



科学创新视野下科学推理 核心素养培养策略探索*

黄国龙

(宁波市镇海中学 浙江 宁波 315200)

(收稿日期:2020-04-01)

摘要:就科学创新视野下如何培养科学推理核心素养进行了探索.首先,分析阐述了科学创新视野下科学推理特点及作用;其次,结合物理教学实际确定创新视野下科学推理核心素养培养内容;最后,结合教学实例对科学推理核心素养培养的途径策略进行探索.

关键词:科学创新 科学推理 科学推理核心素养

1 科学创新视野下科学推理特点和作用

科学创新需要通过对现象的分析来发现和提出问题、形成假设,并且设计实验(或运用理论)验证(或论证)假说,然后得出结论并应用规律,最后建立理论体系等^[1].科学创新活动需要依靠科学推理,推理是科学思维的一种基本形式,指的是由一个或几个已知的判断(前提)推出新判断(结论)的方法及过程.从逻辑角度分析,科学推理主要包括归纳推理、演绎推理和类比推理3种方式.在物理学探究过程中,物理学家运用科学推理来实施物理创新活动,取得了很多重大的创新成果.

1.1 运用科学推理发现和提出科学问题

发现和提出问题是科学探究开端,物理学家常运用演绎推理导致悖论来揭示原有物理理论隐含的矛盾,从而发现和提出探究问题.例如,普朗克运用特殊化推理(频率无限大)导出原有黑体辐射能量分布趋于无限大(与实验矛盾),揭示了原有经典理论隐含矛盾.

1.2 运用科学推理提出科学猜想

科学猜想是一种理性思维过程,物理学家运用

科学推理来提出科学猜想.例如,卢瑟福运用类比推理提出原子核式结构猜想.麦克斯韦根据变化磁场在导体中产生感生电场,进行一般化推理,提出变化磁场在空间产生感生电场的猜想.

1.3 运用科学推理验证(论证)科学猜想

物理学家运用归纳推理来处理实验数据,验证科学猜想得出物理规律,运用演绎推理论证科学猜想,揭示物理理论间自洽联系.例如,开普勒在对第谷观察行星运动半径和周期相关数据的基础上,尝试运用归纳推理方法得出行星运动的第三定律.牛顿综合运用数学知识和牛顿运动定律、开普勒三大定律进行演绎推理论证行星做椭圆运动一般情形下引力平方反比猜想.

1.4 综合多种科学推理 探究物理规律 建立理论体系

伽利略在研究落体运动时,先运用一般化推理探究得出斜面上物体匀变速规律,再运用特殊化推理,回归揭示自由落体运动规律.麦克斯韦在电磁学实验规律基础上,推广提出变化磁场产生感生电场,创新提出位移电流概念,借助类比、演绎推理建立4个电磁场方程组,建立电磁理论体系.

* 浙江省2018年教育规划立项研究课题“指向核心素养培养的物理多元开放教学方式探索”研究阶段性成果,课题编号:2018SC090
作者简介:黄国龙(1964-),男,正高级教师,研究方向为中学物理创新教学、物理教学模式、物理课程建设等.

2 培养要求和内容分析

2.1 培养要求

从物理核心素养角度审视,科学推理是物理科学思维核心素养一重要组成部分^[2],鉴于科学推理在科学创新活动中重要作用,现行物理教学中缺乏科学创新高阶科学推理核心素养的研究与实践.因而,很有必要探索科学创新视野下科学推理核心素养培养的途径和策略.

学生学习物理过程和物理学家科学创新过程虽然在探究目标上、探究难度上是不同的,但认识过程

和思维方式具有相似性.因而,可根据科学创新过程中科学推理的特点和作用,分析确定科学创新视野下物理教学中科学推理核心素养具体内容,引导学生运用科学推理来实施物理创新活动,从而深度培养学生科学推理核心素养.

2.2 内容分析

鉴于对科学推理核心素养的上述分析思考,笔者针对表1中3种科学推理特点,分析给出基于科学创新要求的科学推理核心素养具体内容,为科学创新视野下科学推理核心素养的培养明确了目标和方向.

表1 3种科学推理特点

科学推理	特点	科学推理核心素养内容
归纳推理	是由特殊、个别的判断推出一般、普遍判断的思维方式	(1) 领会和运用一般化推理提出科学猜想;(2) 领会和运用归纳推理验证猜想得出规律;(3) 能运用归纳推理结合线性化方法(比值归纳和图线拟合)得出物理规律;(4) 能运用归纳推理写出相关物理量一般表达式,解答周期性、重复性、相似性问题
演绎推理	是由一般、普遍的判断推出特殊、个别判断的思维方式	(1) 领会运用特殊化、反证推理发现问题;(2) 能运用特殊化、反证推理揭示具体物理问题隐含矛盾;(3) 领会运用演绎推理提出猜想,作出预言判断;(4) 能运用物理规律借助数学工具进行演绎推理解答物理问题;(5) 运用外推(特殊化)推理处理实验数据,间接测量极限情形下物理量
类比推理	是从某个特殊、个别(类)判断推出特殊、个别结论的一种思维方式.	(1) 领会运用类比推理提出科学问题;(2) 领会运用类比推理提出科学猜想;(3) 能在教师启发下运用类比推理提出问题;(4) 能在教师启发下运用类比推理提出猜想;(5) 能运用类比推理解答具体复杂、陌生物理问题

3 途径策略探索

3.1 在物理知识教学中培养科学推理核心素养

(1) 创设猜想教学情境,运用类比推理提出猜想
物理教材中包含了较多运用类比推理提出科学猜想的教学内容,在新知识教学中应充分挖掘和利用这些课程资源,引导学生运用类比推理提出新的猜想,从而明确探究方向,揭示新旧知识联系.

教学案例1——运用类比推理提出电磁振荡周期猜想.

探究问题:LC电磁振荡周期与哪些因素有关?定量关系如何?

定性猜想:引导学生运用原有知识提出周期 T 与自感 L 和电容 C 定性关系猜想, L 和 C 越大, T 越大.

类比猜想:弹簧振子与LC振荡电路类比如表2所示.

1) 向学生展示弹簧振子振动过程和LC电磁振荡过程相似情景;

2) 引导学生理解“力学惯性”和自感中“电学惯性”的相似性,揭示两种惯性表现物理量(速度和电流)和大小量度物理量(质量 m 和自感 L)相似性,揭示动能和磁场能的相似性;

3) 根据已知相似物理量,运用类比推理得出 q 与 x 相似性, $\frac{1}{C}$ 与 κ 的相似性;

4) 最后再引导学生对两种振动模型的周期进行类比推理,根据振动相关量相似性提出LC振荡电路周期猜想

$$T = 2\pi\sqrt{LC}$$

通过表2中类比推理,不仅揭示两种模型中相关知识和物理过程联系,还有效地培养了学生类比推理核心素养.

表2 类比推理

研究模型	已知相似物理量			类比推理 1		类比推理 2
弹簧振子	振子速度 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	振子质量 m	振子动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$	振动位移 x	弹性势能 $E_p = \frac{1}{2}\kappa x^2, \kappa$	振子振动周期 $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\kappa}}$
↓	力电惯性表现	力电惯性量度	动能和磁场能	由 x 推得相似量 q	由 E_p, κ 推得相似量 $E_C, \frac{1}{C}$	由 m 和 L 相似, κ 和 $\frac{1}{C}$ 相似, 推得 T_2 和 T_1 的相似
LC 振荡电路	电流 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$	自感系数 L	磁场能 $E_B = \frac{1}{2}LI^2$	电容带电荷量 q	电容器电场能 $E_C = \frac{q^2}{2C}, \frac{1}{C}$	LC 振荡周期 $T_2 = 2\pi\sqrt{LC}$

(2) 构建论证猜想物理情境, 运用演绎推理论证猜想

新知识教学中, 在构建论证猜想的物理情境基础上, 引导学生运用已有物理理论结合演绎推理来论证猜想, 推出新的物理规律, 揭示新旧物理规律间联系, 有效培养学生科学推理核心素养

教学案例 2——运用演绎推理论证“机械能守恒猜想”。

高中物理必修 2 教材中在展示了小球动能和重力势能相互转化特点基础上, 提出: “小球动能和势能相互转化是否守恒?” 问题. 针对学生提出“动能和势能总量保持不变”这一猜想, 可以构建自由落体运动、光滑斜面、光滑曲面(教材中)等物理情景, 引导学生运用动能定理和演绎推理来论证机械能守恒猜想. 为了论证更一般情形下机械能守恒, 揭示机械能守恒的条件, 深度培养学生演绎推理核心素养, 再构建如下物理情景引导学生论证机械能守恒猜想.

拓展论证 1: 论证动能、重力势能、弹性势能转化情形下机械能守恒猜想.

【构建论证情境 1】 如图 1 所示, 质量为 m 小球悬挂于劲度系数为 k 的轻质弹簧下端, 空气阻力不计. 在弹力和重力作用下振动.

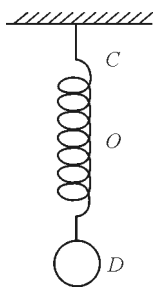


图1 构建论证情境 1

【演绎推理, 论证猜想】 运用功能关系和动能定理进行演绎推理: 小球在某一过程中动能增量满足

$$W_{\text{合}} = W_G + W_{\text{弹}} = \Delta E_k$$

结合

$$W_G = -\Delta E_G$$

$$W_{\text{弹}} = -\Delta E_{\text{弹}}$$

得

$$-\Delta E_G - \Delta E_{\text{弹}} = \Delta E_k$$

即

$$\Delta E_{\text{机}} = \Delta E_G + \Delta E_{\text{弹}} + \Delta E_k = 0$$

即小球与弹簧组成系统机械能守恒.

拓展论证 2: 揭示机械能守恒的条件.

【构建论证情景 2】 质量为 m 小球在倾角为 θ 斜面上由静止沿斜面向下运动, 受到阻力恒为 f .

【演绎推理, 揭示守恒条件】 运用动能定理等知识进行演绎推理: 物体向下运动 s 过程中动能增量为

$$W_{\text{合}} = \Delta E_k = (mg \sin \theta - f)s$$

重力势能增量为

$$\Delta E_p = -mgs \sin \theta$$

$$\Delta E_{\text{机}} = \Delta E_k + \Delta E_p = -fs$$

物体下滑过程中机械能减小, 不守恒. 综合正面论证和反面证伪, 提出一般情形机械能守恒定律, 揭示适用的条件, 不仅加深了对机械能守恒定律认识, 而且有效地培养学生演绎推理核心素养.

3.2 在物理实验教学中培养科学推理核心素养

科学推理在设计物理实验、处理实验数据得出规律、间接测量极端条件物理量等环节中起着十分重要的作用, 物理实验教学是培养科学推理核心素养重要领域. 要精选物理实验课程资源, 加强在物理实验各环节中进行科学推理策略的教学, 通过运用多种科学推理来解决实验问题, 有效培养科学推理核心素养.

(1) 运用特殊化推理处理实验数据, 间接求解特殊物理量

当某两个物理量间存在线性关系时, 可以通过测量常规条件下实验数据作出线性图线, 进行特殊化推理, 间接测量某些较难测量的物理量.

教学案例 3——运用特殊化推理处理“探究加速度与外力关系”实验数据.

【实验问题 1】如图 2 所示, 水平木板与小车间动摩擦系数较小, 以质量为 M 的小车为研究对象, 探究小车加速度 a 与重物重力 $F = mg$ 关系. 测量实验数据如表 3 所示.

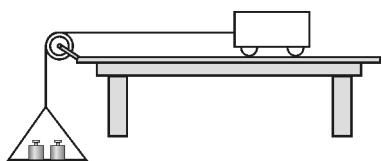


图 2 实验问题 1 情境图

表 3 F 与 a 的实验装置

序号	F/N	$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$
1	0.25	0.30
2	0.35	0.51
3	0.45	0.71
4	0.55	0.91
5	0.65	1.11

请作出 $a-F$ 图线, 由 $a-F$ 图线求出小车受到的阻力.

【特殊化推理, 求解特殊物理量】教师运用 Excel 软件作出如图 3 所示 $a-F$ 图线, 并把图线进行外推, 与 F 轴相交, 图线在 F 轴的截距就是小车受到阻力, 即 $f \approx 0.10 \text{ N}$.

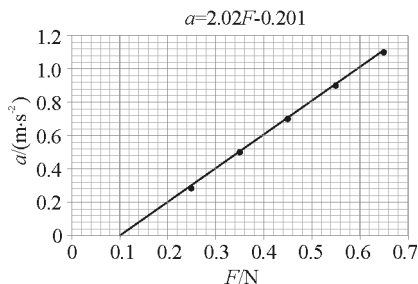


图 3 $a-F$ 图像

律

归纳推理结合线性化方法是处理物理实验数据验证(或证伪)猜想的有效方法, 通过归纳推理不仅加深对物理规律的认识, 而且有效地培养学生归纳推理核心素养. 运用归纳推理处理实验数据常用的方式有线性化比值归纳法和线性化图像拟合法.

教学案例 4——运用归纳推理处理“探究加速度与外力关系”实验数据, 得出 a 与 F 定量关系.

【实验问题 2】请处理实验问题 1 中数据, 得出加速度 a 与合力 F 定量关系.

【归纳推理, 得出规律】通过图线外推间接测量小车受到阻力后, 修正小车 5 次受到合力分别为 F_0 与相对应加速度 a 如表 4 所示. 引导学生分别运用如下 2 种归纳推理处理数据得出 a 与 F_0 关系.

表 4 修正后的 F_0 与 a

序号	F_0/N	$a/(\text{m} \cdot \text{s}^{-2})$	$\frac{F_0}{a}/\text{kg}$
1	0.15	0.30	0.50
2	0.25	0.51	0.49
3	0.35	0.71	0.49
4	0.45	0.91	0.50
5	0.55	1.12	0.49

比值归纳法. 求出每组实验 $\frac{F_0}{a}$ 值, 如表 4 所示.

由此可知, $\frac{F_0}{a} \approx 0.49$, 得出 a 与 F_0 成正比.

图像归纳拟合法. 教师引导学生运用 Excel 软件作出如图 4 所示 $a-F_0$ 图线, 得出拟合关系式为 $a = 2.03F_0$, 得出加速度与合力成正比.

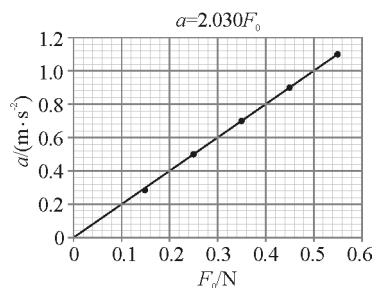


图 4 $a-F_0$ 图像

3.3 在习题教学中培养科学推理核心素养

在物理习题教学中, 精选和创设包含多种科学

推理的物理问题,引导学生综合运用归纳和演绎、归纳和类比、演绎和类比以及不同数学工具组合等进行推理来创新解答复杂、疑难物理问题,简化解题过程,深度培养高阶科学推理核心素养。

教学案例 5——组合归纳推理和演绎推理严密完整解答物理问题。

【物理问题】如图 5 所示,材料表面上方矩形区域 $PP'N'N$ 充满竖直向下的匀强电场,宽为 d ;矩形区域 $NN'M'M$ 充满垂直纸面向里的匀强磁场,磁感应强度为 B ,长为 $3s$,宽为 s ; NN' 为磁场与电场之间的薄隔离层。一个电荷量为 e ,质量为 m ,初速为零的电子,从 P 点开始被电场加速经隔离层垂直进入磁场,电子每次穿越隔离层,运动方向不变,其动能损失是每次穿越前动能的 10%,不计电子所受重力。 A 是 $M'N'$ 的中点,若要使电子在 A 和 M' 间垂直于 $A M'$ 飞出,求电子在磁场区域中运动的时间。

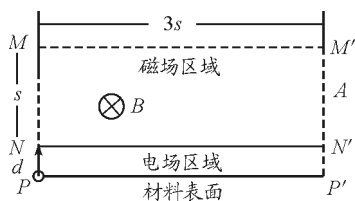


图 5 教学案例 5 物理问题情境图

【分析】解答这个问题时,首先需要运用归纳推理求出电子在磁场中运动半径一般通项,然后运用演绎推理求解在磁场中运动位移,再运用不等式演绎推理求出整数 n 。有些学生缺乏归纳推理未能写出半径通项,有些学生缺乏不等式演绎推理未能揭示整数 n 的具体取值,导致解题失败或错误。

【归纳推理】电子第 1 次进入磁场时运动半径满足

$$Eedk = \frac{1}{2}mv_1^2 (k=0.9) \quad (1)$$

$$r_1 = \frac{mv_1}{eB} = \sqrt{\frac{2mkdE}{eB^2}} \quad (2)$$

第 2 次运动半径满足

$$Eedk^3 = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (3)$$

$$r_2 = \frac{mv_2}{eB} = \sqrt{\frac{2mk^3dE}{eB^2}} \quad (4)$$

第 n 次运动半径满足

$$Eedk^{2n-1} = \frac{1}{2}mv_n^2 \quad (5)$$

$$r_n = \sqrt{\frac{2mkdE}{eB^2}} k^{(n-1)} = r_1 k^{(n-1)} \quad (6)$$

令电子第 n 次经四分之一圆周垂直打到 $M'N'$ 上,水平方向总位移为 x 满足

$$x = 2r_1 + 2r_2 + \dots + 2r_{n-1} + r_n = 2r_1 [1 + k + k^2 + \dots + k^{(n-2)}] + r_1 k^{(n-1)} \quad (7)$$

【演绎推理】

推理 1: 对式(7)运用等比数列求和得

$$x = 2r_1 \left[\frac{1 - k^{(n-1)}}{1 - k} \right] + r_1 k^{(n-1)} = 3s \quad (8)$$

推理 2: 要使电子在 A 与 M' 间垂直飞出,要求

$$\frac{s}{2} < r_n < s \quad (9)$$

由式(6)、(8)化简得

$$[20 - 19k^{n-1}]r_1 = 3s \quad (10)$$

由式(6)、(8)、(9)推得

$$\frac{4}{5} < k^{n-1} < \frac{10}{11} \quad (11)$$

解得 $n = 2, 3$ 。

推理 3: 要求满足

$$r_1 = \frac{3s}{20 - 19k^{n-1}} \leq s \quad (12)$$

解得 $n = 3$ 。

推理 4: 运动时间满足

$$t = 2 \times \frac{T}{2} + \frac{T}{4} \quad (13)$$

$$T = 2\pi \frac{m}{eB} \quad (14)$$

解得

$$t = \frac{5\pi m}{2eB}$$

通过上述 1 次归纳推理和 4 次演绎推理,不仅正确、完整、严密地解答这个复杂疑难问题,而且深度培养学生综合运用归纳和演绎推理解答物理问题的核心素养。

参考文献

- 1 周建武. 科学推理: 逻辑与科学思维方法. 北京: 化学工业出版社, 2017
- 2 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017版). 北京: 人民教育出版社, 2017