细线悬挂的一个小球做成一单摆，线长为 L，线与天花板的夹角是 α，求当球在垂直于纸面方向作简谐振动时的周期？

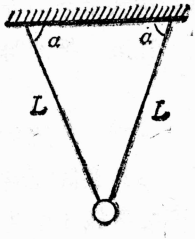


图 3—27

答案 $T=2\pi\sqrt{L\sin\alpha/g}$.

评析 教材介绍了单线摆的周期，此题则考查双线摆作简谐振动的周期问题. 首先要求学生对单摆有完整、准确的理解，然后运用等效方法把双线摆看作一个摆长为 L' 的单摆，求出等效摆长 $L'=L\sin\alpha$.

（俞祥露）

例38 填空：

下面是有关波的性质的几种说法：

（A）能发生干涉、衍射现象；（B）有横波，也有纵波；（C）要靠媒质传播；（D）波长、波速和频率的关

系是 $v=\lambda f$；（E）从一种媒质进入另一种媒质时，f 不变，v、λ 会变．在这些性质中：①光波和机械波相同的有_____；②不同的有_____．指出不同处在哪里？

答案　①A，D，E；②B：光波是横波，没有纵波，C：光不需媒质传播．

评析　本题考查学生能否对机械波及光波进行比较．

（陈重威）

例39　通常情况下1厘米长度上排列的液态水分子大约有多少个？（阿伏伽德罗常数 $N=6\times10^{23}$ 摩尔$^{-1}$，水分子量18）（取1位有效数字）

（A）3×10^{8}．　（B）5×10^{7}．

（C）3×10^{7}．　（D）3×10^{22}．

答案　C．

评析　这是一道运用模型的题目，把水分子看作一个个紧挨的排列整齐的正方体或弹性小球，即把实际复杂的水分子作了简化处理，因此计算得到的水分子数只是一种粗略的数值．

（俞祥露）

例40　在用油膜法测分子直径的实验中，对油酸分子作了哪些理想化处理？这些处理对固、液、气都适用吗？

答案　作了两点处理：一是忽略油酸分子的具体形状，简化为球体；二是认为分子一个紧挨一个，忽略分子间的空隙．上述两点对固体、液体均适用；对气体，分子间的空隙就不能忽略．

评析　本题目的在于使学生明确测分子直径时所采取的理想化方法以及这种处理必须接近原型．

（沈正之）

例41　在油膜法测分子直径的实验中，用盆口直径为0.4

米的面盆盛水，要让油酸滴在水面上散成单分子油酸膜，那么油酸滴体积的数量级不能大于____米^3．为了得到这样小的油滴，可以先把油酸稀释成油溶液，再用滴管把这种油酸溶液滴到水面上．若测得1毫升油酸溶液为120滴，那么1毫升油酸至少应稀释成多少毫升的油溶液？

（A）几十毫升．（B）几百毫升．

（C）几千毫升．（D）几万毫升．

答案　10^{-11}，B．

评析　通过本题让学生了解油膜法实验的一些具体步骤、实验材料（油溶液）跟实验器材（面盆、滴管）间的制约关系，并从中培养估算能力．

（沈正之）

例42　单分子油膜的边界如图3—28所示，每个方格的面积为5×5厘米^2，试估测油膜面积．

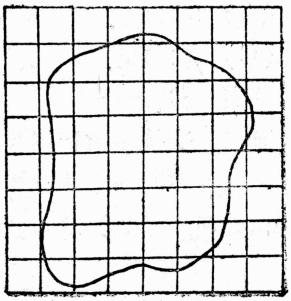


图3—28

答案　（8.0～8.5）$\times10^{-2}$米^2．

评析　本题目的在于培养学生掌握估测不规则面积的能力．

（沈正之）

例43　成功的布朗运动实验应该通过显微镜观察到以下哪种物质或运动？

（A）悬浮颗粒．　（B）分子．

（C）几个悬浮颗粒的运动．　（D）分子的无规则运动．

答案　C．

评析 通过本题让学生明确在该实验中的观察对象和显示的现象.

（沈正之）

例44 在讲台上打开一瓶汽油的瓶盖，在整个教室里都可以闻到汽油味. 由此可以说明汽油分子是

（A）运动的. （B）向四周沿直线运动的.

（C）作无规则运动的.

（D）运动的，速度跟温度有关.

答案 A.

评析 根据本题题干只能说明A对，而不能推出B，C，D. 但学生容易误选C和D，原因往往是不能从具体情景进行分析，而只是死记关于扩散和分子热运动的结论. 所以本题是一道考查分析能力的题目.

（沈正之）

例45 在一盛有温水的杯子上盖一块擦干净的玻璃，在玻璃上可以看到先是一片淡淡的雾迹，继而出现小水珠，并逐渐成为大水珠，后来水滴又掉入杯内，但在玻璃上留下了水迹. 从这一现象可以说明

（A）水分子作无规则运动.

（B）水分子间有吸引力.

（C）水分子与玻璃分子间有吸引力.

（D）玻璃分子间有吸引力.

答案 B，C，D.

评析 本题所述现象只能说明水分子运动而不能说明无规则运动，故A错；从水分子附着于玻璃和凝成水滴说明C和B对；从水滴下落在玻璃上留有水迹，而不是玻璃屑随水滴下落，说明D对. 本题是用积累的方法从宏观现象探求微观性质

的题目.

（沈正之）

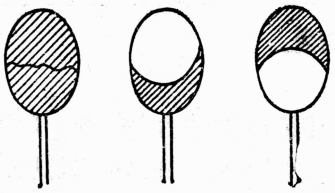


图 3—29

例46 如图 3—29甲，竖直放置的金属丝圈的中间牵有一条松弛的细线，圈上蒙有一层薄肥皂膜．用烧热的针刺破膜的一边，可使膜的另一边收缩，如图乙、丙．若要用此实验现象来说明液体的表面张力，你乐于采取图乙的方案，还是图丙的方案？为什么？

答案 宜采取图丙的方案．因为科学实验应当尽可能排除其他干扰因素．线与液膜受有重力，若刺破液膜的上边，下边的液膜收缩有可能是重力作用所致．而刺破液膜的下边，则不会存在这种干扰因素．

评析 本题主要的目的在于教育学生，说明同一道理可能有多种实验方案，我们应当选择那些对获得结论干扰最小的方案．

（郑青岳）

例47 下面关于理想气体的说法，正确的是

（A）只有当温度很低时，实际气体才可以当作理想气体．

（B）只有当压强很大时，实际气体才可以当作理想气体．

（C）在常温常压下，许多实际气体可以当作理想气体．

（D）所有的实际气体在任何情况下都可以当作理想气体．

答案 C．

评析 本题直接对理想化模型（实物）的典型之一——理想气体进行考核．

（郑青岳）

例48 用以下方法可以导出理想气体状态方程，你认为这

个方法是否正确？试作出判断，并说明理由.

根据玻—玛定律有

$$p_1V_1=p_2V_2. \qquad ①$$

根据查理定律有

$$\frac{p_1}{T_1}=\frac{p_2}{T_2}. \qquad ②$$

根据盖·吕萨克定律有

$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}. \qquad ③$$

把①、②、③式的左边相乘，右边也相乘，可得

$$\left(\frac{p_1V_1}{T_1}\right)^2=\left(\frac{p_2V_2}{T_2}\right)^2,$$

即有

$$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}. \qquad ④$$

评析 以上推理过程是不合理的. 三条实验定律各以等温、等压、等容作前提，同时用了三条定律就意味着最后结果同时满足，即 $T_2=T_1$，$p_1=p_2$，$V_1=V_1$，于是④式仅表示三个状态量均无变化情况下的恒等式，而理想气体状态方程要反映气体状态变化的规律，因而这种推理并没有得到这种规律.

（徐承楠）

例49 两端封闭的玻璃管内有一段水银柱及上下两段空气柱，玻璃管竖直放置（如图 3—30），上下两段空气柱初温相同. 让两段空气柱均升高相同温度，用图像法判断水银柱是否运动？如运动，则确定其运动方向.

答案 假设水银柱不动，则可运用气体等容变化规律，由 p—T 图（图 3—31）可知 $\Delta p_{下}>\Delta p_{上}$，所以水银柱向上运动.



图 3—30

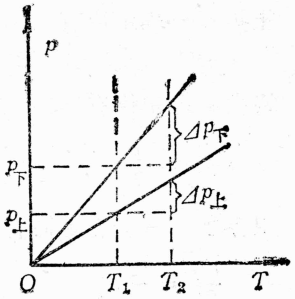


图 3—31

评析 本题有许多种解法. 这里运用假设方法. 要研究水银柱如何运动，先假设其不动. 在此基础上又借用图像法进行分析，既直观又简便.

（陈庭芳）

例50 如图 3—32，粗细均匀的管子开口向下浸在水银槽内，内有一段水银柱封住一段空气柱，保持水银槽水银面上的管子长度不变，当将其缓缓倾斜一定角度 θ 时，则出现的现象是

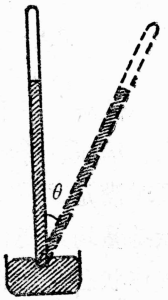


图 3—32

（A）空气柱长度将增大.

（B）空气柱长度将缩短.

（C）水银柱的竖直高度将下降.

（D）水银柱的长度将增大.

解答 设想把管子转到水平位置，则管内水银柱的竖直高度将减小到零，被封气体压强将增大到外界大气压，可见空气柱的体积将因压强增大而减小，即空气柱长度缩短，又因管长不变，故管内水银柱长度将增大. 可见管子转过 θ 角时，其空气柱长度必将缩短，水银柱的竖直高度也必降低，管内水银柱

的长度必增大，因此正确的选项应是B，C，D.

评析 本题的解法称极端判断法. 其基本思路是把小幅度的物理状态变化扩大为最大幅度的状态变化，从最大幅度时状态即极端状态与原始状态的差别，推理变化到某个小幅度时的状态与原始状态的差别. 如极端状态与原始状态的差别是显而易见的，则小幅度时的状态与原始状态的差别判断就极易确定. 因为一般地说，整个状态变化过程总是按同样规律变化的也是本解法的前提条件. 在有些需要比较在变化较小幅度时的状态与原始状态的区别而又一下子难以判断的情况下，用这种极端判断法常能收到简捷方便的效果.

（杨祖荫）

例51 下列有关卡文迪许实验与库仑扭秤实验进行的比较中，正确的是

（A）卡文迪许实验中两个球要大些，库仑扭秤实验中两个带电球要小些.

（B）卡文迪许实验中两个球要小些，库仑扭秤实验中两个带电球要大些.

（C）卡文迪许实验中两个球之间距离要大些，库仑扭秤实验中两个带电球之间距离要小些.

（D）卡文迪许实验中两个球之间距离要小些，库仑扭秤实验中两个带电球之间距离要大些.

（E）卡文迪许实验与库仑扭秤实验对球的大小与球之间的距离在原则上没有不同要求.

答案 A，D.

评析 本题表面上是考查比较方法，实际上更重要的是领会实验的精髓在于控制的思想，要根据实验的具体情况进行控制. 因为万有引力量级小，而质量不会重新分布，所以实验过

程应使两球大些、近些；而库仑力量级大，且电荷在带电体距离变化时会重新分布，所以实验过程应使两球小些、远些.

（姜水根）

例52 一个由绝缘物质构成的半径为R的球形物体被挖去一小球块，被挖的小球块以大球半径OA的中点O'为球心，以$\frac{R}{2}$为半径（如图3—33）让被挖后的球体均匀地带上正电荷，电荷体密度为ρ. 若将一质量为m，带电量为$-q$的点电荷在A点释放，试求它从A运动到O的时间.

解答 先求OA上各点处的场强. 显然. 所求场强等于图3—34中大小两个实心带电球各自产生的场强的矢量差. 对OA上离O为x的P点，有

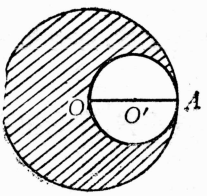


图3—33

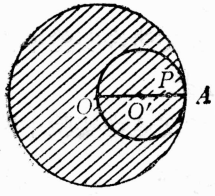


图3—34

$$E_p=E_{p1}-E_{p2}=k\frac{\rho V_{大}}{x^2}-k\frac{\rho V_{小}}{\left(x-\frac{R}{2}\right)^2}$$

$$=k\frac{\rho\cdot\frac{4}{3}\pi x^3}{x^2}-k\frac{\rho\cdot\frac{4}{3}\pi\left(x-\frac{R}{2}\right)^3}{\left(x-\frac{R}{2}\right)^2}$$

$$=\frac{2}{3}k\pi\rho R=\text{恒量}.$$

所以点电荷受恒力将作匀加速运动. 有

$$a=\frac{2}{3}k\pi\rho Rq/m,\quad t=\sqrt{\frac{2R}{a}}=\sqrt{3m/k\pi\rho q}.$$

评析 场强的计算是等效思维的一次很好训练.

（沈为民）

例53 描写电场力的性质的物理量是电场强度，类似地，对重力场力的性质，我们也可引出一个重力场强度去描写，重力场强度的定义式应是_____.（用公式表示）.

答案 $g=\frac{G}{m}$.

评析 重力场强度概念在课本中并没有出现，但它可以由电场强度概念类推出来. 这种训练可使学生触类旁通，举一反三.

（郑青岳）

例54 对①电场强度，②电势，③电场力，④电势能4个物理量有下述两种分类方法，分别说出分类依据.

(1) ①和②为一类，③和④为一类.

(2) ①和③为一类，②和④为一类.

答案 (1) 按是否电场固有特性分类；(2) 按描述电场中力的特性还是能的特性分类.

评析 考查学生分类的能力.

（张培荣）

例55 在“描绘静电场中的等势线”实验中

(A) 描出的等势线是静电场的等势面与白纸的交线.

(B) 由于表笔接触的两点通过G表连成通路影响了静电场分布，所以描出的等势线已变形.

(C) 描出的等势线不是静电场的仅与静电场的等势线分布相类似而已.

（D）G表通路不影响画出的等势线分布.

答案　C，D.

评析　考查学生对模拟实验方法的了解.

（张培荣）

例56　平行板电容器的两板相距为d，在其中插入厚度为$\frac{d}{3}$，面积与极板面积相同的板状物体（如图3—35）.

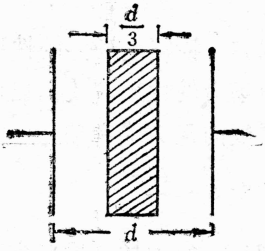


图3—35

（1）若板状物体为金属，那么在计算电容时，相当于极板间的距离发生了怎样的变化？

（2）若板状物体是介电常数为ε的电介质，那么在计算电容时，相当于极板间的距离发生了怎样的变化？

解答　（1）可看成两只极板间距为$\frac{d}{3}$的电容串联，总容量等于极板间距为$\frac{2}{3}d$的一只电容，所以插入金属板，相当于板间距离减小了一个金属板的厚度.

（2）可看成三只电容串联，中间一只电容是另两只的每一只的ε倍，这只电容的极板间距相当于$\frac{d}{3}$的$\frac{1}{\varepsilon}$倍. 可见，插入电介质，相当于插入部份的距离变为原来的$\frac{1}{\varepsilon}$.

评析　该题并不具体计算什么物理量，而是希望引导学生进行等效思维.

（沈为民）

例57　平行金属板M，N间距为d，板长为l，所加电压

为U，在上板右边缘A处，有一β放射源，能向各个方向不断地放射不同速率的电子．在另一端中点B有一个与板平行的小管（如图3—36所示）．求从小管中射出去的电子的速率表达式．

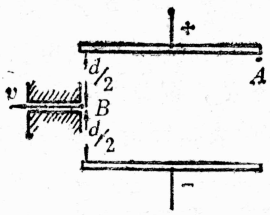


图3—36

解答　设从A发出通过B管的电子速度为v，则从B发出以相等大小的速度v向右射入电场后，必将到达A处，从B到A时间为$t=l/v$，电子的加速度为$a=Ue/dm$（其中e、m分别为电子的电量和质量）．由运动学方程得

$$\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\cdot\frac{Ue}{dm}\cdot\left(\frac{l}{v}\right)^2,$$

$$\therefore v=\frac{l}{d}\sqrt{\frac{Ue}{m}}.$$

评析　本题采用的解题方法叫对称法（又叫可逆法或反演法）．它是把原来从A到B的状态变化过程变换为从B到A状态的逆过程来处理问题的，使题解简捷．如在本题中，从A发出的电子的速度大小和方向都是不确定的，要在这么多不同运动状态的电子中检出能通过B小管的电子，并知道其通过时的速度大小是很困难的．但如上所解，把问题变换为从B到A的过程处理，就轻易地解决了问题．

（杨祖荫）

例58　给你一只经过修理而未校准的安培表，一只电阻箱及电源等辅助器材，试设计一个方法，以尽可能准确地测定一个未知电阻的阻值．

解答　先按图3—37左图将未知电阻R_x、电源、安培表接

成串联电路，记下安培表指针的位置；然后按右图用电阻箱 R_0 代替 R_x，调节电阻箱阻值直到安培表指针指到第一次记下的位置，则有 $R_0=R_x$.

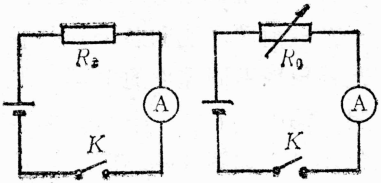


图 3 —37

评析 此题在实验上叫代换法，实际上就是一种等效的方法.

（夏蒙森）

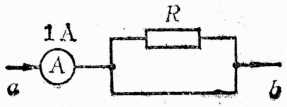


图 3 —38

例59 如图 3 —38所示电路，$R=100$欧的电阻与一导线并联，电路中安培表的读数为 1 安，则

（A）R中的电流为 1 安.　（B）R中的电流为零.

（C）ab 间电压为零.　（D）ab 间电压为100伏.

答案　B，C.

评析 本题主要考查学生是否能把导线中的电流和电阻中的电流进行比较，并确认电阻中的电流可看作是零，即是否掌握理想化方法.

（张培荣）

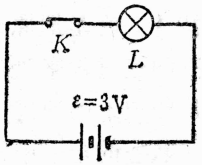


图 3 —39

例60 如图 3 —39电路，接通开关后灯 L不亮，用伏特表测量，发现K两端电压为 3 伏，L两端电压为零. 电池盒两端电压为 3 伏，则可能的故障是

（A）灯 L的灯丝断了.　（B）开关K接触不好.

（C）电池盒内电池接触不好.　（D）有某根导线中间断了.

答案　B.

评析 本题是考查学生是否能把断路元件等效看成一个无穷大电阻，它与一般电阻串联时电压都降在断路元件两端。

（张培荣）

例61 在图3—40中，$R_2=2R_3$，当K闭合时，通过R_2的电流强度为I．如果当K断开时，通过R_2的电流强度为$3I$，则R_1及R_2应满足下列条件中的

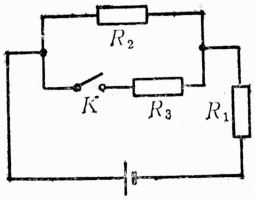


图3—40

（A）$R_1=R_2$．（B）$R_1\gg R_2$．

（C）$R_1\ll R_2$．（D）不论R_1、R_2多大均可．

答案 B．

评析 当$R_1\gg R_2$时，$R_1+R_2\approx R_1+R_2/3$，而$R_2/3$是R_2和R_3的并联电阻值，这里忽略了R_2或$R_2/3$这个次要因素（电源内阻r也是次要因素，可忽略），认为电路的电流强度是不变的，是一个稳流电源，这种理想化处理跟半偏法测电流表内阻情况是相似的．

（陈庭芳）

例62 如图3—41所示，$R_1=2$千欧，$R_2=R_3=4$千欧．当K闭合时，通过R_3的电流强度$I_3=0.75$毫安，K断开时，通过R_3的电流强度$I_3'=$？

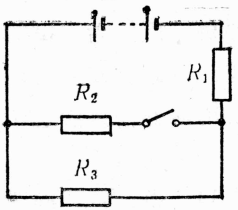


图3—41

某同学的解法如下：

路端电压$U=2I_1\left(\dfrac{R_3}{2}+R_1\right)$

$=2\times0.75(4/2+2)$伏$=6$伏．

$I_1'=U/(R_1+R_3)=6/(2+4)$毫安$=1$毫安.

(1) 这种解法把蓄电池看作稳压电源，他忽略了什么次要因素?

(2) 如果数据改为 $R_1=2$欧，$R_2=R_3=4$欧，$I_3=0.75$安，还能以相同方法来解吗？为什么?

答案 (1)忽略了蓄电池内的电阻和电势降，因内阻比外电阻小得多.

(2) 外电阻仅几欧，与电源内阻可以相比，不能把蓄电池看作稳压电源.

评析 考查学生能否把理想化方法运用到较复杂的具体问题中去.

(柯 莫)

例63 在如图 3—42所示的电路中，两个电源的电动势均为 ε，内阻均为 r，两个电阻的阻值都等于 R，试求 U_{AB}.

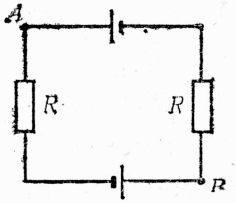


图 3—42

解答 A、B两点在整个电路中的地位没有差别，没有理由其中一点的电势应比另一点高，故 $U_{AB}=0$.

评析 该题若用欧姆定律解则较烦琐，运用电路的对称性，注意到A、B两点的地位相同，能直接得出结论，且是对学生运用对称性方法思考问题的一种训练.

(沈为民)

例64 甲、乙两同学用已经过校准的两只不同型号的伏特表分别测量某一电子线路上一元件两端的电压，甲测得的结果是14.7伏，乙测得的结果是13.6伏. 试问其中哪一个结果更接近伏特表未接入前这元件两端的电压值？若把两只伏特表同时接到这元件的两端，测得的电压值会怎样?

解答　题目中未给出被测电路的具体情况．但可以想象这电路具有如图3—43那样的形式．当伏特表未接入时，被测元件两端电压 $U_0=\frac{\varepsilon R}{R+r}$．伏特表接入后，被测元件两端电压 $U=\frac{\varepsilon R_{并}}{R_{并}+r}$，其中 $R_{并}=\frac{Rr_V}{R+r_V}=\frac{R}{1+\frac{R}{r_V}}$ 是伏特表接入电路后元件与伏特表的并联总电阻．显然 $R_{并}<R$，因而 $U<U_0$．也就是说甲、乙两同学测得的元件两端的电压值都小于伏特表未接入时的电压值(但“准确地”等于伏特表接入时的电压值)．两人测量的读数不同，表明两只伏特表的内阻不同(已排除读数误差的可能性)．因此，甲同学的测量结果更接近伏特表未接入时元件两端的电压值．

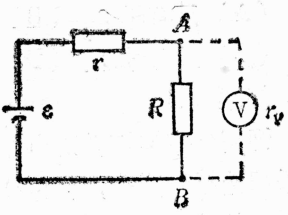


图 3—43

同理可以说明，如将两只伏特表同时接到元件的两端，则它们的读数相同，都小于13.6伏．

评析　此题用了等效方法，把一个未知电路转换成一个典型的串并联电路．

（夏蒙森）

例65　如图 3—44所示电路，电源内阻不能忽略，R_1 为10欧，R_2 为 8 欧．当开关扳到位置 1 时，安培表示数为 0.20 安；当开关 K 扳到位置 2 时，安培表示数可能是

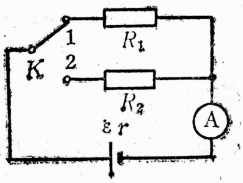


图 3—44

①0.27安；　②0.24安；③0.21安；④0.18安．

（A）只有①②.（B）只有②③.

（C）只有③④.（D）只有①②③.

答案　B.

评析　本题涉及的电路简单且典型，为学生所熟知，但由于采用选择题形式，作可能性判断，使本题的求解思路多样，对方法的考核功能显著. 如比较1、2两个支路，因为$R_2<R_1$，可断定$I_2>I_1$（0.20安），即可排除④. 又如比较1、2两支路的端电压，应$U_2<U_1$，假设U_2取U_1为极限值，则$U_2\leqslant U_1=I_1R_1=0.20\times10$伏$=2$伏，由此可见$I_{2m}=\dfrac{2\text{伏}}{8\text{欧}}=0.25$安$<0.27$安，又可排除①. 因此在内阻不定的情况下，显然介于0.25安与0.20安之间的值皆是可能的. 顺此思路求解，可反映学生运用比较方法、假设方法的能力.

（李国倩）

例66　有4个灯泡A、B、C、D. 它们的电阻分别是$R_A=R_B=10$欧，$R_C=R_D=40$欧，按图3—45连接，接入电路后比较它们的功率，则

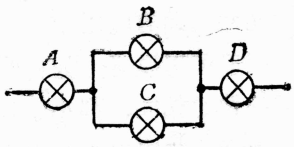


图3—45

（A）$P_A>P_B>P_C>P_D$.（B）$P_B>P_C>P_D>P_A$.

（C）$P_C>P_D>P_A>P_B$.（D）$P_D>P_A>P_B>P_C$.

答案　D.

评析　此题根据$P=I^2R$和$P=\dfrac{U^2}{R}$运用比较法，要比较它们的功率的不同，恰恰要抓住它们的相同点，即灯B与灯C电压相同，灯A与灯B电阻相同，灯D与灯A电流相同.

（姜水根）

例67 如图3—46所示电路，当滑动触头向左滑的过程中，A表读数变___，V表读数变___，A_1表读数变___，A_2表读数变___.

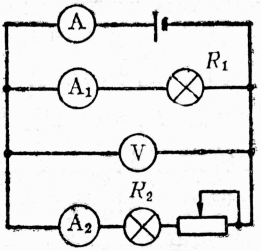


图3—46

答案 大、小、小、大.

评析 本题根据$I=\frac{\varepsilon}{R+r}$，$U=\varepsilon-Ir$和$I_1=\frac{U}{R_1}$进行分析，要分析变化量，恰恰要抓住不变量. 前三个填空抓住ε、r、R_1不变，第一个填空由单变量因素$R_{外}$判别I，第二填空由单变量因素I判别U，第三个填空由单变量因素U判别I_1. 第四填空不能由单变因素判别，因$I_2=I-I_1$，要由其变化产生效果的加强来判别，不能从$I_2=\frac{U}{R_2}$得出，因其变化产生效果抵消而成为不定问题.

（姜水根）

例68 一个内阻不可忽略的电源两端接上“6V 6W”的小灯泡A，恰好能正常发光.如果改接“6V 3W”的小灯泡B，B灯泡实际消耗的功率将是____3瓦.（填“大于”、“小于”或“等于”）（假定灯泡灯丝的电阻随温度变化可以忽略）.

答案 大于.

评析 本题题意简洁，要求恰当，重在思路分析. 分析所涉及的基本概念、规律较多，题设条件又有显隐之别，足以考核学生在比较辨析、思维有序等多方面的能力.

（李国倩）

例69 如图3—47电路中调节R_2，要使R_2上消耗的功率

最大，R_2 应满足

（A）$R_1+R_2=r$.

（B）$R_1+r=R_2$.

（C）$R_2=0$.（D）$R_2=\infty$.

答案　B.

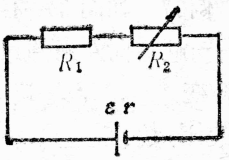


图 3—47

评析　本题是考查学生是否能把 R_1 和电池一起看成一个等效电源，即等效内阻为 (R_1+r)，然后应用当 $R=r$ 时输出功率最大的规律解题.

（张培荣）

例70　有一均匀的导线环，从环上任意两点 A、B 接出两根很大的沿环半径方向的导线，由导线向环输入电流（如图 3—48）. 求环上的电流在环心处产生的磁场的磁感应强度.

解答　两根导线沿半径方向接出，因而连接导线上的电流在环心处产生的磁感应强度为零. 环的 ACB 部分及 ADB 部分在电路中是并联的（如图 3—49），所以 $\dfrac{I_C}{I_D}=\dfrac{\overset{\frown}{ADB}}{\overset{\frown}{ACB}}$，且

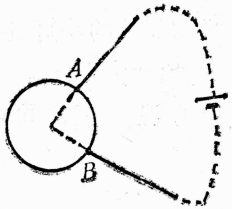


图 3—48

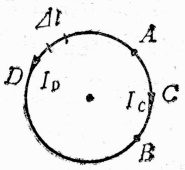


图 3—49

I_C、I_D 在环心产生的磁场方向相反. 由于环上每一小段在环心处产生的磁感应强度与小段的长度及小段上通过的电流成正比，因此，导线环的 ACB 部分和 ADB 部分在环心处产生的磁场恰好抵消. 也就是说，环心处的磁感应强度为零.

评析 解本题时，巧妙地利用了圆环“对称性”（比较复杂意义上的）的特点.

（夏蒙森）

例71 关于理想变压器，下列叙述正确的有

（A）忽略穿到铁芯外部的磁场，每匝原副线圈内的感生电动势相同.

（B）忽略原副线圈的电阻，原副线圈两端的电压之比等于匝数之比，即$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$.

（C）进行上述忽略后变压器输出功率等于输入功率.

（D）变压器输出功率随输入功率的变化而变化.

答案 A，B.

评析 通过变压器理想化处理的再认，进一步认识理想变压器的理想化条件和工作基础.

（周 珑）

例72 发电机的输出功率为P，经升压变压器把电压升至U后用电阻为R的输电线将电能送到目的地，再用降压变压器降低电压供用户用电. 设用户的总电阻为R'，变压器损耗功率可以忽略. 则用户得到的功率是

（A）$\frac{P^2}{U^2}R$.　　（B）$\frac{P^2}{U^2}R'$.

（C）$P-\frac{U^2}{R}$.　　（D）$P-\frac{P^2}{U^2}R$.

答案 D.

评析 本题考核学生对概念的比较辨析能力.

（李国倩）

例73 图3—50是三角形接法和星形接法的两个对称的三

相负载电路．每相电阻分别是R和r．将它们先后接在同一三相电源上后，线电流恰相等，则R与r的关系是

（A）$R=\sqrt{3}r$．　　（B）$R=\frac{r}{3}$．

（C）$R=3r$．　　（D）$R=\frac{\sqrt{3}}{3}r$．

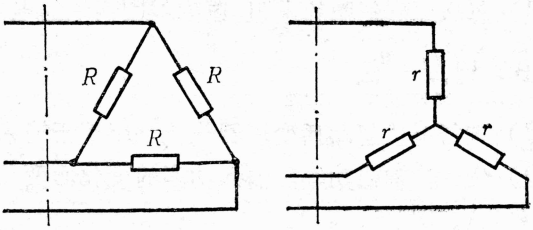


图 3—50

答案　C．

评析　本题用隔离方法求解．

（周　珑）

例74　关于磁现象的本质，安培提出了分子电流概念．分子电流概念是在以下何种情况下提出的？

（A）安培当时根据原子结构理论，是严格推理的结果．

（B）安培当时通过精密仪器观察到分子电流．

（C）安培当时根据电流的磁效应现象，是一种假定性的猜测．

（D）安培当时凭空想象出来的．

答案　C．

评析　分子电流是一种科学假说，本题的目的是使学生确认这一点，并使学生了解这一假说的建立基础以及科学假说的意义．

（郑青岳）

例75 6条彼此绝缘的通电直导线构成4个大小相等的正方形，导线上的电流强度相等，方向如图3—51．各正方形中磁通量为零的是

（A）只有1和3．　　（B）只有2和4．

（C）1、2、3、4．　　（D）都不为零．

答案　B．

评析　通过示意图来研究物理现象是一种常用的研究方法．由于示意图仅仅是“示意”，只要不违背科学原理，就不必过多追求精密或准确．高中学生学过安培定则，很容易判断直线电流周围的磁场方向．他们虽然不能定量计算直线电流附近磁感应强度的大小，但能够定性知道离直线电流越近，磁感应强度越大．有了以上两点知识，就可以用示意图来对本题进行判断．先来画直线电流 a 的磁场，根据安培定则，4个正方形中的磁场均为“·”，但2和3两正方形离 a 较近，磁感应强度较大，用一个较大的“·”来表示，而1和4两正方形磁感应强度较小，用较小的“·”来表示（见图3—52）．要注意，这里的大点及小点（以及下面的大“×”和小“×”）都仅仅是一种示意的符号，并不是表示磁力线的粗细，但可以理解为磁力线密疏．利用同样的方法，把6条直线电流的磁场都画出来（如图3—53），然后把大“×”与大点抵消，小“×”与小点抵消，就可以知道2和4两个正方形内磁通量为

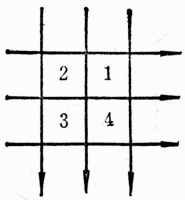


图3—51

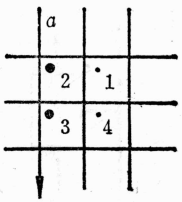


图3—52

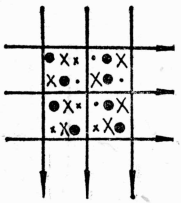


图3—53

零，1和3不为零．还可以知道正方形1内的磁力线为小“·”，正方形3内的磁力线为小“×”．

（陈庭芳）

例76　闭合矩形线圈A与直导线L在同一平面内，线圈的两边与直导线平行（如图3—54）．直导线上有减小的直流电，方向未给出，根据以上条件，可以求出

（A）线圈上的感生电流方向．

（B）线圈各边所受安培力方向．

（C）整个线圈所受安培力合力方向．

（D）以上三个都求不出．

答案　B，C．

评析　L的减小直流电方向未知，可先假设方向向上．根据安培定则、楞次定律及左手定则可以判定感生电流方向为顺时针，线圈各边受安培力如图3—55所示．由于离L近处磁感应强度较大，安培力较大，所以整个线圈受合力方向向左（向L靠近的方向）．然后再假设L上的电流方向向下，判定感生电流方向为逆时针，线圈各边受力如图3—56所示，整个线圈受合力方向向左．由此可见，不论L上电流向上或向下，B、C两项均可求出，而感生电流方向则跟L上的电流有关，无法知道．以上所用的方法是假设法，当题目必须知道的条件未给出时，可以自己加以假设，像本题那样，可能的条件个数有

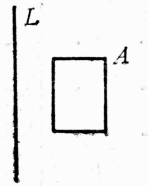


图3—54

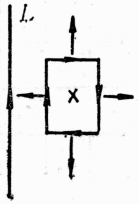


图3—55

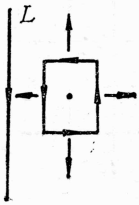


图3—56

限时，可以用穷举法把一切可能的条件（这里只有两个）都加以考虑，然后再综合进行判断．这个题目的另一种解法是因果法，利用楞次定律的“效果反抗原因”，可以知道，当L上电流减小时，穿过线圈A的磁通减少（原因），而线圈的运动（效果）则应使磁通增加，所以不论L上电流方向如何，线圈所受合力必定使线圈靠近L．由于整个线圈受力是线圈上远近两条平行边所受安培力的合力，而远边受力小，近边受力大，就可知道这两边的受力方向．同时，另两边的受力方向也可知道．这种方法解决问题比较快速，但学生难以掌握．前一种方法虽然比较麻烦，却是一种利用基本物理规律的基本方法．在教学中，应该根据学生的实际能力选用这种或那种方法，不要强求一律．

（陈庭芳）

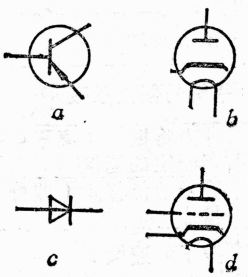


图 3—57

例77 图 3—57中有 4 只管子，按以下两种方式进行分类：

(1) a，c为一类，b，d为一类，这是根据_____来分的．

(2) a，d为一类，b，c为一类，这是根据_____来分的．

答案 (1) 构造；(2) 作用．

评析 本题检查学生能否按不同的标准进行分类．

（陈庭芳）

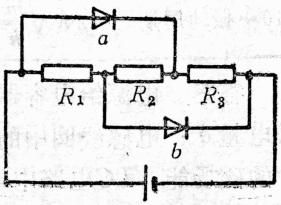


图 3—58

例78 图 3—58中的 3 个电阻阻值分别是 R_1=1欧，R_2 2欧，R_3=3欧．a，b是两只

理想二极管. 求R_1，R_2，R_3消耗电功率之比. 如果把电池反接，求R_1，R_2，R_3消耗电功率之比.

答案　6∶3∶2及1∶2∶3.

评析　所谓理想二极管，是指正向电阻为零、反向电阻为无限大的二极管，是理想化元件.

（陈庭芳）

例19　在弹簧振子与LC振荡电路之间可以找到许多对应关系，试找出两者的对应关系，并填写下表.

	弹簧振子	LC电路
1	振子质量m	电感L
2	弹簧的倔强系数k	电容器电容的倒数$\frac{1}{C}$
3	外力将振子拉离平衡位置使之具有一定的能量	
4	振子的位移x（即弹簧的形变量）	
5	振子的速度v	
6	弹簧的弹性势能	
7	振子的动能	
8	弹簧振子动能和势能的相互转化	
9	简谐振动按正弦规律变化	
10	振动周期$T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$	

答案　电源给电容器充电，使之具有一定的能量；电容器带电量q；电感线圈中的电流i；电容器的电场能；电感线圈中的磁场能；LC电路中电场能与磁场能相互转化；电磁振荡按正弦规律变化；电磁振荡周期$T=2\pi\sqrt{LC}$.

评析 本题主要是让学生在机械振动与电磁振荡之间建立一种类比关系，以达到触类旁通的目的．其中6、7两项并不要求学生写出数学表达式．

（郑青岳）

例80 在弹簧振子模型中，我们认为：①质量集中在振子上，而弹簧则不带有质量；②振子振动时没有受到摩擦阻力，这样，在振动过程中系统的机械能守恒．如果我们要建立一个理想化的LC振荡电路模型，并将弹簧振子模型与它类比，则相应地，这个电路模型应具有什么特点？

答案 ①磁场全集中在电感线圈中，电路其他部分不存在磁场；②电路无电阻，不会产生焦耳热．电路不会向外辐射能量，这样，电路在振荡过程中，电场能和磁场能的总量将保持守恒．

评析 本题要求学生借鉴建立弹簧振子理想化模型的方法，建立理想化的LC振荡电路模型．既用到类比方法，又用到理想化方法，是方法意义上的“综合题”．

（郑青岳）

例81 如图3—59，S为发光点，SA及SB为发光点射向平面镜的两条光线，不用量角器，只用圆规、直尺，你能画出SA及SB经平面镜反射的光线吗？

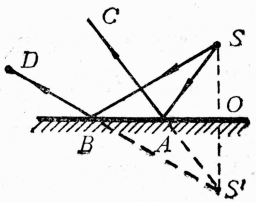


图3—59

答案 作SO垂直平面镜，把SO延长到S'，令$OS'=OS$、连$S'A$及$S'B$，延长之，AC及BD即为SA及SB的反射线．

评析 这道题应用的是逆向思维法．平面镜成像，本来是

利用光的反射定律，作出经平面镜反射后的光线，这些反射线的延长线交于一点 S'，S' 即 S 的虚像．再证明 S 与 S' 对镜面对称，这是由物理过程得出结论．本题的作图法是利用这个结论来逆推，得出其物理过程，这就是逆向思维法．

（陈庭芳）

例82 如图 3—60，一人站在房中，想在墙壁 AB 上挂一平面镜，通过平面镜观察到天花板上吊灯 MN 的全貌．试用作图法确定平面镜至少要多高？应挂在什么位置？

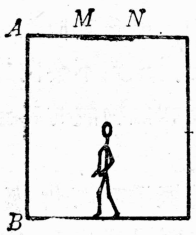


图 3—60

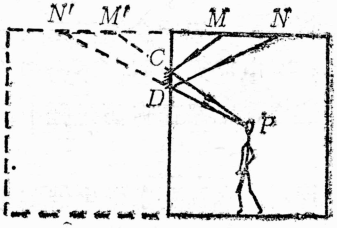


图 3—61

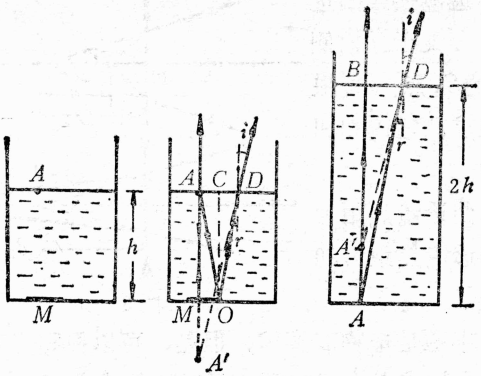
答案　如图 3—61，设想平面镜足够大，根据对称性作出吊灯 MN 的像 $M'N'$，连接 PM'，PN' 交 AB 于 C，D．因为要看到 $M'N'$ 全貌，所以平面镜至少要 $\overline{CD}$ 那么大．连接 MC 和 ND，它们分别是反射线 CP，DP 的入射线．

评析　本题直接利用镜像对称性，以作图法求解．

（陈重威）

例83 如图 3—62甲所示，在容器底放一平面镜 M，注入水深 $h=10$ 厘米，有一小发光体 A 漂浮在 M 上方的水面上．若从正上方稍偏右处观察，发光体 A 的像在水下多深处？（已知水的折射率为 4 / 3 ）

答案　看到像在水下15厘米深处．



甲　　乙　　丙

图 3—62

评析　按常规解法较麻烦. 图乙是实际成像光路图. 由于从接近于正上方观察，i 和 r 的值都很小，可认为 $\sin i=\operatorname{tg} i$，$\sin r=\operatorname{tg} r$，根据折射定律，$\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}=\dfrac{AD/AA'}{CD/h}=\dfrac{4}{3}$.

而　$AD=2CD$，得　$AA'=\dfrac{3}{4}\times 2h=15$厘米.

利用对称关系求解比较简便. A通过平面镜成像，相当于将发光点从水面移到水深为 $2h$ 处，如图丙所示. 根据折射定律：

$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\operatorname{tg} i}{\operatorname{tg} r}=\frac{BD/BA'}{BD/2h}=\frac{4}{3},$$

得　$BA'=\dfrac{3}{4}\times 2h=15$厘米.

（吕基昌）

例84　如图 3—63所示，一束光原会聚于 S 点，若在 S 点左侧30厘米处放一凸透镜，光线会聚于 S 左侧20厘米处的 S_1

点；再将凸透镜换成凹透镜，则光线会聚于S右侧45厘米处的S_2点．试根据上述结果求凸透镜和凹透镜的焦距．

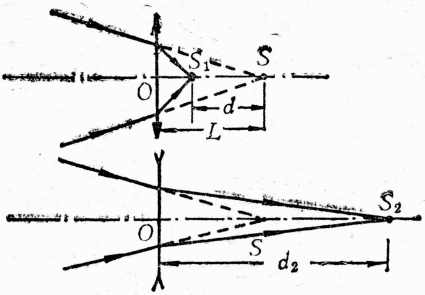


图 3—63

答案　凸透镜焦距为15厘米，凹透镜焦距为50厘米．

评析　本题是虚物成实像，但是，可以根据光路可逆原理，转化为实物成虚像的问题，用透镜公式求解．

（吕基昌）

例85　两个完全相同的平凸透镜的平面紧贴时，测得其焦距为f．现将一个平凸透镜换成平面镜，在透镜前d处（$d>f$）放一点光源S，如图3—64上图所示，问它将成像于何处？

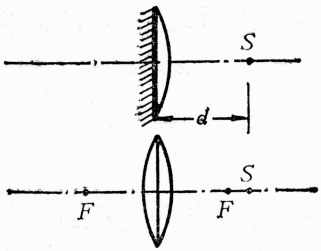


图 3—64

答案　实像在凸透镜前，像距为$\dfrac{fd}{d-f}$．

评析　由于从光源发出的光两次经过平凸透镜，根据对称性，本题上图装置等效于下图，根据透镜公式就能求出像距．

（吕基昌）

例86　一个物体经透镜成像，下面几种情况中可能的情况是

（A）凸透镜所成实像位于焦点内．

（B）凸透镜所成虚像位于焦点内．

（C）凹透镜所成虚像位于焦点内.

（D）以上三种情况均不可能.

答案　B，C.

评析　凸透镜所成实像必定在焦点之外，即$v>f$，这不仅课本已有叙述，学生也十分熟悉，A就很容易被排除. 所以这个题目就变成虚像位于焦点之内的可能性判断问题. 以下三种方法均可判定B，C是正确的.

公式证明法　利用透镜公式直接证明$|v|<f$（凸透镜）或$|v|<|f|$. 证明方法如下.

凸透镜：由透镜公式得$v=uf/(u-f)$，因v为负值，所以$|v|=uf/(f-u)$. 因为$u/(f-u)$可能大于、等于或小于1，所以$|v|$可能大于、等于或小于f. 也就是说凸透镜的虚像既可能在焦点外，也可能在焦点内或焦点上.

凹透镜：因凹透镜焦距为负值，所以$|v|=u|f|/(u+|f|)$，显然$u/(u+|f|)$是小于1的，所以必有$|v|<|f|$，也就是说凹透镜的虚像必定在焦点内.

假设法　先假设虚像可能位于焦点内，再来研究物距u是否合理.

凸透镜：$\frac{1}{u}=\frac{1}{f}-\frac{1}{v}=\frac{1}{f}+\frac{1}{|v|}$，不论$|v|$多大，$\frac{1}{u}$必大于零，即$u>0$，假设正确.

凹透镜：因$|v|<|f|$，所以$v>f$（v和f均为负值），$\frac{1}{v}<\frac{1}{f}$，但$\frac{1}{u}=\frac{1}{f}-\frac{1}{v}>0$，即$u>0$，假设正确.

作图法　利用透镜成像作图法来判断成像的可能性，既简单又明瞭，可以很快得出结论.

凸透镜：如图3—65，让物体从靠近焦点（焦点内）的位

置 A_1B_1 向靠近光心的位置 A_2B_2 移动，平行主轴光线 A_1C 经透镜折射后通过焦点，折射线为 CF，其反向延长线为 CD，虚像应在 CD 上．由图很容易看出通过光心的光线 A_1O 及 A_2O 的延长线跟 CD 的交点（虚像）可能离透镜很近（对 A_2），也可能很远（对 A_1）．还可以看出，当 $u=f/2$ 时，像刚好成在焦点上．可见虚像成在焦点内是可能的．

凹透镜：如图 3—66，不论物体 AB 的位置在哪里，从图中光路可以看出，所成虚像位置必在焦点内．

（陈庭芳）

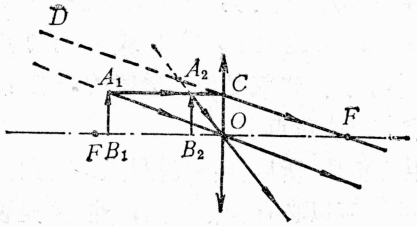


图 3—65

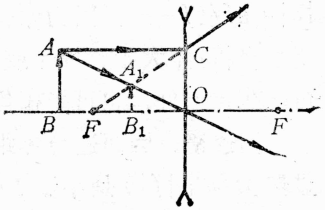


图 3—66

例87 点光源 S 放在凸透镜 L 的主光轴上离透镜光心两倍焦距处，在光屏 P 上得到 S 清晰的像．下列说法中正确的是

（A）若在 S 与 L 间垂直主轴插入原玻璃平板，应将 P 远离 L 移动，方能得到 S 清晰的像．

（B）若在 L 与 P 间垂直主轴插入厚玻璃平板，应将 P 靠近 L 移动，方能得到 S 清晰的像．

（C）若在 S 与 L 间垂直主轴插入厚玻璃平板，应将 S 靠近 L 移动，方能在 P 上得到 S 清晰的像．

（D）若在 L 与 P 间垂直主轴插入厚玻璃平板，应将 S 远

离L移动，方能在P上得到S清晰的像.

答案　A，D.

评析　根据光路可逆原理，选项A与D陈述的实为同一情景（同理，选项B与C的情况也相同）. 故本题对考核学生是否掌握光路可逆原理（对称法）的功能较强.

（李国倩）

例88　下列各式中是该物理量的定义式的是

（A）加速度$a=F/m$.

（B）磁感应强度$B=F/(IL)$.

（C）感生电动势$\varepsilon=\Delta\phi/\Delta t$.

（D）透镜成像放大率$m=v/u$.

答案　B.

评析　上面4式都是a/b的比值形式，但是只有$B=F/(IL)$才是以比值定义的定义式.

（陈庭芳）

例89　写出下列每组物理概念（或现象）的共同点.

题　次	物　理　概　念　（或现象）	共　同　点
例	力、速度、动量	都是矢量
（1）	质量、电势、温度	
（2）	简谐振动图像、简谐波图像、正弦交流电图像	
（3）	音叉的振动、弹簧振子的振动、单摆的振动（摆角很小时）	
（4）	效率、摩擦系数、折射率	
（5）	加速度、功率、磁感应强度	

答案　（1）都是标量；（2）都是正弦曲线；（3）都是简谐振动；（4）都没有单位；（5）都是以比值定义的物理量.

评析　通过比较方法，认识有关物理概念的共同点.

（陈庭芳）

例90　在中学物理中，学过许多物理常数，如滑动摩擦系数μ、万有引力恒量G、密度d、比热c、静电力恒量k、介电常数ε、电阻率ρ、折射率n、普朗克恒量h等. 有两位同学各自给上述常数进行分类，你能说出他们分类的依据吗？

甲同学的分类是：μ、ε、n为一类，其余6个为一类.

乙同学的分类是：G、k、h为一类，其余6个为一类.

答案　甲：μ、ε、n没有单位，其余6个有单位. 采用不同的单位制，前3个数值不变，其余6个的数值随单位制不同而不同. 乙：G、k、h对任何物质均适用，其余6个对不同物质有不同的数值.

评析　本题考核分类方法，强调采用不同的标准可以得到不同的分类结果.

（陈庭芳）

例91　某空间内可能存在磁场或电场，可能磁场及电场同时存在或都不存在. 一束α射线、β射线及γ射线以同一方向进入此空间，如它们的运动轨迹仍为一束，则此空间

（A）可能有磁场，无电场.

（B）磁场及电场可能都存在.

（C）必定没有磁场也没有电场.

（D）可能有互相垂直的匀强电场及匀强磁场.

答案　A，B.

评析　电场及磁场有许多共同点，也有许多不同点，其中

带电粒子的受力情况及运动情况是主要的不同点之一. γ射线是不带电的，无论在电场或者磁场中都不受力，作匀速直线运动. 既然带正电的α射线和带负电的β射线跟γ射线一样都作直线运动（但不一定是匀速运动），则α射线及β射线可能不受力，或者受力方向跟运动方向保持一致或相反. 当带电粒子在磁场中的运动方向跟磁力线方向相同或相反时，粒子不受洛仑兹力作用；当粒子运动方向跟磁力线方向成一不为零的角度时，粒子必受洛仑兹力作用，但洛仑兹力的方向不可能跟运动方向相同或相反. 由此可见，此空间可能没有磁场，也可能有磁场，且射线的初始运动方向跟磁力线相同或相反. 带电粒子在电场中必定受到电场力作用（除某特殊点$E=0$外），当运动着的带电粒子在电力线是直线的电场中沿电力线方向（或相反方向）运动时，粒子受到的电场力跟运动方向相同或相反，粒子作变速直线运动. 可见，此空间可能没有电场，也可能存在电场. 但是，如果电场及磁场同时存在的话，电力线与磁力线的方向必须相同或相反，否则，射线不可能保持直线运动. 综上所述，解此题的基础是对电场及磁场进行认真的比较，只有对带电粒子在这两种场中的受力情况及运动情况有十分清晰的了解，且思维全面、有序，才能由果溯因，正确无误地作出判断，这对高中学生来说是比较困难的，所以，此题测试结果的难度仅为0.30.

（陈庭芳）

例92　关于电子云的如下认识，正确的是

（A）电子云是存在于原子内部的一种雾状物质.

（B）电子云是用精密仪器拍摄到的，它反映了电子在原子内不同位置出现的机会的多少.

（C）电子云是用来形象描写电子在原子内不同位置出现

机会多少的一种物理模型.

（D）电子云是用来形象描写原子中电子数目多少的一种物理模型.

答案　C.

评析　本题主要考查学生对电子云这一物理模型的内容实质是否了解.

（郑青岳）

例93　通过建立假说模型来研究未知事物及其规律，一般有如下几个步骤：①建立模型；②观察到若干事实；③修改模型；④作出预言；⑤实验检验.

试结合原子结构模型的建立过程，确定上述步骤合理的顺序是

（A）①②③④⑤.　　（B）②①④③⑤.

（C）②①④⑤③.　　（D）②①③④⑤.

答案　C.

评析　科学假说模型是科学研究的重要方法. 本题的目的是让学生了解建立假说模型的主要环节和一般性程序. 可在教完原子结构模型后使用.

（郑青岳）

例94　自然界中有电子，也有正电子，正电子也可称为反电子. 反电子最初是科学家狄拉克受自然界的对称性启发而提出的一个假说，后来在实验中得到验证. 试根据这一事实，提出三个类似的猜想.

答案　①有质子也可能有反质子；②有中子也可能有反中子；③有物质也可能有反物质.

评析　对称类比是类比推理的一种重要类型. 本题要求学生借助正电子与电子的对称关系，推出其他反粒子及反物质存

在的可能性．教师在应用本题前，可以适当介绍狄拉克建立正电子假说的史实．本题答案中提及的反质子和反中子已经被科学家所发现，而反原子及反物质尚未发现．本题知识虽属“超纲”，但作为一种训练方法也可提出，进行适当练习，只是在要求上应有一定的弹性，不必要求所有学生都做完整的回答，也不宜用作测验题．

（郑青岳）

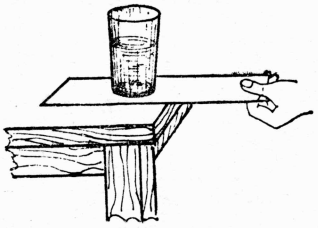
附　录

高中物理方法教育资料选编

1. 关于惯性的几个演示实验

惯性是中学物理教学中一个重要的概念. 为了纠正学生对惯性的错误认识，在教学过程中应按排一些关于惯性现象的演示实验，下面介绍3个供教学时参考.

（1）在盛水的玻璃杯下压一条长纸条，缓慢地拉动纸条（如图附—1），依靠杯底跟纸条之间存在的摩擦力，将杯子慢慢地拉到桌沿，使学生感到杯子有掉下桌子的危险. 此时迅速拉动纸条，杯子则仍保持静止在原来的位置上.

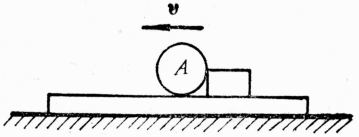


图附—1

（2）用一架托盘天平，两边各自放置物体和砝码，且使天平处于平衡状态. 将一根直径很小的空心细玻璃管轻轻搁在天平的一端，可发现天平向这端倾斜，这会使学生感觉到天平

的灵敏度是很高的．然后用力猛击这细玻管，可以看到玻管被击断而天平仍保持平衡．

（3）在一个如图附—2所示的光滑木块上，放置一个大号玻璃试管A，当推动木板向左运动时，玻管将随木板一起向左运动，在运动过程中如突然使木板停止运动，则可看到玻管继续保持向左运动的状态．



图附—2

（李高风）

2．假如有一个亚里士多德的弟子

古希腊哲学家亚里士多德认为，物体下落的快慢是由它们的重量决定的，物体越重，下落得越快．17世纪意大利物理学家伽利略用推理的方式论述亚里士多德的理论的内部矛盾．他说，根据亚里士多德的论断，一块大石头的下落速度要比一块小石头的下落速度大，当我们把大小两块石头拴在一起时，下落得快的会被下落慢的拖着而减慢，结果整个系统的下落速度应该小于单块大石头的下落速度；但是两块石头拴在一起，总的重量比大石头的重量还要大，因此说，重物体比轻物体下落速度要小，这样就从重物体比轻物体下落得快的假设推出了重物体比轻物体下落得慢的结论，使亚里士多德的理论陷入了“自相矛盾”．

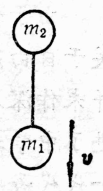
由于物体在真空中下落的快慢与物体的重量无关，伽俐略关于自由落体运动的结论是正确的，因而人们往往对他的推理并未作深入的思考便全盘接受下来．它被当作最著名的推理写进了中学物理的一本本教科书，被当作最巧妙论证的典范，由一代代教师们传授，印进一个个学生的脑海里．

实际上，揭露亚里士多德错误的是牛顿运动定律，由于不

计阻力，$G=mg=ma$，则$a=g$，物体在真空中下落快慢应与重量无关．而亚里士多德所讲到的重物体下落得快的现象是因为实际上在下落过程中还受到了空气的阻力．

现在我们设想有一个亚里士多德的弟子，虽然他在看到自己的先师的理论受到了批评时隐隐心中作痛，然而他在学习了牛顿运动定律之后还必须承认亚里士多德的理论的确是错误的．但是他毕竟不像其他人那样人云亦云地赞同伽利略．他可能更多地在思考：虽然亚里士多德错了，但伽利略的推论就一定正确吗？他向我们提出这样的一个问题：在空气阻力相当大的情况下，一个重物体比一个轻物体下落得快（这可是可能的），那么如果根据伽利略的推理方法，把这重物体与轻物体拴在一起，其下落速度会比单块重物体慢，从而得出重物体比轻物体下落慢．这样，伽利略的推理方法，不仅可以批驳真空中重物体比轻物体下落得快的结论，而且竟然还可以否定在有空气阻力的情况下，重物体比轻物体有可能下落得快的事实，这就使人们不得不重新审视伽利略的推理的正确性．

揭露伽利略推理错误的也是牛顿运动定律．设有密度不同而体积相仿的两个物体，重物体m_1与轻物体m_2，在下落时受到相同的阻力f（这就是说，重物体受到阻力相对于其重量之比比轻物体的小），那么根据牛顿运动定律，它们的加速度分别为$a_1=g-\frac{f}{m_1}$，$a_2=g-\frac{f}{m_2}$，则$a_1>a_2$，可知重物体下落得快．如果用伽利略的方法，把两物体拴在一起(如图附—3)，重物体被轻物体拖着受阻，那么$a=g-\frac{2f}{m_1+m_2}<g-\frac{2f}{2m_1}=a_1$，即两块物体拴在一起比单个重物体下落慢，但这并



图附—3

不能否定原先的$a_1>a_2$，不能推出重物体比轻物体下落慢的结论.我们现在可以看出伽俐略论证中的逻辑推理是有问题的.亚里士多德所说的重物比起轻物体下落得快实际上是有条件的，即重物体受到的阻力相对其重量之比比较小（亚里士多德不知道这一点），而伽俐略把重物体与轻物体拴在一起下落比单个重物体慢，这是因为这个系统受的阻力相对系统的重量之比已变得较单个重物体的要大(伽俐略也不知道这一点)，将改变了论述条件之后进行的推理所得出的不同结论来进行对比，以此论证亚里士多德理论的自相矛盾，这在逻辑上是错论的. 亚里士多德的弟子向我们显示了：虽然亚里士多德的这个论断是错误的，但是伽俐略批评他的推理论证本身也是不正确的.

诚然，伽俐略在物理学史上光彩照人，但这次推理毕竟是千虑一失，后世不能步其后尘.

（王　芷）

3. 科学理论和科学方法完美结合的成果*

——海王星的发现

被恩格斯誉为“科学上的勋业”的海王星的发现，在科学史上具有极为重要的意义. 它不但揭开了天王星运动之谜，使人们认识了太阳系家族中新的一员，而且为万有引力定律提供了新的佐证. 因为海王星发现的整个过程，包括对天王星运动“不规律性”的原因分析，存在未知行星假说的提出，以及方程的建立，都是以万有引力定律为依据的. 更为重要的是，海王星的发现，显示了科学理论和科学方法相结合的巨大力量. 在发现海王星的整个过程中，科学家严密的逻辑推理和丰富的科学想象，有创见的科学假说和精巧的理论计算，达到了高度

*本文根据孙小孔《海王星发现始末》一文编写.

完美的统一．在高中物理课本中，对海王星发现过程的介绍十分简略，教学中有必要做适当的补充，以使学生从中得到科学思想方法和研究方法的熏陶．

人类对海王星的探索要追溯到对天王星摄动现象的观察．太阳系第7颗行星天王星是在1781年被确认的．1820年，法国天文学家布瓦德搜集了有关天王星的观测资料，根据万有引力定律算出天王星的轨道，发现计算值与1781年以后的观测值相差很大．这一事实引起了布瓦德及许多天文学家极大的困惑和兴趣．开始，他们都怀疑以往观测记录的可靠性，但是，就当时的观测技术水平来说，这种偏差已远远超出了观测可能产生的误差范围．因此，他们断定，问题不是出自观测，应该在理论计算上找原因．

但是，人们很自然地提出一个问题：同样是以万有引力定律为根据进行的计算，为什么对别的行星能够准确地预测出运动位置，而唯独运用到天王星，理论计算就失误了呢？于是，有人设想，是不是因为天王星离太阳最远（根据当时所知），万有引力定律对它就不再适用了？万有引力定律是否需要修正？然而，当时绝大多数天文学家仍然坚信，经过100多年实践考验的万有引力定律是正确的，依靠万有引力定律可以弄清天王星运动“不规律性”的原因．为此，布瓦德提出，可能是有某种未知的力量作用于天王星．使它的轨道发生了变化．

那么，究竟是什么未知力量呢？当时提出的有这么几种假说：

“灾变说”．认为在1781年以后不久，曾有彗星撞击天王星，于是使它改变了轨道．

“未知卫星说”．认为天王星有一颗尚未发现的卫星，它影响着天王星的轨道运动．

“未知行星说.”认为在太阳系中有一颗比天王星更远的行星，它的引力作用使天王星的轨道发生偏离，即摄动.

对于“灾变说”，因为人们并未在那一时期观测到彗星经过天王星，而且根据这一假定进行计算，误差极大，故被否定.对于“未知卫星说”，因为若真的有这样的一颗卫星，其质量和体积之大应足以用望远镜发现，但当时人们并未观察到，故也被否定.于是，在19世纪30年代后期，“未知行星说”为绝大多数的天文学家所接受，成为一个公认的科学假说.

接下来的工作就是通过计算去预言未知行星的位置.当时，有两位青年天文学家——英国的亚当斯和法国的勒威耶在进行这项工作时，显示了坚强的毅力和卓越的才华.他们各自独立地算出了新行星的质量和运动轨道.

由于问题复杂，因素繁多，因此必须做出科学的假设使问题得到合理的简化，否则将无法建立和求解方程.亚当斯和勒威耶在运算时，第一步假设未知行星的轨道是圆形，且到太阳的距离是天王星到太阳距离的2倍.将计算结果与观测数据作比较，发现相差不大.于是第二步假设，将圆形轨道改为具有某一离心率的椭圆形轨道，再进行比较，发现相差更小.然后再做出第三、第四步假设，逐步改正假设，逐次逼近，终于确认出新行星的各个参数.

亚当斯先后在1845年10月21日和1846年9月2日向剑桥天文台和格林威治天文台报告了自己的计算结果，但都没有受到重视.勒威耶于1846年9月18日写信给柏林天文台的加勒，报告了自己的研究成果.加勒于9月23日收到信后，当晚就进行观测，结果在偏离预言位置不到1°处发现了一颗未知的行星.这就是人们所要寻找的那颗新行星.根据勒威耶的建议，这颗

星被命名为海王星.

（郑青岳）

4. 布朗运动*

1827年，英国植物学家布朗（1773～1858）用显微镜观察了水中的花粉悬浮体. 看到的现象，使他感到非常惊奇. 关于这种令其吃惊的现象，布朗是这样描述的："当对浸入水中的长度为四千分之一到五千分之一英寸（约5～6微米**）的非常小的粒子和种籽进行实验时，我观察到其中很多粒子在明显的运动……. 这些运动的形式是这样的，经过多次重复观察之后，使我感到惊讶的是：它们既不是由于液体流动引起的，也不是由于液体经常不断地蒸发引起的，而是归结于粒子本身". 布朗还注意到：粒子在不间断地运动着，它们的运动明显地表现出杂乱无章的特性. 布朗运动的原因，甚至连定性的解释也只是在经过五十年后才实现的. 在那个时候，就连原子和分子的存在，很多人都是不相信的；不管怎么说，直接的实验证明在当时还未曾有过. 所以，起初认为可能的是粒子依靠它们所固有的"生命力"而运动，因为它们来源于有机物. 可是，当利用各种完全不同的微小粒子（其中包括无机物），多次重复布朗实验之后，发现这种效应是普遍存在的，并且除了温度之外，不受任何外界因素的影响. 随着温度的升高，布朗粒子的运动强度明显地增大.

只是到了19世纪70年代的末期，才把布朗运动的原因同液体分子与悬浮在液体中的粒子表面发生碰撞联系起来. 如果粒子的颗粒较大，分子将从各个方向均匀地对其进行碰撞，则悬浮的粒子将保持原地不动. 而微小的粒子具有很小的表面积，

*译自俄文版《少年物理百科辞典》.

**此处原文有误，已订正.

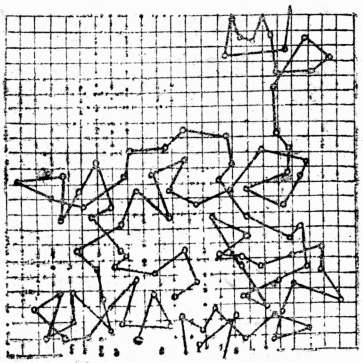
来自各个方向上的碰撞彼此不能保持平衡．于是，粒子将以随机性的方式在液体的表面上漫游．

关于布朗运动的第一个定量的理论，出现在1905年，它的作者是爱因斯坦．在这一年爱因斯坦发表了他的经典著作《热分子运动论所要求的静液体中悬浮粒子的运动》．

在自己的著作中，爱因斯坦提出，对于布朗粒子的随机漫游，可作如下解释：粒子同悬浮着它们的介质的分子同等地参予热运动，并具有同样的平均动能．可是，由于粒子质量大得多，它们的速度不可比拟地小．在已知粒子半径和液体粘度的情况下，只要测定出在一定时间内的粒子位移量，就可以计算出阿伏伽德罗常数．

用实验证明爱因斯坦的上述理论，是法国物理学家佩兰（1870～1942）的功劳．他决定研究微观粒子在特制的乳浊液中的分布问题．佩兰和他的同事于1906年开始进行一系列的上述实验．主要困难在于制备含有相同半径的粒子的乳浊液．经过多次失败之后，佩兰成功地获得了这些由藤黄（一种从某些树木乳状汁中取得的含有很多树脂的物质）及玛蒂脂（形形色色的树脂之一）构成的粒子．为了达到必要的稠密度，粒子悬浮在添加12%的水的甘油中．

这些实验的结果如下：将一滴乳浊液滴入由盖玻璃紧紧覆盖着的、深度为0.1毫米的玻璃盘中，利用专门的显微镜，经过一定的时间间隔观察一次乳浊液粒子的位置．图附—4描绘了三个藤黄粒子的轨迹．



图附—4　在甘油中作布朗运动的藤黄微粒的轨迹

空心圆点表示经过相等的时间间隔之后粒子所处的位置．可见，粒子的运动完全是随机性的；每次位移的幅度都是任意的，所有的运动方向都是不可预见的．

在跟踪了几千个粒子的运动并将所得数据代入爱因斯坦公式后，佩兰终于相当精确地计算出了阿伏伽德罗常数．

（吴景文）

5．对动量和动能的两点注记

（一）动量 mv 和动能 $\frac{1}{2}mv^2$ 都是用来表征物体的“运动量”的，即都是对物体机械运动的量度．人们为什么会提出对运动进行量度的问题？机械运动为什么既可以用 mv 去量度，又可以用 $\frac{1}{2}mv^2$ 去量度？为什么需要有两个量去量度，而不只用一个量去量度？用 mv 和 $\frac{1}{2}mv^2$ 分别是从哪个角度去量度机械运动？它们各自适用于什么场合？等等．这些不仅仅是物理学的问题，而且也涉及到哲学上的问题，所以，在历史上曾经引起了许多物理学家和哲学家的共同兴趣．从17世纪末起，在欧洲学术界对这些问题整整争论了半个多世纪，最后历时一个多世纪才使这些问题得到彻底解决．

任何事物都是质和量的统一，我们不但需要了解事物质的规定性，也需要了解事物量的规定性．从研究机械运动的需要看，为了从量的方面去研究和把握机械运动规律，必须找到一个合适的物理量来量度机械运动．从哲学高度审视，为了阐明运动不灭这个哲学原理，也要求物理学家能找到合适的表征物体机械运动的量，以使从量的角度来证明物质运动的永恒性．

我们知道，牛顿第二定律 $F=ma$ 描写的是力的瞬时作用效果；动量定理 $Ft=\Delta mv$ 描写的是力对时间的积累效果；动

能定理 $Fs\cos\alpha=\Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ 描写的是力对空间的积累效果. 所以可以说，动量 mv 是从时间角度量度机械运动，动能 $\frac{1}{2}mv^2$ 是从空间角度量度机械运动. 同一个机械运动，用两个量从不同的角度去量度它，这应当是允许的. 这正如对于一个圆的大小，我们既可以用面积，也可以用半径去描写它一样. 所以，我们不应当带有某种偏见去承认一个，排斥另一个. 我们可以看到，用两个量去描写物体的运动甚至是必须的. 那么，我们应当如何根据问题的性质和需要，选用某一个或两个量呢？

从动量定理 $Ft=\Delta mv$ 看，动量 mv 的变化只反映了力在某一段时间内的持续作用，不能充分反映机械运动内部或机械运动和其他运动形式之间的能量转化. 力的作用是相互的，作用力和反作用力等大、反向，且同生同息. 对于一个系统，只要不受外力，或外力的合力为零，机械运动可以在系统内不同物体之间传递. 如果这种传递仅仅局限在机械运动范围内，并不发生能量形式的转化（包括动能与势能的转化），那么，就可以用 mv 来量度机械运动，以此来说明运动的永恒性. 但是，自然界中运动的形式是多样的、可转化的. 用 mv 这个量无法反映出机械运动内部以及机械运动和其他运动形式之间的转化情况. 系统内在相互作用的过程中，还存在着运动形式的转化，例如机械运动与热运动、电磁运动的相互转化. 这时，只有用 $\frac{1}{2}mv^2$ 来量度机械运动，才能反映出机械运动与其他形式运动转化的情况，系统动能的增加必定是以其他形式能量的等量的减少为代价的. 运动形式可以转化，但运动是永恒的.

（二）动量和动能具有诸多的相似之处，例如，两者都是量度物体机械运动的物理量；构成要素都是质量和速度，质量越大，速度越大，动量和动能也都越大；都具有相对性，相对于不同的参照系，动量和动能的值都会不同，等等．对此，不少学生容易将两者混淆，认为：动量相等的物体，动能也相等；物体的动能不变，则动量也不变，等等．根据相似事物重在比异的观点，在对动量和动能进行比较时，除了比较上述的相同点外，应当着重对如下的相异点进行比较．

（1）动量是矢量，其运算遵守平行四边形法则．在进行代数运算时，动量有正负，其意义表示动量的方向．动能是标量，其值总是非负数．

（2）动量的变化是力对时间的积累效果，其关系由动量定理 $Ft=\Delta mv$ 反映；动能的变化则是力对空间的积累效果，其关系由动能定理 $Fs\cos\alpha=\Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right)$ 反映．

（3）动量在数值上等于物体在单位阻力作用下可以运动的时间，而动能在数值上等于物体在单位阻力作用下可以运动的位移．

（4）因为动量是矢量而动能是标量，故动能变化则动量一定变化，而动量变化动能不一定就变化．

（5）当两个物体质量不同时，动能相等动量不一定就相等，反之亦然．由动量与动能的关系式 $E_K=\frac{p^2}{2m}$、$p=\sqrt{2mE_K}$ 可知，当两个物体动量相等时，质量较大的物体动能较小；而当两个物体动能相等时，质量较大的物体动量较大．

（6）当物体做机械运动以保持机械运动的方式进行传递时，用动量去量度．当机械运动转化为别的形式的运动重新出

现时，应当用动能去量度，才能了解转化的量.

(7) 对于没有外力作用或合外力为零的系统，其中一部分物体动能的减少，不一定正好等于其他物体动能的增加. 但一部分物体动量的减少则一定等于其他物体动量的增加，即此时系统的动量守恒而动能不一定守恒. 反之，动能守恒的系统动量也不一定就守恒.

(郑青岳)

6. 是次要因素，也是非次要因素
——摆球的半径忽略与否

在不同的问题中，一个量有时是次要因素，可以忽略，有时是非次要因素，不能忽略. 这是大家熟悉的. 但事实上，在同一个问题中，一个量也可以既是次要因素，又是非次要因素，既可忽略又不能忽略. 由于对后一情况的忽视，并且分析过于笼统，常使我们对一些问题产生疑问，如下面两个问题.

问题一：用单摆测重力加速度的实验中，我们要求所用的摆球小些，摆线长些，以便可以忽略摆球半径，把摆球当成质点. 既然这样，为什么测定摆长时，又一定要从悬点测至球心，不能忽略摆球的半径？

问题二：我们常讨论装满砂的漏摆在砂不断漏出的过程中，其周期的变化情况. 讨论时，忽略装砂的漏斗的线度，把漏摆抽象成单摆，应用单摆周期公式；然后分析漏斗重心的升降对摆长的影响. 这里，先是把漏摆当成质点，以后又不把它当质点. 这在逻辑上是否自相矛盾？

这两个问题实质上是同一个问题，即单摆的研究中，为什么既可以把摆球线度作为次要因素加以忽略，又不能作为次要因素加以忽略？

对此问题，可作如下分析.

实际的摆，摆球总是有大小的，严格地说，属于复摆．它作小幅度摆动时，周期为 $T=2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$．式中 I 是摆对悬点的转动惯量，l 是重心至悬点的距离．若忽略悬线的质量，那么 $I=ml^2+\frac{2}{5}mr^2$．进一步，如果摆球半径很小，以致式中后项的值远小于前项的值，那么忽略半径 r，转动惯量变为 $I=ml^2$．这样周期 $T=2\pi\sqrt{\frac{ml^2}{mgl}}=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$，这就是单摆的周期公式．可见，可以认为单摆的周期公式是由复摆的周期公式经过忽略半径这一次要因素的理想化处理得到的，而这一理想化处理是围绕转动惯量的计算进行的．如果在测定摆长时要忽略半径 r，那就是围绕摆长的具体测定所进行的理想化处理，是另一次理想化处理，是与上面得出公式时所作的层次上不同的理想化处理．

在半径很小时，是否可以同时进行这两次理想化处理呢？这要根据实验的精度要求和实际装置具体分析．现以秒摆为例（中学实验中所用的不同摆长的单摆，情况相仿）．摆长和周期的测量误差对最后结果造成的相对误差分别为0.05%和0.67%，总计为0.72%，这也是实验所能达到的精度．而围绕转动惯量所进行的理想化处理，造成的相对误差仅为0.0065%．如果在测定摆长时也忽略半径，由此造成的相对误差将达1.27%．可见，相对于实验精度，围绕转动惯量所作的理想化处理是合理的，而测定摆长时忽略半径的近似处理会大大降低实验精度，是不恰当的．

从上面讨论可见，研究一个大的问题，往往会涉及几个小问题，一个物理量对于这个小问题是次要因素，相对于另一个小问题可能是非次要因素；这样，在整个研究过程中，这个物

理量就既是次要因素，又是非次要因素；在一个小问题中可以进行理想化处理，在另一个小问题中则不行．因此，尽管只讨论一个问题，我们在进行理想化处理时，也一定要明确这一处理所围绕的具体问题，并根据误差和精度要求来把握理想化处理的合理性，避免作出不恰当的处理．

关于秒摆各项误差的计算如下：

设：摆球质量 $m=6\times10^{-2}$ 千克，半径 $r=1.27\times10^{-2}$ 米，摆长 $l=1$ 米，周期 $T=2$ 秒．

米尺的最大测量误差取 0.5 毫米，秒表的最大测量误差取 0.2 秒．

由 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{I}{mgl}}$，得 $g=\dfrac{4\pi^2 I}{mlT^2}$．

相对误差 $\dfrac{dg}{g}=\dfrac{dI}{I}+\dfrac{dl}{l}+2\dfrac{dT}{T}$．

上式右边三项分别是 I、l、T 造成的相对误差．

测定摆长带来的相对误差为

$$\frac{dl}{l}=\frac{0.5\times10^{-3}}{1}=0.05\%.$$

测定周期带来的相对误差为

$$\frac{2dT}{T}=\frac{2dt}{nT}=\frac{2\times0.2}{30\times2}=0.67\%.$$

式中 t 为 n 次全振动的时间．

计算转动惯量 $I=ml^2+\dfrac{2}{5}mr^2$ 时，如果忽略 $\dfrac{2}{5}mr^2$ 项造成的相对误差为

$$\frac{dI}{I}=\frac{\dfrac{2}{5}mr^2}{ml^2+\dfrac{2}{5}mr^2}=0.0065\%.$$

如果测定摆长时忽略半径，造成的相对误差为

$$\frac{dl}{l}=\frac{1.27\times10^{-2}}{1}=1.27\%.$$

（沈为民）

7. 能量守恒定律*

在物理学中，甚至在整个自然界，能量守恒定律都具有十分特殊的意义：对于所有的自然现象，它就像一种普遍适用的法律，并且是一种绝对的法律：凡是符合能量守恒定律的，就可能行得通，但也可能行不通；可是，如果跟它不一致，则根本行不通.

人们常常把物理学叫做精确的科学，事实上，并非完全如此. 只有在准确地知道它的定律近似到什么程度的情况下，物理学才是精确的. 所以，甚至就像万有引力定律这样的基本自然定律，也存在着一定的适用界限. 在很小的距离上，它没有顾及到现象的量子性；在很大的距离上，它没有考虑到这样一个事实，即：两个相互作用的质量之间的距离，是不可能在一刹那间就得以逾越的.

在这方面，唯一的例外是各种守恒定律——它们是完全普遍适用的，并且以现代知识水平来看，也是绝对精确的. 例如：可以认为，能量守恒定律可靠到什么程度，完全取决于实验的可靠程度，因而对它的进一步检验（即重新用今天的知识水平检验），显然是毫无意义的.

于是，便产生这样一个自然而又非常重要的问题：各种守恒定律具有这种独一无二的特性的原因是什么？看来，全部问题在于：各种守恒定律是我们周围世界的某些固有的原始性质

*本文译自俄文文献，原刊于《教学月刊》（中学理科版）1991年第8期.

的后果，而这一性质正是它的对称性．特别是能量守恒定律，同几乎显然可见的时间的性质有关（这种关系，看样子好像并不是出乎意料的），也就是跟它（时间）的均匀性有关．阐明性质本身，十分简单；至于由它的能量守恒定律得出的结论，那么，在这里，我们只好完全相信．

下述事实，似乎是不言而喻的：说明某一物理现象的任何一个实验，假设是昨天完成的，那么，今天或者是经过1000年之后，仍然应该给出同样的结果（只要它们是在同样的条件下，用同样的方法进行的）．或者，换句话说，物理定律不随着时间的改变而变化．对此，物理学家们是这样陈述的：时间具有均匀性．正是由于这一几乎显然可见的性质（“几乎”，因为在更仔细的思考下，可能会产生很多问题，于是我们往往十分模糊地想象时间是什么），才产生这样一个事实：在一个封闭的系统中，总能量保持不变．而这就是能量守恒定律．

直到现在，还时而出现关于某地某人观察到了违背能量守恒定律的报道．没有任何一个物理定律能够保证不出现下述的情况：在某些实验中，我们可能脱离了这一定律的适用范围．可是，当谈到能量守恒定律的时候，必须十分清楚地明白：主张不遵守这一定律，就等于主张违背时间的均匀性（这一事实，显然被那些论述所谓时间机器的幻想家们忽略了．要知道，制造这样的机器，也就意味着取消能量守恒定律．不是吗，从永动机到长生不老，任何奇迹都会成为可能的了．）

显然，正是由于能量和时间之间的密切联系，可以说，能量起着完全独一无二的魔术般的作用．还记得阿基米德曾经讲过“请给我一个支点……”那句话吗？看来，能量就是那个支点，借助于能量这个支点，虽说是在基本上，但差不多能解决全部物理学的问题．可是，在所有的守恒定律中，大概能量守

恒定律是最复杂的一个，这主要跟能量常以各种不同的形式存在有关，例如机械能(动能和势能)、内能（有时也叫热能）、电能……等等．而自从爱因斯坦阐述了能量和质量等效性原理之后，人们才知道：当发生能量转化时，必须把可能出现的质量变化考虑在内．这就是为什么探查能量从一种形式转化到另一种形式往往是十分困难的，并且要写出能量守恒定律的普遍形式也是根本不可能的．尽管如此，对于宏观系统的机械能，做到这一点仍然是比较容易的．只是不以能量守恒定律的形式，而是以机械能变化定律的形式出现．

那么，让我们来研究一下某一系统（它可能是一个物体，也可能是几个相互作用的物体），在个别情况下，系统可能是封闭的，但这不是必须的条件．就是说：原则上，外部的力可以作用到这一系统上，并且在系统内完全可以进行某些导致机械能转化为某些其他形式的能或者相反的内部过程．可是，有一个极为重要的我们完全可以做得到的前提——将认为，热量不能从外部进入这一系统．

我们用W来表示机械能，而除了机械能之外的所有其他形式的能，由于可以跟热能相类比，均以Q来表示，并且概括地叫做热量．从能量守恒定律显然可见：系统的机械能的变化等于所作的功(A)扣除散发掉的热量Q，即

$$W_{终}-W_{初}=A-Q.$$

严格地讲，量A和Q既可以是正的，也可以是负的．

如果外部物体对系统作功，$A>0$；而如果系统本身对外部物体作功，则$A<0$.

如果机械能转化为某些其他形式的能，$Q>0$；如果由非机械形式的能转化为机械能，则$Q<0$.

上述方程在解决各种各样的极不相同的物理学问题时，是

非常有效的.

（吴景文）

8. 能的转化和守恒定律的哲学意义

能的转化和守恒定律是自然界中最为普遍的科学规律之一. 它的发现，不仅是对自然科学的重大贡献，使各种形式的运动有了共同的量度，不同学科的科学家有了共同的语言，而且也是对辩证唯物主义哲学的重大贡献. 所以我们不仅要从物理学角度去理解它，而且也应从哲学高度对它加以审视，充分挖掘定律中可进行辩证唯物主义观点教育的因素，吸取它所包含的哲学营养，并在教学中加以渗透.

（1）能量是物质运动的量度，能的转化和守恒本质上就是运动的转化和守恒. 即物质的运动是永恒的，它不能创生，也不会消失，只能从一种形式转化为另一种形式. 这正表明了辩证唯物主义的物质运动的基本观点，即世界是物质的. 物质是运动的，物质的运动在时间上既没有起点也没有终点，它是由自然界本身所决定的，而不是上帝的推动而引起的. 自然界中形形色色的事物和现象，都是物质运动的具体形态和表现.

（2）能的转化和守恒定律为辩证唯物主义的世界可知论提供了强有力的证据. 能的变化方式具有无限的可能性，但由定律可知，各种形式的能是可转化和可量度的. 这就表明，物质的运动形式可以无限地转化，人对自然的认识是永远不能穷尽的. 但是，各种运动都可以转化成我们所能察觉到的运动，所以，世界是可知的.

（3）能的转化和守恒定律有力地说明了辩证唯物主义关于世界统一性的基本观点. 定律为各种形式的运动提供了共同的量度，将各种运动紧密地联系在一起. 它指出，任何形式的能量都不可能凭空增减，某种形式能量的增加（或减少）必定

伴随着其他形式能量等量的减少（或增加）．而辩证唯物主义也正是这样认为，世界是一个有相互联系的和谐的统一体，世界的统一性是有差异的统一，多样性的统一．世界上任何一个事物都不可能与其他事物毫无联系地存在着和变化着．

（4）能的转化和守恒是形式的转化，数量的恒定不变，是变中的不变．这与否定之否定的辩证唯物主义哲学原理是相一致的．辩证唯物主义认为，事物的发展形式是辩证的否定，即既克服又保留，既否定又肯定，既发展又继承．能的转化反映了一种形式的运动被另一种形式的运动所否定，但在运动形式转化的同时，运动的量却被保持或继承下来，以使运动的总量保持恒定不变．而且，某种形式的运动，经过多次的否定，还可以恢复到原来的形式．例如利用热能发电，然后又利用电能来供热，就是内能—电能—内能的循环过程．

（郑青岳）

9.对称性和晶体的物理性质*

从前某个时期，人类曾把世界的和谐性跟对称性联想在一起．在生活中最看重美的古希腊人，更赋予对称现象以特别的意义．认为美是真理的标准，他们感到在对称现象中存在着某种隐秘的涵义，把它理解为决定世界性质的元素．可是后来，美丧失了自己的地位，仅仅成了艺术家和诗人的财富，同时也丧失了对对称现象的兴趣．

可是，新的时代到来了，形成了物理学，并且开始明白：希腊人的看法是绝对正确的．世界的性质确实在很大程度上取决于它的对称性．

可是，究竟什么是对称性呢？让我们举个简单的例子来说

*本文译自俄文文献，原刊于《教学月刊》（中学理科版）1990年第8期．

明一下．譬如，你用双手这样或那样地拿着某一物体，而忽然发觉：当物体转动某一角度之后，整个物体仍与其本身原来所占据的空间位置完全重合．（此处原文不够严密，译文有所改动——译者注）．这时人们就说物体对称于这一转动．转动本身叫做对称操作或对称变换；而实现这一转动所环绕的轴，叫做对称轴．

我们以立方体为例．显然，如果它围绕着穿过其三对对应面中心的三个轴中的任何一个转动90°，则立方体仍与其本身原来所占据的空间位置完全重合（即新的位置与原始位置不能区别——译者注）．这些轴就是对称轴．它们叫做四重（或四次）对称轴．名称的来源如下：为了转动360°，需要依次相继完成四次90°的转动．为什么要跟转动360°相比较呢？简单地讲，任何物体转动360°都等效于我们根本没有触动它．这就是所谓的恒等操作．

自然界是否还存在着不同于空间旋转对称的其他操作？一般地讲，不仅有，而且还相当多．可是，如果指的是单独取出的一个物体，则仅仅还存在着一种对称操作——平面镜反射（当然，包括各种各样的旋转和反射的组合）．请试试看，自己找出立方体的对称面并顺便说明一下，除了前面我们已经指出的三个对称旋转轴之外，立方体是否还有其他对称旋转轴？（此处删去原文中一条注——译者）．

上述的旋转轴和反射面叫做物体的对称元素．物体的对称元素越多，它就越对称，并且相应地越简单．请比较一下，譬如足球（任何一条穿过其中心的直线，都是无穷大次的对称轴）与橄榄球．在一定意义上，跟越是对称的物体打交道，事情就越简单；这时，出现各种意外情况的概率也越小．例如，完全可以设想，在什么样的情况下我们可以把足球射进球门．

可是，如果不是足球，而是橄榄球，就很难做到像对付足球那样容易.

而所有这些，跟物理学又有什么关系呢？其实，有着很直接的关系. 为了弄清这一点，让我们来看一下晶体. 顺便说一下，请记住：当我们进一步研究自然界中的绝大多数的固体——恰好是晶体时，我们对它们的兴趣绝对不是纯理论性的. 从内部结构上的观点出发，晶体与非晶体的区别是原子分布中的严格的有序性；或者按另一种说法：具有空间晶格（也叫空间点阵）. 显然，研究有序分布的原子系统比研究大量无序群集成堆的原子要简单得多（想重新提醒一下：一个系统的对称元素越多，这个系统就越简单）. 的确，晶格（即对称性）的存在，成了这样一个具有重大意义并且简化了的因素，正是由于这一因素才得以在20世纪30年代末期建立了晶体理论（可以说，“射中了球门”）；而到目前，已经形成了实际上决定现代生活方式的各种电子学理论.

在研究晶体时，下述事实才是主要因素：在任何一个晶格中都可以分解成某种单位晶胞，晶格就是由这种单位晶胞组成的. 并且，晶体的物理性质在很大程度上取决于这种晶胞的对称性，即取决于单位晶胞是立方体还是平行六面体，或者是具有某种其他形状. 由此可见，下述法则也是正确的：单位晶胞的对称元素越多，晶体的性质越简单；并且在这种晶体中，发现出乎意料的物理效应的概率也越小.

这样，如果单位晶胞是立方体（立方体是在旋转体之后具有最大对称元素数目的形体），则晶体的性质在所有的方向上都是一样的. 在这种情况下，就说晶体是各向同性的（与各向异性的情况不同，在各向异性的情况下，在不同的方向上物体的性质不同）. 当单位晶胞的形状发生变化时（例如当温度变

化时，就会发生这种情况），随着单位晶胞中对称元素的减少，晶体的性质发生急骤变化．例如，立方体按照自己的弹性特性，其特点是共有三个弹性模量——压缩、剪切和扭转．如果单位晶胞具有平行六面体的形状，则弹性模量的数目等于18．当然，同样是那些压缩、剪切和扭转模量，而这时，在不同的方向上它们将有各不相同的量值．

在晶体热膨胀的情况下，将发生完全类似的情况．当晶体具有立方晶格时，其特点是只有一个唯一的热膨胀系数；而具有复杂单位晶胞形状的晶体，其热膨胀状态要由三个常数来决定（即在三个直角坐标的方向上具有各自不同的热膨胀系数——译者注）．

有趣的是，单位晶胞可能具有的形状的数目是有限的．你可能想不到，这与什么有关．就其本身的性质来说，晶体的晶格竟是一种周期性的系统．原来，当它发生位移时，或者按物理学中的讲法——发生平移时，在一定的距离（周期）上，晶格所处的位置将与其原始位置不能区别．换句话说，晶格跟单独取出的物体的区别，是可进行特有的对称操作——平移．可是，事实证明，绝对不是任何一种单位晶胞的形状都符合平移对称的条件．例如，可以由正六面棱体建立周期结构，而五面棱体则不能．

目前，已经能够预言晶格的所有的可能类型，它们中每一种的特性，都已经或多或少是已知的，例如它们在哪些方向上容易断裂，又在哪些方向上比较坚固，不同对称形式的晶体如何导热和在电场中如何行动，声波沿着它们如何传播，对它们是否产生压电效应（当晶体发生变形时，在它的棱面上产生电荷）以及很多其他的特性．

最后，还想强调一下，在物理学中，对称性的作用绝对不

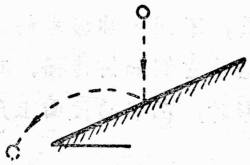
仅仅限于晶体的卓越性质．同对称物体并列的，还有物理定律的对称．两者的区别仅仅在于：物体的对称，是对空间的转动和反射而言；而物理定律的对称，则是对某些其他的操作而论。如果说物体的对称性实际上已经研究到头了，那么自然定律对称性的作用则还远远没有弄清楚．有充分的理由相信，正是在这方面，还有不少卓越的发现正在等待着我们．

（吴景文）

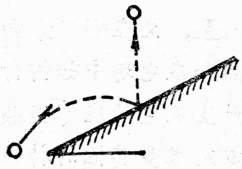
10．中学物理中的时间对称性

时间在动力学中不过是作为一个“几何参数”出现，达朗贝尔早已注意到这个特点．拉格朗日走得更远，他甚至把动力学叫作“四维几何”，这比爱因斯坦和闵可夫斯基的工作早了100多年．按照这种观点，将来和过去起着同样的作用．组成我们宇宙的原子或粒子所沿着运动的“世界线”，也就是它们的轨道，既可以延伸到将来，也可以追溯到过去．

这种时间对称性的世界观，虽然在涉及热力学第二定律，即熵增加的问题中是不适用的．但在处理某些高中力学问题时是成立的，这表现在这些方程对于时间反演 $t \to -t$ 是不变的．如果我们对不涉及热力学第二定律的经典力学的物体运动拍摄电影，例如图附—5，小球从高处无摩擦阻力落下，与斜面发生弹性碰撞后又作抛体运动，电影拍成后，我们可以把电影片倒过来放映，整个运动过程便反过来：作抛体运动的物体向斜面运动，与斜面发生弹性碰撞后又竖直上升（如图附—6），我



图附—5



图附—6

们在看电影时是无法鉴别电影片是正放映还是倒放映的，因为牛顿定律（包括与牛顿定律相符合的动量守恒定律、机械能守恒定律）在正和倒两种不同的方法放映的影片中都是成立的．这就启示我们：在处理力学问题时，既可以正向分析，也可以逆向分析，我们称之为力学反演规律

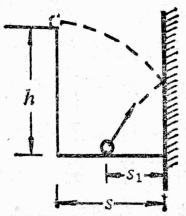
例 1　一个物体作竖直上抛运动，2 秒末的速度为向上 5 米/秒，求物体在这 2 秒内的位移．

这道题通常是按上抛运动规律先求出初速度，再求出位移．但是，如果根据反演规律，可把运动过程倒过来；物体作初速为 5 米/秒的竖直下抛运动，则

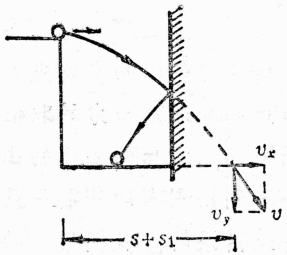
$$s=v_0t+\frac{1}{2}gt^2=5\times2+\frac{1}{2}\times10\times2^2=30\text{米}.$$

例 2　如图附—7 所示，在一堵光滑竖直墙前离墙 s_1 的地面上有一个弹性小球．问：小球应以怎样的速度从地面抛出，才能使它与墙碰撞弹开后能正好以水平速度登上平台而不发生跳跃？（已知平台离墙距离为 s，高为 h．）

这是一个比较复杂的斜抛运动的问题，但是根据反演规律，整个运动过程是一个平抛运动，运用镜象法，其运动轨迹如图附—8．



图附—7



图附—8

由 $h=\frac{1}{2}gt^2$，得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$，

则 $v_x=\frac{s+s_1}{t}=(s+s_1)\sqrt{\frac{g}{2h}}$，

$v_y=gt=\sqrt{2gh}$，

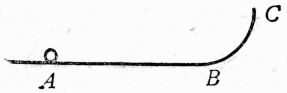
则 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}+\sqrt{\frac{(s+s_1)^2g}{2h}+2gh}$，

$\operatorname{tg}\theta=\frac{v_y}{v_x}=\frac{2h}{s_1+s_2}$.

即，小球应以与水平方向成 $\operatorname{arc tg}=\frac{2h}{s+s_1}$ 的方向，大小为 $\sqrt{\frac{(s+s_1)^2g}{2h}+2gh}$ 的初速抛出，经与墙弹性碰撞后恰能水平登上平台而不发生跳跃.

力学反演规律不仅可用于解题，而且还可以用于分析论述.

例 3　如图附—9所示，光滑的竖直轨道 ABC 由水平直轨道及半径为 R 的竖直圆弧轨道组成，B 为切点，一个质量为 m 的小球从直线轨道滑向圆弧轨道，求小球在轨道切点 B 处的加速度和对轨道的压力.

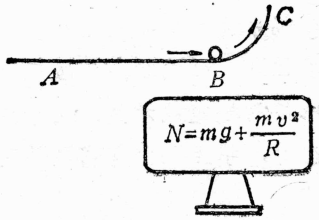


图附—9

许多同学看出了小球在 B 点两侧的分别运动时的加速度和力是连续变化的，而在切点 B 处是不连续的. 但是，他们对小球在 B 处的加速度与力的取值却模糊不清. 比如，某甲认为“必须用切点之后的曲线的曲率半径来计算”；而某乙认为应该根据小球到切点 B 的“前一段时间”进行计算，实际上这两种观点都是错误的. 我们研究的是小球在直线与圆弧相切的轨道上运动（注意：这种只有一个相切点的轨道是理想化的模

型），小球的速度是连续的，其加速度即速度的导函数在切点B是不连续的．这就是说，从加速度的变化规律来看，它在B点的左极限不等于右极限，则它在该点的极限不存在！既不是如某甲说的根据该点后计算，也不是如某乙说的根据该点之前计算．

我们还可以用反演规律来证明甲的错误，比如根据甲的观点，小球从A向C运动经过B处时对轨道压力是根据B以后来计算的．据此我们现在做一个理想实验，让小球从A运动到C，并有一个测力显示器显示任何时刻轨道的压力，把此过程拍摄成电影，那末从电影上可看到小球从A向C运动经过B时，测力显示器示数为$mg+\frac{mv^2}{R}$（如图附—10），再根据力学反演规律，把刚才拍成的电影片倒过来放映，可见小球从C运动到A经过B时，显示器的示数仍为$mg+\frac{mv^2}{R}$，这就与甲自己的观点矛盾，可见甲的观点是错误的．用同样的方法可证得，乙的观点也是错误的．



图附—10

（姜水根）

11.有趣的摸拟实验“千人震”

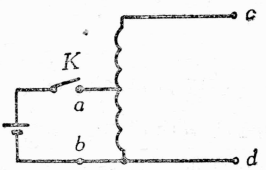
——变与不变的对立统一

变与不变是对立统一的．这种对立的统一在交流电一章表现得更为突出．交流电是变化的电流，可是在很小的时间间隔内（$\Delta t\to 0$）可以认为其大小、方向不变；直流电是恒定不变的电流，一定的条件下可以产生变化的效果．为了加深学生对变压器原理的认识，同时增加对高压直流输电的间接感性认识，

做一做有趣的模拟实验“千人震”，可以取得事半功倍的效果.

器材：自耦变压器1只，1.5伏干电池1节，导线4根，按键式开关1只.

操作步骤：将导线分别接到自耦变压器的输入、输出端（如图附—11）. a、b为低压端作输入，c、d为高压端. 干电池接在低压端.



图附—11

令学生若干人手拉着手，两端的学生分别用空出的手捏住c、d端导线，从而与输出线圈组成闭合回路. 当K合上后学生再抓住c、d端时，次级无输出，学生无异感. 当教师持续不断地按动按键式开关，使干电池上初级输入端处于连续的通断状态时，学生就会有明显的震感. 全班学生都参预，效果更好.

（周　珑）

12. 光速纵横谈

（一）伽利略当年话光速

在伽利略（1564～1642）晚年所写的论著《两种新科学的对话》中，有一段关于光速的论述，这是借对话的形式写下的：

沙格里多：我们应该认为光的速率是属于哪一类呢？有多少大呢？光的运动是即发的呢，还是像其他的物体一样需要时间的呢？我们能用实验来解决这个问题吗？

辛普莱修：日常经验告诉我们，光的传播是即发的，因为当我们看见远处开炮时，闪光不需要时间便传到了眼睛，但是声音却是在一个显著的时间间隔以后才传到耳鼓来.

沙格里多：那么，根据这一熟悉的经验，我们只能推论传到我们耳鼓的声音比光要传播得慢些，它并没有告诉我们光的传播是即发的，或者说它传播得非常快，但总是需要时间的．……

萨尔维阿蒂：这些观察以及其他类似的观察中所得到的一点点结论，使我想出了一个可以用来精确地决定光的传播是否即发的方法……

接着，萨尔维阿蒂具体陈述了他的实验方法，其实这也就是1607年伽利略曾做过的光速测定的实验方法，是人们第一次对光速测定的尝试．但是这个实验没有成功，因为光传播的速度太大，用伽利略设计的原始方法测定光速，必须测出10^{-5}秒的时差，这在当时显然是不可能的．

伽利略的实验固然是失败了，但他却提出了一个光速及光速测定的问题．对此爱因斯坦曾给予高度评价："提出一个问题往往比解决一个问题重更要，因为解决一个问题也许仅是一个数学上的或实验上的技能而已．而提出新的问题，新的可能性，从新的角度去看旧的问题，却需要有创造性的想象力，而且标志着科学的真正进步．"如今，爱因斯坦当初对伽利略测光速问题的评价已成为经世流传的名言．

（二）光速测定的历程

自伽利略首次尝试后，人们开始了对光速测定的漫长历程．下面仅"摄取"其中的几个片断．

第1个测出光速的是丹麦天文学家罗默．他于1676年用观察木星的卫星蚀的方法测得光速，虽然他取得的结果$c=2.15\times10^5$千米/秒，不很准确，但是他给出了第1个光速的测定值，在当时的实验条件下肯定了光速是有限的，这是很了不起的．

在地面实验室内第1个测出光速的是法国的斐索．他于1849年用旋转齿轮法，巧妙地解决了光传播有限距离的瞬息时间的测量问题，测得光速值$c=(315\,000\pm500)$千米/秒．1860年，

法国傅科采用惠更斯于1834年提出的设想，又以旋转镜法设计了全光学系统的测定体系，测得 $c=(298\,000\pm500)$ 千米/秒.

1865年麦克斯韦从理论上计算出电磁波的速度 $v=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}$ $=3.107\,40\times10^5$ 千米/秒(用当时测定的 ε_0、μ_0 值)，跟当时实验测定的光速值一致，由此他大胆预言光是一种电磁波. 可见，光速的测定为麦克斯韦电磁理论的建立提供了有力的佐证. 反过来，新的理论的问世，更激发了人们对光速直接测定的兴趣.

美国物理学家迈克尔孙（1852～1931）和他的同事们，从1879年开始，对光速进行了持续50年的系统测定. 他们在傅科实验原理基础上，对装置和测定技术方面作了很大改进. 1926年他公布测得的光速 $c=(299\,796\pm4)$ 千米/秒，比傅科当初测定值精度高100倍，因而于1929年被接受为光速的公认值.

傅科还于1862年将他的实验方法用来测定光在水中的速度，第一个用实验直接比较光在光密介质中的速度和真空中的速度. 测定结果证明了光在水中速度小于真空或空气中的速度.

严格地说，光在真空中的速度比在空气中的速度要大（约大67千米/秒）. 迈克尔孙的同事们于1932～1935年第一次进行光在真空中的速度测定，他们在长达1.6千米、直径约1米、并且抽空到5.5到6.5毫米汞柱的长筒内做实验，并用32面的旋转棱镜代替8面棱镜，且使光柱往返10次，累计其时间，测得光速 $c=(299\,774\pm2)$ 千米/秒.

从1948年后，随着科学技术的发展，光速的测定又出现多种新的思路，实验结果也更为精密.

1949年阿斯拉克逊用雷达测量电磁波往返两站之间的时

间，并采用当时的光速公认值 $c=299\,776$ 千米/秒，计算两站之间的距离，发现跟直接用长度测量所得结果有误差．他利用这个误差反过来对光速值作了校正，得到 $c=(2.997\,923\pm 0.000\,024)\times 10^5$ 千米/秒．

美国国立物理实验室弗罗姆，利用微波干涉仪实现了通过测定波长 λ 和频率 ν 来测定光速的方案，测量精度超过其他方法．1958年公布的结果是 $c=(2.997\,925\pm 0.000\,001)\times 10^5$ 千米/秒．后被国际大地测量和地球物理协会推荐为光速最佳值，沿用了15年之久．

1960年，美国制成的第一台红宝石激光器问世后，激光技术很快被应用于光速的测定．1973年6月国际米定义咨询委员会和9月召开的国际天文学协会第15届大会（正值哥白尼500周年诞辰纪念），根据测得的用甲烷稳定的氦氖激光器的波长和频率，推算光速值 $c=(299\,792\,458\pm 1.2)$ 米/秒．1978年英国国家物理实验室公布 $c=(299\,792\,458.8\pm 0.2)$ 米/秒．

由此可见，对应科学技术发展的不同层次，光速测定经历了不同阶段．近年的光速测定值日趋一致，充分说明光速有限，且是恒定的．

那么光速的测定值随着时间的推移是否还要作修正呢？人们需要新的思考，作出新的抉择．

（三）用光速定义长度的单位——米

伴随光速测定史的是长度单位——米的演变史．

长度单位——米，最初采用自然基准，即用通过巴黎的地球子午线的四千万分之一的长度规定为1米．1889年在第1次国际计量大会上，决定用保存在国际计量局的铂铱米尺作为长度的基准，开始了采用实物基准的历程．这个实物基准一直沿用了71年，相对精度为千万分之一左右，即测量1米长度，将

发生0.1微米左右的误差．随着科学技术的发展，这个测量准确度不能满足机械制造，特别是精密机械制造等行业的要求，并且实物基准不可避免会产生畸变，加上当时已认识到某些原子发射光波的波长相当稳定，于是人们又倾向寻找长度单位的永久的自然基准．1966年第11届国际计量大会上决定，废除1889年生效的米的定义，改为“米等于氪-86原子的$2p_{10}$和$5d_5$能级间的跃迁所对应的辐射在真空中的波长的1 650 763.73个波长的长度．”根据这个定义，当时1米的精度为十亿分之四，它意味着在长度为5厘米的固体物质内不差一个原子之间的距离，或者在1000千米的长度测量中不差4毫米．

然而，就在1960年通过用氪-86特定波长作米的定义时，激光器的诞生推动了光速的测定，也促使米的定义有新的进展．到1972年，用稳频激光器测得光速值以及相应的激光的频率值，再用$\lambda=c/\nu$反推该激光的波长值，其推算值的精度比氪-86灯基准辐射的谱线的波长值的精度还高出100倍以上．于是米的定义又受到新的挑战．出路何在？人们倾向于不再使用某种辐射的长度，而采用基于光速的定义．因为辐射波长的稳定性会受到许多物理因素的影响，且今后还可能发现新的更稳定的、频带更窄的波长．而光速却有它突出的恒定特性，在物理学和计量学中“声望”很高．以光速为基础的米定义可期望保持很长时间，这样，长度的单位的定义将只受到时间单位准确度的限制．而时间单位秒从1964年起已更改为“原子秒”（即以原子辐射的周期作基准），精度已为百万亿分之一左右，即500万年不差1秒．激光频率的测量精度也有希望不断提高，因此以光速定义米，为米基准精度的提高提供了广阔的前景．于是，1983年召开的第17届国际计量大会上，通过了“米是光在真空

中在$\frac{1}{299\,792\,458}$秒的时间间隔内运行路程的长度”.

将米定义后，真空中的光速值被规定为$c=299\,792\,458$米/秒，是一个固定的常数（诚然，能规定如今的数值，是几代人测量光速的功绩）. 今后，测量精度的提高不再反映在光速位数的增加和精度的提高，而体现在长度米的精度的不断提高. 因此从这个意义上来说，光速的精密测定告一段落，但这并不意味着人们研究光速的工作也就此结束. 光速真的不变吗？如光速可能变化，那么米又如何定义？所以新米的定义有可能再次激发人们对光速作进一步测量及其对理论的研究.

（四）光速是大还是小

光速很大，它与日常生活实践中所有的已知速度相比，是大得难以想象的. 以致人们常通过实例对光速之大作些对比说明. 如光在1秒钟内可绕赤道七圈半；太阳离地球遥远，最快的火车须行350年，飞机要飞50年，光只需要走8分多钟……

然而，当人们的视线超越地球、超越太阳系，进入宇观领域；当通信联系不只发生在两省、两国、两大洲之间，而是往来于地球与卫星、地球与宇宙飞船时，人们已感到，特别是将会在日常生活中感到，光速确实是有限的，甚至还会嫌它太小. 例如，当来自宇宙的光线射入我们的眼睛时，我们感知的却是早已发生的事情. 有些事件大概在我们的地球诞生以前就已发生了. 最近，由一个美国和英国的科学家组成的小组发现一颗类星体，这颗类星体发出的光经太空传播到地球竟要130亿年，成为目前人们观察到的最遥远的天体之一. 类星体是太空中的超高能区，一颗类星体辐射的能量跟100万亿颗恒星辐射的一样多. 因此这颗类星体虽离我们遥远，它的光到达地球时已很微弱，但用特殊光学设备仍能分辨出来，并能进行分析.

分析这发自130亿年前的光，给我们提供了一个了解宇宙遥远过去的窗口，那时宇宙的年龄还不到10亿年，大小也不到目前的20%呢！

又如当人们通过远离地球4万千米的通信卫星进行电话通话时，由地面发射机发生的信号到达卫星再返回接收机的距离为8万千米，约需1/4秒，所以从第1个人开始说话到第2个人听到他的话音之间将有明显的时间延滞．如果第1个人与第2个人同时开始说话，那么将出现混乱情况，这在国际博览会上已经作过表演．可能，将来会对这类国际通话作出必要的新规定．

光速是大还是小？原来也是相对的！

（李国倩）

13．光具决定像序

引　言

平面镜所成的像与物是左右相反的．有的同志把平面镜成像的这种特性归结为观察者对像和物观察的方向相反，是“观察者的参考系而引起的．”

平面镜成像的这种性质到底是随人的意志为转移的主观的规定呢，还是取决于光具本身的客观规律呢？本文拟在几个常用光具的成像的基础上，论述像序的本质．下面分“物与像的方向结构”以及“光具成像的拓扑思考”两点来论述，最后给出简要结论．

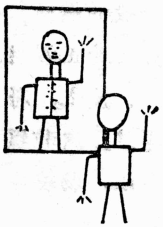
物与像的方向结构

现在我们来介绍几种光具的成像，为节省篇幅，只给出结论．

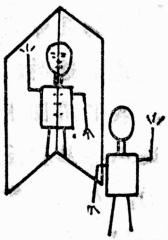
平面镜成像，由于物与像是关于平面镜对称的，而平面镜成像的特点是等大、正立（如图附—12）．从此图中可看出，

当人举右手时，镜中的像是举左手的．至于哈哈镜成虚像，除物与像不等大且不相似之外，人举右手变成像举左手这点与平面镜相同．

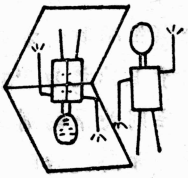
直角两面镜成像，不难证明，物与像是关于直角两面镜的棱成对称的，所以人在直角两面镜前，当棱与人平行时，像是等大、正立的（如图附—13）．从此图中可看到，当人举右手时，镜中的正立像也是举右手的．当棱与人垂直时，像是等大、倒立的（如图附—14）．当人举右手时，镜中的倒立像也是举右手的．



图附—12



图附—13



图附—14

同样不难分析，凸透镜成虚像，物与像在光心同侧，是关于光心成幅射状放大的，所以人在凸透镜前成虚像是放大、正立的，人与像均举右手．由于放大率随像距而变化，物体与像体不是相似形体．

凸透镜成实像，物与像在光心两侧，是关于光心成中心辐射状对应的，所以凸透镜成实像是倒立的．人与像均举右手．同样道理，物体与像体不是相似形体．

由此可见，像的虚实、正倒、放大与否，像与物相似与否，都没有涉及像与物的方向结构的本质，那末，本质是什么呢？

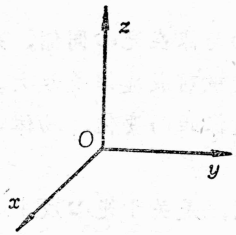
光具成像的拓扑思考

众所周知，现代数学越来越从研究数量扩大到研究数学结

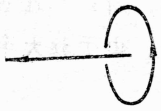
构．比如在拓扑学中，我们关心的是两点的连通，而不关心连线的长度，我们对两个连通性质相同的物体，不管他们的大小、形状多么不同，甚至面目全非，从拓扑学角度认为两者相同．

现在我们将数学上的拓扑的思想方法运用到光具成像上（当然不是完全抽象为数学上的拓扑），即当我们关心物与像的自身方向结构，而不关心其虚实、正倒、放大缩小、相似与否，那么像与物的关系抽象为两种，即正序与反序．

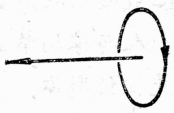
如图附—15所示的空间直角坐标系的三个坐标轴的方向之间，有一个确定的相互关系，从 Ox 到 Oy 到 Oz，符合右手法则关系．这种关系的最常用的具体代表则是一般的螺丝．若这种螺丝顺时针方向旋转时是前进的，则通常称之为正螺丝，物理学上称之为“右旋”，我们用图附—16表示．反之，符合左手法则关系的则是与上述正螺丝相反的一种螺丝，这种螺丝逆时针方向旋转时是前进的，人们通常叫它反螺丝，物理学上称之为“左旋”，用图附—17表示之．



图附—15



图附—16



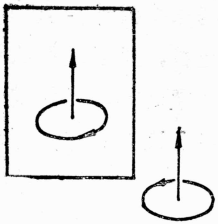
图附—17

现在，我们把一个“右旋”放到光具前，看它成的像是“右旋”呢还是“左旋”？

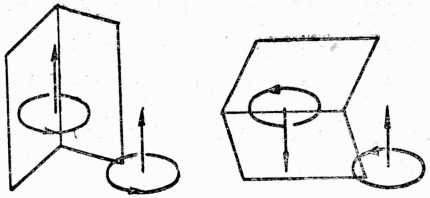
显然，不论怎么个摆法，它在平面镜里成的像总是“左旋”的（如图附—18）．请注意，不论观察者从什么方位去看物和像，得到相同的结论（下同）．

在直角两面镜里，不论怎么个摆法，“右旋”的像仍是“右旋”（如图附—19）.

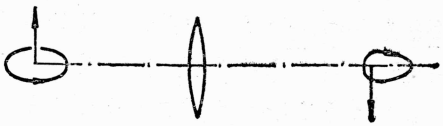
如图附—20所示，“右旋”经凸透镜成实像也是“右旋”.



图附—18



图附—19



图附—20

表1给出“右旋”在各种光具里成像的情况.

表1　“右旋”在光具里的成像情况

物	平面镜成像	直角两面镜成像	凸透镜成像		凸面镜成像	凹透镜成像	凹面镜成像	
			实像	虚像			实像	虚像
右旋	左旋	右旋	右旋	右旋	左旋	右旋	左旋	左旋

光具成像的序性见表2.

表2　光具成像的序性

光具成像	平面镜	直角两面镜	凸透镜	凸面镜	凹透镜	凹面镜
序性	反序	正序	正序	反序	正序	反序

显而易见，空间中的物体的方向结构是三维的，经过一次（或奇数次）镜面反射，改变一个（或奇数次）坐标方向，得到反序像．经过两次（或偶数次）镜面反射，改变两个（或偶数次）坐标方向，得到正序像．经过透镜时，则不改变或仅改变偶数次坐标方向，同样得到正序像．根据这个规律，我们很容易判定一个光具组成像的序性，比如潜望镜，光经过两次镜面反射，得到的是正序像．又如反射式天文望远镜，光经过凹面镜反射一次，再经平面镜反射一次，再经凸透镜成像，得到的是正序像．

结　论

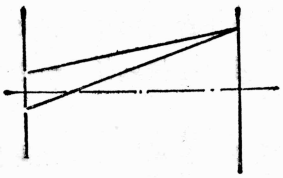
从上面的分析，可以十分清楚地看到，所谓“像序”是反映像与物的自身方向结构的一种关系．设物为“右旋”，如果像仍为“右旋”，则成像关系是正序关系，如果变为“左旋”，则成像关系是反序关系．像的序性不是人为的主观的规定，不是如某些人所说的是“观察者的参考系引起的”，而是由光具本身决定的一种客观的规律，与物体如何放置，观察者如何观察均无关．

（姜水根）

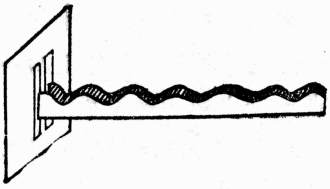
14．双缝干涉的一个模拟实验

杨氏双缝干涉的讨论在课本中只是借助如图附—21的插图进行．其实，学生仅就这幅图很难想象出两列相干光波干涉的情景，也难以对在屏幕上出现亮条纹和暗条纹的条件和位置进行讨论．这里介绍一个利用“纸波”进行双缝干涉的模拟实验，这个三维空间的实物模型会十分有助于学生对双缝干涉的想象和讨论．

如图附—22，取两条颜色不同、大小相同的狭长纸条，两纸条的一边剪出凹凸起伏的正弦波形，两波形的波长相等．在



图附—21



图附—22

黑板上画两个狭窄方框表示两个狭缝，然后将两纸条的一端贴在方框之内，表示两列从两狭缝发出的相干光波．将两纸条拉紧在中点，两列波从缝到中心的距离相等，路程差为零．借助这一点，可以说明双缝干涉图案的中心亮条纹是怎样产生的．这时两列波的波峰与波峰相遇（波谷也与波谷相遇），而且两列波又是同步变化．因此，在相遇点，由两列波引起的振动互相加强，出现亮条纹．再将这两纸条拉紧稍向侧向移，使一列波的波峰与另一列波的波谷相遇，指出两列波同时发生等频率的变化，但在相遇点由两列波引起的振动方向始终相反，故在这一点两列波互相抵消，在干涉图案上出现暗条纹．这是中心亮条纹外的第一条暗条纹．容易看出，两列波的路程差为半波长．继续将纸条拉紧向侧向移，可以说明双缝干涉条纹是明暗相间的．

（郑青岳）

15．原子结构和行星系结构的对比

我们的太阳系以太阳为中心，有9大行星和约2000颗小行星围绕太阳旋转．太阳和行星之间存在万有引力，这种力的大小与太阳和行星之间的距离的平方成反比，我们称之为平方反比律．我们研究的原子结构是这样的：在原子的中心有一个很小的核，叫原子核，原子的全部正电荷和几乎全部质量都集中

在原子核里，带负电的电子在核外空间里绕核旋转．原子核与电子之间存在库仑力，这种力也是符合平方反比律．因之人们认为，电子很像行星绕太阳一样围绕着原子核运行，一个原子就是一个小的“行星系”．

然而，人们得到原子核式结构模型与行星绕日运行模型的方法是不同的．

人们研究原子结构是用实验方法，把α粒子轰击金箔产生大角度散射而得到核式结构模型．虽然这个实验结果最初是偶然发现的，但在重复实验时具有实验控制的思想．卢瑟福从数学上计算出散射法则：以大角度散射的粒子数与金属箔的厚度成正比，与原子核所带电量的平方也成正比，但与粒子速率的四次方成反比．这些推论以后都被盖格和马斯登的实验所证实．人们研究行星系结构是用天文观测方法，它与物理实验方法是不同的．实验方法是人们根据一定的研究任务和目的，利用一定的仪器、设备等物质手段，人为地创造一定的环境或条件，主动控制或干涉研究对象，即是在典型的环境中或特定条件下探索自然奥秘的方法．天文观测不能对天体进行干涉或控制．两者的分析也有区别，研究行星系是根据观测资料进行运动分析，实际上是解决参照系的问题；研究原子结构是根据实验资料进行受力分析，解决原子内部的组成问题．

原子结构作为与行星系结构相似的模型，还具有区别于后者的特点，那就是原子结构具有稳定性、同一性和再生性．这些也是通过实验方法获得的．实验证明，即使在激烈的碰撞或干扰下，原子仍能稳定地保持自己的特性．不论在什么条件下用什么方法获得的同种原子都显示同一特性，它们都发射或吸收同样频率的光波，它们的大小、形状和内部运动情况都相同．实验还证明，如果原子由于受到高压或受到相邻原子的作

用而“扭曲”时，其电子运动轨道将发生变化．当外力消失时，它还会恢复其原有形状和轨道，而行星系却不具备原子的这三个特点．在行星系受到碰撞或干扰的情况下，它不会稳定地保持原来的特性，当行星系受到外界作用被“扭曲”之后是不会恢复原状的．行星系这些性质也不是实验得到的，因为没有什么手段可以干扰或控制行星系，而是通过已知物理规律进行分析推理得到的．

实验还证明，原子结构与行星系结构除了有核心这点相同以外，两个模型实际上是不同的．因为微观粒子具有波粒二象性，核外电子的运动具有波的特性，原子的外层电子多一个电子或少一个电子，就会改变原子外层电子的波型，决定原子的结合方式，也就造成原子在性质上的很大的差别．而行星系则没有这种性质，如果少一颗外层的行星，并不会使行星系改观．

（姜水根）

16．中子发现给我们的启示

1920年，英国物理学家卢瑟福根据原子核的电子数（以基本电荷为单位）与质量数（以质子质量为单位）的关系，预想到原子核内可能存在一种质量与质子差不多的中性粒子．他把它设想为一个电子落入核内而将核电荷中和了的质子，即中子．在长达12年的时间内，关于中子的观点一直未被证实，而仅以假说的形式存在．但“这样一种粒子可能存在”的想法始终活跃在他的学生们的头脑中，使他的学生们始终处于随时捉捕中子的准备状态中．

1930年，德国科学家玻特和他的学生贝克用α射线轰击铍时，发现了一种贯穿能力很强的新的射线．1932年，法国科学家约里奥·居里夫妇用这种新射线去轰击石蜡，结果竟从石蜡

中打出了质子．这本应说他们已窥见到了中子的端倪，但遗憾的是，玻特及居里夫妇都只根据新的射线与γ射线的相同点（即都是中性），而错误地认为新的射线就是γ射线．虽然他们也都觉察到新的射线的贯穿能力更强，能量更大，但他们却都先入为主，没有将它与γ射线的相异点进一步比较．相反地，却提出一些令人难以置信的假设，来解释自己的观点．

卢瑟福的学生、英国物理学家查德威克因为对老师的观点十分清楚，随时准备去判明中子假说的真伪．当他读了约里奥·居里夫妇的报告后，立即在卡文迪许实验室重复了这些实验，用钋和铍作为源，不仅用氢，而且还用氮和氦与入射射线碰撞．通过比较由实验测出的未知粒子轰击出来的两种不同原子核的速度之比，算出了未知粒子的质量．其推算过程如下：

假设未知粒子的质量为m，以速度v轰击原来静止的氢核，在弹性对心碰撞的情况下，可算得氢核碰撞后的速度为

$$v_H' = \frac{2m}{m+m_H} v.$$

同理，当未知粒子以同样速度v轰击原来静止的氮核时，可算得氮核碰撞后的速度为

$$v_N' = \frac{2m}{m+m_N} v,$$

两式相除，得

$$\frac{v_H'}{v_N'} = \frac{m+m_N}{m+m_H}.$$

查德威克当时由实验测得的$v_H'/v_N' \approx 7.5$，而$m_H = 1\text{u}$，$m_N = 14\text{u}$，代入上式，得$m = 1\text{u}$.

上述实验和计算确定了这个不带电的未知粒子的质量与氢核即质子的质量近似相等，这就是卢瑟福在12年前所预言的中

子．查德威克在1932年2月17日写信给《自然》杂志，发表了这一结果．他因此获得了1935年诺贝尔奖．

中子的发现史给我们的启示是深刻的．首先，它表明假说是自然科学发展的重要形式，卢瑟福的中子假说使查德威克对中子概念有积极的思想上的准备，因此当中子出现时，他能迅捷地识别它．假如没有卢瑟福的中子假说，查德威克也就较难对约里奥·居里夫妇的观点产生怀疑，而去对新的射线与γ射线做相异比较．另一方面，假说的正确性有待于实践的检验，如果没有实验事实为中子的存在提供证据，中子的观点也就很难被人们普遍接受．其次，对事物的比较应当全面、深刻、细致，既要比同，又要比异，更要善于比较同中之异和异中之同．约里奥·居里夫妇正是由于只强调新的射线与γ射线的相似性，而没有对两者的差异性作深入细致的研究，加上思维定势，先入为主，使他们虽长期奋战在核物理的前沿阵地，却看到了中子而无法识别．真可谓失之交臂．再次，数学方法是物理研究的重要工具，对事物不但要重视定性分析，更要重视定量分析．查德威克在对新的射线进行定性分析后，能进而深入进行定量分析，在实验的基础上运用严谨的数学推导获得了正确的结果，使中子的存在被有力证实．

（郑青岳）

〔浙〕新登字第6号

责任编辑　胡光正
封面设计　孙　璐

高中物理方法教育研究

浙江省教育学会
中学物理教学分会本书编写组

浙江教育出版社出版　　浙江新华印刷厂印刷
浙江省新华书店发行
开本787×1092　1/32　印张15.25　字数341000　　印数1—95250
1995年4月第1版　　1995年4月第1次印刷

ISBN 7-5338-1736-2/G·1737　定价：7.90元

ISBN 7-5338-1736-2/G・1737
定　　价:7.90元