



基于 SPA 理论的高中物理学科 核心素养评价研究*

陈青雨 桑苏玲 石星星

(宁夏师范学院物理与电子信息工程学院 宁夏 固原 756000)

(收稿日期:2021-10-27)

摘要: 对学生的物理学科核心素养进行科学评价是促进学生身心成长和发展的主要内容之一. 文章基于 SPA 理论, 定量评价了学生的物理学科核心素养. 以学生月考试卷为研究对象, 首先统计了全体学生学科核心素养各维度的得分情况; 接着, 利用基础及扩展的 SPA 算法对月考试卷进行了分析; 最后对学生物理学科核心素养的各维度和总体进行评价和预测. 通过研究表明, 基于 SPA 理论的学生学科核心素养评价, 不仅能对被测对象进行分维度和综合的量化评价, 还具有一定预测的功能.

关键词: 物理学科核心素养 高中物理 SPA 理论

2018年1月, 教育部颁布了《普通高中物理课程标准(2017年版)》(以下简称新课标), 2020年对其进行修订. 新课标中指出学科核心素养是学科育人价值的集中体现, 是学生通过学科学习而逐步形成的正确价值观念、必备品格和关键能力; 新课标将原先物理学科中的三维目标转变为物理学科核心素养“物理观念”“科学思维”“科学探究”及“科学态度与责任”四维目标^[1]. 在此背景下, 基于新课标的学科核心素养评价就成为现阶段的研究热点. 文献[2]提出应从多角度、多方面、多阶段、结合多种形式来对学生探究、创新和实践进行评价. 文献[3]基于文献研究法和内容分析法构建了物理学科能力评价指标体系. 文献[4]基于布鲁姆教育目标分类学构建了高中物理核心素养评价体系. 文献[5~7]提出应从研制试题入手对学生物理学科核心素养进行评价. 文献[8]借助 SOLO 理论和试题特点对学生的学业质量展开合理评价.

本文在以上研究的基础上, 基于新课标对学生物理学科核心素养的要求, 以 SPA 理论为指导, 构

建了科学、定量的综合评价方法, 并用案例对此评价方法的有效性做了说明.

1 集对分析理论

集对分析理论(SPA 理论)是我国学者赵克勤提出的一种全新的系统分析方法, 其核心思想是从同、异、反 3 个方面来研究集对的不确定性^[9]. 所谓集对, 就是把两个有联系的集合看成一个整体, 集对分析也就是分析这两个集合的联系度^[10~12]. 集对分析的基本思路是在一定的问题背景下对所论两个集合所具有的特性作同、异、反分析并加以度量刻画^[13].

集对的联系度表达式为

$$\mu = \frac{S}{N}i + \frac{F}{N}j + \frac{P}{N}k$$

式中 N 为集对所具有的特性总数; S , F 和 P 分别为集对中两个集合相同、相异和对立的特性数. i , j 和 k 分别表示同一度系数、差异度系数和对立度系数.

* 宁夏卓越教师发展研究人才小高地项目; 宁夏高校一流本科课程项目; 宁夏师范学院 2021 年课程思政示范课程建设项目.

作者简介: 陈青雨(1998-), 女, 在读硕士研究生, 研究方向为学科教学(物理).

通讯作者: 桑苏玲(1974-), 女, 博士, 教授, 研究方向为非线性光学, 基础教育.

文献[9]规定, $S+F+P=N, i=1, k=-1$, 且有 $j \in (-1, 1)$.

2 基于物理学科核心素养的集对分析理论

2.1 分维度评价方法

从集对分析法提出的核心思想来看, 对于学生的物理学科核心素养评价, 应遵循同、异、反的原则. 当学生完全或基本掌握物理学科核心素养的某个维度时, 那么学生在这个维度就达到了“同”的要求; 反之, 当学生对物理学科核心素养的某个维度完全没有或几乎没有掌握, 那么在这个维度上就达到了“反”的要求; 如果结果在上述两者之间, 则说明达到了“异”的要求. 我们规定学生物理学科核心素养的某一维度得分占此维度卷面总分 80% 及以上时, 为“完全或基本掌握”; 将占比 40% 及以下视为“完全没有或几乎没有掌握”; 占比在 40% ~ 80% 之间则为“部分掌握”.

2.2 综合评价理论

利用上面的方法可以简单的对学生物理学科核心素养的各个维度进行评价, 但是如果学生对物理学科核心素养整体有一个综合性的统计就需要更加科学、系统的方案了. 文献[14]利用集对分析理论中同、异、反思想提出了一种基于 SPA 算法的物理实验成绩评价方法. 对于普通测验成绩评价时, 可以不考虑差异度、对立度, 而只应对集对分析同一度概念来评价, 对学生的成绩可根据集对分析的同、异、反理论来评定, 最后对学生进行综合评价.

表 1 试卷中物理学科核心素养各个维度细则表

物理学科核心素养	要素	占分情况 / 分	题号
物理观念	运动观念	6	1/5
	相互作用观念	6	3/8
科学思维	科学推理	76	2/4/6/7/9/10/11/12/13/14/15/16/17/18/21/22/23/24
科学探究	解释	12	19/20

我们仅举物理学科核心素养的物理观念维度做一说明.

题目 1: 有关牛顿第一定律说法正确的是?

该题目要求学生了解牛顿第一定律的由来, 即伽利略是如何用理想实验来证明物体所受的合外力

鉴于此, 可以假设该学校参与考试人数为 n , 有 m 种涉及的考查维度, 即 m 项考核指标, 在每一个指标中定一个优秀指标 a_i^* (理想方案) 作为比较基准, 一般选 $a_i^* = \max(a_{m1}, \dots, a_{mi}), i \in (1, n)$. 由考试中每位学生各个维度的分数, 分别对应相除, 再求出各学生的指标与理想方案各对应指标的联系矩阵

$$B = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

这里 $b_{mi} \leq 1$. 计算物理学科核心素养的综合成绩可用平均原则确定各项指标权重 $W = [W_1, \dots, W_m]$, 由此得到联系矩阵 $R = W \times B$, R 中的元素就是 i 个待评 R^* 的同一度.

得出综合成绩之后, 同样将学生在物理学科核心素养得分总值占理想总值比的 80% 及以上视为“完全或基本掌握”; 将得分占比 40% 及以下视为“完全没有或几乎没有掌握”; 占比 40% ~ 80% 之间视为“部分掌握”.

3 案例分析

本文选择 2020 年某市某中学高一年级第三次月考物理试卷作为研究案例.

3.1 物理学科核心素养情况分析

首先对试卷中的物理学科核心素养进行分析, 统计物理学科核心素养各个维度及其下各个要素所涉及的题号和分值情况, 为后面计算学生的物理学科核心素养得分提供依据. 分析结果如表 1 所示.

和物体运动状态之间的关系; 还要求学生对于牛顿第一定律的实质及惯性有较深层次的理解. 通过分析可以看出, 该题考查的是物理学科核心素养物理观念维度中的运动观念. 所以, 该题应归为物理观念维度.

由于本次研究对象为月考试卷,所以在试卷中根据教学内容要求,重点考查了物理观念、科学思维和科学探究3个维度的情况.

3.2 全体学生各维度得分情况

下面,统计全体学生试卷中物理学科核心素养各维度总得分与试卷中物理学科核心素养该维度总分的比值,将比值满足对应条件的学生个数填入表2中对应的位置.

表2 试卷中学生物理学科核心素养的各个维度得分占比表

物理学科核心素养	物理观念 / 人	科学思维 / 人	科学探究 / 人
占比 80% 及以上	596	73	291
占比 40% ~ 80% 之间	670	1 029	842
占比 40% 及以下	41	205	174

3.3 全体学生综合得分情况

统计全体学生在试卷中物理学科核心素养的综合得分情况,分析在该试卷中反映出来的学生的综合能力.

利用表1对物理学科核心素养各个维度的划分,可得出全体高一学生物理学科核心素养各个维度的得分、总得分及百分比.利用理想方案将比值满足对应占比关系的学生个数填入表3中对应位置.

表3 理想方案下全体学生试卷物理学科核心素养的得分占比表

物理学科核心素养	占比 80% 及以上	占比 40% ~ 80% 之间	占比 40% 及以下
人数 / 人	200	1 065	42

4 分析讨论

4.1 全体学生各维度分析

由于本次学生总数为1 307人,因此,在这里将学生总数1 307作为集对所具有的特性总数 N ,将达到各自要求的学生数量分别作为相同的特性数 S 、相异的特性数 F 和对立的特性数 P .分别对物理学科核心素养的几个维度进行列式,根据 $\mu = \frac{S}{N}i +$

$\frac{F}{N}j + \frac{P}{N}k$ 得出式(2)~(4).

物理观念

$$\mu_1 = \frac{S_1}{N}i + \frac{F_1}{N}j + \frac{P_1}{N}k = \frac{596}{1\ 307}i + \frac{670}{1\ 307}j + \frac{41}{1\ 307}k \quad (2)$$

科学思维

$$\mu_2 = \frac{S_2}{N}i + \frac{F_2}{N}j + \frac{P_2}{N}k = \frac{73}{1\ 307}i + \frac{1\ 029}{1\ 307}j + \frac{205}{1\ 307}k \quad (3)$$

科学探究

$$\mu_3 = \frac{S_3}{N}i + \frac{F_3}{N}j + \frac{P_3}{N}k = \frac{291}{1\ 307}i + \frac{842}{1\ 307}j + \frac{174}{1\ 307}k \quad (4)$$

将式(2)~(4)中的特性数 $S_1 - P_3$ 的值分别与特性总数 N 进行比较,以物理观念维度为例,由于 $S_1 + F_1 \gg P_1$,说明该校学生在物理学科核心素养中的物理观念维度掌握的普遍较好,中高等要求的学生(即 $S_1 + F_1$)数量较多;同理,对于科学思维维度和科学探究维度,处于中等要求的学生(即 F_2 和 F_3)数量比较多.因此,我们可以得出结论,该校整个高一年级学生的物理学科核心素养各个维度掌握的程度都比较好.

想提高学生的科学思维、科学探究,要在多方面下功夫.例如:就科学探究而言,处于中等要求的学生人数达到了842人.如果学校、教师和这些中等要求的学生自己能够加以重视,利用有效的知识结构和系统的学习方法,加以时日, F_3 的人数就会减少, S_3 的人数就会相应增加,即达到高要求的人可能会越来越多.预计下次达到高要求的人可能达到 $S'_3 = 291 + 842 \times \frac{291}{1\ 307} \approx 478$.也就是说在多方面的共同努力下,该校学生下次考试的科学探究维度可能会有比较理想的提升.但是,如果学校、教师和这些中等要求的学生忽视或消极对待,那么 F_3 的人数就会减少, P_3 的人数会相应增加,即低水平的人可能会越来越多.预计下次低水平的人可能达到 $P'_3 = 174 + 842 \times \frac{174}{1\ 307} \approx 286$.也就是说在校方、教师和学生忽

视或懈怠时,该校学生下次考试的科学探究维度可能会有比较明显的下降.由此,可以体现出 SPA 理论在评价学生学科核心素养方面所具备的预测功能.

4.2 全体学生综合分析

被测 1 307 名学生的各项成绩构成的矩阵为

$A_{3,1\ 307}$, 记为

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{m1} & \cdots & a_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1,1\ 307} \\ a_{21} & \cdots & a_{2,1\ 307} \\ a_{31} & \cdots & a_{3,1\ 307} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 & \cdots & 3 \\ 73 & \cdots & 6 \\ 8 & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据理想方案,将上述 1 307 名学生的各项成绩进行排序,选择各项成绩中最好的值作为优秀指标.因此,全体被测对象的物理学科核心素养各个维

$$\text{度的优秀指标 } a_i^* = \max(a_{m1}, \cdots, a_{mi}) = \begin{pmatrix} 12 \\ 74 \\ 12 \end{pmatrix}, i \in$$

$(1, 1\ 307), m \in (1, 3)$, 用每个学生物理学科核心素养各个维度对应的分值除以对应的理想值得到矩阵

$B_{3,1\ 307}$, 记为

$$B'_1 = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1n} \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ b_{m1} & \cdots & b_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1,1\ 307} \\ b_{21} & \cdots & b_{2,1\ 307} \\ b_{31} & \cdots & b_{3,1\ 307} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.00 & \cdots & 0.25 \\ 0.99 & \cdots & 0.08 \\ 0.67 & \cdots & 0.00 \end{bmatrix} \quad (6)$$

即 1 307 位学生的成绩与理想方案的比值组成的矩阵.设各指标权重为

$$W_1 = \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \right)$$

则 $R_1 = W_1 \times B'_1$ 为本次学生的物理学科核心素养综合成绩.若要算出具体分数值,定一个总分,最后记每位学生具体得分为 b_i , 则 1 307 位学生分数 $P_2 = (b_1, \cdots, b_{1\ 307})$. 同理,学生总数 1 307 作为集对所具有的特性总数 N , 达到各自要求的学生数量分别作为相同的特性数 S 、相异的特性数 F 和对立的特性

数 P . 物理学科核心素养 P_2 大致情况如表 3, 根据 $\mu =$

$$\frac{S}{N}i + \frac{F}{N}j + \frac{P}{N}k \text{ 得出综合情况的等式}$$

$$\mu_4 = \frac{S_4}{N}i + \frac{F_4}{N}j + \frac{P_4}{N}k =$$

$$\frac{200}{1\ 307}i + \frac{1065}{1\ 307}j + \frac{42}{1\ 307}k$$

由此等式中的 S_4, F_4, P_4 可知,总体上该校学生物理学科核心素养达到高等要求的学生比较少,大约占到了 15.30%, 中等要求的学生大约占 81.48%, 而低等要求的学生不到 4%.

以上是学生单次月考物理学科核心素养的评价结果.如果要考查一学期甚至一学年的达成情况,可以根据学校每年月考的次数和每月对应的权重算出学生本年度月考物理学科核心素养总成绩.再者,如果将学生高一到高三每年的月考成绩都做上述的分析,再加上每年的权重,那么就可以计算出学生在高中三年的总成绩.这样不仅可以明显地看出学生在高中三年内物理学科核心素养的提高情况,也能清楚直观地看出该市该中学高中学生物理学科核心素养的达成情况.

5 结论

本文基于新课标要求,以某次月考试卷为例,对学生的物理学科核心素养达成情况进行了分析;基于 SPA 理论同、异、反的核心思想,评价了学生物理学科核心素养各维度和综合达成情况.通过研究发现,基于 SPA 理论的定量评价,不仅能够评价一名学生在物理学科核心素养某个维度的达成情况,也能从多个维度甚至是整体上评价多名学生的物理学科核心素养;再者,SPA 理论在评价被测对象之后,还能对下次评测情况进行有效的预测.SPA 理论下的定量评价,由于其具有的全面性、针对性和预测性等优点,有望在中学物理教学中得到广泛推广.

参考文献

- 1 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[S]. 北京:人民教育出版社, 2018
- 2 杨述. 多角度, 多尺度评价初中学生的物理学习, 突出探究, 创新和实践能力[J]. 科技信息, 2006(6S):163~163

(下转第 161 页)

以上素材,可以适当进行模型简化,让学生在
实际情景下对概念规律进行深入的理解、应用和迁
移,另一方面,也可以以科技文阅读的形式,培养学
生从材料中提取信息、并利用所学知识进行分析推
理的能力.2021年的高考物理北京卷,就是一个有
益的尝试.

另一方面,同步辐射光源也蕴含着丰富的科学—
技术—社会—环境素材:

(1)同步辐射的发现历史,遵循“理论预言—实
验验证—失败—实验改进—再验证—成功”的科
学探究规律,有助于培养学生的探究精神、证据意
识,学习科学先驱不屈不挠的精神品格.

(2)同步辐射从高能物理加速器能量损失的
“罪魁祸首”,变成各领域科学家心之所向的“梦幻之
光”,这一史实可引导学生进行辩证思考,科学发现
如何能够兴利除弊,变“废”为宝.

(3)以“上海光源”从提议到运行近20年的历史、
从动工到竣工经历6年的建造过程为素材,学生可以
了解大型科学工程从立项、论证、奠基、建设、验收
……整个流程会遇到的方方面面的问题与困难,明白
“国之重器”背后是千万人的努力,非一日之功.

(4)“上海光源”建成后,《自然》杂志以“中国加
入世界级同步辐射俱乐部”为题进行了宣传和报
道,各领域科学家汇集与此,各学科前沿成果不断涌

现……这一事实充分说明了大型科研仪器不仅有
力推动了科技发展,也在提高综合国力方面发挥了
巨大作用.

(5)“上海光源”的外观被设计为优美的“鸚鵡
螺”造型(出自凡尔纳科幻小说中的“鸚鵡螺号”潜
艇),为此不惜将项目预算增加了几千万.但此后,
“上海光源”因其科学性与视觉艺术的完美融合,成
为了上海市的地标性建筑,也间接拉动了当地旅游
行业的发展.这一案例可以很好地体现科学与文化
的相辅相成,引导学生在物理—地理—人文学科
的交叉领域进行思考.

以上素材,有助于学生全方位了解人类科技进
步的曲折性、辩证看待科学与技术的相互作用,培养
“科学态度与责任”的核心素养,渗透学科德育,激
发学生的爱国情怀和民族自豪感.

参考文献

- 北京教育考试院.2021年普通高中学业水平等级考试试
卷[Z].<https://wenku.baidu.com/view/bd09a25502f69e3143323968011ca300a6c3f663.html>
- 王德武.同步辐射的昨天和今天[J].现代物理知识,
1994(6):13~14
- 黎刚,梁岫如.同步辐射——当代最重要的多学科交叉
研究基地[J].物理教学,2010,32(9):2~5
- 索鸿英.梦幻之光——同步加速器辐射[J].物理教师,
1997(1):32~34
- 赵克勤.集对分析对不确定性的描述和处理[J].信息与
控制,1995(3):162~166
- 汪海东,曾志兴.基于集对分析的高性能再生混凝土性
能优化[J].四川建筑科学研究,2012,38(3):230~233
- 俞峰,李荣钧.基于集对分析的飞机客舱安全疏散能力
评估[J].消防科学与技术,2012,31(4):425~427
- 苏生瑞,张其伟,景积仓,等.基于集对分析方法的山区
高速铁路线路方案优选研究[J].工程地质学报,2011,
19(5):764~770
- 赵克勤.集对分析及其初步应用[J].大自然探索,
1994(1):67~72
- 金国娟.一种基于SPA的物理实验成绩评价方法[J].绍
兴文理学院学报(教育教学研究),2003(12):29~30

(上接第150页)

- 王焕霞.物理学科能力评价指标体系构建研究[J].湖
南中学物理,2015,30(5):1~3
- 刘洋,李贵安,王力,等.基于教育目标分类的高中物理
核心素养评价[J].教育测量与评价,2017(10):35~40
- 何铁.基于物理学科核心素养视角的成都中考物理试题
分析[J].物理教学探讨,2016,34(9):48~51
- 郑行军.指向核心素养评价目标的试题命制策略——以
物理组合题设计为例[J].中国考试,2019(5):68~72
- 张杰.中考物理试题与核心素养评价——以无锡市中考物
理杠杆类试题为例[J].物理教师,2020,41(6):40~43
- 杨力富.高中物理核心素养评价与学业质量检测有效性
研究[J].新课程,2020(46):27