

物理解题理论

WULIJETILILUN

郑青岳



大象出版社

责任编辑 谢 凯
封面设计 祁 荧

04
405

ISBN 7-5347-1936-4



9 787534 719363 >

ISBN 7-5347-1936-4/G · 1630

定 价 8.55 元

04
405

物理解题理论

郑青岳 著

大象出版社

物理解题理论

郑青岳 著

责任编辑 谢 凯

大象出版社 出版

(郑州农业路 73 号 邮编 450002)

河南第一新华印刷厂印刷

河南省新华书店发行

787×1092 毫米 32 开本 11.75 印张 261 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月第 1 次印刷

印数 1--2300 册

ISBN 7-5347-1936-4/G · 1630

定 价 8.55 元

如有质量问题,影响阅读,请与印刷厂联系调换。

自序

求解物理习题首先必须熟悉物理概念、定理、定律、定则等知识,除此之外,我们还必须知道怎样用这些专业知识去解决问题,即还必须具备关于“怎样做”的知识。但十分遗憾的是,直至今日,我们对这种关于“怎样做”的知识仍知之甚少。尽管人们对物理解题有过许多研究,但这些研究大半是在较低层次上进行的。不少物理教师对物理解题的理论知识缺乏,修养偏低,习题教学效益不高。

鉴于以上情形,近几年来,我以现代认知心理学、科学方法论为指导,借鉴其他学科,尤其是数学学科对解题理论的研究成果,对物理解题理论作了较为系统的研究。因为关于物理解题理论尚未见有系统的著述,所以,我的研究是尝试性的。本书只是作为一个阶段性的成果,它像一只“丑小鸭”出现在大家面前,我有感它体系不够完善,探讨有待深入。我将它献给广大同行,希望能得到同行的指正。

本书虽然是针对物理解题而写的,但各种问题的解决具有许多相同点,我希望本书对其他学科的解题也能提供某种启示和借鉴。我希望我们的物理教育应当追求这样的目标:当学生今后将物理专业知识几乎忘光的时候,还能留下许多东西。

对我开展这一研究工作影响最大的是数学界的一代宗师

——美国杰出的数学家乔治·波利亚及他的几部代表作。我曾怀着十分崇敬的心情细读了波利亚的《怎样解题》、《数学的发现》、《数学与猜想》等著作。尤其是被誉为世界名著的《怎样解题》一书，我阅读了不下8遍，每一次阅读都有新的体会、新的联想、新的收获，常常为他在书中的精辟论述而发出赞叹。我将在本书中多处引用他的精彩论述，我更愿将该书推荐给广大同行。正如现代数学家瓦尔登所说的：“每个大学生、每个学者，特别是每个教师都应该读这本引人入胜的书。”

我常常想起我的一位学生——董寅。他虽然高中物理学习成绩并不出色，但在自修课我对他作解题指导时，他曾多次问过我类似如下的问题：“是的，你的解答很好，但你是怎样想出这样的解答呢？这个问题其实我完全有能力解答，但我为什么就想不到正确的解答呢？”这些问题常使我发窘，但我意识到它触到了我们教师的弱处。几年来，我一直没忘掉这些问题，并试图作出满意的回答。这也是我进行解题理论研究的一个动因。

我要感谢浙江省特级教师吴加澍老师，他在百忙中为我认真审阅了全书，并提出了许多宝贵的意见。

我还要感谢我的妻子，这些年来，她承担了几乎所有的家务，并对我的生活给予良好的照顾，使我能集中精力写好这本书。

在本书中，我还参考和引用了一些书刊、文献中的观点和例证，借此一并致谢！

作 者

1995年元月

目 录

第一章 引论	(1)
1.1 学生为什么需要解题	(1)
1.2 我们为什么要研究解题	(8)
1.3 应当怎样研究解题	(12)
第二章 物理解题的一般过程	(17)
2.1 问题与解题	(17)
2.2 审题环节	(23)
2.3 求解环节	(32)
2.4 回顾环节	(42)
第三章 物理解题的基本策略	(56)
3.1 解题策略与解题决策	(56)
3.2 穷举法	(60)
3.3 模式识别	(73)
3.4 正难则反	(83)
3.5 数形结合	(91)
3.6 以退求进	(101)
3.7 问题转化	(112)
3.8 特殊化与一般化	(124)
3.9 局部与整体	(137)
第四章 科学方法与物理解题	(148)

4.1	观察方法	(149)
4.2	比较方法	(159)
4.3	类比方法	(171)
4.4	理想化方法	(185)
4.5	数学方法	(201)
4.6	猜想方法	(225)
4.7	定性分析方法	(235)
第五章 影响物理解题成败的因素		(247)
5.1	认知结构	(247)
5.2	问题表征	(256)
5.3	原型启发	(265)
5.4	目标意识	(276)
5.5	定势水平	(285)
5.6	迁移效应	(297)
5.7	思维品质	(306)
第六章 物理解题规则		(317)
6.1	符号运用规则	(317)
6.2	问题分析规则	(328)
6.3	推理演算规则	(334)
第七章 物理解题对美的追求		(344)
7.1	追求简单性	(345)
7.2	追求和谐性	(349)
7.3	追求奇异性	(357)
7.4	追求对称性	(360)
主要参考书目		(367)

第一章 引 论

1.1 学生为什么需要解题

几乎所有的物理教师都懂得这样一个道理：学生要想学好物理，必须做足够数量的习题，尽管我们知道解题并不是物理学习的全部，尽管我们也十分反对时下不少人为“应试教学”而采取“题海战术”，我们也大声疾呼中学物理教学必须大力加强观察和实验，培养学生的动手能力，等等。但是，我们仍然不愿放松对学生的解题训练，仍然十分重视物理习题的教学。那么，物理解题在物理教学中究竟具有什么意义，能起到哪些方面的作用呢？

一、解题是理解和掌握知识的必要环节

马克思主义的哲学认为，人对事物的认识要经历从感性认识到理性认识，再从理性认识到实践的两次飞跃，学生在课堂中学到的物理概念、规律是通过观察和实验，由大量的事实抽象概括出来的，具有抽象性、概括性、一般性和（在一定范围内的）普遍性的特征，学生在头脑中建立这些概念和规律的过程实际上是由感性认识到理性认识、由特殊到一般、由具体到抽象的过程。但是，走到这一步，仅仅是完成认识过程的一半，理性的认识有待于回到实践中去，物理解题是物理理论联系实际的桥梁，学生通过解题，将所学的抽象知识运用于多种多

样的问题情境,可以在更高的层次上使理论回到实践,一般回到特殊,抽象回到具体.这样,才能使物理知识变成活生生的、可以具体感觉到的东西.

教学实践告诉我们,学生学习知识并不是直线式进行、一次性完成的,而是曲折地进行、螺旋式地上升的.他们在初次接受物理概念和规律时,理解往往并不十分全面、深刻和准确,通过解题,将所学的知识反复作用于各种问题情境,可以使学生对知识的认识逐步完善.例如对透镜所成的“倒像”概念,学生开始时一般只抽象地理解为像与物的方位互相颠倒,而许多学生则片面地从二维空间上理解为上下颠倒.

例 1 如图 1-1,凸透镜的焦距为 f ,在透镜的一侧大于 $2f$ 处放有一个“F”形的发光体,人眼通过透镜看发光体,看到的像为图中的哪一个?

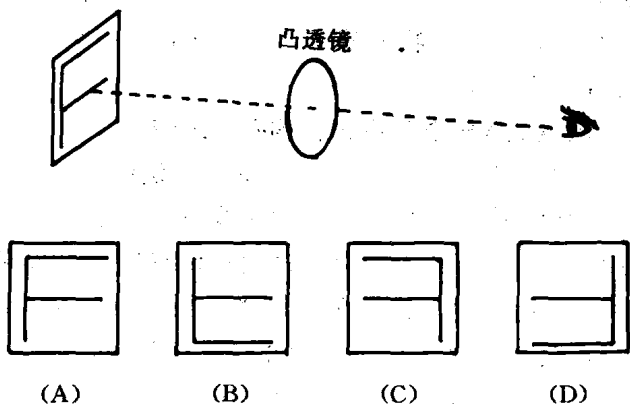


图 1-1

通过求解本题,学生可以对“倒像”的含义理解得更为准确.

二、解题可以扩大学生的知识面

教师应当向学生传递尽可能多的信息,但考虑到课本知识的系统性以及课堂教学的时限性等因素,教材的内容及所包含的知识量要受到限制.物理习题涉及到许多理论或实际的知识,可以帮助学生扩大视野.学生通过解题,可以学到许多在课本中未曾介绍的知识.

例如气体状态变化的规律,一般中学物理课本中只介绍三条实验定律、一定质量的理想气体状态方程和克拉珀龙方程,通过对有关习题求解过程的分析,可以使学生获得如下结论:一定质量的理想气体,如果变化前分为 m 个部分,即 $(p_1V_1T_1)$ 、 $(p_2V_2T_2)$ 、 \dots 、 $(p_mV_mT_m)$;变化后分为 n 个部分,即 $(p'_1V'_1T'_1)$ 、 $(p'_2V'_2T'_2)$ 、 \dots 、 $(p'_nV'_nT'_n)$,则有如下“分量式”:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} + \frac{p_2V_2}{T_2} + \dots + \frac{p_mV_m}{T_m} = \frac{p'_1V'_1}{T'_1} + \frac{p'_2V'_2}{T'_2} + \dots + \frac{p'_nV'_n}{T'_n},$$

即
$$\sum_{i=1}^m \frac{p_iV_i}{T_i} = \sum_{j=1}^n \frac{p'_jV'_j}{T'_j}.$$

再如对光的干涉,课本中只介绍双缝干涉和薄膜干涉,通过解题,学生可以接触到双棱镜干涉、单面镜干涉、切透镜干涉、双面镜干涉等知识,同时懂得了:光的各种干涉的共同之处,就是把一个光源发出的同一束光分离为两列光波再相互叠加.

物理解题还可以使学生了解到物理知识在生产和生活中的实际应用以及科技新成就.如下题,可以使学生了解磁流体发电机及其基本原理.

例 2 目前世界上正在研究一种新型发电机,叫做磁流体发电机,它可以把气体的内能直接转化为电能.图 1-2 表示

出了它的发电原理：将一束等离子体（即高温下电离的气体，含有大量带正电和带负电的微粒，但从总体来说呈中性）喷射入磁场中，磁场中有两块金属板 A 和 B，这时金属板

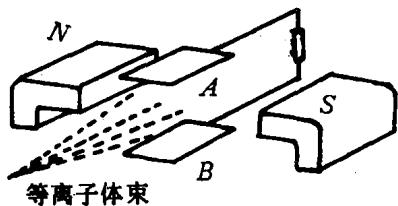


图 1-2

上就聚集电荷，产生电压。说明金属板上为什么会聚集电荷。在磁极配置如图中所示的情况下，电路中的电流方向如何？（高中物理第三册（选修）第 246 页）

三、解题可以检验学生对知识的掌握情况

根据“三论”的反馈原理，所谓学习，就是学习者吸收信息并输出信息，通过反馈和评价知道正确与否的整个过程，其模式可用如下框图表示。

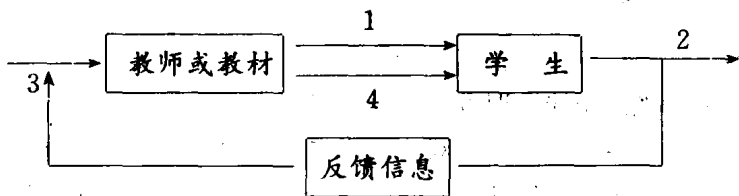


图 1-3 1. 吸收信息 2. 输出信息
3. 反馈信息 4. 评价信息

关于学习的上述定义表明，只有吸收信息，没有输出信息、反馈信息和评价信息，并不能构成一个完整的学习过程。布鲁纳在《教育过程》一书中提出学习行为包括：知识的获得、转换、评价。H·A·西蒙在讲授认知心理学时指出：“只有当学习者知道学习的结果时，才能发生学习。”解题是反馈学生

学习情况的重要途径,根据学生解答物理习题的情况,教师可以强化正确,发现错误,分析学生解题出错的原因,可以改进和调整自己的教学.学生也可以进行补偿学习.例如,在教过牛顿第二定律之后,我们曾让学生求解下题:

例 3 如图 1-4,重为 G 的物块放在倾角为 θ 的光滑斜面上,并与斜面一起向左做匀加速直线运动,试求斜面对物块的支持力.

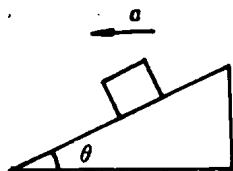


图 1-4

结果发现不少学生出现如下解法:
物块共受重力 G 和支持力 N 两个

力,如图 1-5,将 G 分解为 G_1 和 G_2 ,则 $N = G_2 = G \cos \theta$.

这反映了这些学生对加速度 a 与合外力 F 的同向性缺乏足够的认识.在教学中,我们和学生一起分析了错误所在,并对错误进行纠正,作出了正确的解答,如图 1-6 甲、乙.

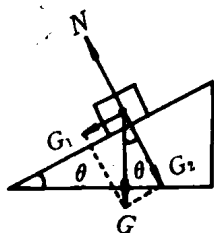


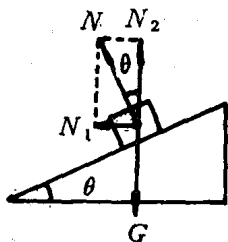
图 1-5

在这个基础上,再要求学生求解如图 1-7 甲、乙两个问题,予以巩固.通过练习——纠错——再练习,学生认识到:无论对

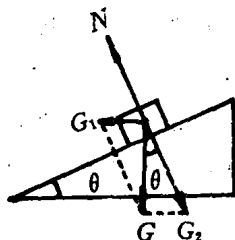
哪个力做分解,或做怎样的分解,都应保证合力的方向与加速度的方向相同.

四、解题可以培养学生的思维能力

根据现代认知心理学的观点,所谓思维就是指应用感知的信息和贮存在大脑(或电脑)内的信息去解决问题的过程.思维的开端永远是存在着一定的课题. G·波利亚写道:“我们大部分有意识的思维都和问题有关.”前苏联心理学家 A·

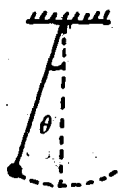
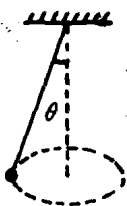


甲. $N = N_2 / \cos\theta = G / \cos\theta$



乙. $N = G_2 = G / \cos\theta$

图 1-6



- 甲. 重为 G 的小球做圆锥摆运动, 求绳子的拉力. 乙. 重为 G 的小球在竖直面内摆动, 求球在极端位置时绳子的拉力.

图 1-7

P·鲁利亚写道：“在人有适当的动机而使课题变得迫切了，并且它的解决成为必要的了，当人要从他所处的情境中走出来而又没有现成的（先天的或习惯的）解决办法时，只有在这种场合思维才出现。”根据鲁利亚的观点，问题解决是思维的充分而必要的条件，即当且仅当问题解决时才发生思维。由此可见，对学生进行解题训练，尤其是让他们独立地解答适当难度的物理习题，是培养学生思维能力的重要途径。

解答物理习题，是将一般性的物理原理与具体的问题情

境相互作用的过程,需要遵循一定的逻辑程序,进行严格的推理论证.物理解题还需要广泛联想,大胆猜测,凭借丰富的经验,捕捉可贵的灵感,试图从其他相关事物中获得启发和借鉴,进行正确的决策.可见,物理解题能有效地培养学生的逻辑思维、顿悟思维、发散思维和收敛思维等能力.

解答物理习题要用到许多方法,这些方法大的如对研究对象进行隔离的方法,对物理状态和过程进行具体分析的方法,将实际问题抽象成物理模型及数学模型的方法,对复杂问题进行变换转化的方法,等等;小的如一些特殊的技巧.方法的掌握,途径在于训练,学生只有通过足够数量的习题解答的训练,才能掌握这些方法.同样,学生只有熟练掌握了这些方法,才能顺利地求解新的问题.例如,我们只有通过复杂电路标准化的练习,才能掌握电路简化的方法,才能成功地求解其他复杂电路的问题.可见,物理解题能有效地培养学生分析问题和解决问题的能力.

五、解题可以培养学生的非智力因素

求解任何物理习题,都或多或少能使有所发现,好的物理习题可以引起学生极大的好奇心和浓厚的兴趣,并给学生追求真知、施展创造才能提供机会.解题的成功能使学生获得莫大的喜悦和快感,从而使学生的学习兴趣和积极性得到强化.解题还能有效地培养学生良好的习惯.所有这些,都能够对学生的成长起到促进作用.

在解题时,学生作为问题解决的主体,被直接推到问题之前,他们要完全依靠自己的智力劳动,去获得问题的答案.学生进行解题活动,会以自己能独立完成的任务,并提出创造性的见解而在心理上获得最大的满足.所以,物理解题能有效地培

养学生的独立思考和创造精神。

解题的成败不仅取决于解题主体的智力素质,同时也取决于非智力素质。解题,尤其是求解难度较大的物理习题,是一种艰苦的智力劳动,也是磨炼学生意志和毅力的一种活动。G·波利亚说:“教学生解题是意志的教育,当学生求解那些对他来说并不太容易的题目时,他学会了败而不馁,学会了赞赏微小的进展,学会了等待主要的念头,学会了当主要念头出现后全力以赴。”他还指出:“认为解题纯粹是一种智能活动是错误的;决心与情绪所起的作用很重要。”物理解题需要信心、耐心和决心,不能急于求成,期望代一下公式便得到答案。在探索解题途径时,要认真考察,深入分析,多方联想,大胆尝试。在推理演算时,要严谨有序,一丝不苟。在解题受阻时,要满怀热情,百折不挠,全身心地投入。可见,物理解题能使学生的非智力因素得到很好的培养。

1.2 我们为什么要研究解题

研究物理解题是广大物理教育工作者十分感兴趣的课题,几乎所有的中学物理专业性刊物上都开辟有“解题研究”的专栏,解题研究的文章在中学物理教学研究的著述中占有很大的比重,物理教学研究的其他文章中也常常涉及到解题问题,不同层次的物理解题研究的专著时有出版,物理教师们常常为提高学生的解题能力绞尽脑汁。当我们十分热衷于做这件事的时候,我们似乎有必要暂时停下来好好地想一想,我们究竟为什么要研究解题?它的意义何在?作用如何?对这些问题作一番理性的思考,将使我们的研究工作有更为明确的指导思想,并走上正确的轨道。

一、研究解题与研究教学是统一的

解题作为教与学的一种活动形式,并不都是进行在知识的教学之后,其实,在物理教材中,许多课题的探讨也正是按解题的方式展开的.例如在力学中,利用匀速直线运动和自由落体运动等规律来研究平抛运动的规律;利用牛顿第二定律导出动能定理和动量定理;利用万有引力定律和匀速圆周运动规律研究天体和人造地球卫星的运动规律.在电学中,利用洛仑兹力和匀速圆周运动规律推导电荷在匀强磁场中的运动半径和周期;利用法拉第电磁感应定律讨论直导线切割磁力线运动产生感应电动势的问题,导出公式 $\mathcal{E} = Blv$;在光学中,利用透镜的三条特殊光线推导透镜成像公式,等等,实际上都可以看作解题.解题既是教学的一种形式,也是教学的一个内容.进一步看,物理学习作为一种有意义的学习,就是一个不断地提出问题和解决问题的过程.所以,从这个意义上说,学习的实质就是解决问题.反之,物理解题的过程也是主体积极认知的过程,在解题中,主体以同化和顺应两种认知方式,将问题及其结论纳入自己的认知结构之中,从而使认知结构得到丰富和调整.所以,我们也可以说,解题是一种学习.由此可见,物理解题与物理教学是不能绝然割裂开来的两种活动,研究物理解题与研究物理教学是统一的.虽然我们平时所说的(及本书所述的)解题有着特定的意义,即解答物理习题,但这种狭义的解题的研究却具有普遍的指导意义,因为它将涉及到人如何获取信息、加工信息,如何进行决策思维,以及如何贮存和提取知识等等问题.所有这些,不但对整个物理学科的教学,而且对于其他各学科的教学,乃至对学生今后解决生活和生产实际中的各种问题,都将起到积极的启示作用.