

浅谈科学探究能力的测量与培养*

马云梦 徐金保

(北京市广渠门中学 北京 100062)

(收稿日期:2020-07-24)

摘要:中国学生物理学科核心素养发展中包含科学探究素养.科学探究主要包括问题、证据、解释、交流4个科学探究要素,是学生通过学科学习而逐步形成的关键能力.在本文中笔者以2019年高考北京理综第23题为例,从“科学探究四要素”角度浅谈物理学科核心素养中的科学探究这一关键能力是如何培养与测量的.

关键词:核心素养 科学探究四要素 普通高中物理课程标准

《普通高中物理课程标准(2017年版)》指出:“科学探究”是指基于观察和实验提出物理问题、形成猜想和假设、设计实验与制定方案、获取和处理信息、基于证据得出结论并做出解释,以及对科学探究过程和结果进行交流、评估、反思的能力.“科学探究”主要包括“问题”“证据”“解释”“交流”4个要素^[1].

对于“科学探究”《课程标准》明确指出:通过高中物理课程的学习,学生具有科学探究意识,能在观察和实验中发现、提出合理的猜想与假设,具有设计探究方案和获取证据方案,使用不同方法和手段分析、处理信息,描述并解释探究结果和变化趋势;具有交流的意愿与能力,能准确表述、评估和反思探究过程与证据的能力,能正确实施探究过程与结果.由此可见,科学探究是物理学科核心素养之一,是学生通过学科学习而逐步形成的关键能力.

1 问题的提出 如何测量“科学探究”能力

1.1 一道测量“科学探究”素养的高考题

2019年高考北京理综物理试题第23题,以课本“做一做:用传感器观察电容器的充电和放电”为背景,侧重考查了学生的“科学探究”能力.

【例题】(2019年高考北京理综卷第23题)电容器作为储能器件,在生产生活中有广泛的应用.对给定电容值为 C 的电容器充电,无论采用何种充电方式,其两极间的电势差 u 随电荷量 q 的变化图像都相同.

(1)请在图1中画出上述 $u-q$ 图像.类比直线运动中由 $v-t$ 图像求位移的方法,求两极间电压为 U 时电容器所储存的电能 E_p .



图1 $u-q$ 坐标轴

(2)在如图2所示的充电电路中, R 表示电阻, E 表示电源(忽略内阻).通过改变电路中元件的参数对同一电容器进行两次充电,对应的 $q-t$ 曲线如图3中①、②所示.

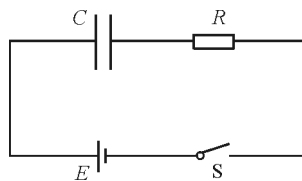


图2 充电电路

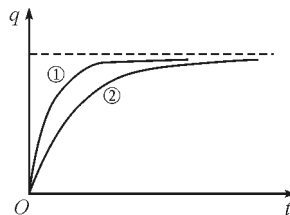


图3 $q-t$ 曲线

* 北京市物理学会课题“基于问题解决的科学探究教学实践研究”的研究成果,项目编号:WLXH202069

a. ①、②两条曲线不同是_____ (选填E或R)的改变造成的;

b. 电容器有时需要快速充电,有时需要均匀充电.依据a中的结论,说明实现这两种充电方式的途径.

(3) 设想使用理想的“恒流源”替换(2)中的电源对电容器充电,可实现电容器电荷量随时间均匀增加的目的.请思考使用“恒流源”和(2)中电源对电容器的充电过程,填写表1(选填“增大”“减小”或“不变”).

表1 对比实验现象

物理量	“恒流源”	(2)中电源
电源两端电压		
通过电源的电流		

1.2 从“四要素”出发观察“科学探究”能力的测量
科学探究主要有4个要素组成,即“问题”“证据”“解释”“交流”.

文献[2]采用构成要素频次统计的方法,对美国、加拿大等国家的科学课程文件中科学探究能力进行分析,归纳出科学探究能力的构成体系.表2是笔者对科学探究能力构成体系重组.

表2 科学探究能力的构成体系

要素	分解内容	要求
“问题”要素	构建问题	问题明确,可以通过经验或科学手段回答的,有探究意义,问题可拆解,可以指向具体研究对象
	构建假设	可验证
	建立简单模型	可以陈述现象,可以预测
“证据”要素	确定研究方法	定性或定量
	鉴别各种变量(自变量、因变量、控制变量)	
	确定探究的方法	选取合适的实验材料和工具收集数据
	显示数据	利用各种表格图片及其他思维辅助工具显示数据
“解释”要素	得出结论	分析、推理证据的规律,通过归纳、演绎得出结论
	确立因果关系	根据证据和逻辑推理
	使用数学关系解释变量关系,构造模型表征关系	
“交流”要素	结论和观点的检验、评估所使用方法、报告等	

2 从四要素角度观察对“科学探究”核心素养的测量

四要素的角度对2019年高考北京理综卷第23题进行分析,分析结果如表3所示.

下面从“问题”“证据”“解释”“交流”科学探究

表3 科学探究四要素角度的试题分析

要素	问题	证据	解释	交流
要素关键词	明确的、可回答的、有探究意义的	方法、变量、实验步骤、收集数据、描述数据	规律、结论、因果关系、变量关系、表征关系	评价、批判性地思考、论证、报告、交流科学结论和论点、辩护、反应
题中部分	第(2)问题干	第(2)a问	第(2)b问	第(3)问
内容	电容器充电快慢	从题中获取、处理信息,判断电阻是影响充电过程的一个因素	基于欧姆定律对影响充电过程的因素做出解释	对电容器充电过程和判断进行进一步评估、反思

2.1 有价值的“科学探究”的问题是基于真实的观察和实验

本题完全源自课本,课本这样描述:“先使开关S与1端相连,电源向电容器充电,这个过程可在瞬间完成.然后把开关S掷向2端,电容器通过电阻R放电,传感器将电流信息传入计算机,屏幕上显示出电流随时间变化的*i-t*曲线。”善于观察的学生,很快发现问题:充电“瞬间完成”,放电时间大于6s,同一个电容器的充电、放电过程时间为什么有这么大

表4 实验参数

实验装置	电源	电容器	电阻	其他
主要参数	信号发生器和学生电源	$C = 300 \mu\text{F}$	$0 \sim 99999 \Omega$ 电阻箱	Vernier 主机及电压传感器

提出的主要问题有:(1)电容器的充电过程如何观察?(2)电容器的充电时间跟哪些因素有关?

2.2 坚持以学生为主体的“证据”形成过程

RC电路中,电容器上的电压不会瞬间跃变,当供电电压从零跃变到*E*,或由*E*跃变到零时,电容器两端电压、电路中电流开始发生变化到逐渐趋于稳定,可以视为暂态过程.暂态过程延续一定时间,变化不快,可以看成是准恒的,因此欧姆定律可以继续适用.

学生对于部分电路欧姆定律已经很熟悉,对于含有电容器的电路比较陌生.学生对于充电过程通过电阻的电流变化情况,可以提出合理的猜想和假设.把探究方案交给学生去思考、去设计.而不是简单演示给学生看,把学生当成观众,甚至把学生的注意力引导到传感器的“酷炫”上,或者单纯从传统应试角度出发,把主要精力放在*i-t*图像处理上.

“科学探究”过程中,学生是主体,教学中要重视以学生为主体的“证据”形成过程.图2中通过电阻的电流 $i = \frac{E - u_C}{r + R}$. 充电过程:因 E, R, r 恒定, u_C 增大,所以 i 减小;充电结束: $i = 0, U_C = E$.

对于(2)a问,基于欧姆定律,考查学生能否恰当收集相关信息,对“问题”进行假设、分析,再进一步寻找“证据”.

2.3 科学探究的解释要基于“证据”要体现物理主干规律和方法的应用

试题(2)b问“依据a中的结论,说明实现这两种充电方式的途径”,考查基于证据的相关问题解释.

的差别?有没有什么因素影响充电时间?其实还有一个问题,如何观察充、放电过程? $q-t$ 变化过程不能直接观察,需要转化.电容器所带电荷量的变化情况可以用电容器两端电压的变化表示.课本采用*i-t*来表示电容器充电过程是一个很值得去探究的问题.基于真实的电容器充、放电实验,还可以生成一些物理意义明确的、中学生可以回答的、有探究意义的问题.笔者对课本实验做了进一步实验探究补充.

由欧姆定律可知

$$\frac{q}{C} + iR = E \quad i = \frac{dq}{dt}$$

$$R \frac{dq}{dt} + \frac{1}{C}q = E$$

该式是电荷量*q*一阶常系数微分方程,结合初始条件,得到充电时

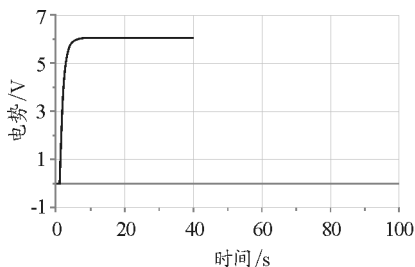
$$q = CE e^{-\frac{t}{RC}} = RC \ln\left(\frac{E}{E - U_t}\right)$$

若 $U_t = 0.63E$,此时充电时间 $t = RC$;若 $U_t = 0.95E$ 此时充电时间 $t = 3RC$;若 $U_t = 0.99E$,此时充电时间 $t = 5RC$.令 $\tau = RC$,若 $R = 1 \text{ k}\Omega, C = 1 \mu\text{F}$,则 $\tau = 1 \text{ ms}$,在电容器不太大的情况下,教材中描述“充电过程瞬间就完成”是可以的.取 $\Delta t \rightarrow 0$,则

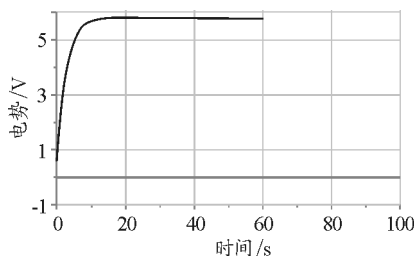
$$\Delta t = \frac{\Delta q}{i} \quad t = \sum \Delta t = \sum \frac{\Delta q}{i}$$

可见在电源电动势*E*一定(即电容器充电结束后电荷量一定)的情况下,电阻*R*越大,充电电流*i*越小,充电时间*t*越长.

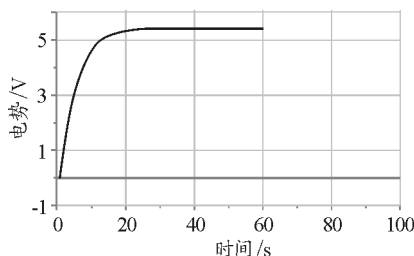
图4是不同电阻的充电实验数据.电容器储存的电荷量 $q = uC$,实验中用 $u-t$ 图像替代 $q-t$ 图像.



(a)干电池6 V-333 Ω -100s



(b)干电池6V-1000 Ω-100s



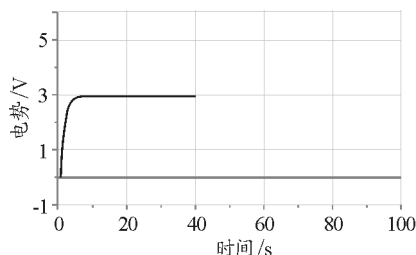
(c)干电池6V-2000 Ω-100s

图4 不同电阻对应的 $u-t$ 图像

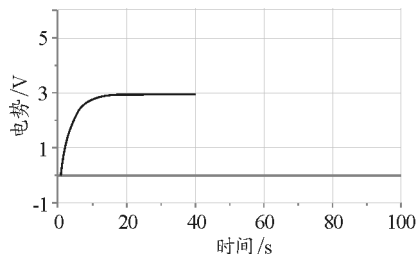
2.4 科学探究的“交流”要以新生成信息输出为特征

考虑到干电池的标准电压与其工作电压之间存在较大差异,电池本身的性能与其内阻也会对实验结果造成一定影响,故本次实验分别采用了KORAD KD 3003D 信号发生器作为恒压源,它可以更准确地控制该电路的工作电压.恒压输出3V或6V, $R=2000\Omega$, $R=1000\Omega$, $R=333\Omega$, $C=3\times 10^{-3}\text{F}$ 的电容器充电过程中电容两端电压随时

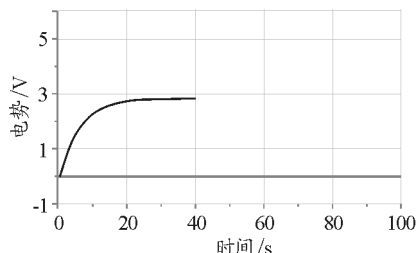
间的变化规律如图5所示.



(a)信号发生器3V-333 Ω-100s



(b)信号发生器3V-1000 Ω-100s



(c)信号发生器3V-2000 Ω-100s

图5 信号发生器代替干电池后的 $u-t$ 图像

以信号发生器3V-100s采样数据为例,计算过程Logger pro计算数据如图6所示.

试验1					试验1				试验1				最新2
时间(秒)	电势(V)	时移导数	1-2V	标准差	时间(秒)	电势(V)	计算栏	栏	计算栏2	时间(秒)	电势(V)	1-2V	1-2V
0.0	0.000		3.05250305	0.053	0.0	0.000		1.8468	0.362	0.0	0.000	-0.5342	0.089
0.1	0.000	0.000	3.05250305		0.1	-0.009	-0.015	1.7705		0.1	0.003	-0.5037	
0.2	0.000	0.000	2.44200244		0.2	-0.003	0.031	1.6789		0.2	0.000	-0.5189	
0.3	0.000	0.000	2.44200244		0.3	-0.003	-0.015	1.5263		0.3	0.000	-0.4884	
0.4	0.000	0.000	3.20512821		0.4	-0.006	0.015	1.3736		0.4	0.000	-0.4731	
0.5	0.000	0.000	0.28998779		0.5	0.000	0.031	1.2668		0.5	-0.007	-0.4731	
0.6	0.000	0.153	2.74725275		0.6	0.000	0.717	1.1905		0.6	0.000	-0.4426	
0.7	0.031	0.397	2.44200244		0.7	0.143	1.816	1.0836		0.7	-0.010	-0.4274	
0.8	0.079	0.458	2.44200244		0.8	0.363	2.045	0.9768		0.8	0.061	-0.4121	
0.9	0.122	0.443	3.20512821		0.9	0.552	1.893	0.8852		0.9	0.152	-0.3968	
1.0	0.168	0.443	2.74725275		1.0	0.742	1.847	0.7937		1.0	0.238	-0.3968	
1.1	0.211	0.427	2.44200244							1.1	0.317	-0.4426	
1.2	0.253	0.427	2.13675214							1.2	0.406	-0.3663	
1.3	0.296	0.427	2.259462759							1.3	0.485	-0.3053	

图6 Logger pro计算数据

利用logger pro软件得到图像后,对电势(V)随时间(t)变化的实验数据进行分析,具体分析方法为:取电势(V)对时间(t)的一阶时移导数在计算栏中,根据 $Q=CU$, $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$,得到各个采样时间间隔(传感器设定为0.1s)内的平均电流(I),得到新的计算栏.考虑到采集过程中始末时刻电流变化的瞬时性,为减少本实验的系统误差,保证实验数据的有效性,

选择每次电容器充电过程,过渡反应时间在 $0.5\tau \sim \tau$ 之间的平均电流,利用软件对其求标准偏差 σ 以表征电流(I)的离散程度.标准偏差值在图中最后一列计算栏中,用以比对题目中所述“均匀充电”.显然离散程度值越小,越接近“均匀充电”过程.

其余得到不同条件下,电流变化的离散程度的方法与上述方法相同.具体数据如表5所示.

(下转第90页)

开关,应用在家庭、防洪中还需再进一步地试验体积更小或更大的液位传感器等器具。

但可以想见,若将继电器模块的适用电压减小到便于携带的电池电压,将报警器模型总体减小到适宜的程度,将为我们的生活带去极大便利。

参考文献

1 武汉军. 洗衣机水位报警器[J]. 电气时代,1983,2(6):21

- 张光秀. 瓦斯泵循环水系统水位报警器的三种安装方法[J]. 矿业安全与环保,2004,31(S1):92
- 汤元信,黄鹤松. 锅炉水位显示、控制及高低水位报警器设计[J]. 山东矿业学院学报,1995,14(1):42~45
- 施德朗(广州)电气科技有限公司. 多路继电器开关模块:ZLCN201721652863.2[P]. 2018-08-28

Design and Making of Water Level Alarm Model

Sun Lu Wei Liang Wang Zhuman Zhang Zhongxue Dong Yuhan

(School of Earth Science and Resources,China University of Geosciences,Beijing 100083)

Li Gengwei

(School of Science,China University of Geosciences,Beijing 100083)

Abstract: We just think of this and simplify and improve the water level alarm. In the experiment, we combine the lever model, circuit model and physical system, and use a single WiFi module to receive the signal from the circuit and send the alarm information to the mobile device, so as to achieve the goal that the water level alarm can be issued by both the field and mobile devices. The experimental product is a simple water level alarm device which can be controlled by mobile devices.

Key words: water level alarm; lever model; circuit model; material link; WiFi module

(上接第69页)

表5 不同条件下,电流变化的离散程度 σ

电阻大小 / Ω	$\sigma_{U=3V}$	$\sigma_{U=6V}$
4 000	0.033	0.036
2 000	0.053	0.055
1 000	0.089	0.113
333	0.362	0.183

根据数据结果,在电源电动势 E 不变的情况下,可以比对出随着电阻的增大,电路中电流减小,且电流的离散程度较低,即更趋于“均匀充电”的恒流模式。因此可以验证(2)b问:随着电阻的增大,电路中电流越小,更趋于“均匀充电”的恒流模式,选择图线②;若想实现快速充电,则可以采取减小电阻的方式以增大电流,故选择图线①。

3 教学建议

从“四要素”角度分析北京理综卷第23题,科学

探究教学也应该从“四要素角度”思考:有价值的“科学探究”的问题是真实的观察和实验;要坚持以学生为主体的“证据”形成过程;科学探究的解释要基于“证据”,要体现物理主干规律、方法的应用;科学探究的“交流”要以新生成信息输出为特征。

参考文献

- 中华人民共和国教育部. 普通高中物理课程标准(2017年版)[M]. 北京:人民教育出版社,2018
- 刘东方,王磊. 科学探究能力的构成要素——基于国外科学课程文件的分析[J]. 化学教育,2012(09):44~49
- 人民教育出版社. 普通高中课程标准实验教科书·物理选修3-1[M]. 北京:人民教育出版社,2010.46~48
- 赵凯华,陈熙谋. 新概念物理·电磁学[M]. 北京:高等教育出版社,2006.326~327
- 杨君. 小议高考物理实验能力和科学探究素养的考查[J]. 中国考试,2017(03):25~30