

提升物理观念 运用科学论证

重视质疑创新

——物理选考选择题答题分析及教学建议

梁 旭

《普通高中物理课程标准》(2017年版2020年修订)(以下简称《课标》)在命题建议中指出“试题应有明确的测试目标。试题的立意要明确,要清楚地指向物理学科核心素养某个或多个方面,尽量明确对具体要素的测试。整份试卷所考核的内容要尽可能涵盖学科所有可测的物理学科核心素养。”下面结合我省2021年1月和6月两次选考试卷的部分选择题,根据学生的答题情况,评估我省高中学生部分素养的水平,并对教师的教学提出建议。

一、学生答题情况评估

1. 与物理观念素养相关的试题

物理学是研究物质运动最一般规律和物质基本结构的学科。学生在物理学习中应该形成物质观、运动与相互作用观和能量观。不同的学生在不同阶段所形成的物质观处于不同水平。《课标》确定的物理观念五级水平分别是(1)能从物理学的视角观察自然现象;(2)初步具有物理观念;(3)具有物理观念;(4)具有清晰的物理观念;(5)具有清晰、系统的物理观念。

(2021.1) 2. 2020年12月我国科学家在量子计算领域取得了重大成果,构建了一台76个光子100个模式的量子计算机“九章”,它处理“高斯玻色取样”的速度比目前最快的超级计算机“富岳”快一百万亿倍。关于量子,下列说法正确的是

- A. 是计算机运算的一种程序
- B. 表示运算速度的一个单位
- C. 表示微观世界的不连续性观念
- D. 类似于质子、中子的微观粒子

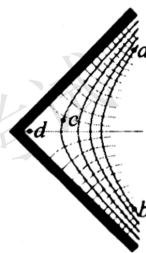


物质观念主要包括微观物质观(组成观,如夸克、粒子、原子、分子等离子;特性观,如量子、波粒二象性、概率波)、宏观物质观、宇观物质观和场物质观(电场、磁场、电磁场和光)。本题要求学生不仅具有“量子”观念(水平3),还要求具有“量子并不是一种真实的微观粒子,而是微观粒子具有的一种特性,反映微观世界的不连续性”这样清晰的观念(水平4)。从答题情况看,约有10%的学生达到水

作者简介:梁旭,男,浙江省教育厅教研室,特级教师。

平 3, 约 90% 的学生达到水平 4, 达到了《课标》对学生的要求。

(2021.6) 6. 某书中有如图所示的图, 用来表示横截面是“<”形导体右侧的电场线和等势面, 其中 a 、 b 是同一条实线上的两点, c 是另一条实线上的一点, d 是导体尖端右侧表面附近的一点。下列说法正确的是



- A. 实线表示电场线
- B. 离 d 点最近的导体表面电荷密度最大
- C. “<”形导体右侧表面附近电场强度方向均相同
- D. 电荷从 a 点到 c 点再到 b 点电场力做功一定为零

高中学生与初中学生在物质观上的一个重大区别就是场物质观的建立。初中虽然也有磁场的概念, 但这个“磁场”是独立于知识体系的, 学生在解释相互作用的时候总是从实物角度出发, 如“同名磁极相互排斥, 异名磁极相互吸引”。高中在研究电场、磁场对带电粒子的相互作用和粒子在场中的能量特点时, 关注的是电场、磁场本身的特征, 开始具有场的观念。如果学生是用“导体尖端处电荷密度大”来判断 B 选项是否正确, 说明学生未能从场的视角来分析问题, 间接反映了场的观念还没有真正建立。本题要求学生不仅具有“电场”观念 (水平 3), 还要求具有“电场线垂直导体表面, 电场线与等势面垂直, 根据电场线的疏密可以确定电场的强度和导体表面电荷分布情况等”这样清晰的观念 (水平 4)。从答题情况看, 约有 10% 的学生未能达到水平 3, 约有 80% 的学生达到水平 4, 较好达到了《课标》对学生的要求。

(2021.6) 7. 质量为 m 的小明坐在秋千上摆动到最高点时的照片如图所示, 对该时刻, 下列说法正确的是

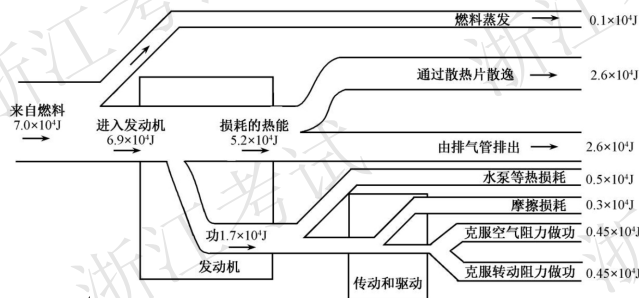


- A. 秋千对小明的作用力小于 mg
- B. 秋千对小明的作用力大于 mg
- C. 小明的速度为零, 所受合力为零
- D. 小明的加速度为零, 所受合力为零

运动与相互作用观念主要包括: (1) 运动观, 包括微观运动 (电子定向运动、分子热运动)、宏观运动 (从颗粒的布朗运动到天体运动), 振动与波动等; (2) 相互作用观, 包括基本相互作用 (强力、弱力、电磁力、引力)、常见相互作用、相互作用规律和微观与宏观作用联系观等; (3) 运动与相互作用联系观, 包括力与运动联系、运动与相互作用协同分析和相互作用时空累积效应等。本题要求学生不仅具有“运动与相互作用”观念 (水平 3), 还要求具有“结合运动模型进行受力分析等”这样清晰的观念 (水平 4)。从答题情况看, 约有 40% 的学生处于水平 3, 50% 的学生达到水平 4, 基本达到了《课标》对学生的要求。

(2021.1) 11. 一辆汽车在水平高速公路上以 80km/h 的速度匀速行驶, 其 1s 内能量分配情况如图所示。则汽车

- A. 发动机的输出功率为 70kW
- B. 每 1s 消耗的燃料最终转化成的内能是 $5.7 \times 10^4\text{J}$
- C. 每 1s 消耗的燃料最终转化成的内能是 $6.9 \times 10^4\text{J}$
- D. 每 1s 消耗的燃料最终转化成的内能是 $7.0 \times 10^4\text{J}$



能量观念主要包括能量普适观、能量种类观、能量转化观、能量量度观、能量守恒观、能量耗散观、节能环保观等。本题要求学生不仅具有“能量种类与转化”观念（水平3），还要求具有“燃料蒸发后仍然是化学能，摩擦损耗、克服空气阻力做功、克服转动阻力做功最终都转化成了热能，耗散在环境中等”这样清晰的观念（水平4）。从答题情况看，约有40%的学生达到水平3，50%的学生达到水平4，基本达到了《课标》对学生的要求。

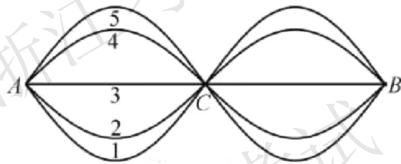
总体来看，学生在物理观念的建立方面还比较理想，相对来说，物质观念达到的水平略高于运动和相互作用观和能量观，这一方面是因为高中阶段物质观念本身的复杂程度低于运动与相互作用观和能量观，另一方面是因为参加考试的学生没有系统学习热学内容，对能量观的完整性和清晰程度造成影响。

2. 与模型建构素养相关的试题

面对纷繁复杂的现实世界，物理学家采用建立模型的方法来解释和把握真实世界的关键特征。面对实际问题，学生需要通过模型建构来转化问题，应用规律。《课标》确定的模型建构五级水平分别是：（1）能说出一些简单的模型；（2）能在熟悉的问题情境中应用常见的模型；（3）能在熟悉的问题情境中根据需要选用恰当的模型；（4）能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型；（5）能将较复杂的实际问题中的对象和过程转换成物理模型。

（2021.1）13. 两列频率、振幅均相同的简谐波Ⅰ和Ⅱ分别从绳子的两端持续相向传播，在相遇区域发生了干涉，在相距0.48m的A、B间用频闪相机连续拍摄，依次获得1、2、3、4、5五个波形，如图所示，且1和5是同一振动周期内绳上各点位移都达到最大值时拍摄的波形。已知频闪时间间隔为0.12s，下列说法正确的是

- A. 简谐波Ⅰ和Ⅱ的波长均为0.24m
- B. 简谐波Ⅰ和Ⅱ的周期均为0.48s
- C. 绳上各点均做振幅相同的简谐运动
- D. 两波源到A点和C点的路程差之差的绝对值是0.48m



本题两波干涉这一模型是题目已经告知的。学生求解的难点是依据两等幅波干涉时振动加强点和减弱点的振动特点结合题目叙述确定“A、C、B点是振动减弱点，它们之间的两个中点位置是振动加强点”，属于“能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型”（水平4）。从答题情况看，约有50%的学生达到水平4，基本达到了《课标》对学生的要求。

（2021.1）15. 为了提高松树上松果的采摘率和工作效率，工程技术人员利用松果的惯性发明了用打击杆、振动器使松果落下的两种装置，如图甲、乙所示。则

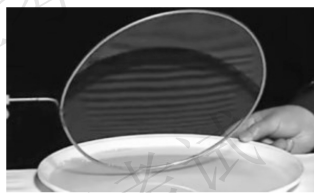
- A. 针对不同树木，落果效果最好的振动频率可能不同
- B. 随着振动器频率的增加，树干振动的幅度一定增大
- C. 打击杆对不同粗细树干打击结束后，树干的振动频率相同
- D. 稳定后，不同粗细树干的振动频率始终与振动器的振动频率相同



本题要求学生根据所学的简谐运动、受迫振动、阻尼振动模型结合题目叙述确定振动模式后联系相关知识进行求解，属于“能在熟悉的问题情境中根据需要选用恰当的模型”（水平3）。从答题情况看，约有60%的学生能选用受迫振动模型确定振动频率，基本达到了《课标》对学生的要求。

(2021.6) 16. 肥皂膜的干涉条纹如图所示, 条纹间距上面宽、下面窄。下列说法正确的是

- A. 过肥皂膜最高和最低点的截面一定不是梯形
- B. 肥皂膜上的条纹是前后表面反射光形成的干涉条纹
- C. 肥皂膜从形成到破裂, 条纹的宽度和间距不会发生变化
- D. 将肥皂膜外金属环左侧的把柄向上转动 90° , 条纹也会跟着转动 90°



本题的 A 选项要求学生建立过肥皂膜最高和最低点的梯形截面模型, 再对此模型产生的干涉条件进行分析, 属于“能将实际问题中的对象和过程转换成物理模型”(水平 4)。从答题情况看, 仅有约 20% 的学生达到这一水平, 离《课标》要求有一定差距。

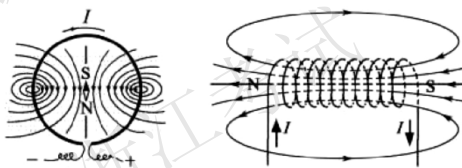
总体来看, 学生对水平 2、3 的模型建构问题(调用已经学过的模型)回答得比较好, 对不太熟悉、并不复杂的实际问题进行模型建构仍有相当困难, 这应该是复习阶段模型建构教学的重点。

3. 与科学论证素养相关的试题

师生比较熟悉的思维方式主要有基于实验的归纳思维和基于推理的演绎思维, 这是获得规律和解决问题的常用思维方式。现实中有许多不确定性问题, 例如一个犯罪嫌疑人是否真的犯罪, 或者某一不熟悉的观点是否正确, 面对这种情况, 科学论证这一思维方式将有助于问题解决。《课标》确定的科学论证五级水平分别是: (1) 能区别观点和证据; (2) 能使用简单和直接的证据表达自己的观点; (3) 能恰当使用证据表达自己的观点; (4) 能恰当使用证据证明物理结论; (5) 能考虑证据的可靠性, 合理使用证据。

(2021.1) 8. 如图所示是通有恒定电流的环形线圈和螺线管的磁感线分布图。若通电螺线管是密绕的, 下列说法正确的是

- A. 电流越大, 内部的磁场越接近匀强磁场
- B. 螺线管越长, 内部的磁场越接近匀强磁场
- C. 螺线管直径越大, 内部的磁场越接近匀强磁场
- D. 磁感线画得越密, 内部的磁场越接近匀强磁场



本题的 A 选项要求学生用“左图所画的磁感线并没有说明电流的大小”这一证据否定 A 选项的说法, 属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平 2), 从答题情况看, 约 20% 的学生还没有达到这一水平。B 选项要求学生用“左右两图磁感线形状比较”这一证据肯定 B 选项的说法, 属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平 2), 从答题情况看, 仅有约 55% 的学生达到这一水平。C 选项要求学生用“左右两图磁感线形状比较”这一证据否定 C 选项的说法, 属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平 2), 从答题情况看, 约 20% 的学生还没有达到这一水平。

(2021.6) 3. 如图所示, 在火箭发射塔周围有钢铁制成的四座高塔, 高塔的功能最有可能的是

- A. 探测发射台周围风力的大小
- B. 发射与航天器联系的电磁波
- C. 预防雷电击中待发射的火箭
- D. 测量火箭发射过程的速度和加速度

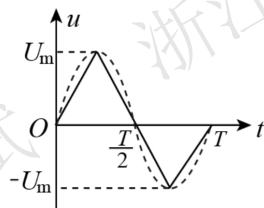


本题的 A 选项要求学生用“探测发射台周围风力的大小只要一个高塔就够了”这一证据否定 A 选项的说

法,属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平2),从答题情况看,几乎所有学生达到了这一水平。B选项要求学生用“发射与航天器联系的电磁波的高塔只需要一个,且不能处于离火箭这么近的危险区域”这一证据否定B选项的说法,属于“能恰当使用证据表达自己的观点”(水平3),从答题情况看,约30%的学生还没有达到这一水平。C选项要求学生用“火箭需要在发射塔上完成调试、加注燃料等工作,确有防雷需要,四个高塔正如房顶上的多个避雷针,可以增加安全性”这一证据证明C选项的说法,属于“能恰当使用证据表达自己的观点”(水平3),从答题情况看,约60%的学生达到这一水平。D选项要求学生用“中学测量速度和加速度不需要四座高塔”这一证据否定D选项的说法,属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平2),从答题情况看,约10%的学生还没有达到这一水平。

(2021.6) 5. 如图所示,虚线是正弦交流电的图像,实线是另一交流电的图像,它们的周期 T 和最大值 U_m 相同,则实线所对应的交流电的有效值 U 满足

- A. $U = \frac{1}{2} U_m$ B. $U = \frac{\sqrt{2}}{2} U_m$
C. $U > \frac{\sqrt{2}}{2} U_m$ D. $U < \frac{\sqrt{2}}{2} U_m$



本题的 B、C 和 D 选项可以通过科学推理判断正确与错误,也知道电压是正比例函数的平均值为 $U_m/2$ 。对于 A 选项,由于学生不能通过数学运算进行推理,可尝试用科学论证的方法。学生若用“若是恒定电流,平均值与有效值相同,现在是变化电流,有效值应不同于平均值”,属于“能使用简单和直接的证据表达自己的观点”(水平2),从答题情况看,至少10%的学生不能达到这一水平。学生若用“与电压为 $U_m/2$ 的方波进行比较,因 Q 与 U^2 成正比,实线交流电的有效值肯定大于 $U_m/2$ ”,属于“能恰当使用证据证明物理结论”(水平4),显然,采用这种方法的学生数很少。

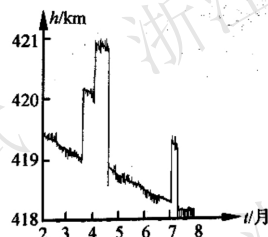
根据《课标》,水平2是学业水平考试的要求,对于参加选考的学生来说,应该没有难度。从答题情况看,达不到水平2的学生不少于20%。这提示培养学生科学论证素养的紧迫性。

4. 与质疑创新素养相关的试题

逻辑思维是从概念出发,通过分析、比较、判断、推理等形式而得出合乎逻辑的结论,创新思维则不同,它一般没有固定的程序,其思维方式大多都是直观、联想和顿悟等。逻辑思维一般是单向的思维,总是从概念、规律再到推理,最后得出结论,创新思维的思维方向则是很多的,结果也是多样性的。《课标》确定的质疑创新五级水平分别是:(1)知道质疑和创新的重要性;(2)有质疑和创新的意识;(3)能对已有观点提出质疑,从不同角度思考物理问题;(4)能对已有结论提出有依据的质疑,采用不同方式分析解决物理问题;(5)能从多个视角审视检验结论,解决物理问题具有一定的新颖性。

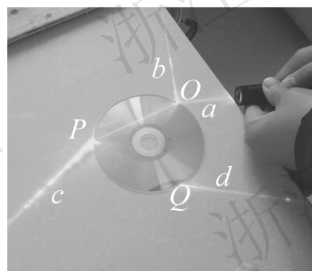
(2021.6) 10. 空间站在地球外层的稀薄大气中绕行,因气体阻力的影响,轨道高度会发生变化。空间站安装有发动机,可对轨道进行修正。图中给出了国际空间站在 2020.02 - 2020.08 期间离地高度随时间变化的曲线,则空间站

- A. 绕地运行速度约为 2.0km/s
B. 绕地运行速度约为 8.0km/s
C. 在 4 月份绕行的任意两小时内机械能可视为守恒
D. 在 5 月份绕行的任意两小时内机械能可视为守恒



本题用科学推理可以排除 A、B 选项。按照常规思维，题目中“空间站在地球外层的稀薄大气中绕行，因气体阻力的影响，轨道高度会发生变化”提示“机械能不能视为守恒”。如果这样，本题就没有正确答案了！按照质疑创新思维：是否还有自己没看到、没想到的？仔细观察图线，4 月份高度变化的原因除了气体阻力的影响，还有其他可能（发动机工作），5 月份高度变化的原因只有气体阻力的影响。仔细观察选项的表述，为什么有“任意两小时”？“任意两小时”的高度变化是一个月高度变化的 $1/360$ 。于是产生顿悟：机械能对于长时间（30 天）来说是不守恒的，但对于短时间（2 小时）应视为守恒，故选项 D 正确。上述学生的思维属于“能对已有结论提出有依据的质疑，采用不同方式分析解决物理问题”（水平 4）。从答题情况看，如果排除“猜”的学生，只有约 10% 的学生达到了这一水平。

(2021.6) 12. 用激光笔照射透明塑料制成的光盘边缘时观察到的现象如图所示。入射点 O 和两出射点 P 、 Q 恰好位于光盘边缘等间隔的三点处，空气中的四条细光束分别为入射光束 a 、反射光束 b 、出射光束 c 和 d 。已知光束 a 和 b 间的夹角为 90° ，则



- A. 光盘材料的折射率 $n = 2$
- B. 光在光盘内的速度为真空中光速的三分之二
- C. 光束 b 、 c 和 d 的强度之和等于光束 a 的强度
- D. 光束 c 的强度小于 O 点处折射光束 OP 的强度

本题通过科学推理可以排除 A、B 选项。按照常规思维，根据能量守恒，C 选项应该正确，考虑到光束 OP 在 P 点既有折射又有反射，D 选项也应该正确。如果这样，本题就有两个正确答案了！按照质疑创新思维：是否还有自己没看到、没想到的？仔细观察图，发现光盘内部有两条亮线，于是产生顿悟：部分能量通过散射从光盘出来了，故只有选项 D 正确。上述学生的思维属于“能对已有结论提出有依据的质疑，采用不同方式分析解决物理问题”（水平 4）。从答题情况看，只有约 10% 的学生达到了这一水平。

水平 4 是选考的要求，但根据答题情况，达到这一水平的学生占比很少。这就迫切要求教师平时能够重视质疑创新素养的培养。

二、教学建议

1. 物理观念的教学

概念和规律是形成观念的基石，关于物理观念的建构，首先要在新授课阶段重视物理概念和规律的教学，同时要有整合、提升物理概念和规律的意识，并在整合和应用物理概念和规律的基础上提炼物理观点，在综合复习时，通过结构化的知识整合和结构化的例题示范，生成系列化的观点，再形成系统化的观念，如框图所示。



2. 模型建构的教学

现在教学中联系实际题目越来越多，很多教师也会给学生讲解如何先对实际问题进行模型建构，转

化为物理问题后再用规律求解。学生的答题告诉我们：学生比较适应求解 2、3 水平的模型建构题目，说明立足于教师讲解的模型建构教学效果并不理想。因为学生听懂了教师讲解的内容，其实只是“理解”，而不是“建构”。模型建构究竟要做什么事？怎样有序地做？做的时候应该注意什么问题？不同的模型建构需要关注的关键点有什么区别？某一因素什么时候不用考虑，什么时候又必须考虑？等等。只有在新课和复习教学中让学生自己建构模型，让小组成员比较模型差异，让师生评价模型与事实的吻合性等，学生才会在建构中提升模型建构的素养水平。

3. 科学论证的教学

学生面对需要采用科学论证才能解决的问题，若还是试图用科学推理进行求解，就会出现错误。究其原因与高考“指挥棒”有关。若将《考试大纲》中的五种能力——理解能力、推理能力、分析综合能力、应用数学处理物理问题的能力和实验与探究能力，与《课标》中的核心素养——物理观念、科学思维、科学探究、科学态度与责任进行比较，可以发现科学论证和质疑创新素养是《考试大纲》所缺少的。

科学论证可以有多个路径、多种方法，无论是书本知识还是生活经历，都可以成为科学论证的证据。教师要引导学生“读万卷书，行万里路”，既重视理论知识，也观察生活现象和动手实践。科学论证思维习惯的养成需要经历认识、运用和进一步深化认识、通过训练达到熟练运用这样一个过程。新授课阶段的学习是第一阶段，实验方案和有关还没有定论的实际问题是科学论证的素材，到了复习阶段教师应通过专题进一步总结科学论证问题情境的特征、论点的表述方式、论据的来源、推理的多种方式，使学生深化认识，并结合对应的题目进行练习，提高熟练程度。

4. 质疑创新的教学

创新思维的方向、程序、路径不确定虽然给教学带来一定的困惑，但我们可以从质疑创新所需要的基础来思考培养路径和策略。质疑与创新意识通常是在实际问题解决过程中培养起来的。基于真实问题的解决经历让人意识到真实的问题关联众多因素，受到多个物理规律的制约。面对任何真实情境的问题，经常会碰到考虑不周导致错误（或与真实不符）的情况。一个人基于多次这样经历的积累，就会对一些观点、结论提出质疑：“是真的吗？”“一定是这样吗？”“是否还有没看到、没想到的”“是否还有没考虑到的因素和可能”。实验和生活经历、事实性知识（包括观念）和方法是质疑创新的基础，根据目前中国教学的实际，学生知识学习比较扎实，需要引起重视和关注的是实验和生活经历，特别是能够引发质疑创新思维的实验和生活经历。