



# 基于变易理论的质疑创新能力培养\*

——以“动量守恒定律实验”为例

沈文炳

(湖北省鄂南高级中学 湖北 咸宁 437100)

(收稿日期:2019-08-12)

**摘要:**变易理论包括对比、区分、融合和类化4种范式.运用变易理论对“动量守恒定律实验”的关键特征进行多种有效变易,尝试培养学生的质疑创新能力.利用变易理论分析物理问题能促进学生质疑创新能力培养,促进学生对已有观点提出质疑并从多角度思考、分析问题和创新性解决问题,促进学生思维从多点结构向关联结构和拓展抽象层次发展.

**关键词:**质疑创新能力 变易理论 动量守恒定律实验

质疑创新能力是学生必备的核心素养,是科学思维的重要要素.《普通高中物理课程标准(2017年版)》提出了质疑创新能力的五级水平划分.在新时代的高考中,物理学科更加重视质疑创新能力的考查,比如独立思考能力、发散思维、逆向思维等,考查学生敏锐发掘旧事物缺陷、捕捉新事物萌芽的能力,考查学生进行新颖推测和设想并周密论证的能力,考查学生探索新方法积极主动解决问题的能力,鼓励学生勇于摆脱思想的束缚,大胆创新<sup>[1]</sup>.在日常教学中,如何培养学生的物理质疑创新能力,是新课程教学面临的重要问题.

本文以“动量守恒定律实验”为例,从变易理论的角度,尝试探索培养学生质疑创新能力的策略,促进学生思维能力的发展.

## 1 变易理论简介

变易理论是瑞典学者马飞龙(Ference Marton)在“现象图式学”基础上提出的一种学习理论.所谓变易,即当一个现象或者一个事物的某个属性产生变化而同时其他属性保持不变,变化的属性将被审辩到.学习的关键是找出事物最显著的差别,这种差别就是关键特征.变易理论的核心是“识别”和“变易”.“识别”就是找出事物的关键特征.“变易”指关

键特征的认识必须使它在某个维度发生变化<sup>[2]</sup>.

变易理论包括对比(contrast)、区分(separation)、融合(fusion)和类化(generalization)4种范式.每种范式表示的变易维度不同,使学习者关注到学习内容的不同方面,下面对这4种范式做一浅释.

**对比.**指一个事物、概念或现象在某个维度上不同值或特征的变化.为了识别某个特征,必须使用其他特征和它形成鲜明对比,让学生直观认识到事物之间的不同.比如通过对比白色、红色等不同颜色才能更好认识黑色.

**区分.**即为了审辩出某个属性,在其他属性保持不变的情况下,变化目的属性.比如为了认识物体的“颜色”属性,就必须保持物体的其他属性(大小、形状等)不变,改变物体的颜色,通过不同颜色的对比来认识颜色这个属性.

**融合.**指让学生注意事物、概念或现象同时变化的几个方面.当学生要同时认识事物的几个关键特征时,就应该同时改变这几个关键特征,这有利于学生认识到不同关键特征之间的联系.

**类化.**指学生在不同情境中都能审辩出事物的关键特征.比如学生需要体验多个白色的东西才能对白色有全面的理解:白色衣服、白色墙壁、白纸、牛奶、白色恐怖等等.

\* 咸宁市教育科学规划2019年度课题“SOLO理论在高中物理教学中的应用研究”成果,项目编号:2019XNJYK009;湖北省教育科学规划2019年度一般课题“运用SOLO提高高中物理实验教学有效性的实践研究”成果,项目编号:2019JB337

## 2 质疑创新能力培养的策略

创新思维能力是质疑创新能力的表现. 创新思维从思维的方向和过程可以分为发散思维、逆向思维、侧向思维、多路思维、重组思维等等<sup>[3]</sup>. 其中, 发散思维是各种创新思维的基础.

### 2.1 运用“对比”培养逆向思维

逆向思维就是把思维惯性的方向倒过来, 其特点是“反其道而行之”. 通过两种事物在关键特征上的正反“对比”, 可以克服先前解决问题的思维方式对后来思维方式的负迁移影响, 培养思维的独特性.

**【例1】**将打点计时器固定在光滑桌面的一端, 把纸带穿过打点计时器, 连在小车A的后面. 让小车A运动, 小车B静止. 在两小车的碰撞一端分别装上撞针和橡皮泥(图1), 碰撞时撞针插入橡皮泥中, 把两个小车连接成一体(也可在A和B两个小车的碰撞端贴上尼龙拉扣). 通过纸带测出它们碰撞前后的速度.

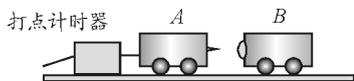


图1 用小车研究碰撞

**分析:**由于要控制小车A和B在一条直线上碰撞, 实验通常在轨道上进行. 本实验是利用碰撞前后小车做匀速直线运动来求解速度. 由于实际摩擦力不可消除, 常常利用前面学过的通过倾斜长轨道的方法来平衡摩擦力. 而难点也正在这里, 平衡摩擦力非常不容易, 需要耐心和时间, 而最终也难以达到理想的要求.

**设问:**既然平衡摩擦力难实现, 我们能不能利用摩擦力来验证碰撞过程中的动量守恒呢?

设计如图2所示实验: 利用家庭装修用的线槽盖制作轨道, 取3个完全相同的钢球. 其中, 把两个钢球组成球1(避免滚动). 在球2左侧粘贴一小块双面胶, 保证它们发生完全非弹性碰撞. 先不放球2, 从A点由静止释放球1, 测量球1静止时的位置到B点的距离 $x_1$ ; 然后把球2放置在B点, 再从A点由静止释放球2, 测量出静止时它们到B点的距离 $x_2$ . 要验证的关系式为 $4x_1 = 9x_2$ .

通过“对比”两个实验中的关键特征, 可知图1是要消除摩擦力的影响, 图2是利用摩擦力的作用.

一个是顺向思维, 延续了验证牛顿第二定律和动能定理实验的思维惯性, 一个是另辟蹊径, 反其道而行之的逆向思维, 创新思维, 体现了思维的独特性.

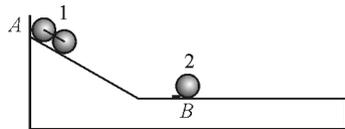


图2 用小球研究碰撞

### 2.2 运用“类化”培养侧向思维

侧向思维指从别的事物中获得启示和借鉴, 从而找到达到目标的路径. 通过“类化”, 从熟悉的相似情境中寻找解决新问题的方法, 在不同事物之间进行思维移植, 增强思维的敏感性.

**【例2】**实验装置如图3所示. 把两个小球用线悬起来, 一个小球静止, 拉起另一个小球, 放下时它们相碰. 可以测量小球拉起的角度, 从而算出落下时的速度; 测量被撞小球摆起的角度, 从而算出被撞后的速度. 也可以用贴胶布等方法增大两球碰撞时的能量损失.

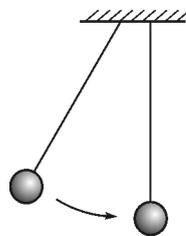


图3 用单摆研究碰撞

**分析:**设左侧小球拉起角度为 $\theta_0$ , 碰撞后左右球最大偏角分别为 $\theta_1$ 和 $\theta_2$ , 碰撞前左球速度 $v_0$ , 碰撞后左右球速度分别为 $v_1$ 和 $v_2$ , 左右两球质量分别为 $m_1$ 和 $m_2$ , 摆长为 $l$ , 由动能定理可求得

$$v_0 = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta_0)}$$

$$v_1 = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta_1)}$$

$$v_2 = \sqrt{2gl(1 - \cos \theta_2)}$$

要验证的关系式为 $m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2$ .

**设问1:**在测出角度 $\theta_0, \theta_1$ 和 $\theta_2$ 后的数据处理中, 大家遇到了什么困难没有?

由于角度不是特殊角, 要算出3个速度很麻烦, 既要算三角函数, 又要开根号.

**设问2:**能不能把要验证的关系简化?

引导学生把数学公式 $1 - \cos \theta = 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}$ 和验

证关系式对比,把验证关系式转换为

$$m_1 \sin \frac{\theta_0}{2} = m_1 \sin \frac{\theta_1}{2} + m_2 \sin \frac{\theta_2}{2}$$

**设问 3:**这个验证关系式要简单,但三角函数的计算需要特殊计算器.我们能不能再进一步把验证关系式简化到不需要计算三角函数呢?

**设问 4:**要使  $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{\theta}{2}$ ,可能吗?如果可能,需要满足什么条件?

学生立刻想到数学极限问题中有类似的情境.只要  $\theta$  很小(比如  $\theta < 10^\circ$ ),就可以满足

$$\sin \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$$

验证关系式就可以简化为

$$m_1 \theta_0 = m_1 \theta_1 + m_2 \theta_2$$

**设问 5:**除了数据处理方面的困难,大家在实验操作过程中的最大麻烦是什么?

学生普遍反映是最大偏角的测量很麻烦.

**设问 6:**除了能利用最大偏角求碰撞前后的速度,还有其他办法可以间接地测量碰撞前后的速度吗?

引导学生回顾课本《物理·必修2》第27页中的汽车通过凹形桥的问题.学生认为只要在两小球的悬点分别安装一个力传感器,就可以测量出小球的重力  $m_1 g$  和  $m_2 g$ ,测量出碰撞前瞬间左侧绳子拉力  $F_0$ ,碰撞后瞬间左右绳子拉力  $F_1$  和  $F_2$ .再由牛顿第二定律即可得到验证关系式

$$\sqrt{m_1(F_0 - m_1 g)} = \sqrt{m_1(F_1 - m_1 g)} + \sqrt{m_2(F_2 - m_1 g)}$$

这个教材实验通过测量最大偏角和动能定理得出的验证关系式形成了一种权威,让学生产生了从众心理,变成了一种思维定势.通过“类化”,建构学生熟悉的数学公式、近似情境和汽车过凹形桥情境,让学生理解这些情境中隐藏的共同关键特征是小球速度的求解,体会在解决问题时要思路开阔,从其他熟悉情境中寻找解决问题的新方法,培养侧向思维.

### 2.3 运用“区分”培养多路思维

思维从一个点出发,通过多条路径达到同一个预定目标,殊途同归,这种思维方式就是多路思维.运用“区分”范式,可以抓住事物的关键特征,并从不同角度思考,寻找解决问题的方式,培养思维的变

通性.

**【例 3】**如图 4 所示,在桌边固定一斜槽,保持斜槽末端切线水平.在地面铺上白纸和复写纸,用重锤在白纸上记录斜槽末端的位置  $O$ ;从斜槽某点释放钢球 1,记录其平均落点  $P$ ;在斜槽末端放置同样大小的塑料球 2,再从同一位置释放钢球 1,记录两球的平均落点  $M$  和  $N$ .需要验证的关系式为  $m_1 OP = m_1 OM + m_2 ON$ .

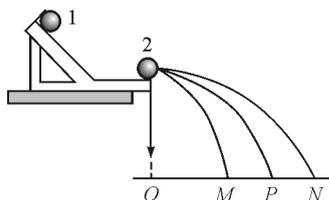


图 4 用平抛运动研究碰撞

**设问 1:**在实验操作过程中,大家碰到了哪些问题?

通常的问题有:实验桌面高,小球落点远,对复写纸和白纸长度有要求;小球落地后反弹的落点影响平均落点的确定;小球落地后到处滚动,找球需要时间.

**设问 2:**我们能否改进实验器材,解决实验过程中碰到的问题呢?

学生各抒己见:有的提出把斜槽固定在凳子边缘,降低高度;有的建议在地面铺上沙子,容易确定落点;有的建议用频闪照相确定两个小球的水平速度.综合考虑学生的意见,利用平抛运动仪改装器材,如图 5 所示.仪器的背景面刻画了格子,上端有刻度尺,底盘装有沙子,底盘正面有刻度,方便确定小球落到沙子上时的位置.也可以利用数码相机拍摄小球的运动,然后利用照片确定小球平抛运动到同一高度时的水平距离.

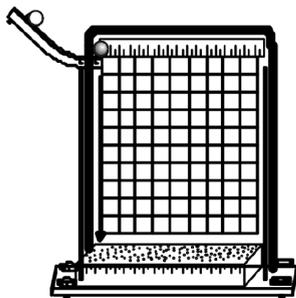


图 5 用改装的平抛运动仪研究碰撞

如何解决小球落点的问题是实验操作的关键特征.通过学生思考与讨论,多角度探索解决问题的方

法,最后设计一个有效的方案,激发学生利用多路思维解决问题的热情,训练思维的变通性.

#### 2.4 运用“融合”培养重组思维

改变思维对象中相关要素的位置、次序、比例、相互关系等,重新进行组合从而实现创新,这种思维就是重组思维.运用“融合”,改变事物的多个关键特征,寻找新的解决问题方式,培养思维的能动性.

教材实验主要是关于一位碰撞的情境,而在康普顿效应中,研究的是二维碰撞情境.如果在动量守恒实验中能够体会二维碰撞,有利于康普顿效应的理解.

可以在玻璃板上用数码相机拍摄两个大小相同的小钢球和有机玻璃球发生二维碰撞的情境,然后利用 Tracker 软件的自动追踪功能,有效地跟踪参与碰撞的两个小球的运动轨迹,同步描绘两个小球运动过程中的动量和时间、动能和时间图像.利用 Tracker 软件的数据分析工具进行统计分析滑块碰撞前后的动量、动能,从而可以验证碰撞过程中动量、动能是否守恒.

通过“融合”方式,变一维碰撞为二维碰撞,变

人工测量为智能跟踪和分析,变人工数据分析为软件智能分析,有利于改变学生思维习惯,形成能动性思维.

### 3 结束语

以“动量守恒定律实验”为例,运用变易理论的“对比”“类化”“区分”和“融合”4种范式对其进行变易处理.在解决物理实际问题过程中,运用变易理论有利于培养学生的逆向思维、侧向思维、多路思维和重组思维等创新性思维;有利于促进学生对已有观点和结论提出质疑,从不同角度思考物理问题和审视检验结论,创新性地分析和解决问题;有利于促进学生思维从多点结构向关联结构和拓展抽象层次发展.

#### 参考文献

(上接第 109 页)

#### 参考文献

- 1 上海市中小学课程改革委员会.高级中学课本 物理拓展型课程(试用本)[M].上海:华东师范大学出版社,2016
- 2 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.高中课程标准试验教科书 物理·选修3-5[M].北京:人民教育出版社,2010
- 3 赵凯华,罗蔚茵.新概念物理教程量子物理(第2版)[M].北京:高等教育出版社,2008
- 4 A. F. Kracklauer. A translation of :RECHERCHES SUR LA TH'ÉORIE DES QUANTA(Ann. de Phys., 10e s'erie, t. III)[D]. 2004
- 5 Thomson G P, Reid A A. Diffraction of Cathode Rays by a Thin Film[J]. Nature, 1927, 119(3 007): 890 ~ 890
- 6 Davisson C J, Germer L H. Reflection of Electrons by a Crystal of Nickel[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 1928, 14(4): 317 ~ 322
- 7 I. Estermann, O. Stern. Beugung von Molekularstrahlen[J]. Zeitschrift für Physik, 1930, 61(1 ~ 2), 95 ~ 125
- 8 Arndt M, Nairz O, Vos - Andrae J, et al. Wave - particle duality of C60 molecules[J]. Nature (London), 1999, 401(6 754): 680 ~ 682
- 9 Y. Y. Fein, P. Geyer, P. Zwick, et al. Quantum Superposition

- 1 于涵.新时代的高考定位与内容改革实施路径[J].中国考试,2019(1):1 ~ 9
- 2 张勇.以变促学:变易理论对高效课堂的启示[J].课程教学研究,2016(2):12 ~ 16
- 3 陈璐.从思维路径看创新思维的模式类型[J].前沿,2012(14):48 ~ 50
- of molecules beyond 25 KDa[J]. Nature Physics, 2019, 553: 5356
- 10 感谢与复旦大学施郁教授的讨论
- 11 Alexei A. Abrikosov. Type II Superconductors and the Vortex Lattice[R]. Nobel Lecture, 2003
- 12 Anthony J. Leggett. Superfluid 3 - He: The Early Days as Seen by a Theorist[R]. Nobel Lecture, 2003
- 13 张礼,葛墨林.量子力学的前沿问题(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2012
- 14 Arndt, Markus. Quantum physics: Coherence in molecular nitrogen[J]. Nature Physics, 2005, 1(1): 19 ~ 20
- 15 Nairz O, Arndt M, Zeilinger A. Quantum interference experiments with large molecules[J]. American Journal of Physics, 2003, 71(4): 319 ~ 325
- 16 Arndt M, Brand C. Interference of atomic clocks[J]. Science, 2015, 349(6 253): 1 168 ~ 1 169
- 17 Hornberger K, Gerlich S, Haslinger P, et al. Colloquium: Quantum interference of clusters and molecules[J]. Reviews of Modern Physics, 2012, 84(1): 157 ~ 173
- 18 Arndt M, Hornberger K. Testing the limits of quantum mechanical superpositions[J]. Nature Physics, 2014, 10(4): 271 ~ 277