

# 基于 SOLO 理论的物理核心素养评测案例\*

祝伟斌 吴维宁

(湖北大学物理与电子科学学院 湖北 武汉 430062)

(收稿日期:2020-08-14)

**摘要:**培养物理核心素养是高中物理新课程标准的重要目标.物理核心素养的评测方法是高中物理教师关注的焦点.作为物理核心素养评测方法的初步探索,我们依据 SOLO 理论编制出 SOLO 试题,并以案例的方式,分别就典型 SOLO 题和非典型 SOLO 题两类考试试题运用于物理核心素养的评测方法进行讨论,以此求教于各位专家同行.

**关键词:**SOLO 试题 核心素养 评测案例

自 2017 版物理新课标颁布以来<sup>[1]</sup>,新出现的物理核心素养备受瞩目,其中核心素养如何考察成为教师们最为关心的问题,这不仅涉及学生的升学和教师的绩效,也对高中物理教学具有重要的导向作用.本文在分析新课标物理核心素养基本内涵的基础上,以 SOLO 分类理论的视角,介绍两个相关的评测案例,旨在探讨物理核心素养的测评方式问题.

## 1 SOLO 分类理论与物理核心素养

SOLO 是上个世纪末引入我国的教育目标分类

理论<sup>[2,3]</sup>,是一种不同于传统方法的评测框架,可运用于封闭性和开放性问题的评测. SOLO 试题就是将 SOLO 运用于封闭性问题评测的实例<sup>[4]</sup>. SOLO 试题由题干和 4 个不同层次的问题组成,不同层次的问题分别对应不同的结构水平.回答后面的问题要基于对前一个问题的正确解答,例如学生第二问回答正确,那么他第一问的回答必然是正确的.

下面通过表 1 来展示 SOLO 题的 4 个小问分别对应的 5 个结构层次以及所对应的学生达到的水平.

表 1 SOLO 题 4 小问对应的 SOLO 结构层次与学生水平

SOLO 题小问	回答情况	SOLO 结构层次	学生水平
第一问	错误	前结构	对题目和题目所对应的知识基本上完全没有了解
第一问	正确	单点结构	对问题有了理解,但只对应于题目知识体系的一个知识点,是非常初步的理解
第二问	正确	多点结构	对问题有了较多的理解,但是没有完整的解读出题目所考察的所有知识点
第三问	正确	关联结构	对问题有了完整的理解并能独立解决问题
第四问	正确	拓展抽象	对问题有完整的理解并能进行概括,将之迁移到解决其他问题的情景当中,具有探索意识和探究能力

2017 版新课标首次提出的物理核心素养,包括物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任 4

个维度.本文后续案例主要涉及前两个维度,下面以表格的方式重点展示物理核心素养与本文案例相关

\* 湖北大学研究生教学改革研究项目“教育硕士学科教育测量与评价课程综合改革实践研究”,项目编号:JY2018-011

作者简介:祝伟斌(1996-),在读硕士研究生,主要研究方向为物理学科教学.

通讯作者:吴维宁(1963-),男,博士,副教授,硕士生导师.主要研究方向为物理课程与教学论、教育测量与评价.

部分的内容框架。

表2 物理观念和科学思维两个维度的内容框架

维度	要素
物理观念	物质观念
	运动与相互作用观念
	能量观念及其应用
科学思维	模型建构
	科学推理
	科学论证
	质疑创新

从表2中我们可以看出,在高中阶段全面考查学生的物理观念,应当从考查学生对于物质的认识、对于运动与相互作用的认识以及对于能量问题的认识等3个方面来实施。同样地,要想全面考查学生的科学思维水平,就要具体考查学生的建模水平、科学推理的水平、科学论证的水平以及质疑创新的水平。一道具体的考试试题也许不能够覆盖到所有的要素,因此试题命制者和选用者可以根据考察需要来选取符合具体要素要求的SOLO试题。

## 2 物理核心素养的评测案例

### 2.1 一道典型SOLO试题的评测案例

**【例1】**如图1所示,已知人的质量为 $M$ ,冰球的质量为 $m$ ,都静止在水平冰面上,在前方有一固定挡板,不计一切摩擦力。人将冰球以速度 $v$ 击出,冰球与挡板碰撞后返回。冰球与挡板碰撞过程中的能量损失可忽略不计。

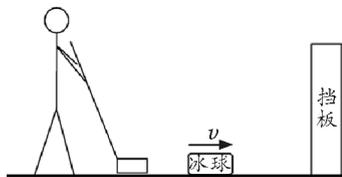


图1 人击打冰球

- (1) 冰球与挡板的碰撞属于那种类型的碰撞?
- (2) 将冰球打出后,人的速度为多少?
- (3) 人将返回后的冰球接住后,再将冰球以速度 $v$ 击出,此时人的速度为多少?
- (4) 若 $\frac{M}{m}=99$ ,且人每次都以 $v$ 将冰球打出,问多少次后人不再接到冰球?

该题的解答过程如下:

(1) 该碰撞属于完全弹性碰撞。

(2) 设击球的方向为正方向,并设击球后人的速度为 $v_1$ 。由于水平方向上动量守恒,所以有

$$0 = mv - Mv_1$$

得 
$$v_1 = \frac{mv}{M}$$

(3) 设人将冰球接住后,人和球的共同速度为 $v'_1$ 。再由动量守恒定律

$$-Mv_1 - mv = -(M+m)v'_1$$

得 
$$v'_1 = \frac{2mv}{M+m}$$

再设人第二次将冰球击出后,人的速度为 $v_2$ 。又由动量守恒

$$-(M+m)v'_1 = mv - Mv_2$$

得 
$$v_2 = \frac{3mv}{M}$$

(4) 设人第二次将接住球后,人和球的共同速度为 $v'_2$ 。仍由于动量守恒

$$-Mv_2 - mv = -(M+m)v'_2$$

得 
$$v'_2 = \frac{4mv}{M+m}$$

再设人第三次将冰球击出后,人的速度为 $v_3$ 。再由动量守恒

$$-(M+m)v'_2 = mv - Mv_3$$

得 
$$v_3 = \frac{5mv}{M}$$

综上所述:

第一次将球击出后,人的速度为

$$v_1 = \frac{mv}{M}$$

第二次将球击出后,人的速度为

$$v_2 = \frac{3mv}{M}$$

第三次将球击出后,人的速度为

$$v_3 = \frac{5mv}{M}$$

于是,第 $n$ 次将球击出后,人的速度应为

$$v_n = \frac{(2n-1)mv}{M}$$

若人不能再接球,则必有 $v_n \geq v$ ,即

$$\frac{(2n-1)mv}{M} \geq v$$

所以

多少次后人不再接到冰球?

$$2n - 1 \geq \frac{M}{m} = 99 \quad n \geq 50$$

即人在击打冰球 50 次后将不再接到冰球。

## 2.2 一道非典型 SOLO 试题的评测案例

**【例 2】**研究“蹦极”运动时,在运动员身上装好传感器,用于测量运动员在不同时刻下落的高度及速度.如图 2 所示,运动员及所携带装备的总质量为 60 kg,弹性绳原长为 10 m.运动员从蹦极台自由下落,根据传感器测到的数据,得到如图 3 所示的速度-位移图像<sup>[7]</sup>.



图 2 蹦极运动

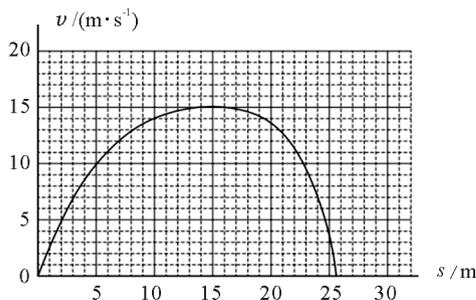


图 3 速度-位移图像

(1) 运动员下落过程中在什么位置动能最大?

(2) 试从运动和力的关系讨论运动员在该位置的受力特点。

(3) 运动员下落过程中动能最大时和落到最低点时,绳的弹性势能分别为多大?

(4) 请陈述运用相关定律解决问题的条件。

**该题的解答过程如下:**

(1) 由图 3 可知:运动员下落到 15 m 的位置时速度最大为  $15 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,因而动能也最大。

(2) 速度最大处运动员的加速度为零,由牛顿第二定律可知,此时运动员所受合外力亦为零,即运动员所受重力与弹力大小相等而方向相反。

(3) 根据机械能守恒定律,运动员在起跳点所具有的重力势能在下降的过程中转化为其他形式的机械能.分两种情况来讨论。

1) 求解到达平衡点时系统所具有的弹性势能。

当运动员从起跳点下降到动能最大处即平衡位置时,他在起跳点时的重力势能(相对于平衡位置)转化为动能和弹性势能

$$E_{\text{起跳点}} = mgh_1 =$$

$$60 \text{ kg} \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 15 \text{ m} = 9\,000 \text{ J}$$

$$E_{\text{平衡点}} = E_{\text{动}} + E_{\text{弹}} \quad E_{\text{起跳点}} = E_{\text{平衡点}}$$

$$E_{\text{动}} = \frac{1}{2}mv^2 =$$

$$\frac{1}{2} \times 60 \text{ kg} \times (15 \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1})^2 = 6\,750 \text{ J}$$

$$E_{\text{弹}} = E_{\text{平衡点}} - E_{\text{动}} = 9\,000 \text{ J} - 6\,750 \text{ J} = 2\,250 \text{ J}$$

2) 当运动员从起跳点下降到最低点时,他在起跳点时的重力势能(相对于最低点)全部转化为弹性势能.所以最低点时系统所具有的弹性势能就等于运动员在起跳点所具有的全部势能。

$$E_{\text{弹}} = E_{\text{起跳点}} = mgh_2 =$$

$$60 \text{ kg} \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 25.6 \text{ m} = 15\,360 \text{ J}$$

(4) 第(3)小题用机械能守恒定律来求解的前提,是忽略空气阻力的影响.而空气阻力能否忽略呢?我们可以通过观察图 3 中的数据曲线,并进行相关推理就能找到问题的答案.我们可以设想:如果在弹性细绳的原长范围内,运动员的下落过程完全满足或者十分接近自由落体运动规律,则空气阻力的影响就是可以忽略不计的.这只要我们检验一下:运用自由落体的公式,计算下降高度分别为 5 m 和 10 m 时,运动员所对应的速度是否与曲线图上的数据相吻合就可以了。

$$v_5^2 = 2 \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 5 \text{ m} = 100 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$v_5 = 10 \text{ m/s}$$

$$v_{10}^2 = 2 \times 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2} \times 10 \text{ m} = 200 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$$

$$v_{10} = 14 \text{ m/s}$$

从图 3 中不难看出,在高度分别为 5 米和 10 米处,运动员的下降速度正好是 10 m/s 和 14 m/s.所以,空气阻力可以忽略不计。

以上介绍的两例评测案例当中的例 1 是一道典型的 SOLO 试题,它的 4 个小问严格地对应了 SOLO 的层次结构,因此在学生的成绩评定,我们可以给出明确的等级成绩或者百分制成绩.而例 2 则是一道非典型的 SOLO 试题.它具有 SOLO 试题的 4 个小题,内容相互关联,且具有递增性,但不明显,并且第四小题具有一定的开放性.该题来源于高中

会考,在类似的目标参照类考试中,开放性引起的评分误差并不是首要考虑的问题,试题能够在多大程度上引导学生关注生活,提升学生的探究意识和探

究能力才是重点.

关于两道 SOLO 试题考查的物理核心素养的具体内容,可以参照表 3.

表 3 两道 SOLO 试题案例特征及其评测内容分析表

SOLO 题型	教学功用	评测维度	评测要素	评测内容
典型 SOLO 试题,适用于选拔性考试(常模参照)	激励深层式学习	物理观念	运动与相互作用观念	动量守恒定律
		科学思维	模型建构	完全弹性碰撞(物理过程模型)
非典型 SOLO 试题,适用于检查性考试(目标参照)	引导探究式教学	物理观念	能量观念及其应用	机械能守恒定律
		科学思维	模型建构	下落第一阶段为自由落体运动(物理过程模型)
			科学推理	此案例中,若空气阻力可忽略,则机械能守恒
科学论证	比对计算结果与实测数据,论证空气阻力可忽略			

### 3 结束语

引入 SOLO 试题来评测学生的物理核心素养具有独特的优势,特别是它考查拓展抽象结构的第四个小题本身所具有的特殊要求,能够有效地激励学生进行深度学习,或者引导教师实施探究式教学.比如例 1 的第四问,它要求学生总结每次冰球被击打后人的速度,并从这些速度表示式中发现其一般规律.经常解答这类问题的学生,会自觉形成深度学习的习惯,并逐步掌握从特殊到一般,从具体到抽象的科学思维方法.例 2 的第四问,则是要求学生收集数据并进行科学论证.经常在课堂上讨论这样的问题,那么教师的教学方式必然带有浓厚的探究式教

学特征,这对于形成学生的科学思维无疑会产生重要的影响.所以,引入 SOLO 试题来评测学生的物理核心素养,不仅能够评测到核心素养,还能够让师生的课堂讨论为学生核心素养的提升产生直接和积极的影响,能够更好地发挥评测的教学引领作用.

#### 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 约翰·彼格斯.学习质量评价的 SOLO 分类理论[M].高凌飏,等译.北京:人民教育出版社,2010
- 3 吴维宁.教育评价新概念——SOLO 分类法评介[J].学科教育,1998(5):44~45
- 4 吴维宁,李佳,孔惠斯.SOLO 试题的编制与质量检测[J].教育测量与评价,2009(3):45~48

## Evaluation Cases of Physics Core Accomplishment Based on SOLO Theory

Zhu Weibin Wu Weining

(Institute of Physics & Electronics Science, Hubei University, Wuhan, Hubei 430062)

**Abstract:** Cultivating the core accomplishment of physics is an important goal of the new physics curriculum of high school. The Assessment method of physics core accomplishment is the focus of high school physics teachers. As a preliminary exploration of the assessment method of physics core accomplishment, we compiled SOLO test problems based on SOLO theory, and discuss the assessment methods of typical and atypical SOLO test problems applied to the evaluation of physics core accomplishment in the way of case-display, so as to seek advice from experts and counterparts.

**Key words:** solo test problems; core accomplishment; assessment case