



老虎物理系列文章

## 什么是 ETA 物理解题法 ——素质与应试的统一

穆良柱

(北京大学物理学院, 北京 100871)

**摘要** 为了解决素质教育与应试能力统一的问题,我们以 ETA 物理认知模型为基础,提出了 ETA 物理解题法。这种解题法不仅能实现教、学、考、研的统一,还能克服“应试教育”的各种弊端,帮助学生取得更好的考试成绩。

**关键词** ETA 物理解题法;ETA 物理认知模型;科学认知;科学方法;科学精神

## WHAT IS ETA PHYSICS PROBLEM SOLVING STRATEGY: THE UNIFICATION OF COMPETENCY-ORIENTED EDUCATION AND EXAM-ORIENTED EDUCATION

MU Liangzhu

(School of Physics, Peking University, Beijing 100871)

**Abstract** In order to find the way to unify competency-oriented education and exam-oriented education, we propose this ETA physics problem solving strategy originated from ETA physical cognition model. This method not only achieves the unity of teaching, learning, testing, and research, but also overcomes the various drawbacks of “exam-oriented education”, helping students achieve better test scores.

**Key words** ETA physics problem solving strategy; ETA physical cognition model; scientific cognition; scientific method; scientific spirits

关于素质教育与“应试教育”的讨论由来已久<sup>[1-3]</sup>,各种建议和改革实践不断进行<sup>[4-5]</sup>,相关的国家政策也在不断调整<sup>①</sup>。本质上说,真正的素质教育和应试并不矛盾,素质优秀的学生在应试中应该表现得更加优异,但在实践中所谓的“素质教育”(脱离应试的实际需求,轻视知识教育,为追求学生个人发展所需素质而进行的理想化教育训练活动<sup>[1-3]</sup>)在面对中考、高考、竞赛等各种选拔考试

中明显不如“应试教育”(脱离人的发展和社会发展的实际需要,单纯为应付考试争取高分,片面追求升学率,违背教育规律的一种教育训练活动<sup>[1]</sup>)有效,这就导致“应试教育”更加固化,而由此带来的问题在中学、大学中愈加严重,例如心理问题突出、不利于创新人才培养等,甚至有可能影响科教强国的战略。显然从根本上解决这个问题需要探索出真正的素质教育,而素质教育成功的

收稿日期: 2024-09-06

① 国务院办公厅. 国务院办公厅关于新时代推进普通高中育人方式改革的指导意见. [https://www.gov.cn/zhengce/content/2019-06/19/content\\_5401568.htm](https://www.gov.cn/zhengce/content/2019-06/19/content_5401568.htm)

**作者简介:** 穆良柱,北京大学物理学院教学教授, muliangzhu@pku.edu.cn。

**引文格式:** 穆良柱. 什么是 ETA 物理解题法——素质与应试的统一[J]. 物理与工程, 2024, 34(6): 5-12.

**Cite this article:** MU L Z. What is ETA physics problem solving strategy: The unification of competency-oriented education and exam-oriented education[J]. Physics and Engineering, 2024, 34(6): 5-12. (in Chinese)

关键在于有效提高解题能力,并且超越“应试教育”的效果,切实解决学生、家长、教师、学校的核心需求。

本文从解题角度尝试在物理教育中实现素质和应试的统一。在“老虎物理系列文章”中,已经分析并指出真正的物理素质教育是传承物理文化<sup>[6]</sup>,学会像物理学家一样思考<sup>[7]</sup>、做事<sup>[8]</sup>、做人<sup>[9]</sup>,并提出了对应的 ETA 物理教学法<sup>[10]</sup>、ETA 物理学习法<sup>[11]</sup>。本文将进一步以 ETA 物理认知模型<sup>[7]</sup>为基础,从物理认知的角度重新分析解题的过程,提出 ETA 物理解题法,将解题的过程变成物理探索的过程,在训练物理素质的同时有效提高应试能力。ETA 物理解题法不仅能有效克服“应试教育”的各种弊端,还能超越“应试教育”的效果,弥合“素质教育”与“应试教育”的鸿沟。

## 1 ETA 物理认知模型简介

物理学家在探索未知的过程中形成了一套物理认知的模式,即物理认知存在规律,我们将其总结为 ETA 物理认知模型<sup>[7]</sup>,分为实验认知(E)、理论认知(T)、应用认知(A)三个相辅相成的认知模式,如图 1 所示,由于广义物理实际上就是自然科学,所以物理认知的规律就是科学认知的规律。其中实验认知和理论认知是从无到有构建认知,是科学探索,实验认知为理论认知提供线索、证伪错误理论,理论认知可以指导实验探索。实验认知或理论认知的结果可以直接应用,应用认知遇到的新问题又成为实验认知或理论认知的探索对象,应用认知发展出的技术可以促进实验认知能力的提高。

ETA 模型为科学认知提供了导航图,其实质是提出了一系列关键的认知任务,也可以认为是关键问题,这些任务完成了,关于未知对象的科学认知就构建完成了。为了完成这些认知任务,物理学家发展出了相应的物理方法<sup>[8]</sup>,即物理学家做事的方法,也就是科学方法。认知的过程促使物理学家自我反省,形成了物理精神<sup>[9]</sup>,即物理学家做人的方法,也就是科学精神。

在面对未知研究对象时,科学认知、科学方法、科学精神形成了一套有效的提出问题、分析问题、解决问题的综合方案,将其用于解答物理题目

就形成了 ETA 物理解题法。

## 2 ETA 物理解题法

通常,一道物理题目中会描述某个物理现象、过程,给出某些已知物理量和数学关系,然后要求学生求解某些问题、证明某些关系等。如果学生见过类似的题型,解题过程往往是简单套用,这也是“应试教育”的基本逻辑,但如果是陌生题目,学生往往无从下手,这也是“应试教育”的最大问题——缺乏探索创新能力。从科学认知角度看,陌生题目对学生来说就是和未知研究对象有关的问题,而科学认知恰好就是针对未知研究对象的。

ETA 物理解题法本质上就是在题目情景下,利用科学方法,完成科学认知导航图(见图 1)中的一系列认知任务,在此过程中始终坚持科学精神。下面具体说明。

### 2.1 按照实验认知模式读题收集关键信息

实验认知模式:观察物理现象、挑选研究对象、明确研究问题、量化描述性质、寻找实验规律。读题时要按照这个模式收集关键信息,分别说明如下。

**观察物理现象。**一般题目都是和物理现象、物理过程(物理现象随时间的演化)相关的,读题时要先把题目中涉及的现象描述清楚,在脑海中或者草稿纸上形成图像,例如力学题目中的受力、运动等现象,光学题目中的反射、折射、干涉、衍射、偏振等现象。尝试用分类法将题目中的物理现象和学生自己熟悉的现象关联,如能建立关联,往往意味着以往的经验可以直接套用。如果实在没见过类似的现象也不用害怕,只要能用语⻔描述清楚即可。有些难的题目并不直接给物理现象,而是要学生自己构建设计相关的物理现象。

**挑选研究对象。**物理现象一定是某个或某些研究对象发生的,所以通常用简化法或者还原法,要么将研究对象尽量简化为熟悉的对象,要么将复杂的研究对象拆开成简单的对象。这一步非常重要,研究对象挑选错误、遗漏或者不够简单,往往会导致解题时间过长,甚至无法解答。

**明确研究问题。**接下来明确要求解的问题,结合题目的求问可以看得很清楚。题目中如果有多个问题,可以先挑一个熟悉或者简单的问题,不

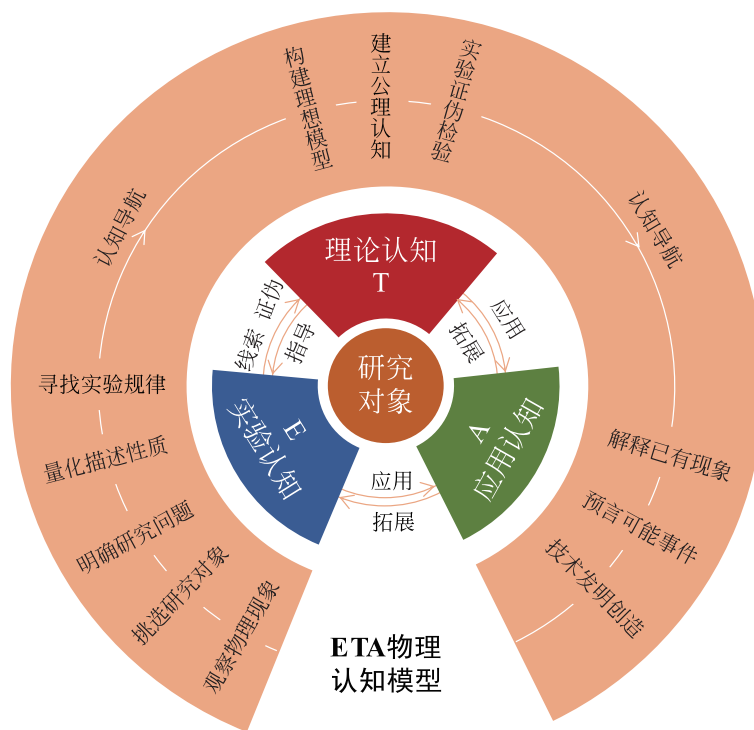


图1 ETA物理认知模型

注:模型由11个具体步骤构成,可以划分为实验认知(E)、理论认知(T)、应用认知(A)三种模式。实验认知和理论认知对应的是科学探索,应用认知则对应技术应用。ETA认知模型为科学认知提供了导航图

要试图同时解决所有问题。尤其需要关注的是,这些问题和哪个研究对象对应,尽量先求解只涉及一个研究对象的问题。从简单问题入手,之后再逐步展开。

**量化描述性质。**每个研究对象在物理现象中都会体现出相应的物理性质,找到这些性质并用物理量描述,注意这些物理量与研究对象相关,避免混淆。如力学题目中涉及质点运动现象时,其运动性质经常用时间、位移、速度、加速度、动量、角动量、动能等物理量来描述。有些物理量题目会直接给出,有些需要学生根据自己的知识背景来补充。这里特别需要关注的是求解问题中的物理量,以及可能与之相关的物理量,如果题目不挖坑的话,通常题目描述中直接给出的物理量都和最后求解的物理量有关。需要注意的是,开始时不一定能找齐所有相关的物理量,不用担心,能找到多少是多少,后面步骤中会逐渐发现其他物理量,到时再补充即可。这里需要学生客观认识到自己是人,不是神,不要奢望自己全能,而是要积极乐观,每次前进一小步,不断前进即可。

**寻找实验规律。**尽量找到这些物理量之间的

关系,尤其是能写为数学表达式的关系。可以先找单个研究对象的物理量之间的关系,这相对容易,如自由下落的质点位移和时间的关系等。再找不同研究对象相互关联的物理量之间的关系,有时候这些关系比较隐秘,需要从题目信息中分析得出,如两个质点之间有一条紧绷的不可伸长的细线,从两个质点的位移关系看,说明两质点位移之差大小不变,而从速度、加速度关系看,说明沿着细线方向两质点速度、加速度相同。有些关系是题目直接给出的,有些是学生根据已学内容关联得到的。同样需要注意的是,刚开始不一定能找到全部需要的关系,这时采取积极乐观的态度,能找到多少是多少,后面发现或想起新的关系再补充。还需要注意的是,有时看到了实验规律才会想到对应的物理量,物理量和实验规律常常会一起写出来,或者直接利用实验规律用某些物理量表示某个物理量,这样可以减少变量的数量。

从上面的流程可以清晰地看出,读题的过程就是实验认知的过程,其实就是按照实验认知导航把题目和学生记忆中的关键有效信息提取出来。

## 2.2 按照理论认知模式解题并证伪检验

理论认知模式为:构建理想模型、建立公理认知、实验证伪检验。解题时按照这个模式构建数学逻辑关系,完成题目的解答,并证伪检验,分别说明如下。

**构建理想模型。**对实验认知挑选的研究对象分别构建理想模型。通常这些理想模型是学生已学过的,如力学中的质点、刚体等,热学中的理想气体等,或者根据题目描述确定的,如轻弹簧、轻杆、小球、无弹性的绳等。显然构建理想模型是为了简化,特别是通过理想模型与已学过的模型关联,这样之前学过的很多公式、关系才能可靠地使用,同时也能看到题目是在什么样的理想条件下求解的。例如,很多学生一看到气体的内能,就直接认为内能只和温度有关,实际上这只对理想气体模型是对的,对范德瓦尔斯气体就不正确了。

**建立公理认知。**将实验认知得到的所有数学关系都作为公理,运用逻辑方法尝试求解。原本构建公理认知时,我们希望有一个尽量简洁的数学逻辑体系,这需要尝试不同公理选择,最终得到优化的公理化体系,但解题时没有那么多时间,所以学生只要将之前得到的所有公式都作为公理即可。然后运用综合法,从已知的公式出发,向求解问题方向推导,或者运用分析法,从要求的结果倒推,最终在已知的公式和求解结果之间搭通逻辑链条即可。有时正向逻辑推导存在困难,还可以利用逆否命题的等价性采用反证法。有时涉及反复多次的过程,这时还可以用归纳法,从简单的情况归纳出一般的规律。

**实验证伪检验。**对求出的结果做各种证伪检验,尽量剔除常犯的错误。有条件的情况下可以真的做实验检验,例如题目和凸透镜有关,而学生自己恰好是远视眼。没有条件的情况下可以用已知的实验结果,甚至是广义的“逻辑实验”结果来检验,例如,检查量纲、数量级,如果结果是普适的,还可以取已知特例、极限条件下的理想推论来检验。另外,如果平时存在各种粗心错误,如3乘以7容易算成22,那么检查时可以专门针对这个错误检验。实际上,可以给自己列个犯错清单,每次都按照清单挨个对照证伪检验一遍,这样就很少会因为粗心而做错题目了。在“应试教育”训练下,通常学生检查解题过程时的目标是要保证自

己的逻辑正确,这里暗含的假设是认为自己可以像神一样完美,不会犯错。但真实的情况却完全不同,能考满分的学生很少,也没人能保证自己每次都得满分,检查解题过程时同样的错误往往会再犯,犯错才是常见的,每个人都是摸象的“盲人”而已。所以科学认知的逻辑是实验证伪检验,尽量剔除错误认知,保留下来的是还没错的,有可能是对的,这是一种积极乐观的态度,而不是苛求自己。

从以上流程可以看出,解题的过程就是理论认知的过程,主要任务就是导通读题时提取出的已知信息和求解的未知结果之间的逻辑关系,并尽量剔除其中的错误。

## 2.3 按照应用认知模式扩展求解类似问题

应用认知模式为:解释已有现象、预言可能事件、技术发明创造。在完成实验认知、理论认知后,题目中特定问题其实已经解完了,但一道题目往往有多问,或者将来还会碰到类似的问题,这时学生可以按照应用认知模式尝试求解其他类似的问题。这是学生最熟悉的模式,实际上在“应试教育”下,学生往往先学习新知识,再学习例题,掌握不同题型的做法,之后举一反三,类似的题目就会做了。如果无法应用,则要重新尝试实验认知、理论认知。解题时,根据题目情况,这三个步骤并不一定都出现。

**解释已有现象。**如果题目中有类似的问题,可以直接类比之前的解题思路,甚至优化、跳跃,更快捷地给出解答。

**预言可能事件。**如果题目中有不一样但相关的问题,可以根据已有的理论体系尝试用逻辑推演解决。

**技术发明创造。**如果题目将相关原理推广到和技术发明有关的问题,可以结合实际应用的需求直接应用实验认知结果或理论推演来求解相关问题。

## 3 ETA 物理解题法举例

为了对ETA解题法有具体的了解,本文以全国中学生物理竞赛2017年的一道决赛题为例来看具体的应用。这里需要说明的是,能够参加决赛的学生通常已经有一定微积分基础,并学过大学物理内容。

**题目:**如图 2 所示,质量分别为  $m_a$ 、 $m_b$  的小球 a、b 放置在光滑绝缘水平面上,两球之间用一原长为  $l_0$ 、劲度系数为  $k_0$  的绝缘轻弹簧连接。

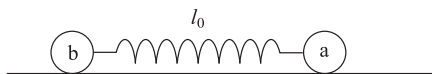


图 2 绝缘轻弹簧连接的两个小球

(1)  $t=0$  时,弹簧处于原长,小球 a 有一沿两球连线向右的初速度  $v_0$ ,小球 b 静止,若运动过程中弹簧始终处于弹性形变范围内,求两球在任一时刻  $t$  ( $t>0$ ) 的速度。

(2) 若让两小球带等量同号电荷,系统平衡时弹簧长度为  $L_0$ 。记静电力常量为  $K$ ,求小球所带电荷及两球与弹簧构成的系统做微振动的频率(极化电荷的影响可忽略)。

**解答:**按照 ETA 物理解题法分析如下。

**观察物理现象。**光滑绝缘水平面上,两个小球用绝缘轻弹簧相连,第 1 问中,小球 a 运动带动小球 b 跟着运动,同时弹簧有伸长缩短,伴随着振动,运动局限在一维水平面上,第 2 问中,情况类似,只是两小球带同号电荷,增加了静电力。与已经学过的内容类比就知道,这是力学中的两体问题。

**挑选研究对象。**从现象描述中可以明显看到的研究对象是小球 a、小球 b、绝缘轻弹簧、光滑绝缘水平面,容易忽略的研究对象是地球、空气。但从题目中可以看出不涉及空气阻力,地球与光滑水平面只是将两个小球束缚在水平面上,对两小球水平方向的一维运动没有影响,所以地球、空气、光滑绝缘水平面可以不考虑,只考虑两个小球和一根弹簧即可。

**明确研究问题。**从现象中看到主要是小球的平动和振动,题目要求的是小球速度、微振动频率,所以这道题目主要涉及的是两体运动学和动力学问题。显然为了计算简单,先明确研究第 1 问中的问题,即两个小球任一时刻的运动,涉及小球 a、b 和弹簧共三个研究对象。

**量化描述性质。**小球 a、b 主要体现出运动学性质和动力学性质,类比已经学过的力学,容易给出对应的物理量。为了描述水平方向的运动,建立一维  $x$  数轴,以 b 球初始位置为原点,向右为正方向,初始时间按第 1 问中设定,任一时刻为  $t$ 。对于小球 a,时刻  $t$  时,位移为  $x$ ,其初始位移为  $l_0$ ,速度为  $\dot{x}$ ,其初始速度为  $v_0$ ,加速度为  $\ddot{x}$ ,其初

始加速度为 0,质量为  $m_a$ ,水平方向受弹性力  $F_a$ ,方向向右为正。对于小球 b,时刻  $t$  时,位移为  $y$ ,其初始位移为 0,速度为  $\dot{y}$ ,其初始速度为 0,加速度为  $\ddot{y}$ ,其初始加速度为 0,质量为  $m_b$ ,水平方向受弹性力  $F_b$ ,方向向右为正。对于绝缘轻质弹簧,主要体现出形变和弹性力的性质,时刻  $t$  时长度为  $l$ ,其初始长度为原长  $l_0$ ,弹簧伸长  $l-l_0$ ,弹性力为  $f$ ,方向向右为正。(关于两小球的运动描述,类比两体运动后,也可以换质心运动、相对运动描述,学生可以根据自己的喜好和能力选择。)

**寻找实验规律。**对小球 a,根据牛顿第二定律有

$$m_a \ddot{x} = F_a$$

对小球 b,根据牛顿第二定律有

$$m_b \ddot{y} = F_b$$

弹簧的弹性力规律

$$f = k_0 (l - l_0)$$

再找相互间的关系,弹簧的长度与 a、b 位移有关系

$$l = x - y$$

小球 a 受力与弹性力之间有关系,

$$F_a = -f$$

小球 b 受力与弹性力之间有关系,

$$F_b = f$$

**构建理想模型。**小球 a、b 因为“小”都模型化为了质点,这样之前的运动学描述和牛顿第二定律才是准确的。轻质弹簧因为“轻质”可以模型化为没有质量的理想弹簧,只提供弹性力(否则弹簧要模型化为一维连续弹性介质,对于中学生来说题目难度一下就变大了,因为其中有波,会形成振动模)。

**建立公理认知。**运用综合法,题目要求的是速度,将得到的所有公式都假设为公理,从此出发推导求解位移,再求导就可以得到速度。先通过消元法,得到关于位移的关键方程

$$m_a \ddot{x} = -k_0 (x - y - l_0)$$

$$m_b \ddot{y} = k_0 (x - y - l_0)$$

继续往下有两种解法,消元法和换元法,先用消元法,消去  $x$ ,得

$$m_b \ddot{y} = -m_a \left( \frac{m_b}{k_0} \ddot{y} + \ddot{y} \right)$$

化简得

$$\ddot{y} + \frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}} \ddot{y} = \ddot{y} + \omega^2 \ddot{y} = 0$$

将  $\ddot{y}$  当作新的函数,上述方程可以类比简谐振子求解,利用初始时小球 b 加速度为零,可得

$$\ddot{y} = B \sin \omega t$$

$B$  为待定系数,利用初始时小球  $b$  速度为零,位移为零,对上式积分得

$$y = -\frac{B}{\omega^2} \sin \omega t + \frac{B}{\omega} t$$

对应的有

$$x = \frac{m_b}{k_0} B \sin \omega t - \frac{B}{\omega^2} \sin \omega t + \frac{B}{\omega} t + l_0$$

利用初始时小球  $a$  速度为  $v_0$ ,解得

$$B = \frac{k_0 v_0}{m_b \omega}$$

由此可以得到任一时刻小球  $a$  速度

$$\frac{m_b v_0}{m_a + m_b} \cos \omega t + \frac{m_a v_0}{m_a + m_b}$$

小球  $b$  速度

$$-\frac{m_a v_0}{m_a + m_b} \cos \omega t + \frac{m_a v_0}{m_a + m_b}$$

这样就得到了所求结果。还可以用换元法求解,注意要求解的两个方程中都有  $x-y$ ,而且两个方程右边直接相加为零,所以可以换元如下

$$r = x - y$$

$$z = \frac{m_a x + m_b y}{m_a + m_b}$$

显然换元后运动性质描述就变成了质心运动和相对运动描述,要求解的两个方程就等价于新的两个方程

$$\ddot{z} = 0$$

$$\ddot{r} + \frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}} (r - l_0) = \ddot{r} + \omega^2 (r - l_0) = 0$$

从方程可以看出,这意味着质心加速度为零,从而作匀速直线运动,而相对运动为简谐振动,其质量为约化折合质量。由初始  $t=0$  时,

$$z = \frac{m_a l_0}{m_a + m_b}, \quad \dot{z} = \frac{m_a v_0}{m_a + m_b}$$

可以求出

$$z = \frac{m_a v_0}{m_a + m_b} t + \frac{m_a l_0}{m_a + m_b}$$

由初始  $t=0$  时,

$$r = l_0, \quad \dot{r} = v_0$$

可以求出

$$r = \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t + l_0$$

反解得到两球的任一时刻速度为

$$\dot{x} = \frac{m_b}{m_a + m_b} \dot{r} + \dot{z} = \frac{m_b v_0}{m_a + m_b} \cos \omega t + \frac{m_a v_0}{m_a + m_b}$$

$$\dot{y} = -\frac{m_a}{m_a + m_b} \dot{r} + \dot{z} = -\frac{m_a v_0}{m_a + m_b} \cos \omega t + \frac{m_a v_0}{m_a + m_b}$$

**实验证伪检验。**从结果上看,量纲是速度量纲,结果没错。再看特例情况,如时刻为 0 时,根据上式, $a$  球速度为  $v_0$ , $b$  球速度为 0,与题目条件吻合。消元法和换元法求得结果相同,说明逻辑没有矛盾。直观上看,光滑水平面没有摩擦力,两小球会一直振荡运动下去,解出的速度函数形式显然也符合。(还可以从能量角度验证,即两小球动能加势能守恒,和初始时的机械能一致。经过多次检验还没错,那么正确的概率就很大了)

**解释已有现象。**从求解第 1 问的过程可以看出,第 2 问只是增加了库仑力,其他类似,所以第 2 问的求解与第 1 问类似。

重复第 1 问的求解过程。

在量化描述性质时加入对库仑力的描述,直接运用库仑定律,小球  $a$  带电量为  $q$ ,所受库仑力水平向右,记为

$$\frac{Kq^2}{(x-y)^2}$$

小球  $b$  带电量也为  $q$ ,所受库仑力水平向左,记为

$$-\frac{Kq^2}{(x-y)^2}$$

由于要求“微振动的频率”,所以还要增加振动频率这个物理量。

在寻找实验规律时,需要在牛顿第二定律表达式中加入库仑力。根据题目中描述“系统平衡时弹簧长度为  $L_0$ ”,可以得到关系

$$\frac{Kq^2}{L_0^2} = k_0 (L_0 - l_0)$$

由此可以求出电量  $q$ 。另外,问题中的“微振动”其实也是一个条件,就是说弹簧的长度对平衡时长度  $L_0$  的偏离为小量

$$x - y - L_0 \ll L_0$$

在构建理想模型时,小球  $a$ 、 $b$  被模型化点电荷,因为题目明确表示“极化电荷的影响可忽略”,而且弹簧、水平地面都是绝缘的,电量不会发生变化。

在建立公理认知时,需要求解的关键方程变成

$$m_a \ddot{x} = -k_0 (x - y - l_0) + \frac{Kq^2}{(x-y)^2}$$

$$m_b \ddot{y} = k_0 (x - y - l_0) - \frac{Kq^2}{(x-y)^2}$$

显然解这个方程不方便使用消元法,但换元法仍然适用,与第1问同样的换元可得

$$\ddot{z} = 0$$

$$\ddot{r} + \frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}}(r - l_0) - \frac{Kq^2}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b} r^2} = 0$$

可以看到两质点的质心运动仍然是匀速直线运动,但相对运动显然复杂了,一般求解变得相当困难,但题目要求的是微振动,令

$$s = r - L_0 = x - y - L_0$$

此为微振动时对平衡位置偏移的小量

$$s \ll L_0$$

相对运动的方程可改写为

$$\ddot{s} + \frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}}(s + L_0 - l_0) - \frac{k_0(L_0 - l_0)L_0^2}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}(s + L_0)^2} = 0$$

做小量近似后为

$$\ddot{s} + \frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}}(3 - 2l_0/L_0)s = 0$$

类比简谐振子可以求出其振动频率为

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_0}{\frac{m_a m_b}{m_a + m_b}}(3 - 2l_0/L_0)}$$

实验验证伪检验。检验量纲没错。取特例,电量为零时, $L_0 = l_0$ ,此时频率和第1问结果相同,也没错。但如果考虑到两个点电荷都在动,其间的库仑力规律其实不再准确,但若严格考虑,显然超出了中学生的知识和能力范围,这样就知道这个题目其实做了近似。

通过这个案例,可以清晰地看到ETA物理解题法的完整思路。

#### 4 ETA物理解题法与“应试教育”解题法的比较

ETA物理解题法真正实现了教、学、考、研的统一。这个解题法的底层逻辑是科学认知规律<sup>[7]</sup>,这和ETA物理教学法<sup>[10]</sup>、ETA物理学习法<sup>[11]</sup>是统一的,和科学研究的思路更是一样。实际上,按照ETA解题法,题目就变成了一个研究的课题,解题的过程就是科研的过程,能够同时训练科学认知、科学方法、科学精神,真正达到了素质教育的要求,教和学也是培养同样的素质。而

按照“应试教育”学会的解题法,主要训练应用的能力,缺乏探索能力的训练,所以我们经常看到有的学生中学、大学成绩都很好,但是进入研究生阶段却很难开展研究工作。

ETA物理解题法的思路是系统、普适的,不再需要不同题型、不同思路,不再需要大量刷题,可以为学生节省大量时间。由于科学认知规律的系统性、普适性,这种解题法也同样系统、普适,尤其是针对学生没见过的题目,这种方法同样适用,学生不会再无从下手。由于这种系统性、普适性,学生训练时只需要少量从简单到复杂的案例就可以学会这种解题法,而且由于和教、学是统一的,所以听课和学习时就在不断提高解题能力。而“应试教育”下,学生需要记住各种题型思路,刷大量题目,期望考题都是自己已经做过的题目,然而,在一些关键的选拔考试中,为了公平,出题人往往绞尽脑汁出新题,这就是为什么有人会“发挥失常”,所以实际上大量刷题很大程度上是浪费时间、浪费生命。

ETA物理做题法能够帮助学生清晰地发现自己的不足,从而有针对性地改善。按照科学认知导航一步一步解题的时候,哪一步走不下去了,就可以发现自己在哪儿有不足。例如,如果发现挑选出的研究对象从来没见过,就说明缺乏对应的知识背景,需要主动去补课,如解涉及刚体的力学题时,若没学过刚体的基本规律,那么想描述清楚其转动性质,找到其实验规律,显然是比较困难的。再如,在实验验证伪检验中如果发现结果错了,就可以有针对性地去寻找错在哪儿。而在“应试教育”下,学生很难在做题过程中系统性地分析清楚自己缺什么知识和能力,所以容易陷入“好好做题就能考上好学校,考不上就是没好好做题”的不可证伪逻辑。

从应试的角度说,ETA物理解题法更能有效得分。实际上,只要按照实验认知模式读一遍题目,尽可能写出各种数学关系式,就可以得到很多步骤分数,按照一般的评分标准,甚至能得到超过一半的分数。按照ETA物理解题法做题是不会交白卷的。而在实验验证伪检验环节由于把学生当成不完美的人,从而采取了更有效的检查方式,反而更能保证结果的准确性。反观“应试教育”,一旦遇到没见过的题目,就容易发懵,什么都写不出来,我们经常在阅卷时发现有的同学答题纸上一片空白。而由于对自己过于苛求,像要求“神”一样要求自己,反而不容易检查出解题中的错误,经常犯所谓“粗心”的错误。

ETA 物理解题法能有效缓解日益严重的心理问题。人的认知在很大程度上决定了人如何做、做事。“应试教育”模式下,学生学习新知识,模仿例题,大量刷题训练,然后考试,还不能出错。这种模式导致学生认为成功是正常的,失败是不正常的,对自己的要求也不断加码,不把自己当“人”,苛求自己成为“学神”“学霸”<sup>[12]</sup>,追求完美主义,成功了不会喜悦,因为自己就应该成功,不是第一就没有成就感,而一旦失败了,就开始怀疑自我,失去自信,甚至陷入不可证伪的闭环逻辑来否定自我。而 ETA 物理解题法,首先承认学生是人,有各种认知局限,存在认知边界,做题的过程是探索的过程,存在很多不确定,失败是正常的,成功是不正常的,所以在做题的过程中要始终积极乐观、想方设法解决问题。例如,通过实验验证检验发现自己做错了,这是令人开心的事情,这是给了我们修正错误、找到正确答案的机会,所以在 ETA 物理解题法的训练下,学生会更加积极地对失败,不断突破认知边界,让自己越来越强大,从而更加自信。

## 5 小结

综上,本文将 ETA 物理认知模型给出的科学认知规律应用到解物理题目上,将题目变成研究的课题,将解题过程变成科学探索的过程,从而提出了 ETA 物理解题法。这个解题法真正实现了教、学、考、研的统一,在训练科学认知、科学方法、科学精神(提高科学素质)的同时,完成应试能力的训练。ETA 物理解题法不仅能克服“应试教育”的各种弊端,还能更有效地提高分数,超越“应试教育”的效果,完成素质与应试的统一。

## 参 考 文 献

- [1] “素质教育的概念、内涵及相关理论”课题组. 素质教育的概念、内涵及相关理论[J]. 教育研究, 2006, (2): 3-10.  
“The Concept, Connotation, and Related Theories of Quality Education” research group. The concept, connotation, and related theories of quality education[J]. Educational Research, 2006, (2): 3-10. (in Chinese)
- [2] 杨银付. 素质教育若干理论问题的探讨[J]. 教育研究, 1995, (12): 35-39.
- [3] 王策三. 认真对待“轻视知识”的教育思潮——再评由“应试教育”向素质教育转轨提法的讨论[J]. 北京大学教育评论, 2004, (3): 5-23.  
WANG C S. A critical reflection on the thought of “Despising Knowledge” in Chinese basic education[J]. Peking University Education Review, 2004, (3): 5-23. (in Chinese)
- [4] 钱颖一. 论大学本科教育改革[J]. 清华大学教育研究, 2011, 32(1): 1-8+19.  
QIAN Y Y. The reform of undergraduate education[J]. Tsinghua Journal of Education, 2011, 32(1): 1-8+19. (in Chinese)
- [5] 钱颖一. 批判性思维与创造性思维教育: 理念与实践[J]. 清华大学教育研究, 2018, 39(4): 1-16.  
QIAN Y Y. Educating students in critical thinking and creative thinking: Theory and practice[J]. Tsinghua Journal of Education, 2018, 39(4): 1-16. (in Chinese)
- [6] 穆良柱. 什么是物理及物理文化? [J]. 物理与工程, 2019, 29(1): 15-24.  
MU L Z. What is physics and its culture? Physics and Engineering, 2019, 29(1): 15-24. (in Chinese)
- [7] 穆良柱. 什么是 ETA 物理认知模型[J]. 物理与工程, 2020, 30(1): 29-33.  
MU L Z. What is ETA physical cognition model[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(1): 29-33. (in Chinese)
- [8] 穆良柱. 什么是物理方法[J]. 大学物理, 2018, 37(2): 18-21.  
MU L Z. Methods of physical cognition[J]. College Physics, 2018, 37(2): 18-21. (in Chinese)
- [9] 穆良柱. 什么是物理精神[J]. 大学物理, 2018, 37(3): 26-28.  
MU L Z. What are the spirits of physicists[J]. College Physics, 2018, 37(3): 26-28. (in Chinese)
- [10] 穆良柱. 什么是 ETA 物理教学法[J]. 物理与工程, 2020, 30(2): 32-36.  
MU L Z. What is ETA physical teaching[J]. Physics and Engineering, 2020, 30(2): 32-36. (in Chinese)
- [11] 穆良柱. 什么是 ETA 物理学习法——基于物理认知规律的大学物理学习困难现象分析与应对策略[J]. 物理与工程, 2022, 32(5): 5-10+14.  
MU L Z. The ETA physics learning method: The analysis and solution of physics learning problems for undergraduate students based on the physical cognition theory[J]. Physics and Engineering, 2022, 32(5): 5-10+14. (in Chinese)
- [12] 姜以琳. 学神·走向全球竞争的中国青年精英[M]. 北京: 中信出版集团股份有限公司, 2024.  
JIANG Y L. Study gods: How the new Chinese elite prepare for global competition[M]. Beijing: Citic Publishing Group Co., LTD, 2024. (in Chinese)