

文章编号:1005-4642(2022)12-0040-06



高中生物理实验数据分析能力 评价体系的建构

李佳泓[†], 胡安琦[†] 李贺文, 李春密

(北京师范大学 物理学系, 北京 100875)

摘 要:为贯彻高中物理学科核心素养,评价体系的建构需要界定明确的核心概念,确立清晰的建构原则。在此基础上,从实验数据分析过程中抽象出具体指标,并进行科学、客观的水平划分,最终建构了包含 3 个一级指标和 7 个二级子指标的评价体系,按表现水平划分为 5 个水平等级,以期对高中生的物理实验数据分析能力进行科学有效的评定,为一线教学和教育研究提供切实可行的建议。

关键词:核心素养;评价体系;物理实验数据分析能力;水平层级划分

中图分类号:G633.7

文献标识码:B

DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2022.12.007

数据与我们的日常生活息息相关,尤其在大数据时代,人们需要掌握处理数据、将数据转化为有效信息、把数据及信息与生活实际联系起来的方法,从而对客观事物产生清晰的认知。物理学是人类在探索自然现象及其规律过程中形成的以实验为基础的自然科学^[1]。因此,实验数据处理能力和分析能力对学习与发展物理学至关重要。高中生处理和分析实验数据时,要根据实验原理、要求以及限制条件,对实验现象进行理性分析,运用学过的物理知识和相关数学方法(例如解析法、图像法、列表法等)得出合理的结论^[2]。建构适用于高中生的物理实验数据分析能力的评价体系,对高中生的相关能力进行评价和分析,可以发现高中生的普遍问题或个别问题,为一线教师开展教学设计提供科学依据。

本文建构的高中生物理实验数据分析能力评价体系,是以普通高中物理课程标准中的物理学科核心素养为起点,以 Pols 等人的物理实验数据分析能力体系框架为基础^[3],结合我国高中生物

理实验相关学习的实际情况与实际需要,建构出一级指标与二级指标,该评价体系具有科学性、导向性、可操作性等特点。

1 高中生实验数据分析能力评价体系的建构

1.1 核心概念的界定

文献[4]将数据分析能力分为:认识、收集、整理、表述、探究,共 5 个方面。而本评价体系的建构方向致力于评价学生整理、分析数据的能力,以及从数据中抽取对研究问题有用的信息进而作出判断的能力。物理实验数据分析能力要求学生在进行物理实验的过程中,能够灵活改变实验数据的表征形式,运用图表、计算公式等数据分析方法,得到与实验探究目的相关的信息,并结合已有物理知识和生活实际,对实验数据进行分析 and 解释。在《普通高中物理课程标准(2017 年版 2020 年修订)》中,物理学科核心素养主要由物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任 4 方面构

收稿日期:2022-05-11

基金项目:2021 年北京师范大学“本科生科研训练与创新创业”项目(No. 2021-23)

作者简介:李佳泓(2001—),男,福建诏安人,北京师范大学物理学系 2019 级本科生。E-mail:201911140904@mail.bnu.edu.cn

胡安琦(2002—),女,安徽安庆人,北京师范大学物理学系 2019 级本科生。E-mail:2928809621@qq.com

通讯作者:李春密(1966—),男,河北迁安人,北京师范大学物理学系教授,博士,主要从事物理课程与教学论研究工作。E-mail:licm@bnu.edu.cn

[†]:共同第一作者,对本文贡献相同

成^[5],其中“科学探究”中提到“获取和处理信息、基于证据得出结论并作出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思”与实验数据分析能力密不可分。

1.2 体系的建构原则

该评价体系应用对象为高中生,旨在对高中生的物理实验数据分析能力进行等级划分,评判高中生在相关能力方面的优势与不足,为一线教师开展教育教学工作提供帮助,为提升高中生的物理实验数据分析能力提供指导方向。本体系在建构过程中遵循下列原则:

1) 科学性原则

评价体系应该遵循物理学科核心素养的思想,有合适的理论基础,适合中国的教育环境,包含高中生实验数据分析能力的主要要素,经一线教师和专家评判,认定其具有合理性和科学性。

2) 客观性原则

评价体系需要反映出被测学生的客观情况,得到学生真实能力的情况,不能被教学者、评价者的主观意愿所影响。这就需要评价体系避开评价者和被测学生的兴趣爱好、价值观念等的影响。客观性是教学评价能否发挥其功能的基础,违反客观性原则就会失去评价的意义^[6]。

3) 指导性原则

评价体系应在指出师生长处和不足的基础上提出建设性意见,以便师生扬长避短,不断前进^[6]。另外,评价体系还需要能够具体指出教师在教学方面和学生在过程中存在的优势和不足,为师生提供指导性的改进方向和建议。

4) 整体性原则

评价体系反映出的各项能力水平、优势与不足均体现在学生个体上。从教学角度理解,评价体系的各项维度和指标是个整体,能够共同反映学生的能力情况;从学生角度理解,要体现以人为本的教育观,不能将能力维度与学生割裂开。

5) 实用性原则

评价体系要切实可行,具有可操作性,能够帮助教育工作者判断学生的能力情况,是教师进行教育教学研究的实用工具。实用性是评价体系能够不断发展的基础,是评价体系建立的最初目的。

1.3 体系的建构思路

1.3.1 体系指标划分

将物理学科核心素养科学探究中的“获取和

处理信息”能力应用到高中生的物理实验数据处理过程中,可以得到具体的能力内涵:“获取信息”的内涵是学生对现有数据的处理能力,包括理解数据的基本信息,能够将数据可视化,建立正确的趋势线,等等;“处理信息”的内涵是学生从已有的数据和图表中进一步获取有效信息的能力,包括描述数据的趋势,理解趋势的物理含义,比较数据之间的区别,归纳出可以描述数据的公式等能力。

核心素养中的“对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思”,其内涵是学生基于已有的物理知识,将实验数据、已有的实验图表、公式或实验结论与生活实际相结合进行理解,指出结论的限制性,理解数据的含义并举出实际应用场景等能力。

上述高中生实验数据分析能力,具有实际应用场景与应用价值,以物理学科核心素养为出发点,与高中生的物理实验学习实际需要相结合。根据高中生物物理实验的过程顺序,其实验数据分析能力可以被分类、概述和总结,继而建构为具有条理、层级分明、体现核心素养、对高中生物物理实验有实际价值的能力维度体系。

1.3.2 体系指标的水平层级划分

高中生物物理实验数据分析能力评价体系指标的水平层级划分是基于物理学科核心素养的水平划分,结合高中生物物理实验数据分析能力评价体系的一级指标和二级指标,总结出每个水平层级的能力要求,汇总得到以物理学科核心素养为培养目标、在高中物理实验教学领域具有实际运用价值、可行性强的高中生物物理实验数据分析能力评价体系指标的水平层级划分。

在《普通高中物理课程标准(2017年版,2020年修订)》的“科学探究”水平划分中,水平5的部分表述为:“能用多种方法分析数据,发现规律,形成合理的结论,用已有的物理知识进行科学解释;……交流、反思科学探究过程与结果。”^[5],水平5的内容在高中生物物理实验数据分析能力方面的内涵为:能够运用已有的物理知识和数学知识将数据可视化;能够深入理解实验,总结出深入、全面的物理定性、定量结论;能够全面、具体地指出结论成立的局限性,科学地推测出实验误差的主要来源,并提出合理、有效、可行的减小误差的方法,等等。依照类似研究方法,可以得到其余能力水平的水平层级划分细则。

2 高中生实验数据分析能力评价体系

2.1 评价体系的一级指标与二级指标

以普通高中物理课程标准中的物理学科核心

素养为起点,以 Pols 等人的物理实验数据分析能力体系框架为基础^[3],结合我国高中生物理实验学习的实际情况与实际需要,建构出一级指标与二级指标,如表 1 所示.

表 1 高中生物理实验数据分析能力指标

一级指标	二级指标
1)对现有数据进行处理的能力	1)理解数据的基本信息,并将数据可视化; 2)建立正确的趋势线.
2)从数据中进一步获取有效信息的能力	1)定性描述和识别数据趋势的主要特征,并理解趋势的物理含义; 2)定性描述多组数据之间的相似性和差异性; 3)归纳出可以描述数据的公式,用内插法或外推法估计需要的物理量.
3)基于已有的物理知识,将数据与实际相结合进行理解的能力	1)结合实验情境,指出实验结论的局限性; 2)结合生活实际,深入理解实验结论,列举符合实验数据性质的应用.

2.2 评价体系一级指标的内容及其内在关系

表 1 确立了高中生物理实验数据分析能力评价体系的 3 个一级指标.

1)对现有数据进行处理的能力. 要求学生从实验过程中获取的原始数据,根据实验的物理情境选择原始数据,并且运用相关数学知识将数据转化为表格、图像、公式等,即数据可视化. 数据可视化能够更加直观地获取与实验探究目的相关的信息. 这项指标对学生的数学能力、绘图能力、物理思维有较高要求.

2)从数据中进一步获取有效信息的能力. 要求学生在处理完实验原始数据的基础上,根据物理情境和已学的物理知识进一步获取有效信息. 其中“有效信息”是指从物理实验情境中提取出的具体结论,包括但不限于:数据和趋势的主要特征,数据趋势的物理含义,多组数据之间的相似性和差异性,估计所需的物理量,等等. 这项指标要求学生能够熟练应用数据处理软件(如 Excel 等),给出相应的实验结论.

3)基于已有的物理知识,将数据与实际相结合进行理解的能力. 要求学生在处理完实验原始数据,根据物理实验情境给出具体结论的基础上,考虑物理实验情境背后隐含的客观条件,指出上述实验结论的局限性,列举符合实验数据性质的具体应用. 学生在进行物理实验的过程中容易忽略实验结论的局限性和结论成立的限制条件,这项指标要求学生能够在分析整个实验的过程中结

合实际,并且能够将物理实验研究成果应用到实践中.

评价体系的 3 个一级指标密不可分,在高中生物理实验数据分析能力评价中发挥着不可替代的作用:对现有数据进行处理的能力是物理实验数据分析的基础,是其他指标的前提条件;从数据中进一步获取有效信息的能力是物理实验数据分析的核心,也是学生能否得出有效实验结论的直观体现;基于已有的物理知识,将数据与实际相结合进行理解的能力则是贯穿于物理实验数据分析的始终,学生需始终将理论与实际相结合,才能保证实验结论科学、准确,并将物理成果应用于生活. 这 3 个一级指标的逻辑顺序与物理实验思维相匹配,贯穿高中生物理实验过程始终.

2.3 评价体系的二级指标的内容及其内在关系

1-1(代指第 1 个一级指标中的第 1 个二级指标,即“理解数据的基本信息,并将数据可视化”,下同)是指学生能够清楚地理解实验探究目标与所测得实验数据之间的关系,理解不同变量之间的关系,知悉将数据可视化的规范. 例如,在普通高中物理必修 1 中的“探究弹簧弹力与形变量的关系”实验^[7],测得的数据是弹簧的长度 l 与对应弹簧受到的弹力 F ,为了达到实验探究目标,应该将数据中弹簧的长度 l 转换为弹簧的伸长量 Δl ;将数据可视化的规范包括:在图中,将自变量赋予 x 轴,因变量赋予 y 轴,在 x 轴和 y 轴上标记正确的物理量名称(或者符号)和相应合适的单位,绘

制数据点和比例尺;当存在多组实验数据时,添加图例加以区分;选择合适的坐标轴刻度和取值范围。

1-2 是指学生能够根据已有的实验数据点,绘制恰当的趋势线,使其能够反映实验数据的变化趋势和真实的物理情境,理解趋势线与描点连线的区别。另外,学生还需要考虑图像的原点是否为数据中的一部分,考虑趋势线的形式是直线还是曲线,并且让所绘制的趋势线尽可能接近数据点。

2-1 是指学生在基本绘制数据图像和趋势线的基础上,定性地总结数据和趋势线的主要特征,结合实验物理情境理解趋势线所代表的物理含义,并且尽可能全面地总结出特征,根据这些特征可以重现出大致的物理图像。

2-2 是指学生除了能够定性描述单组实验数据的主要特征之外,在面对多组实验数据时,能够给出不同组数据之间在趋势形状、限制范围、突变点等方面的相似性和差异性,这项指标对学生将不同组数据进行对比、类比的能力有较高要求。

2-3 是指学生能够在已获取的实验数据基础上,利用已学的物理和数学知识,选取合适的公式对实验数据进行拟合,能够灵活运用内插法或外推法估计所需物理量的值。这项指标要求学生掌握常用的数据处理方法,熟练应用数据处理软件(如 Excel 等)。

3-1 是指学生在处理完实验原始数据,根据物理实验情境给出具体结论的基础上,能够考虑物理实验情境背后隐含的客观条件,指出上述实验结论的局限性;能够说明数据的准确程度;能够科学地分析实验误差,结合实际用已有物理知识进行科学解释。例如,在普通高中物理必修 1“探究加速度与力、质量的关系”实验^[7]中,通过改变槽码的个数改变小车所受的拉力。小车所受的拉力与槽码所受的重力近似相等,限制条件为槽码

的质量要远小于小车的质量,若不满足该限制条件,所得到的实验数据结果将与预期结果出现偏差。

3-2 是指学生在处理完实验原始数据,根据物理实验情境给出相应的具体结论,以及全面交流、反思实验探究过程与交流的基础上,依据自身的科学态度与责任,将物理实验研究成果应用到实践中,可以有效地指导工作和生活实践等。例如,在普通高中物理必修 1“探究弹簧弹力与形变量的关系”实验^[7]中,当学生处理完实验数据,发现弹簧受到的弹力 F 与弹簧的伸长量 Δl 线性相关的规律后,学生可以利用该规律(胡克定律)制作符合实际要求的弹簧测力计,为其他需要测量力的探究实验提供设计思路。

以上所有的二级指标是从 3 个一级指标细化、拓展延伸而得到,二级指标之间也存在着密不可分的关系:1-1 是物理实验数据分析的初始步骤,是后续其他指标的基础;1-2 是物理实验数据分析的重要途径,是物理实验数据主要特征的直观体现;2-1 和 2-3 是物理实验数据分析的关键,从中可以分别得到实验的定性结论和定量结论;2-2 要求学生分析并理解多组实验数据在各指标上的表现,再进行对比和类比,这也对学生理解上述二级指标的能力提出了更高要求;3-1 体现了物理实验数据分析的科学思维,学生只有具备批判性的科学思维,才能够深入掌握实验探究内容的来龙去脉;3-2 要求将数据分析与物理实际相结合,是各项指标的高度深化。

2.4 评价体系指标的水平层级划分

评价高中生的物理实验数据分析能力,全面、直观地展示学生的物理实验数据分析能力水平,需要结合上述提出的一级指标和二级指标框架划分评价体系指标的水平层级。

参考李克特量表法^[8],将高中生物理实验数据分析能力的水平划分为五级,如表 2 所示。

表 2 高中生物理实验数据分析能力的水平层级划分

水平层级	水平描述
水平 1	1) 数据可视化的能力薄弱,绝大部分情况下不能独立绘制数据图表; 2) 缺少定性总结结论的能力,缺少定量推导公式的能力; 3) 将理论与实际相结合的能力薄弱,没有考虑真实的物理实验情境,缺乏将物理成果服务于生活实践的科学精神。

续表

水平层级	水平描述
水平 2	1) 知道基础的数据可视化规范,绘制出简单的数据图表;但不了解趋势线在物理实验数据分析中的意义; 2) 能够定性得出简单的实验结论,会用较为粗略的估算方法估计物理量的值; 3) 能考虑到部分实际情况,对物理实验情境有初步的理解,尝试应用物理成果.
水平 3	1) 了解较为全面的数据可视化规范,绘制出的数据图表基本包含实验中的信息,了解趋势线在物理实验数据分析中的意义,但容易将趋势线与描点连线混淆; 2) 运用理论知识进行分析和推理,定性得出正确的物理实验结论,能够简单分析多组数据间的相似性与差异性,会用内插法或外推法估计物理量的值,但不清楚内插法或外推法的基本原理; 3) 具有独立思考的能力,能考虑到实际情况与理论假设之间的差别,进行简单的误差分析,并能够意识到物理成果对于人类社会发展的推动作用.
水平 4	1) 知悉数据可视化的全部规范,绘制的数据图表较为美观、清晰,通过实验数据点绘制较为合理的趋势线(而非描点连线); 2) 运用与实验相关的重要物理观念分析实验所得数据,定性得出正确且全面的物理实验结论,较全面地指出多组数据之间的相似性与差异性,使用简单的数据处理软件拟合出公式,并能够熟练运用内插法或外推法估计物理量的值; 3) 具有严谨求真的物理精神,能意识到总结出的物理实验结论具有局限性,但不能全面、具体地指出结论成立的限制条件,能够大致推测实验误差的来源,提供较为有效的减小误差的方法,并能将物理成果与人类科技发展联系起来.
水平 5	1) 运用已有的物理知识和数学知识,绘制出清晰、美观的数据图表,包含从实验中获取到的所有信息,符合学术上对数据可视化的要求,在绘制趋势线时能够选择恰当的趋势线形式,使所绘制的趋势线尽可能接近数据点; 2) 能够深入理解实验,全面地总结出物理定性结论,同时能够理解数据趋势所代表的物理含义,能够有理有据地分析出多组实验数据之间的相似性与差异性,理解相似性与差异性的成因,并能够熟练运用数据处理软件,选择合适的拟合公式,了解曲线拟合的最小二乘法等相关概念,熟练运用内插法或外推法估计物理量的值,并了解相应的计算原理; 3) 能够清晰意识到真实世界与物理学理论间存在差异,能够尊重客观事实,全面、具体地指出结论成立的局限性,科学地推测出实验误差的主要来源,并提出合理、有效、可行的减小误差的方法,能够清楚地意识人类科技发展与物理学科成果发展息息相关,并能将物理成果应用到实践中.

表 2 所示为高中生物理实验数据能力水平进行划分,赋予评价体系各项指标以实际的水平层级划分标准. 实际应用中可将水平层级中的每一项抽离出来,制定一级指标和二级指标水平量表,实行单一指标水平的对比与评价.

3 评价体系的实证检验及应用

3.1 评价体系的实证检验

为了解一线物理教师对此体系的认同程度,使用问卷法征集了安徽省、吉林省、福建省各 1 所中学共 31 位一线物理教师对上述评价体系的评判,5 分表示“非常重要”,1 分表示“不重要”,以此

类推. 问卷收集结果如表 3 所示.

表 3 一线物理教师对体系二级指标的评价均分

二级指标	评价均分	二级指标	评价均分
1-1	4.74	2-3	4.42
1-2	4.55	3-1	4.42
2-1	4.74	3-2	4.26
2-2	4.52		

所有二级指标的平均得分均高于 4 分,说明 31 位一线教师认为该评价体系的所有指标均具有较高的重要程度.

3.2 评价体系的应用

本评价体系在实际应用阶段,各选取安徽省、吉林省、福建省中的 1 所中学中的高二、高三班级(共计 369 位高中生)作为被试对象,综合运用发放试题、一对一访谈等方法,对学生进行了物理实验数据分析能力的测试。本次测试中,学生在各指标上的表现总体呈现高斯分布,并且通过 T 检验法验证了本次测试有着良好的区分度。具体测试结果如表 4 所示。

表 4 中学生在各二级指标上的平均表现水平

指标	学生年级	平均表现水平
1-1	高二	水平 4
	高三	水平 4
1-2	高二	水平 2
	高三	水平 2
2-1	高二	水平 4
	高三	水平 4
2-2	高二	水平 3
	高三	水平 3
2-3	高二	水平 3
	高三	水平 3
3-1	高二	水平 4
	高三	水平 4
3-2	高二	水平 2
	高三	水平 2

从测试结果可以看出,高二、高三学生的物理实验数据分析能力未表现出明显差异。学生在 1-2 和 3-2 的指标上表现较差,平均处于水平 2,表明在该方面教师需指导学生夯实基础,包括增加对图表规范的教学,注重引导学生联系实际应用,等等;学生在 2-2 和 2-3 的指标上表现中等,平均表现处于水平 3,提示授课教师应当增加比较数据、内推法和外推法的练习,并在原理上引领学生进一步思考探究;学生在 1-1,2-1 和 3-1 的指标上表现较好,平均表现处于水平 4,教师可以考虑在该方面引导学生进行强化提升。基于评价体系和测试结果,我们也与各班级的授课教师进行了沟通和交流,并根据测试结果对班级的物理实验教学提出了具体可行的意见,收到了良好的反馈。

4 结束语

本文从物理学科核心素养出发,分析明确了高中生物理实验数据分析过程中的核心概念和评价体系的建构原则;结合高中生物理实验数据分析的实际过程,提出了高中生物理实验数据分析能力的评价体系,包括 3 个一级指标和 7 个二级子指标;基于物理学科核心素养的水平划分,结合 3 个一级指标和 7 个二级指标,制定出了该评价体系相应的水平层级划分细则。建构完成后,该评价体系经过高中一线教师的评议与实际应用,反馈良好。未来计划持续追踪被试班级,与学生、教师进一步接触,探究评价体系在实际教学中的深度应用。

参考文献:

[1] 教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会. 理工科类大学物理实验课程教学基本要求(2010 年版)[M]. 北京:高等教育出版社,2011:2-5.

[2] 王芳苏,袁海泉. 2020 年高考物理实验数据处理技能的考查特征分析[J]. 物理通报,2021(6):124-128.

[3] Pols C F J, Dekkers P J J M, Vries M J D. What do they know? Investigating students' ability to analyse experimental data in secondary physics education [J]. International Journal of Science Education, 2021,43(2):274-297.

[4] 王林全. 发展学生数据分析能力的要领[J]. 中学数学教学参考,2008(Z2):17-20.

[5] 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,2020:4-5,78-80.

[6] 王道俊,郭文安. 教育学[M]. 7 版. 北京:人民教育出版社,2016:248.

[7] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中教科书·物理(必修第一册)[M]. 北京:人民教育出版社,2019:62,87-90.

[8] Likert R A. A technique for the measurement of attitudes [J]. Archives of Psychology, 1932, 22 (140):1-55.

(下转 51 页)

Development and application of digital multifunctional mechanical experiment platform

LIU Zuo-zhi

(Chongwen Middle School, Weifang 261500, China)

Abstract: In physical experiments, it is difficult to measure the force on an object in uniform linear motion. In this paper, the digital multifunctional mechanical experiment platform had been developed, which systematically solved the above-mentioned difficulty at a lower cost, and improved several mechanical experiments through integrating general engineering technology, sensor technology and microcontroller technology. In addition, according to the basic feature of uniform linear motion, the platform could also be used to design innovative experiments and explore the spatial distribution of various field quantities.

Key words: mechanical experiment platform; teaching aid production; experiment exploration; digital experiment

[责任编辑:郭 伟]

(上接 45 页)

Construction of evaluation system of physical experiment data analysis ability for senior high school students

LI Jia-hong, HU An-qi, LI He-wen, LI Chun-mi

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In order to implement the core competencies and values of physics in senior high school, the construction of evaluation system required defining clear core concepts and establishing clear construction principles. As mentioned above, specific indicators were abstracted from the process of experimental data analysis, as well scientific and objective level division was carried out. The constructed system consisted of three first-level indicators and seven second-level sub-indicators, which were divided into five levels according to their performance levels, so as to scientifically and effectively evaluate the data analysis ability of physics experiments of senior high school students, and to provide practical suggestions for front-line teaching and educational research.

Key words: core competencies and values; evaluation system; physical experiment data analysis ability; level division

[责任编辑:郭 伟]