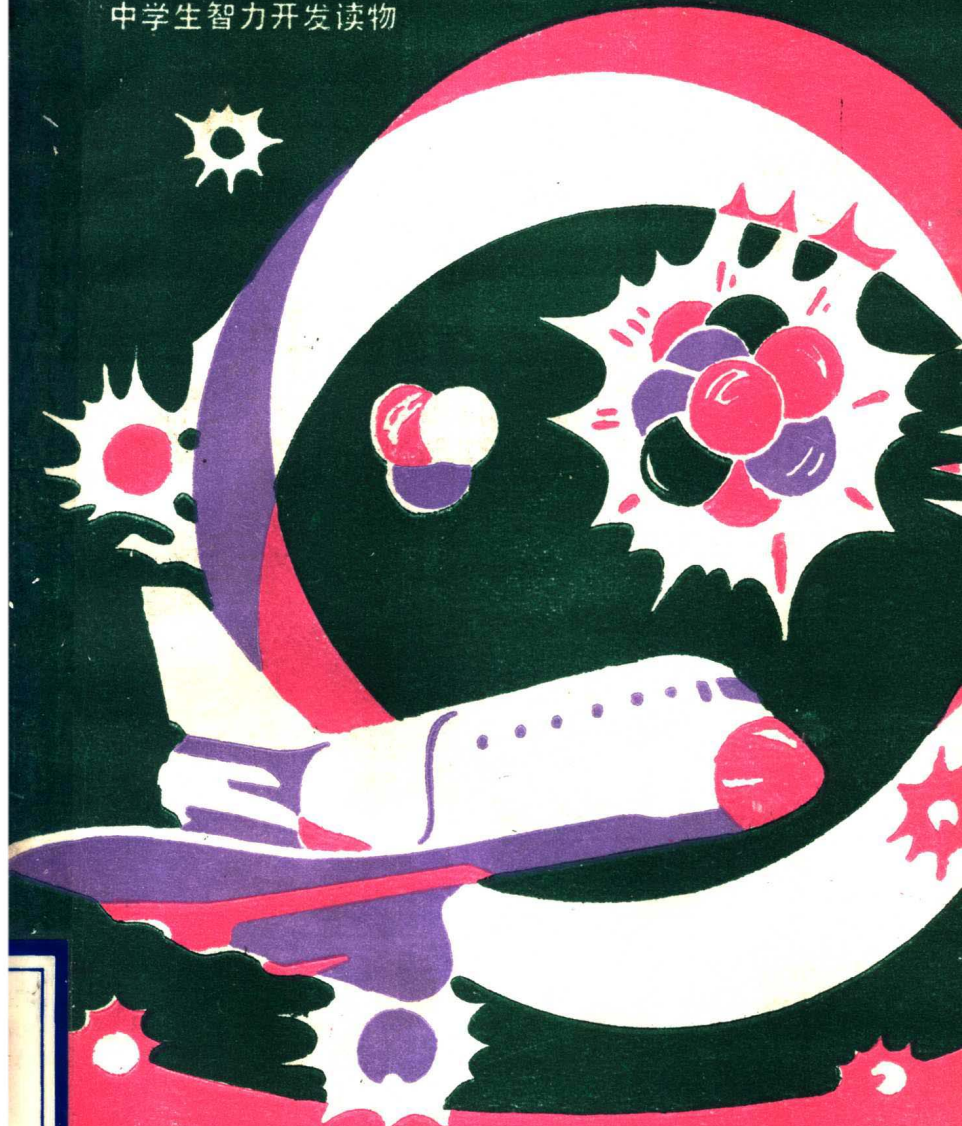


中学生智力开发读物



物理学中的常用方法

王继春 唐述曾 编著 薛子则 审

科学技术文献出版社重庆分社

责任编辑 杨 莹

技术设计 王 维

中学生智力开发读物
物理学中的常用方法

王继春 唐述曾 编著

科学技术文献出版社重庆分社 出版
发 行

重庆市市中区胜利路132号

全国各地新华书店 经销
四川省隆昌县印刷厂 印刷

开本: 787×1092毫米1/32 印张:8 字数:18万

1990年1月第1版 1990年1月第1次印刷

科技新书目: 210—335 印数: 1—3000

ISBN7-5023-0310-3/G·262 定价: 2.70元

前 言

物理学是现代科学的重要基础学科和带头学科之一。物理学发展到今天，经历了从低速到高速、从宏观到微观、从粒子和波到波粒二象性、从粒子动力学到物质的统计理论等重大阶段。这些阶段都是在观念的更新、实验技术的改进、数学方法的完善以及各种科学方法的相互渗透和移植的基础上逐渐完成的。物理学的发展史充分证明了：物理科学中的研究方法的产生和完善，有力地推动了物理学自身的迅猛发展。

中学是学习物理的基础阶段。对于中学生来说，学习物理知识是很重要的。但是，更重要的是让学生一开始学习物理就同时获得发展其能力的科学方法。我国有句古话“工欲善其事，必先利其器”。科学的方法就是犀利的武器。物理学是一门相当成熟的科学，不仅理论系统完整，实验手段先进，而且有许多完善而巧妙的方法，值得认真地学习。

然而，多年的教学生涯，使我们深深地感到，有许多学生，学有许多物理知识，有的也很系统，但问及方法，则茫然不知所答。给人的印象是：颇有知识，但能力较弱。这或许是带有一定普遍性的现象。造成这种弊端的原因是多方面的。笔者认为，学生学习过程中缺乏方法方面的指导和培养是重要原因之一。笔者与许多物理教师一样，都希望得到有

关的参考书，学生更是如此。由此，我们决定写一本剖析物理学中常用方法的书，试图较系统地把诸多方法揭示在读者面前。每一方法之中，我们都将介绍历史上饶有风趣的事例，使读者悦目清心、印象深刻，引起自觉地去掌握和运用物理学中各种方法的欲望。

知道方法是一回事，熟练地运用这些方法是另一回事。我们着眼于读者会运用所述方法来观察、思考、分析、研究和解决问题。为此，每一方法都用典型事例加以剖析，并附有少量练习。这样，将会受到较为系统的方法训练，并得到以方法为线索所安排的许多知识，从而在一个新的高度上去学习和应用物理知识。

由于许多方法有相互渗透的性质，我们在叙述中也未截然分开，这对灵活运用方法是有益处的。

全书共分九章，各章相对独立，以利读者方便地选用书中各方面的内容。每章介绍一、二种方法。各章都按统一的编写体例展开具体内容：

一、故事与反思：故事讲述的是古今中外物理学史上的生动事例。反思是对故事的深化，该故事对我们思维的启迪，以及对该故事所提供的科学方法的评价。

二、典型事例：历史上用该方法处理问题的典型事例。

三、实例与练习：为帮助中学生和初学物理的读者能基本掌握某一研究方法的全过程和某些重要的细节而提供的典型例题和解答。

四、本章提要：是该章方法的一个提要，一个较为全面、简明的叙述，使读者能获得一个整体的印象。

本书在编写中参阅引用资料甚广，并有部分内容借用了这些资料的表述与插图，书末仅将主要参考书目列出，还有部分目录未及一一细列。在此一并向作者们致以深切的谢意。

苏文芳、田冬梅老师对本书的写作和出版以大力支持，李金泰老师对全书作了文字订正和润色，范炜老师为本书绘制了部分插图，在此一并致以衷心的感谢。

我们希望并相信其它学科也有类似的书籍问世。我们的这本小册子只是抛砖引玉，它若能引起专家学者和中学物理师生们及其他爱好者的注意，来共同研讨中学物理教学中的科学方法，则不胜欣慰。由于我们才疏学浅，书中谬误之处在所难免，祈请物理学界的前辈、同行、朋友和读者们，不吝赐正。

作 者

1988年11月

目 录

第一章 观 察	(1)
第一节 故事与反思	(1)
一、中学生姆潘巴的精心观察对权威的牛顿冷却 定律提出挑战.....	(1)
二、反思.....	(4)
第二节 典型事例	(5)
一、哥白尼通过观察建立了“日心说”.....	(5)
二、古德利克发现恒星大陵五的暗伴星.....	(7)
三、细心观察是物理学家卢瑟福的特点.....	(7)
四、爱因斯坦的三大著名预言.....	(7)
五、对宇宙线的观察加深了对物质结构的认识.....	(8)
六、观察手段的飞跃性变革.....	(8)
第三节 实例与练习	(9)
例 1. 观察布朗运动.....	(9)
例 2. 谁是纵火犯.....	(11)
例 3. 实物的形状.....	(11)
例 4. 眼睛不会欺骗你吗.....	(12)
练习与解答	(13)
第四节 本章提要	(20)
一、观察的意义.....	(20)
二、观察的要素.....	(21)

三、观察的方法	(21)
四、观察方法的局限性	(22)

第二章 实验 (24)

第一节 故事与反思 (24)

一、近代实验科学的奠基人——伽利略	(24)
二、反思	(28)

第二节 典型事例 (29)

一、自由落体实验	(30)
二、木卫蚀观察实验	(30)
三、摩擦生热实验	(30)
四、双缝干涉实验	(30)
五、热功当量实验	(30)
六、莱顿瓶放电实验	(31)
七、以太漂移实验	(31)
八、 α 粒子散射实验	(31)
九、日全蚀观察实验	(31)
十、证实存在第六种夸克的实验	(31)

第三节 实例与练习 (32)

例1. 欧姆定律的发现	(32)
-------------	------

例2. 测定光速的实验	(33)
-------------	------

练习与解答	(44)
-------	------

第四节 本章提要 (52)

一、实验的意义	(52)
二、实验的特点	(52)
三、实验的要素	(53)
四、实验的类型	(53)

五、实验的步骤	(53)
六、实验的局限性	(54)

第三章 思维实验 (55)

第一节 故事与反思 (55)

一、思维实验战胜了主观臆想	(55)
二、反思	(58)

第二节 典型事例 (59)

一、阿基米德的思维实验	(59)
二、富兰克林的思维实验	(59)
三、安培的思维实验	(59)
四、卡诺的思维实验	(60)
五、麦克斯韦的思维实验	(60)
六、爱因斯坦的思维实验	(60)
七、海森堡的思维实验	(60)

第三节 实例与练习 (60)

例 1. 落体运动的思维实验	(60)
例 2. 理想气体状态方程的思维实验	(62)
例 3. 思维实验创建了相对论的时空观	(62)
例 4. 对一个思维实验正确性的讨论	(67)

练习与解答 (69)

第四节 本章提要 (73)

一、什么是思维实验	(73)
二、思维实验的特征	(73)
三、思维实验的作用	(74)
四、思维实验的局限性	(75)

第四章 类 比 (76)

第一节 故事与反思	(76)
一、惠更斯用类比建立了光的波动说	(76)
二、反思	(79)
第二节 典型事例	(79)
一、台风旋转方向的揭示	(79)
二、电场和磁场的描绘	(80)
三、物质粒子波粒二象性的推论	(81)
四、波动力学的建立	(82)
五、铀核裂变的发现	(83)
六、微型化领域的开辟	(83)
第三节 实例与练习	(84)
例 1. 定滑轮与等臂杠杆的类比	(84)
例 2. 串联弹簧与串联电容的类比	(85)
例 3. 用不等臂天平测物体质量与用光具测 玻璃罩中物体高度的类比	(86)
练习与解答	(87)
第四节 本章提要	(94)
一、什么是类比法	(94)
二、类比法在科学研究中的重要作用	(95)
三、类比法的局限性	(96)
第五章 模 型	(97)
第一节 故事与反思	(97)
一、原子模型的历史故事	(97)
二、反思	(105)
第二节 典型事例	(106)
一、毕达哥拉斯构思宇宙整体模型	(106)
二、哥白尼建立“日心说”新宇宙模型	(107)

三、牛顿广泛运用理想模型.....	(107)
四、德拜建立固体比热模型.....	(107)
五、工程技术专家假设理想变压器模型.....	(108)
六、玻尔提出复核模型.....	(108)
七、麦克斯韦充分运用模型法.....	(108)
八、薛定谔和海森堡的量子力学理论	
——数学模型.....	(109)
第三节 实例与练习	(109)
例 1. 质点模型.....	(109)
练习与解答	(111)
例 2. 弹性碰撞与完全非弹性碰撞模型.....	(115)
练习与解答	(117)
例 3. 理想气体模型.....	(121)
练习与解答	(123)
例 4. 习题中的模型举例.....	(124)
练习与解答	(125)
第四节 本章提要	(128)
一、什么是模型.....	(128)
二、为什么要引入模型.....	(129)
三、如何正确地建立模型.....	(130)
四、怎样使用模型来研究物质的运动.....	(130)
五、模型的种类.....	(130)
六、模型在认识中所起的作用.....	(131)
七、模型的局限性.....	(131)
 第六章 数学方法	(132)
 第一节 故事与反思	(132)
一、数学方法的开创者——笛卡儿.....	(132)

二、反思	(134)
第二节 典型事例	(135)
一、运用数学计算方法发现海王星	(135)
二、将物理实验和数学方法结合起来描述 自由落体运动规律	(137)
三、运用数学方法推导万有引力定律	(138)
四、数学方法的发明发展促进了物理学的 研究和发展	(138)
五、运用张量分析和黎曼几何揭示时空 的辩证关系	(138)
六、借助数学方法研究物理学规律	(138)
七、运用数学演绎法和算法预言正电子 的存在	(139)
第三节 实例与练习	(139)
例1. 借助函数及其图象研究物理规律	(139)
例2. 利用比值的特性建立物理概念	(141)
例3. 运用数学方法导出有规律性的物 理学推论	(144)
例4. 运用数学方法解答物理习题	(146)
练习与解答	(158)
第四节 本章提要	(165)
一、什么是数学方法	(165)
二、数学方法的特点	(166)
三、数学方法在物理学研究中的作用	(166)
四、数学方法在物理学应用中的局限性	(167)
第七章 假 说	(169)
第一节 故事与反思	(169)

一、法拉第的成功之路·····	(169)
二、反思·····	(173)
第二节 典型事例 ·····	(174)
一、正电子的发现·····	(174)
二、热的早期假说——“热素说”与“热的 唯动说”·····	(175)
三、中微子的发现·····	(176)
四、哥白尼的“日心说”等·····	(176)
第三节 实例与练习 ·····	(177)
实例 巴耳末公式的诞生·····	(177)
练习与解答 ·····	(179)
第四节 本章提要 ·····	(180)
一、什么是假说·····	(181)
二、假说的特征·····	(181)
三、假说在科学研究中的作用·····	(181)
四、科学假说应遵循的原则·····	(182)
五、提出假说的科学步骤·····	(182)
六、假说的局限性·····	(183)
 第八章 分析与综合 ·····	 (184)
第一节 故事与反思 ·····	(184)
一、牛顿与万有引力定律的故事·····	(184)
二、反思·····	(190)
第二节 典型事例 ·····	(190)
一、能的转化与守恒定律的建立·····	(190)
二、光的颜色问题的解决·····	(192)
三、太阳上基本元素的确认·····	(192)
四、氢光谱线的综合·····	(192)

五、元过程法的形成	(193)
六、科学概念的综合	(193)
七、热运动本质的揭示	(193)
第三节 实例与练习	(194)
例 1. 用分析法与综合法解题的一般程序	(194)
例 2. 分析与综合“互补”	(196)
例 3. 惠斯通电桥故障的分析与综合	(197)
练习与解答	(203)
第四节 本章提要	(209)
一、什么是分析法与综合法	(209)
二、分析法与综合法在科学研究中的作用	(209)
三、分析与综合的辩证关系	(210)
四、分析法与综合法的类型	(210)
五、分析法与综合法的局限性	(211)
第九章 归纳与演绎	(212)
第一节 故事与反思	(212)
一、归纳与演绎的故事	(212)
二、反思	(219)
第二节 典型事例	(220)
一、归纳法所起的巨大作用	(220)
二、共变法是科学研究中仪器仪表的设计基础	(220)
三、爱因斯坦运用归纳法提出光量子学说	(221)
四、归纳法与演绎法的典型例证——门捷列夫元素周期律	(221)
五、维恩运用演绎法获得位移公式	(222)

六、演绎法的预见性·····	(222)
第三节 实例与练习 ·····	(223)
例 1. 怎样求火箭运行中的即时速度·····	(223)
例 2. 求地球的质量·····	(224)
例 3. 一般与个别不能混淆·····	(225)
练习与解答 ·····	(226)
第四节 本章提要 ·····	(234)
一、什么是归纳法和演绎法·····	(234)
二、归纳法的类型·····	(235)
三、演绎法的一般推理形式·····	(237)
四、归纳法与演绎法在科学认识中的 重要作用·····	(238)
五、归纳法与演绎法在科学研究中的 局限性·····	(239)
参考文献 ·····	(240)

第一章 观 察

科学的原理起源于实验的世界和观察的领域，观察是第一步，没有观察就不会有接踵而来的前进^①。

——门捷列夫（俄）

第一节 故事与反思

一、中学生姆潘巴的精心观察对权威的牛顿冷却定律提出挑战

我（姆潘巴）在坦桑尼亚的马干巴中学读三年级时，校中的孩子们做冰淇淋总是先煮沸牛奶，待到冷却后再倒入冰盘，放进电冰箱。为了争得电冰箱中的最后一只冰盘，我决心冒着弄坏电冰箱的风险而把热牛奶放进去了。一个多小时以后，我们打开电冰箱，里面出现了惊人的奇迹：我的冰盘里的热牛奶已结成坚硬的冰块，而他们的冰盘里还是稠稠的液体。我飞快地跑去问物理老师，他淡淡地回答说：“这样的事一定不会发生。”

^①《科学家论方法》 内蒙古人民出版社，1983年版，第170页。

进入高中后，在学习牛顿冷却定律^①时，我又问物理老师，他同样轻率地否定了我的观察。我继续述说我的理由，可老师不愿意听，在一旁的同学们也帮着老师质问我：“你究竟相不相信牛顿冷却定律？”我只好为自己辩解：“可定律与我观察的事实不符嘛！”在同学们的讪笑声中，老师带着无可奈何的神情说道：“你说的这些就叫做姆潘巴的物理吧！”从此以后，“姆潘巴的物理”便成了我的绰号，只要我做错一点，同学们就马上说：“这是姆潘巴的什么……。”尽管如此，我仍然坚信我的观察是正确的，其中可能包含着更为深刻的道理。

就在这一年，坦桑尼亚最高学府达累斯萨拉姆大学物理系系主任奥斯波恩博士来我校访问，我决心求助于博士，我向他讲述了我的奇遇。他先是笑了一下，然后认真地听取了我的复述，博士回校后亲自动手并观察到了同一事实。他高度评价了我的观察，他说：“姆潘巴的观察，事实上提出了权威物理学家可能遇到的危险，同时，也对物理教师提出了一个感兴趣的问题。”

博士邀请我联名发表一篇论文，登载于《英国教育》^②，对热牛奶在电冰箱中先行冻结的现象作了介绍和解释。其主要内容是：

1. 把牛奶换成水以后再进行观察，发现电冰箱中的热水仍在冷水之前冻结成冰。

^① 牛顿曾经指出，温度不高的物体在冷却的时候遵守一个简单的定律，如果物体的温度是 T_1 ，而环境的温度是 T_0 ，则物体在时间 t 内的热量损失为： $\Delta Q = \text{常数} \times (T_1 - T_0) t$ 。

^② 译文见《物理教学》1984年第8期《姆潘巴的故事》。

2. 把热水放入电冰箱冷却时, 水的上表面 (S) 与底部 (B) 之间存在着显著的温度差。缓慢冷却时的温度差几乎是观察不到的。图 1-1 是初始温度分别为 70°C (实线)

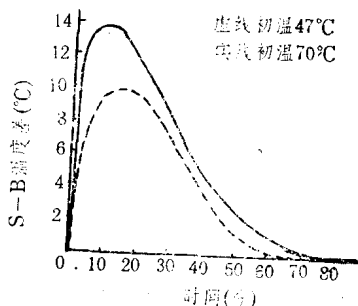


图1-1

和 47°C (虚线) 的水的 S-B 温度差随时间变化的观测记录图。从图中可看出, 初始时, 上表面与底部不存在温度差, 但一经急剧冷却, 温度差就立即出现, 其中初温为 70°C 的水内产生的最高温度差接近 14°C , 而初温为 47°C 的水内产生的最高温度差只有 10°C 左右, 这

就是我们所观察到的冷、热水在急剧冷却时的重大差别。

在以上定量观测的基础上, 我们对热牛奶 (或热水) 先冻结的现象作出如下解释:

1. 冷却的快慢不是由液体的平均温度决定的, 而是由液体上表面与底部的温度差决定的, 热牛奶急剧冷却时, 这种温度差较大, 而且在整个冻结前的降温过程中, 热牛奶的温度差一直大于冷牛奶的温度差。

2. 上表面的温度愈高, 从上表面散发的热量就愈多, 因而降温就愈快。

基于以上两方面的理由, 热牛奶以更高的速度冷却着, 这便是热牛奶先冻结的秘密。

除了作出热牛奶先冻结的解释外, 我们还大胆地类推出一个有趣的“猜想”: 在发生严重冰冻的日子里, 热水管应该