

# 高中物理教学中数理融合的应用探讨

杨凤楼

(江苏省江阴长泾中学,江苏 无锡 214400)

**摘要:**国家基础教育课程改革明确指出要改变课程结构过于强调学科本位的现状,数理融合应当是新课程改革的重要一环.针对目前数理融合的不重视、不深入、少平台等现状,从顺应国家课程改革需要、两门学科核心素养的互补需求等方面考虑,数理融合在高中物理学习阶段都具有紧迫性和必要性.本文紧扣高中物理核心素养要求,将物理学科和数学学科充分融合让应用场景从处于相互纠缠的“混沌态”走向形神一体的“耦合态”.

**关键词:**高中物理教学;核心素养;数理融合

## 1 引言

物理是运用理性研究自然规律,而数学则研究理性本身.用哲学的认识论可以这样说:数学可以提高我们的认识效率,但却并不是认识本身,物理才是.但是,在高中物理教学中,物理与数学的融合又无处不在,物理和数学就像量子论中的一对处于“纠缠态”的粒子,好比两个伽马光子对撞产生的一对正反电子,这两个正负电子就处于纠缠态,它们的相互联系是禀赋在本质中的,根本不需要外在的影响和所谓的“超距作用”.物理学史和数学史本也是纠缠在一起的,只是由于后来知识的不断增加和专门化,才人为地进行了区分,所以在高中物理教学中,需要将两个学科进行充分融合,抓住两门学科的历史渊源和思维互通性,促进知识内容、思维方法、学科技能等方面的多层面融合,让两个学科在学生的学习过程中“耦合”出绚烂的思想之花,数学与物理成为无论是在本质还是在现象层面都紧紧拥抱的“耦合态”——多系统、多模块的相互依赖和相互作用的互关体系.

## 2 高中物理教学中的数理融合现状

### 2.1 看似融合,实则剥离

目前的高中物理教学中,看似处处有数学知识的应用,但是往往存在以下两个问题.第一,由于物理和数学教学进度的差异,导致物理教学特别是高一物理某些知识点的教学得不到数学的支撑,给物理教学工作带来一些困难.例如运动学中瞬时速度的理解、斜面三角函数的应用、矢量的加减、椭圆几何特征的认识等等.如果高一数学能同步或提前完成相关知识的教学,相信对学生快速融入物理相关知识的学习会有很大的帮助.第二,在高中物理教学中,最具数理融合性的场景应该是“以数至理”,包括数形结合、数理演算、数学建

模和数理直觉,但是往往在数学教学中没有重视这些能力的提升,例如数形结合方面,高中三年,总有学生连一次函数、二次函数的图像在物理中的应用不甚熟练,更别奢望在解题时有主动应用的意思了.

### 2.2 重视不够,缺少深度

在高中物理实际教学中,由于时间、空间及精力等因素的限制,教师往往缺乏跨学科融合的主动意识,各学科教师间关于专业教学方面的沟通交流机会寥寥.教师引导学生解决问题的方式往往比较单一,学生数理融合的能力和意识比较薄弱,影响了数学知识、方法、思维等对于物理学科价值的充分发挥.在高中物理学习中,出现部分学生上课时只等着教师讲出公式,然后套用公式、代入数据完成解题.这种数理“融合”,缺少对于物理现象和本质的追求,实质上已经变成了数理“混沌”.其根源在于教师对于数理融合的重视程度不够,即使有了一些知识的融合,但缺乏来自学科本质、思维方式及价值观等方面深度的、本质的融合.

### 2.3 平台狭窄,方式单一

虽然有些高中学校开展了学科融合方面的研究,创建了相关课题和项目,但主要以文化科目与德育融合、文科与理科融合、学科课堂教学与研学旅行融合等形式为主,数学与物理融合的研究相对较少.从笔者掌握的信息及搜索到的数据看,涉及数理融合的平台比较狭窄,缺少相关的权威融合课程范式、融合校本课程架构、融合性教师团队及精准有效的课题项目研究,较多的还是局限在课堂教学、习题创新等简单层面,方式比较单一.

## 3 高中物理教学中数理融合的必要性

### 3.1 顺应改革,全面发展

目前,最新一轮普通高中新课程改革已经在

全国全面开展. 为迎接知识经济时代的到来, 应对日益激烈的国际竞争, 立足于全面提高国民素质, 提升综合国力, 基础教育课程改革已进入全面实施阶段, 其目标之一就是: “改变课程结构过于强调学科本位、科目过多和缺乏整合的现状, 整体设置九年一贯的课程门类和课时比例, 并设置综合课程, 以适应不同地区和学生发展的需求, 体现课程结构的均衡性、综合性和选择性.” 这就要求学科之间的交叉互联更加紧密, 教学内容不局限于此学科的有限范畴, 而应该是多学科的融合, 在知识内容、思维方法、学科融合等方面呈现多元化的特征. 数学和物理作为高中学科中最为密切的两个理科学科, 知识、思维和方法之间本就有着很大的“纠缠性”, 那么当然就存在巨大的进一步“耦合”的空间, 物理是研究物质运动规律和物质组成结构的主要工具, 是其他自然学科的基础, 而物理的实验论证、理论模型建构和科学推理等必须承载于科学数学及计算等模拟工具, 只有加强数理融合, 才能促进学生的全面发展.

### 3.2 前承初中, 后启大学

考虑到初中学生认知思维的发展水平有所不足, 在《义务教育物理课程标准(2011年版)》中的科学内容认知性目标部分, 对于需要较多数学计算的物理规律要求不多, 对定量计算的要求并不高, 往往多偏于定性的分析, 所以初中学生数理融合的意识不强、能力较弱. 高中物理的学习, 必须重视数理融合, 重视数学方法对物理学科价值的发挥, 这样, 学生数理结合的思维和数学应用的能力才能得到提升.

大学物理的教学有两个核心目标, 其一是为各理工科专业学生提供必要的物理知识和技能; 其二是实现各种数学的思维方法和具体物理模型相结合, 训练学生专业模型数学化的能力. 显然, 高中阶段就应该为绝大多数学生的大学学习做好数理融合的铺垫工作.

### 3.3 学科素养, 优势互补

在学习矢量、标量、天体椭圆运动和平行四边形定则的知识时, 如果能和数学联系起来, 无论是教还是学都会事半功倍. 在学习有关力和运动的合成与分解时, 如果学生已经掌握了一定的立体几何与三角函数知识, 就会很容易地通过数学几何关系找到物理关系, 从而提高解题效率. 在学习物理量关系特别是找寻一些实验数据关系时, 学生将其与数学中的正比例函数、一次函数、正余弦函数、反比例函数等函数图像结合, 通过函数图像

的意义来理解和记忆物理知识, 这样会轻松许多、深刻很多, 也会增加他们学习的积极性. 在解决物理动态分析、极值或者临界条件等问题时, 将数学上计算动态、极值或者临界条件等问题的方法借用到物理情境中也是相当有效的. 由以上事例可见, 数学的5个核心素养, 即数学抽象、逻辑推理、数学建模、直观想象、数学运算和数据分析, 对于高中物理的学习也是相当重要的. 在高中物理课堂中, 我们不仅要紧扣物理的4个核心素养, 即物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任, 还需与数学的5个核心素养紧密相连, 优势互补, 多层次全方位融合, 才能有效提升物理学习能力.

## 4 紧扣4个核心素养的数理融合应用

### 4.1 通过数理融合, 强化物理观念

物理观念, 从物理学视角形成的关于物质、运动与相互作用、能量等的基本认识, 是物理概念和规律等在头脑中的提炼和升华. “物理观念”包括物质观念、运动观念、相互作用观念、能量观念及其应用等要素.

应用案例1. 光子的波粒二象性观念学生不容易建立, 很难理解透彻. 在新课教学时, 为了区分粒子性和波动性以及最终理解波粒二象性, 我们不妨这样教学. 首先, 帮助学生找到证据说明光的粒子性: (1) 科学家用极其微弱的单色光做干涉、衍射实验时, 短时间内光屏上散落的光点明显呈现粒子性(此时强调是少量粒子, 为后面大量粒子的概率论做铺垫); (2) 光电效应引入光子说可以解释几个重要的实验规律; (3) 密立根用光电管做实验, 测出了普朗克常量  $h$  的值与普朗克所提供的值几乎相同(实验时借助数学函数的一次图像求斜率); (4) 康普顿引入光子模型, 并通过动量守恒、能量守恒、相对论知识等理论进行数学推导, 得出波长变化量与实验测得值吻合(引导有兴趣的学生利用方程组去计算出波长增量). 其次, 指导学生找到光的波动性的证据: (1) 干涉(讲清三角函数的相位等知识); (2) 衍射; (3) 偏振; (4) 光的电磁波属性等. 再次, 用双缝干涉实验、概率论、统计学等来加强对于波粒二象性的理解, 在数理融合的方案之下, 学生对于光子的模型建构已经相当熟悉并深刻的基础上, 再进入下一个环节——数学形式的计算. 最后, 通过数学表达式增强波粒二象性的理解, 如能量计算式有  $E = h\nu$ ,  $E = h \frac{c}{\lambda}$ ,  $E = mc^2$ , 动量计算式有  $p = mc$ ,  $p = \frac{h}{\lambda}$ , 因为出现了频率和波长, 所以光子有波动性, 因为有

动量所以具有粒子性,而从计算式可以看出,每一个光子都内禀着波动性的本质,所以光子具有波粒二象性,光也有着波粒二象性。

#### 4.2 通过数理融合,深化科学思维

科学思维是从物理学视角对客观事物的本质属性、内在规律及相互关系的认识方式;是基于经验事实建构理想模型的抽象概括过程;是分析综合、推理论证等科学思维方法的内化;是基于事实和科学推理对不同观点和结论质疑、批判,进而提出创造性见解的能力与品质。“科学思维”主要包括模型建构、科学推理、科学论证、质疑创新等要素。其中,学科思想方法属于科学思维的范畴,是高中物理学科核心素养的基本构成要素之一。可以说,数学的数学抽象、逻辑推理、数学建模、直观想象等都属于科学思维。

应用案例 2. 2020 年 10 月,嘉兴南湖革命纪念馆前的七一广场喷泉经改造后重新开启。从远处看,喷泉喷出的水柱高约 50 m,若圆形喷管直径约为 10 cm,水的密度为  $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,则供水的电动机的输出功率约为多少?

如图 1 所示,此题需要引导学生进行数学建模,利用圆柱体的几何特性来辅助物理情境的模拟与关系找寻。

圆形喷管直径约为 10 cm,则半径  $r=5 \text{ cm}=0.05 \text{ m}$ 。

则水离开管口的速度为:

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 50} \text{ m/s} =$$

$$10\sqrt{10} \text{ m/s}.$$

设供水的电动机的输出功率为  $P$ ,在接近管口很短一段时间  $\Delta t$  内水柱的质量为

$$m = \rho \cdot v\Delta t S = \rho \pi r^2 v\Delta t.$$

$$\text{根据动能定理可得 } P\Delta t = \frac{1}{2}mv^2,$$

$$\text{解得 } P = \frac{\rho \pi r^2 v^3}{2}.$$

$$\text{代入数据解得 } P = 1.3 \times 10^5 \text{ W}.$$

#### 4.3 通过数理融合,夯实科学探究

科学探究是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验与制订方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并做出解释以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力。“科学探究”主要包括问题、证据、解释、交流等要素。作为高中物理学科核心素养中最重要也是最具有本学科特征的一点,科学探究在物理学习

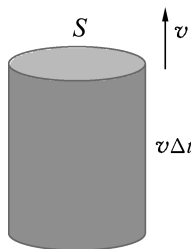


图 1

中的重要性毋庸置疑,当然也需要数学知识和方法的融合。

应用案例 3. 如图 2(a) 所示,图中是某斜抛运动一条常见的抛物线,请问大家, A 点与 B 点哪一点弯曲程度更大?

这其实是一道数学题,但学生尝试用数学中的解析几何方法去解决时,发现高中数学根本解决不了这个问题,此时我们可以引导学生做一下探究:高考题(2008 年江苏高考卷)曾出现了曲率半径的概念,大家能否借这个概念并用抛体运动的规律来解决呢?

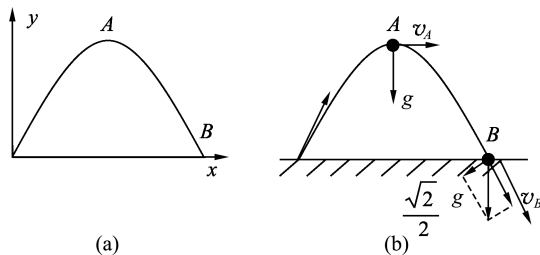


图 2

现以这样一个模型来分析:如图 2(b) 所示,小球以  $v_0 = 10 \text{ m/s}$  与水平方向成  $45^\circ$  的初速斜抛,则轨迹应为抛物线,到达 A 时,  $v_A = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$ ,令此处曲率半径为  $\rho_A$ ,则由  $g = v_A^2 / \rho_A$  得  $\rho_A = 5 \text{ m}$ ;到达 B 点时,  $v_B = 10 \text{ m/s}$ ,受力分析得向心加速度为  $a_B = \frac{\sqrt{2}}{2}g$ ,由  $\frac{\sqrt{2}}{2}g = \frac{v_B^2}{\rho_B}$  得  $\rho_B = 10\sqrt{2} \text{ m}$ ,因为  $\rho_A < \rho_B$  所以 A 点的弯曲程度比 B 点的大。

这里看似用物理规律解决数学问题,思维是逆向的,因为学生早已习惯于用数学解决物理问题,这样学生不仅觉得有趣,而且在另类思维中对知识进行了迁移。其实,这里还是要让学生知道,物理和数学在很多时候是深度相通的,融合可以无处不在。

应用案例 4. 光的直线传播、反射、折射现象在生活中很常见,大家知道光为什么会沿着这些路径传播吗? 其实,这里隐藏着一个非常简单的规律——光沿着所需时间为极值的路径传播,这就是费马原理。简单介绍了费马原理,再与学生一起用惠更斯球面波原理证明这三大光学定律,然后问学生这样的问题。

如图 3(a) 所示游泳池中 B 点处有一溺水者,其离岸边距离为  $BC = d$ ,岸边 A 处的救生员要在最短的时间内到达 B 处,他应该在何处下水? 已知  $AC = l$ ,救生员在岸上跑步速度为  $v_1$ ,水中游泳

速度为  $v_2$ , 且  $v_1 > v_2$ .

分析: 可以将这个问题类比于光的折射定律, 即如果是光的话, 它会如何选择路径. 如图 3(b) 所示, 设人从  $P$  点下水, 且  $AP = x$ , 则

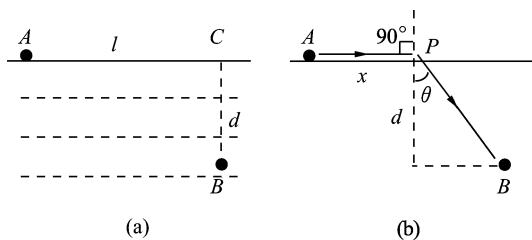


图 3

$$n = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \theta},$$

$$n = \frac{v_1}{v_2}.$$

$$\text{则 } x = l - d \tan \theta = l - \frac{dv_2}{\sqrt{v_1^2 - v_2^2}}.$$

此处的应用非常奇妙, 着实让人惊讶, 其实海洋中的波浪最终垂直海岸打来, 也是类似的原理. 此处应用了光的折射定律, 解决了一道数学应用题. 其中隐藏的物理本质是时间最简原理, 学生需要拥有科学探究的精神, 具有数理融合的意识, 才能学好高中物理.

#### 4.4 通过数理融合, 养成科学态度与责任

科学态度与责任是指逐渐形成的探索自然的内在动力, 严谨认真、实事求是和持之以恒的科学态度以及遵守道德规范、保护环境并推动可持续发展的责任感. “科学态度与责任”主要包括科学本质、科学态度、科学伦理、STSE 等要素. 无论是物理还是数学, 科学态度是一致的, 社会责任感也是相同的.

应用案例 5. 在两个带电导体板之间是否存在如图 4(a) 所示的电场, 它的电场线互相平行, 但间距不等?

许多学生首先想到可能不存在, 但是说不出理由. 可以提示学生用数学中的反证法, 然后找到矛盾. 姑且我们就以承认存在这样的事实来分析, 如图 4(b) 所示, 根据等势面与电场线垂直的特点, 它的等势面  $ac$ 、 $bd$  应该如图中虚线所示,  $a$ 、 $b$  两点的电势差  $U_{ab}$  应该等于  $c$ 、 $d$  两点的电势差  $U_{cd}$ , 从图中很明显看出来,  $a$ 、 $b$  两点的距离  $s_{ab}$  等于  $c$ 、 $d$  两点的距离  $s_{cd}$ ,  $a$ 、 $b$  间的场强大于  $c$ 、 $d$  间的场强. 根据公式  $U = Ed$  (在很窄的横向范围内可认为是匀强电场), 可得  $U_{ab} > U_{cd}$ , 这就与  $U_{ab} = U_{cd}$  矛盾, 所

以我们就用归谬法得出结论: 这样的不等距电场不存在.

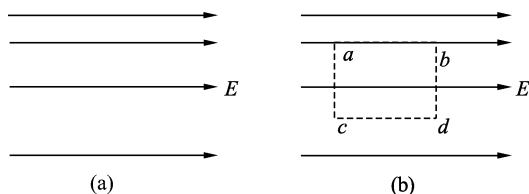


图 4

数学中的反证法, 类似于物理中的归谬法. 归谬法论证是一种间接论证, 它先假定对立面的论点是正确的, 然后以其为前提, 经过推理分析, 引出荒谬的结论, 从而证明对方的论点是错误的, 使其不能自圆其说, 不攻自破. 无论是反证法还是归谬法, 都会让学生更富有质疑精神, 提升实事求是的科学态度与责任感.

#### 5 数理融合中的两个误区

数理融合, 使教师在课堂教学中不再局限于本学科的教育方法、工具和策略, 而是从两门学科的整体性和关联性去重新制订教学内容与教学方法, 根据学生学习行为、学习能力和学习兴趣等, 对原有的教学模式进行改进、延伸、拓展甚至创新, 使之契合跨学科融合教学的要求. 数理融合, 也把学生置于了一种更加动态、开放、主动、多元的学习环境中, 对于培养学生开放性的思维以及提升学生的创新精神起到非常大的作用. 当然, 在高中数理融合应用中, 还是需要避免以下两个误区.

##### 5.1 太过功利, 忽略过程

如果只是为了完成数理融合的任务, 而让数理融合浮于表面, 例如只是满足于数据的代入, 或者数学技巧在物理中的运用, 那么还不如不要强求. 数理融合的意义首先应当体现在教学和学习过程中, 数理融合不仅要使高中物理教学的形式多样化, 使学生更全面地掌握数学知识、物理知识, 更要能够让学生在学科融合的学习过程中, 获得原始性创新能力, 培养适应新时代要求的创造性思维, 拓展学生获取知识的边界. 最终, 在实施过程中耦合出数理融合的整体性推进课程范式, 进一步指引融合性课程改革.

##### 5.2 虽则融合, 亦存混淆

很多高中学生已经分不清何为物理知识何为数学知识, 而且更加严重的是, 因为从小学就养成的数学习惯, 到了高中物理课堂, 不想听教师讲解的概念、定义、定律以及分析方法, 而只是等着得

出公式然后代入数据解题. 针对这种误解数理融合的情况, 我们需要“澄清”物理和数学, 避免混淆.

应用案例 6. 一线的高中物理教师在进行力的正交分解教学时, 总会感到相当困难, 学生也常常一头雾水而灵魂发问: 在干嘛? 为了啥? 啥意思? 笔者在教学中发现, 问题出在学生混淆了物理和数学, 于是做了这样的尝试: 首先确定物体处于平衡状态(物理现象), 然后知道合力为零(物理条件), 于是进行受力分析(物理本质), 接下来建立直角坐标系(数学抽象)、分解各力(数学建模)以及求解出某力(数学运算), 思维过程如图 5 所示.

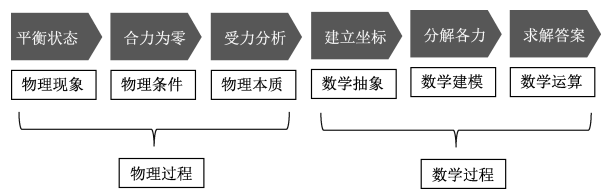


图 5

于是, 学生对于本堂课的重点了然很多, 就是“实实在在地对客观存在的物体进行客观的受力分析, “虚虚假假”地用数学理念进行抽象的正交分解. 也就是要让学生明白, 本节课并没有学习新的物理知识, 而只是学习了一种数学方法: 理论上

来说, 这直角坐标系是可以任意创建的, 是虚无的; 这些分力是为了求解方便而抽象出来的, 客观上是不存在的; 总之, 正交分解应当由你们的数学老师来教学的!

## 6 结语

物理和数学本就是同源的学科, 物理学习的本质是数学、物理知识、思维对物质组织结构和运动原理的深度再认识, 物理和数学本就像一对处于“纠缠态”的量子, 内涵上本就相互联系. 范式是信念先于认识, 革命是勇气优于知识, 作为高中物理教育工作者, 既要有数理融合的信念, 也要有深度改革的勇气. 理科的本始就应当是数理融合的“耦合态”, 我们不能过早地割断了科学思维的脐带, 从而忘记了数理之根, 我们期待, 高中的学生能够在数理的海滩上捡着更多洒落着色彩斑斓的理性思维的贝壳.

## 参考文献:

- 1 刘筱莉. 物理学史[M]. 南京: 南京师范大学出版社, 2001.
- 2 阎金铎. 中学物理教学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.
- 3 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版 2020 年修订)[S]. 北京: 人民教育出版社, 2020.

(收稿日期: 2023-04-21)