

高中物理专题分析丛书

功、热量和能

教育部师范教育司组织编写

人民教育出版社

前 言

全面推进素质教育,是当前我国现代化建设的一项紧迫任务,是我国教育事业的一场深刻变革,是教育思想和人材培养模式的重大进步,实施面向 21 世纪中小学教师继续教育工程,提高教师的素质,是全面推进素质教育的根本措施。

实施中小学教师继续教育,课程教材建设是关键。当务之急是设计一系列适合中小学各学科教师继续教育急需的示范性课程,编写一批基础性教材。

我司根据教育部《中小学教师继续教育课程教材建设方案》的统一规划,参考《中小学教师继续教育课程开发指南》,以中学物理教师继续教育课程教材建设引路,在调查研究和总结经验的基础上,首先设计急需的示范性课程,编制课程标准,经专家审定后,作为编写教材的依据。我们在设计示范性课程及课程标准时,遵循了以下原则:1. 从教师可持续发展和终生学习的战略高度,在课程体系中,加强反映现代科学技术的发展和应用的课程,加强中学物理专题研究的课程,2. 把教育理论和教师教育实践经验的总结与教育实践活动的改进密切结合。用现代教育观念和理论方法,优秀课堂教学范例,从理论和实践的结合上,总结教学经验,提高教师教学能力,推动教育改革,落实素质教育。3. 适应教师培训模式改革的需要,有利于培养教师的创造精神和主观能动性。4. 注意有效,即实效性。有限,即适量性。有别,即层次性。有序,即科学合理的系统性。兼顾整体性与个体性,科学性、先进性与针对性相统一,灵活性与统一性相结合。

根据专家审定的中学物理教师继续教育示范性课程和课程标

准,编写9种基础性教材:《初中物理专题分析》、《高中物理专题分析》、《初中物理教学设计》、《高中物理教学设计》、《中学物理与现代科技》、《物理学发展中的创新思维选例》、《中学物理实验教学与自制教具》、《中学教师物理教育研究方法》、《中学活动课指导》。这些教材从今年秋季开始陆续出版。中小学教师继续教育语文、数学,中学教师继续教育英语、化学、生物,小学教师继续教育自然、社会等7个学科2~3种急需的示范性课程以及课程标准的设计已经启动,相应的教材将于明年底出版。同时我们还从全国推荐的中小学教师继续教育教材中,组织专家评审筛选一批优秀教材和教学参考书。上述这些教材和新编的基础性教材将向全国教师进修院校、教师培训基地、中小学教师推荐,供开设中小学教师继续教育相关课程时选用。根据继续教育的需要,我们还将继续设计开发新的课程和教材。

中小学教师继续教育教材建设是一项系统工程,尚处在起步阶段,缺乏足够的经验,肯定存在许多问题。各地在使用教材过程中有什么问题和建议,请及时告诉我们,以便改进工作,把课程教材建设提高到一个新水平。

教育部师范教育司

一九九九年六月二十四日

主编的话

唐代著名的文学家、教育家韩愈在他著名的教育论著《师说》中指出，教师的基本任务有三：传道、授业、解惑。按照今天的理解，传道包含了传授做人的道理和治学研究的方法，授业就是讲解有关的专业知识，解惑就是解答学习中遇到的问题，这三者构成了当今实施素质教育的基本要素。

一个有责任感的教师在备课中总是不断地思考和研究传道、授业和解惑三者的统一，不断思考和研究如何才能使学生更好地理解和掌握教学内容，领悟治学研究的方法，从而迸发出创新的火花。这种思考和研究永无止境，而且也正是在这种思考和研究中，教师得到磨练而更加干练和成熟。

呈现在读者面前的这套《初中物理专题分析》和《高中物理专题分析》丛书，是教育部师范司下达任务，人民教育出版社组织有经验教师撰写的中学物理教师继续教育教材的一种。作者们搜集了中学物理教学中可能出现的问题，有些是教师教学进一步深入可能会遇到的问题，有些则可能是学生进一步思考提出的问题，把它们组织起来，以更高层次的观点、近代物理的观点审视和给以分析。这不仅可以成为广大中学教师备课的好帮手，而且作为一种范例，它也是引导广大教师深入开展教学研究，并通过教学研究提高自身素养的好途径。

需要指出，《专题分析》只是就教学中可能遇到的问题作了分析，对于教师如何正确理解提供了说明，这并不是说要求教师原封不动地把这些专题分析搬到课堂教学中去给学生讲授。须知课堂讲授应根据教学大纲（或课程标准）的要求进行，随意改变教学大纲（或

课程标准)的要求,增加教学的深度和难度,从而增加学生的负担都是不适宜的和不可取的。诚然,《专题分析》中有些专题及其分析适于渗透在课堂教学中给学生讲解,有些适于对学生作个别解答,有些则适于组织学生课外学习探寻正确答案。这里存在一个掌握分寸的问题。

我们希望这套《专题分析》丛书能够切实解决广大中学教师教学中遇到的问题,并受到欢迎。

目 录

一、概述	(1)
1. 能量和能量守恒定律	(1)
2. 能量与物理学	(2)
3. 能量分析法的优点	(3)
4. 本书内容简介	(5)
二、能量守恒定律的建立	(8)
1. 机械能守恒思想的萌芽和发展	(8)
2. 蒸汽机的发明和改进	(12)
3. 永动机梦想的破灭	(14)
4. 热质说的衰落	(15)
5. 自然科学的发展	(17)
6. 能量守恒定律的确立	(19)
7. 伟大的运动基本定律	(25)
三、热力学第一定律	(27)
1. 内能与热能	(28)
(1) 内能	(28)
(2) 狭义的内能——热运动能量	(30)
(3) 热能	(33)
2. 功和热量	(34)
(1) 功	(35)
(2) 热量	(36)
(3) 功、热量和内能的比较	(37)
3. 热力学第一定律	(38)

四、机械功的定义和计算	(40)
1. 恒力的功	(40)
2. 变力的功	(44)
3. 在高中阶段解变力做功问题	(52)
(1) 用动能定理求变力的功	(52)
(2) 用功能定理求变力的功	(54)
(3) 用功的原理求变力的功	(56)
(4) 其他	(57)
五、内力的功	(60)
1. 内力做功的特点	(60)
2. 内力做功之和为零的几种实际情况	(63)
3. 内力做功的意义	(70)
(1) 质点组动能定理	(71)
(2) 质点组的功能定理	(72)
(3) 内力做功的意义	(75)
(4) 质点组的势能	(76)
〔附录 1〕	(78)
六、机械能守恒定律	(80)
1. 物理量守恒	(80)
2. 机械能守恒	(81)
3. 机械能守恒的条件	(83)
4. 机械能守恒定律与力学相对性原理	(85)
5. 机械能守恒定律的应用	(90)
6. 一个值得注意的问题	(93)
〔附录 2〕	(95)
七、质功能原理	(99)
1. 问题的提出	(99)
2. 质功能原理	(100)

3. 膺功的意义	(101)
4. 膺功能原理的意义	(106)
〔附录 3〕	(109)
参考书目	(111)

1. 能量和能量守恒定律

世界是由运动的物质组成的。物质的运动形式多种多样，并且不断相互转化。正是在研究运动形式转化的过程中，人们逐渐建立起了功和能的概念。能是物质运动的普遍量度，而功是能量变化的量度。

这种说法概括了功和能的本质，但哲学味道浓了一些。在物理学中，从 19 世纪中叶产生的能量定义：“能量是物体做功的本领”，一直延用至今。但近年来不论在国外还是国内，物理教育界却对这个定义是否妥当展开过争论。于是许多物理教材，例如现行的中学教材，都不给出能量的一般定义，而是根据上述定义的思想，即物体在某一状态下的能量，是物体由这个状态出发，尽其所能做出的功来给出各种具体的能量形式的操作定义（用量度方法代替定义）。

能量概念的形成和早期发展，始终是和能量守恒定律的建立过程紧密相关的。由于对机械能、内能、电能、化学能、生物能等具体能量形式认识的发展，以及它们之间都能以一定的数量关系相互转化的逐渐被发现，才使能量守恒定律得以建立。这是一段以百年计的漫长历史过程。随着科学的发展，许多重大的新物理现象，如物质的放射性、核结构与核能、各种基本粒子等被发现，都只是给

证明这一伟大定律的正确性提供了更丰富的事实。尽管有些现象在发现的当时似乎形成了对这一定律的冲击，但最后仍以这一定律的完全胜利而告终。

能量守恒定律的发现告诉我们，尽管物质世界千变万化，但这

种变化决不是没有约束的,最基本的约束就是守恒律.也就是说,一切运动变化无论属于什么样的物质形式,反映什么样的物质特性,服从什么样的特定规律,都要满足一定的守恒律.物理学中的能量、动量和角动量守恒,就是物理运动所必须服从的最基本的规律.与之相较,牛顿运动定律、麦克斯韦方程组等都低了一个层次.

2. 能量与物理学

能量的概念深入到物理学的各个知识领域;能量的转化与守恒像一条线索一样把整个物理贯连起来.仅以中学层次的物理知识结构来看,能量概念的普遍性和能量知识的举足轻重的地位便显得

2 十分充分.

在力学中,能量形式有动能、弹性势能和引力势能等,合称机械能;它们的传递和转化由(机械)功量度,从而存在动能定理、功能定理等转化规律.能量守恒定律在纯力学过程中,是以机械能守恒定律的形式出现的.

在热学中,能量形式扩展到与分子热运动相对应的内能.做功和传热是改变物体内能的两条途径;(广义)功和热量是分别与这两条途径对应的量度内能变化的物理量.内能变化与功和热量三者间的定量关系服从热力学第一定律.而这一定律正是普遍的能量守恒定律在热力学过程中的表现形式.

在电学中,首先有与机械势能可相对比的静电势能;静电势能的变化与电场力的功(保守力的功)相对应,电荷在静电场中的运动始终满足能量守恒定律.电流在闭合电路中做功时,电能与其他形式的能相互转化,而这种转化过程都是在能量守恒的前提下发生的.法拉第电磁感应定律则是能量守恒定律在电磁感应现象中的表现.

机械波、电磁波都是能量的载体，它们都传输能量。驻波由于不传输能量，所以有一种意见认为，驻波不是波。声波属机械波，与生活密切相关的声强就是表示声能量强弱的；对超声、次声的应用很多也用的是它们的能量特性。光波属电磁波，而激光的一个特点就是能将能量高浓度地集中在细光束中。这个特点使它在多方面的实用中大显身手。

对现代物理知识的简单介绍也是围绕着能量进行的，如核外电子的能级跃迁、核反应中的质能关系、核能的释放和利用等。

能源危机已经是现今社会的严重问题，有关能源知识的介绍，如旧能源的利用、新能源的开发、节能等话题，显然更是属于“纯”能量知识。

总之，在现代的物理教材中能量知识的比重越来越大。能量守恒定律贯穿着这些知识，把物理学的各个部分联系起来，把物理学和其他自然科学与技术科学联系起来。发掘并准确掌握这些知识的内涵和有关物理规律的内在联系，合理地反映到教学的各个环节，是提高教学质量所必不可少的。

3. 能量分析法的优点

由上述可知，能量分析的方法，即由能量知识出发去分析和解决具体物理问题的方法，是物理学研究问题的重要方法。能量分析法有许多优点，但由于在物理学不同的知识领域中，这种方法都有一些特色，我们不能一一言及，所以只以力学为例做个概略的介绍。

早在 17~18 世纪，能量的概念已在力学中以“活力”的形式萌生，机械能守恒的思想亦以“活力守恒”的形式形成。这不但为后人建立普遍的能量守恒定律提供了一方面的基础，也为力学的研究开辟了新的途径。例如，用能量守恒的观点去研究流体的问题，在

功、
热
量
和
能

18 世纪中叶就得到了著名的伯努利方程，至今在流体力学、水力学中仍起着重要的作用。到 19 世纪，经典力学达到最高成就，形成了分析力学体系。分析力学摆脱了牛顿力学以力为基础的矢量力学的特点，完全由能量（标量）的角度去分析和解决力学问题。正因为如此，后来它成为联系经典物理学与近代物理学的桥梁。

把由能量知识出发和由牛顿运动定律出发解决力学问题的这两种方法加以比较，可以看出前者在某些方面的优越性。

4 牛顿运动第二定律是牛顿力学的核心定律，但它的适用对象是单个质点。所以，用牛顿第二定律解决问题，只能将所研究的力学系统（质点组）“分割”成一个个的质点来逐个对待。而“分割”的结果是将各质点相互作用的内力显露出来，转化为“外力”（对单个质点而言），而这些内力的作用规律往往为未知，因而使未知量的数目增加。尽管这些成对出现的内力服从牛顿第三定律，知道了一个就等于知道了另一个，从而使增加的未知量又减少了一半，但一般说来仍因未知量太多而导致问题无法求解。实际上，用牛顿定律能完全确定的运动，除单个质点的运动（一体问题）外，只有由两个质点组成的系统的运动（二体问题），三个以上质点组成的系统，除非对其运动预加上足够的限制（如限制性三体问题、刚体的平动、某些常见类型的连接体问题等），否则其力学行为是无法完全确定的。

和牛顿定律不同，由于能量概念本身就是属于系统的，所以所有关于能量的规律，如质点组动能定理、功能定理、机械能守恒定律等都属于系统，对系统使用时不需将系统分割。正因为如此，能量规律可以反映出系统的一个群体特性——群体的运动形式可以发生转化或运动可以发生转移的特性，并能反映这种转化和转移的数量关系。这是牛顿定律所做不到的，而牛顿定律所能解决的问题，用能量关系一般都能解决。（分析力学的成功便是明证，当然我们在这里不想具体涉及分析力学。）对于需要细致讨论每个质点行为的问题，能量关系中有由牛顿第二定律直接推论出来的单质点动能定理

可供使用；当然这样做也需将系统“分割”，并辅之以牛顿第三定律，和直接用牛顿第二定律相比较并不显出特别的优越性。（顺便强调，“分割”不是必须避免的，对某些问题反而是绝对的需要，例如需要求解内力的时候。）对只需由系统群体特性出发即可解决的问题，那么如上所述，能量关系将充分显示出它们的优越性。特别是，如果所需解决的问题中不包括求出系统的内力，而在许多情况下系统成对内力做功之和又为零（参见第五章），这样用能量关系求解，完全可以绕开未知的内力，使求解过程大为简化。另外，总的说来能量关系是标量关系，处理起来比牛顿定律的矢量关系简单。

4. 本书内容简介

本书内容重点是围绕着能、功和热量这三个基本物理概念及与之相关的诸如能量守恒定律、热力学第一定律、机械能守恒定律等基本物理规律安排的。这些概念和规律都是中学物理教材中最基本的内容。本来，如上所述，这些内容大多贯穿于教材的各个部分，但是本书只是《高中物理专题分析》系列丛书中的一本，基于分工的考虑，本书的讨论只局限于与力学和热学相关的内容。这样做的好处是，可以使要讨论的重点内容比较集中，并有可能用较多的篇幅涉及一些有关的、对中学教学有参考价值的具体问题。

本书首先对被称为 19 世纪三大科学发现之一的能量守恒定律的建立过程做了扼要的介绍。目的是除了供老师们结合教材中的相关史料对学生进行物理学史的教育、科学方法论的教育和辩证唯物论的教育做参考外，还希望能通过回顾历史对定律本身所包含的物理内容及有关的基本概念（如能量概念）有更深入的认识和理解。对这段历史还着重注意了以下几个问题：

（1）关于《运动的两种量度》的争论。这和中学对动量和动能

概念以及动量定理和动能定理的教学密切相关。

(2) 蒸汽机发明和改进的过程。在关于瓦特由于受到水蒸汽顶起水壶盖儿现象的启发而发明了蒸汽机的科学童话在初等教育和科普教育中仍有市场的今天, 强调这一段历史是有实际意义的。(“牛顿苹果”的问题也是这样。)

(3) 热质说的兴衰。热质说虽是一种错误的理论, 但它贴近生活经验, 易于被初学者接受。它在量热学方面所创建的许多术语沿用至今, 特别是在中学教材中。所以, 教师应十分注意这个问题。否则, 稍有不慎, 就会使自己的讲课流露出浓烈的热质说色彩。

继能量守恒定律之后, 本书又分析讨论了这个定律在热力学过程中的特定形式——热力学第一定律。这是一条描述在热力学过程中系统内能的转化与传递的定量关系的普遍规律。与机械能相比较, 内能是含义深广、不太好掌握的一种能量形式。做功和传热是改变系统内能的两类不同的基本过程; 功和热量是与之相应的两个基本物理量, 分别是过程中所转化和传递的内能的量度。这三个概念以及它们之间的联系都是中学教学中最基本、最重要的内容, 也是教学的难点。所以, 是我们所要侧重讨论的。

在这之后, 本书转而以较多的笔墨讨论了关于(机械)功的知识。先以中学教材中所定义的恒力的功为出发点, 探讨了几个有关功的定义、意义、提法等方面的具体问题; 再以初等微积分为工具, 对变力的功的定义和计算做了一些介绍; 然后回到在中学的知识范围内, 不用高等数学手段所能完成的变力功的计算问题。实际上, 只有通过计算变力的功才能真正体会功是过程量这一功的基本特征。

内力功的问题是近年来物理教育界, 特别是中学物理教育界普遍关注的一个问题。其实, 中学教材中力学的动力学部分的主要研究对象是单个质点; 即使涉及到两个质点以上的系统(质点组)的内容, 如牛顿第三定律、势能、碰撞、动量守恒等, 也尽量不予言明。所以, 根本不介绍内力的概念,(奇怪的是却频频出现“外力”

一词，不言“内”何从言“外”？）更不用说内力的功了。但是，凡涉及到质点组的功、能的问题，内力功的知识在实际上就是难于避免的。例如，不了解成对保守内力做功的知识，就不可能真正理解势能的概念；而“作用力的功与反作用力的功一定等值而异号”的错误观念也是比较普遍存在的。所以，大家都开始重视这个问题。本书列专章讨论了内力功的知识，不仅介绍了内力做功的特点和计算，还列举了成对内力做功之和为零的多种实际情况；并着重对内力做功的意义和势能的概念做了深入一些的分析。

如上所述，机械能守恒定律是普遍的能量守恒定律在机械运动范围内的一种特殊形式。它有严格的成立条件。在中学教材中，由于预备知识不足等的限制，对这个定律不能给出一般形式的表述。本书则对它的普遍形式，特别是守恒的意义、守恒的条件、应用的方面及应用时要注意的问题等都做了一些分析和讨论，并作为一种扩展，对近年来在物理教育界中进行的关于这个定律与力学相对性原理的关系的讨论的情况做了简单的介绍，供读者参考。

在本书的最后介绍了一条不太常见的力学规律——质功能原理；实际上它只是力学中另一条重要规律——质心运动定理的推论。质功能原理虽不著名，但对中学物理教师却很有参考价值。这是因为生活中的一类现象，其原理不由这条规律来分析，是不能充分说明的。例如，人上楼梯，因而人与地球系统的重力势能增加，这是什么力做功的结果呢？又如，汽车在平直的路上启动，因而动能增加，这又是什么力做功的结果呢？掌握了质功能原理，在言及这类问题时就会心中有底，不会言多有失，出现错误。

二 能量守恒定律的建立

能量守恒定律是自然界最普遍、最重要的基本规律之一。由于它的普遍性，它必然是人类与自然界长期对话的总结，必然是人们多方面科研实践的综合。

人类同自然界的对话，主要就是认识、控制和利用自然力（能）的实践。人类学会用火，特别是学会通过摩擦取火（钻木取火或打击燧石取火），是人类利用自然界过程中取得的一个伟大胜利。而摩擦取火，就是把机械运动（动能）转化为热，又由热引起燃烧，把化学能转化为热和电磁辐射。可见，在人类与自然界对话的这一决定性步骤里就直接关系到能量的转化问题。但是，能量守恒定律的发现却与此相距有几十万年之久。

1. 机械能守恒思想的萌芽和发展

人类在学会用火以后很长的一段历史时期内，虽然已经利用畜力、水力、风力来运转机械，驱动舟车，但是，除畜力外，这些都还是只是利用机械能中势能和动能的相互转化。例如，水磨就是把水的势能转化为磨的动能；风车提水则是把风的动能转化为水的势能。所有这些都还没有越出机械运动的范围。

机械运动是最简单的运动形式。以机械运动为研究对象的力学，是在人类生产实践和科学实验的基础上，最早建立起来的一门理论科学。随着力学理论的形成过程，机械能的概念和机械能守恒的萌芽思想就逐渐形成了。

力学的奠基者之一伽利略（Galilei, Galilio, 1564—1642）在进行落体运动的实验时，发现落体下降所得的速度正好等于能够把它

送到原来高度的那个速度。这已接近机械能守恒的观念了。为说明在匀速运动中物体会保持自己的速度不变，伽利略根据对摆的运动的观察，设计了一个无摩擦的理想实验。首先，如图 2-1 所示，于 A 点悬一单摆，拉至 B 放手，摆球将摆到 C 。而若用钉子 E 改变摆球的路线，摆球将仍然升到与开始位置同样高的 D 点。伽利略进而指出，这可以看作是一个无摩擦的运动，对斜面也会得出相同的结果。如图 2-2 所示，在 h 高度处沿光滑斜面释放一个小球，它必将会运动到对面一个光滑斜面的同样高度上，而不管实际路线有多长。因此，随着对面斜面倾斜度的减小，球就会运动得越来越远，其速率的减小也会越来越慢。这不正是机械能守恒思想的萌芽吗。

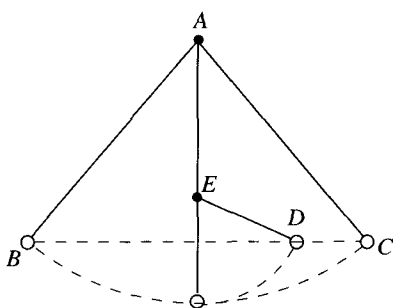


图 2-1

的结果。如图 2-2 所示，在 h 高度处沿光滑斜面释放一个小球，它必将会运动到对面一个光滑斜面的同样高度上，而不管实际路线有多长。因此，随着对面斜面倾斜度的减小，球就会运动得越来越远，其速率的减小也会越来越慢。这不正是机械能守恒思想的萌芽吗。

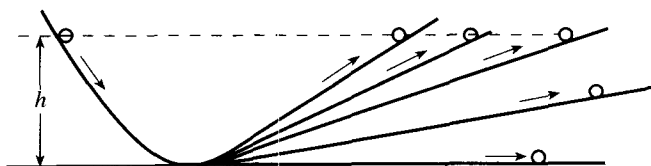


图 2-2

17 世纪末，在欧洲的学术界发生了一场关于“运动的量度”的旷日持久的著名争论。从 16 世纪到 18 世纪，力学大踏步地发展着。特别是自伽利略以后，机械运动的许多重要规律相继发现，到 17 世纪末，牛顿（Newton, Isaac, 1642—1727）的三大定律和万有引力定律已经总结出来了。但是在这时期内，人们对于机械运动以外的其他运动形式，还谈不上有什么规律性的认识。因此，“运动”在人们的心目中只是理解为机械运动。而科学家们在研究机械运动的时候，自然而然地就产生了一个问题：什么是运动的量度呢？也就是说，应该用功、热量和能